



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA
TRADICIONAL PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERÍA FABRICADO EN
OBRA COMPARADO CON MORTERO PREDOSIFICADO**

Diego Alejandro Santizo Muralles

Asesorado por la Inga. María del Mar Girón Cordón

Guatemala, enero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA
TRADICIONAL PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERÍA FABRICADO EN
OBRA COMPARADO CON MORTERO PREDOSIFICADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ALEJANDRO SANTIZO MURALLES
ASESORADO POR LA INGA. MARÍA DEL MAR GIRÓN CORDÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Claudio César Castañón Contreras |
| EXAMINADORA | Inga. María del Mar Girón Cordón |
| EXAMINADOR | Ing. Alejandro Castañón López |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA TRADICIONAL
PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERÍA FABRICADO EN OBRA COMPARADO CON
MORTERO PREDOSIFICADO**

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha julio de 2012.



Diego Alejandro Santizo Muralles

Guatemala,
4 de noviembre 2013

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Escuela de Ingeniería Civil
Edificio T-3, Ciudad Universitaria
Zona 12.

Estimados señores:

Por este medio, hago constar que el estudiante **DIEGO ALEJANDRO SANTIZO MURALLES** con número de carné 200412581; quien presento ante mi persona el proyecto de tesis **“ANÁLISIS Y EVALUACION DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA TRADICIONAL PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERIA FABRICADO EN OBRA COMPARADO CON MORTERO PREDOSIFICADO”** ha cumplido con los procesos de revisiones correspondiente y aprobación de mi parte para continuar con el proceso correspondiente.

Sin otro particular, se despide de usted muy atentamente


María del Mar Girón Cordon
Ingeniera Civil
Colegiada No. 8445


María del Mar Girón Cordon
Ingeniera Civil
Colegiada No. 8445



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,

4 de noviembre de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ANALISIS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA TRADICIONAL PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERIA FABRICADO EN OBRA COMPARADO CON MORTERO PREDOSIFICADO, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Diego Alejandro Santizo Muralles, quien contó con la asesoría de la Inga. María del Mar Girón Córdón.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

RESPECTO Y ENSEÑANZA A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento
Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758



/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. María del Mar Girón Cordon y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Diego Alejandro Santizo Muralles, titulado **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA TRADICIONAL PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERÍA FABRICADO EN OBRA COMPARADO CON MORTERO PREDOSIFICADO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero 2014.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE MORTERO DE SABIETA TRADICIONAL PARA LEVANTADO DE MAMPOSTERÍA FABRICADO EN OBRA COMPARADO CON MORTERO PREDOSIFICADO**, presentado por el estudiante universitario **Diego Alejandro Santizo Muralles**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Gympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, enero de 2014

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por la oportunidad de la vida y darme las herramientas para desarrollarme como ser humano.
- Mi papá** Edwin Santizo, por sus doctrinas e incondicional amor y admirable ejemplo profesional y personal.
- Mi mamá** Verónica Muralles, por su apoyo en los momentos claves de mi vida, sus atinados consejos y regaños, para formarme como hombre de bien.
- Mi hermanos** Gabriela y Andrés Santizo, por el acompañamiento brindado y la convivencia en buenos y malos momentos.
- Mi padrastro** Carlos Martínez, quien ha influenciado fuertemente para el logro de mis compromisos y sueños.
- Mis amigos** Amanda Velásquez, Gariela Fajarado,

Sergio Escobar Darío Montenegro, Jeanny Ramírez, Carlos Perz y Allan Hernández, por compartir experiencias dentro y fuera del contexto académico.

Mis maestros

Personas que la vida me ha dado la oportunidad de conocer, Álvaro Pensabene, Hugo Stewart, Hugo Nájera, Roberto Torriello, Sara Duarte y Mar Girón, por compartir sus conocimientos profesionales y notable forma de vida.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por ser la casa donde me formé, es un honor haber caminado por sus aulas.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1 . ASPECTOS GENERALES DE LOS MORTEROS | 1 |
| 1.1. Breve historia y evolución de los morteros | 1 |
| 1.2. Definiciones generales..... | 2 |
| | |
| 2 . MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE UNIÓN | 5 |
| 2.1. Cementos | 5 |
| 2.1.1. Cemento Portland hidráulico | 6 |
| 2.1.2. Cemento Portland blanco..... | 10 |
| 2.1.3. Cementos de mampostería o albañilería | 10 |
| 2.1.4. Cementos especiales..... | 12 |
| 2.2. Cal | 12 |
| 2.2.1. Tipos de cal..... | 13 |
| 2.2.1.1. Cal viva | 13 |
| 2.2.1.2. Cal hidratada..... | 14 |
| 2.3. Agregados | 15 |
| 2.3.1. Tipos de agregados según su proceso de fabricación . | 17 |
| 2.3.1.1. Agregados por procesos simples | 17 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.3.1.2. | Agregados por procesos complejos..... | 18 |
| 2.3.2. | Propiedades de los agregados | 19 |
| 2.3.3. | Características del agua | 20 |
| 3 . | PROPIEDADES Y TIPOS DE MORTEROS..... | 23 |
| 3.1. | Morteros de cemento hidráulico | 23 |
| 3.2. | Morteros de cal..... | 23 |
| 3.3. | Morteros de cal y cemento hidráulico | 24 |
| 3.4. | Morteros utilizados en Guatemala | 25 |
| 3.4.1. | Elaborados en obra | 26 |
| 3.4.2. | Premezclados | 27 |
| 3.4.3. | Predosificados | 27 |
| 3.5. | Propiedades mecánicas de los morteros..... | 28 |
| 3.5.1. | Propiedades en estado plástico..... | 29 |
| 3.5.1.1. | Trabajabilidad | 29 |
| 3.5.1.2. | Velocidad de endurecimiento..... | 30 |
| 3.5.2. | Propiedades en estado sólido | 31 |
| 3.5.2.1. | Adherencia..... | 31 |
| 3.5.2.2. | Resistencia a la compresión | 33 |
| 3.5.2.3. | Apariencia..... | 34 |
| 4 . | CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS SEGÚN NORMA ASTM C-270 | 35 |
| 4.1. | Dosificaciones propuestas para experimentos de conteo bajo parámetros de la norma ASTM C-270..... | 39 |
| 5 . | DESARROLLO DE CONTEOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA, REGISTROS DE TIEMPOS Y FACTORES DE EVALUACIÓN | 43 |
| 5.1. | Experimento No. 1: toma de datos y análisis de resultados en material predosificado | 44 |
| 5.2. | Experimento No. 2: toma de datos y análisis de resultados en material elaborado en obra..... | 51 |

| | | |
|-----------------------|---|----|
| 5.3. | Comparaciones gráficas de resultados y proyecciones | 58 |
| 5.3.1. | Comparaciones de consumo de material | 58 |
| 5.3.2. | Comparació de rendimiento de material | 62 |
| CONCLUSIONES | | 67 |
| RECOMENDACIONES | | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 71 |
| APÉNDICES | | 73 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Banco de materiales de bloques de mampostería | 2 |
| 2. | Aparejo simple entrecruzado en muro de mampostería | 3 |
| 3. | Muestra de cemento Portland a granel | 10 |
| 4. | Muestra de agregado fino a granel | 20 |
| 5. | Muestra de sabieta fabricada en obra..... | 26 |
| 6. | Muestra de mortero predosificado a granel | 28 |
| 7. | Mortero en estado plástico que mantiene las propiedades ideales de apariencia y color | 34 |
| 8. | Distribución en minutos del tiempo de ejecución, calculado por la adición del tiempo de terciado y levantado con material predosificado | 47 |
| 9. | Relación de número de mampostes colocados por cantidad de kilogramo de material utilizado con material predosificado | 48 |
| 10. | Cantidad de bloques pegados respecto al número de kilogramos de material utilizado con material predosificado | 48 |
| 11. | Línea de tendencia de rendimiento de unidades de mampostería por Kg de material utilizado, con material predosificado | 49 |
| 12. | Análisis de certeza de los tiempos de ejecución, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio | 49 |
| 13. | Análisis de certeza de cantidad de block pegado por unidad tiempo en horas utilizado, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio | 50 |

| | | |
|-----|--|----|
| 14. | Análisis de certeza de cantidad material en kilogramos, utilizado para colocar una unidad de mampostería, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio | 50 |
| 15. | Tiempo de ejecución..... | 54 |
| 16. | Distribución en minutos del tiempo de ejecución, calculado por la adición del tiempo de terciado y levantado con sabieta fabricada en obra..... | 55 |
| 17. | Relación de número de mampostes colocados por cantidad de kilogramo de material utilizado con sabieta fabricada en obra..... | 55 |
| 18. | Cantidad de bloques pegados respecto del número de kilogramos de material utilizado, con sabieta fabricada en obra | 56 |
| 19. | Línea de tendencia de rendimiento de unidades de mampostería por Kg de material utilizado, con sabieta fabricada en obra..... | 56 |
| 20. | Análisis de certeza de los tiempos de ejecución, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio | 57 |
| 21. | Análisis de certeza de cantidad material en kilogramos utilizado para colocar una unidad de mampostería, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio ... | 57 |
| 22. | Sobreposición de las tendencias del material predosificado y el material realizado en obra..... | 59 |
| 23. | Acercamiento a las líneas de tendencias del material predosificado y el material realizado en obra | 60 |
| 24. | Comparación entre toma directa de datos de material realizado en obra respecto de la proyección de bloques pegados, utilizando la misma cantidad de kilogramos de material predosificado..... | 62 |
| 25. | Sobreposición de las tendencias del material predosificado y el material realizado en obra, sobre la cantidad de bloques colocados en un período de tiempo | 64 |

26. Comparación entre toma directa de datos de material realizado en obra, respecto de la proyección de bloques pegados, utilizando el mismo período de tiempo con material predosificado66

TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Clasificación de los tipos de cemento Portland según la norma ASTM C-150..... | 8 |
| II. | Usos generales de los morteros de acuerdo con la clasificación de las normas ASTM C-91 y ASTM C-270 | 11 |
| III. | Propiedades y características de la cal hidratada según norma COGUANOR.. | 16 |
| IV. | Breve descripción de la norma ASTM C-807 03a..... | 31 |
| V. | Breve descripción de la norma ASTM C-952 86..... | 33 |
| VI. | Clasificación y propiedades de los morteros de acuerdo con la norma ASTM C-270..... | 36 |
| VII. | Características principales y usos de los morteros de mampostería según la norma ASTM C-270. | 38 |
| VIII. | Guía para selección de morteros de mampostería según su uso de acuerdo con la norma ASTM C-270. | 39 |
| IX. | Proporciones para diseño de mezcla según tipo de mortero requerido de acuerdo a la norma ASTM C-270..... | 40 |
| X. | Proporciones para diseño de mezcla de sabieta elaborada en obra para experimentos de conteo. | 41 |
| XI. | Toma de datos para material predosificado. | 45 |
| XII. | Análisis de resultados y factores de rendimiento en material predosificado. | 46 |
| XIII. | Promedios de resultado en material predosificado..... | 47 |
| XIV. | Toma de datos para material elaborado en obra..... | 52 |

| | | |
|--------|---|----|
| XV. | Análisis de resultados y factores de rendimiento en material elaborado en obra..... | 53 |
| XVI. | Promedios de resultado en material elaborado en obra..... | 54 |
| XVII. | Toma directa de datos de cantidad de kilogramos y número de bloques pegados con dicho material, para material predosificado y material elaborado en obra. | 58 |
| XVIII. | Toma directa de datos de cantidad de kilogramos y número de bloques pegados en obra y proyección de número de bloques que serían pegados con la misma cantidad de material predosificado..... | 61 |
| XIX. | Toma directa de datos de número de bloques pegados en un período de tiempo dado para sabieta predosificada y sabieta elaborada en obra.. | 63 |
| XX. | Toma directa de datos de número de bloques pegados en obra y proyección de número de bloques que serían pegados en el mismo período de tiempo con material predosificado..... | 65 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Kg | Kilogramo |
| kg/cm² | Kilogramo por centímetro cuadrado |
| lb | Libra |
| lt | Litro |
| mm | Milímetro |
| MPa | Milipascales |

GLOSARIO

| | |
|--------------------|---|
| Bauxita | Óxido hidratado de aluminio que contiene generalmente cierta cantidad de óxido de hierro y suele ser de color blanquecino, gris o rojizo. |
| Calcinación | Acción y efecto de calcinar; es decir de reducir a cal viva los minerales calcáreos, privándolos del ácido carbónico por el fuego. |
| Cohesión | Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están formadas. |
| Creta | Carbonato de cal terroso. |
| Mampostería | Obra hecha con mampuestos colocados ajustados y unos con otros, sin sujeción a determinado orden de hiladas o tamaños. |
| Mortero | Conglomerado o masa constituida por arena conglomerante y agua, que puede contener además algún aditivo. |
| Solera | Madera asentada sobre fábrica para que en él descansen o se ensamblen otros horizontales, inclinados y verticales |

RESUMEN

El presente trabajo de graduación es el resultado formal, técnico, cuantificable y comprobable de ciertas observaciones y monitoreos realizados en el ámbito laboral, que buscan aumentar la productividad y calidad en los procesos constructivos de levantado de muro con mampostería.

Por esta razón se realizó un proceso de toma directa de datos para el análisis de las situaciones de rendimiento y consumo de material, buscando valores unitarios de kilogramos de material consumido y tiempo de ejecución por unidad de mampostería, para una futura comparación entre el material predosificado y el material realizado en obra.

Con los datos obtenidos en campo, se determinaron los factores de rendimiento, consumo y producción para cada uno de los casos estudiados, a través de procesos aritméticos y estadísticos; de igual manera se obtuvieron los factores de certeza de dichos materiales.

Se hace una descripción de la historia y evolución de los morteros, los materiales utilizados para su elaboración, se hace énfasis en los tipos de morteros y sus características, de acuerdo con la norma ASTM C-270; al final se presenta la recolección e interpretación de datos, para la obtención de los factores unitarios de comparación.

OBJETIVOS

General

Realizar un análisis de rendimiento de cantidad de bloques de mampostería pegados por kilogramo de material predosificado y kilogramo de material realizado en obra y de rendimiento de ejecución, de bloques de mampostería pegados por unidad de tiempo.

Específicos

1. Determinar qué producto aglomerante, de los dos a comparar (material predosificado y material hecho en obra), tiene mayor índice de rendimiento de unidades de mampostería pegadas por kilogramo de material utilizado.
2. Realizar tablas y gráficas comparativas de los rendimientos de los aglomerantes de mampostería.
3. Determinar qué producto aglomerante tiene menor tiempo de ejecución.
4. Determinar los factores que implican una reducción en la ejecución, con base en el aglomerante de mayor rendimiento por unidad de tiempo.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas constructivos de mayor uso dentro del área urbana y rural de Guatemala suelen ser las edificaciones por medios de marcos y los sistemas de cajones, en ambos se utilizan bloques de mampostería como estructuras de carga o muro de cerramiento.

El análisis de los rendimientos de los aglomerantes para la mampostería, pretende representar dentro de un margen numérico y gráfico, los factores que determinan un mayor provecho del producto y maximización de tiempo de ejecución.

Los compuestos de mayor uso en los morteros de unión han sido la cal y los elementos cementicios. La cal ha sido el material aglomerante utilizada en los morteros desde tiempos remotos (muestra de ello son las civilizaciones egipcia, griega, romana y en Guatemala los mayas, por ejemplo el sitio arqueológico de Uaxactún, posee evidencias de paredes bajas de piedra que eran simples muros de retención o frentes de plataformas bajas para sostener estructuras de materiales de poca duración) por sus características mecánicas, en particular, por la resistencia a compresión y a tensión, ha sido desplazadas en los últimos tiempos por materiales cementicios como elementos principales en los morteros de unión

El análisis de los resultados de rendimiento y tiempo de ejecución de un producto predosificado en comparación al mortero tradicional realizado en obra, busca la formalización de criterios para la correcta toma de decisiones en la ejecución de proyectos relacionado a levantados de mampostería.

1. ASPECTOS GENERALES DE LOS MORTEROS

1.1. Breve historia y evolución de los morteros

El origen de los morteros está íntimamente ligado al de los conglomerantes, que forman parte importante de su composición. Hace 5,000 años aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas; estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indígenas. También los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales volcánicos (cenizas), mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Estas cenizas las encontraron en un lugar llamado *Puteoli* conocido hoy como *Puzzuoli* (AFAM, 2006); de aquí que a este cemento se le llamase «cemento de puzolana».

Hasta el siglo XVIII solo se utilizaron los morteros de cal, yesos y materiales puzolánicos. De 1750 a 1800 se investigaron mezclas calcinadas de arcilla y caliza. En el siglo XIX, *Vicat* realizó una serie de investigaciones que describían el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla, y propuso en 1818 el sistema de fabricación que se emplea actualmente. *Vicat* encaminó la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas (AFAM, 2006).

1.2. Definiciones generales

En el lenguaje técnico, cuando se recurre a temas de morteros de unión para mampostería, se encuentra un listado de términos de uso exclusivo del tema, citados por Merrit, en 1983, los cuales se mencionan a continuación.

- Mampostería: construcción armada o combinación de piezas de mampostes juntos con mortero o material cementante.

Figura 1. **Banco de materiales de bloques de mampostería**



Fuente: proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

- Mortero: mezcla plástica de materiales cementantes, agregados finos y agua.
- Mortero de unión: mezcla plástica de materiales cementantes, agregados finos y agua que cumple el objetivo de unir bloques de mampostería en sentido horizontal y vertical de acuerdo con un aparejo establecido.

- Mortero de revestimiento: mezcla plástica de materiales cementantes, agregados finos, aditivos químicos, agua y en algunos casos colorantes, que cumplen con el objetivo de dar una textura diferente a la presentada por el material original.
- Mortero de reparación: mezcla plástica de materiales cementantes, agregados finos, aditivos químicos y agua que cumple con la función de reparaciones en discontinuidades monolíticas existentes en estructuras por malas prácticas en procesos constructivos.
- Mortero impermeabilizante: mezcla plástica de materiales cementantes, agregados finos, aditivos y agua que cumple la función de sellar los poros de una superficie y lograr un grado menor de permeabilidad respecto al acabado propio del material.
- Aparejo: es la disposición y trabazón que adquieren los materiales en la construcción de los muros.

Figura 2. **Aparejo simple entrecruzado en muro de mampostería**



Fuente: proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

- Terciado: es el vocablo coloquial que se refiere a la unión y combinación de dos o más materiales en estado seco o líquido, buscando una composición homogénea de mezcla.

2. MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE UNIÓN

El mortero de unión es una mezcla de un material aglomerante (cemento hidráulico, cemento Portland, cal y/u otros cementantes), un material de relleno o de volumen (agregado fino o arena), agua y en algunos casos en específicos elementos químicos que proporcionan ciertas características de diseño (aditivos), que sirven para la unión horizontal y vertical de bloques de mampostería. Los componentes de este material, reúnen ciertas especificaciones físicas, químicas y mecánicas (Sabá, 2006).

2.1. Cementos

El cemento es el material aglomerante más conocido y utilizado en las construcciones. Existen varios tipos de cemento, pero el cemento Portland (gris y blanco) son los que mayor mercado poseen.

El cemento es un material de unión que tiene propiedades de adherencia y cohesión, que le permiten unir fragmentos minerales entre sí y formar un conglomerado con resistencia y durabilidad adecuadas.

Este tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación, y que al endurecer, conserva su resistencia y estabilidad.

Aunque los cementos Portland son los más comunes de los cementos hidráulicos modernos, hay otras clases de uso generalizado, según lo señala Merritt (1983).

- Cementos aluminosos: se preparan mediante la fusión de una mezcla de piedra caliza y bauxita en un horno eléctrico o un alto horno; después, se enfría y se muele el clínker resultante. La bauxita tiene un alto contenido de alúmina en comparación con las arcillas utilizadas en la elaboración del cemento Portland. Los cementos de alto contenido de alúmina tienen una elevada resistencia inicial y la mayoría de la resistencia final se obtiene en un tiempo de 24 horas.
- Cementos naturales: se producen por la pulverización de finas calizas arcillosas calcinadas que tengan las mismas proporciones aproximadas para el cemento Portland. La calcinación se lleva a cabo a una temperatura que no debe sobrepasar la estrictamente indispensable para expulsar el gas ácido carbónico. Esta temperatura suele ser unos 2370 °F. Dado que los cementos naturales provienen de materiales naturales y no se altera su composición, sus propiedades presentan variaciones.

2.1.1. Cemento Portland hidráulico

Los cementos Portland se elaboran con la incorporación de una mezcla de material calcáreo (piedra caliza) y arcilloso. La materia prima se dosifica con todo cuidado para tener las cantidades correctas de cal, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro.

Después de triturarlos para facilitar la calcinación, la materia prima se pasa a un largo horno rotatorio, que se mantiene en temperatura alrededor de los 2,700 °F; la materia prima, durante su calcinación, sufre una reacción química y forma nódulos duros, del tamaño de una nuez, de nuevo material llamado clínker.

El clínker, después de descargarlo de horno y enfriarlo, se tritura para formar un polvo fino (no menos de 1,600 cm² por gramo de superficie específica). Durante este proceso de trituración, se agrega un retardador (por lo general un pequeño porcentaje de yeso) para contrarlar la velocidad del fraguado en el momento en que se hidrate el cemento; el polvo fino resultante es el cemento Portland.

En Guatemala, las especificaciones del cemento Portland se reúnen en la norma COGUANOR NGO 41 005, que se refiere al cemento Portland, su clasificación y especificaciones), equivalente a la norma ASTM C-150 *Standard specification for Portland cement* (especificación estándar para cemento Portland). De ella se derivan otras normas para la evaluación de las características físicas, químicas y mecánicas de los cementos.

Para evaluar las características físicas se realizan ensayos de consistencia normal, peso específico, finura, velocidad de endurecimiento y cambios volumétricos. Las principales características químicas se evalúan por medio de ensayos de reactividad potencial con los agregados, son la pérdida por ignición, determinación de residuo insoluble y determinación del sulfato de calcio.

Las características mecánicas se evalúan mediante ensayos de compresión y tensión.

Tabla I. **Clasificación de los tipos de cemento Portland según la norma ASTM C-150**

| TIPO | CARACTERÍSTICA | Resistencia a la compresión, % del concreto con cemento tipo Portland, tipo I | | |
|-----------|--|---|---------|---------|
| | | 3 días | 28 días | 3 meses |
| Tipo I | Cemento para usos generales: es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren las propiedades especiales específicas para los otros cuatro tipos de cemento. | 100 | 100 | 100 |
| Tipo I A | Cemento incorporador de aire: para los mismos usos que el tipo I, donde se desea incorporación de aire. | 100 | 100 | 100 |
| Tipo II | Cemento modificado para usos generales: se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque de sulfatos o cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento tipo II adquiere resistencia con más lentitud que el tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia. | 80 | 85 | 10 |
| Tipo II A | Cemento incorporador de aire: para los mismos usos que el tipo II, donde se desea incorporación de aire. | 80 | 85 | 10 |

Continuación de la tabla I.

| | | | | |
|------------|--|-----|-----|-----|
| Tipo III | Cemento de alta resistencia inicial: recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de la construcción. El concreto realizado con cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrolla en 28 días por el cemento tipo I y tipo II. Dado que el cemento tipo III tiene un gran desprendimiento de calor, no se debe usar en grandes volúmenes. | 190 | 130 | 115 |
| Tipo III A | Cemento incorporador de aire: para los mismos usos que el tipo III, donde se desea incorporación de aire. | 190 | 130 | 115 |
| Tipo IV | Cemento de bajo calor de hidratación. | 50 | 65 | 90 |
| Tipo V | Cemento resistente al sulfato y se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden estructuras hidráulicas expuestas a las aguas con alto contenido de álcalis y en estructuras expuestas al agua de mar. | 65 | 65 | 85 |

Fuente: ASTM C-150-07. www.astm.org/Standards/C150C150M-sp.htm.

Consulta: septiembre de 2013.

Figura 3. **Muestra de cemento Portland a granel**



Fuente: proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

2.1.2. Cemento Portland blanco

El cemento blanco es un cemento Portland que difiere del gris, exclusivamente en cuanto a su color. Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C-150. Sin embargo, el proceso de manufactura es controlado para que el producto terminado sea blanco. Para obtener este color blanco en el cemento, es necesario utilizar materia prima con bajo contenido de óxido de hierro, usar combustible libre de piritas y calcinar a una temperatura superior a la normal.

2.1.3. Cementos de mampostería o de albañilería

Son cementos hidráulicos diseñados para emplearse en morteros para construcciones de mampostería.

Se componen de alguno o varios de los siguientes materiales: cemento Portland, Portland-puzolana, Portland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica, y cemento natural. Estos normalmente contienen cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla. Los materiales se seleccionan de acuerdo con su capacidad para impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros.

La norma ASTM C-91 *Standard specification for masonry cement* (Especificación estándar para morteros de cementos) clasifica a los cementos de albañilería como tipo N, S y M. Estos pueden usarse para recubrimientos y para unir bloques de mampostería; nunca se deben emplear para elaborar concreto.

Tabla II. **Usos generales de los morteros de acuerdo con la clasificación de las normas ASTM C-91 Y ASTM C-270**

| Tipo de cemento (ASTM C-91) | Tipo de mortero (ASTM C-270) | Usos generales del mortero |
|-----------------------------|------------------------------|--|
| N | N | Paredes de carga Parapetos |
| N | O | Paredes sin carga |
| S | S | Muros de cimentación Muros de contención Pozos Aceras Patios |
| M | M | Paredes de carga |

Fuente: elaboración propia. Datos resumidos con base en las normas ASTM C-91 y ASTM C-270.

2.1.4. Cementos especiales

De acuerdo con Sabá (2006) existen tipos especiales de cemento que no están necesariamente incluidos en las especificaciones ASTM. Algunos de ellos contienen cemento Portland:

- Cementos para pozo petrolero
- Cementos Portland impermeabilizados
- Cementos plásticos
- Cementos de fraguado regulado
- Cementos con adiciones

2.2. Cal

La cal es un material aglomerante simple, producido por la eliminación de agua de los materiales naturales. Sus propiedades aglomerantes se originan por la reabsorción del agua expulsada y la formación de los mismos compuestos químicos de que estaba formado el material original. Se puede obtener por los procedimientos siguientes:

- Extracción de la roca: el arranque de la piedra caliza puede realizarse a cielo abierto o en galería y por distintos medios, según la disposición del frente. Los bloques obtenidos se fragmentan para facilitar la cocción.
- Cocción o calcinación: el carbonato de calcio (CaCO_2), componente principal de las calizas, se somete a la acción del calor y se descompone en anhídrido carbónico y óxido de calcio o cal viva, produciéndose la reacción química: $\text{Ca CO}_3 + \text{calor} \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Para lograr la reacción de descomposición es necesario que la temperatura del horno sea superior a 900 °C. Los tipos de horno para la cocción pueden ser de campana, intermitente de cuba o continuo.

2.2.1. Tipos de cal

La cal se puede encontrar en dos formas diferentes en el comercio: cal viva y cal hidratada.

2.2.1.1. Cal viva

Es el producto de la calcinación de piedra caliza que contenga grandes cantidades de carbonato de calcio (CaCO_3) y algo de carbonato de magnesio (MgCO_3). La calcinación evapora el agua de la piedra, calienta la piedra caliza a una temperatura lo bastante alta para la disociación química, expulsa el dióxido de carbono en forma de gas y deja los óxidos de calcio y magnesio.

El óxido de calcio (CaO) resultante, llamado cal viva, tiene gran avidez por el agua. La cal viva destinada a la construcción se debe combinar primero con la cantidad correcta de agua para formar una pasta de cal, o sea, el proceso de apagado.

Cuando la cal viva se mezcla con dos o tres veces su peso en agua, el óxido de calcio se combina con el agua para formar hidróxido de calcio y se desprende suficiente calor para que toda la masa entre en ebullición. El producto resultante es una suspensión de hidróxido de calcio finamente dividido, y óxido de magnesio, que al enfriar forma una pasta muy trabada y adquiere la consistencia del mastique.

Este mastique o pasta, después de un periodo de curado, se utiliza sobre todo en el mortero para albañilería, pues facilita trabajarlo. También puede utilizarse como aditivo en el concreto para mejorar su trabajabilidad (Merrit, 1983).

2.2.1.2. Cal hidratada

Se preparan a partir de cal viva, añadiendo una cantidad limitada de agua durante el proceso de fabricación. La cal hidratada se desarrolló a fin de poder ejercer mayor control sobre el apagado, al hacerlo durante la fabricación en vez de en la obra de construcción. Después de que el proceso de hidratación deja de desprender calor, se tiene un polvo fino y seco como producto final.

La cal hidratada puede usarse en el campo en la misma forma que la cal viva, como pasta o masa, pero no requiere un largo periodo de curado. Puede mezclarse en seco con arena, antes de agregar agua. La cal hidratada puede manejarse con más facilidad que la cal viva, porque no es tan sensible a la humedad.

Las especificaciones que cubren la calidad de la cal hidratada en Guatemala se encuentran en la norma COGUANOR NGO 41 018 (Cal hidratada, especificaciones).

En ella se incluye la clasificación, especificaciones, requisitos mínimos, métodos de prueba, etc. Es equivalente a la norma ASTM C-207 *Standard specification for hydrated lime for masonry purposes* (Especificaciones estándar para cal hidratada con propósitos de mampostería). Se describen procedimientos de ensayo para verificar si la misma cumple con las características físicas, químicas y mecánicas deseadas.

Quizá las características más importantes de la cal son las físicas y químicas, debido a que la cal es un material aglomerante que da resistencia al mortero. Por ello, sus propiedades mecánicas no son tan relevantes.

Las propiedades de la cal pueden notarse en las dos fases del mortero que son: la plástica o estado fresco, y la seca o estado endurecido. Ambas son importantes.

El mortero plástico debe lograr una consistencia adecuada para la colocación, mientras que en su estado endurecido debe mantener los ladrillos unidos y soportar cargas, agua y temperaturas extremas.

2.3. Agregados

Los agregados consisten en un gran porcentaje de volumen de una mezcla típica de mortero o concreto. El término agregado comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizada en la elaboración de mezclas.

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado, estos se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si retiene la estabilidad en su forma, con cambios de temperatura o humedad, y resiste a la acción de la intemperie sin descomponerse. Para que un agregado pueda considerarse de resistencia adecuada, debe ser capaz de desarrollar toda la resistencia propia del aglomerante.

Tabla III. **Propiedades y características de la cal hidratada según norma COGUANOR**

| Norma COGUANOR | Propiedad del material | Características |
|---|-------------------------------|--|
| COGUANOR NGO 41019h4 Cal hidratada y cal viva. Determinación del residuo sobre tamiz por vía húmeda | Finura | Debido a la elevada finura de los granos (superficie específica) la cal alcanza una resistencia mecánica de 3 MPa por simple secamiento. La finura influye sobre la fluidez, cohesión y retención del agua. Un tamaño entre 0.05 y 5 mm es satisfactorio. |
| COGUANOR NGO 41020h3 Cal hidratada. Determinación de la plasticidad | Plasticidad | Cohesión: capacidad de la mezcla para mantenerse íntegra y adherida a la superficie. Fluidez: capacidad del mortero del permitir el encogimiento de las partículas entre sí y por lo tanto de deformarse. Retención de agua: para evitar la pérdida de agua por absorción o por evaporación. |
| COGUANOR NGO 41020h2 Cal hidratada. Determinación de la retención de agua | Retención de agua | Es la propiedad de la cal que permite al mortero conservar la consistencia desde la preparación hasta el momento de aplicación, es decir, permanecer húmedo o con poca retracción por secado, hasta adquirir su resistencia. |

Fuente: elaboración propia.

De forma general, de acuerdo con los tamices que cruzan, los agregados se puede clasificar en dos tipos: finos y gruesos. En forma general de uso, los agregados finos y gruesos son utilizados en la fabricación de concreto; mientras que el agregado fino es utilizado para la elaboración de morteros.

En la elaboración de los morteros, se usan básicamente tres componentes: un aglomerante, un material de volumen que se le conoce como agregado fino, y agua como disparador de reacciones químicas.

Los agregados finos o arenas, (aquellos que pasa el tamiz 3/8" y quedan retenidos en la malla N° 200) son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento. En general, la mayoría son materiales de origen neutro, es decir que no presentan ninguna alteración a las reacciones físicas y químicas esperadas en la mezclas.

2.3.1. Tipos de agregados según su proceso de fabricación

A continuación se describen los diversos tipos de agregados para la fabricación del cemento Portland.

2.3.1.1. Agregados por procesos simples

Son todos aquellos agregados que se encuentran en la superficie terrestre, en canteras o bancos de materiales específicos, que son sometidos a una modificación de su distribución de tamaño, para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

Se pueden clasificar de la siguiente manera:

- De canteras: son aquellos depósitos de roca, en forma consolidada y en volumen y características físicas y químicas, suficientes como para justificar la extracción y uso en la elaboración de agregados.
- De depósitos sueltos: formados por acción eólica, glacial o hidrológica. Se encuentran localizados en las faldas de montañas, en lechos secos de ríos, y en antiguos valles o canales submarinos. Estos depósitos tienen la ventaja de que su mineral se puede extraer con mayor facilidad.
- De ríos o lagunas: representan fuentes de agregado procesado naturalmente por el flujo y las corrientes de agua, y poseen una gran variedad de minerales, provenientes de todos los sitios por donde pasa el curso del río.

2.3.1.2. Agregados por procesos complejos

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

En Guatemala son empleados con muy poca frecuencia en procesos constructivos regulares que estén fuera de los alcances de los muros de *soil nailing* (muros de suelo anclado), donde se utiliza polvo de sílice o microsílíce para la elaboración de mortero de lanzado.

2.3.2. Propiedades de los agregados

La norma que especifica las propiedades de los agregados es la ASTM C144-03 “*Standard specification for aggregate for masonry mortar*” (Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería). Las propiedades a cumplir con dicha norma son:

- El agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe ser limpio (granos limpios, sin costra, libres de cantidades perjudiciales de limo, mica, materia orgánica u otros). Su selección depende de la disponibilidad del mismo en la zona (depósitos aluviales, de cantera, etc.), costo de explotación y transporte, y de su eventual comportamiento en el mortero en cuanto a consistencia, resistencia y tamaños existentes representados en el módulo de finura.
- De la graduación del agregado depende en un alto porcentaje la trabajabilidad y la penetración de humedad. Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos. Por otra parte, si se aumenta el módulo de finura, para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye.
- Por lo general, las arenas naturales (depósitos, sedimentarios, ríos, etc.) producen morteros de resistencias más altas que las de cantera, obtenidas por medio de voladura o por trituración; siendo este efecto más notorio en morteros pobres de cemento.

Figura 4. **Muestra de agregado fino a granel**



Fuente: proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

2.3.3. Características del agua

El agua es un componente del mortero, generador de reacciones químicas que le da la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Es muy importante tener un estricto control sobre la relación de agua-cemento al momento de la dosificación de la mezcla, para no reducir la resistencia esperada.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado se puede utilizar para producir mortero o concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para este uso. Si se tienen dudas del agua a ser utilizada, se pueden fabricar cubos de mortero de acuerdo con la norma *ASTM C-109 Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars using cube specimens* (Método de prueba estándar para esfuerzo a compresión en morteros de cemento hidráulico usando especímenes de cubo).

Además de realizar los ensayos ASTM C-191 *Standard test method for time of setting of hydraulic cement by vicat needle* (Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado del cemento hidráulico con aguja vicat) para asegurar que las impurezas en el agua no afecten el tiempo de fraguado del cemento.

3. PROPIEDADES Y TIPOS DE MORTEROS

A continuación se presentan los tipos de morteros con mayor uso y aplicación de acuerdo con los materiales con los cuales son elaborados.

3.1. Morteros de cemento hidráulico

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas del mortero, se pueden utilizar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos Portland. La confección de este mortero ha de efectuarse de un modo continuo de manera tal, que entre el mezclado y la colocación en obra, haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por esta razón, en obra se acostumbra a mezclar primero el cemento y la arena y luego se añade el agua.

Desde luego, la cantidad de cemento no puede disminuir mucho, ya que si la mezcla es muy pobre en aglomerante, esta se hace áspera e intrabajable, porque las partículas de arena rozarán entre sí, al no existir pasta lubricante de cemento (Arriola Donis, 2009).

3.2. Morteros de cal

A los morteros de cal también se les conoce con el nombre de calcáneos debido a que la cal es un plastificante y ligador que fragua o endurece al ser expuesto al aire. Estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo, no pueden esperarse de él altas resistencias iniciales, debido a su baja velocidad de endurecimiento.

Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal dolomítica (cal gris). La arena, en este caso, en realidad constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar el agrietamiento y contracción del mortero, para lo cual se recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, rocas grandes, polvo y arcilla.

Las proporciones cal-arena más usadas en morteros aéreos son 1:2 para acabados y 1:3 o 1:4 para morteros de levantado.

Si la proporción aumenta, el mortero es más magro y pierde ductilidad y trabajabilidad. Si el mortero es más graso, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseados.

3.3. Morteros de cal y cemento hidráulico

Cuando se busca una gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales, este tipo de mortero es aconsejable. Utilizando como base un mortero 1:3 se puede ir sustituyendo parte del cemento por cal. Estos reciben el nombre de "morteros de cemento rebajados" cuando el contenido de cemento es escaso.

Las proporciones más usadas en Guatemala varían entre 1:1/4:2 a 1:1:4 (cemento: cal: arena). La cantidad de agua se encuentra dentro de amplios límites, de acuerdo con la composición del mortero y la consistencia deseados.

Si el contenido de cemento es alto, las características serán: alta resistencia, poco tiempo entre amasado y colocación, mezcla más o menos trabajable y habrá contracción (3 %) si está muy seco.

Si el contenido de cal es alto, tendrá menos resistencia, será mayor el tiempo entre amasado y colocación, será más plástico y permeable, pero mostrará más retracción (expansión de volumen, 9 %). Si el contenido de arena es alto, la resistencia disminuirá considerablemente y será poco trabajable, pero el mortero tendrá poca retracción.

Para lograr las condiciones deseadas debe buscarse una combinación adecuada. Los morteros hechos de cemento Portland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento Portland, siendo importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria.

3.4. Morteros utilizados en Guatemala

Actualmente, en Guatemala, la construcción con unidades de mampostería es una de las más populares, ya sea de muros de carga o de muros perimetrales en marcos estructurales. El conjunto de mampostería y mortero es un componente básico para determinar la resistencia a compresión, ya que se diseña para soportar este tipo de esfuerzos.

En los muros de mampostería también se inducen esfuerzos combinados de flexocompresión y de corte, debido a fuerzas de viento o sismos (frecuentes en el país).

Cuando estos tienen lugar en la mampostería, el mortero juega un papel crucial, pues es el encargado de que las unidades trabajen como un elemento estructural monolítico. Es por ello que debe prestarse cuidado en la elaboración del mismo.

En los últimos años, se ha tendido a utilizar, según las corrientes modernas arquitectónicas, los muros de mampostería interiores y exteriores con acabado visto, que reúnen ciertas características estéticas (uniformidad de tamaño, color, ritmo, etc.) que se pueden delimitar de acuerdo con el tipo de mortero utilizado.

3.4.1. Elaborados en obra

El mortero fabricado en obra es el más propenso a variaciones en su dosificación. Estas afectan el rendimiento, la resistencia, el color, la trabajabilidad (desde el punto de vista del albañil) y la consistencia del mortero de acuerdo con las proporciones utilizadas.

En Guatemala, la variación de proporción oscila en el medio entre 1:1/8:2 a 1:1:7 (cemento: cal: arena) dependiendo de la actividad a realizar y la experiencia del albañil.

Figura 5. Muestra de sabieta fabricada en obra



Fuente: proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

3.4.2. Premezclados

En Guatemala, este mortero es producido por algunas empresas que fabrican concreto premezclado. Los requerimientos de trabajabilidad, contenido de aire, retención de agua y resistencia a la compresión, se solicitan de acuerdo con el tipo de mortero, según la clasificación presentada en la norma ASTM C-270.

El proceso del mortero premezclado es similar al del concreto premezclado; este es dosificado y mezclado en una planta y llevado a la obra en un camión mezclador. El uso de aditivos para prolongar el tiempo de fraguado del mortero, hasta por 72 horas, ha hecho posible esto. El mortero entregado un día, puede ser almacenado durante la noche y ser usado de nuevo al día siguiente o hasta el tercer día.

Los ensayos recientes muestran que el mortero premezclado tiene mejor control de calidad, mejor trabajabilidad y una resistencia a la compresión más uniforme. Las paredes hechas con él experimentan menos penetración de agua que las hechas con mortero convencional mezclado en sitio. Este mortero es usado con frecuencia en trabajos de estabilización de taludes a través del método del *soil nailing*, debido a la capacidad de volumen de producción en la planta y los tiempos de entrega del producto de las plantas.

3.4.3. Predosificados

Estos morteros son dosificados, mezclados y empacados en la planta. La principal particularidad de los morteros predosificados es que vienen solo para agregar un volumen de agua indicado, de acuerdo con la presentación. Esto permite obtener la trabajabilidad, resistencia y el rendimiento deseados.

En nuestro medio se pueden encontrar para diferentes usos. La mayoría de fabricantes han adoptado la norma ASTM C-270 para clasificarlos.

Figura 6. **Muestra de mortero predosificado a granel**



Fuente: proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

3.5. Propiedades mecánicas de los morteros

Los morteros empleados en la unión de piezas de mampostería resultan de la mezcla de arena y agua con un material cementante (cemento, cal, y cemento de albañilería).

Las propiedades del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de los elementos de mampostería son la deformabilidad y adherencia con las piezas; asimismo, de la deformabilidad dependen, en gran medida, las deformaciones totales del elemento y, en parte, su resistencia a carga vertical.

Para obtener las características mínimas de los criterios estructurales de deformabilidad y adherencia, se nombran a continuación los parámetros requeridos para el diseño de mezcla:

- Su resistencia a compresión será como mínimo de 40 kg/cm².
- La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3.
- Se busca que la relación agua-cemento sea la menor posible, que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

3.5.1. Propiedades en estado plástico

Cuando los morteros se encuentran en estado manipulable, presentan ciertas características que definen su comportamiento e influyen en cómo reaccionarán en estado endurecido. Entre las propiedades en estado plástico sobresalen la trabajabilidad de la mezcla y la velocidad de endurecimiento.

3.5.1.1. Trabajabilidad

Mide la facilidad de colocación de mezcla en las unidades de mampostería o en revestimientos. Está relacionada con la consistencia, que se refiere al estado de fluidez del mortero; es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico.

La trabajabilidad depende básicamente de la fluidez, debido a la fricción entre la pasta conformada por el material aglomerante, en este caso cemento, y el elemento reactivo agua con el agregado fino de la mezcla.

En general, se acepta como medida de la trabajabilidad, el numeral X1.5.3 del apéndice de la norma ASTM C-270, el cual especifica las características de la trabajabilidad del material, que se verifica por medio del incremento del diámetro de la mezcla, luego de ser golpeado 25 veces en 15 segundos, para ver la cantidad de agua que ha perdido.

Cuanto más seca se encuentra la mezcla, menor es su expansión debido a la pérdida de agua.

3.5.1.2. Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado inicial y final de la mezcla deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, estos dependen de diversos factores como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra y, hoy en día, son fácilmente controlables con el uso de aditivos.

En términos de obra, se utiliza el término de “sabieta seca”; cuando la mezcla obtiene propiedades de volumen constante, pierde totalmente su trabajabilidad y no se siente humedad al tacto humano.

Existe también una norma, que permite practicar tanto en laboratorio como en campo, un ensayo sencillo que permita definir si la mezcla ha endurecido o no.

Tabla IV. Breve descripción de la norma ASTM C807-03a

| Norma | Breve descripción |
|--|--|
| <p>ASTM C807 -03a <i>“Standard test method for time of setting of hydraulic cements mortar by modified vicat needle”</i> (Método estándar de prueba para el tiempo de fraguado en mortero de cemento de hidráulico con la aguja vicat modificada)</p> | <p>El propósito de esta prueba es establecer cuándo el cemento ha cumplido las especificaciones límites en el tiempo de fraguado.</p> <p>El mortero es ensayado varias veces por medio de la penetración de la aguja Vicat modificada, y la toma de lecturas. Para conocer su tiempo de fraguado se utilizan las lecturas límites mayores y menores, y la fórmula propuesta en dicho código.</p> |

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Propiedades en estado sólido

A continuación se describen las diferentes propiedades de los materiales en estado sólido.

3.5.2.1. Adherencia

La propiedad más importante del mortero es su habilidad para adherirse a las piezas de mampostería o de acero. La adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo unen con la estructura.

Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura.

La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión.

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia, es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa en la medida de lo posible, para permitir la unión mecánica del mortero; así como un porcentaje de absorción proporcional a la retención de agua del mortero.

Los morteros plásticos, de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación, son los más adaptables y de mayor utilización en mampostería, ya que permiten una íntima unión entre las piezas.

La mayor parte de los estudios de adherencia de morteros son hechos en especímenes almacenados al aire; pero esta condición no permite una hidratación normal del cemento, que es necesaria para garantizar una correcta adherencia entre las unidades de mampostería y el mortero.

Sin curado húmedo, los morteros con mayor humedad logran un mejor curado y alcanzan mayor resistencia a la adherencia.

Los ensayos en especímenes almacenados al aire favorecen a los morteros que contienen cal, porque esta retiene mayor cantidad de agua.

Tabla V. **Breve descripción de la norma ASTM C952 – 86**

| Norma | Breve descripción |
|---|---|
| ASTM C952 - 86 <i>“Standard test method for bond strength of mortar to masonry units”</i> (método estándar de prueba para el esfuerzo de unión de mortero para piezas de mampostería) | El propósito de esta prueba es establecer el esfuerzo y la fuerza de adherencia entre el mortero para mampostería y los bloques de mampostería. La prueba de esfuerzo es realizada usando pares de unidades de block cruzadas perpendicularmente y aplicándoles fuerzas en direcciones contrarias, para llevar al punto de falla la unión entre la mezcla y la mampostería. |

Fuente: elaboración propia.

3.5.2.2. Resistencia a la compresión

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere de una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas. Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de los morteros:

- Con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero.
- Con el mismo porcentaje de cemento en volumen de mortero, el más resistente y generalmente más impermeable es aquel que tenga la mayor

densidad, o sea aquel que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

3.5.2.3. Apariencia

Un aspecto que tiene importancia en el mortero es su apariencia, tanto en estado húmedo, como especialmente en estado seco, si los bloques de mampostería se encuentran a la vista. En el caso del mortero húmedo, la plasticidad de la mezcla, la selección y la dosificación adecuada de sus componentes son de vital importancia en la colocación y acabado de superficies. El color y la textura pueden mejorarse con colorantes inorgánicos o con aditivos especiales. En caso del mortero en estado seco, su apariencia en el acabado final depende de factores como temperatura y humedad del ambiente, aparejo elegido, colocación del operador y tipo de mampostería que se haya decidido a colocar.

Figura 7. Mortero en estado plástico que mantiene las propiedades ideales de apariencia y color



Fuente: instalaciones de proyecto residencial zona 10, ciudad de Guatemala.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS SEGÚN NORMA ASTM C-270

Los parámetros de clasificación de morteros, o designación de códigos estándares de cada país, están hechos de acuerdo con las propiedades específicas de resistencia a compresión, las características de los materiales utilizados en su preparación y el uso destinado.

La norma ASTM C-270 *Standard specification for masonry mortar* (especificación estándar para morteros de mampostería), clasifica a los morteros en cuatro tipos; dicha clasificación depende de la resistencia a la compresión, la retención de agua y el contenido de aire.

El nombre de la clasificación se deriva de las palabras inglesas "*Mason Work*", designándolos como M, S, N, O y K.

El K se eliminó, dejando únicamente los otros tipos.

Estos pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero no por ambos casos.

Tabla VI. **Clasificación y propiedades de los morteros de acuerdo con la norma ASTM C-270**

| Tipo de mortero | Resistencia, kg/cm ² (Mpa) | Retención mínima de agua, % | Contenido máximo de aire, % | Volumen de cemento Portland | Volumen de cal hidratada | Relación de agregados |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| N | 175 (17,0) | 75 | 12 | 1 | 0,25 | No menor que 2,25 y no mayor que 3,5 veces la suma de los volúmenes, separados de materiales cementantes. |
| S | 15 (12,5) | 75 | 12 | 1 | 0,25 a 0,50 | No menor que 2,25 y no mayor que 3,5 veces la suma de los volúmenes, separados de materiales cementantes. |
| M | 50 (5,0) | 75 | 12 | 1 | 0,50 a 1,25 | |
| O | 2 (2,5) | 75 | 12 | 1 | 1,25 a 1,5 | |

Fuente: elaboración propia.

Estos requisitos son para especímenes de laboratorio. Las proporciones de cemento, cal y arena establecidas en el laboratorio para cumplir la norma ASTM C-270, deben ser empleadas al mezclar el mortero en obra. Se asume que las proporciones establecidas en el laboratorio darán un comportamiento satisfactorio en obra.

El mortero especificado por proporción debe cumplir con las masas de los materiales mencionados en la norma ASTM C-270. La relación entre la cantidad de material cementante y los agregados, es generalmente menor, Por tal razón se usa mejor la especificación por propiedades, que la de proporción.

Los diseñadores tienden a usar más la especificación por propiedades, porque el mortero generalmente resulta ser más barato.

No existe un solo tipo de mortero que sea aplicable con éxito a todo trabajo. El variar las proporciones mejora algunas propiedades a expensas de otras.

El ingeniero deberá especificar el mortero que mejor se ajuste a los requisitos de la obra; una regla práctica es usar el mortero con la resistencia más baja que se ajuste a los requisitos del trabajo; hay un tipo óptimo para cada aplicación o uso.

Tabla VII. **Características principales y uso de los morteros de mampostería según norma ASTM C-270**

| Tipo de mortero | Características principales y usos |
|------------------------|---|
| Tipo M | Es una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que otros morteros, se utiliza en mampostería reforzada o sin refuerzo, sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa de congelación, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes o temblores. Debido a su durabilidad superior, el tipo M debe usarse en estructuras en contacto con el suelo, tales como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de agua servidas y pozos. |
| Tipo S | Alcanza alta resistencia de adherencia, la más alta que un mortero puede alcanzar. Se utiliza para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren alta resistencia de adherencia. También se utiliza donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos, o para pegar baldosas de barro cocido. |
| Tipo N | Mortero de propósito general a ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno para paredes internas y divisiones. Este mortero de mediana resistencia representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía. |
| Tipo O | Mortero de baja resistencia y mucha cal, se debe utilizar en paredes, divisiones sin carga, y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. El mortero tipo O se usa a menudo en residencias de uno y dos pisos. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo. |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Guía para selección de morteros de mampostería según su uso de acuerdo con la norma ASTM C-270**

| Localización | Segmento constructivo | Tipo de mortero | |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------|
| | | Recomendado | Alternativo |
| Exterior, sobre el terreno | Paredes de carga | N | S o M |
| | Paredes sin carga | O | N o S |
| | Parapetos | N | S |
| Exterior, bajo el terreno | Muros de cimentación | S | M o N |
| | Muros de contención | | |
| | Pozos | | |
| | Descargas de aguas negras | | |
| | Pavimentos | | |
| | Aceras | | |
| Patios | | | |
| Interior | Paredes de carga | N | S o M |
| | Divisiones sin carga | O | N |

Fuente: elaboración propia.

4.1. Dosificaciones propuestas para experimentos de conteo bajo parámetros de la norma ASTM C-270

El proceso experimental de este trabajo, para el desarrollo de los conteos y valores unitarios de comparación, requiere un diseño de mezcla para la sabieta realizada en obra y otro para la sabieta predosificada. Los parámetros para dosificación del diseño de mezcla de un material predosificado, se adjuntan en sus respectivas hojas técnicas e instrucciones de uso.

En el caso de la sabieta predosificada se utilizaron las cantidades sugeridas de agua por cantidad de material.

Para la elaboración del material realizado en sitio, se encuentra en la norma ASTM C-270-89 *Standar specification for mortar for unit masonry* (Especificaciones estándar para morteros en unidades de mampostería) una tabla para las proporciones volumétricas del material. Con base en la norma ASTM C-270-89, se añade la última columna a la tabla, en la cual se especifica la relación agua-cemento que se deberá de cumplir.

Tabla IX. Proporciones para diseño de mezcla según tipo de mortero requerido de acuerdo con la norma ASTM C-270

| Tipo de mortero | Proporciones por volumen (material cementante) | | Relación de agregados | Relación agua cemento |
|-----------------|--|-------------|---|---|
| | Cemento Portland | Cal | | |
| M | 1 | 0.25 | No menor que 2.25 y no mayor que 3.50 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes. | Agregar agua hasta obtener un factor de flujo de 110 +/- 5% |
| S | 1 | 0.25 – 0.50 | | |
| N | 1 | 0.50 – 1.25 | | |
| O | 1 | .25 – 2.5 | | |

Fuente: ASTM C-270-89.

www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_033258.doc.

Consulta: septiembre de 2013.

Con base en los criterios establecidos según la norma ASTM C-270-89 *Standard specification for mortar for unit masonry* (Especificaciones estándar para morteros en unidades de mampostería), se utilizó el siguiente diseño de mezcla realizado en sitio.

Tabla X. **Proporciones para diseño de mezcla de sabieta elaborada en obra para experimentos de conteo**

| Mortero de unión para mampostería | Proporciones | | |
|--|---------------------|--|--|
| | Cemento | Arena | Agua |
| Proporciones de acuerdo con las herramientas y medidas facilitadas en obra | 1 saco | 4 botes de 5 galones (aproximadamente 19.4 lt por bote) | 1.00 a 1.50 botes de 5 galones (aproximadamente 19.4 lt por bote) |
| Peso | 77 lb | 268 lb | 48 lb |
| Relación de volumen | 1.75 | 4 | 1.33 |

Fuente: Fuente: ASTM C-270-89.

www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_033258.doc.

Consulta: septiembre de 2013.

5. DESARROLLO DE CONTEOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA, REGISTROS DE TIEMPOS Y FACTORES DE EVALUACIÓN

El objeto de la toma de muestras de unidades de mampostería y registros de tiempo de preparación de mezcla y pegado de unidades, busca principalmente la creación de factores unitarios que permitan comparar los rendimientos del material predosificado, en comparación con el material realizado en obra.

Para poder unificar los parámetros de comparación se tomaron algunas limitantes o condiciones en las tomas de muestras de ambos morteros, las cuales se mencionan a continuación:

- Se utilizó mampostería de piedra de pómez con medidas comerciales de 0.14 x 0.19 x 0.39 cm.
- Los materiales fueron ubicados dentro de un perímetro no mayor a 3.00 metros del área asignada para el experimento.
- Se verificó el peso de los materiales en el sitio, por medio de una balanza.
- Se asignaron operarios al azar para el proceso de muestras.
- Los muros fueron en su mayor parte lisos y en algunos casos solo presentaban un muro perpendicular en esquina a él.

- El conteo fue realizado desde la primera hilada de mampostería que seguía a la solera de humedad o arranque, hasta la hilada inmediatamente anterior a la primera solera intermedia.

5.1. Experimento No. 1: toma de datos y análisis de resultados en material predosificado

El material predosificado, proviene en estado seco por parte del proveedor. Como procedimiento de trabajo para la unificación de parámetros, se siguieron los siguientes pasos:

- Asignación del área de trabajo.
- Acarreo de materiales para el área de trabajo.
- Limpieza del área asignada de trabajo, barrer el suelo y colocar la batea para la fabricación del mortero.
- Elaboración del terciado húmedo (toma de registro de tiempo de terciado).
- Colocación de mampostería, verificación de niveles, y plomo en dos sentidos (toma de registro de tiempo de colocación, inicio de tiempo).
- Conteo de unidades de mampostería colocadas al terminar el terciado húmedo asignado para el experimento (toma de registro de tiempo de colocación, fin de tiempo).
- Evaluación de resultados. Búsqueda de valores unitarios de tiempo de colocación de una unidad de mampostería en minutos, cantidad de

material (Kg) necesarios para colocar una unidad de mampostería y número de unidades de mampostería colocados en una hora.

- Conclusiones y gráficas propias del experimento.

Tabla XI. Toma de datos para material predosificado

| CONTEO | | | | | | | | | |
|--------|--------------|-----------|------------------|----------|------------------|---------|----------------------|--------------|--------------------|
| | MATERIAL | | TERCIADO | | LEVANTADO | | CONTEO | | |
| | No. de bolsa | Peso (Kg) | No. de operarios | Tiempo | No. de operarios | Tiempo | No. de block pegados | Tiempo (min) | No. block /persona |
| 1 | 2 | 105,40 | 1 | 00:04:55 | 2 | 2:15:10 | 54 | 02:20:05 | 27,00 |
| 2 | 1 | 52,70 | 1 | 00:04:26 | 1 | 1:34:36 | 22 | 01:39:02 | 22,00 |
| 3 | 2 | 105,40 | 1 | 00:06:10 | 3 | 1:55:02 | 68 | 02:01:12 | 22,67 |
| 4 | 1 | 52,70 | 1 | 00:05:12 | 2 | 1:18:15 | 33 | 01:23:27 | 16,50 |
| 5 | 1 | 52,70 | 1 | 00:04:50 | 1 | 2:04:03 | 31 | 02:08:53 | 31,00 |
| 6 | 2 | 105,40 | 1 | 00:05:58 | 2 | 1:48:01 | 59 | 01:53:59 | 29,50 |
| 7 | 3 | 158,00 | 1 | 00:07:04 | 2 | 2:59:31 | 76 | 03:06:35 | 38,00 |
| 8 | 2 | 105,40 | 1 | 00:03:59 | 1 | 2:18:15 | 62 | 02:22:14 | 62,00 |
| 9 | 1 | 52,60 | 1 | 00:04:16 | 1 | 1:57:19 | 29 | 02:01:35 | 29,00 |
| 10 | 4 | 210,80 | 1 | 00:08:03 | 3 | 3:09:51 | 112 | 03:17:54 | 37,33 |
| 11 | 1 | 52,70 | 2 | 00:06:38 | 1 | 1:24:01 | 34 | 01:30:39 | 34,00 |
| 12 | 2 | 105,40 | 1 | 00:06:44 | 1 | 2:02:55 | 60 | 02:09:39 | 60,00 |
| 13 | 3 | 158,00 | 1 | 00:05:36 | 2 | 3:15:07 | 87 | 03:20:43 | 43,50 |
| 14 | 2 | 105,00 | 2 | 00:07:23 | 2 | 1:12:18 | 63 | 01:19:41 | 31,50 |
| 15 | 1 | 52,70 | 1 | 00:03:16 | 1 | 1:40:39 | 31 | 01:43:55 | 31,00 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis de resultados y factores de rendimiento en material predosificado**

| CONTEO | | | | | | | | |
|--------|-----------|------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | MATERIAL | LEVANTADO | | REGISTROS | | RESULTADOS | | |
| | Peso (Kg) | No. de operarios | No.de blocs pegados | Tiempo (min) | No. block /persona | Tiempo / 1 persona coloque 1 block | No block / 1 persona en 1 hora | No. Kg / para colocar 1 block |
| 1 | 105,40 | 2 | 54 | 02:20:05 | 27,00 | 0:05:11 | 11,56 | 1,95 |
| 2 | 52,70 | 1 | 22 | 01:39:02 | 22,00 | 0:04:30 | 13,33 | 2,40 |
| 3 | 105,40 | 3 | 68 | 02:01:12 | 22,67 | 0:05:21 | 11,22 | 1,55 |
| 4 | 52,70 | 2 | 33 | 01:23:27 | 16,50 | 0:05:03 | 11,86 | 1,60 |
| 5 | 52,70 | 1 | 31 | 02:08:53 | 31,00 | 0:04:09 | 14,43 | 1,70 |
| 6 | 105,40 | 2 | 59 | 01:53:59 | 29,50 | 0:03:52 | 15,53 | 1,79 |
| 7 | 158,00 | 2 | 76 | 03:06:35 | 38,00 | 0:04:55 | 12,22 | 2,08 |
| 8 | 105,40 | 1 | 62 | 02:22:14 | 62,00 | 0:02:18 | 26,15 | 1,70 |
| 9 | 52,60 | 1 | 29 | 02:01:35 | 29,00 | 0:04:12 | 14,31 | 1,81 |
| 10 | 210,80 | 3 | 112 | 03:17:54 | 37,33 | 0:05:18 | 11,32 | 1,88 |
| 11 | 52,70 | 1 | 34 | 01:30:39 | 34,00 | 0:02:40 | 22,50 | 1,55 |
| 12 | 105,40 | 1 | 60 | 02:09:39 | 60,00 | 0:02:10 | 27,77 | 1,76 |
| 13 | 158,00 | 2 | 87 | 03:20:43 | 43,50 | 0:04:37 | 13,00 | 1,82 |
| 14 | 105,00 | 2 | 63 | 01:19:41 | 31,50 | 0:02:32 | 23,72 | 1,67 |
| 15 | 52,70 | 1 | 31 | 01:43:55 | 31,00 | 0:03:21 | 17,90 | 1,70 |

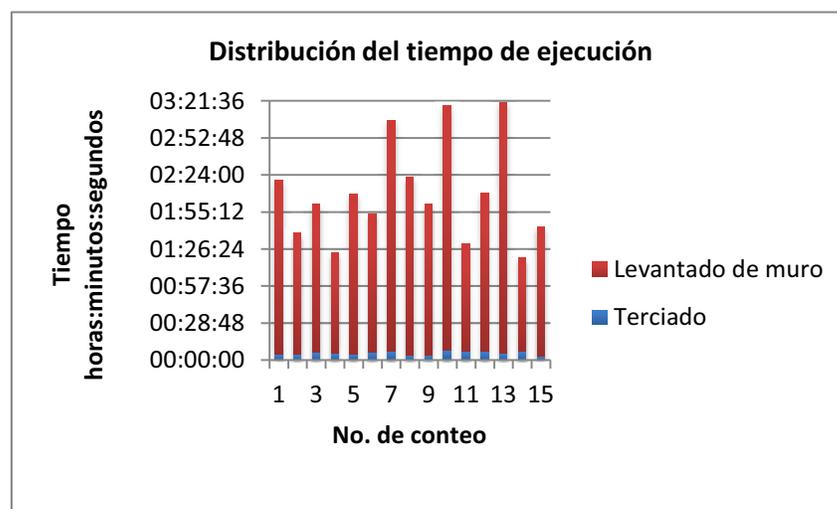
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Promedios de resultados en material predosificado**

| ASPECTO | Promedio | Desviación estándar | No. de aciertos | Precisión |
|---|---------------------------------|---------------------|-----------------|-----------|
| Factor de colocación: tiempo de colocación de una unidad de mampostería. | 00:04:01 Hora/minuto/segundo | 0,0008 | 9 | 0,60 |
| Factor de producción: cantidad de unidades de mampostería colocadas en una hora. | 16,46 blocs por hora | 5,7410 | 11 | 0,73 |
| Factor de consumo: cantidad de material utilizado para colocar una unidad de mampostería. | 1,80 kilogramo por bloque | 0,2201 | 11 | 0,73 |

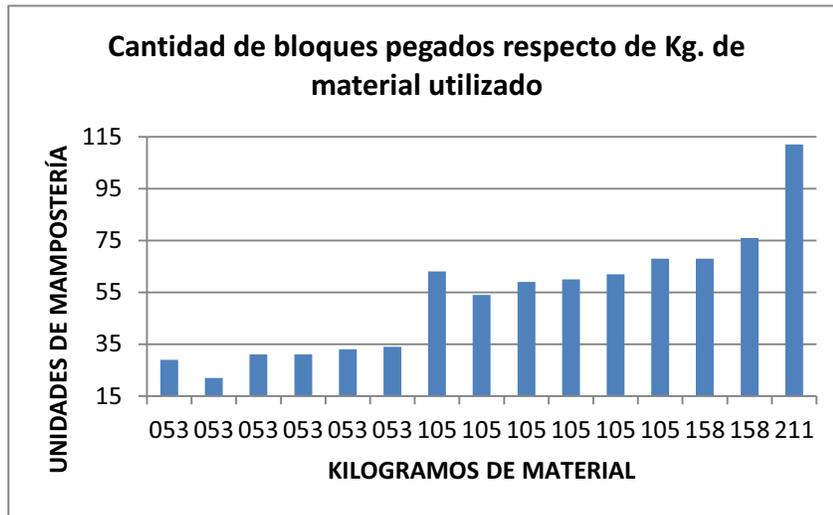
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Distribución en minutos del tiempo de ejecución, calculado por la adición del tiempo de terciado y levantado con material predosificado**



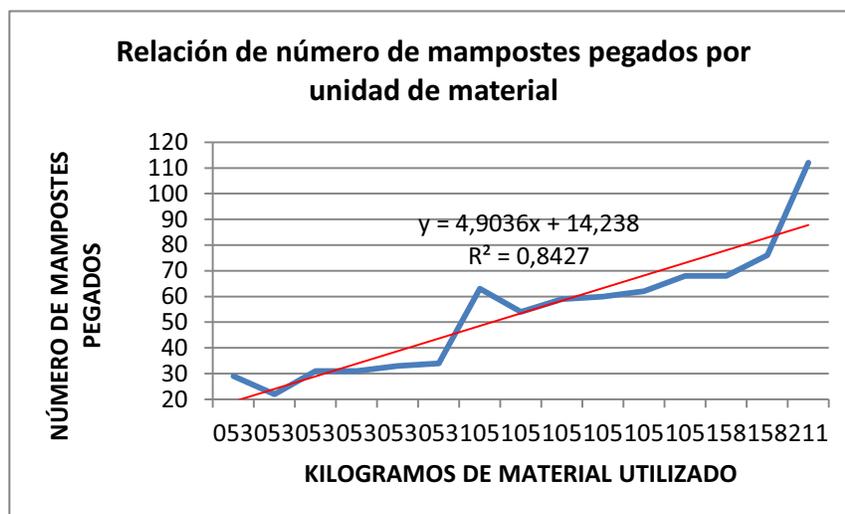
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Relación de número de mampostes colocados por cantidad de kilogramo de material utilizado con material predosificado**



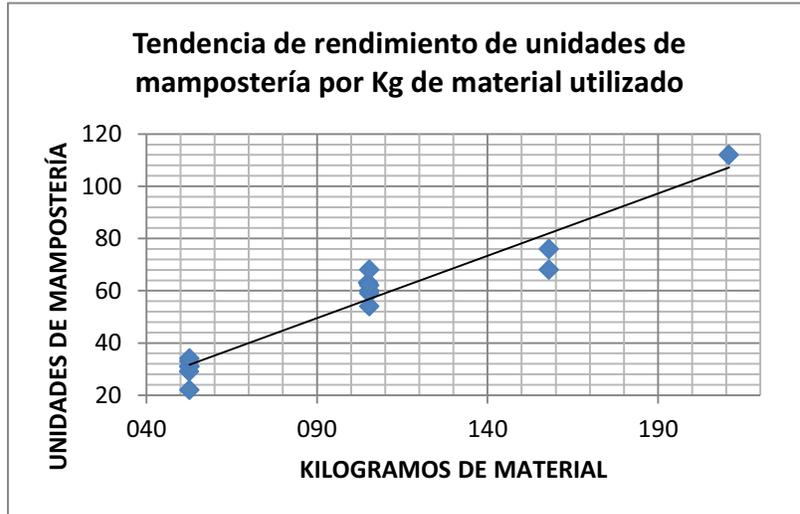
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Cantidad de bloques pegados respecto del número de kilogramos de material utilizado con material predosificado**



Fuente: elaboración propia.

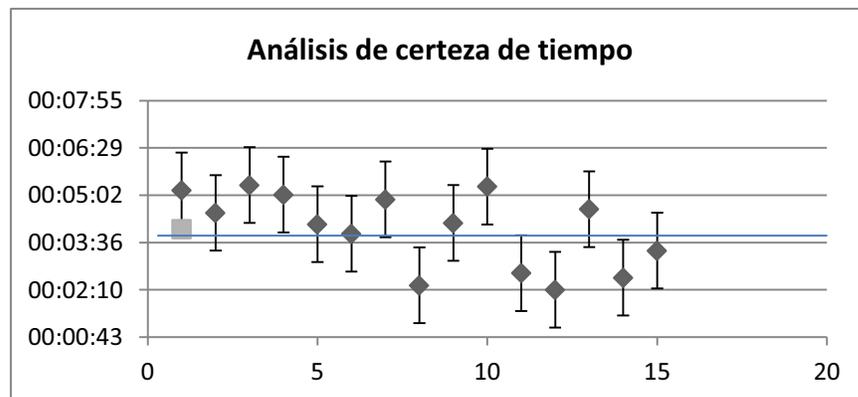
Figura 11. Línea de tendencia de rendimiento de unidades de mampostería por Kg de material utilizado, con material predosificado



Fuente: elaboración propia.

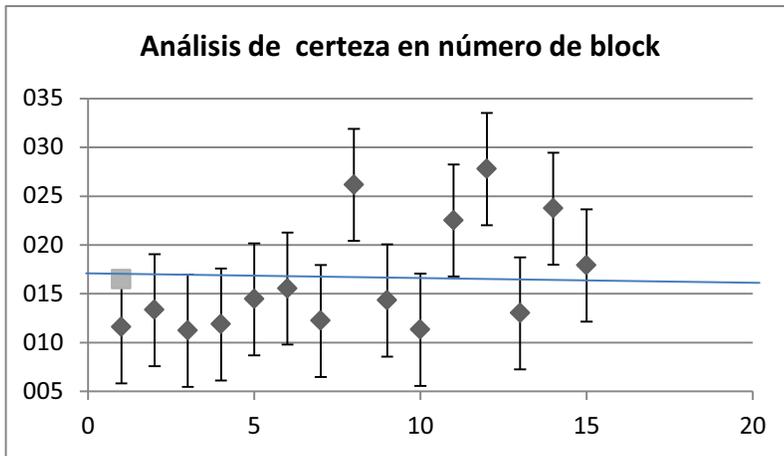
Ecuación de la pendiente de la gráfica, $y = 0.4771x + 6.5539$.

Figura 12. Análisis de certeza de los tiempos de ejecución, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio



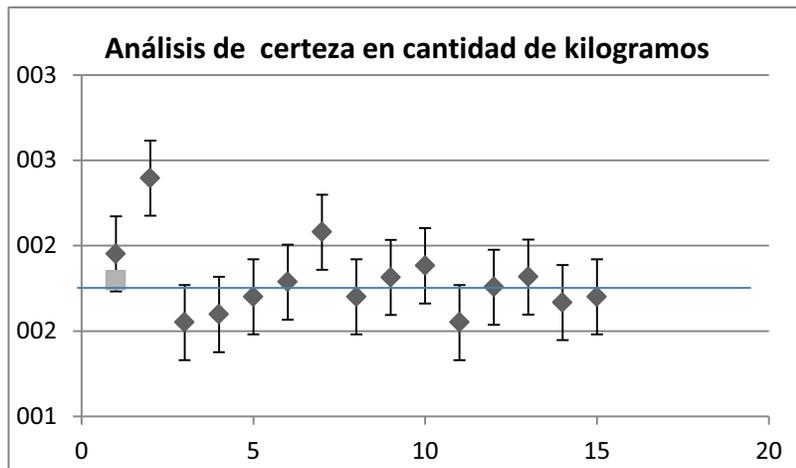
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Análisis de certeza de cantidad de block pegado por unidad tiempo en horas utilizado, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Análisis de certeza de cantidad material en kilogramos, utilizado para colocar una unidad de mampostería, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio**



Fuente: elaboración propia.

5.2. Experimento No. 2: toma de datos y análisis de resultados en material elaborado en obra

El material elaborado en obra, proviene en estado seco por parte del agregado fino y del aglomerante. Como procedimiento de trabajo para la unificación de parámetros se siguieron los siguientes pasos:

- Asignación del área de trabajo;
- Acarreo de materiales para el área de trabajo; limpieza del área asignada de trabajo, barrer el suelo y colocar la batea para la fabricación del mortero;
- Elaboración del terciado seco (toma de registro de tiempo de terciado);
- Elaboración del terciado húmedo (toma de registro de tiempo de terciado);
- Colocación de mampostería, verificación de niveles, y plomo en dos sentidos (toma de registro de tiempo de colocación, inicio de tiempo);
- Conteo de unidades de mampostería colocadas al terminar el terciado húmedo asignado para el experimento (toma de registro de tiempo de colocación, fin de tiempo);
- Evaluación de resultados. Búsqueda de valores unitarios de tiempo de colocación de una unidad de mampostería en minutos, cantidad de material (Kg) necesarios para colocar una unidad de mampostería y número de unidades de mampostería colocados en una hora;

- Conclusiones y gráficas propias del experimento.

Tabla XIV. **Toma de datos para material elaborado en obra**

| Experimento | | | | | | | | |
|-------------|-----------|------------------|----------|------------------|---------|----------------------|--------------|--------------------|
| | | TERCIADO | | LEVANTADO | | CONTEO | | |
| | Peso (Kg) | No. de operarios | Tiempo | No. de operarios | Tiempo | No. de block pegados | Tiempo (min) | No. block /persona |
| 1 | 143,18 | 1 | 00:17:13 | 2 | 1:58:47 | 74 | 02:16:00 | 37,00 |
| 2 | 147,73 | 1 | 00:14:59 | 2 | 1:57:53 | 80 | 02:12:52 | 40,00 |
| 3 | 146,82 | 1 | 00:13:18 | 3 | 1:17:07 | 79 | 01:30:25 | 26,33 |
| 4 | 145,45 | 1 | 00:15:55 | 2 | 2:58:00 | 76 | 03:13:55 | 38,00 |
| 5 | 143,64 | 1 | 00:14:19 | 3 | 2:07:15 | 77 | 02:21:34 | 25,67 |
| 6 | 141,36 | 1 | 00:17:13 | 2 | 3:07:16 | 65 | 03:24:29 | 32,50 |
| 7 | 142,27 | 1 | 00:12:59 | 3 | 1:43:42 | 77 | 01:56:41 | 25,67 |
| 8 | 142,73 | 1 | 00:16:04 | 2 | 2:19:09 | 73 | 02:35:13 | 36,50 |
| 9 | 143,18 | 1 | 00:18:02 | 3 | 1:37:01 | 79 | 01:55:03 | 26,33 |
| 10 | 142,73 | 2 | 00:05:18 | 3 | 1:17:09 | 82 | 01:22:27 | 27,33 |
| 11 | 146,82 | 2 | 00:04:59 | 3 | 1:09:39 | 66 | 01:14:38 | 22,00 |
| 12 | 145,91 | 1 | 00:11:37 | 2 | 2:19:51 | 75 | 02:31:28 | 37,50 |
| 13 | 144,55 | 1 | 00:14:51 | 2 | 2:59:17 | 81 | 03:14:08 | 40,50 |
| 14 | 140,00 | 2 | 00:06:02 | 2 | 2:39:45 | 79 | 02:45:47 | 39,50 |
| 15 | 141,82 | 2 | 00:05:38 | 3 | 1:59:12 | 83 | 02:04:50 | 27,67 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Análisis de resultados y factores de rendimiento en material elaborado en obra**

| Experimento | LEVANTADO | | REGISTROS | | | RESULTADOS | | |
|-------------|-----------|------------------|----------------------|--------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | Peso (Kg) | No. de operarios | No. de block pegados | Tiempo (min) | No. block /persona | Tiempo / 1 persona coloque 1 block | No blocks / 1 persona en 1 hora | No. Kg / para colocar 1 block |
| 1 | 143,18 | 2 | 74 | 02:16:00 | 37,00 | 0:03:41 | 16,32 | 1,93 |
| 2 | 147,73 | 2 | 80 | 02:12:52 | 40,00 | 0:03:19 | 18,06 | 1,85 |
| 3 | 146,82 | 3 | 79 | 01:30:25 | 26,33 | 0:03:26 | 17,47 | 1,86 |
| 4 | 145,45 | 2 | 76 | 03:13:55 | 38,00 | 0:05:06 | 11,76 | 1,91 |
| 5 | 143,64 | 3 | 77 | 02:21:34 | 25,67 | 0:05:31 | 10,88 | 1,87 |
| 6 | 141,36 | 2 | 65 | 03:24:29 | 32,50 | 0:06:18 | 9,54 | 2,17 |
| 7 | 142,27 | 3 | 77 | 01:56:41 | 25,67 | 0:04:33 | 13,20 | 1,85 |
| 8 | 142,73 | 2 | 73 | 02:35:13 | 36,50 | 0:04:15 | 14,11 | 1,96 |
| 9 | 143,18 | 3 | 79 | 01:55:03 | 26,33 | 0:04:22 | 13,73 | 1,81 |
| 10 | 142,73 | 3 | 82 | 01:22:27 | 27,33 | 0:03:01 | 19,89 | 1,74 |
| 11 | 146,82 | 3 | 66 | 01:14:38 | 22,00 | 0:03:24 | 17,69 | 2,22 |
| 12 | 145,91 | 2 | 75 | 02:31:28 | 37,50 | 0:04:02 | 14,85 | 1,95 |
| 13 | 144,55 | 2 | 81 | 03:14:08 | 40,50 | 0:04:48 | 12,52 | 1,78 |
| 14 | 140,00 | 2 | 79 | 02:45:47 | 39,50 | 0:04:12 | 14,30 | 1,77 |
| 15 | 141,82 | 3 | 83 | 02:04:50 | 27,67 | 0:04:31 | 13,30 | 1,71 |

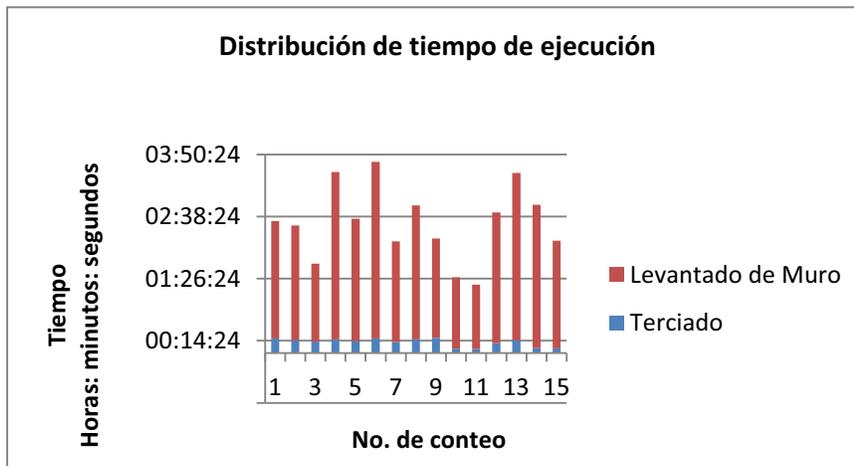
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Promedios de resultados en material elaborado en obra**

| Factores | Promedio | Desviación estándar | No. de aciertos | Precisión |
|---|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------|
| Factor de colocación: tiempo de colocación de una unidad de mampostería | 00:04:18 Horas:minutos:segundos | 0,0006 | 10 | 0,67 |
| Factor de producción: cantidad de unidades de mampostería colocadas en una hora | 14,51 bloques por hora | 2,8951 | 10 | 0,67 |
| Factor de consumo: cantidad de material utilizado para colocar una unidad de mampostería | 1,89 kilogramos por bloque | 0,1450 | 11 | 0,73 |

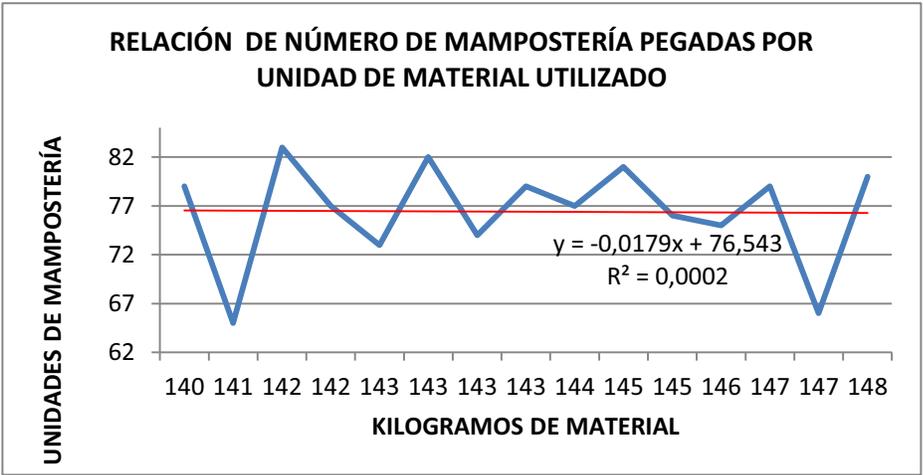
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Tiempo de ejecución**



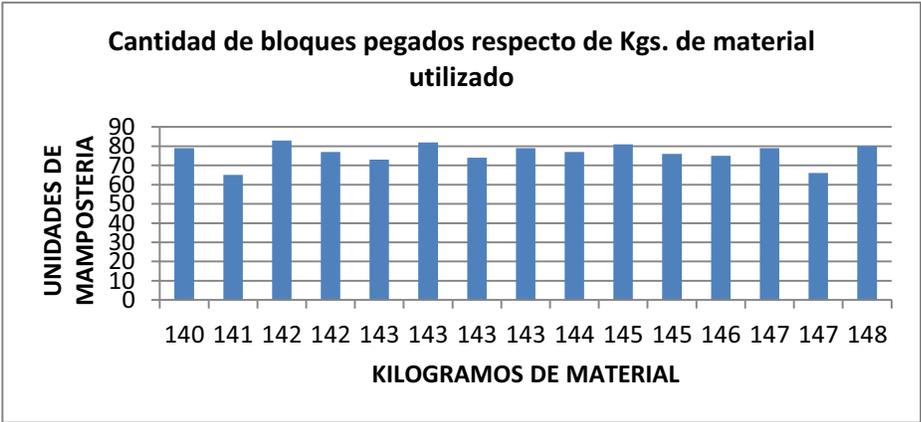
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Distribución en minutos del tiempo de ejecución, calculado por la adición del tiempo de terciado y levantado con sabieta fabricada en obra**



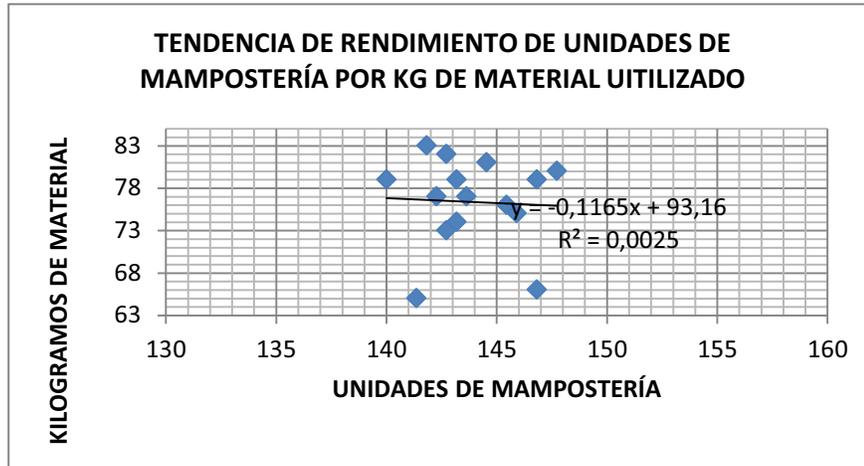
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Relación de número de mampostes colocados por cantidad de kilogramo de material utilizado con sabieta fabricada en obra**



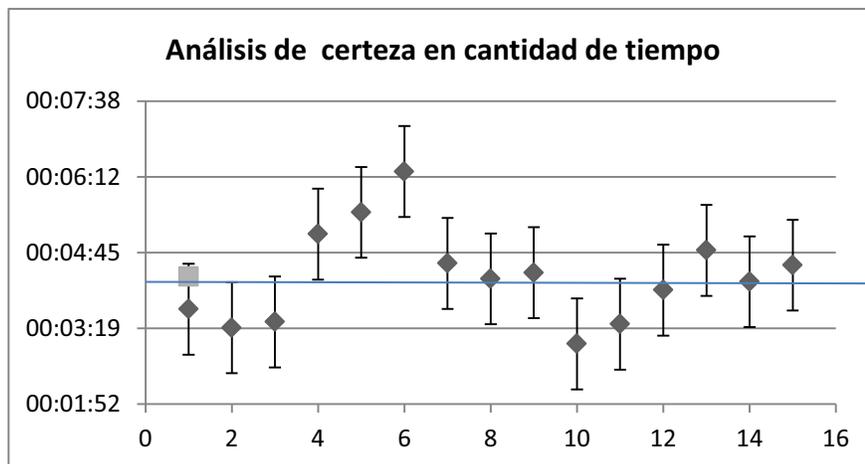
Fuente: elaboración propia

Figura 18. Cantidad de bloques pegados respecto del número de kilogramos de material utilizado, con sabieta fabricada en obra



Fuente: elaboración propia.

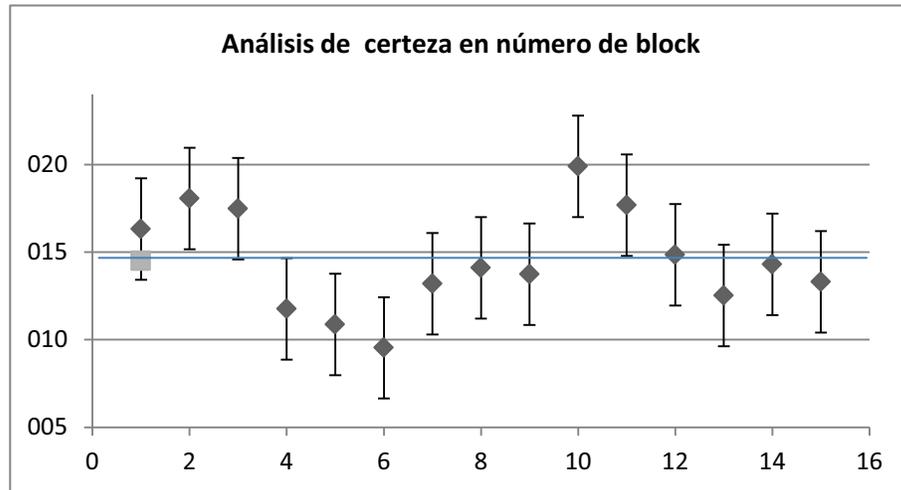
Figura 19. Línea de tendencia de rendimiento de unidades de mampostería por Kg de material utilizado, con sabieta fabricada en obra



Fuente: elaboración propia.

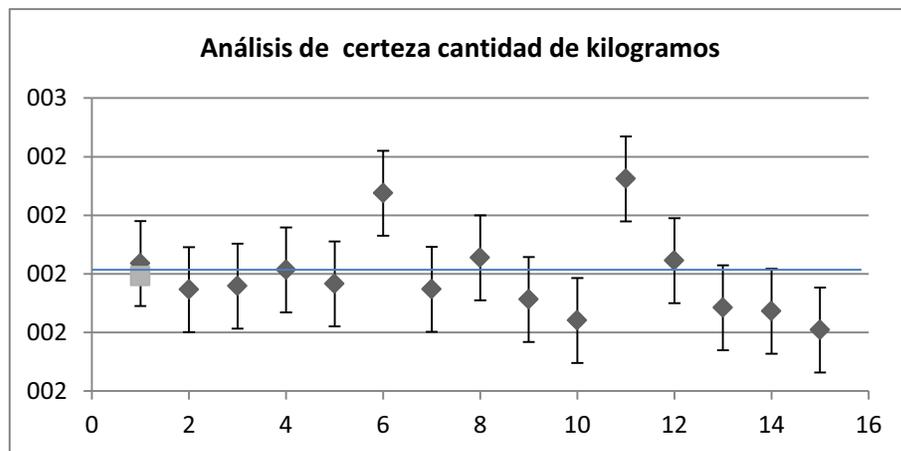
Ecuación de la pendiente de la gráfica, $y = - 0.1165x + 93.1600$

Figura 20. **Análisis de certeza de los tiempos de ejecución, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Análisis de certeza de cantidad material en kilogramos utilizado para colocar una unidad de mampostería, cantidad de aciertos de líneas de error (+/-1 desviación estándar) de medida en línea de promedio**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Comparaciones gráficas de resultados y proyecciones

A continuación se presentan las gráficas con sus resultados y proyecciones.

5.3.1. Comparaciones de consumo de material

El proceso de comparación de resultados entre las tomas directas de bloques de mampostería unidos a través de predosificado y los bloques de mampostería unidos por medio de sabieta realizada en obra, busca encontrar cuál es el tipo de tendencia y las herramientas necesarias para la evaluación de los factores unitarios de rendimientos, colocación y consumo.

Tabla XVII. **Toma directa de datos de cantidad de kilogramos y número de bloques pegados con dicho material, para material predosificado y material elaborado en obra**

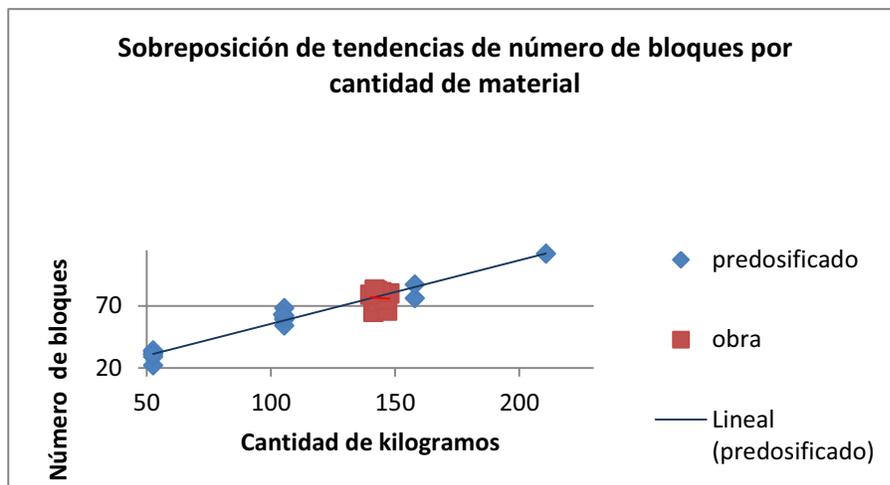
| LEVANTADO CON PREDOSIFICADO | | LEVANTADO EN OBRA | |
|-----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| Cantidad de kilogramos | Número de bloques | Cantidad de kilogramos | Número de bloques |
| 105,4 | 54 | 143,18 | 74 |
| 52,7 | 22 | 147,73 | 80 |
| 105,4 | 68 | 146,82 | 79 |
| 52,7 | 33 | 145,45 | 76 |
| 52,7 | 31 | 143,64 | 77 |
| 105,4 | 59 | 141,36 | 65 |
| 158,0 | 76 | 142,27 | 77 |
| 105,4 | 62 | 142,73 | 73 |
| 52,6 | 29 | 143,18 | 79 |

Continuación de la tabla XVII.

| | | | |
|-------|-----|--------|----|
| 210,8 | 112 | 142,73 | 82 |
| 52,7 | 34 | 146,82 | 66 |
| 105,4 | 60 | 145,91 | 75 |
| 158,0 | 87 | 144,55 | 81 |
| 105,0 | 63 | 140 | 79 |
| 52,7 | 31 | 141,82 | 83 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Sobreposición de las tendencias del material predosificado y el material realizado en obra**

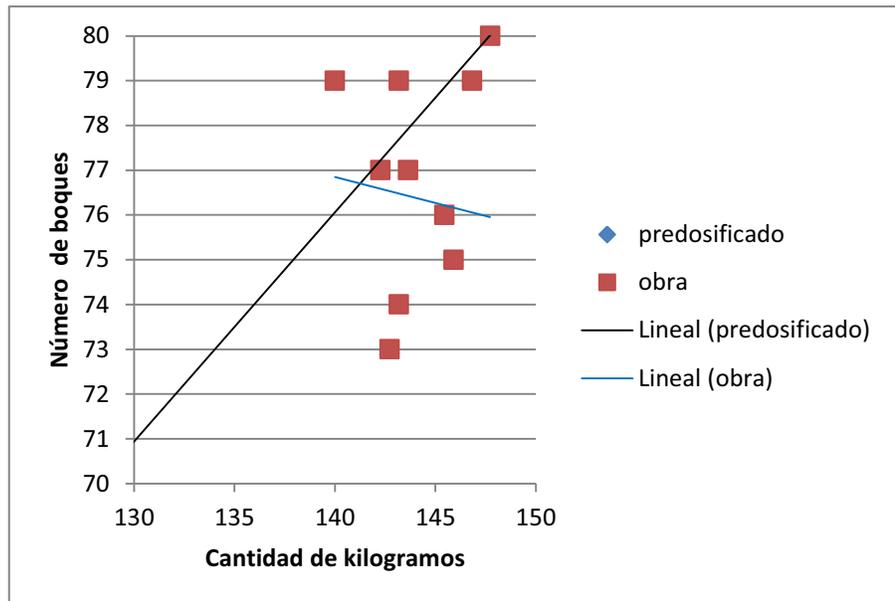


Fuente: elaboración propia.

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material predosificado:

$$y = 0.5119x + 4.3974 \quad R^2 = 0.9612$$

Figura 23. **Acercamiento a las líneas de tendencias del material predosificado y el material realizado en obra**



Fuente: elaboración propia.

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material predosificado:

$$y = 0.5119x + 4.3974 \quad R^2 = 0.9612$$

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material realizado en obra:

$$y = -0.1153x + 92.9930 \quad R^2 = 0.0024$$

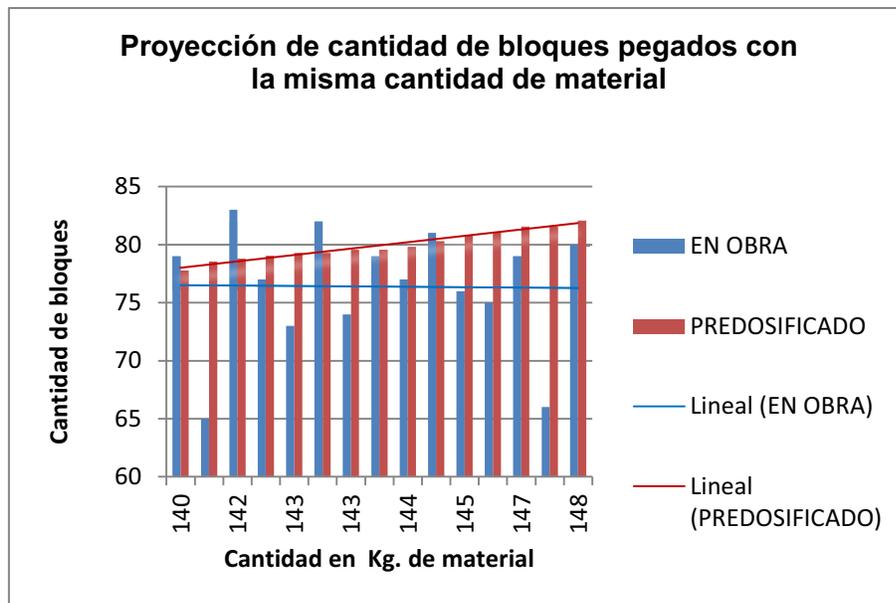
Se procederá a evaluar los factores de consumo a través de una proyección de bloques que se pegarían con material predosificado, comparándola con tomas directas de material realizado en obra, y dando de hecho que se utilizaría la misma cantidad de material para el predosificado que se utilizó en la sabieta realizada en obra.

Tabla XVIII. Toma directa de datos de cantidad de kilogramos y número de bloques pegados en obra y proyección de número de bloques que serían pegados con la misma cantidad de material predosificado

| En obra | | Predosificado | |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Número de bloques | Cantidad en kilogramos | Número de bloques | Cantidad en kilogramos |
| Toma de dato directo | Toma de dato directo | Proyección | Toma de dato directo |
| 79 | 140,00 | 78 | 140,00 |
| 65 | 141,36 | 79 | 141,36 |
| 83 | 141,82 | 79 | 141,82 |
| 77 | 142,27 | 79 | 142,27 |
| 73 | 142,73 | 79 | 142,73 |
| 82 | 142,73 | 79 | 142,73 |
| 74 | 143,18 | 80 | 143,18 |
| 79 | 143,18 | 80 | 143,18 |
| 77 | 143,64 | 80 | 143,64 |
| 81 | 144,55 | 80 | 144,55 |
| 76 | 145,45 | 81 | 145,45 |
| 75 | 145,91 | 81 | 145,91 |
| 79 | 146,82 | 82 | 146,82 |
| 66 | 146,82 | 82 | 146,82 |
| 80 | 147,73 | 82 | 147,73 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Comparación entre toma directa de datos de material realizado en obra respecto de la proyección de bloques pegados, utilizando la misma cantidad de kilogramos de material predosificado**



Fuente: elaboración propia.

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material predosificado:

$$y = 0.2751x + 77.732 \quad R^2 = 0.9665$$

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material realizado en obra:

$$y = -0.0179x + 76.5430 \quad R^2 = 0.0002$$

5.3.2. Comparaciones de rendimiento de material

Un nuevo proceso de comparación de resultados, el cual busca cuál de los dos métodos constructivos es el más eficiente; se llevará de manera similar al anterior.

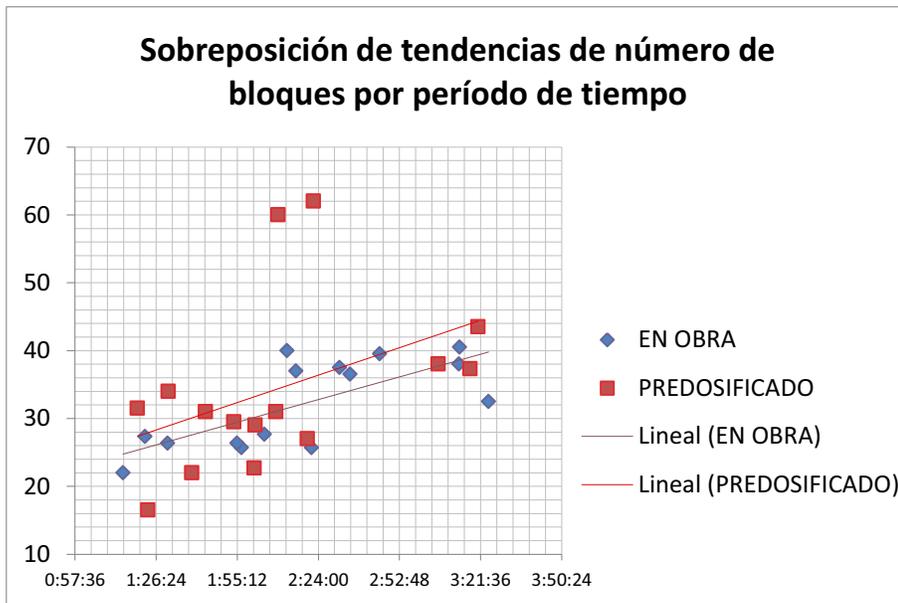
Se anotarán directamente las cantidades de bloques colocados en un periodo de tiempo, tanto para material predosificado como para material realizado en obra, y luego se proyectará para conocer los posibles valores de la variable.

Tabla XIX. Toma directa de datos de número de bloques pegados en un período de tiempo dado para sabieta predosificado y sabieta realizada en obra

| EN OBRA | | PREDOSIFICADO | |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Tiempo de levantado | No. block /persona | Tiempo de levantado | No. block /persona |
| 2:16:00 | 37,00 | 2:20:05 | 27,00 |
| 2:12:52 | 40,00 | 1:39:02 | 22,00 |
| 1:30:25 | 26,33 | 2:01:12 | 22,67 |
| 3:13:55 | 38,00 | 1:23:27 | 16,50 |
| 2:21:34 | 25,67 | 2:08:53 | 31,00 |
| 3:24:29 | 32,50 | 1:53:59 | 29,50 |
| 1:56:41 | 25,67 | 3:06:35 | 38,00 |
| 2:35:13 | 36,50 | 2:22:14 | 62,00 |
| 1:55:03 | 26,33 | 2:01:35 | 29,00 |
| 1:22:27 | 27,33 | 3:17:54 | 37,33 |
| 1:14:38 | 22,00 | 1:30:39 | 34,00 |
| 2:31:28 | 37,50 | 2:09:39 | 60,00 |
| 3:14:08 | 40,50 | 3:20:43 | 43,50 |
| 2:45:47 | 39,50 | 1:19:41 | 31,50 |
| 2:04:50 | 27,67 | 1:43:55 | 31,00 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Sobreposición de las tendencias del material predosificado y el material realizado en obra, sobre la cantidad de bloques colocados en un período de tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material predosificado:

$$y = 202.2300x + 16.174 \quad R^2 = 0.1853$$

Ecuación de la pendiente de la gráfica para material realizado en obra:

$$y = 167.3400x + 16.056 \quad R^2 = 0.5161$$

Se procederá a evaluar los factores de rendimiento a través de una proyección de bloques que se pegarían con material predosificado, comparándola con tomas directas de material realizado en obra, y dando de hecho que se aplicaría el mismo tiempo para el predosificado que se utilizó en la sabieta realizada en obra.

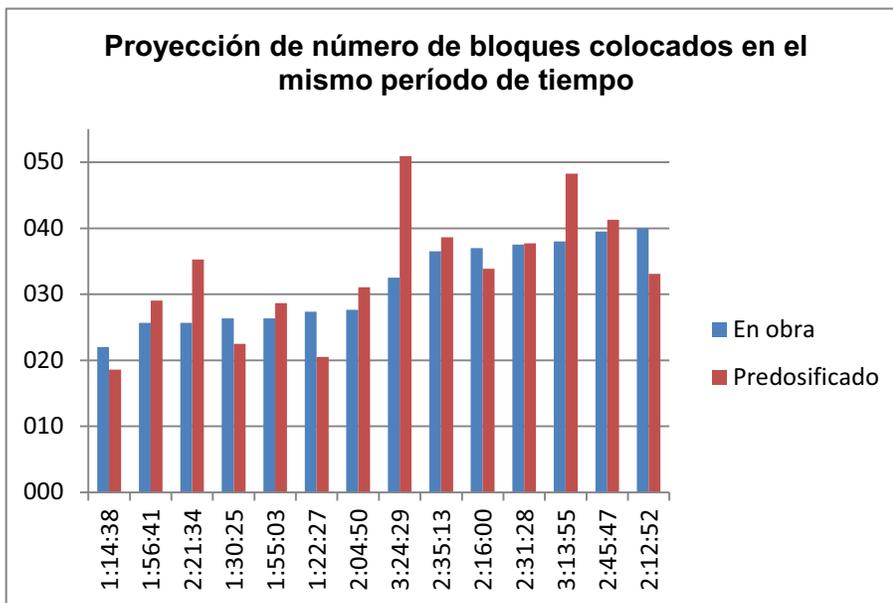
Tabla XX. Toma directa de datos de número de bloques pegados en obra y proyección de número de bloques que serían pegados en el mismo periodo de tiempo con material predosificado

| EN OBRA | | PREDOSIFICADO | |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Tiempo de levantado | No. block /persona | Tiempo de levantado | No. block /persona |
| Dato directo | Dato directo | Dato directo | Proyección |
| 1:14:38 | 22,00 | 1:14:38 | 18,58 |
| 1:56:41 | 25,67 | 1:56:41 | 29,05 |
| 2:21:34 | 25,67 | 2:21:34 | 35,24 |
| 1:30:25 | 26,33 | 1:30:25 | 22,51 |
| 1:55:03 | 26,33 | 1:55:03 | 28,64 |
| 1:22:27 | 27,33 | 1:22:27 | 20,53 |
| 2:04:50 | 27,67 | 2:04:50 | 31,08 |
| 3:24:29 | 32,50 | 3:24:29 | 50,91 |
| 2:35:13 | 36,50 | 2:35:13 | 38,64 |
| 2:16:00 | 37,00 | 2:16:00 | 33,86 |
| 2:31:28 | 37,50 | 2:31:28 | 37,71 |
| 3:13:55 | 38,00 | 3:13:55 | 48,28 |
| 2:45:47 | 39,50 | 2:45:47 | 41,27 |
| 2:12:52 | 40,00 | 2:12:52 | 33,08 |
| 3:14:08 | 40,50 | 3:14:08 | 48,33 |

Fuente: elaboración propia.

La tabla se encuentra ordenada en forma ascendente de acuerdo con los datos directos de número de block por persona en obra.

Figura 26. Comparación entre toma directa de datos de material realizado en obra, respecto de la proyección de bloques pegados, utilizando el mismo período de tiempo con material predosificado



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La investigación diagnóstica los parámetros unitarios de medidas de rendimiento y consumo. La experimentación se realizó con operarios multifuncionales que carecen de algún tipo de especialización en levantado de muros; esto implica que de acuerdo con la experiencia laboral del operario, los factores pueden acrecentarse o disminuirse y romper la línea de tendencia esperada.
2. El factor de consumo del material predosificado en comparación con el material realizado en obra, muestra una tendencia a la optimización en el uso del material, concluyéndose con el uso de menor cantidad de material por unidad de mampostería colocada, como se muestra claramente en la proyección de consumo de materiales. En la mayoría de proyecciones puede apreciarse que habrá un número mayor de bloques pegados al utilizar el material predosificado.
3. El factor de rendimiento del material predosificado, en comparación con el material realizado en obra, muestra un mejor tiempo constructivo, obteniendo así una mayor cantidad de unidades de mampostería colocadas por unidad de tiempo. Como se muestra en forma tabular y gráfica, en la mayoría de las proyecciones existe un menor tiempo de colocación de bloques al utilizar el material predosificado.
4. El material predosificado mejora su factor de rendimiento en comparación con el material realizado en obra, debido a que no es necesario el proceso de terciado seco.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar mano de obra especializada en levantado de muros y mampostería para la ejecución de los proyectos, con el objeto de optimizar los procesos constructivos respecto de los factores de rendimiento y consumo.
2. Verificar el impacto financiero de acuerdo con la magnitud de los proyectos, a través de un estudio económico que determine la factibilidad de cada uno de los materiales en relación con una moneda base.
3. Proponer un estudio de laboratorio para comprobar las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los materiales sujetos a estudio, debido a que este está fuera de los alcances de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIOLA DONIS, José Mauricio. *Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 153 p.
2. ASTM. *Norma ASTM C-270. Especificación estándar para mortero, para unidades de mampostería*. [en línea]. <www.sakrete.com/spanish/fech-data/fags.cfm>ASTM International. [Consulta: mayo de 2013].
3. _____. *Norma C989-10. Historical standard: especificación normalizada para cemento de escoria para uso en concreto*. [en línea]. <www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C989-10-SP-htm>. [Consulta: septiembre de 2013].
4. _____. *Norma ASTM C-270. Especificación estándar para mortero, para unidades de mampostería*. [en línea]. <www.sakrete.com/spanish/fech-data/fags.cfm>ASTM International. [Consulta: mayo de 2013].
5. _____. *Norma C150/C150M –12. Especificación normalizada para cemento Portland*. [en línea]. <<http://www.astm.org/Standards/C150C150M-SP.htm>>. [Consulta: noviembre de 2012].

6. *Cementos de albañilería (masonería, mampostería) y cementos mortero*. [en línea]. <<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/cementos-de-albanileria-masoneria.html>>. [Consulta: abril de 2013].
7. Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR. *Norma técnica guatemalteca NTG 41050 (ASTM C270-10). Mortero de pega para unidades de mampostería*. Guatemala: COGUANOR, 2012. 35 p.
8. _____. *Norma técnica guatemalteca NTG. 41052. Graut para mampostería específica*. Guatemala, 2008. 11 p.
9. MERRITT, Frederick. *Manual del ingeniero civil*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1983. 1504 p.
10. SABÁ MEDRANO, Carlos Eduardo. *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006, 124 p.
11. SALAMANCA CORREA, Rodrigo. *La tecnología de los morteros*. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, [en línea]. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107>>. [Consulta: agosto de 2013].
12. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. 5a ed. Colombia: Edit. Bhandar Editores LTDA., 2001. 317 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Método de cálculo de certezas (utilizado en las series de datos del presente trabajo)**

Para encontrar la certeza, de una serie de datos, se ejemplifica el siguiente procedimiento de número de bloques pegados por persona.

Apéndice 1a. **Serie de datos, conteo y toma directa de la muestra**

| Conteo No. | No block / 1 persona en 1 hora |
|-------------------|---|
| 1 | 16,32 |
| 2 | 18,06 |
| 3 | 17,47 |
| 4 | 11,76 |
| 5 | 10,88 |
| 6 | 9,54 |
| 7 | 13,20 |
| 8 | 14,11 |
| 9 | 13,73 |
| 10 | 19,89 |
| 11 | 17,69 |
| 12 | 14,85 |
| 13 | 12,52 |
| 14 | 14,30 |
| 15 | 13,30 |

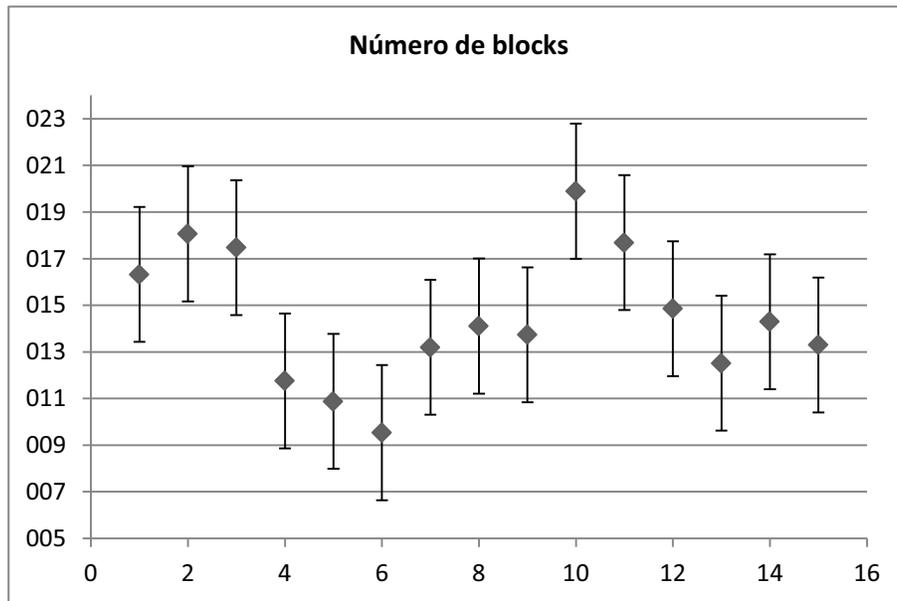
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1b. **Cálculo del promedio de la muestra y la desviación estándar de la misma**

| Promedio | Desviación estándar |
|----------|---------------------|
| 14,51 | 2,8951 |

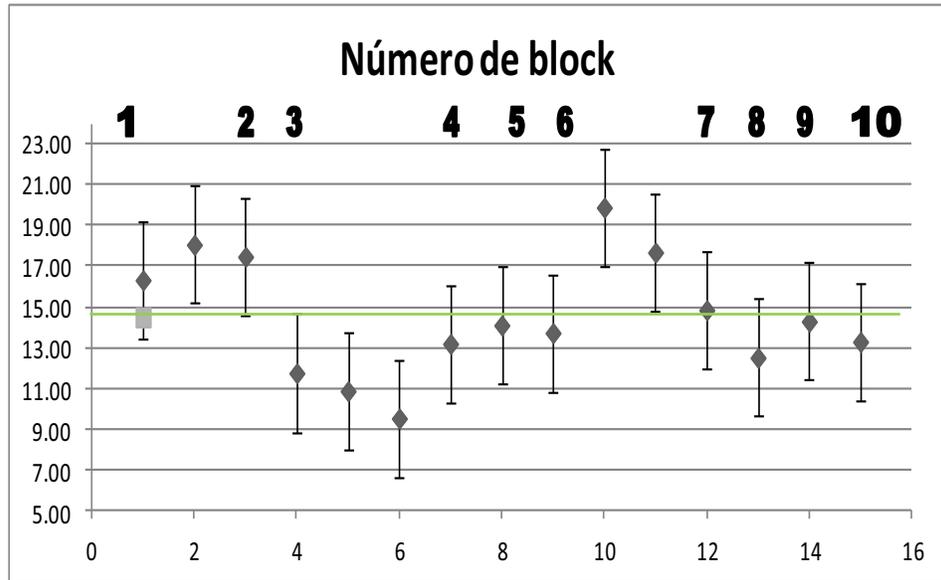
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1c. **Desviación estándar hacia cada dirección del eje de las ordenadas, es decir ± 1 desviación estándar en cada punto de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1d. **Puntos donde se ubica la línea de promedio, y conteo de las muestras que la intersecan**



Fuente: elaboración propia.

La cantidad de número de intersecciones se divide dentro de la cantidad total del número de muestras y se obtiene el porcentaje de certeza

$$\text{Certeza} = 10/15 = 0.66667$$