

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Morteros Larga Vida: Diseño y Aplicación

Julián Andrés Arroyo Cabezas

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito
Diciembre de 2010

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería – El Politécnico

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

MORTEROS LARGA VIDA: DISEÑO Y APLICACIÓN

JULIÁN ANDRÉS ARROYO CABEZAS

Fernando Romo, Ms
Director de Tesis
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Fabricio Yépez, PhD.
Miembro del Comité de Tesis

Quito, diciembre 2010

© Derechos de autor

Julián Andrés Arroyo Cabezas

2010

Agradecimientos

Agradezco a mi hermosa familia por su constante apoyo en todo momento, a Holcim-Ecuador por permitirme realizar la investigación en sus instalaciones y finalmente agradezco al universo por la existencia.

Resumen

Este proyecto denominado “Morteros Larga Vida, Diseño y Aplicación” es el estudio de mezclas de MLV (mortero larga vida) de doce horas de vida útil, utilizadas para pegar unidades de mampostería y para enlucir tanto paredes como secciones estructurales. En primer lugar, para la elaboración de las mezclas se buscó una fuente de agregado fino que cumpla con las características recomendadas para mortero mencionadas por la norma ASTM. En la cantera de San Antonio se logró conseguir arena fina que cumple con dichas características. En segundo lugar, se seleccionó el sistema de aditivos proporcionado por la empresa Toxement. El sistema de aditivos estabilizadores de MLV comprende un aditivo retardante (LV parte A) y un aditivo inclusor de aire (LV parte B). Por último, los materiales, equipos y maquinaria para la realización de pruebas de laboratorio fueron proporcionados por la planta Quito Norte de Holcim-Ecuador. Las pruebas de laboratorio consistieron en la evaluación de las características físicas y mecánicas de las mezclas de MLV. Se obtuvieron dos diseños finales de MLV, un diseño con arena fina rosada y otro diseño con arena fina café claro. Finalmente, luego de realizar las pruebas industriales se concluyó que el tiempo de vida útil de mortero para el cliente fue de 36 horas y no de 12 horas como se había probado en el laboratorio.

Abstract

The present dissertation named “Long Life Mortars: Design and Application” is the study of LLM (Long Life Mortar) mixtures with twelve hours of useful life, used to stick masonry blocks and to plaster walls and structural sections. First of all, it was necessary to find a sand source with specific characteristics mentioned by the norm ASTM to produce mortar. Second, we chose an admixture system composed by an air-entrainment and a retarder called LV part A and LV part B respectively, which are the admixtures stabilizers for LLM produced by Toxement Company. Third, Holcim provided the lab equipment, instruments, and materials for each test of the research. These tests consist in evaluations of the physic and mechanic characteristics of LLM. We got two final designs of LLM, one with pink sand and another design with brown sand. Finally, after the industrial tests, we concluded that the actual useful life of mortar was 36 hours and not 12 hours as we proved at the laboratory.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1.- Introducción

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Proyectos relacionados y/o complementarios
 - 1.2.1 Investigación relacionada
- 1.3 Justificación e importancia
- 1.4 Objetivos
 - 1.4.1 Objetivos específicos
 - 1.4.2 Objetivo final

Capítulo 2.- Morteros

- 2.1 Generalidades
 - 2.1.1 Propiedades del mortero en estado fresco
 - 2.1.1.1 Manejabilidad
 - 2.1.1.2 Retención de agua
 - 2.1.1.3 Contenido de aire en el mortero
 - 2.1.1.4 Adherencia del mortero fresco
 - 2.1.2 Propiedades del mortero en estado endurecido
 - 2.1.2.1 Retracción
 - 2.1.2.2 Adherencia
 - 2.1.2.3 Resistencia a compresión
 - 2.1.2.4 Durabilidad
 - 2.1.2.5 Apariencia
- 2.2 Clasificación de los morteros según el conglomerante
 - 2.2.1 Mortero de cal o morteros calcáreos
 - 2.2.2 Mortero de cal y cemento portland (Mortero bastardo)
 - 2.2.3 Mortero de cemento
- 2.3 Morteros Larga Vida (MLV)
 - 2.3.1 Definición
 - 2.3.2 Sistema de aditivos
 - 2.3.3 Características del mortero larga vida en estado fresco
 - 2.3.4 Características del mortero larga vida en estado endurecido

Capítulo 3.- Metodología de ensayos

- 3.1 Mortero en estado fresco
 - 3.1.1 Medición de la consistencia
 - 3.1.2 Medición del contenido de aire

- 3.1.3 Medición del peso unitario
- 3.1.4 Medición de la temperatura
- 3.1.5 Muestreo
- 3.1.6 Tiempos de fraguado del mortero en recipiente
- 3.2 Mortero en estado endurecido
 - 3.2.1 Resistencia a la compresión
 - 3.2.2 Tiempos de fraguado del mortero aplicado en bloque

Capítulo 4.- Investigación de producción de morteros en obra

- 4.1 Mortero para enlucir
 - 4.1.1 Materiales Utilizados
 - 4.1.2 Dosificaciones
 - 4.1.3 Consistencias y modos de aplicación
 - 4.1.4 Consumo diario de mortero para enlucido
 - 4.1.5 Resistencias
- 4.2 Mortero para pegar
 - 4.2.1 Materiales Utilizados
 - 4.2.2 Dosificaciones
 - 4.2.3 Consistencias
 - 4.2.4 Consumo diario de mortero para enlucido
 - 4.2.5 Resistencias

Capítulo 5.- Materiales

- 5.1 Cemento
 - 5.1.1 Cemento Portland
 - 5.1.2 Cemento Portland puzolánico
- 5.2 Agua
- 5.3 Agregados
 - 5.3.1 Arena
 - 5.3.2 Selección de Arena
 - 5.3.2.1 Pruebas de conservación de MLV con arena fina de San Antonio
- 5.4 Aditivos

Capítulo 6.- Diseño de MLV

- 6.1 Características del MLV a diseñar
- 6.2 Procedimiento de diseño
 - 6.2.1 Diseño mortero patrón

- 6.2.2 Mortero Patrón con aditivos, Ajuste de volumen y diseño MLV
- 6.3 Corrección de humedad

Capítulo 7.- Muestreo y Resultados

- 7.1 Consistencias
 - 7.1.1 Pérdida de la consistencia del mortero recién preparado
 - 7.1.2 Conservación de la consistencia
- 7.2 Contenido de aire y peso unitario
 - 7.2.1 Contenido de aire y peso unitario en el mortero recién preparado
 - 7.2.2 Contenido de aire y peso unitario en el mortero remezclado
- 7.3 Temperatura
- 7.4 Tiempos de fraguado

Capítulo 8.- Evaluación de Resistencias

- 8.1 Resistencia a la compresión
 - 8.1.1 Resistencia a la compresión del mortero patrón.
 - 8.1.2 Resistencia a la compresión del MLV.
 - 8.1.3 Variación de la resistencia a compresión en función del contenido de aire.
 - 8.1.3.1 Variación de la resistencia del MLV con arena rosada.
 - 8.1.3.2 Variación de la resistencia del MLV con arena café claro.
- 8.2 Tiempos de fraguado del mortero aplicado en el bloque.

Capítulo 9.- Pruebas Industriales.

- 9.1 Pruebas previas a la prueba industrial
 - 9.1.1 Evaluación de la retención de agua del mortero larga vida.
 - 9.1.2 Prueba de comparación: Mortero tradicional y Mortero larga vida.
 - 9.1.2.1 Preparación Mortero Larga Vida
 - 9.1.2.2 Preparación Mortero Tradicional
 - 9.1.2.3 Resultados
 - 9.1.2.3.1 Levantamiento de paredes (pega de bloques)
 - 9.1.2.3.2 Enlucido de las paredes
- 9.2 Prueba industrial
 - 9.2.1 Descripción de la prueba y datos obtenidos
 - 9.2.2 Rendimiento
- 9.3 Costos

- 9.3.1 Cálculo del precio de venta del MLV
- 9.3.2 Costo de fabricación de 1m^3 de mortero tradicional
- 9.3.3 Costo total de un metro cuadrado de enlucido

Capítulo 10.- Control de calidad, Recomendaciones, y Conclusiones

- 10.1 Muestreo
- 10.2 Mediciones
- 10.3 Ensayos
- 10.4 Conclusiones generales

Anexos

- A.- Pruebas y resultados
- B.- Resistencias
- C.- Características de los agregados

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

El mortero es un material importante en la construcción y ha sido utilizado desde la antigüedad. Se conoce como mortero a la mezcla de uno o varios aglutinantes (cemento u otros cementantes), de material fino de relleno (arena) y agua; se diferencia del hormigón al no poseer el agregado grueso (piedra). Al endurecerse, el mortero presenta propiedades físicas y mecánicas similares a las del hormigón y es utilizado para pegar unidades de mampostería, enlucir paredes, alisar pisos, reparar secciones estructurales, etc.

En nuestro país el mortero es preparado en obra. Los trabajadores mezclan primero el cemento y la arena para luego añadirle el agua. La preparación del mortero de cemento en obra tiene que efectuarse de un modo continuo, organizando un abastecimiento del producto para cada aplicación, de manera que entre el mezclado y la colocación haya el menor tiempo posible debido al rápido endurecimiento del mortero. El rápido fraguado de la mezcla produce diversos problemas y uno de ellos es el desperdicio del material puesto que la mezcla no colocada a tiempo se endurece rápidamente e imposibilita su aplicación.

La producción de morteros alrededor del mundo ha tenido un cambio importante en cuanto a su modo de preparación. En efecto, este cambio consiste en el paso de una fabricación manual en obra a una fabricación industrial, utilizando productos eficientes y procedimientos industriales que le permitan garantizar la producción de morteros de calidad. Dentro de la fabricación industrial se conocen dos categorías importantes de mortero. Una de estas categorías es la producción del mortero premezclado húmedo conocido también como mortero larga vida (MLV) constituido por materiales cementantes, agregados finos, agua y aditivos, los cuales son proporcionados y mezclados en planta y distribuidos a las diferentes obras por medio de camiones (mixers). La otra categoría concierne a los morteros premezclados secos constituidos por materiales cementantes, agregados secos y aditivos en polvo, los cuales son proporcionados y mezclados en planta. Estos morteros secos son empacados en sacos de 40 a 50 kilogramos. El proceso de mezclado del mortero seco debe concluirse en el sitio de la obra, con la adición controlada de agua, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Este proyecto se enfocará en el diseño y aplicación del MLV.

1.2 Proyectos relacionados y/o complementarios

1.2.1 Investigación relacionada

Se realizará una investigación de la producción del mortero tradicional en obra para obtener la información necesaria para el correcto desarrollo del proyecto. De esta manera se hará también un análisis costo-beneficio comparativo entre la producción del mortero tradicional en obra y la producción industrial del mortero larga vida en planta así como los respectivos costos de los enlucidos por metro cuadrado.

1.3 Justificación e importancia

En el mundo entero existe un sinnúmero de hormigoneras que producen MLV. Este tipo de morteros están compuestos por los elementos que conforman un mortero tradicional más aditivos que les permiten mantener su trabajabilidad hasta por setenta y dos horas después de haberlos preparado lo que produce una serie de ventajas que ellos proporcionan en comparación con los morteros tradicionales. Algunas de estas ventajas son que permite almacenar grandes volúmenes de mortero ya preparado para usarlo paulatinamente de acuerdo con los requerimientos de la obra, así mismo permite racionalizar el empleo del mortero evitando la pérdida de tiempo, la congestión de materiales, el desperdicio de los mismos y sobre todo el ahorro de la mano de obra que se necesita en la preparación del mortero en obra. Con todas estas ventajas es interesante realizar una investigación para el diseño de este tipo de morteros, probarlos y comercializarlos en nuestro país a través de Holcim Ecuador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos específicos

- Investigar la producción de morteros en obra.
- Desarrollar mezclas de mortero larga vida para pega y enlucido (12 horas de vida útil)
- Realizar pruebas industriales con mortero larga vida.
- Elaborar análisis costo-beneficio comparativo entre la producción del mortero tradicional en obra y la producción industrial del mortero larga vida en planta así como los respectivos costos de los enlucidos por metro cuadrado.
- Elaborar un procedimiento de Control de Calidad para Morteros Larga Vida.

1.4.2 Objetivo final

Diseñar mezclas de MLV para pega y enlucido (de 12 horas de vida útil) para acoplarlos a la hormigonera Holcim Ecuador para su comercialización.

Capítulo 2

Morteros

2.1 Generalidades

En este subcapítulo se describirán las principales propiedades del mortero en estado fresco y en estado endurecido.

2.1.1 Propiedades del mortero en estado fresco

2.1.1.1 Manejabilidad

La manejabilidad es una medida referente a la facilidad de colocación del mortero en las unidades de mampostería. La manejabilidad está relacionada con la consistencia la cual nos dice qué tan seca o qué tan fluida se encuentra la mezcla. Esta propiedad depende de la granulometría de la arena, y en la cantidad de agua usada. La medida de la consistencia del mortero se realiza con el método de ensayo del cono de penetración que consiste en un aparato de Vicat modificado y se encuentra especificado en el anexo del método de ensayo de la norma ASTM 780. El método de ensayo será descrito en el capítulo siguiente. Un método de ensayo alternativo de la medida de la consistencia del mortero es el de la mesa de flujo.

2.1.1.2 Retención de agua

La retención de agua del mortero consiste en la habilidad que tiene éste para mantener su plasticidad cuando está en contacto con una superficie absorbente (por ejemplo una unidad de mampostería) evitando que pierda rápidamente el agua de mezcla. La retención de agua puede ser mejorada mediante la adición de cal, aditivos inclusores de aire o arenas con mayores contenidos de finos o simplemente utilizando cementos puzolánicos. El método de ensayo de la retención de agua se encuentra especificado en la norma ASTM C1506.

2.1.1.3 Contenido de aire en el mortero

El aire naturalmente incluido en un mortero es producido por efectos mecánicos, ya que al mezclar los materiales sea en una mezcladora o a mano un porcentaje pequeño de aire es

atrapado naturalmente. Este porcentaje de aire naturalmente incluido en el mortero puede variar de 3% a 7% y depende en la granulometría de la arena utilizada y en el tiempo de mezcla. Otra forma de incluir aire en el mortero es agregando a la mezcla aditivos llamados inclusores de aire que elevan el porcentaje de aire hasta más de 20%. El método de ensayo para medir el porcentaje de aire incluido en el mortero está especificado en la norma ASTM C 231 y será descrito en el siguiente capítulo.

2.1.1.4 Adherencia del mortero fresco

La adherencia del mortero fresco es la propiedad que nos muestra la resistencia que presenta el mortero fresco al deslizamiento sobre la superficie del soporte inmediatamente después de ser aplicado en éste. Esta propiedad se le atribuye específicamente al mortero utilizado para enlucir paredes de mampostería o secciones estructurales. No existe un método de ensayo para medir esta propiedad.

2.1.2 Propiedades del mortero en estado endurecido

2.1.2.1 Retracción

La retracción es el cambio de volumen de una mezcla de hormigón o mortero. Esto se produce principalmente a causa de las reacciones químicas de hidratación del cemento. En lugares calurosos y de excesivos vientos, el agua de mezclado suele evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se evidencian en la formación de fisuras. Lo mismo puede ocurrir si la base donde se coloca el mortero es muy absorbente ya que el agua de mezclado en estos casos emigra rápidamente dentro de la estructura. Para evitar la retracción es bastante conveniente utilizar cementos de baja retracción al secado como por ejemplo cementos puzolánicos o cementos con adiciones especiales.

2.1.2.2 Adherencia

La adherencia es la habilidad que tiene el mortero de absorber esfuerzos normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. Es muy importante que el

mortero tenga buena adherencia con la estructura ya que tiene que resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. Los morteros de baja capacidad de retención de agua y morteros de alta resistencia tienen una adherencia pobre. En lo que concierne a la mampostería, para tener una buena adherencia, es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero e incluso debe tener un nivel de absorción adecuado y compatible con la mezcla del mortero. Es decir, si el mortero tiene poca retención de agua no puede ser utilizado en mampostería con altas absorciones.

2.1.2.3 Resistencia a compresión

Cuando el mortero es utilizado en obra para pegar bloque, éste tiene que actuar como unión resistente. Por esta razón la norma especifica una resistencia mínima de 50 kg/cm^2 para el mortero usado para pegar unidades de mampostería. La resistencia del mortero es proporcional a la cantidad de cemento utilizado en la mezcla. Es decir que entre más cemento mayor resistencia. La granulometría de la arena utilizada en el mortero está también relacionada con su resistencia, ya que un mortero con arena gruesa va a dar mayores resistencias que un mortero con arena fina. El método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de cilindros o cubos de mortero está especificado en la norma ASTM C109 y será descrito en el siguiente capítulo.

2.1.2.4 Durabilidad

La durabilidad del mortero es la resistencia a los agentes externos tales como las bajas temperaturas, desgaste por abrasión, penetración de agua, retracción al secado, agentes corrosivos entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. Se puede decir que los morteros de altas resistencias tienen una buena durabilidad ya que tienen la capacidad de soportar condiciones extremas.

2.1.2.5 Apariencia

Un mortero utilizado para enlucido tiene que tener un buen aspecto ya que es utilizado en la parte estética de la construcción. La plasticidad del mortero, la selección y la dosificación

adecuada de sus componentes son muy importantes para el acabado de las superficies enlucidas.

2.2. Clasificación de morteros según el conglomerante

2.2.1 Morteros de cal o morteros calcáreos

Los morteros de cal (piedra caliza) y arena fueron usados poco antes de la aparición del cemento Portland a mediados del siglo XIX. El mortero de cal tiene muy buena plasticidad por su gran habilidad de retener agua. A pesar de su buena manejabilidad el mortero de cal tiene bajas resistencias iniciales. Las proporciones cal: arena más usadas en morteros son 1:2 y 1:3 para enlucidos. Si la proporción aumenta el mortero tiende a ser menos dúctil y menos trabajable. Hoy en día los morteros calcáreos son escasamente usados alrededor del mundo.

2.2.2 Morteros de cal y cemento portland

El mortero bastardo o mortero mixto es el mortero compuesto de cemento portland, cal y arena. Estos morteros tienen una gran manejabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales. Cuando el contenido de cemento es mayor que el contenido de cal se obtendrá un mortero con resistencias altas pero con poco tiempo entre amasado y colocación, mientras que si el contenido de cal es mayor que el de cemento se obtendrá resistencias bajas pero con un mortero más plástico y permeable y con un mayor tiempo entre amasado y colocación. Cuando el contenido de arena es alto, el mortero será menos trabajable con poca resistencia y tendrá poca retracción.

Los materiales de este tipo de morteros tienen que ser combinados adecuadamente para que se obtengan buenos resultados y productos de buena calidad. Es necesario combinar la cal y el cemento de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento portland, tomando en cuenta que cada adición de agua conlleva a la adición extra de cal a la mezcla.

El mortero mixto es utilizado en varios países alrededor del mundo y es usado principalmente para pegar bloques de mampostería. La norma ASTM C270 clasifica estos morteros de pega por propiedades mecánicas y por dosificación. A continuación se muestra

en la tabla 2.1 la clasificación de morteros, según su resistencia a la compresión a veintiocho días y según dosificación (partes por volumen o por peso).

Tipo de mortero	Resistencias a Compresión			Cemento portland	Cal	Agregado fino suelto
	Mpa	Kg/cm ²	p.s.i			
M	17.2	175	2500	1	0.25	entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento
S	12.4	126	1800	1	0.25 ^a 0.50	
N	5.0-7.3	51-75	750-1100	1	0.5 ^a 1.25	

Tabla 2.2.2a "Clasificación ASTM C270 de morteros"

Los morteros tipo M, son morteros de alta resistencia que ofrecen más durabilidad que cualquier otro mortero. Es utilizado para mampostería reforzada sometida a grandes cargas de compresión para cuando se prevea altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes, temblores. Se usa comúnmente en estructuras en contacto con el suelo como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos, etc.

Los morteros tipo S, son morteros que alcanzan altas adherencias. Son usados en estructuras sujetas a cargas compresivas normales y sobre todo en mampostería estructural. El mortero tipo N, es el mortero utilizado para pegar unidades de mampostería y para enlucir paredes y secciones estructurales.

2.2.3 Morteros de cemento

Los morteros de cemento son los morteros modernos que tienen la ventaja de tener altas resistencias iniciales una vez que el mortero haya endurecido. Los cementos usados comúnmente son los cementos portland. La mezcla de este tipo de morteros tiene que efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre la preparación y la colocación en la mampostería haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Las características del agregado de relleno, la arena, tales como: la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas deben ser las adecuadas para lograr un acomodamiento de partículas que permitan obtener una masa homogénea y compacta. Si la cantidad de cemento es baja, la mezcla se hace áspera e intrabajable ya que las partículas de

arena rozarán entre sí a falta de la pasta lubricante de cemento. A continuación se presenta una tabla con las diferentes proporciones de cemento: arena en volumen o en peso utilizadas en los morteros (cemento: arena).

1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones.
1:2	Para impermeabilizaciones y enlucidos de tanques subterráneos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para bloques y baldosas.
1:5	Enlucidos exteriores y pega de bloques.
1:6 y 1:7	Enlucidos interiores.

Tabla 2.2.3 "Proporciones y Usos de los morteros de cemento"

2.3 Morteros Larga Vida

2.3.1 Definición

El MLV es un mortero de cemento utilizado únicamente para enlucir y pegar unidades de mampostería. Este mortero es preparado industrialmente y puede mantenerse fresco y trabajable hasta por setenta y dos horas gracias al uso de un sistema de aditivos estabilizadores.

2.3.2 Sistema de aditivos

El sistema de aditivos utilizado para la producción de mortero larga vida corresponde a un aditivo retardante y un aditivo inclusor de aire. El aditivo retardante tiene como función demorar el fraguado del mortero por varias horas dependiendo de la dosis utilizada, y el inclusor de aire proporciona aire al mortero mejorando las características de éste en estado fresco.

Los productores de este sistema de aditivos recomiendan algunos parámetros que deben seguirse en la preparación del MVL para la obtención de buenos resultados y que serán mencionados posteriormente.

2.3.3 Características del mortero larga vida en estado fresco

Como ya se dijo, el MVL mantiene su manejabilidad durante varias horas y para esto la mezcla necesita estar homogénea durante su vida útil. Las burbujas microscópicas incluidas en el mortero (por el inclusor de aire) trabajan como una barrera estabilizadora evitando que las partículas más pesadas de la mezcla tiendan a sedimentarse, es decir evitando que se produzca exudación. El aire incluido también le hace al mortero bastante cohesivo lo que mejora la adherencia de éste con paredes y secciones estructurales. De la misma manera el aire incluido en el mortero sirve de retenedor de agua para evitar que el agua del mortero aplicado emigre rápidamente y disminuya así su adherencia con el soporte. Se puede decir entonces que el MLV es un mortero cohesivo que tiene muy baja exudación, de buena retención de agua y buena trabajabilidad por largos periodos de tiempo. Los porcentajes de aire incluido en el mortero larga vida pueden variar entre 12 a 18% según la norma NTC 3356.

Una de las especificaciones recomendadas por los productores de aditivos estabilizadores es que el MLV durante su vida útil tiene que mantener una consistencia plástica (se verán las características de las consistencias en el capítulo 3).

2.3.4 Características del mortero larga vida en estado endurecido

El mortero larga vida en estado endurecido se comporta como un mortero tradicional ya que una vez en contacto con las unidades de mampostería comienza el fraguado y el posterior endurecimiento de la pega o el enlucido. En estado endurecido hay un aumento en la adherencia del mortero en el soporte gracias a la buena cohesión de éste por su alto contenido de aire. El mortero larga vida tiene una disminución de la permeabilidad y lo hace más resistente al ataque del medio ambiente gracias a sus aditivos estabilizadores.

Capítulo 3

Metodología de Ensayos

La metodología de la norma ASTM comprende ensayos para el mortero fresco y ensayos para el mortero endurecido. Esta norma hace referencia a los cuidados y procedimientos para la medición de propiedades físicas y mecánicas de los morteros.

3.1 Mortero en estado fresco

El mortero en estado fresco corresponde a la mezcla recién preparada de los materiales que componen el mortero. Los ensayos del mortero en estado fresco describen las propiedades físicas y características importantes para la aplicación del mortero. Los ensayos más importantes para el mortero en estado fresco son los siguientes:

- Medición de la consistencia
- Medición del contenido de aire
- Medición del peso unitario
- Medición de la temperatura
- Tiempos de fraguado

3.1.1 Medición de la consistencia

La medición de la consistencia es una característica del estado fresco del mortero que nos dice si el mortero está en condiciones adecuadas para ser aplicado tanto como para enlucido como para pega de unidades de mampostería. Es decir, este ensayo nos da la característica de trabajabilidad o manejabilidad del mortero y se encuentra especificado en el anexo del método de ensayo ASTM 780. Para realizar este ensayo se debe tener una unidad cilíndrica (medidor o contenedor) cuyo diámetro interno sea de 76mm y una profundidad aproximada de 88.1mm, un enrasador, y un aparato de Vicat Modificado. El aparato de Vicat Modificado consiste en un cono de aluminio de 41.3mm de diámetro y una longitud de 92.08mm que debe estar enroscado en la línea central de un tubo de acero inoxidable de tamaño adecuado capaz de deslizarse libremente en las guías del aparato. El ensayo

consiste en llenar la unidad cilíndrica en tres capas iguales, y cada capa debe ser compactada veinte veces alrededor de la superficie interna del medidor utilizando el enrasador. Luego de haber llenado el medidor se golpea ligeramente cinco veces los lados del medidor para eliminar el aire atrapado. Luego se elimina el exceso de mortero enrasando a lo largo de la superficie del medidor. A continuación se eleva el cono de penetración y se desliza la unidad de medida por debajo del cono hasta que la punta del mismo repose sobre el borde del contenedor. Se ajusta el tornillo de seguridad sólo lo suficiente como para sostener el cono y encerrar el indicador. Finalmente se centra el contenedor bajo el cono y se libera con un giro rápido del tornillo de seguridad y a continuación se lee la profundidad de penetración en milímetros al término de 30 segundos. Se debe informar la profundidad de la penetración del cono con aproximación de 1mm.



Imagen 3.1.1 "Medición de la consistencia del mortero en estado fresco"

En la siguiente tabla se presenta las consistencias de los morteros fluidos, plásticos y secos.

Característica	Consistencia
Seca	40-50mm
Plástica	50-60mm
Fluida	65-80mm

Tabla 3.1.1 "Tipos de consistencias del mortero"

3.1.2 Medición del contenido de aire

El método de prueba estándar para el contenido de aire de una mezcla fresca de mortero está especificado en la norma ASTM C 231. Para hormigón se debe usar un recipiente de mínimo seis litros mientras que para mortero se usa un recipiente de un litro. El recipiente debe ser llenado con mortero con dos capas de igual volumen y en cada capa el mortero debe ser compactado con 25 golpes de varilla (10mm de ancho y 300mm de largo) y de diez a quince golpes laterales con el martillo de goma. Una vez llenado el recipiente se debe enrasar para eliminar los excesos de material y delimitar el volumen. Se debe limpiar con cuidado los restos de mortero del borde circular de la olla de manera que la argolla de caucho de la tapa del envase entre en contacto con el recipiente limpio y así evitar que el aire contenido escape. A continuación se debe añadir agua constantemente en una de las dos válvulas de la tapa hasta que en la otra válvula salga solo agua y no burbujas de aire. Esto es necesario hacer para que entre la superficie inferior de la tapa y la superficie superior del mortero no haya aire incluido. Luego se cierra las llaves de las válvulas para comenzar con el bombeo de aire. Así, una vez alcanzada la guía por la aguja de medición, se abre la perilla que libera el aire bombeado y se obtiene el porcentaje de aire incluido en el mortero mostrado en el indicador.



Imagen3.1.2a “Olla de medición de aire sin tapa”



Imagen 3.1.2b”Olla de medición de aire con tapa”

3.1.3 Medición del peso volumétrico

El método de prueba estándar para peso volumétrico se especifica en la norma ASTM C 138-92. En este caso se usa el recipiente (volumen: un litro) de medición de contenido de aire para morteros. El procedimiento para llenar el recipiente es el mismo que el procedimiento usado en el ensayo de contenido de aire. Una vez llenada la olla de mortero se obtiene la lectura del peso neto contenido del recipiente y se calcula el peso por unidad de volumen. Finalmente se reporta el peso volumétrico del mortero con la identificación del diseño.



Imagen 3.1.3 "Medición de la masa del mortero en la olla para cálculo de peso unitario"

3.1.4 Medición de la temperatura

La temperatura es un factor importante de evaluación del mortero ya que éste varía en función del tiempo, y a grandes temperaturas el mortero tiende a secarse más rápido. Para determinar la temperatura del mortero es necesario basarse en el método de prueba estándar para la medición de la temperatura del hormigón fresco con cemento Portland ASTM C 1064-86, ya que es la única norma que se refiere a la determinación de la temperatura de mezclas de cemento. El ensayo consiste en introducir el termómetro metálico por lo menos 75mm por un periodo de dos minutos o hasta que la temperatura se estabilice. Finalmente se reporta la temperatura del mortero con una precisión de 0.5°C.

3.1.5 Muestreo

El muestreo de cilindros se debe realizar de acuerdo con la norma ASTM C 31. El muestreo consiste en llenar moldes de acero con mortero. Se debe llenar los moldes con varias capas y en cada capa se debe varillar con 25 golpes y para sacar burbujas de aire se golpea de diez a quince veces con un martillo de goma. Si el cilindro tiene 150mm de diámetro y 300mm de largo se debe llenar con tres capas del mismo volumen, mientras que si el cilindro es de 100mm de diámetro y 200mm de largo se llena solamente con dos capas. Una vez finalizado el procedimiento, se procede a enrasar los cilindros.



Imagen3.1.5”Cilindros de mortero para medición de resistencias”

3.1.6 Tiempos de fraguado del mortero en recipiente

El método de ensayo se encuentra especificado en la norma ASTM C403, y consiste en observar cómo crece la resistencia mientras se produce el fraguado del mortero. Se debe llenar dos recipientes cilíndricos o rectangulares de metal de 150mm de diámetro y 150mm de altura.

Se aplica la aguja de mayor tamaño en un tiempo de 10 segundos, introduciendo 25mm, y luego se anota la fuerza y la hora de carga y se calcula la presión dividiendo la fuerza para el área de la aguja. Se tiene que prevenir que las agujas penetren lugares cercanos a los agujeros causados por penetraciones anteriores, ya que cada penetración debe estar alejada de las penetraciones anteriores una distancia 2 veces mayor a la aguja colocada, asimismo, la distancia mínima hacia los bordes debe ser de 25mm. Hay que cambiar la aguja cuando la

carga registrada sobrepase 4 000 psi, y se debe realizar el procedimiento cada media hora tras las primeras 5 a 6 horas de fraguado. Se debe graficar en escala logarítmica. En este ensayo se puede identificar el fraguado gradual del mortero.



Imagen3.1.6"Ensayo tiempos de fraguado, penetrómetro ACME"

3.2 Mortero en estado endurecido

El mortero en estado endurecido corresponde a la mezcla fraguada. Los ensayos del mortero endurecido están relacionados con su resistencia y propiedades mecánicas. Los ensayos utilizados para la investigación fueron los siguientes:

- Resistencia a la compresión
- Tiempos de fraguado del mortero aplicado en bloque

3.2.1 Resistencia a la compresión

En la norma ASTM C109 se especifica la prensa hidráulica a usar, así como equipos y normas adicionales y/o complementarias. Se comienza elaborando los especímenes de ensayo inmediatamente después de que el mortero haya sido muestreado. El procedimiento consiste en ensayar cilindros o cubos a compresión usando la máquina hidráulica. Se aplica la carga continuamente y sin impacto. En las máquinas de ensayo de tipo tornillo el cabezal móvil debe viajar a una velocidad de 1.33mm/minuto. En máquinas operadas hidráulicamente se aplica la carga a una velocidad constante dentro del rango de 0.14Mpa a 0.34Mpa/segundo. Durante la aplicación de la primera mitad de la carga esperada se permite una mayor velocidad. No se realiza ningún ajuste en los controles de la máquina de ensayo mientras un espécimen está deformándose rápidamente inmediatamente antes de la falla. Aplicar la carga hasta que el espécimen falle y registrar la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo para el promedio del área transversal.



Imagen3.2.1 “Ensayo a la compresión del cilindro de mortero”

3.2.2 Tiempos de fraguado del mortero aplicado en bloque

Este ensayo es una modificación del ensayo estándar de tiempos de fraguado y no se encuentra especificado en ninguna norma, pero está recomendado y especificado por la Pontificia Universidad Católica del Perú donde se han realizado pruebas de endurecimiento del mortero aplicado en mampostería. La recomendación nos dice que en lugar de poner el mortero en un recipiente, se debe enlucir una pared de menos de un metro cuadrado de área donde la capa de enlucido debe ser de una pulgada aproximadamente. Se empieza a tomar el tiempo de fraguado a penas se haya terminado de enlucir el bloque. Se debe introducir la aguja 25mm durante diez segundos en el enlucido y de igual modo se anota la fuerza y la hora de carga y se calcula la presión dividiendo la fuerza para el área de la aguja. Se tiene que prevenir que las agujas penetren lugares cercanos a los agujeros y fisuras causadas por penetraciones anteriores, y la distancia mínima hacia los bordes debe ser de 25mm.



Imagen 3.2.2”Resistencia a la penetración. Tiempos de fraguado del mortero aplicado en bloque.”

Capítulo 4

Investigación de producción de morteros en obra

Como ya se mencionó, el principal objetivo de este proyecto es diseñar morteros larga vida para su comercialización a través de Holcim Ecuador. Pero previo a realizar los diseños, el proyecto se enfocará en la producción de los morteros en obra. Es decir que se buscará previamente identificar los materiales que lo componen, los modos de preparación, las consistencias, dosificaciones, etc. Para Holcim es necesario saber qué cantidades de mortero son consumidas diariamente en obra, para así tener una idea de la cantidad de MLV que sería distribuido a las obras por día; para esto se averiguó las cantidades aplicadas de mortero para enlucido y para pega. Finalmente se obtendrán muestras de morteros en cilindros para evaluar las resistencias a compresión de los morteros.

Para obtener toda la información necesaria para la investigación de la producción del mortero en obra, se realizaron visitas a seis obras grandes en la ciudad de Quito. Cabe recalcar que estas obras eran edificaciones de más de seis pisos y estaban en la etapa de enlucido y de colocación de bloque. Las edificaciones visitadas fueron las siguientes: Drom Plaza, Sarassy, Albra, Vitra, Sierra I, y el Edificio de Postgrado Primera Etapa de la Escuela Politécnica Nacional

Nombre de la Obra	Constructor	Dirección de la obra
Drom Plaza	Semaica	Jorge Drom Y Villalengua
Sarassy	Telmo Pazmiño	Hidalgo de Pinto y Alcabala
Albra	Albra	Orellana y Coruña
Vitra	Álvarez Cons.	República del Salvador Y Portugal
Sierra I	Fabián Espinoza	Monteserrín
Politécnica	Consortio Arr-Gall	Toledo Y Madrid

Tabla 4. "Datos de las edificaciones"

4.1 Mortero para enlucir

4.1.1 Materiales Utilizados

Para la producción de mortero para enlucir, en cinco de las seis obras se utilizó cemento puzolánico como material aglutinante, y arena fina gris proveniente de la cantera de San Antonio como material de relleno. En algunos casos la arena fue zarandeada, la idea de esto es darle a la mampostería y a las secciones estructurales una superficie bastante lisa después de haber sido enlucida. La única obra que no utilizó los materiales antes mencionados fue la obra del Edificio de Postgrado de la Escuela Politécnica Nacional donde se usó mortero premezclado seco. El mortero seco contiene principalmente material aglutinante (cemento), agregado fino y aditivos secos inclusores de aire que le proporciona al mortero una excelente retención de agua. Este mortero seco viene empacado en sacos de 40kg y se mezcla con una cantidad específica de agua para obtener un mortero con una consistencia requerida para poder ser aplicado con una máquina lanzadora. El saco de mortero seco es vaciado en la parte superior de la máquina y es mezclado con el agua y en cuestión de segundos se obtiene mortero listo para ser aplicado.



Imagen 4.1.1 "Máquina lanzadora de mortero"

La principal ventaja de utilizar una máquina lanzadora es que se puede enlucir mayores áreas en tiempos más cortos.

A continuación se presenta una tabla de los materiales utilizados por las diferentes obras para la producción del mortero para enlucir.

Obra	Materiales		
	<i>Cemento Puzolánico</i>	<i>Arena</i>	<i>Aditivos</i>
Drom Plaza	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Sarassy	Rocafuerte	Arena fina gris San Antonio	No
Albra	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Vitra	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Sierra I	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No

Tabla 4.1.1 "Materiales utilizados en obra para mortero enlucido"

4.1.2 Dosificaciones

La dosificación es la proporción en la que intervienen cada uno de los componentes del mortero. Esta proporción se puede expresar en peso o en volumen de los mismos, comenzando por la cantidad de conglomerante seguido por la cantidad de arena. A continuación se muestra las diferentes dosificaciones utilizadas en las obras.

Dosificaciones: Mortero para Enlucido		
	Cemento	Arena
Obra		
Drom Plaza	1	5
Sarassy	1	5
Albra	1	6
Vitra	1	5
Sierra I	1	6

Tabla 4.1.2 "Dosificaciones Mortero Enlucido"

Como se puede ver, las dosificaciones utilizadas por los constructores para la producción del mortero para enlucido varían de 1:5 a 1:6. Como se vio en el capítulo 2, estas son las

proporciones más comunes para enlucir tanto secciones estructurales como unidades de mampostería.

4.1.3 Consistencias y modos de aplicación

En las obras se pudo observar tres tipos de aplicación de mortero para enlucir. El primer método es el método de aplicación con pala que consiste en lanzar la mezcla en las paredes de mampostería o en las secciones estructurales utilizando una pala. Para este método es necesario que el mortero tenga una consistencia muy fluida para que la aplicación sea sencilla, de lo contrario sería complicado aplicar el mortero. Este método es conocido por los trabajadores como “champeado”. Otro método usado por los maestros es el método aplicado con paleta o liana. Este método consiste en colocar el mortero en una paleta de madera o liana de aluminio y luego esparcir la mezcla con movimientos de abajo hacia arriba en el sitio donde se desea enlucir.



Imagen 4.1.3.1a "Método de enlucido con liana"



Imagen 4.1.3.1b "Método de enlucido: champeado"

Por último está el método de aplicación con máquina. Consiste en verter el mortero seco en la máquina lanzadora, esperar unos segundos hasta que el mortero se mezcle con el agua y a continuación lanzar el mortero en las paredes de mampostería o en secciones estructurales con la ayuda de una manguera que es guiada por un operador.



Imagen4.1.3.1c "Colocación mortero seco en máquina" *Imagen4.1.3.1d* "Aplicación del mortero a máquina"

A continuación se presenta los métodos usados con sus respectivas consistencias.

	Método de enlucido	Consistencia del mortero
Obra		
Drom Plaza	Con liana	58mm
Sarassy	Champeado	80mm
Albra	Champeado	81mm
Vitra	Champeado	80mm
Sierra I	Champeado	82mm
Drom Plaza	Máquina lanzadora	55mm

Tabla 4.1.3 "Método de enlucido y consistencias"

Se puede observar que las consistencias para enlucir con el método de champeado son mayores que las consistencias para enlucir con liana ya que el mortero debe estar muy fluido mientras que para poder aplicar el mortero con liana se necesita una consistencia plástica.

4.1.4 Consumo diario de mortero para enlucido

Para tener una idea del consumo diario en metros cúbicos de mortero para enlucido, fue necesario averiguar el área máxima que los trabajadores pueden enlucir en un día laboral. También se averiguó los espesores de las capas de enlucido y el número de albañiles dedicados a la actividad de enlucir. Cabe recalcar que una cuadrilla encargada de enlucir está compuesta de dos albañiles y un ayudante o peón. El espesor de la capa de enlucido varía dependiendo la cantidad de mortero que se aplique en las paredes o en las secciones estructurales. Este espesor puede variar de 1 a 1.5cm como máximo. Con toda esta información se obtuvo los siguientes datos:

	m ² /persona por día	# de albañiles	m ² /día	Espesor capa de enlucido (cm)	m ³ /día
Obra					
Drom Plaza	15	6	90	1	0.9
Sarassy	14	8	112	1.5	1.68
Albra	15	8	128	1	1.28
Vitra	15	10	150	1	1.5
Sierra I	15	9	135	1.5	2.02
Politécnica	16-18	8	160	1.2	1.92

Tabla 4.1.4 “Consumo diario de mortero para enlucir”

El consumo diario de mortero varía de 1 a 2 metros cúbicos dependiendo de la cantidad de trabajadores y del espesor de la capa de enlucido usado. En todas las obras los trabajadores enlucen en promedio un máximo de 15 metros cuadrados por día, a excepción de la obra de la Politécnica que gracias a la utilización de la máquina lanzadora de mortero los trabajadores alcanzan a enlucir hasta 18 metros cuadros por día.

4.1.5 Resistencias

Se tomaron 12 cilindros de mortero tradicional para enlucir de la obra Sarassy y se obtuvo un promedio de las resistencias a 28 días mostrado a continuación.

Mortero tradicional para enlucir (cemento, arena y agua)	
Promedio de resistencias	82.5 kg/cm ²

Tabla 4.1.5 “Resistencias a 28 días de mortero para enlucido con mortero tradicional”

Esta resistencia está por encima del valor mínimo recomendado por la norma que es de 50 kg/cm².

- **Mortero seco**

Para estimar el costo de un metro cúbico de mortero preparado con mortero seco fue necesario averiguar los siguientes datos:

- El costo de un saco de 35.28kg de mortero seco tiene un valor alrededor de 4.03\$

- Un saco de mortero seco rinde 3m^2 de enlucido con 1cm de espesor.

El volumen de 3m^2 con 1cm de espesor es igual a 0.03m^3 . Esto nos da el costo de un metro cúbico de mortero igual a 134.33\$ más el costo del agua. Este valor lo compararemos en el capítulo 9 cuando se estime el costo de producción de mortero tradicional y el precio de venta del mortero larga vida.

Se tomaron 12 cilindros en la obra de la Politécnica para obtener un promedio de resistencias a los 28 días.

Mortero tradicional (cemento, arena y agua)	
Promedio de resistencias	56.1 kg/cm ²

Tabla 4.1.5.1c "Resistencias a 28 días de mortero para enlucido con mortero seco"

La resistencia obtenida para el mortero seco está alrededor de los límites mencionados por la norma a pesar de tener un costo elevado por metro cúbico de mezcla.

4.2 Mortero para pega

4.2.1 Materiales Utilizados

Para la producción en obra de mortero para pega se utilizó cemento puzolánico de saco y arena gris proveniente de la cantera de San Antonio. Se usó la arena tal y como proviene de la cantera, es decir que la arena no fue zarandeada.

Obra	Materiales		
	<i>Cemento Puzolánico</i>	<i>Arena</i>	<i>Aditivos</i>
Drom Plaza	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Sarassy	Rocafuerte	Arena fina gris San Antonio	No
Albra	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Vitra	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Sierra I	Selvalegre	Arena fina gris San Antonio	No
Politécnica	Rocafuerte	Arena fina gris San Antonio	No

Tabla 4.2.1 "Materiales utilizados en obra para mortero para pega"

4.2.2 Dosificaciones

Las dosificaciones usadas en las diferentes obras para el mortero para pega se presentan en la siguiente tabla.

Dosificaciones: Mortero para Pega		
	Cemento	Arena
Obra		
Drom Plaza	1	4
Sarassy	1	5
Albra	1	5
Vitra	1	4
Sierra I	1	4
Politécnica	1	5

Tabla 4.2.2 "Dosificaciones mortero para pega"

Como se puede observar las dosificaciones usadas para el mortero para pega varían de 1:4 a 1:5. Estas son las dosificaciones más comunes para el mortero para pega como se vio en el capítulo 2.

4.2.3 Consistencias

Existe un solo método de aplicación del mortero para pega. El método consiste en untar el mortero con un bailejo en la superficie lisa del bloque para luego colocar encima otro bloque. Para pegar los costados de los bloque se deja un ancho de junta de dos centímetros para colocar el mortero. A continuación se presenta una tabla con las diferentes consistencias usadas en las obras.

Obra	Consistencia
Drom Plaza	50mm
Sarassy	48mm
Albra	47mm
Vitra	50mm
Sierra I	52mm

Politécnica	51mm
-------------	------

 Tabla 4.2.3 “Consistencias mortero para pega”

Las consistencias del mortero para pega varían entre una consistencia plástica y una consistencia seca.

4.2.4 Consumo diario de mortero para pega

Para obtener el consumo diario de mortero para pega por metro cúbico se calculó la cantidad de mortero utilizado para pegar una pared con las siguientes características:

- Pared de doce bloques. Dimensiones del bloque promedio usado en las obras: 15cm de ancho, 20 cm de alto y 40cm de largo.
- El ancho de las juntas es de 2cm.
- Esto nos da una pared de 1.06m de alto y 1.24m de ancho. Su área es de 1.31m^2 .

Luego de hacer el cálculo del volumen de mortero para pegar los bloques de la pared con esas características, se encontró que es necesario utilizar 0.021m^3 de mortero. Se puede decir entonces que para 1.31m^2 de pared de mampostería se debe usar aproximadamente 0.021m^3 de mortero para pega. Con este resultado se pudo obtener una aproximación de las cantidades de mortero para pega utilizadas en las obras. En la siguiente tabla se presenta los rendimientos de los trabajadores y las cantidades consumidas diariamente de mortero para pegar las unidades de mampostería.

	m ² de pared por Trabajador por día	# de trabajadores	m ² de pared por día	m ³ de mortero por día
Obra				
Drom Plaza	10	6	60	0.96
Sarassy	10	8	80	1.28
Albra	10	5	50	0.8
Vitra	10	7	70	1.12
Sierra I	10	7	70	1.12
Politécnica	10	9	90	1.44

Tabla 4.2.4a “Consumo diario de mortero para pegar”

El consumo diario aproximado de mortero para pega varía entre 0.8 y 1.44 m³.

4.2.5 Resistencias

Para tener un promedio de resistencias del mortero para pega se tomaron 12 cilindros de mortero del edificio Sierra I.

	Mortero tradicional (cemento, arena y agua)
Promedio de resistencias	102.25 kg/cm ²

Tabla 4.2.5 "Resistencias a 28 días de mortero para pega"

Esta resistencia es 100% más alta que la mínima recomendada por la norma. En la obra se usó la proporción 1:4 para este mortero.

Capítulo 5

Materiales

5.1 Cemento

5.1.1 Cemento Portland

El cemento Portland es un aglomerante hidráulico que se obtiene a partir de materiales minerales calcáreos, tales como la piedra caliza (contiene más del 60% de carbonato de calcio), y de arcilla proveniente de la naturaleza en forma de alúmina y sílice. La fabricación de este cemento consiste en mezclar la piedra caliza pulverizada con arcilla (arcilla contiene oxido de sílice, oxido de hierro y oxido de aluminio) para luego calcinar la mezcla a grandes temperaturas en hornos de hasta 1500°C. Luego de la calcinación el producto que se obtiene se llama clinker, al cual se agrega una pequeña adición de yeso (2 a 5 %) que evita el fraguado rápido del cemento y regula la velocidad del endurecimiento del mismo.

5.1.2 Cemento Portland Puzolánico

El cemento Portland Puzolánico es el producto resultante de la adición de material puzolánico (del 15 al 40%) al cemento portland. La puzolana es un material silíceo, el cual tiene poco o nulo valor aglomerante, pero en forma finamente molida en presencia de la humedad reaccionará químicamente con hidróxido de calcio a temperaturas normales para formar un compuesto con propiedades cementantes. Los materiales puzolánicos que frecuentemente se encuentran son: ceniza volcánica, puzolana original, pumicita, arcillas quemadas, cenizas volantes.

Para las mezclas de MLV se usará como aglutinante el cemento puzolánico Holcim Rocafuerte GU. Las principales características de este cemento puzolánico y por las cuales se escogió dicho cemento para el proyecto son:

- Produce menor calor de hidratación, fraguado más lento y una consiguiente menor tendencia a la fisuración.

- Tiene mejor trabajabilidad, y menor exudación.
- Produce menor permeabilidad.
- Le da a la mezcla retención de agua

Densidad del cemento que se utilizó para la dosificación del mortero: 2980 kg/m³.

5.2 Agua

El agua, en contacto con el cemento produce la reacción química que endurece la mezcla. Por esta razón el agua debe cumplir con ciertas limitaciones y características presentadas a continuación:

- El agua no debe contener sustancias en suspensión o disueltas que alteren el fraguado del cemento.
- Sales de hierro con concentraciones menores a 40 000ppm.
- Tener un pH de 6 a 8.
- Materia orgánica con concentraciones menores a 20ppm.
- Azúcar, concentraciones menores a 500ppm.

Para los diseños de mortero larga vida se utiliza agua potable con las siguientes características:

Sustancia	Miligramo por litro
pH	6,55
Alcalinidad Total CaCO ₃	29,1
Acidez	14,1
Dureza Total CaCO ₃	35,2
Sulfatos	14
Cloruros	10,5
Hierro	0,19
Manganeso	0,05
Nitratos	1,5
Nitritos	0,004
Sólidos Totales	71
Cloro Residual	0,1

El agua potable generalmente cumple con estas características.

5.3 Agregados

El agregado que se utiliza para las mezclas de mortero es la arena (agregado fino). Para elegir la arena adecuada para el proyecto se siguieron las recomendaciones de la norma ASTM C144-93 y las recomendaciones especificadas por los productores de los aditivos estabilizadores de MLV.

5.3.1 Arena

La arena puede encontrarse en canteras de roca (arena triturada) o en peñas (arena natural). La arena triturada es el producto obtenido por la trituración de roca, grava o escoria de alto horno enfriada al aire y especialmente procesada para asegurar una forma apropiada de partículas y una adecuada granulometría. La arena natural se obtiene de peñas o lomas. La norma recomienda una granulometría según se trate de arena natural o arena de trituración, que se presenta en la tabla 5.3.1a, donde también se incluye para fines comparativos la recomendación de arenas para hormigón, y los valores de módulo de finura respectivos.



Imagen 5.3.1a "Cantera de roca de Pifo"



Imagen 5.3.1.b "Cantera de peña de San Antonio"

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen la masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. La operación de separar una masa de agregado en fracciones de igual tamaño, consiste en hacer pasar éste a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma ASTM C136-92. Por otro lado el módulo de finura es un factor empírico que

permite estimar qué tan fino o grueso es un material. Está definido como la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz No.100 hasta el No.4, dividido para 100.

Tamiz		Porcentaje que pasa los tamices		
		Arena natural	Arena de trituración	Arena para hormigón
INEN	ASTM			
4,75 mm	No. 4	100	100	95-100
2,36 mm	No. 8	95-100	95-100	80-100
1,18 mm	No. 16	70-100	70-100	50-85
600 µm	No. 30	40-75	40-75	25-60
300 µm	No. 50	10-35	20-40	10-30
150 µm	No. 100	2-15	10-25	2-10
75 µm	No.200	0-0	0-10	-
módulo de finura		2.83-1.75	2.65-1.60	3.38-2.15

Tabla 5.3.1a "Especificación granulométrica de arenas para mortero"

La norma dice también que una vez que se cumpla con el requisito anterior el agregado no deberá contener más del 50% del material retenido en dos tamices consecutivos, y no más del 25% entre el tamiz No.50 y el tamiz No.100. Cuando un agregado no cumple con los límites de gradación especificados, éste podría usarse siempre que el mortero se pueda preparar para cumplir la resistencia a la compresión, y otros requisitos.

Los productores de los aditivos estabilizadores del mortero larga vida recomiendan estrictamente que el módulo de finura de la arena tenga que ser mínimo de 1.5 y máximo de 2.2. Si la arena que se va a utilizar para producir el mortero larga vida no tiene un módulo de finura que se encuentre en ese rango, no se obtendrán resultados eficientes.

El agregado deberá estar libre de contenidos perjudiciales de impurezas orgánicas. De acuerdo con lo establecido en la norma, se debe rechazar el agregado que contenga alto contenido de material orgánico.

5.3.2 Selección de Arena

Después de haber ensayado diferentes tipos de arena, para la producción de MLV, se eligió la arena fina rosada proveniente de la cantera de San Antonio. Esta arena cumple con todos los parámetros mencionados por la norma ASTM C144-93 para la producción de morteros, a excepción de un parámetro que concierne al porcentaje de finos, el cual es mayor al requerido. Cumple también con los parámetros de módulo de finura mencionados por los productores de los aditivos estabilizadores para la producción de MLV. Durante varios meses después de haber realizado varias pruebas, se encontró que en el mismo banco donde provenía la arena rosada se encontraba también una arena de color café claro con características bastante similares a la arena rosada. Industrialmente el mortero larga vida va a ser preparado con la arena proveniente de ese banco perteneciente a cantera de San Antonio, por esta razón se realizaron diseños diferentes de MLV para cada tipo de arena. Las principales características de las arenas se obtuvieron al realizar diferentes ensayos descritos a continuación.

- **Masas unitarias:**

Procedimiento de ensayo: El método de ensayo se encuentra especificado en la norma ASTM C29-91A. Para obtener las masas unitarias sueltas, en un molde metálico se coloca la arena seca hasta el borde y se pesa. Conociendo el volumen del molde se calcula la masa unitaria suelta. Para la masa unitaria compactada, se coloca el material en tres capas iguales y en cada capa se apisona veinticinco veces con una varilla de metal y de igual manera se pesa para obtener la masa unitaria compactada.

	Masa unitaria suelta	Masa unitaria compactada
Arena fina rosada	1512 kg/m ³	1639 kg/m ³
Arena fina café claro	1503.5 kg/m ³	1631 kg/m ³

Tabla 5.3.2a "Masas unitarias"

- **Granulometrías:**

Procedimiento de ensayo: El método de ensayo se encuentra especificado en la norma ASTM C136-92. El ensayo consiste en hacer pasar la arena seca por una serie de tamices de aberturas cuadradas: No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, y No.100 (tamaño de la abertura: 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 0.6mm, 0.3mm, 0.15mm respectivamente). El número corresponde aproximadamente al número de aberturas del tamiz por centímetro cuadrado.

A continuación se obtienen los pesos obtenidos en cada tamiz para luego calcular los porcentajes de los pasantes acumulados y de esta manera graficar la curva granulométrica.

Agregado:	Arena Café claro				
Fuente:	San Antonio				
Masa inicial(g):	682				
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
9,5 mm	¾ in	0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0	0.0	0.0	100
2,36 mm	No. 8	15	2	2	98
1,18 mm	No. 16	107	16	18	82
600 µm	No. 30	153	23	40	60
300 µm	No. 50	126	19	59	41
150 µm	No. 100	100	15	74	26
Bandeja		177.5	26	100	0
Modulo					
Masa final (g):	680	de		Finura: 1.94	

Tabla 5.3.2b "Granulometría arena fina café claro"

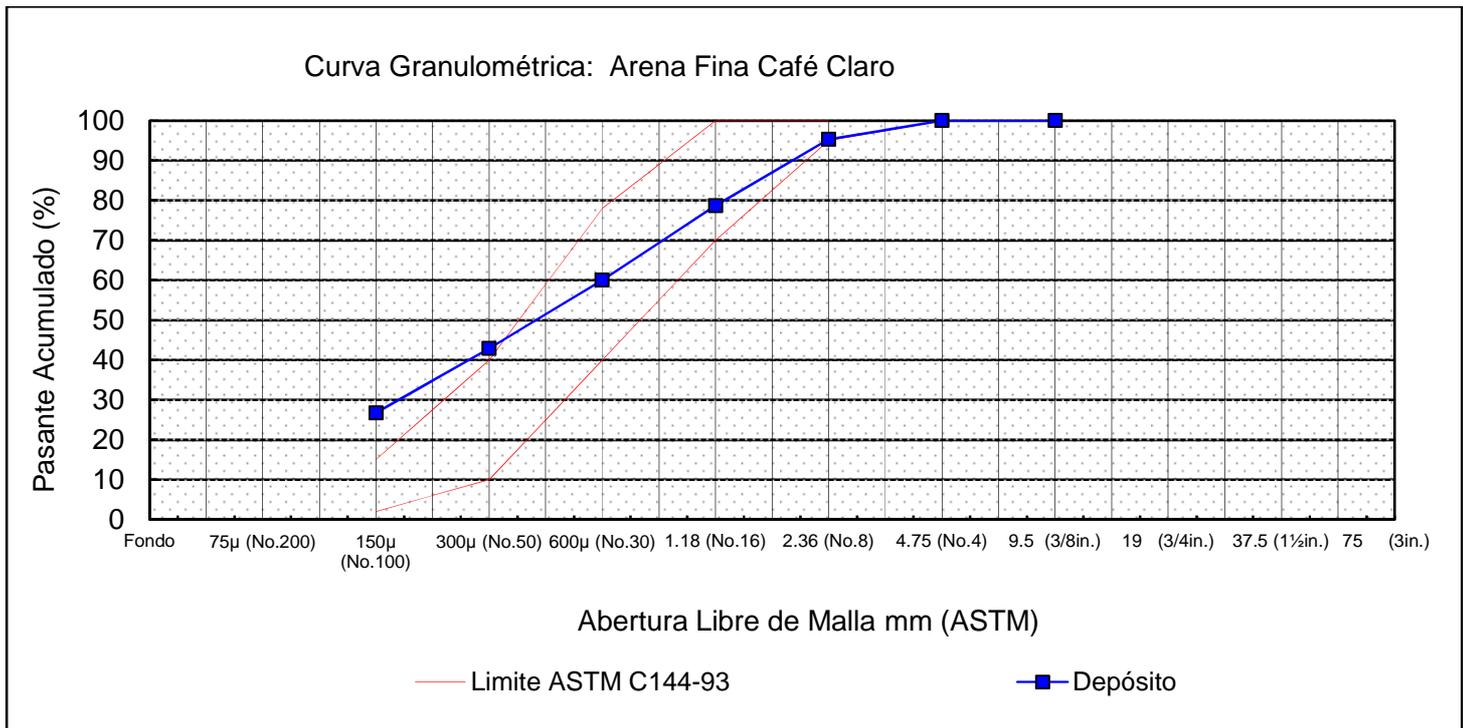


Gráfico 5.3.2a "Curva granulométrica: arena fina café claro"

Agregado:	Arena rosada				
Fuente:	San Antonio				
Masa inicial(g):	710				
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
9,5 mm	¾ in		0	0	100
4,75 mm	No. 4	0	0.0	0.0	100
2,36 mm	No. 8	33	5	5	95
1,18 mm	No. 16	117.5	17	21	79
600 µm	No. 30	132	19	40	60
300 µm	No. 50	121	17	57	43
150 µm	No. 100	114	16	73	27
Bandeja		189	27	100	0
Masa final (g):		Modulo de		finura:	
708		de		1.96	

Tabla 5.3.2c "Granulometría arena rosada"

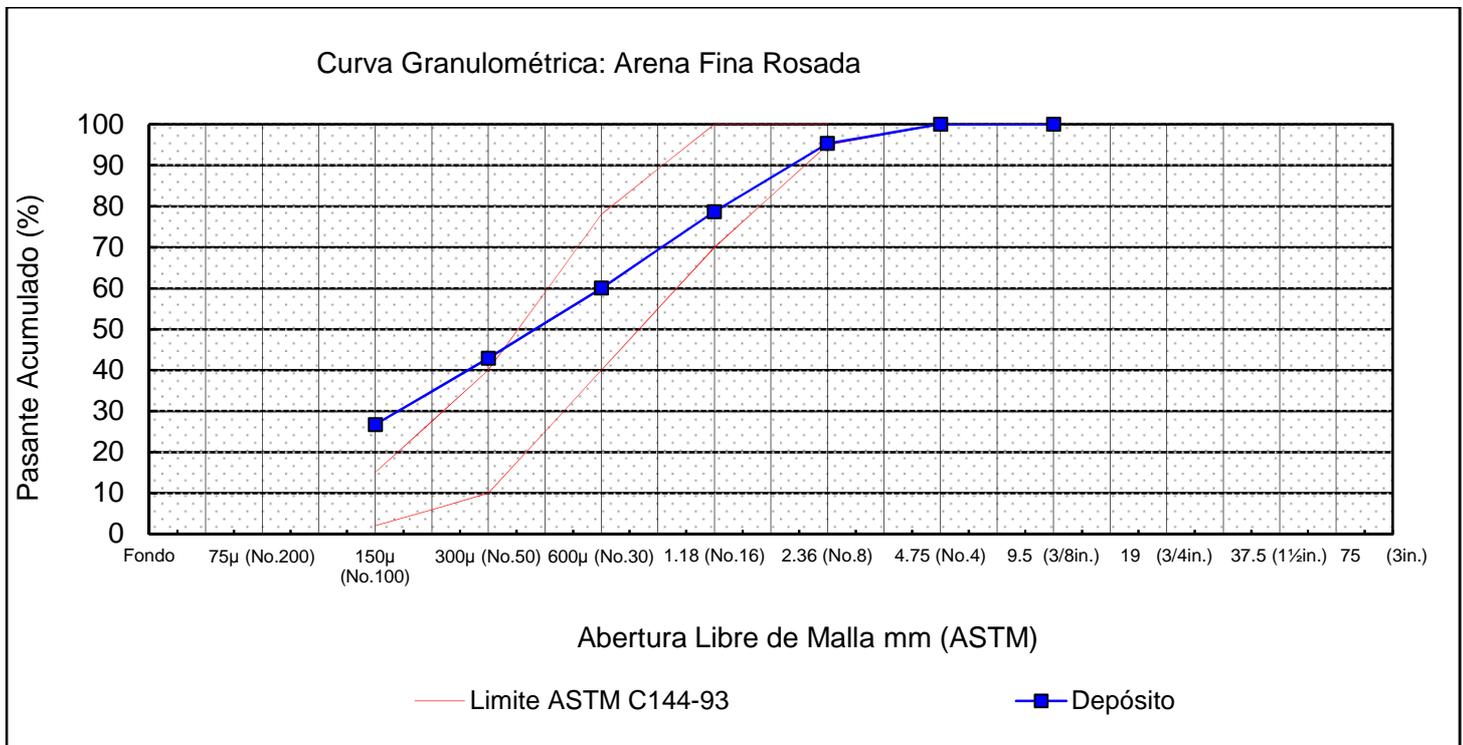


Gráfico 5.3.2b "Curva granulométrica: arena fina rosada"

Se puede observar en las dos granulometrías que las arenas son más finas de lo que admite la norma.

- **Densidad y Porcentaje de Absorción:**

Procedimiento de ensayo: El método de ensayo se encuentra especificado en la norma ASTM C128-93. El ensayo consiste en secar la arena en horno, y luego sumergirla en agua por 24 horas con el propósito de llenar los poros. Cumplido este tiempo, la muestra es retirada del agua y es secada sutilmente para obtener la superficie seca y los poros saturados. Para saber si la arena se encuentra saturada con superficie seca es necesario realizar la prueba del cono truncado. Esta prueba consiste en llenar el cono con la muestra, luego se apisona 25 veces dejando caer el pisón desde una altura de 5mm, al final se debe enrasar. Cuando se retira el cono, la arena tiene la forma de éste, luego se debe golpear ligeramente el cono de arena y si la arena resbala a un ángulo de 45° es porque ya se obtuvo la condición de saturado con superficie seca.

Para obtener la densidad se llena parcialmente un picnómetro con agua. Se introduce en el picnómetro 500g de la arena fina saturada con superficie seca y se completa con agua hasta la marca de calibración del picnómetro. Se debe agitar el picnómetro para eliminar las burbujas de aire. A continuación se determina la masa total del picnómetro, la muestra y el agua. Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa para obtener el porcentaje de absorción.

$$\text{Densidad} : 997.5 \times \frac{S}{B + S - C}$$

Donde S: Masa de muestra saturada con superficie seca.

B: Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración.

C: Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración.

$$\% \text{ absorción} : \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde S: Masa de muestra saturada con superficie seca.

A: Masa de la muestra seca al horno.

A continuación se presentan las densidades y porcentajes de absorción para los dos tipos de arena.

	Arena fina rosada	Arena fina café claro
Densidad (saturada con superficie seca)	2545kg/m ³	2540kg/m ³
%absorción	2.50%	3.70%

Tabla 5.3.2d "Densidad y porcentaje de absorción"

- **Porcentaje de material más fino que 75 µm (pasante tamiz No.200):**

Procedimiento de ensayo: El método de ensayo se encuentra especificado en la norma ASTM C117. Este método consiste en secar la muestra de arena y obtener el peso para luego proceder al lavado de la muestra haciéndole pasar por el tamiz No.200 para eliminar el material fino. A continuación se seca la muestra, se obtiene el peso y se calcula el porcentaje de finos que se eliminó. Cálculo de la cantidad de material fino que pasa el tamiz No.200 por lavado:

$$P = \frac{M - N}{M} \times 100$$

Donde:

P= Porcentaje del material más fino que el tamiz de 75 µm (No.200) por lavado

M= Masa original seca de la muestra, g.

N= Masa seca de la muestra después del lavado, g.

	Arena fina rosada	Arena fina café claro
Porcentaje de fino (pasante No.200)	14.10%	18.20%

Tabla 5.3.2e "Porcentaje del material más fino que el tamiz No.200"

- **Colorimetría**

Procedimiento de ensayo: El método de ensayo se encuentra especificado en la norma ASTM C40-04. El ensayo consiste en llenar 130ml de la muestra de arena en una probeta de vidrio, y a continuación se añade una solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de agregado fino y líquido sea aproximadamente 200 ml. Se sacude la probeta y se la deja reposar durante 24 horas. A continuación se define el color del líquido sobre la muestra de ensayo y se lo compara con el vidrio de color normalizado. Se registra si el color del líquido sobre la muestra es más claro, más oscuro o igual al vidrio de color normalizado. Los grados de coloración n°1 y n°2 están permitidos por la norma para realizar mezclas de mortero. Las dos arenas obtuvieron un color n°2 es decir que no tienen material orgánico que afecte las mezclas de mortero.

5.3.2.1 Pruebas de conservación de consistencia de mortero larga vida con arena rosada y arena café claro de San Antonio.

Como ya se mencionó en el capítulo 2, una de las especificaciones de los productores de los aditivos dice que el MLV durante su vida útil (en el caso de este proyecto: doce horas) tiene que conservar su consistencia plástica perdiendo máximo 10mm de su consistencia inicial, es decir tiene que debe comenzar con $60\text{mm} \pm 2$ y luego de doce horas terminar con $50\text{mm} \pm 2$. Por esta razón, para evaluar la conservación de la consistencia del MLV con la arena rosada y la arena café, se hicieron diseños de prueba con diferentes dosis de aditivo retardante (el procedimiento de diseño del MLV se encuentra descrito en el capítulo 6). El aditivo retardante se dosifica con mínimo el 0.5 % y máximo el 1.5% de la cantidad de cemento utilizada en el diseño, mientras que el inclusor de aire se dosifica con mínimo el 0.4% y máximo el 1% de la cantidad de cemento.

Se hizo tres diseños de prueba con diferentes dosis de aditivo para cada arena: 1.1%, 1.3% y 1.5%. El aditivo inclusor de aire en las tres pruebas se le mantuvo al 0.8%.

A continuación se presenta los diseños de prueba utilizados para realizar las evaluaciones de la conservación de la consistencia del MLV.

Con arena fina rosada

	1m³	15 litros
Cemento	280kg	4.2kg
Arena	1530kg	22.95kg
Agua	305kg	4.58kg

Con arena fina café claro

	1m³	15 litros
Cemento	280kg	4.2kg
Arena	1480kg	22.2kg
Agua	325kg	4.88kg

En los siguientes gráficos se muestran las conservaciones de consistencia de los MLV con cada una de las arenas y las diferentes dosis de retardante utilizadas.

- Pruebas con arena fina rosada

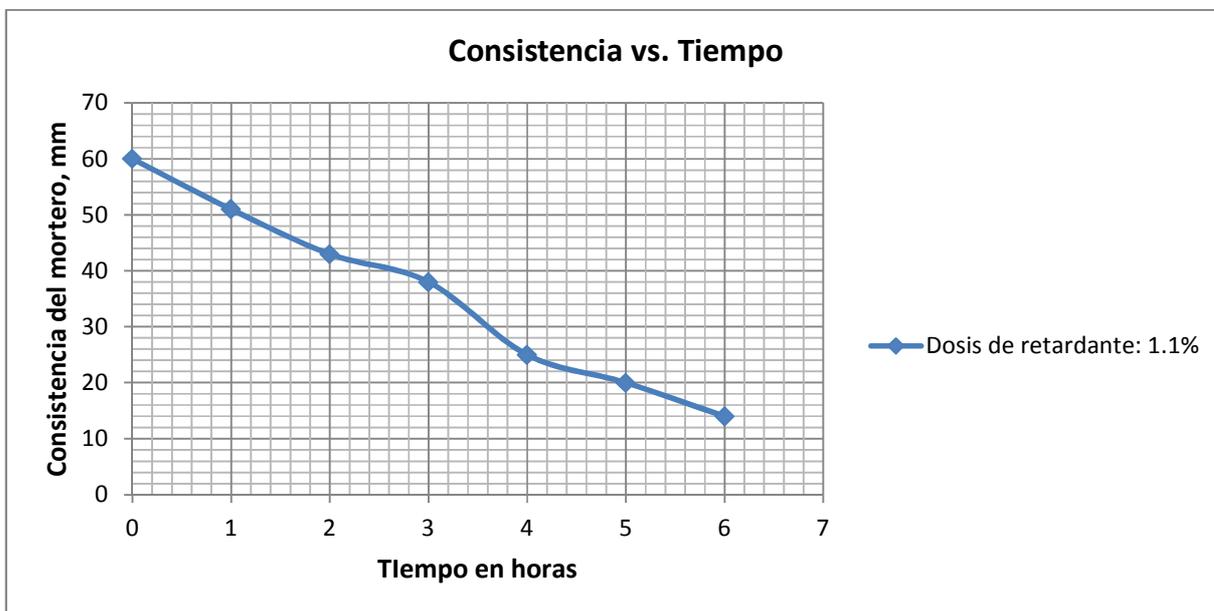


Gráfico 5.3.2.1a "Conservación de consistencia, Mortero con arena rosada, dosis de retardante: 1.1%"

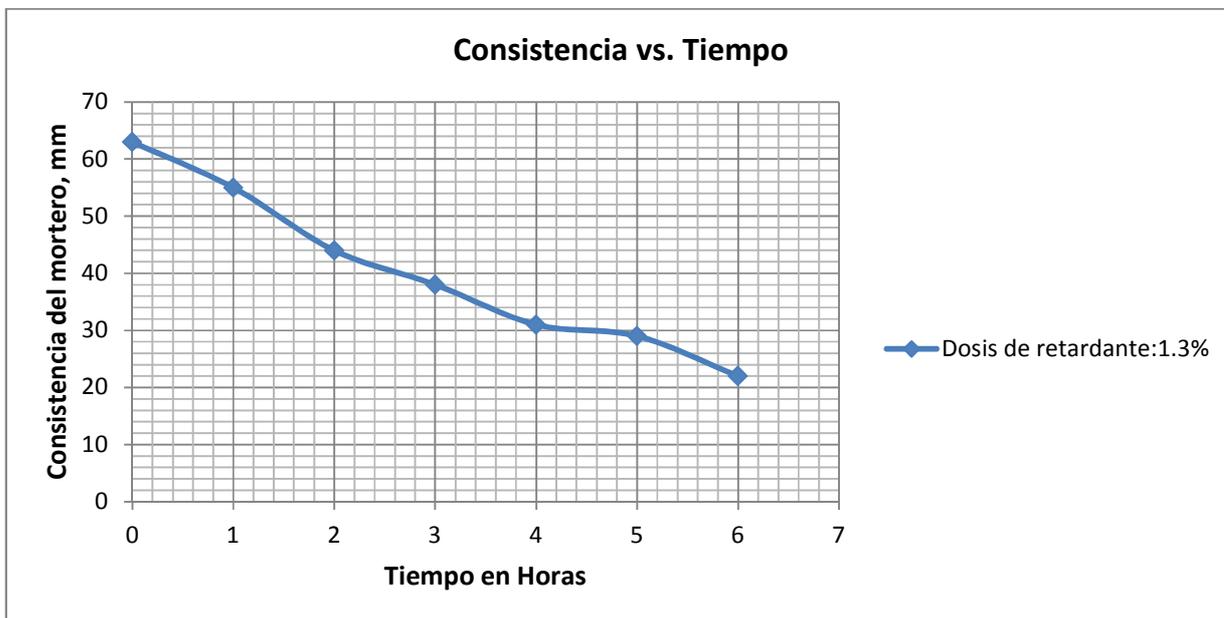


Gráfico 5.3.2.1b "Conservación de consistencia, Mortero con arena rosada, dosis de retardante: 1.3%"



Gráfico 5.3.2.1c "Conservación de consistencia, Mortero con arena rosada, dosis de retardante: 1.5%"

- **Pruebas con arena fina café claro**

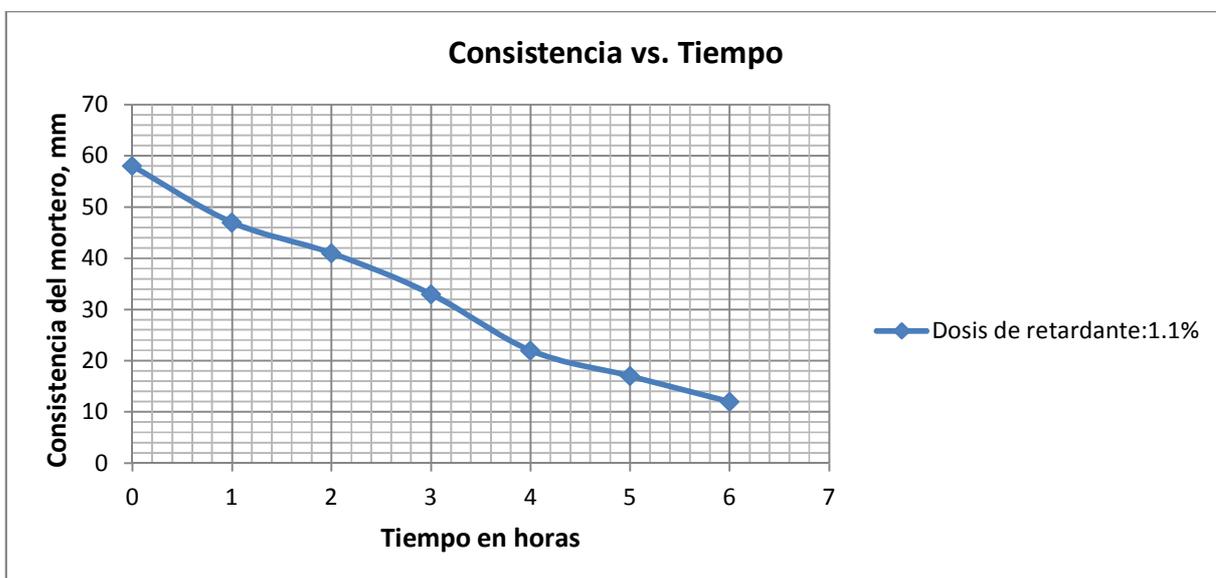


Gráfico 5.3.2.1d "Conservación de consistencia, Mortero con arena café claro, dosis de retardante: 1.1%"

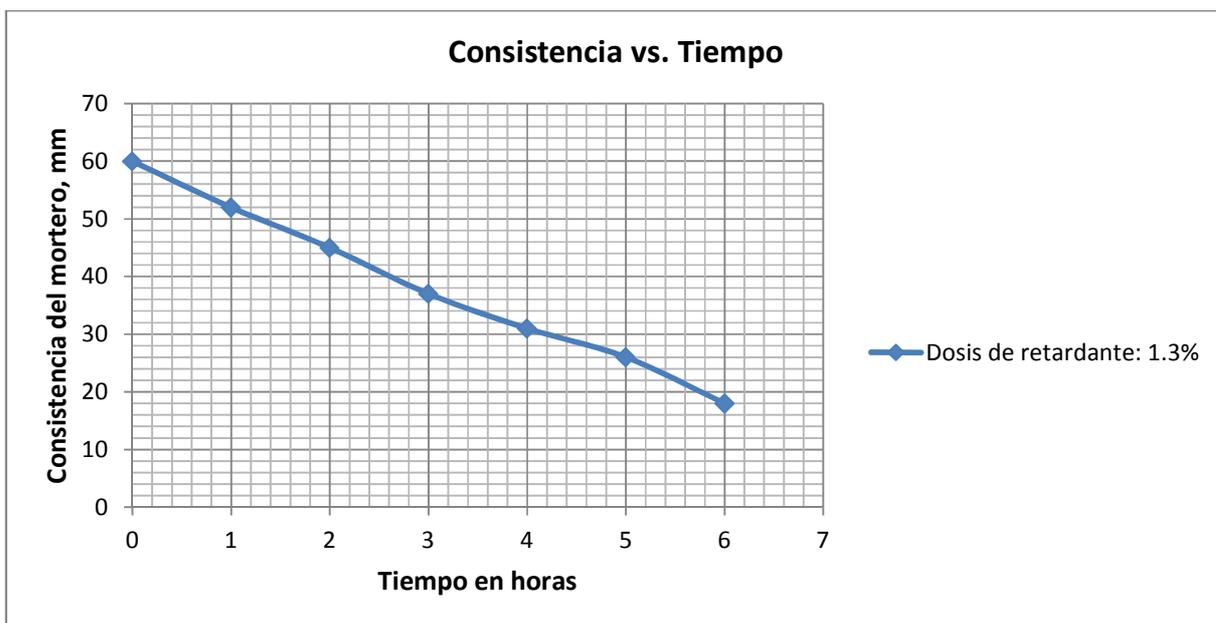


Gráfico 5.3.2.1e "Conservación de consistencia, Mortero con arena café claro, dosis de retardante: 1.3%"

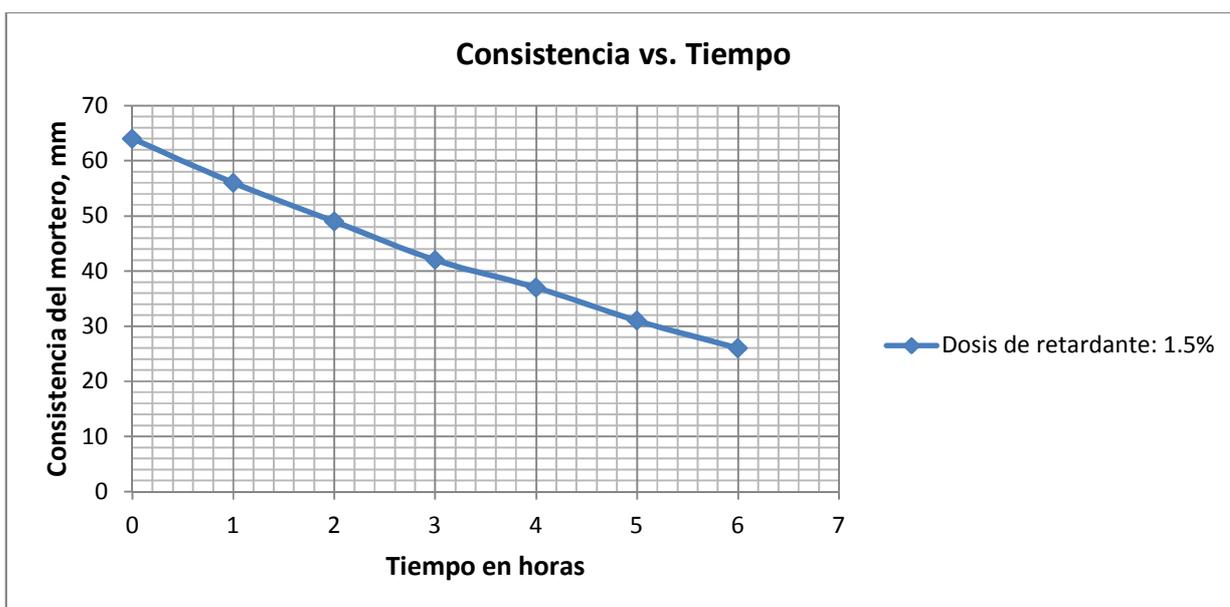


Gráfico 5.3.2.1f "Conservación de consistencia, Mortero con arena café claro, dosis de retardante: 1.5%"

Se puede observar en los gráficos de la conservación de la consistencia del MLV que en todos los casos el mortero pierde más de 10mm de su consistencia en tan solo dos horas, comenzando con una consistencia plástica y terminando a las seis horas con una consistencia muy seca e intrabajable. Incluso con la mayor dosis (1.5% de la cantidad de cemento) que se puede agregar al mortero la consistencia se pierde muy rápidamente.

La rápida pérdida de la consistencia del mortero larga vida se debió al alto porcentaje de finos (pasante No.200) que contienen las arenas de la cantera de San Antonio. Esto se comprobó al realizar una prueba de conservación de consistencia del mortero con la arena lavada del río Guayllabamba, que contiene tan solo el 3 % de finos (pasante No.200). A continuación se presenta una gráfica del resultado de la prueba realizada con dicha arena.

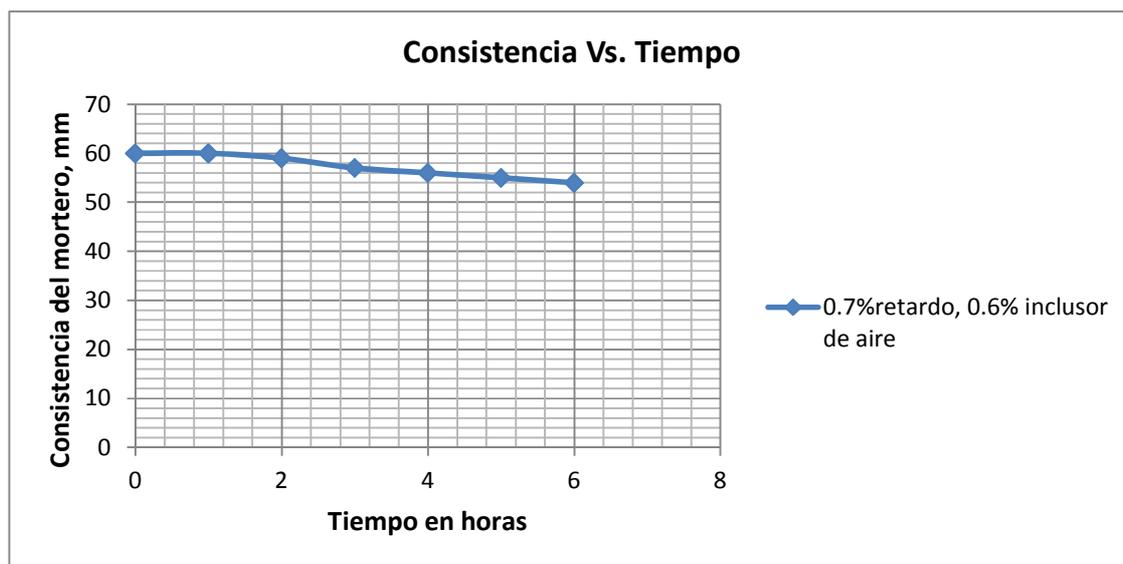


Gráfico 5.3.2.1g “Conservación de consistencia, Mortero con arena lavada de Guayllabamba”.

Se puede observar que el mortero mezclado con la arena lavada de Guayllabamba pierde tan solo 6mm en seis horas con el 0.7% de aditivo retardante.

Se puede concluir que en las primeras horas el mortero mezclado con la arena fina de San Antonio experimenta una pérdida de su agua de mezcla que produce un secamiento prematuro. Esto ocurre porque una vez mezclado el mortero, su agua de mezcla empieza a entrar en contacto con el material fino de la arena; lo que no sucede con el mortero mezclado con la arena de Guayllabamba que siendo una arena con poco porcentaje de finos no pierde abruptamente su agua de mezcla conservando así la consistencia.

No se eligió la arena de Guayllabamba ya que no cumplía con el parámetro del módulo de finura establecido por los productores de los aditivos del MLV, ni tampoco cumplía con la norma ASTM C40-04 ya que contiene un grado de coloración número 4, es decir que contiene alto material orgánico para producir morteros.

Para resolver el problema de la pérdida rápida de la consistencia del mortero con la arena de San Antonio se realizó una prueba experimental que resultó exitosa. Esta prueba consistió en preparar un mortero con aditivos con una consistencia fluida para dejarlo reposar durante la noche. El objetivo es que durante toda la noche el agua de mezcla del mortero se ponga en contacto con el material fino de la arena. Al día siguiente el mortero se volvió a mezclar y se obtuvo una consistencia plástica. A partir de ahí el mortero conservó durante doce horas su consistencia plástica perdiendo menos de 10mm de su consistencia inicial. A continuación se presenta el diseño para un metro cúbico y los resultados de la prueba experimentales con la arena rosada.

Cemento	280 kg/m ³
Arena	1584 kg/m ³
Agua	382 kg/m ³
Retardante	0.90%
Incluser de aire	0.50%

Tabla 5.3.2.1c "Diseño de prueba, arena rosada"

Descripción de la prueba

Primero, a las cuatro de la tarde del 21 de junio del 2010 se mezclaron los materiales (cemento, arena, agua y aditivos) y se colocó el mortero en un recipiente (mortero recién preparado). A continuación se evaluó el mortero y se obtuvo la consistencia, el porcentaje de aire incluido y el peso unitario. Finalmente se tapó el recipiente (para evitar que el agua del mortero se seque) y se dejó reposar el mortero durante toda la noche dentro del laboratorio. Al día siguiente a las ocho de la mañana, se colocó el mortero en la mezcladora para volver a mezclarlo (mortero remezclado). Luego, se evaluó el mortero remezclado para obtener sus datos principales ya mencionados.

Datos del mortero recién preparado:

Fecha de preparación	21/06/2010
Hora de preparación	4:00pm
Consistencia inicial del mortero	79mm
Peso Unitario	1932kg/m ³
% de aire incluido	8%

Datos del mortero remezclado al día siguiente:

Fecha de la remezcla	22/06/2010
Hora de la remezcla	8:00am
consistencia inicial del mortero	61mm
Peso unitario	1860kg/m ³
% de aire	13.20%

Gráfico de la conservación de la consistencia del mortero remezclado.

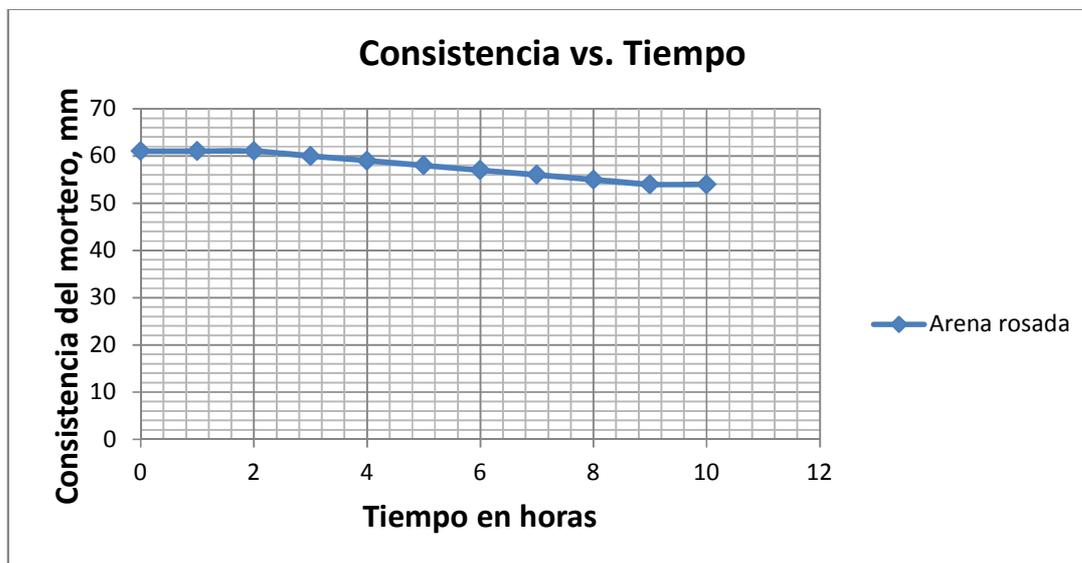


Gráfico 5.3.2.1h” Conservación de consistencia, Mortero remezclado, arena rosada”

Se puede ver que el mortero remezclado pierde tan solo 5mm de consistencia en diez horas. A partir de este resultado todas las pruebas de MLV se realizaron de esta manera, es decir, preparando el mortero en la tarde (**mortero recién preparado**), dejándole reposar durante la noche, y finalmente al día siguiente volviéndolo a mezclar (**mortero remezclado**). Cabe recalcar que el mortero remezclado es el mortero que será entregado al cliente una vez que se obtenga el producto terminado.

5.4. Aditivos

A diferencia del mortero convencional, el MLV está compuesto de un sistema de aditivos que comprende un aditivo retardante y un aditivo inclusor de aire. En este proyecto se usó

el sistema de aditivos Eucon, que es muy utilizado en Colombia y en otros países de Latinoamérica.

Eucon LV parte A

Este aditivo es un líquido de color transparente turbio de baja viscosidad y actúa como retardante y está libre de cloruros.

Eucon LV parte B

Este aditivo es un líquido de color verde de baja viscosidad. Es un incorporador de aire y estabilizador de morteros y está libre de cloruros.

La cantidad de Eucon LV Parte A depende del tiempo de retardo requerido, de la temperatura ambiente y de las características de las arenas. La dosis recomendada está entre el 0,4% y el 1,5% del peso del cemento utilizado en la mezcla. Mientras que la dosis de Eucon LV Parte B depende de la cantidad de aire requerida para obtener un mortero de buenas características, ésta debe dosificarse del 0,4% al 1% del peso del cemento utilizado en la mezcla.

Datos técnicos

Producto	Densidad	Ph	%sólidos
Eucon LV Parte A	1,245 kg/l	5,5	52
Eucon LV Parte B	1 kg/l	7	4,5

Capítulo 6

Diseño de Mortero Larga Vida

El objetivo principal de este proyecto es diseñar MLV para ser comercializado y distribuido a través de Holcim Ecuador. Para esto se realizarán dos diseños diferentes de mortero larga vida ya que como se vio en el capítulo anterior las mezclas de mortero se realizarán con dos tipos de arena (arena fina rosada y arena fina café claro) que tienen granulometrías muy similares pero diferentes absorciones y diferentes porcentajes de finos.

6.1 Características del MLV a diseñar

El MLV que se va a diseñar en este proyecto es un mortero que va a ser utilizado tanto como para pegar unidades de mampostería como para enlucir paredes de bloques o secciones estructurales. El mortero va a tener una vida útil de doce horas y para esto el mortero tiene que mantener una consistencia plástica durante todo este tiempo (empezar con $60\text{mm} \pm 2$ y luego de doce horas terminar con $50\text{mm} \pm 2$). El contenido de aire puede estar entre el 12 y el 18% según la norma NTC 3356.

Según la norma ASTM C270 las resistencias de un mortero para pega y un mortero para enlucido no pueden ser inferiores a 50kg/cm^2 y pueden alcanzar resistencias de hasta 75kg/cm^2 . Con estas referencias las resistencias que se desean obtener para el mortero larga vida tienen que bordear los 75kg/cm^2 y no tener menos de 50kg/cm^2 .

6.2 Procedimiento de diseño

El diseño del MLV empieza con el diseño de un mortero patrón (tradicional) al cual se le añadirá el sistema de aditivos. A continuación se hará un ajuste de volumen al mortero patrón con aditivos puesto que tendrá aire incluido. Luego del ajuste de volumen se obtendrá el diseño del mortero larga vida en estado saturado con superficie seca (DSSS).

6.2.1 Diseño Mortero Patrón

Para el diseño de cualquier tipo de hormigón existe una recomendación de diseño llamada *American Concrete Institute (ACI)* que es muy utilizada alrededor del mundo. Para el diseño de mortero no existen tales recomendaciones. Por esta razón para el diseño del mortero patrón nos basaremos en las proporciones de cemento y arena (cemento: arena) utilizadas para los diferentes tipos de mortero según su uso.

En el capítulo 2 se presentó la siguiente tabla de las proporciones de cemento y arena de morteros:

1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y enlucidos de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para bloques y baldosas.
1:5	Enlucidos exteriores e interiores, pega de bloques.
1:6 y 1:7	Enlucidos interiores.

Según la tabla se puede usar la proporción 1:5 para pegar bloques y para enlucir. De igual manera en la investigación de la preparación de morteros en obra se pudo constatar que la proporción más usada para pegar bloques y para enlucir es de 1:5.

Los diseños de mortero patrón se realizarán con esa proporción (1:5) ya que es la más utilizada para el respectivo uso del mortero.

Después de haber determinado una proporción de cemento: arena, es necesario determinar la relación agua-cemento que tendrá el mortero dependiendo la consistencia que se requiere obtener.

Con la proporción de cemento: arena y con la relación agua-cemento nos podemos imponer una cantidad de cemento para un metro cúbico de mortero y comprobar si la proporción de cemento: arena está alrededor de lo requerido.

Ejemplo

Densidades de los materiales

Materiales	Densidades
Cemento	2980 kg/m ³
Arena	2545 kg/m ³
Agua	1000 kg/m ³

En este ejemplo escogemos una cantidad en peso de cemento de 250 kg/m³ de mortero. Y si determinamos una relación agua-cemento igual a 1, la cantidad en peso de agua será la misma que la del cemento. Dividiendo las masas por sus densidades obtenemos el volumen de cada material.

$$\text{Para el cemento el volumen es igual a: } \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}} = \frac{250\text{kg}}{2980\text{kg/m}^3} = 0.098\text{m}^3$$

$$\text{Para el agua el volumen es igual a: } \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}} = \frac{250\text{kg}}{1000\text{kg/m}^3} = 0.250\text{m}^3$$

Si sumamos estos volúmenes tenemos un total de 0.348 m³. Es decir que para llegar a un metro cúbico faltaría 0.652 m³ de arena.

La cantidad en peso de la arena es igual a:

$\text{Densidad} \times \text{Volumen} = 2545\text{kg/m}^3 \times 0.652\text{m}^3 = 1659\text{kg}$. De esta manera obtenemos el siguiente diseño:

Materiales	Masa	Volumen
Cemento	250 kg	0.098 m ³
Agua	250 kg	0.250 m ³
Arena	1659 kg	0.652 m ³
Total	2159 kg	1.000 m³

A continuación determinamos la proporción de cemento: arena dividiendo la masa de arena para la masa de cemento:

$$\frac{\text{masa de arena}}{\text{masa de cemento}} = \frac{1659\text{kg}}{250\text{kg}} = 6.63$$

La proporción de cemento: arena es igual a 1: 6.63.

Debido a que se requería una proporción cercana a 1:5, la cantidad de cemento tiene que aumentarse.

De esta manera se realizaron los diseños de mortero patrón con los dos tipos de arena. Los diferentes diseños se presentan a continuación.

- **Diseño Mortero Patrón con arena rosada**

Para este diseño se usó 300kg de cemento para un metro cúbico de mortero. Y luego de varias pruebas la relación agua-cemento escogida para que el mortero remezclado tenga una consistencia $60\text{mm} \pm 2$ fue de 1.04. Así el diseño obtenido quedó de la siguiente manera.

Materiales	Masa	Volumen
Cemento	300 kg	0.1007 m ³
Agua	312 kg	0.312 m ³
Arena	1495 kg	0.5873 m ³
Total	2106.7kg	1.000 m³

Donde la proporción cemento: arena es 1:4.8.

Con este diseño se realizaron tres pruebas para obtener un promedio de peso unitario, de porcentaje de aire incluido naturalmente y consistencia.

Pruebas Mortero Patrón	1	2	3
Peso Unitario	2070kg/m ³	2081kg/m ³	2073kg/m ³
%incluido naturalmente	3.20%	3%	3.10%
Consistencia (5 min de mezcla)	63mm	62mm	62mm

PROMEDIO:

Peso Unitario:	2075.00 kg/m ³
% aire incluido naturalmente:	3.10%
consistencia:	62 mm
Rendimiento:	1.015 m ³
Rendimiento menos % de aire incluido:	0.99 m ³

El rendimiento es el volumen que se obtiene al dividir la suma de las masas de los materiales para la densidad obtenida (Peso Unitario).

- **Diseño Mortero Patrón con arena café claro**

Para este diseño se usó 320kg de cemento para un metro cúbico de mortero. Y luego de varias pruebas la relación agua-cemento escogida para que el mortero remezclado tenga una consistencia $60\text{mm} \pm 2$ fue de 1. Así el diseño obtenido quedó de la siguiente manera.

Materiales	Masa	Volumen
Cemento	320 kg	0.1074 m ³
Agua	320 kg	0.320 m ³
Arena	1454 kg	0.5726 m ³
Total	2094.5kg	1.000 m³

Donde la proporción cemento: arena es 1:4.5.

Con este diseño se realizaron tres pruebas para obtener un promedio de peso unitario, de porcentaje de aire incluido naturalmente y consistencia.

Pruebas Mortero Patrón	1	2	3
Peso Unitario	2027kg/m ³	2022kg/m ³	2030kg/m ³
%incluido naturalmente	3.0%	3.2%	3%
Consistencia (5 min de mezcla)	61mm	60mm	60mm

PROMEDIO:

Peso Unitario:	2026.33 kg/m ³
% aire incluido naturalmente:	3.07%
Consistencia:	60 mm
Rendimiento:	1.034 m ³
Rendimiento menos % de aire incluido naturalmente:	1.003 m ³

6.2.2 Mortero Patrón con aditivos, Ajuste de volumen y diseño MLV

A las pruebas de mortero patrón realizadas se agregó el sistema de aditivos, para dejarlas reposar durante la noche y al día siguiente evaluar las consistencias, pesos unitarios, y porcentajes de aire incluidos para luego hacer el ajuste de volumen correspondiente.

- **Mortero Patrón con aditivos con arena rosada**

Para este diseño se agregó el 0.85% de retardante (LV parte A) y el 0.7% de incluso de aire (LV parte B) para que cumpla con los requerimientos del mortero larga vida de doce horas. Estas cantidades de aditivos fueron escogidas después de haber variado las dosis de los aditivos y haber realizado bastantes pruebas. A continuación se presenta los datos de los morteros con aditivos.

Mortero Patrón 1 con aditivos.

Fecha de preparación	18/08/2010
Hora de preparación	4:00pm
Consistencia del mortero	83mm
Peso Unitario	2013.5kg/m ³
% de aire incluido	5.50%

Tabla "Datos del mortero recién preparado"

Fecha de remezcla	19/08/2010
Hora de remezcla	8:00am
Consistencia del mortero	64mm
Peso Unitario	1853kg/m ³
% de aire incluido	13.60%

Tabla "Datos del mortero remezclado"

Mortero Patrón 2 con aditivos.

Fecha de preparación	18/08/2010
Hora de preparación	5:00pm
Consistencia del mortero	82mm
Peso Unitario	2003kg/m ³
% de aire incluido	6.10%

Tabla "Datos del mortero recién preparado"

Fecha de remezcla	19/08/2010
Hora de remezcla	8:30am
Consistencia del mortero	62mm
Peso Unitario	1874.5 kg/m ³
% de aire incluido	13.20%

Tabla "Datos del mortero remezclado"

Mortero Patrón 3 con aditivos.

Fecha de preparación	18/08/2010
Hora de preparación	6:00pm
Consistencia del mortero	82mm
Peso Unitario	2007kg/m ³
% de aire incluido	6.00%

Tabla "Datos del mortero recién preparado"

Fecha de remezcla	19/08/2010
Hora de remezcla	9:00am
Consistencia del mortero	63mm
Peso Unitario	1870 kg/m ³
% de aire incluido	13.20%

Tabla "Datos del mortero remezclado"

Los datos más importantes son los datos de la remezcla del día siguiente ya que ese mortero será el entregado a los clientes. El porcentaje promedio de aire incluido al día siguiente es 13.3%. Para el ajuste de volumen del mortero se va a disminuir al volumen total del mortero la diferencia entre el porcentaje promedio de aire incluido por aditivo y el porcentaje promedio de aire incluido naturalmente. El ajuste de volumen se hace como sigue:

Porcentaje promedio de aire incluido por aditivo – Porcentaje promedio incluido naturalmente: $13.3\% - 3.1\% = 10.2\%$.

Se disminuirá el 10.2% al volumen total de mortero sin disminuir la cantidad de cemento original. Es decir que solo se disminuirá el volumen de arena y agua.

Volumen original de mezcla de mortero patrón: 1m³

Volumen disminuido el 10.2%: 0.898m³

Cemento	0.1007 m ³	} 0.7973m³
Arena	m ³	
Agua	m ³	
Total:	0.8980 m³	

El volumen total de arena y agua luego de ajuste es: $0.8980m^3 - 0.1007m^3 = 0.7973m^3$

Para saber qué cantidad corresponde de arena y de agua a este volumen, tenemos que ver los porcentajes que ocupan la arena y el agua en el volumen total (de arena y agua) del mortero patrón.

El volumen total de arena y de agua del mortero patrón es:
 $0.312m^3 + 0.5873m^3 = 0.8993m^3$

- $0.5873m^3$ de arena en $0.8993m^3$ de mezcla (arena y agua) corresponde a: 65.31%
- $0.312m^3$ de agua en $0.8993 m^3$ de mezcla (arena y agua) corresponde a: 34.69%

Con estos porcentajes sabemos la cantidad que corresponde de arena y de agua en el nuevo volumen.

- $volumen\ de\ arena = 0.7973m^3 \times 65.41\% = 0.5207m^3$
- $volumen\ de\ agua = 0.7973m^3 \times 34.68\% = 0.2765m^3$

Cemento	0.1007 m3	} $0.7973 m^3$
Arena	0.5207 m3	
Agua	0.2765 m3	
<hr/> total	<hr/> 0.8980 m3	

Finalmente para obtener las masas de cada material se multiplica su volumen por su respectiva densidad:

$$\text{Masa de Cemento} = \text{volumen} \times \text{densidad} = 0.1007m^3 \times 2980kg / m^3 = 300kg$$

$$\text{Masa de Arena} = \text{volumen} \times \text{densidad} = 0.5207 \times 2545kg / m^3 = 1325kg$$

$$\text{Masa de agua} = \text{volumen} \times \text{densidad} = 0.277m^3 \times 1000kg / m^3 = 277kg$$

El diseño con la reducción de volumen queda como sigue:

Materiales	Masa	Volumen
Cemento	300 kg	$0.1007m^3$
Agua	277kg	$0.277m^3$
Arena	1325 kg	$0.5207 m^3$
Total	1902kg	$0.8980 m^3$

Y agregando los aditivos tenemos:

Mezcla	
DSSS	
CEMENTO	300 kg/m ³
ARENA	1325 kg/m ³
AGUA	277 kg/m ³
LV PARTE A (0.85%)	2.55 kg/m ³
LV PARTE B (0.70%)	2.1 kg/m ³
Masa vol.SSS	1906.65 kg/m ³

Determinamos finalmente la proporción cemento: arena,

$$\frac{\text{Masa de arena}}{\text{Masa de cemento}} = \frac{1325\text{kg}}{300\text{kg}} = 4.4$$

La proporción cemento: arena es 1:4.4.

- **Mortero Patrón con aditivos con arena café claro**

En este diseño también se usó el 0.85% de retardante (LV parte A) y el 0.7% de inclusor de aire (LV parte B). Como en el diseño anterior esta dosificación de aditivos fueron escogidas después de haber realizado varias pruebas y haber variado las dosis de aditivos. A continuación se presenta los datos de los morteros con aditivos.

Mortero Patrón 1 con aditivos.

Fecha de preparación	05/10/2010
Hora de preparación	4:00pm
Consistencia del mortero	79mm
Peso Unitario	1837kg/m ³
% de aire incluido	13.5%

Tabla "Datos del mortero recién preparado"

Fecha de remezcla	06/10/2010
Hora de remezcla	8:00am
Consistencia del mortero	60mm
Peso Unitario	1750kg/m ³
% de aire incluido	15.60%

Tabla "Datos del mortero remezclado"

Mortero Patrón 2 con aditivos.

Fecha de preparación	05/10/2010
Hora de preparación	5:00pm
Consistencia del mortero	80mm
Peso Unitario	1830kg/m ³
% de aire incluido	13.70%

Tabla "Datos del mortero recién preparado"

Fecha de remezcla	06/10/2010
Hora de remezcla	8:15am
Consistencia del mortero	60mm
Peso Unitario	1744 kg/m ³
% de aire incluido	15.7%

Tabla "Datos del mortero remezclado"

Mortero Patrón 3 con aditivos.

Fecha de preparación	05/10/2010
Hora de preparación	6:00pm
Consistencia del mortero	79mm
Peso Unitario	1835kg/m ³
% de aire incluido	13.50%

Tabla "Datos del mortero recién preparado"

Fecha de remezcla	06/10/2010
Hora de remezcla	8:45am
Consistencia del mortero	61mm
Peso Unitario	1748 kg/m ³
% de aire incluido	15.60%

Tabla "Datos del mortero remezclado"

Los datos más importantes son los datos de la remezcla del día siguiente ya que ese mortero será el entregado a los clientes. El porcentaje promedio de aire incluido al día siguiente es 15.6%. Para el ajuste de volumen del mortero se va a disminuir al volumen total del mortero la diferencia entre el porcentaje promedio de aire incluido por aditivo y el porcentaje promedio de aire incluido naturalmente. El ajuste de volumen se hace como sigue:

Porcentaje promedio de aire incluido por aditivo – Porcentaje promedio incluido naturalmente: $15.6\% - 3.07\% = 12.53\%$.

Se disminuirá el 12.53% al volumen total de mortero sin disminuir la cantidad de cemento original. Es decir que solo se disminuirá el volumen de arena y agua.

Volumen original de mezcla de mortero patrón: 1m³

Volumen disminuido el 12.53%: 0.8747m³

Cemento	0.1074 m ³	
Arena	m ³	} 0.7673 m ³
Agua	m ³	
<hr/>		
Total:	0.8747 m ³	

El volumen total de arena y agua luego de ajuste es: $0.8747m^3 - 0.1074m^3 = 0.7673m^3$

Para saber qué cantidad corresponde de arena y de agua a este volumen, tenemos que ver los porcentajes que ocupan la arena y el agua en el volumen total (de arena y agua) del mortero patrón.

El volumen total de arena y de agua del mortero patrón es:

$$0.320m^3 + 0.5726m^3 = 0.8926m^3$$

- $0.5726m^3$ de arena en $0.8926m^3$ de volumen (arena y agua) corresponde a: 64.15%
- $0.320m^3$ de agua en $0.8926m^3$ de volumen (arena y agua) corresponde a: 35.85%

Con estos porcentajes sabemos la cantidad que corresponde de arena y de agua en el nuevo volumen.

- $volumen\ de\ arena = 0.7673m^3 \times 64.15\% = 0.4922m^3$
- $volumen\ de\ agua = 0.7673m^3 \times 35.85\% = 0.2751m^3$

Cemento	0.1074 m ³	
Arena	0.4922 m ³	} 0.7673 m ³
Agua	0.2751 m ³	
<hr/>		
total	0.8747 m ³	

Finalmente para obtener las masas de cada material se multiplica su volumen por su respectiva densidad:

$$Masa\ de\ Cemento = volumen \times densidad = 0.1074m^3 \times 2980kg / m^3 = 320kg$$

$$Masa\ de\ Arena = volumen \times densidad = 0.4922 \times 2545kg / m^3 = 1253kg$$

$$Masa\ de\ agua = volumen \times densidad = 0.2751m^3 \times 1000kg / m^3 = 275kg$$

El diseño con la reducción de volumen queda como sigue:

Materiales	Masa	Volumen
Cemento	320 kg	0.1074m ³
Agua	275kg	0.275m ³
Arena	1253 kg	0.4922 m ³
Total	1848kg	0.8747 m³

Agregando los aditivos obtenemos:

Mezcla	
DSSS	
CEMENTO	320 kg/m ³
ARENA	1253 kg/m ³
AGUA	275 kg/m ³
LV PARTE A (0.85%)	2.72 kg/m ³
LV PARTE B (0.7%)	2.24 kg/m ³
Masa vol.sss	1852.96 kg/m ³

Determinamos finalmente la proporción cemento: arena,

$$\frac{\text{Masa de arena}}{\text{Masa de cemento}} = \frac{1253\text{kg}}{320\text{kg}} = 4$$

La proporción cemento: arena es 1:4.

6.3 Corrección de humedad

Debido a que la arena presenta cierta porosidad, el agua de mezcla puede ser absorbida dentro del cuerpo de las partículas. Por otra parte, la superficie de las partículas puede retener agua formando una película de humedad.

Si el agua de mezcla es absorbida por las partículas del agregado, la relación agua-cemento del diseño es disminuida así como su consistencia. Pero, si las partículas del agregado presentan una película de agua sobre su superficie, el contenido de agua de mezcla es incrementado, lo cual conduce a una alta relación agua-cemento del diseño y a un aumento de la consistencia. Para calcular la cantidad de agua que los agregados pueden sustraer o

adicionar a una mezcla determinada, es importante mencionar cuatro estados de humedad de los agregados. Estos son:

Seco al horno: Toda la humedad del agregado es removida por secado en horno a 105°C de temperatura hasta obtener un peso constante. Todos los poros están vacíos.

Seco al aire: Toda la humedad removida de la superficie, pero los poros internos parcialmente saturados.

Saturado con superficie seca: Todos los poros llenos de agua, pero sin película de humedad sobre la superficie de las partículas.

Húmedo: Todos los poros completamente llenos de agua y adicionalmente con una película de agua sobre la superficie de las partículas.

La arena nunca se encuentra en estado saturado con superficie seca, más bien, se halla en estado natural (con humedad). Por esta razón las dosificaciones para realizar las pruebas de mortero se hacen en estado natural y para obtener la mezcla en ese estado es necesario realizar las respectivas correcciones de humedad como sigue:

El primero paso es obtener el porcentaje de humedad de la arena que se obtiene pesando una cantidad de arena no mayor a un kilogramo para luego secarla al horno. A continuación se pesa la arena completamente seca y se obtiene el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}} \times 100$$

Cuando el porcentaje de humedad es menor al porcentaje de absorción es necesario agregar más agua de mezcla y disminuir la cantidad de arena; y cuando el porcentaje de humedad es mayor al porcentaje de absorción es necesario disminuir el agua de mezcla y aumentar la cantidad de arena. Este paso se realiza de la siguiente manera:

Primero se calcula la diferencia entre el porcentaje de absorción y el porcentaje de humedad de la arena y se obtiene un nuevo porcentaje. Se calcula a continuación la cantidad de arena del diseño (DSSS) con este nuevo porcentaje y finalmente esta es la cantidad que se disminuye al agua de mezcla y se agrega a la arena cuando la humedad es mayor que la absorción (y viceversa).

Ejemplo

Corrección de humedad para el diseño de mortero larga vida con arena café claro que tiene un porcentaje de absorción de 3.7%.

Mezcla DSSS

Materiales	Masa
Cemento	320 kg/m ³
Agua	288kg/m ³
Arena	1253 kg/m ³
Total	1861kg/m³

Calculamos el porcentaje de humedad.

masa húmeda: 500gr

masa seca: 490gr

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}} \times 100 = \frac{500\text{gr} - 490\text{gr}}{490\text{gr}} \times 100 = 2.04\%$$

Como el porcentaje de humedad es menor al porcentaje de absorción es necesario aumentar agua de mezcla y disminuir la cantidad de arena.

$$\% \text{ de absorción} - \% \text{ de humedad} = 3.7\% - 2.04\% = 1.66\%$$

El 1.66% de 1253kg de arena es: $1.66\% \times 1253\text{kg} = 20.79\text{kg}$

$$\begin{aligned} & \text{- Cantidad de agua después de corrección de humedad} = \\ & \quad 288\text{kg} + 20.79\text{kg} = 308.79\text{kg} . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{- Cantidad de arena después de corrección de humedad} = \\ & \quad 1253\text{kg} - 20.79\text{kg} = 1232.21\text{kg} . \end{aligned}$$

El diseño en estado natural queda de la siguiente manera:

Estado Natural

Materiales	Masa
Cemento	320 kg/m ³
Agua	308.8kg/m ³
Arena	1232.2kg/m ³
Total	1861kg/m³

Capítulo 7

Muestreo y resultados

Luego de haber obtenido los diseños precisos de MLV para cada tipo de arena se realizaron quince pruebas para obtener datos estadísticos de las características físicas del MLV.

7.1 Consistencias

Las consistencias iniciales del mortero recién preparado de los dos diseños están alrededor de 80mm (consistencia fluida). Y las consistencias iniciales de los morteros remezclados de los dos diseños están alrededor de 60mm.

	Consistencias Promedios	
	Consistencia inicial mortero recién preparado	Consistencia inicial mortero remezclado
Diseño arena fina rosada	80mm	62mm
Diseño arena fina café claro	81mm	59mm

Tabla 7.1 "Consistencias promedios iniciales"

7.1.1 Pérdida de la consistencia del mortero recién preparado.

El tiempo promedio que transcurre entre la preparación del mortero y la remezcla del mismo es de quince horas. Normalmente la preparación de los morteros se realizó entre las cuatro y seis de la tarde, y su remezcla se hizo entre las siete y nueve de la mañana del día siguiente. A continuación se presenta los gráficos de la pérdida de la consistencia del mortero recién preparado. Estos gráficos se obtuvieron del promedio de tres pruebas preparadas y evaluadas durante el día para cada diseño puesto que no se evaluó las consistencias a cada hora durante toda la noche.

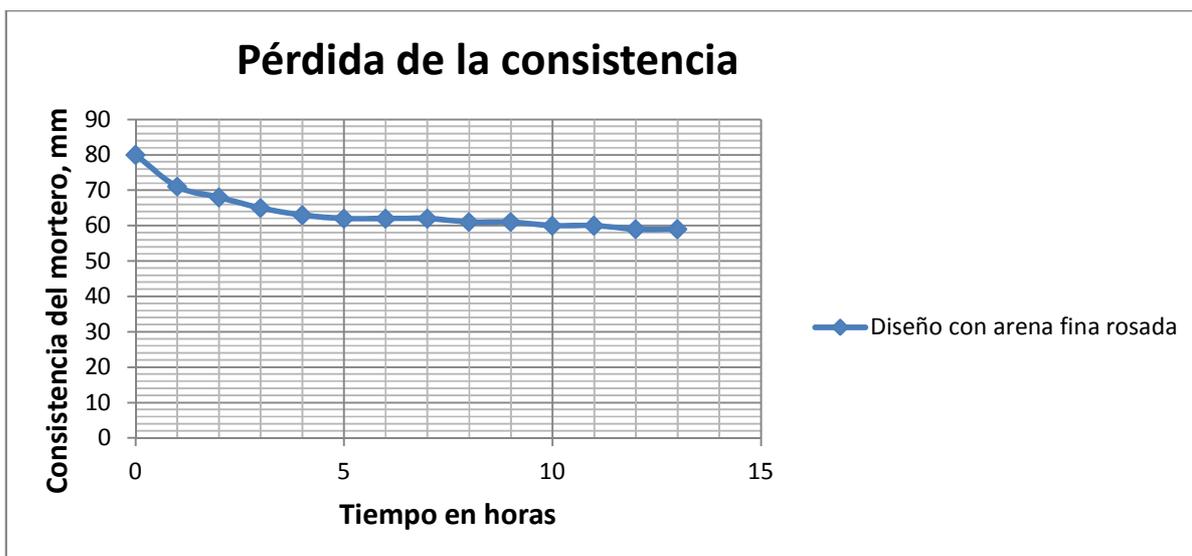


Gráfico 7.1.1a “Disminución de la consistencia del mortero con arena fina rosada desde su preparación”

En este gráfico se puede observar que en las primeras cuatro horas el mortero pierde 17mm de su consistencia. Y a partir de la quinta y sexta hora el mortero se estabiliza perdiendo en seis horas tan solo 3mm de su consistencia. Esto significa que en las primeras cinco y seis horas el agua de mezcla se pierde rápidamente al entrar en contacto con el material fino de la arena. Algo muy parecido ocurre con el diseño con la arena fina café claro.

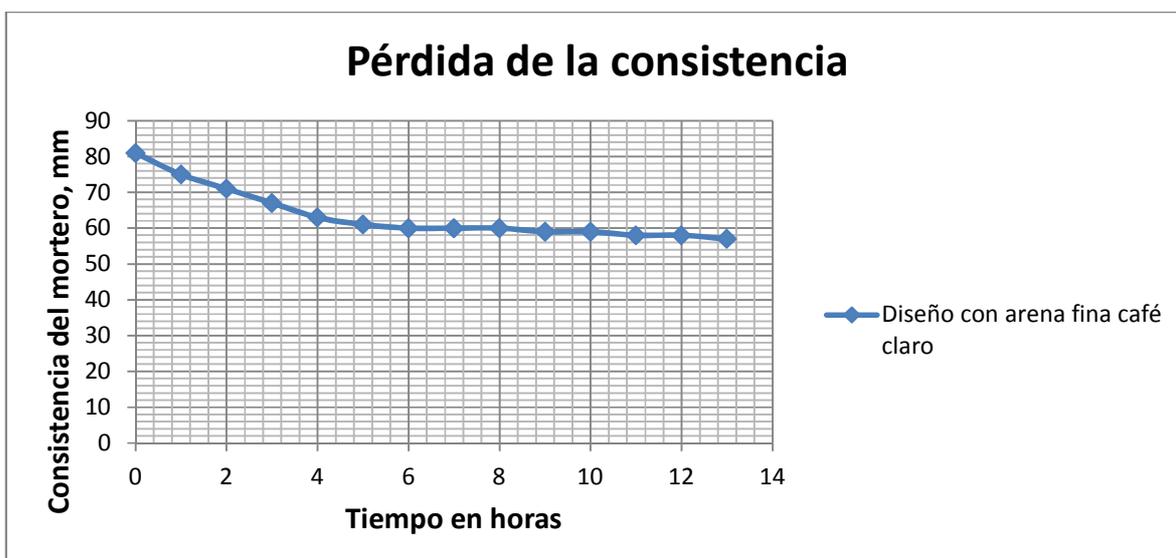


Gráfico 7.1.1b “Disminución de la consistencia del mortero con arena café claro desde su preparación”

En este caso, en las primeras cuatro horas el mortero pierde 19 mm de su consistencia e igual que en el caso anterior a partir de la quinta y sexta hora la consistencia del mortero se estabiliza perdiendo tan solo 4mm en las siguientes seis horas.

7.1.2 Conservación de la consistencia del mortero remezclado.

Como ya se dijo anteriormente, el mortero remezclado es el producto que va a ser entregado a los clientes. Por esta razón la consistencia del mortero no tiene que perder más de 10mm durante su vida de doce horas a partir de su remezcla. A continuación se presenta las curvas promedio de la conservación de la consistencia de los dos diseños.

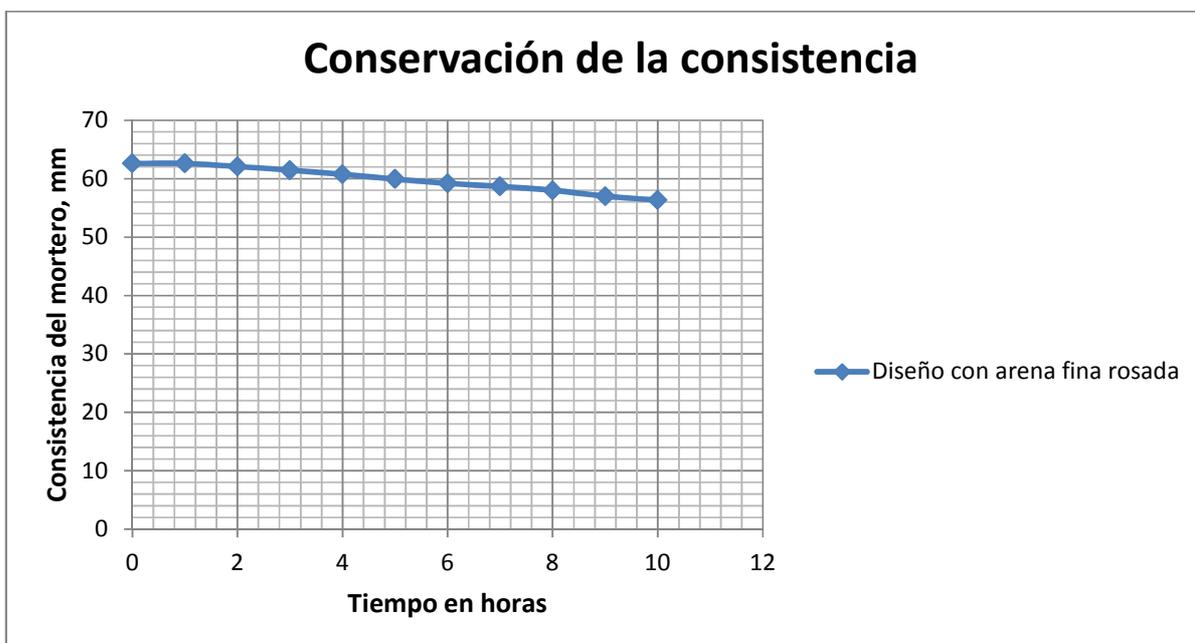


Gráfico 7.1.2a “Conservación de la consistencia del mortero remezclado, diseño con arena fina rosada”

La consistencia promedio inicial a partir de la remezcla es de 62mm y luego de diez horas la consistencia termina con 56mm. Es decir que en diez horas se pierde tan solo 6mm de consistencia, lo cual está dentro del rango esperado.

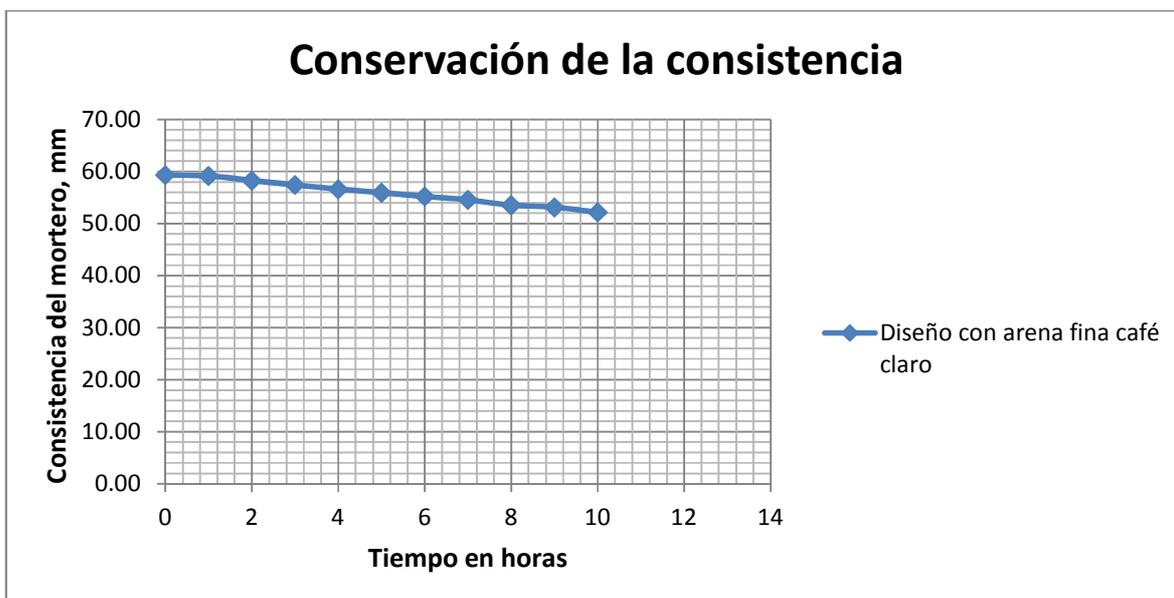


Gráfico 7.1.2b “Conservación de la consistencia del mortero remezclado, diseño con arena fina rosada”

En esta curva se puede apreciar que la consistencia inicial promedio a partir de la remezcla es 59mm y luego de diez horas se pierde 7mm de consistencia dejándole al mortero con una consistencia promedio de 52mm. De igual manera la pérdida de la consistencia del mortero se encuentra en el rango esperado.

7.2 Contenido de aire y peso unitario.

La cantidad de aire incluido en el mortero depende del tiempo de mezcla. Es decir que conforme aumenta el tiempo de mezcla aumenta también el contenido de aire del mortero pero hasta un límite de tiempo. Después de haber realizado varias pruebas en la mezcladora se pudo constatar que la máxima cantidad de aire que se puede incluir en el mortero con cierta dosis de inductor de aire es mezclándolo de cinco a seis minutos. Primero se mezcla el cemento, la arena y el agua durante un minuto y a continuación se agregan los aditivos y se mezcla durante cinco minutos.

El peso unitario y el contenido de aire están relacionados ya que mientras mayor es el contenido de aire en el mortero menor es su peso unitario. La cantidad de aire contenido en el MLV tiene que ser la adecuada para que la exudación en la mezcla casi nula.

Los porcentajes de aire incluido en el mortero recién preparado son relativamente bajos puesto que el mortero es bastante fluido. Pero los porcentajes de aire incluido aumentan al día siguiente en el mortero remezclado que tiene una consistencia plástica. Cabe recalcar que las exudaciones de los morteros de los dos diseños fueron mínimas gracias al adecuado porcentaje de aire incluido en el mortero.

7.2.1 Contenido de aire y peso unitario en el mortero recién preparado.

En las pruebas del diseño con la arena fina rosada se obtuvieron valores de contenido de aire menores que las que se obtuvieron con el diseño con la arena fina café claro a pesar de que los dos diseños tienen la misma dosis de inductor de aire. A continuación se muestran los porcentajes de aire y pesos unitarios máximos y mínimos obtenidos en las pruebas.

	PORCENTAJES DE AIRE		
	% mínimo de aire	% máximo de aire	% aire promedio
Diseño con arena rosada	5.50%	8.00%	6.56%
Diseño con arena café claro	8.10%	12.50%	10.30%

Tabla 7.2.1a "Porcentajes de aire del mortero recién preparado"

	PESO		
	UNITARIO		
	Peso Unitario máximo	Peso unitario Mínimo	Peso Unitario Promedio
Diseño con arena rosada	2020 kg/m ³	1930 kg/m ³	1967.33 kg/m ³
Diseño con arena café claro	1942 kg/m ³	1854 kg/m ³	1902.47 kg/m ³

Tabla 7.2.1b "Pesos unitarios del mortero recién preparado"

El mortero con los valores mínimos de aire incluido corresponden al mortero con los valores máximos de peso unitario.

En el diseño con la arena rosada la diferencia del porcentaje de aire incluido mínimo y máximo es tan solo 2.5% mientras que para el diseño con la arena café claro es de 4.4%.

7.2.2 Contenido de aire y peso unitario en el mortero remezclado.

El porcentaje promedio de aire incluido en el mortero remezclado con el diseño con arena café claro es mayor (como era de esperarse) que el porcentaje promedio de aire incluido del diseño con arena rosada.

	PORCENTAJE DE AIRE		
	% mínimo de aire	% máximo de aire	% aire promedio
Diseño con arena rosada	12.50%	17.90%	15.19%
Diseño con arena café claro	14.60%	17.80%	15.93%

Tabla 7.2.2a "Porcentajes de aire incluido del mortero remezclado"

	PESO		
	UNITARIO		
	Peso Unitario máximo	Peso unitario Mínimo	Peso Unitario Promedio
Diseño con arena rosada	1896 kg/m ³	1730 kg/m ³	1804.87 kg/m ³
Diseño con arena café claro	1785 kg/m ³	1675 kg/m ³	1743.1 kg/m ³

Tabla 7.2.2b "Pesos unitarios del mortero remezclado"

En las pruebas del diseño con la arena rosada se obtuvo una variación amplia del 5.4% en el contenido de aire del mortero remezclado y por ende una considerable variación en el peso unitario que conllevará asimismo a una considerable variación en las resistencias a compresión. En cuanto al mortero con el diseño con arena café claro la variación no es muy alta siendo de 3.2%.

Los rendimientos o volúmenes promedios de los dos diseños se muestran en la siguiente tabla.

	Volúmenes
Diseño arena rosada	1.056 m ³
Diseño arena café claro	1.063 m ³

7.3 Temperatura

La temperatura es un factor muy importante que hay que considerar en este proyecto ya que con altas temperaturas en el ambiente el agua de mezcla del mortero tiende a evaporarse rápidamente y produciendo así una disminución rápida de la consistencia del mortero. Las temperaturas ambiente en las cuales se evaluó al mortero remezclado en las pruebas variaron de 15°C a 20°C durante todo el día. Cabe recalcar que la evaluación de las propiedades del mortero se realizó dentro del laboratorio y no a exposición del sol donde las temperaturas pueden ser mayores. Por esta razón el mortero que será entregado al cliente tiene que mantenerse en lugares cerrados donde no esté expuesto directamente al sol.

7.4 Tiempos de fraguado

El tiempo que transcurre desde la adición de agua de mezcla al material cementante hasta que la mezcla alcanza un grado específico de rigidez se llama tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado está compuesto de un tiempo inicial y un tiempo final. El tiempo de fraguado inicial corresponde al tiempo que hay entre el contacto del agua con el cemento y cuando se alcanza una resistencia a la penetración de 500psi. El tiempo de fraguado final corresponde al tiempo que hay entre el contacto del agua de mezcla con el cemento y cuando se alcanza una resistencia a la penetración de 4000psi.

Se midieron los tiempos de fraguado del mortero larga vida con arena café claro y también de su mortero patrón para comparación.

Los datos obtenidos para el mortero larga vida se presentan en la siguiente tabla:

Tiempo transcurrido (horas)	Fuerza aplicada(lbs)	Área de la aguja utilizada (in²)	Presión (psi)
117.5	102	1	102
144	166	0.1	1660
160.5	120	0.0025	4800

Los datos obtenidos para el mortero patrón se muestran en la siguiente tabla:

Tiempo transcurrido (horas)	Fuerza aplicada(lbs)	Área de la aguja utilizada (in²)	Presión (psi)
4.5	36	0.1	360
5.5	94	0.1	940
8	110	0.025	4400

Los tiempos de fraguado se obtuvieron interpolando los datos mostrados y se presentan a continuación:

	Tiempo de fraguado inicial	Tiempo de fraguado final
Mortero larga vida con arena café claro	124 h 42 min	156 h 18 min
Mortero patrón con arena café claro	4 h 44 min	7 h 42 min

Tabla 7.4 "Tiempos de fraguado inicial y final"

Como era de esperarse los tiempos de fraguado del mortero larga vida son mucho más largos que los del mortero patrón. Al quinto día de haber preparado el MLV, éste recién empieza con su fraguado inicial, y finalmente al sexto día alcanza su fraguado final.

Capítulo 8

Evaluación de resistencias

8.1 Resistencia a la compresión

Una propiedad importante del mortero es su resistencia a la compresión. Como ya se dijo anteriormente según la norma las resistencias de los morteros para pega y para enlucido no deben ser menores a 50 kg/cm^2 y se recomienda que estén alrededor de 75 kg/cm^2 .

De las quince pruebas realizadas para cada diseño, se tomaron 50 cilindros para los respectivos ensayos a la compresión. De los cuales 30 cilindros fueron tomados para evaluar resistencias a los 28 días (dos cilindros por prueba), 10 cilindros para evaluar a los 14 días (dos cilindros cada tres pruebas) y 10 cilindros para evaluar a los 7 días (dos cilindros cada tres pruebas). Para los morteros patrón se tomaron 12 cilindros para evaluar 4 cilindros para cada edad antes mencionada.

8.1.1 Resistencia a la compresión del mortero patrón

A continuación se presentan los promedios de las resistencias a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días de los dos diseños de los morteros patrón.

	Resistencias Promedio Mortero Patrón (kg/cm^2)		
	7 días	14 días	28 días
Diseño con arena rosada	69.9	95.4	107.68
Diseño con arena café claro	76.93	104.5	120.1

Tabla 8.1.1 "Resistencias promedio del mortero patrón"

Como se puede observar, las resistencias del mortero patrón con diseño arena café claro son mayores que las resistencias del mortero patrón con diseño arena rosada. Esto es evidente ya que el diseño con arena café claro tiene 20kg de cemento por metro cúbico de mortero más que el diseño con arena rosada.

El gráfico del desarrollo de la resistencia se presenta a continuación:

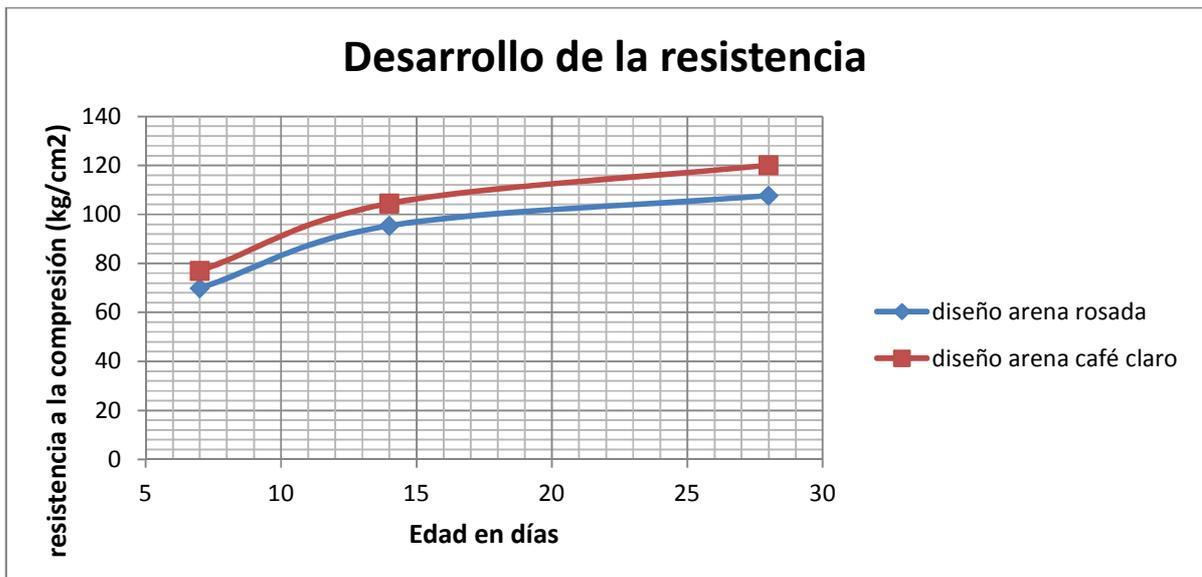


Gráfico 8.1.1 "Desarrollo de la resistencia: morteros patrón"

A los 7 días se obtiene el 65.9% y el 64.05% de la resistencia final alcanzada para el diseño arena rosada y el diseño arena café claro respectivamente.

A los 14 días se obtiene el 88.5% y el 87% de la resistencia final alcanzada para el diseño arena rosada y el diseño café claro respectivamente.

Se puede ver que el desarrollo de la resistencia de los dos diseños del mortero patrón tiende a crecer de manera similar.

8.1.2 Resistencia a la compresión del MLV

En la siguiente tabla se muestran los promedios de las resistencias a los 7, 14 y 28 días de los dos diseños de mortero larga vida.

	Resistencias Promedio Mortero larga vida (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Diseño con arena rosada	37.08	82.22	87.36
Diseño con arena café claro	31.94	72.5	84.04

Tabla 8.1.2 "Resistencias promedio del mortero larga vida"

A diferencia del caso de los morteros patrón, en este caso se puede observar que las resistencias del mortero larga vida con arena café claro son menores que las resistencias del

diseño arena rosada. Esto ocurre ya que como se vio en el capítulo anterior el contenido de aire promedio incluido en el MLV con arena café claro es de 15.93% con un peso unitario promedio de 1743.1 kg/m^3 , mientras que el aire promedio incluido en el diseño con arena rosada es de 15.19% con un peso unitario promedio de 1804.87 kg/m^2 . El porcentaje de aire incluido en el mortero con arena café claro es mayor que el porcentaje incluido en el mortero con arena rosada.

El gráfico del desarrollo de la resistencia se presenta a continuación:

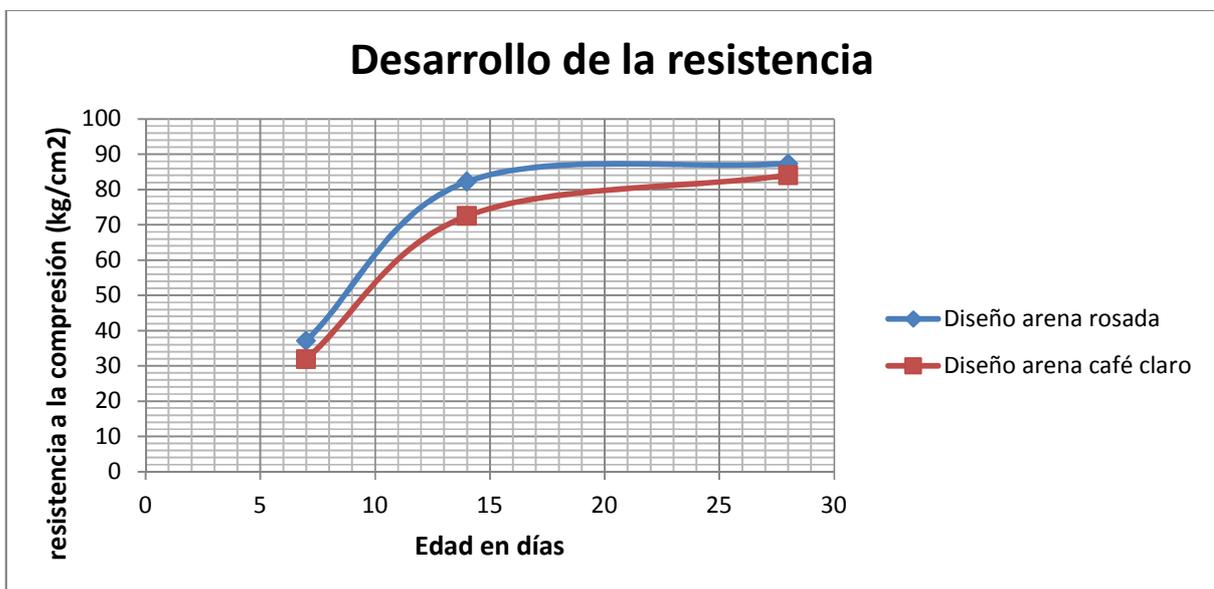


Gráfico 8.1.2 "Desarrollo de la resistencia: morteros larga vida"

A los 7 días se obtiene el 42.44% y el 38% de la resistencia final alcanzada para el diseño arena rosada y el diseño arena café claro respectivamente.

A los 14 días se obtiene el 94.11% y el 86.26% de la resistencia final alcanzada para el diseño arena rosada y el diseño café claro respectivamente.

Como se puede observar los porcentajes de las resistencias a los siete días de los MLV son bajos en comparación a los porcentajes de las resistencias obtenidas de los morteros patrón. Como se vio en el capítulo anterior el fraguado inicial del MLV ocurre a las 124 horas 42 minutos que corresponde al quinto día desde su preparación. Por esta razón al séptimo día las resistencias son bajas pero aumentan considerablemente a partir de los 14 días.

8.1.3 Variación de la resistencia a compresión en función del contenido de aire

En las quince pruebas realizadas para cada diseño hubo variación del contenido de aire y por ende variaciones en las resistencias. En este subcapítulo se va a mostrar estas variaciones de las resistencias de los dos diseños de mortero larga vida.

8.1.3.1 Variación de la resistencia del MLV con arena rosada

Como ya se dijo en el capítulo 7, el mortero larga vida de este diseño con arena rosada tuvo la mayor variación de contenido de aire con valores entre 12.5% y 17.9%. La resistencia correspondiente al contenido de aire de 12.5% fue de 110.72 kg/cm² y la resistencia correspondiente al contenido de aire de 17.9% fue de 62.73 kg/cm². En el siguiente gráfico se presenta la variación de la resistencia con los diferentes contenidos de aire obtenidos en la pruebas.

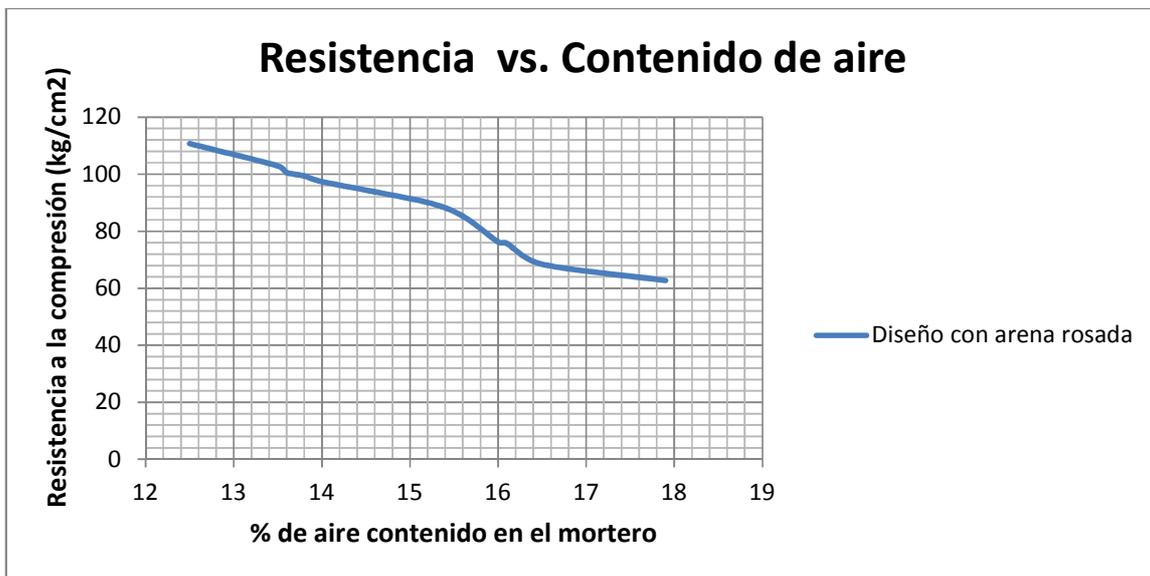


Gráfico 8.1.3.1 "Resistencia vs. Contenido de aire del mortero larga vida diseño arena rosada"

Como se puede ver la resistencia disminuye 47.99 kg/cm² al haber un aumento del 5.4% en el contenido de aire.

El contenido de aire máximo permitido en un mortero larga vida es de 18% según la recomendación de los productores de aditivos, y la resistencia mínima según la norma es 50kg/cm^2 . Por lo tanto el MLV del diseño arena rosada cumple con las especificaciones.

8.1.3.2 Variación de la resistencia del MLV con arena café claro

En este diseño los porcentajes de aire incluido en el mortero variaron de 14.6% a 17.8%, que a su vez arrojaron resistencias de 95.47 kg/cm^2 y 73.49 kg/cm^2 respectivamente. A continuación se presenta el gráfico de variación de la resistencia conforme varía el porcentaje de aire incluido en el mortero.

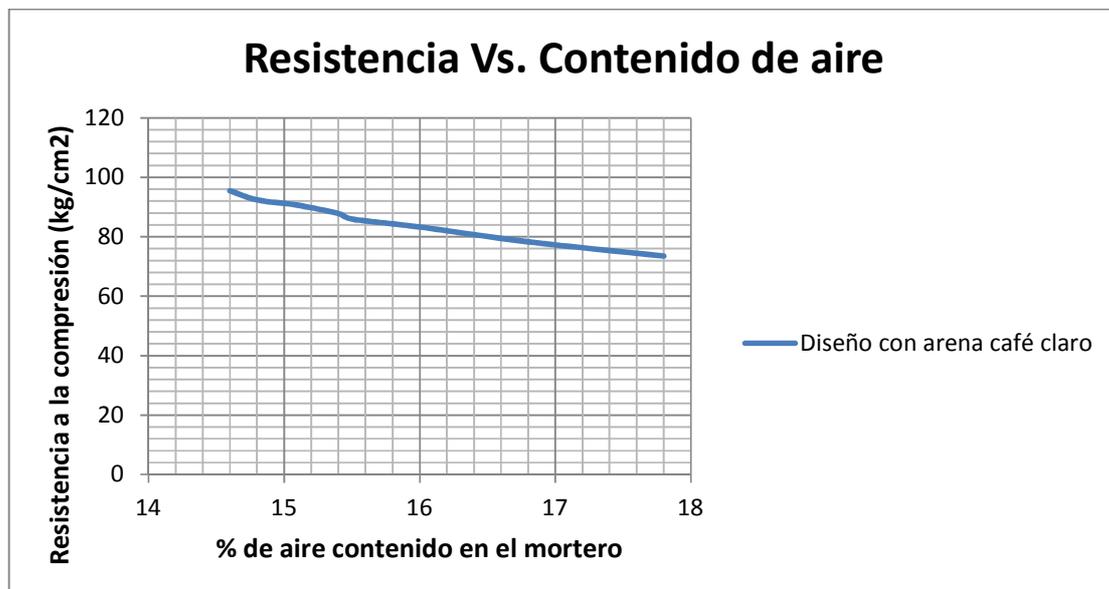


Gráfico 8.1.3.2 "Resistencia vs. Contenido de aire del mortero larga vida diseño arena café claro"

La resistencia disminuye 21.98 kg/cm^2 cuando hay un aumento del 3.2% del contenido de aire del mortero. Al igual que en el diseño con arena rosada, este diseño también cumple con las recomendaciones y especificaciones de la norma

8.2 Tiempos de fraguado del mortero aplicado en el bloque

La recomendación de la Universidad Pontificia Católica del Perú para realizar las pruebas de endurecimiento del mortero sobre la mampostería señala lo siguiente:

Existe un tiempo de fraguado inicial y final. El tiempo de fraguado inicial corresponde al tiempo que hay entre el contacto del mortero con la mampostería y cuando se alcanza una resistencia a la penetración en el enlucido de 200psi. El tiempo de fraguado final corresponde al tiempo que hay entre el contacto del mortero con la mampostería y cuando se alcanza una resistencia a la penetración en el enlucido de 1200psi.

Esta prueba se realizó con el MLV y con el mortero patrón para comparación. Se utilizaron bloques prensados de concreto. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

	Tiempo de fraguado inicial	Tiempo de fraguado final
Mortero Patrón con arena rosada	24 min	109 min
MLV con arena rosada	33 min	168 min

Tabla 8.2 "Tiempos de fraguado en el bloque del mortero patrón y larga vida"

Se puede observar que el tiempo de fraguado inicial del mortero larga vida demora 9 minutos más que el fraguado del mortero patrón, en tanto que el fraguado final del mortero larga vida demora 59 minutos más que el fraguado del mortero patrón. Esto se debe al aditivo retardante que posee el MLV.

En esta prueba queda demostrado que el mortero larga vida empieza su fraguado a penas entra en contacto con el bloque.

Capítulo 9

Prueba Industrial

Un complemento fundamental de la investigación consiste en realizar una prueba industrial donde se evaluarán las principales características y propiedades del mortero larga vida producido en planta y aplicado en obra. Esta prueba consiste en producir en planta de uno a tres metros cúbicos de mortero para luego transportarlo en un mixer (camión que transporta hormigón) y vaciarlo en un recipiente no absorbente en una obra de la ciudad de Quito, para que sea utilizado para pegar unidades de mampostería y para enlucir paredes y secciones estructurales.

Antes de realizar la prueba industrial se realizaron pequeñas pruebas de aplicación del mortero larga vida en la planta de Holcim Quito Norte. Para estas pruebas se usó unidades de mampostería de concreto (bloque prensado) que son las más utilizadas en nuestro medio.

9.1 Pruebas previas a la prueba industrial

9.1.1 Evaluación de la retención de agua del mortero larga vida

Cuando se enluce, primero se carga el mortero en toda la superficie de la pared (se puede usar el método de champeado o con liana). A continuación se alisa la superficie del mortero colocado. Se puede alisar (codalear) con un codal o tira de madera siempre y cuando el mortero continúe fresco inmediatamente después de haberlo colocado. Para lograr esto, los maestros humedecen las unidades de mampostería para que el agua de mezcla del mortero colocado no sea absorbida abruptamente por el bloque y pueda permanecer fresco hasta el momento de codalear. Cuando el mortero colocado se seca instantáneamente y se procede a codalear, éste se desmorona y no se obtienen buenos resultados. Otra razón del humedecimiento del bloque es para evitar fisuras en el enlucido ya que si el mortero pierde rápidamente su agua de mezcla se produce retracción.

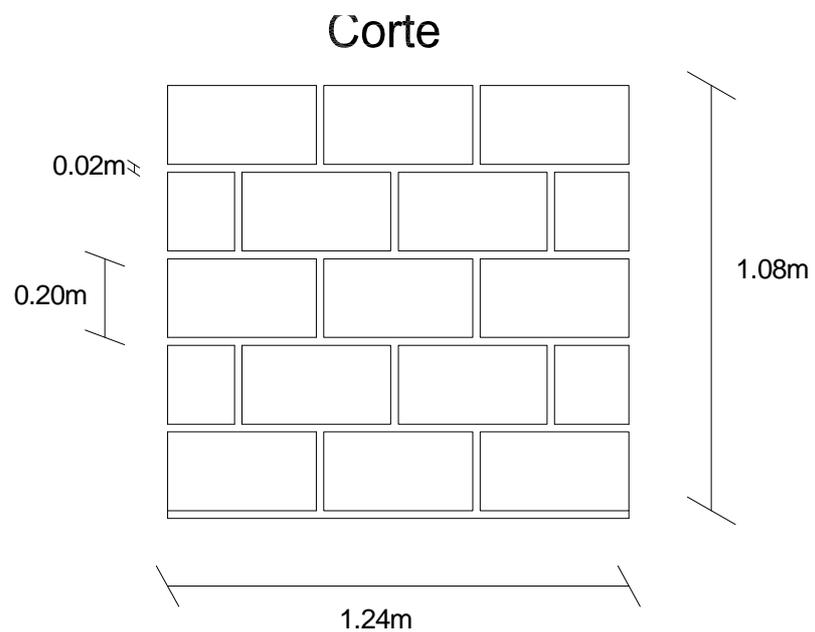
Cuando se enluce con mortero premezclado seco no se necesita humedecer el bloque ya que después de haber colocado el mortero en la pared seca con la ayuda del lanzador de mortero, éste continúa fresco hasta el momento de codalear. Esto quiere decir que la retención de agua del mortero premezclado seco es muy buena. Todo esto se observó en la

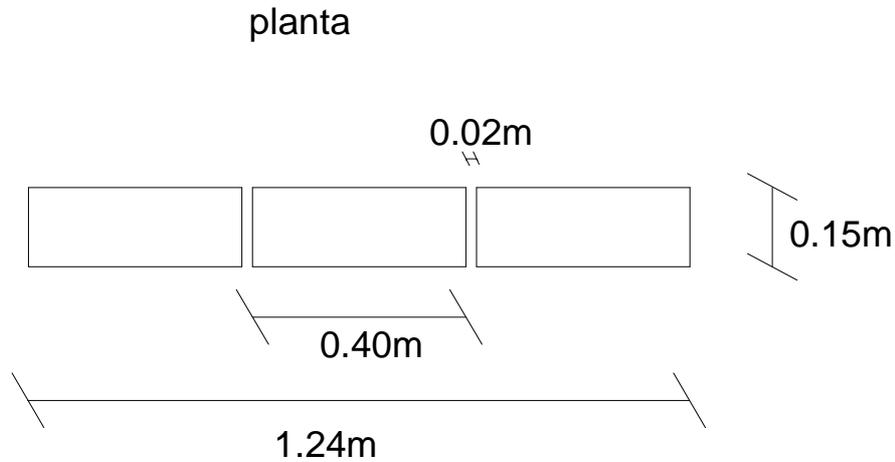
obra de la Escuela Politécnica Nacional donde se usó este tipo de mortero para enlucir paredes y secciones estructurales.

Ahora para probar si el MLV tiene buena retención de agua, se elaboró una pared de 1.34m^2 con quince bloques totalmente secos. La idea de esta prueba fue enlucir con el mortero larga vida y observar si después de colocado el mortero en la pared es posible codalear. Para esta prueba se usó el diseño del mortero larga vida con arena rosada.

Mezcla DSSS	
Cemento	300 kg/m^3
Arena	1325 kg/m^3
Agua	277 kg/m^3
LV Parte A 0.85%	2.55 kg/m^3
LV Parte B 0.7%	2.1 kg/m^3

Cálculo del volumen del mortero necesario para la prueba:





Volumen del mortero para pega

- Volumen de las juntas horizontales:
 $5 \times 1.24m \times 0.15m \times 0.02m = 0.0186m^3 = 18.6 \text{ litros}$
- Volumen de las juntas verticales:
 $12 \times 0.20m \times 0.15m \times 0.02m = 0.0072m^3 = 7.2 \text{ litros}$
- Volumen total del mortero para pega: $7.2 \text{ litros} + 18.6 \text{ litros} = 25.8 \text{ litros}$

Volumen del mortero para enlucido

- Vol. = *espesor de la capa de enlucido* \times *area de pared*

$$= 0.01m \times 1.34m^2 = 0.0134m^3 = 13.4 \text{ litros}$$

El volumen total aproximado de mortero larga vida para la prueba es:

$$13.4 \text{ litros} + 25.8 \text{ litros} = 39.2 \text{ litros}$$

Se preparará 45 litros de MLV para la prueba.

Diseño para 45 litros:

$$\text{Cemento} = 300kg \times 0.045 = 13.5kg$$

$$\text{Arena} = 1325kg \times 0.045 = 59.6kg$$

$$\text{Agua} = 277kg \times 0.045 = 12.46kg$$

$$LV \text{ parte A} = 300\text{kg} \times 0.85\% \times 0.045 = 0.114\text{kg}$$

$$LV \text{ parte B} = 300\text{kg} \times 0.7\% \times 0.045 = 0.0945\text{kg}$$

Mezcla DSSS

Materiales	Masa
Cemento	13.5 kg
Agua	12.46 kg
Arena	59.6 kg
LVparte A 0.85%	114 gr
LV parte B 0.7%	94.5 gr

Porcentaje de humedad de la arena: 3.4%, entonces:

Mezcla ESTADO NATURAL

Materiales	Masa
Cemento	13.5kg
Agua	11.93kg
Arena	60.16 kg
LVparte A 0.85%	114gr
LV parte B 0.7%	94.5gr

Se realizaron dos bachadas de 22.5 litros ya que la mezcladora tiene una capacidad máxima de 30 litros. A continuación se presenta los principales datos de las dos bachadas de mortero para la prueba.

Bachada 1

Datos del mortero recién preparado

Fecha de preparación	30/08/2010
Hora de preparación	5:10pm
Consistencia del mortero	81mm
Peso Unitario	1945kg/m ³
% de aire incluido	7.00%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	31/08/2010
Hora de remezcla	8:00am
Consistencia del mortero	62mm
Peso Unitario	1760kg/m ³
% de aire incluido	16.5%

Bachada 2

Datos del mortero recién preparado

Fecha de preparación	30/08/2010
Hora de preparación	6:05pm
Consistencia del mortero	81mm
Peso Unitario	1940kg/m ³
% de aire incluido	7.10%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	31/08/2010
Hora de remezcla	8:30am
Consistencia del mortero	63mm
Peso Unitario	1771kg/m ³
% de aire incluido	16.1%

El maestro contratado para realizar la prueba comenzó a pegar los bloques a las nueve de la mañana y terminó de enlucir a las diez y cuarto de la mañana.



Imagen 9.1.1a "Pega de bloques"



Imagen 9.1.1b "Pega de bloques"



Imagen 9.1.1c "Enlucido de pared"



Imagen 9.1.1d "Pared terminada"

Observaciones de la prueba

Luego de levantar la pared, el maestro empezó a cargar el mortero con una liana para luego alisar su superficie. Al momento de codalear, el mortero colocado en la pared ya se había secado. Es decir que el bloque absorbió rápidamente el agua de mezcla del mortero. Se puede decir entonces que el MLV diseñado no tiene la buena retención de agua que tiene el mortero premezclado seco. Por esta razón, para las siguientes pruebas se humedecieron los bloques antes de enlucir.

9.1.2 Prueba de comparación: Mortero tradicional y MLV

El objetivo principal de esta prueba es comparar la aplicación de enlucido y pega con mortero tradicional y con mortero larga vida. El mortero tradicional es el mortero que se prepara normalmente en las obras. Para esto se realizará lo siguiente:

- Se evaluará el tiempo que le toma al maestro con su ayudante en levantar una pared con mortero tradicional y una pared de la misma área con mortero larga vida.
- Se evaluará también el tiempo que le toma al maestro enlucir cada una de las paredes con los dos tipos de mortero.
- Se evaluarán consistencias, contenidos de aire y densidades de ambos morteros.

- Se realizará también una prueba manual de resistencia que consiste en rayar con un clavo el enlucido para observar si el rayado es superficial (parecido a rayar con un clavo en un pizarrón de tiza) o profundo (cuando el clavo penetra el enlucido). Cuando el rayado es superficial quiere decir que el mortero no tuvo problema en fraguar en el soporte mientras que cuando el rayado es profundo significa que el mortero no logró fraguar en el soporte.
- Se tomarán seis cilindros del mortero larga vida para evaluar su resistencia a los 7, 14 y 28 días.

Se elaboraron dos paredes de 3.16m^2 cada una (una pared con MLV y otra con mortero tradicional). En un día se levantaron las paredes y cuatro días después se procedió al enlucido de las mismas.

9.1.2.1 Preparación Mortero Larga Vida

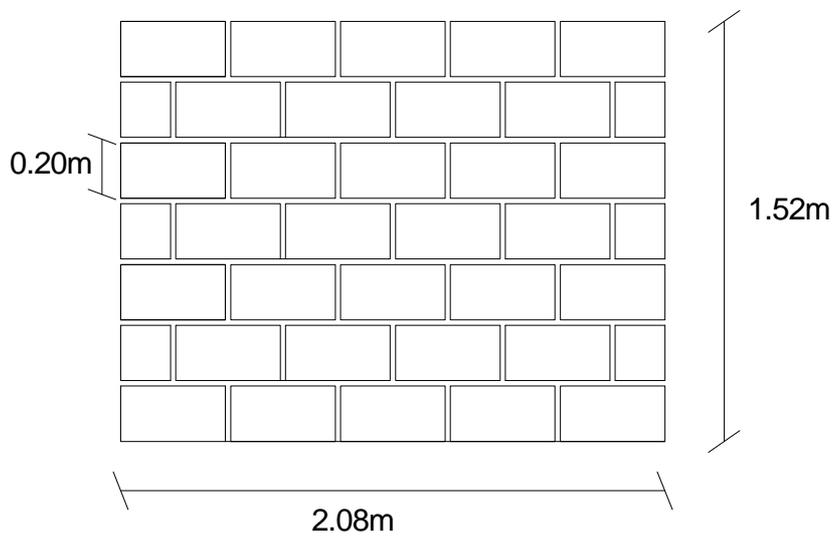
Para esta prueba se usó el diseño de mortero larga vida con arena fina café claro.

Mezcla DSSS

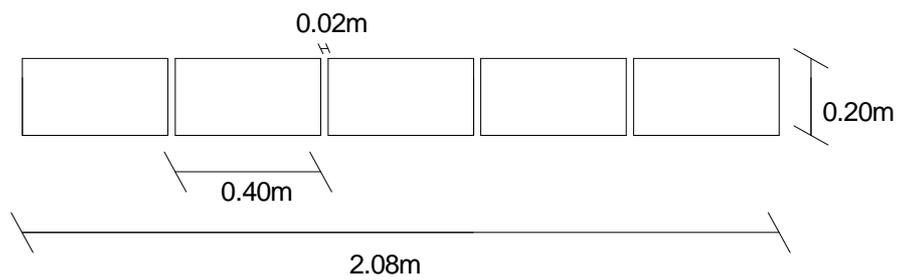
Materiales	
Cemento	320 kg/m ³
Agua	288 kg/m ³
Arena	1253 kg/m ³
LV parte A 0.85%	2.72 kg/m ³
LV parte B 0.7%	2.24 kg/m ³

Cálculo de los volúmenes de mortero larga vida para la prueba

Corte



planta



Volumen del mortero para pega

- Volumen de las juntas horizontales:

$$7 \times 2.08m \times 0.20m \times 0.02m = 0.0582m^3 = 58.2 \text{ litros}$$

- Volumen de las juntas verticales:

$$31 \times 0.20m \times 0.20m \times 0.02m = 0.00248m^3 = 24.8 \text{ litros}$$

- Volumen total del mortero para pega: $58.2 \text{ litros} + 24.8 \text{ litros} = 83 \text{ litros}$

El día jueves 21 de octubre del 2010 se prepararon 100 litros de mortero larga vida para pegar las unidades de mampostería, y se dividió en 4 bachadas de 25 litros.

Diseño para 25 litros:

$$\text{Cemento} = 320kg \times 0.025 = 8kg$$

$$\text{Arena} = 1253kg \times 0.025 = 31.32kg$$

$$\text{Agua} = 288kg \times 0.025 = 7.2kg$$

$$\text{LV parte A} = 320kg \times 0.85\% \times 0.025 = 0.068kg = 68gr$$

$$\text{LV parte B} = 320kg \times 0.7\% \times 0.045 = 0.056kg = 56gr$$

Mezcla DSSS

Materiales	Masa
Cemento	8kg
Agua	7.2kg
Arena	31.32kg
LVparte A 0.85%	68gr
LV parte B 0.7%	56gr

Porcentaje de humedad de la arena: 2.67%, entonces la mezcla en estado natural es :

Mezcla ESTADO NATURAL

Materiales	Masa
Cemento	8kg
Agua	7.52kg
Arena	31kg
LVparte A 0.85%	68gr
LV parte B 0.7%	56gr

Volumen del mortero para enlucido tomando en cuenta que se enlucirán las dos caras de la pared.

- $\text{Vol.} = \text{espesor de la capa de enlucido} \times \text{area de pared} \times 2$

$$= 0.01m \times 3.16m^2 \times 2 = 0.063.2m^3 = 63.2 \text{ litros}$$

El día lunes 25 de octubre del 2010 se prepararon 75 litros de mortero larga vida y se dividió en 3 bachadas de 25 litros.

Diseño para 25 litros:

$$\text{Cemento} = 320kg \times 0.025 = 8kg$$

$$\text{Arena} = 1253kg \times 0.025 = 31.32kg$$

$$\text{Agua} = 288kg \times 0.025 = 7.2kg$$

$$\text{LV parte A} = 320kg \times 0.85\% \times 0.025 = 0.068kg = 68gr$$

$$\text{LV parte B} = 320kg \times 0.7\% \times 0.045 = 0.056kg = 56gr$$

Mezcla DSSS

Materiales	Masa
Cemento	8kg
Agua	7.2kg
Arena	31.32kg
LVparte A 0.85%	68gr
LV parte B 0.7%	56gr

Porcentaje de humedad de la arena: 2.10%, entonces la mezcla en estado natural es:

Mezcla ESTADO NATURAL

Materiales	Masa
Cemento	8kg
Agua	7.7kg
Arena	30.82kg
LVparte A 0.85%	68gr
LV parte B 0.7%	56gr

Todas las bachadas se realizaron en la tarde y se remezclaron al día siguiente en la mañana. Las bachadas fueron colocadas en carretillas para el posterior uso del maestro. A continuación se presentan los principales datos de las bachadas del mortero para pega y para enlucido.

Bachadas del mortero para pega

Bachada 1

Datos del mortero recién preparado

Fecha de preparación	21/10/2010
Hora de preparación	4:15pm
Consistencia del mortero	84mm
Peso Unitario	1913 kg/m ³
% de aire incluido	10.30%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	22/10/2010
Hora de remezcla	8:05am
Consistencia del mortero	63mm
Peso Unitario	1665 kg/m ³
% de aire incluido	17.9%

Bachada 2

Datos del mortero recién preparado

Fecha de preparación	21/10/2010
Hora de preparación	4:50pm
Consistencia del mortero	84mm
Peso Unitario	1921kg/m ³
% de aire incluido	10.10%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	22/10/2010
Hora de remezcla	8:35am
Consistencia del mortero	62mm
Peso Unitario	1660kg/m ³
% de aire incluido	17.9%

Bachada 3

Datos del mortero recién preparado

Fecha de preparación	21/10/2010
Hora de preparación	5:40pm
Consistencia del mortero	83mm
Peso Unitario	1895kg/m ³
% de aire incluido	10.8%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	22/10/2010
Hora de remezcla	9:00am
Consistencia del mortero	60mm
Peso Unitario	1650kg/m ³
% de aire incluido	18.2%

Bachada 4*Datos del mortero recién preparado*

Fecha de preparación	21/10/2010
Hora de preparación	6:25pm
Consistencia del mortero	84mm
Peso Unitario	1916kg/m ³
% de aire incluido	10.3%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	22/10/2010
Hora de remezcla	9:25am
Consistencia del mortero	62mm
Peso Unitario	1668kg/m ³
% de aire incluido	18%

Bachadas del mortero para enlucido**Bachada 1***Datos del mortero recién preparado*

Fecha de preparación	25/10/2010
Hora de preparación	4:30pm
Consistencia del mortero	84mm
Peso Unitario	1870 kg/m ³
% de aire incluido	12.00%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	26/10/2010
Hora de remezcla	8:15am
Consistencia del mortero	63mm
Peso Unitario	1657 kg/m ³
% de aire incluido	18.00%

Bachada 2*Datos del mortero recién preparado*

Fecha de preparación	25/10/2010
Hora de preparación	5:10pm
Consistencia del mortero	84mm
Peso Unitario	1908kg/m ³
% de aire incluido	10.6%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	26/10/2010
Hora de remezcla	8:50am
Consistencia del mortero	62mm
Peso Unitario	1635kg/m ³
% de aire incluido	19.3%

Bachada 3

Datos del mortero recién preparado

Fecha de preparación	25/10/2010
Hora de preparación	6:00pm
Consistencia del mortero	83mm
Peso Unitario	1920kg/m ³
% de aire incluido	10.1%

Datos del mortero remezclado

Fecha de remezcla	26/10/2010
Hora de remezcla	9:20am
Consistencia del mortero	60mm
Peso Unitario	1650kg/m ³
% de aire incluido	18.4%

Observaciones de los datos de las bachadas

En todas las bachadas los morteros remezclados obtuvieron altos porcentajes de aire, con un promedio de 18.2% y con un promedio de densidad de 1655.8 kg/m³. Estos valores sobrepasan a los valores obtenidos en las quince pruebas realizadas en el laboratorio con el diseño con arena café claro cuyo porcentaje de aire promedio fue de 15.9% y densidad promedio de 1750kg/m³. Las bachadas para esta prueba fueron de 25 litros, mientras que las bachadas para las pruebas de laboratorio fueron de 15 y 12 litros. Este aumento en la cantidad de aire se pudo haber dado al realizar bachadas con un volumen mayor (25 litros). Por esta razón para la prueba industrial, donde se producirán tres metros cúbicos de mortero, se reducirá la dosis de inductor de aire. En cuanto a la consistencia, el mortero para esta prueba se comportó de igual manera que las pruebas de laboratorio, ya que partieron en la tarde con una consistencia promedio de 83 mm, y al día siguiente en la mañana se obtuvo una consistencia plástica promedio de 62mm.

9.1.2.2 Preparación Mortero Tradicional

El mortero tradicional fue preparado por el ayudante del maestro. Para el mortero para pega se usó la proporción 1:5 con arena rosada gruesa proveniente de la cantera de San Antonio que es usada para las mezclas de hormigón en la planta Holcim Quito Norte. Mientras que para el mortero para enlucido se usó la proporción 1:6 con arena fina gris proveniente

también de la cantera de San Antonio (esta arena es la más usada en las obras en la ciudad de Quito para preparación de morteros para enlucido). El ayudante mezcló primero la arena y el cemento en el suelo, para luego recoger poco a poco y mezclar en una carretilla con el agua.



Imagen9.1.2.3"Mezcla: Arena y cemento"

La densidad del mortero tradicional para pega fue de 2097kg/m^3 con una consistencia de 48mm. Y la densidad del mortero tradicional para enlucido fue de 2058kg/m^3 con una consistencia de 81mm. La consistencia fluida del mortero para enlucido se debió a que el maestro enlució con el método de champeado.

9.1.2.3 Resultados

9.1.2.3.1 Levantamiento de paredes (pega de bloques)

Antes de levantar las paredes se hizo una zanja de 0.15m de profundidad por 0.25m de ancho y 4.50m de largo donde se colocó una mezcla de hormigón que sirvió de base para las paredes.



El maestro contratado para realizar las pruebas comenzó a levantar la pared con el mortero larga vida a las 10:55am y terminó de poner el último bloque a las 12:05pm. Al maestro le tomó entonces una hora diez minutos en terminar la pared de 3.16 m². Para la siguiente pared, se tomó el tiempo a partir del momento en que el ayudante del maestro comenzó a mezclar el mortero tradicional. Se empezó a mezclar a las 12:20pm y el primer bloque se colocó a las 12:28pm y el último bloque fue colocado a las 2:00pm. Al maestro le tomó una hora y cuarenta minutos en terminar la pared utilizando el mortero tradicional.



Imagen9.1.2.4.1a" Pared con MLV"



Imagen9.1.2.4.1b" Pared terminada con MLV"



Imagen9.1.2.4.1c" Pared con mortero tradicional"



Imagen9.1.2.4.1d" Paredes terminadas"

Como se pudo observar al maestro le tomó media hora más en acabar la pared con mortero tradicional. Esto se debió a que el mortero larga vida es mucho más liviano que el mortero tradicional (como se pudo ver en las densidades) y por esta razón fue más rápido aplicarlo.

9.1.2.3.2 Enlucido de las paredes

Las dos paredes fueron humedecidas antes de aplicar el mortero. El método utilizado para enlucir con el MLV fue el método con liana ya que su consistencia es plástica, mientras que el método usado para enlucir con el mortero tradicional fue el champeado. Al maestro le tomó una hora cuarenta y cinco minutos en enlucir con acabado final las dos caras de la pared (6.32m^2) con el MLV. Primero cargó la pared con el mortero, y a continuación alisó la superficie con un codal; esperó de diez a quince minutos a que el mortero empiece a secarse para darle el acabo final, también llamado paleteado, que consiste en pasar la paleta en la superficie del mortero con movimientos circulares para darle un terminado más liso. En cuanto al enlucido con mortero tradicional, al maestro le tomó dos horas y veinte minutos en terminar de enlucir los 6.32m^2 con acabado final.



Imagen9.1.2.4.2a"Enlucido con MLV"



Imagen9.1.2.4.2b"Enlucido con mortero tradicional"

Como se pudo observar al maestro le tomó menos tiempo enlucir con MLV que con mortero tradicional. Cuando el maestro enlució la pared con el mortero tradicional se pudo ver que hubo desperdicio de material ya que al lanzar la mezcla con la pala parte de ella se desparramó hacia los costados. Se pudo observar, que al utilizar el MLV no hubo desperdicio de la mezcla. Los dos tipos de mortero se adhirieron muy bien a las paredes y no hubo problema en codalear ya que las paredes estaban previamente humedecidas.

Al día siguiente se pudo observar que en la pared enlucida con el mortero tradicional aparecieron algunas fisuras.



Imagen9.1.2.4.2c" Fisuras en enlucido con mortero tradicional"

En la pared enlucida con el MLV no aparecieron fisuras, y su contextura se veía bastante lisa.



Imagen9.1.2.4.2c" Enlucido con mortero larga vida"

No se produjeron fisuras ya que el mortero larga vida es una mezcla bastante cohesiva gracias a su aire incorporado. En los dos casos se rayó el enlucido con un clavo y el rayado fue superficial lo que significa que los morteros fraguaron normalmente en el soporte. La resistencia promedio a la compresión a los 28 días del MLV fue de 81.61 kg/cm^2 .

9.2 Prueba Industrial

9.2.1 Descripción de la prueba y datos obtenidos

La prueba industrial se realizó en la obra de la segunda etapa del edificio de post grado de la Escuela Politécnica Nacional donde se requirió construir tres cubetos de madera recubiertos de plástico para el almacenamiento del MLV. Cada cubeto con capacidad de un metro cúbico de mezcla fue construido dentro de la obra (bajo techo) para evitar exponer el mortero a la lluvia o al sol. Para esta prueba se prepararon en planta tres metros cúbicos con el mortero con arena fina café claro.

Mezcla	
DSSS	
Cemento	320 Kg/m ³
Arena	1253 Kg/m ³
Agua	275 Kg/m ³
LV parte A	2.72 Kg/m ³
LV parte B	1.92 Kg/m ³
Masa vol. SSS	1852.46 Kg/m ³

Diseño para un metro cúbico

El porcentaje de humedad de la arena fue de 6.84%.

Estado Natural	
Cemento	320 kg/m ³
Arena	1292.08 kg/m ³
Agua	235.74 kg/m ³
LV parte A 0.85%	2.72 kg/m ³
LV parte B 0.6%	1.92 kg/m ³
Masa vol. E.N	1852.46 kg/m ³

Cabe recalcar que el día de la preparación del mortero hubo una lluvia torrencial y ese porcentaje de humedad pudo haber aumentado segundo a segundo ya que la arena a utilizar se encontraba al aire libre. Por esta razón a la mezcla no se agregó toda el agua de diseño para evitar que se obtenga un mortero muy fluido. La cantidad de agua que no se agregó fue de 113kg equivalentes a 0.113m³.

El MLV se preparó el día lunes 15 de noviembre del 2010 a las seis de la tarde y se almacenaron en un mixer. El tiempo de mezcla en el mixer fue de diez a quince minutos a velocidad máxima. Para obtener los principales datos del mortero recién preparado se vació

aproximadamente unos 12 litros de la mezcla en una carretilla. La consistencia obtenida fue de 81mm, el porcentaje de aire incluido en el mortero fue 8 % y el peso unitario calculado fue 1912 kg/m^3 . Los resultados obtenidos fueron muy similares a los obtenidos en el laboratorio. El mortero se dejó reposar durante toda la noche dentro del mixer.

Al día siguiente (martes 16 de noviembre del 2010) a las 8:30 de la mañana se remezcló el mortero dentro del mixer a máxima velocidad durante cinco minutos. En la obra se obtuvo los siguientes datos.

Consistencia: 61mm

Porcentaje de aire: 12.3%.

Peso Unitario: 1865 kg/m^3

La consistencia obtenida fue la misma que se obtuvo en el laboratorio mientras que el porcentaje de aire obtenido fue 3.6% menor al obtenido en el laboratorio. Por esta razón, y por el la cantidad de agua no agregada el volumen obtenido fue menor a tres metros cúbicos.

Para medir el volumen obtenido fue necesario pesar el mixer vacío y lleno para obtener la masa total del mortero.

Masa mixer vacío: 15220 kg

Masa mixer con mortero: 20570 kg

Masa total de mortero: 5350 kg

El volumen total de mortero obtenido fue entonces:

$$V = \frac{\textit{masa}}{\textit{peso unitario}} = \frac{5350\textit{kg}}{1865\textit{kg} / \textit{m}^3} = 2.87\textit{m}^3$$

Cabe recalcar que si a este volumen le aumentamos el 0.113m^3 de agua no agregada y el 3.6% de aire faltante se obtiene 3.06m^3 .

El mortero fue transportado en el mixer hacia la obra durante 25 minutos y a continuación fue vaciado en los cubetos.



Imágenes 9.2.1a "Vaciado de mortero en cubetos"

Después de descargar el mortero en los cubetos se pudo observar que dentro del mixer quedó mortero pegado en las paredes del tambor. Para calcular el volumen desperdiciado dentro del tambor del mixer, fue necesario primero calcular el volumen del mortero depositado en los cubetos. Para esto se midió el largo, el ancho de cada cubeto y el espesor del mortero.



Imagen 9.2.1b "Medición del espesor del mortero en cubeto"

En el primer cubeto se calculó $1.22m^3$, en el segundo $1.01m^3$ y finalmente en el tercer cubeto se calculó $0.39m^3$, obteniendo un total de $2.62m^3$. De esta manera,

$$2.87m^3 - 2.62m^3 = 0.25m^3$$

El volumen de mortero pegado en el tambor del mixer fue de $0.25m^3$ que equivale al 8.7% de desperdicio del mortero.

A partir de las once y media de la mañana se empezó el trabajo de enlucido. La cuadrilla encargada de enlucir estaba compuesta de cuatro albañiles y un oficial (ayudante). El ayudante estuvo a cargo de tomar el mortero de los cubetos y colocarlo en carretillas y

luego llevarlo hacia el lugar de trabajo, y los albañiles procedían a enlucir con el método con liana. Los maestros trabajaron hasta las cinco de la tarde, y a esa misma hora se midió la consistencia del mortero, el porcentaje de aire incluido y el peso unitario. Es necesario mencionar que el mortero no exudó durante todo el día.

Consistencia: 60mm

Porcentaje de aire: 12.1%.

Peso Unitario: 1868 kg/m³



Imágenes 9.2.1c "Mortero larga vida al final de la jornada. No hay exudación"

Entre las 8:30am y las 5:00pm del día martes 16 de noviembre el mortero perdió tan solo 1mm de consistencia. En las pruebas de laboratorio durante todo el día el mortero perdía hasta 10mm de consistencia. Esta diferencia de la pérdida de consistencia en laboratorio y en obra está dada por los diferentes volúmenes de mortero almacenado (15 litros en laboratorio, y 1m³ en obra en el cubeto). Esto se pudo apreciar al evaluar la consistencia del mortero tomado del mixer y colocado en una carretilla donde se perdió 11mm de la consistencia en el mismo tiempo que el mortero del cubeto había perdido 1mm. Los cubetos se cubrieron con plástico para evitar que el mortero se reseque y se lo dejó reposar hasta el día posterior.



Imágenes 9.2.1d”Cubeto con MLV recubierto con plástico”

Al siguiente día (miércoles 17 de noviembre del 2010) a las ocho de la mañana el mortero de los cubetos había exudado una mínima cantidad. Los maestros tuvieron que mezclar el mortero marchando sobre éste hasta obtener una mezcla homogénea. A continuación se evaluó la consistencia, el contenido de aire y el peso unitario del mortero. Los resultados se presentan a continuación:

Consistencia: 52mm

Porcentaje de aire: 10.8%.

Peso Unitario: 1891kg/m³

Desde las 5:00pm del día martes hasta las 8:30am del siguiente día (luego de 15 horas y media) el mortero perdió 8mm de consistencia. El porcentaje de aire disminuyó 1.3% mientras que el peso unitario aumentó. A partir de esa hora (8:30am) la cuadrilla continuó con el trabajo del enlucido de las paredes de mampostería.



Imágenes 9.2.1e”Enlucido de paredes de mampostería con MLV”

Al final del día a las 5:00 pm se evaluó el mortero y se obtuvieron los siguientes datos:

Consistencia: 45mm

Porcentaje de aire: 10.4%.

Peso Unitario: 1895kg/m³

Durante la jornada del miércoles 17 de noviembre, el mortero perdió 7mm de su consistencia, los albañiles pudieron enlucir y pegar bloque hasta con 45mm de consistencia del mortero. Los cubetos se recubrieron nuevamente con plástico para dejar reposar el mortero hasta el día siguiente.

El jueves 18 de noviembre a las 8:30 de la mañana se observó que el mortero estaba seco pero no fraguado, es decir que durante toda la noche el mortero había perdido toda el agua de mezcla. En ese estado seco del mortero no es posible medir su porcentaje de aire ni tampoco obtener su consistencia ya que no es trabajable. Para poder usar el mortero en ese estado es necesario retemplarlo, es decir revivirlo con agua hasta obtener la consistencia adecuada para su respectivo uso. El peón o ayudante fue el encargado de colocar con la ayuda de una pala, el mortero seco en las carretillas para luego retemplarlo y poder ser usado por los albañiles. De esta manera se utilizó el mortero durante todo el día. El promedio de las resistencias a 28 días del mortero retemplado fue de 68.5kg/cm².

Se puede concluir al final de la prueba industrial que la vida del mortero para el cliente alcanzó las 36 horas, ya que se usó durante todo el día martes y todo el día miércoles. Al tercer día (día jueves) se retempló el mortero para poder usarlo. Estos resultados son muy

diferentes a los obtenidos en las pruebas de laboratorio como ya se explicó anteriormente (por los diferentes volúmenes de almacenamiento del mortero), ya que en el laboratorio se concluyó que la vida del mortero para el cliente alcanzaba solamente doce horas sin retemplar.

Ahora bien, estos resultados son favorables ya que se ha diseñado un MLV de 36 horas para el cliente y no de doce como se tenía diseñado. Un mortero larga vida de 36 horas es más efectivo que uno de doce horas ya que se dispone de más tiempo para utilizar todo el mortero almacenado evitando el desperdicio del mismo. De esta manera se podrán distribuir a las obras mayores cantidades de MLV para ser utilizados durante dos días.

Si se requiriera obtener mortero larga vida de doce horas sería necesario disminuir la dosis de retardante de los dos diseños y realizar las respectivas pruebas industriales para evaluar la conservación de la consistencia del mortero.

Cabe recalcar que para la prueba industrial se utilizó la dosis de 0.6% de LV parte B (inclusor de aire) y como el porcentaje de aire obtenido no fue el esperado (se esperaba un 15% de aire incluido y se obtuvo 12.3%) es necesario aumentar la dosis al 0.7% como se había probado en el laboratorio.

En cuanto al enlucido, se pudo observar que el MLV se adhirió sin problemas en las paredes de mampostería al igual que en las secciones estructurales como columnas y diafragmas previamente humedecidas. El acabado final del enlucido resultó bastante liso y de muy buena apariencia.



Imágenes 9.2.1f” Acabado final, enlucido de paredes de mampostería”



Imagen 9.2.1g "Acabado final, enlucido de sección estructural: columna"

9.2.2 Rendimiento

La cuadrilla encargada de enlucir las paredes de mampostería y secciones estructurales estuvo compuesta por cuatro albañiles y un oficial. El primer día de trabajo comenzó a las once y media de la mañana y se terminó a las cinco de la tarde. Ese día se enlució 34m^2 de paredes. Es decir que durante media jornada de trabajo cada albañil enlució 8.5m^2 . Al día siguiente de igual manera a la mitad de la jornada (de ocho de la mañana a doce del día) los albañiles habían enlucido alrededor de 34m^2 , es decir que en una jornada entera una cuadrilla de cuatro albañiles y un peón alcanza a enlucir 68m^2 . Esto equivale a que cada albañil por jornada enlucir con mortero larga vida alrededor de 17m^2 . El área promedio que un albañil enlucir en una jornada de trabajo con mortero tradicional es máximo 15m^2 y las cuadrillas están compuestas de dos albañiles y un oficial. Esto significa que el rendimiento de un albañil que trabaja con mortero larga vida es mayor que si trabajara con mortero tradicional.

9.3 Costos

Uno de los objetivos importantes de la investigación es obtener el precio de venta de un metro cúbico del MLV para así compararlo con el costo de la fabricación de un metro cúbico de mortero tradicional para luego obtener el costo de un metro cuadrado de enlucido con cada tipo de mortero. De esta forma se demostrará si existe o no beneficio al utilizar MLV.

9.3.1 Cálculo del Precio de venta del MLV

Para calcular el precio de venta que tendrá el MLV en la planta Holcim Quito Norte es necesario realizar lo siguiente:

- Obtener el costo total de los materiales que componen el mortero larga vida.
- Obtener el precio de venta sabiendo que el 60% de éste corresponde al costo total de los materiales.
- Calcular la Contribución 1 restando el valor del costo total de los materiales al valor obtenido del precio de venta. El valor de la Contribución 1 corresponde entonces al 40% del precio de venta.
- Calcular la utilidad bruta restando al valor de la Contribución 1 los siguientes costos: el costo fijo de producción, el costo fijo de distribución, los costos variables de distribución y otros costos variables. Verificar que el porcentaje del valor de la utilidad bruta sea mínimo 30% del precio de venta. Si el porcentaje es menor, es necesario ajustar el precio de venta del mortero.

Para calcular el costo total de los materiales se enumeran los precios unitarios de éstos. En la tabla mostrada a continuación se presentan los precios unitarios que incluyen el transporte de los materiales hasta la planta sin incluir el IVA. Como las mezclas se dosifican por peso, se debe establecer el costo por kilogramo.

LISTA DE PRECIOS				
GRUPO	MATERIAL	UNIDAD	VALOR	VALOR / kg
Cemento	Cemento Rocafuerte GU	T	116.74 \$	0.11674
Agregados	Arena Fina San Antonio malla 3/16"	T	6.2 \$	0.0062
H₂O	Agua	T	1.00 \$	0.00100
Aditivos	LV parte A (Toxement) en tambor	kg	1.60 \$	1.6000
	LV parte B (Toxement) en tambor	kg	1.77 \$	1.7700

Tabla 9.3 "Lista de precios de los materiales que componen el mortero larga vida"

La fabricación de un metro cúbico de mortero larga vida se debería costear en estado natural pues esas cantidades son las pesadas para la dosificación. El estado natural depende de las condiciones de humedad de la arena, por ende será siempre variable. Por esta razón se costeará en estado saturado superficialmente seco.

El costo total de materiales en estado SSS del MLV con arena fina rosada es:

Mezcla en SSS	1m ³ (kg)	P.U	Total
Cemento	300	\$ 0.11674	\$ 35.02
Arena	1325	\$ 0.00620	\$ 8.22
Agua	277	\$ 0.00100	\$ 0.28
LV parte A	2.55	\$ 1.60000	\$ 4.08
LV parte B	2.1	\$ 1.77000	\$ 3.72
TOTAL			\$ 51.31

El costo total de materiales en estado SSS del MLV con arena fina café claro es:

Mezcla en SSS	1m ³ (kg)	P.U	Total
Cemento	320	\$ 0.11674	\$ 37.36
Arena	1253	\$ 0.00620	\$ 7.77
Agua	275	\$ 0.00100	\$ 0.28
LV parte A	2.72	\$ 1.60000	\$ 4.35
LV parte B	2.24	\$ 1.77000	\$ 3.96
TOTAL			\$ 53.72

Luego de haber ajustado el precio de venta para que la utilidad bruta sea mínimo del 30% se obtuvieron los siguientes resultados:

	Diseño con arena rosada	Diseño con arena café claro
Precio de venta	\$ 91.95	\$ 95.42

En la tabla siguiente se presentan los valores de la Contribución 1 y los porcentajes del precio de venta equivalentes.

	Diseño con arena rosada	Diseño con arena café claro
Contribución 1	\$ 44.47	\$ 43.27
% del Precio de venta	44.20%	43.7%

A continuación se muestran los valores de los diferentes costos directos e indirectos para la producción del MLV.

Costo fijo de producción	\$ 6
Costo fijo de distribución	\$ 5.50
Costo variable de distribución	\$ 1
Otros costos variables	\$ 0.50

Al restar estos costos de la Contribución 1 se obtiene la utilidad bruta y sus respectivos porcentajes del precio de venta.

	Diseño con arena rosada	Diseño con arena café claro
Utilidad Bruta	\$ 27.64	\$ 28.7
% del Precio de venta	30.06%	30.08%

9.3.2 Cálculo del costo de fabricación de 1m³ de mortero tradicional

Para calcular el costo de fabricación de 1m³ de mortero tradicional se debe tomar en cuenta los costos de mano de obra para producir el mortero, los costos de las herramientas

utilizadas, y finalmente los costos de los materiales. Para el cálculo se utilizó el análisis de precios unitarios descrito en el “Manual de Costos en la Construcción” realizado por el departamento técnico de la Cámara de la Construcción de Quito.

RUBRO: Mortero 1:5**UNIDAD: M3**

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	1.00	0.20	0.20	0.660	0.13
CONCRETERA	1.00	2.50	2.50	0.660	1.65
			-		-
			-		-
			-		-
			-		-
SUBTOTAL M					1.78
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
PEON CAT. I	3.00	2.13	6.39	0.660	4.22
AYUDANTE CAT.II	2.00	2.13	4.26	0.660	2.81
ALBAÑIL CAT.III	1.00	2.13	2.13	0.660	1.41
MAESTRO DE OBRA CAT.IV	1.00	2.13	2.13	0.070	0.15
MAESTRO DE ESTRUCTURA MAYOR		2.13	-		-
SECAP		2.13	-		-
CHOFER LIC E		3.13	-		-
O.E.P.I		2.13	-		-
TOPGRAFO 1		2.13	-		-
SUBTOTAL N					8.58
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO ÚNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
CEMENTO	Kg	370.800	0.14	51.91	
ARENA PARA ENLUCIDO	M3	1.200	8.00	9.60	
AGUA	M3	0.200	0.60	0.12	
ADITIVO	KG	5.550	1.35	7.49	
				-	
				-	

				-
SUBTOTAL O				69.12
TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
ARENA	M3/Km	A 30.00	B 0.14	C^A*B 4.20
				-
				-
				-
SUBTOTAL P				4.20
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			83.69
	INDIRECTOS Y UTILIDADES %			0% -
	OTROS INDIRECTOS %			
	COSTO TOTAL DEL RUBRO			83.69
	VALOR OFERTADO			83.69

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

El costo de producción de un metro cubico de mortero tradicional es aproximadamente 83.69\$. Si a este valor le aumentamos el 5% de desperdicios se obtiene un valor de 87.8\$. Como el precio de venta de un metro cúbico de MLV es de 91.95\$, el constructor preferiría obviamente producir el mortero por su cuenta y no comprar mortero ya preparado.

9.3.3 Cálculo del costo total de un metro cuadrado de enlucido

A continuación se mostrará el análisis de precios unitarios de un metro cuadrado de enlucido con mortero tradicional y con MLV.

RUBRO: ENLUCIDO VERTICAL CON MORTERO TRADICIONAL

UNIDAD: M2

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	1.00	0.20	0.20	0.610	0.12
			-		-
			-		-
			-		-
			-		-

SUBTOTAL M					0.12
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
PEON CAT. I	1.00	2.13	2.13	0.660	1.41
AYUDANTE CAT.II		2.13	-		-
ALBAÑIL CAT.III	1.00	2.13	2.13	0.660	1.41
MAESTRO DE OBRA CAT.IV	1.00	2.13	2.13	0.061	0.13
MAESTRO DE ESTRUCTURA MAYOR SECAP		2.13	-		-
CHOFER LIC E		3.13	-		-
O.E.P.I		2.13	-		-
TOPGRAFO 1		2.13	-		-
SUBTOTAL N					2.94
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO ÚNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
MORTERO 1:5	M3	0.010	83.58	0.84	
				-	
				-	
				-	
				-	
				-	
SUBTOTAL O					0.84
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
				-	
				-	
				-	
SUBTOTAL P					-
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					3.90
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					0%
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					3.90
VALOR OFERTADO					3.90

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

RUBRO: ENLUCIDO VERTICAL CON MORTERO LARGA VIDA

UNIDAD: M2

DETALLE:

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	1.00	0.20	0.20	0.470	0.09
			-		-
			-		-
			-		-
			-		-
			-		-
SUBTOTAL M					0.09
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
PEON CAT. I	1.00	2.13	2.13	0.470	1.00
AYUDANTE CAT.II		2.13	-		-
ALBAÑIL CAT.III	1.00	2.13	2.13	0.470	1.00
MAESTRO DE OBRA CAT.IV	1.00	2.13	2.13	0.047	0.10
MAESTRO DE ESTRUCTURA MAYOR SECAP		2.13	-		-
CHOFER LIC E		3.13	-		-
O.E.P.I		2.13	-		-
TOPGRAFO 1		2.13	-		-
SUBTOTAL N					2.10
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO ÚNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
MORTERO 1:5 LARGA VIDA	M3	0.010	95.41	0.95	
					-
					-
					-
					-
					-
SUBTOTAL O					0.95
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
					-
					-
					-
					-
SUBTOTAL P					-

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	3.15
INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0% -
OTROS INDIRECTOS %	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	3.15
VALOR OFERTADO	3.15

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Se puede observar que el costo del metro cuadrado de enlucido con MLV es más barato. Esto ocurre ya que el rendimiento de un albañil que utiliza MLV para enlucir es de 17m² por día, mientras que el rendimiento de un albañil que utiliza mortero tradicional para enlucir está entre 10 y 15m² por día. Se puede concluir que el beneficio del MLV está entonces al momento de enlucir.

Capítulo 10

Control de calidad, Recomendaciones, y Conclusiones

Un objetivo importante de la investigación es realizar un control de calidad del MLV en la evaluación de propiedades físicas y mecánicas con los debidos cuidados en muestreo y ensayos, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

10.1 Muestreo

- Se debe tomar cilindros únicamente del mortero remezclado ya que este mortero al tener una consistencia blanda con aire incorporado de más de 12% tiene una exudación mínima, mientras que el mortero recién preparado es muy fluido y su exudación es excesiva.
- Se debe tomar muestras de mortero para ensayar a los 7, 14 y 28 días para asegurar un correcto seguimiento de su resistencia a la compresión. Como dice la norma NTC 3356 se cuenta los días a partir del muestreo del mortero.

10.2 Mediciones

- Se debe medir la consistencia, peso unitario, y contenido de aire tanto del mortero recién preparado como del mortero remezclado para así tener un seguimiento controlado de las características físicas del MLV para el cliente.

10.3 Ensayos

- Si los cilindros de mortero tienen irregularidades en la superficie, es necesario proceder al capeo de los mismos para obtener una superficie lisa, ya que si se ensaya cilindros irregulares, su superficie no actuará como área total sino solamente como área efectiva y esto ocasionará que se obtengan resistencias reducidas.
- El curado de los cilindros de hormigón o de mortero consiste en colocarlos en tanques con agua a 23°C aproximadamente. Los productores de los aditivos estabilizadores recomiendan no curar de esta manera a los cilindros de MLV puesto que su fraguado es mucho más lento y al ponerlos en agua puede causar el deterioro de los mismos. Una recomendación de curado es envolverlos en plástico para que el agua evaporada quede atrapada dentro del plástico y este vapor actúe como curado para el cilindro.
- Se debe desencofrar a los cinco días ya que si se desencofra antes es posible que el cilindro se estropee puesto que antes de ese tiempo no se ha comenzado aún el proceso de fraguado. Cabe recalcar que el tiempo inicial de fraguado calculado del MLV es de 124 horas 42 minutos que corresponde al quinto día de haberlo preparado.

10.4 Conclusiones Generales

- Gracias al aire incluido, el MLV es más liviano que un mortero tradicional y por ende es más trabajable y fácil de aplicar. Un albañil puede enlucir hasta 17m² por día. Esto conlleva a que el costo por metro cuadrado de enlucido con MLV sea más barato que con mortero tradicional.
- La adherencia del MLV en superficies lisas como secciones estructurales es bastante buena ya que no es necesario picar dichas secciones como normalmente se hace para obtener buena adherencia con mortero tradicional.
- No se producen fisuras en los enlucidos con MLV gracias a la excelente cohesión de la mezcla dada por su alto contenido de aire.

- Al usar MLV no existe desperdicio alguno de materia prima (arena y cemento) como sí lo hay al preparar el mortero tradicional en obra. Tampoco hay desperdicio de mortero que se endurece al no usarse.
- El MLV puede usarse tanto como enlucido y como pega desde los 60mm hasta los 45mm de consistencia como se pudo apreciar en la prueba industrial.
- El MLV diseñado tiene una vida útil de 36 horas en obra y no de 12 horas como se evaluó en el laboratorio.