

Análisis y evaluación comparativa entre los morteros fabricados en sitio e industrializados, para la empresa PEDREGAL



Abstract

This project focuses on evaluating the physic and mechanic properties of mortars elaborated in the construction place using the tradicional method, including joint mortars and mortars made for covering masonry walls, as well as the properties of the industrialized Multiuso mortars, Pegablock and Repello Grueso, produced by PEDREGAL Company.

In order to develop the project, six construction projects with masonry systems were visited, all of them in the surroundings of the province of Cartago. Mortar samples in actual field conditions were taken from each of them, and then they were compared with the results obtained in laboratory tests.

Adicionally, it was studied the contribution of the mortar on the compression strength of the masonry through the manufacture of concrete block prisms, using blocks produced by PEDREGAL company, and joined with traditional, Multiuso and Pegablock mortars.

The research concludes by analyzing the application of the ASTM C-270 norm ("Standar specification for masonry mortars") and it's fulfillment in the field, according to the CSCR-02 code ("Costa Rica Sysmic Code")

Keywords: mortar, concrete prisms, mansory

Resumen

El presente proyecto consiste en evaluar las propiedades físicas y mecánicas del mortero elaborado en el sitio de construcción de manera tradicional tanto de pega como de repello, además, de los morteros industrializados Multiuso, Pegablock y Repello Grueso, producidos por la Empresa PEDREGAL. Para llevar a cabo el proyecto se visitó seis proyectos en construcción con mampostería alrededor de la provincia de Cartago, de los cuales se obtuvo muestras del mortero en condiciones reales del campo para compararlas con los resultados obtenidos mediante pruebas de laboratorio.

Adicionalmente, se estudió el aporte del mortero en la resistencia a la compresión de la mampostería, por medio de la fabricación de prismas con bloques de concreto producidos en la Empresa PEDREGAL y unidos con el mortero tipo Tradicional, Multiuso y Pegablock.

Esta investigación concluye analizando la aplicación de la norma ASTM C-270 ("Especificación Estándar para los Morteros de Mampostería") y su acatamiento en el campo, de acuerdo con el CSCR-02 (Código Sísmico de Costa Rica 2002).

Palabras clave: mortero, prisma de concreto, mampostería

Análisis y evaluación comparativa entre los morteros fabricados en sitio e industrializados, para la empresa PEDREGAL

PAMELA MATA NAVARRO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio del 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	3
Metodología	6
Marco Teórico.....	11
Resultados	22
Análisis de Resultados.....	33
Conclusiones	65
Recomendaciones	67
Apéndices.....	68
Referencias.....	81

Prefacio

La idea de realizar este proyecto surge de la necesidad de una empresa de realizar investigación de campo, para conocer el comportamiento y manipulación del mortero en sitio y comparar las propiedades físicas y mecánicas con los morteros industrializados Multiuso, Pegablock y Repello Grueso.

Conociendo las propiedades más importantes del mortero y su aporte a la mampostería, le permite al constructor aprovecharlas al máximo, además de dar a conocer que el mortero premezclado es una alternativa confiable para ser utilizado en sitio y facilitar la labor del albañil disminuyendo el tiempo de preparación de la mezcla en obra y garantizando tener un mortero trabajable por más tiempo con respecto al mortero tradicional.

El más sincero agradecimiento a la Empresa PEDREGAL por darme la oportunidad de realizar esta investigación, a mi profesor guía Ing. Mauricio Araya quién me brindó su ayuda y dirección para desarrollar el proyecto de la mejor manera.

Muchas gracias a todo el personal del CIVCO donde se realizaron la mayor cantidad de pruebas y a los técnicos del laboratorio de Control de Calidad de PEDREGAL por su colaboración.

Finalmente a Dios, a mi familia y amigos por su gran apoyo, y en especial a mi madre porque gracias a su esfuerzo y ayuda incondicional logré cumplir las metas propuestas para llegar a ser profesional.

Resumen ejecutivo

El presente proyecto está basado en una investigación de campo, en la cual se determinaron las propiedades, dosificación y materiales comúnmente utilizados para elaborar el mortero de manera tradicional. Para la empresa PEDREGAL es de suma importancia conocer estas características para compararlas con los morteros industrializados en su planta, en este caso se realiza un comparación de propiedades físicas y mecánicas entre el mortero Multiuso, Pegablock y Repello Grueso con el mortero tradicional fabricado en sitio.

El estudio inició con la búsqueda y selección de proyectos habitacionales en construcción con mampostería con características similares con el fin de que los datos resultaran en las mismas condiciones.

Se visitaron en total 6 proyectos donde se moldearon seis cubos de mortero de pega y seis con mortero de repello según la norma ASTM C-109, luego de 24 horas los moldes fueron transportados al laboratorio del CIVCO para ingresar a la cámara húmeda e iniciar el curado hasta el día de la falla a los 7 días y luego a los 28 días respectivamente. Además se analizó el agregado utilizado en cada proyecto por medio de ensayos de laboratorio de acuerdo con las normas ASTM.

Con el fin de analizar el aporte de la resistencia del mortero a la mampostería se fabricaron prismas de mampostería siguiendo la norma INTE 06-02-18-07 (Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería), utilizando bloques de concreto de 12x20x40 cm fabricados en la empresa PEDREGAL, a los cuales se les determinó su resistencia a la compresión para clasificarlos según el CSCR-02. Se fallaron a los 28 días cinco especímenes o prismas compuestos por 2 bloques unidos por una sisa de 1 cm de cada tipo de mortero de pega en estudio;

con este ensayo se comprueba que el mortero no define la resistencia de la mampostería sino que esta depende básicamente de la calidad de los bloques o unidades utilizadas.

Finalmente se analizó la variación en la resistencia del mortero elaborado en sitio y el mezclado en el laboratorio ya que cuando se realizan pruebas en condiciones controladas se debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C- 270, la cual establece un flujo de $110\pm 5\%$; no obstante por las observaciones realizadas en sitio se encontró que se utiliza el mortero con una consistencia que requiere una cantidad de agua menor. El problema radica en que para evaluar el mortero en sitio se debe utilizar la norma ASTM C-780, sin embargo la única que especifica valores mínimos requeridos en la resistencia es la ASTM C-270 mencionada anteriormente, por lo que es a esta la que hace referencia el CSCR-02 de acatamiento obligatorio en el país.

Con esta prueba se logró demostrar que el Código es muy conservador en cuanto a las resistencias requeridas para el mortero fabricado en el laboratorio, ya que en sitio disminuyendo hasta un 50% la cantidad de agua se logran mezclas trabajables y aumenta considerablemente la resistencia.

La información obtenida en este estudio es de vital importancia para el constructor, ya que el tema de los morteros ha sido poco desarrollado a pesar de que la construcción con mampostería es una de las prácticas más comunes en el país, lo que impide sacarle el máximo provecho a este material y conocer alternativas como los morteros empacados que puedan facilitar las tareas en obra y por consiguiente minimizar los costos.

Introducción

La mampostería se ha convertido en uno de los sistemas más utilizados en el país para la construcción de viviendas, edificios, muros de retención, entre otros proyectos. Dicho sistema se basa en la unión de bloques de concreto ligados mediante un material cementante llamado mortero de pega, este material debe ser fabricado con materiales de calidad y las proporciones adecuadas para brindar la resistencia requerida y a la vez ser trabajable para facilitar su preparación y colocación.

Es muy importante garantizar la calidad del mortero para el buen funcionamiento del sistema constructivo con mampostería, se debe verificar que los materiales que componen la mezcla como lo son la arena, el cemento y el agua cumplan con las especificaciones establecidas en las normas que rigen en el país.

Además, es necesario controlar mediante pruebas de laboratorio e inspección del campo, las unidades de mampostería (bloques), ya que de la resistencia de estos depende la capacidad de todo el sistema.

A nivel nacional, el tema de los morteros y su aporte en el sistema constructivo se ha estudiado muy poco, el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-02), documento que establece las propiedades de la mampostería, no especifica la resistencia mínima y adecuada para los morteros sino que se limita a hacer referencia a la norma internacional ASTM C-270, la cual establece las resistencias mínimas para pruebas realizadas en el laboratorio no así en el campo.

El comportamiento y la resistencia de la mampostería se determinan por medio de la construcción de prismas compuestos por bloques de concreto unidos con mortero de pega, utilizando varias sisas se obtiene una mejor representación del muro de mampostería, sin embargo resulta poco práctico por lo que comúnmente se utilizan dos bloques unidos con una sisa de aproximadamente 1 cm de espesor. A dichos prismas se les aplica fuerza a

compresión para determinar el esfuerzo máximo que es capaz de resistir; los valores obtenidos deben cumplir con lo que establece el CSCR-02.

Este proyecto está enfocado en la caracterización de los materiales utilizados en sitio, la manipulación de estos y la fabricación de la mezcla de mortero de pega y mortero de repello para compararlas con el mortero Pega Block, Multiuso y Repello Grueso industrializados en la empresa PEDREGAL; además de analizar su comportamiento y resistencia a la compresión unido al bloque de concreto por medio de la fabricación de prismas de mampostería.

Para el desarrollo del estudio se realizaron ensayos de laboratorio con base en las especificaciones de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y su respectiva adaptación por parte del Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO); las pruebas se llevaron a cabo en el Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO) y en el Laboratorio de Materiales de la empresa PEDREGAL.

Antecedentes y Justificación

Actualmente, en la construcción de obras civiles donde se utiliza la mampostería es común encontrarse con el uso de materiales de baja calidad, con malas prácticas constructivas, con el abuso en la cantidad de agua utilizada y con excesos en desperdicio reduciendo en gran medida la resistencia de los morteros fabricados en sitio y por consiguiente poniendo en riesgo la calidad y seguridad de la obra.

Como una solución a este problema la empresa PEDREGAL fabricó de manera industrializada el mortero tipo Pegablock

conforme a la norma ASTM 1329-05 y el mortero Multiuso (Multimix) diseñado según la norma ASTM C270-N además del mortero de repello que contienen fibras y aditivos plastificantes que le dan calidad al repello evitando el fisuramiento. Contar con productos de calidad controlada le permite al albañil minimizar el tiempo de preparación de los morteros y de instalación de los bloques de concreto.

Es poco el estudio y la investigación de campo que se ha realizado en el país sobre este tema, por lo que la empresa PEDREGAL se ha propuesto realizar un estudio comparativo entre los morteros tradicionales fabricados en sitio y los industrializados, analizando su comportamiento y aporte en la resistencia de la mampostería y la trabajabilidad en sitio.

El sistema constructivo con mampostería es ampliamente utilizado en nuestro país, sin embargo la información disponible para mejorar la práctica y la calidad de los materiales es muy escasa, los documentos que establecen las especificaciones para el uso del mortero no son lo suficientemente claros generando ambigüedades y confusión, ya que por ejemplo sólo se especifican resistencias a la compresión mínimas para el mortero mezclado en el laboratorio no así en el campo, por lo que estas son las utilizadas comúnmente para comprobar las resistencias en el campo, donde no se tienen condiciones controladas como en el laboratorio.

Por otro lado, también se desconoce el aporte del mortero al sistema de mampostería, además de cuáles son las variables que se deben tomar en cuenta para lograr la mejor relación entre el bloque y el mortero, para esto es necesario realizar pruebas de resistencia a prismas de mampostería representando el muro o la pared que se construye en sitio y generar información para establecer normas congruentes con lo requerido en el sitio y así dar seguridad al constructor y al usuario.

Objetivos

El presente proyecto tiene como objetivo general realizar un análisis comparativo entre los morteros tanto de pega como de repello que se fabrican tradicionalmente en obra y los morteros industrializados Pegablock, Multiuso y Repello Grueso de la empresa PEDREGAL.

Como una guía para desarrollar el objetivo anterior se tienen los siguientes objetivos específicos:

- a. Obtener propiedades físicas y mecánicas de los morteros industrializados en la empresa PEDREGAL, a partir de ensayos de laboratorio.
- b. Realizar muestreo del mortero de pega y de repello utilizado en sitio en distintos proyectos de construcción con mampostería.
- c. Tomar muestras del agregado utilizado en obra para la fabricación del mortero y realizar la caracterización correspondiente mediante ensayos de laboratorio según las normas ASTM.
- d. Determinar la resistencia a la compresión tanto de los morteros tradicionales como industrializados mediante ensayos de laboratorio según la norma ASTM C109.
- e. Analizar el aporte del mortero en la resistencia de la mampostería (f'm), mediante la elaboración de prismas de mampostería, conforme a la norma INTE 06-02-18-07
- f. Analizar las especificaciones de la norma ASTM C-270 y ASTM C-780 aplicables tanto en morteros elaborados en sitio como en el laboratorio y su referencia en el CSCR-02.

Alcances del proyecto

Este estudio tiene como alcance analizar y evaluar el desempeño de los morteros tradicionales fabricados en sitio en proyectos habitacionales de hasta 300 m², además de realizar una comparación con morteros industrializados de la empresa PEDREGAL, mediante ensayos y pruebas de laboratorio basados en las normas ASTM, por otro lado, evaluar el comportamiento de los morteros de pega y su influencia en la resistencia de la mampostería por medio de la elaboración de prismas de bloques de concreto.

Se realizaron distintos ensayos de laboratorio para la caracterización de las arenas obtenidas en sitio, los cuales se detallan a continuación:

- a. Reducción de las muestras de agregados, según norma ASTM C-702.
- b. Impurezas orgánicas en agregados finos, según norma ASTM C-40.
- c. Determinación del material más fino que la malla N° 200 en agregados mediante lavado, según norma ASTM C-117.
- d. Análisis granulométrico de agregados finos, según norma ASTM C-136.
- e. Peso Unitario, según norma ASTM C-29.
- f. Gravedad específica y absorción en agregado fino, según norma ASTM C-128.
- g. Análisis granulométrico de agregados finos, según norma ASTM C-136.

Por otra parte, se comparan los tiempos de fragua del mortero industrializado y del tradicional, además de determinar el flujo de la mezcla de mortero, utilizando las siguientes normas:

- a. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración, norma ASTM C-403
- b. Ensayo para determinar el flujo del mortero, según norma ASTM C-1437.

Además para determinar la resistencia a la compresión de los morteros analizados y los prismas de mampostería se aplicaron las siguientes normas, respectivamente.

- a. Resistencia a la compresión de morteros, según norma ASTM C-109.
- b. Especificación estándar de morteros para unidades de mampostería, según norma ASTM C-270.
- c. Especificaciones del mortero para unidades de mampostería, Norma INTE 06-03-04-08
- d. Método de prueba para evaluación en pre-construcción y construcción de morteros para unidades de mampostería simples y reforzadas, según norma ASTM C-780.
- e. Muestreo y ensayo de unidades de mampostería de concreto (bloques de concreto), según norma INTE 06-02-13-07.
- f. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería, según normas ASTM C1314-03b e INTECO 06-02-18-07.

Los materiales utilizados para realizar el estudio se obtuvieron directamente de los proyectos en construcción visitados, esto con el fin de que los datos fueran lo más representativo posible a las condiciones reales del sitio.

Limitaciones

La investigación se encontró limitada básicamente en los siguientes aspectos:

- a. Con la finalidad de obtener datos representativos y comparables, las obras escogidas para extraer las muestras fueron de carácter habitacional y que comprendieran un área entre 150 m² y 300 m².
- b. Se debió valorar la ubicación de los proyectos en construcción que se iban a visitar, ya que por razones de transporte de las muestras y la manipulación de estas, debían encontrarse relativamente cerca del laboratorio del TEC (CIVCO) donde se realizaron casi la totalidad de los ensayos.
- c. En un principio se consideró visitar al menos diez proyectos en construcción, sin embargo, la logística que implica trasladar la muestras de la obra hacia el laboratorio, además del tiempo para escoger los proyectos y recopilar el material y el equipo necesario sólo permitieron abarcar seis construcciones.
- d. En un principio se consideró evaluar el tiempo invertido en la preparación y colocación del mortero elaborado en obra, sin embargo se decidió descartar este análisis por la variación en la calidad y cantidad de mano de obra utilizada en los proyectos, además de la limitación en el tiempo para realizar la medición.
- e. La cantidad de muestras extraídas de los proyectos también se vio limitada por la logística que implica, principalmente por el transporte y equipo necesario.
- f. Las pruebas realizadas a los diferentes tipos de mortero y a los primas de mampostería elaborados con los mismos, no se tratan de ensayos que se pueden realizar en cualquier momento, las fallas a compresión se efectuaron a los 7 días y a los 28 días por lo que el tiempo disponible limitó la variedad y la cantidad de pruebas para la investigación.
- g. En el momento que se desarrolló el proyecto la empresa PEDREGAL se encontraba reubicando la planta de fabricación de morteros por lo que no se contaba con suficiente material disponible para realizar las pruebas pertinentes a los morteros industrializados.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto se organizaron varias actividades para cumplir con los objetivos propuestos, a continuación se describe la metodología utilizada:

a. Se definieron las características de la investigación para así establecer el tipo de obra a visitar, la información y los materiales que se debían recopilar de las mismas y la manera de manipular y transportar las muestras hacia el laboratorio.

b. Se seleccionan los proyectos en construcción que cumplan con los requerimientos acordados para realizar el estudio, primeramente que cuenten con los debidos permisos de construcción, un área entre 150 m^2 y 300 m^2 , que cuenten con al menos una batidora para realizar la mezcla y que utilicen mortero fabricado tradicionalmente con arena, cemento y agua.

c. Después de elegir los proyectos según sus condiciones y ubicación, se procedió a retirar las muestras de mortero tanto de pega como de repello. Se realiza el moldeo de cubos en el sitio según la norma ASTM C-109 y se almacenan en un lugar bajo techo y lejos de vibraciones durante 24 horas, en tanto se dé la fragua inicial se trasladan las muestras al laboratorio de manera tal que los resultados no se vean alterados.

Además, se toma del sitio alrededor de 20 kg de agregado con el cual fue fabricada la mezcla de mortero para realizarle las pruebas de laboratorio pertinentes, según las normas ASTM.



Imagen 1.
Moldeo de cubos en sitio



Imagen 2.
Agregado obtenido de uno de los proyectos

d. Una vez trasladados los cubos de mortero al laboratorio, se almacenan en la cámara húmeda para darles el curado correspondiente hasta el día de la falla a compresión a 7 días y 28 días respectivamente.



Imagen 3.
Moldes en cámara húmeda



Imagen 4.
Curado de cubos de mortero hasta el día de falla



Imagen 5.
Resistencia a la compresión de cubos de mortero

e. Para la fabricación de prismas de mampostería se utilizó el mortero tipo Multiuso y Pegablock de la empresa PEDREGAL y el mortero tradicional, las tres mezclas fueron elaboradas por un albañil con el fin de igualar las condiciones de la prueba a las que se tienen en sitio. Se confeccionaron cinco prismas para cada tipo de mortero de acuerdo con la norma INTE 06-02-18-07 y fueron posteriormente fallados a los 28 días, sometidos previamente al proceso de capeo para lograr una distribución uniforme de los esfuerzos.



Imagen 6.
Albañil fabricando la mezcla para prismas de mampostería



Imagen 7.
Proceso de capeo en prismas



Imagen 8.
Copeo de prismas con yeso-cemento



Imagen 10.
Fabricación de prismas de mampostería



Imagen 9.
Se fabricaron 5 prismas para cada tipo de mortero

f. Los prismas de mampostería fueron elaborados mediante la unión de dos bloques de concreto de 12x20x40 cm los cuales se producen en la empresa PEDREGAL y se determinó la resistencia a la compresión de los mismos mediante la norma INTE 06-02-13-07.



Imagen 11.
Falla a compresión de los prismas

g. Se utiliza la norma ASTM C-403 para comparar el tiempo de fragua mediante la resistencia a la penetración, entre el mortero tradicional y el mortero industrializado Multiuso, se realizaron mediciones cada 30 min cuando se llega a 35 kg/cm² se alcanza la fragua inicial y el tiempo de fragua final se alcanza con a los 280 kg/cm².



Imagen 12.
 Probeta de mortero para determinar el tiempo de fragua



Imagen 13.
 Determinación del tiempo de fragua por resistencia a la penetración



Imagen 14.
 Probetas después del ensayo del tiempo de fragua

h. Con el fin de evaluar la cantidad de agua necesaria para lograr una mezcla de mortero trabajable y la resistencia especificada en la norma ASTM C-270 y su adaptación nacional INTE 06-03-04-08, se moldearon cubos en el laboratorio con dosificación 1:3 y 1:2, se elaboró una mezcla cumpliendo con el flujo de $110 \pm 5\%$ y otra utilizando la consistencia manejada en el campo para cada dosificación, luego se determinó la resistencia a la compresión a los 3 días y 7 días de acuerdo con la norma ASTM C-109.



Imagen 15.
 Elaboración de cubos en el laboratorio



Imagen 16.
 Mesa de flujo del mortero



Imagen 17.
Ensayo para determinar el flujo del mortero

Marco Teórico

En términos generales el mortero se puede definir como la mezcla de un material cementante, arena, agua y eventualmente aditivos que al endurecerse presenta propiedades físicas y mecánicas similares a las del concreto, y es ampliamente utilizado para pegar las unidades de mampostería (bloques de concreto) en la construcción de muros y para cubrirlos mediante el repello.

Las aplicaciones de los morteros son variadas:

- Unión de bloques y relleno de sus celdas en paredes de mampostería.
- Recubrimiento y acabado final de paredes interiores y exteriores.

En el Código Sísmico de Costa Rica se especifican las proporciones por volumen para la fabricación del mortero, de acuerdo con la norma ASTM C270, las cuales se presentan en el cuadro 1.

CUADRO1. PROPORCIONES VOLUMÉTRICAS ESTABLECIDAS SEGÚN ASTM C 270					
Combinación de materiales cementantes	Tipo de mortero	Cemento	Cemento de mampostería	Cal hidratada	Arena en condición húmeda y suelta
Cemento-cal hidratada	A	1	0	$\frac{1}{4}$	3
Cemento-cal hidratada	B	1	0	$\frac{1}{2}$	4
Cemento-cal hidratada	C	1	0	$\frac{3}{4}$	5
Cemento-cemento de mampostería	A	1	1	0	5
Cemento-cemento de mampostería	B	$\frac{1}{2}$	1	0	4
Cemento de mampostería	C	0	1	0	3

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica 2002, adaptado de ASTM C 270

La clasificación de los morteros obedece a las propiedades de los materiales utilizados en su preparación, la norma ASTM C 270 clasifica los morteros por propiedades mecánicas y por dosificación, en esta norma se aceptan cinco tipos de morteros designados con las letras M, S, N, y O en orden descendente de calidad, ver cuadro 2; en Costa Rica se nombran las clases de morteros con las letras A, B, C y D respectivamente, como se detalla a continuación:

Clase A: Mortero de alta resistencia y durabilidad. Recomendado para mampostería reforzada o sin refuerzo sujeta a grandes fuerzas de compresión, vientos fuertes o sismo y

estructuras en contacto con el suelo como fundaciones, muros de contención, cisternas, piscinas, muros y sótanos.

Clase B: Mortero de alta resistencia de adherencia: Recomendado para estructuras sujetas a cargas de compresión normales que requieren alta resistencia. Se usa también donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared.

Clase C: Mortero de propósito general de mediana resistencia, para estructuras sobre nivel de suelo. Se recomienda para enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones.

El Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2002) establece que para la mampostería clase A se deberá usar mortero tipo A, la mampostería Clase B debe usar mortero tipo A o B y la mampostería Clase C debe usar morteros tipo A, B o C.

En Costa Rica se fabrica en sitio el mortero llamado tipo Tradicional, el cual consiste en la mezcla por volumen de los componentes comunes del mortero, cemento, arena y agua utilizando ya sea una batidora o una pala. En el Cuadro 3 se presentan las proporciones por volumen más utilizadas en los proyectos de construcción costarricenses las cuales no utilizan

cemento de mampostería ni cal hidratada. (Araya, 1998). Además, en el país se produce a nivel industrial una gran variedad de morteros secos para mampostería, fabricados bajo las normas ASTM (*American Society for Testing and Materials*), así como la respectiva adaptación por parte del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), y además cumpliendo las especificaciones del Código Sísmico de Costa Rica; con el control de calidad en las plantas se garantiza el cumplimiento de las propiedades de los morteros y sus resistencias a la compresión.

CUADRO 2. CLASIFICACIÓN ASTM C 270 DE MORTEROS PARA MAMPOSTERÍA, SEGÚN RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS Y SEGÚN SU DODIFICACIÓN VOLUMÉTRICA

Tipo de Mortero	Resistencia a compresión			Cemento Portland	Cemento Mampostería	Cal	Agregado fino suelto
	(MPa)	(kg/cm ²)	psi				
M (A)	17.2	175	2500	1 1	1 -	0.25	Entre 2.5 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizados
S (B)	12.4	126	1800	0.5 1	1 -	0.25 a 0.5	
N (C)	5.2	53	750	- 1	1 -	0.5 a 1.25	
O (D)	2.4	25	350	- 1	1 -	1.25 a 2.5	

Fuente: Norma INTE -06-03-04-08

CUADRO 3. PROPORCIONES POR VOLÚMENES UTILIZADOS COMÚNMENTE EN LAS CONSTRUCCIONES DE COSTA RICA.

Material Cementante	Tipo de mortero	Cemento	Arena en condición húmeda y suelta
Cemento	A	1	3
Cemento	B	1	4

Fuente: (Araya, 1998)

Tipos de Mortero

Los morteros se dividen en dos grandes familias: los aéreos que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua por secado al aire y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación; y los hidráulicos comúnmente utilizados en el país, que endurecen bajo agua, ya que al igual que los cementos naturales, poseen en su composición constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que le permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

Además hay diferentes tipos de mortero según los materiales por los cuales esté compuesto tales como:

Morteros de cal y arena

La cal ya sea aérea o hidráulica, funciona como conglomerante, como es sabido desde la antigüedad la cal es un ligador y plastificante. Estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo, no pueden esperarse de él altas resistencias debido a su baja velocidad de endurecimiento.

La arena de estos morteros brinda consistencia y sirve como amortiguador de cambios volumétricos, es decir, permite reducir la contracción y fisuras propias del secado. Su uso es limitado ya que no existe hoy ningún procedimiento que permita medir la capacidad de endurecimiento.

Morteros de cemento portland, cal y arena

La incorporación de cal a un mortero de cemento y arena permite mejorar su trabajabilidad.

Cuando se busca una gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales, este tipo de mortero es aconsejable.

Si el contenido de cemento es alto, las características serán alta resistencia y poco tiempo entre el mezclado y la colocación; será más o menos trabajable y habrá contracción si está muy seco. Si el contenido de cal es alto, tendrá menos resistencia, será mayor el tiempo entre el mezclado y la colocación, será más plástico y permeable, pero mostrará más retracción. 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.

Morteros de cemento hidráulico y arena

Su fraguado y ganancia de resistencia (endurecimiento) ocurre en presencia de agua.

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas, una vez el mortero ha endurecido, se pueden usar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos portland.

Debido a lo rápido del fraguado del cemento, la fabricación de este tipo de mortero debe ser de manera continua de modo tal que entre el mezclado y la colocación del mortero haya el menor tiempo posible.

Morteros con aditivos: cuando se requiera una característica especial del mortero como: mejorar adherencia, mayor retención de agua, coloración especial, prolongar su tiempo en estado fresco u otra, se incorpora durante el mezclado un aditivo que la proporcione.

Componentes del mortero de mampostería

Agua

El agua debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que pudieran causar deterioro en los morteros o cualquier refuerzo metálico dentro del muro.

Cemento

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, el cual tiene la capacidad de aglutinar agregados y formar un producto final. Entre los cementos hidráulicos actuales, los más comunes son los tipo Portland y tal vez el más utilizado en el país es el cemento UG.

Los cementos deben cumplir ciertos requisitos para lograr las propiedades necesarias; mezclados con agua se forma una pasta que fragua y endurece, tanto al aire como bajo el agua. El endurecimiento es relativamente lento, tardando 28 días en alcanzar la resistencia requerida.

Agregados

Un material común además del agua en los morteros es la arena, la cual debe cumplir de manera adecuada con propiedades tales como granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas para formar una masa compacta y homogénea con los otros componentes, a continuación se describen sus principales características:

- Libre de materia o sustancias que interfieran con la adherencia o inhiba el proceso de hidratación del cemento. Se debe evitar entonces el polvo, arcilla, aceites, sales solubles y materia orgánica.
- Granulometría apropiada. Una granulometría fina haría al mortero más trabajable; por el contrario otra más gruesa contribuirá a mejorar la resistencia. Se sugiere granulometrías finas cuando se requiera el empleo de mezclas secas. No obstante, y siempre que no se afecte la trabajabilidad, se debe usar el mayor tamaño posible para reducir los problemas asociados a la retracción del mortero. La granulometría, textura y formas de las partículas afecta directamente la contracción, trabajabilidad y resistencia. Bajo la designación ASTM C 144 se especifica la granulometría de la arena para mortero de albañilería.

En general son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacción con

los demás constituyentes del mortero, especialmente con el cemento.

Los agregados naturales, que provienen de la fuente o depósito natural y que se extraen mecánicamente ya sea de minas o ríos, son los que se utilizan comúnmente en el campo. También se encuentran los agregados artificiales, los cuales son el resultante de algún subproducto industrial o bien agregados reciclados, que como su nombre lo indica formaron parte de alguna construcción y son procesados para su posterior reutilización. Sin embargo, en Costa Rica se utiliza más el agregado natural.

Propiedades físicas de los agregados

Dentro de las propiedades físicas del agregado y posiblemente la más importante es la granulometría, con la cual se determina las dimensiones de las partículas que componen el agregado. Para el caso de los morteros la granulometría está regulada por la norma ASTM C-144.

En el cuadro 4 se presentan las especificaciones admitidas por la norma para que la arena cumpla con la granulometría requerida en un mortero, la función de esta es poder realizar la curva granulométrica, la cual se efectúa tamizando el agregado en las mallas indicadas, determinando mediante porcentajes el material acumulado en cada tamiz.

CUADRO 4. ESPECIFICACIÓN PARA AGREGADOS EN MORTEROS, SEGÚN ASTM C 144		
Tamiz	Arena Natural	Arena Manufacturada
nº4	100	100
nº8	95-100	95-100
nº16	70-100	70-100
nº30	40-75	40-75
nº50	10-35	20-40
nº100	2-15	10-25
nº200	0-5	0-10

Fuente: (Norma ASTM C 144).

De la granulometría también es posible determinar el módulo de finura, este es la suma de los porcentajes retenidos acumulados que se encuentran en la serie de tamices nº4, nº8, nº16, nº30, nº50 y nº100 especificados en la norma ASTM C 136, este módulo permite suministrar una idea del tamaño medio del agregado, ya que módulos de finura altos corresponden a agregados gruesos y viceversa.

El cuadro 5 presenta una clasificación de las arenas en función de los módulos de finura:

CUADRO 5. CLASIFICACIÓN DE LA ARENA SEGÚN SU MÓDULO DE FINURA.	
MF	Clasificación
<2,0	Muy fina
2,0 a 2,3	Fina
2,3 a 2,6	Medio fina
2,6 a 2,9	Media
2,9 a 3,2	Medio gruesa
3,2 a 3,5	Gruesa
>3,5	Muy gruesa

Fuente (Barquero, 1983)

En el agregado debe controlarse muy bien los finos que componen este, ya que el exceso de estos provocaría en el mortero un aumento en la cantidad de agua, lo que conlleva a una reducción en la resistencia final del mortero, así como dar paso a la aparición de fisuras por el efecto de la contracción del mortero.

Otro factor que debe ser controlado en la arena es el material orgánico, ya que la presencia de impurezas orgánicas reduce las propiedades mecánicas del mortero. Una forma rápida y fácil de evaluar la presencia de estos es cuando al frotar el material en las manos las deja manchadas de tierra. Al ocurrir esto se debe lavar el material antes de ser utilizado sin que se pierdan los finos o bien trabajar con otra arena.

Aditivos

Actualmente muchos aditivos son añadidos a los morteros de acuerdo al uso o costos. Se entiende como aditivo todo material distinto del agua,

agregados y cemento, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. En el cuadro 6 se presentan los aditivos químicos que especifica la norma ASTM C-494.

CUADRO 6. TIPOS DE ADITIVOS QUÍMICOS SEGÚN LA NORMA ASTM C 494	
Tipo	Descripción
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardantes
C	Aditivos acelerantes
D	Aditivos reductores de agua y retardantes
E	Aditivos reductores de agua y acelerantes
F	Aditivos reductores de agua de alto rango
G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Propiedades del mortero

El mortero debe cumplir con varios requerimientos para ser utilizado adecuadamente en obra, garantizando resistencias y que sea fácilmente manipulable en sitio.

Trabajabilidad

Es una medida de la facilidad de colocación de la mezcla, en las unidades de mampostería y en revestimientos. El indicador de la trabajabilidad es la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero; comúnmente se definen tres tipos de consistencia: seca, en la cual la mezcla cemento y agua, sólo alcanza llenar los vacíos interparticulares, obteniendo mezclas ásperas y poco trabajables debido al rozamiento entre partículas.

Otro tipo de consistencia es la plástica donde se dispone de una cantidad de agua mayor sin perjudicar la resistencia.

En la consistencia fluida la cohesión se reduce y las partículas tienden a segregarse por acción de la gravedad. En general se acepta como la medida de la trabajabilidad, la característica de fluidez medida en la mesa de flujo como lo especifica la norma ASTM C-230, sin embargo en sitio la fluidez depende en gran parte de la apreciación del albañil.

El mortero no debe ser muy pesado cuando se utilice para dar recubrimientos y acabado a una superficie para evitar desprendimientos, además se requiere una consistencia adecuada que facilite las tareas de mezclado y puesta en obra.

La inclusión de cal en el mortero hace que la trabajabilidad mejore debido a la reducción de la tensión superficial de la pasta conglomerante (agua-cemento) asociada a la lechada de cal; por otro lado, el alto grado de finura de la cal permite que funcione como lubricante y como retenedor de agua. Algo similar ocurre cuando al mortero se le incorpora un aditivo para retención de agua que logra aumentar su plasticidad.

Retención de agua

El mortero debe contar con la cantidad de agua necesaria para permitir la hidratación de las partículas de cemento y a la vez tener una mezcla fluida, lo que influye en gran medida en la velocidad de endurecimiento y la resistencia final a la compresión. Esta propiedad se ve afectada tanto por el clima donde se trabaja, como por la capacidad de absorción de las superficies en contacto con el mortero como lo son las unidades de mampostería.

La retención de agua puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aumentando el contenido de finos, la adición de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire o simplemente utilizando cementos puzolánicos o cementos de adición, con carga inherente que cada día cobran mayor importancia.

Adherencia

Es la capacidad del mortero de soportar tensiones normales o tangenciales a la superficie que une la mezcla con la estructura.

Morteros de baja capacidad de retención de agua y morteros de alta resistencia se adhieren sólo en partes por lo que su adherencia es pobre. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero y además de tener un nivel de absorción adecuado y compatible con la mezcla 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 adecuada unión entre las piezas.

Resistencia

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas, siendo ésta un indicio de las resistencias a esfuerzos de corte y tensión. El mortero alcanza su resistencia final a los 28 días, se debe proporcionar adecuadamente la mezcla para que se alcancen las resistencias especificadas en el cuadro 2.

Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como los cambios de temperatura, el desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en condiciones de ambiente agresivo.

Permeabilidad

Es la característica de dejar filtrar aire o agua. Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad, al agua. Debido a las características de los morteros estos son casi impermeables en comparación con algunos tipos de unidades y en la interfase de estos con el mortero, por esta razón esta propiedad debe estudiarse dentro del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.

Mampostería

Es un sistema constructivo de elementos estructurales y no estructurales que utiliza como base pequeñas unidades de construcción, tales

como bloques o ladrillos, unidas entre sí con o sin mortero, concreto de relleno u otro método de unión aceptado. (International Code Council [ICC], 2000).

Existen dos tipos de mampostería: integral y confinada. La primera consiste únicamente en paredes de mampostería reforzada y la mampostería confinada consiste en paños de mampostería confinados con vigas medianeras y columnas de concreto

Elementos de la mampostería

Mortero

El mortero de pega es el elemento que une las unidades de mampostería a través de las juntas verticales y horizontales, en virtud de su capacidad de adherencia. Debe tener una buena plasticidad y consistencia para poder colocarlo de la manera adecuada y suficiente capacidad de retención de agua para que las unidades de mampostería no absorban la humedad y se pueda desarrollar la resistencia de la interfase mortero-unidad, mediando la correcta hidratación del cemento del mortero.

Concreto de relleno

Es una mezcla fluida de concreto para llenar cavidades, sin sufrir segregación de sus componentes, además deberá de tener alta plasticidad para permitir el vaciado y alto asentamiento.

Unidades de mampostería

Es un elemento prefabricado de concreto, con forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta. Los bloques poseen dimensiones uniformes para facilitar la modulación, en cuanto a lo alto 20 cm y en cuanto a lo largo 40 cm, variando únicamente en el ancho, que en el país se produce de 12, 15, 20, 25 y 30 cm.

En las normas INTECO se especifican los requisitos para que las unidades de mampostería sean adecuadas para uso estructural entre ellas: la INTE 06-02-13-07 Práctica de muestreo de Bloques, INTE 16-02-16-06 Prácticas para el coronamiento de las unidades de mampostería de

concreto y prismas de mampostería para el ensayo de compresión, INTE 06-03-01-06 Bloques de concreto para uso estructural, la norma ASTM C-140-05 corresponde al ensayo de resistencia a la compresión; además de las especificaciones del CSCR 2002.

El Código Sísmico de Costa Rica 2002 establece tres tipos de unidades de mampostería de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días, estas clases son las siguientes:

Clase A: Bloques de concreto con resistencia promedio a la compresión medida sobre el *área neta* a los 28 días de edad no menor de 133 kg/cm² y con un mínimo para cada muestra individual de 120 kg/cm². La mampostería Clase A es obligatoria para todas las construcciones mayores de 1000 m² y de 3 pisos de altura.

Clase B: Bloques de concreto con resistencia promedio a la compresión medida sobre el *área neta* a los 28 días de edad no menor de 90 kg/cm² y con un mínimo para cada muestra individual de 80 kg/cm².

Clase C: Bloques de concreto con resistencia promedio a la compresión medida sobre el *área neta* a los 28 días de edad no menor de 75 kg/cm² y con un mínimo para cada muestra individual de 70 kg/cm².

Las pruebas de compresión de los bloques deben realizarse según ASTM C 90.

Otras características de los bloques deben cumplir con la norma nacional MEIC 6293.

La mampostería Clase C sólo podrá ser empleada en edificaciones individuales de un solo piso, con una altura máxima de las paredes de 2.50 m, y de no más de 50 m².

En el cuadro 7 se presentan los valores de resistencia mínimas a la compresión las cuales deben cumplir los bloques de concreto de mampostería, según la clase de bloque.

CUADRO 7. RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN SOBRE EL ÁREA NETA Y A LOS 28 DÍAS		
Clase	Resistencia mínima a la compresión (MPa)	
	Promedio de 3 o más unidad	Unidad Individual
A	13,0	11,8
B	8,8	7,8
C	7,4	6,8

Fuente: Norma INTE-06-03-01-07

Prismas de Mampostería

El ensayo que se utiliza para obtener un índice de la resistencia a compresión de la mampostería y para estudiar la forma de relación esfuerzo-deformación y el efecto de las diferentes variables, es el de prismas. Son elementos compuestos por una o más unidades de mampostería, unidos con algún tipo de mortero, uno encima del otro, que sometidos a cargas de compresión, corte y adherencia permiten obtener la resistencia característica de la mampostería evaluada utilizando los materiales y mano de obra similares a los que se usarán en obra. En la figura 1 se representa un prisma de dos bloques de concreto unidos por una capa de mortero.

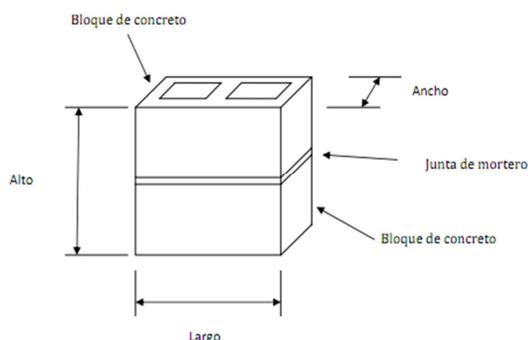


Figura 1. Prisma de mampostería de concreto

Fuente: Estudio sobre la calidad de la mampostería de concreto para vivienda, CFIA, ICCYC

El ensayo previo de prismas puede significar una reducción de los costos al disminuir las cuantías de acero de refuerzo al optimizar el uso del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.

Resistencia a la compresión

Este ensayo consiste en aplicar carga axial al prisma de mampostería, con el fin de determinar su resistencia a compresión a la edad de interés. Entre los factores que pueden afectar la resistencia a la compresión se encuentran los siguientes:

- Tipo y geometría de las unidades.
- Características del mortero.
- Humedad y absorción de las unidades.

La figura 2 representa el modo de falla más común conocido como falla por tracción lateral, es decir a través de grietas verticales en las piezas

producidas por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Cuando este agrietamiento vertical se vuelve excesivo, se producen la inestabilidad del elemento y su falla. Si se tiene unidades con resistencia baja se pueden producir fallas por aplastamiento. El aplastamiento del mortero generalmente no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que éste cuando se aplasta, es retenido por fricción por los bloques, y en conjunto puede soportar cargas mayores, salvo que el mortero sea muy pobre en comparación con las unidades. Sin embargo, en elementos esbeltos, el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad.

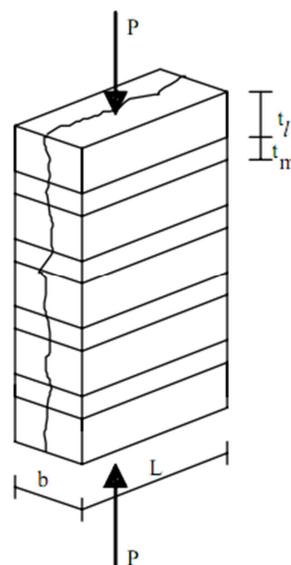


Figura 2. Falla típica por tracción lateral

Fuente: Comportamiento mecánico de la mampostería. Cap 4.

El comportamiento y los modos de falla de la mampostería ante cargas axiales dependen en gran parte de la interacción de piezas y mortero; ésta puede interpretarse de la siguiente manera: las unidades y el mortero tienen características esfuerzo-deformación diferentes, por lo tanto al ser sometidos a un mismo esfuerzo se produce una interacción entre ambos que consiste en que el material menos deformable, las unidades en general, restringe las deformaciones transversales del material más deformable, introduciendo en él esfuerzos de compresión de dirección transversal, como se presenta en la figura 3. Por el contrario, en el material menos deformable se introducen esfuerzos transversales

de tensión (ver Figura 4) que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensayo de compresión simple de material aislado (bloque).

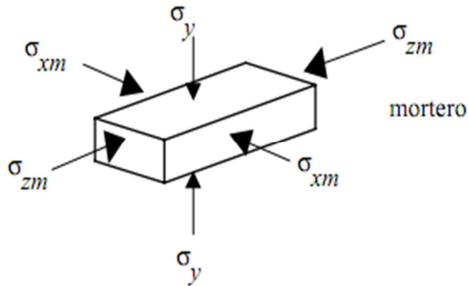


Figura 3. Esfuerzos de compresión actuantes en el mortero en prismas de mampostería
Fuente: Comportamiento mecánico de la mampostería. Cap 4.

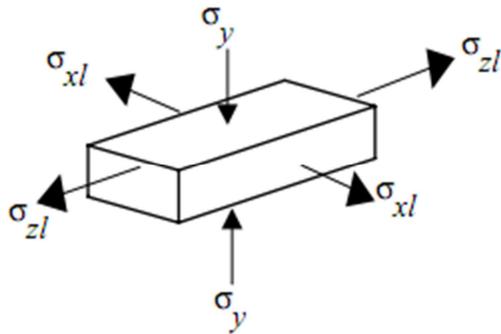


Figura 4. Esfuerzos actuantes en las unidades (bloques) en prismas de mampostería
Fuente: Comportamiento mecánico de la mampostería. Cap 4.

Para obtener el valor de resistencia última de los prismas f'_{mu} , se utiliza la norma ASTM C1314-03b "Método Estándar para Pruebas de Resistencia a la Compresión de Prismas de Mampostería" y la adaptación nacional a la norma, INTECO 06-02-18-07; a partir de los valores obtenidos se puede establecer un valor para f'_m , valor de resistencia de la mampostería; de acuerdo a estas normas la resistencia última f'_{mu} es el valor de falla y el promedio por cada set de prismas tiene que ser igual o mayor a f'_m . Si el ensayo se utiliza para determinar f'_m debe ser la resistencia mínima promedio para el set de prismas o 1.25 veces la resistencia mínima individual del prisma, multiplicado por el factor de corrección.

En el cuadro 8 se muestran los factores de corrección que se deben aplicar dependiendo

de la relación de esbeltez (altura-espesor) utilizada.

Relación (h/t)	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor	0,75	0,86	1,0	1,04	1,07	1,15	1,22

Fuente: Norma INTE 06-02-18-07

Según el Código Sísmico de Costa Rica, cuando no exista información obtenida del ensayo de prismas, el valor de la resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m) se puede suponer según los valores del cuadro 9.

Mampostería Clase	f'_m sobre el área neta kg/cm^2
A	100
B	70
C	60

Fuente: CSCR, 2002.

Características de los proyectos en construcción visitados

Proyecto 1

El proyecto consiste en una casa de habitación de 2 niveles con un área aproximada de 300 m², ubicada en Tres Ríos de Cartago.

Se utiliza mortero tradicional, con una dosificación 1:3 medida en cubetas; la mezcla es fabricada por dos operarios por medio de una batidora. No existe dosificación con respecto al agua utilizada.

El agregado procede de tajo, pero se desconoce la granulometría del mismo, el cemento utilizado es Portland tipo I de uso general y no hay uso de aditivos en la mezcla de mortero.



Imagen 18.
Proyecto 1

Proyecto 2

Se ubica en Barrio Nuevo de El Guarco en Cartago, y consiste en la construcción de 3 apartamentos, el área total de construcción es de 400 m².

Se fabrica mortero tradicional por medio de batidora, por cada saco de cemento Portland se agregan 6 cubetas de arena, es decir una dosificación 1:3, del agregado se desconoce la procedencia; además no se tiene un control de la dosificación del agua y no se utilizan aditivos.



Imagen 19.
Proyecto 2

Proyecto 3

El proyecto se trata de una casa de habitación de dos niveles ubicada en el Residencial Omega, Tres Ríos.

El mortero se elabora de manera tradicional utilizando la cubeta de 5 galones como medida para dosificar, por cada cubeta de cemento Portland Tipo I se agregan 5 cubetas de arena natural, extraída de tajo, no hay dosificación del agua y no se utilizan aditivos.



Imagen 20.
Proyecto 3

Proyecto 4

El proyecto se ubica en la zona central de Cartago, y consiste en un edificio de cuatro apartamentos con un área total aproximada de 400 m².

La dosificación utilizada es 1:3 utilizando cubetas de cinco galones, por cada cubeta de cemento tipo I de uso general se agregan 3 cubetas de arena procedente de tajo, no se agrega aditivos. La mezcla la elaboran dos peones utilizando una batidora, la dosificación del agua queda a criterio de los obreros, ya que depende en gran parte del clima en el cual se esté trabajando para mantener la trabajabilidad sin perder la resistencia adecuada.



Imagen 21.
Proyecto 4

Proyecto 5

El proyecto comprende un edificio de tres niveles destinado a apartamentos con un área aproximada a 350 m².

Se prepara mortero de tipo tradicional por medio de una batidora a la cual se le agregan 2 sacos de cemento por cada 6 cubetas de arena, lo que significa una dosificación 1:3 de mortero para uso estructural.

Se utilizó arena de tajo, de la cual se desconoce la granulometría y cemento Portland tipo I de uso general. No se le agregan aditivos a la mezcla y el uso de agua queda a criterio del albañil.



Imagen 22.
Proyecto 5

Proyecto 6

Comprende aproximadamente 150 m² de construcción en mampostería utilizando bloques de 12x20x40, comprende una planta para uso de oficinas ubicado en la zona franca de Cartago.

Se utiliza mortero tradicional con una dosificación de 1:3, una parte de cemento por tres partes de arena medidas por medio de cubetas de 5 galones.

Se utiliza arena de tajo y Cemento Portland tipo I de uso General. La adición de agua depende de la trabajabilidad que se necesite en la obra de acuerdo al clima, queda a criterio y experiencia del albañil.



Imagen 23.
Proyecto 6

Resultados

Una vez seleccionados los proyectos en construcción con mampostería de concreto, se obtienen las muestras de agregado para realizarles el análisis respectivo, además se fabrican cubos de mortero en el sitio para luego ser trasladados a la cámara húmeda del laboratorio y posteriormente ser fallados a compresión a la edad respectiva.

Con las muestras obtenidas en campo se realizan varios ensayos de acuerdo con las normas ASTM y la adaptación nacional INTECO. De los resultados obtenidos se presenta un resumen a continuación, los resultados completos se pueden encontrar en la sección apéndices de este proyecto.

Para determinar la validez y dispersión de los resultados encontrados se utiliza el coeficiente de variación, calculado de la siguiente manera:

$$\% CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

donde la desviación estándar representa la dispersión de los datos alrededor de la media y se determina de la siguiente manera:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

el centro de la distribución de los datos se localiza en la media, la cual se calcula así:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{N} \quad \text{Ecuación 3}$$

De acuerdo con el valor de coeficiente de variación obtenido se determina la representatividad de la media, tal y como se presenta en el siguiente cuadro; para el presente estudio lo ideal es que se obtengan valores

menores a 20 para lograr bastante o alta representatividad.

CUADRO 10. GRADO DE REPRESENTATIVIDAD DE LA MEDIA SEGÚN EL VALOR DEL COEFICIENTE DE VARIABILIDAD	
Coeficiente de variabilidad (%)	Representatividad de la media
0,0 a menos de 10,0	Alta
10,0 a menos de 20,0	Bastante
20,0 a menos de 30,0	Tiene Representatividad
30,0 a menos de 40,0	Baja o dudosa
40,0 o más	Carente o nula

Fuente: (Godoy, 2006)

Con respecto al análisis granulométrico realizado a las muestras de agregado tomadas en sitio, se presentan en resumen los resultados en los cuadros presentados a continuación:

Proyecto 1.

CUADRO 11. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 1		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
3/8"	9.5	100
# 4	4.75	94.92
# 8	2.36	76.18
# 16	1.18	58.47
# 30	0.6	42.52
# 50	0.3	30.72
# 100	0.15	24.49
# 200	0.075	19.67
Módulo de finura (M.F)		2.73

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Proyecto 2.

CUADRO 12. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 2		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
3/8"	9.5	100
# 4	4.75	93.24
# 8	2.36	80.54
# 16	1.18	64.51
# 30	0.6	47.87
# 50	0.3	30.28
# 100	0.15	16.42
# 200	0.075	9.75
Módulo de finura (M.F)		2.67

Proyecto 3.

CUADRO 13. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 3		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Retenido Acumulado
3/8"	9.5	1.39
# 4	4.75	8.11
# 8	2.36	22.73
# 16	1.18	37.76
# 30	0.6	52.42
# 50	0.3	65.32
# 100	0.15	74.60
# 200	0.075	81.31
Módulo de finura (M.F)		2.62

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Proyecto 4.

CUADRO 14. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 4		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
3/8"	9.5	99.76
# 4	4.75	96.25
# 8	2.36	76.62
# 16	1.18	59.62
# 30	0.6	43.24
# 50	0.3	27.02
# 100	0.15	14.22
# 200	0.075	7.51
Módulo de finura (M.F)		2.83

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Proyecto 5.

CUADRO 15. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 5		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
3/8"	9.5	100
# 4	4.75	97.73
# 8	2.36	87.29
# 16	1.18	69.24
# 30	0.6	52.19
# 50	0.3	29.97
# 100	0.15	8.73
# 200	0.075	0.0
Módulo de finura (M.F)		2.55

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Proyecto 6.

CUADRO 16. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 6		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
3/8"	9.5	100
# 4	4.75	96.77
# 8	2.36	84.80
# 16	1.18	69.13
# 30	0.6	51.41
# 50	0.3	30.28
# 100	0.15	9.77
# 200	0.075	0.0
Módulo de finura (M.F)		2.58

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Resultados de la granulometría realizada a los morteros industrializados de la Empresa PEDREGAL

Mortero Multiuso

CUADRO 17. GRANULOMETRÍA MORTERO INDUSTRIALIZADO MULTIUSO, EMPRESA PEDREGAL		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
# 8	2.36	-
# 16	1.18	17
# 30	0.6	16
# 50	0.3	16
# 100	0.15	20.5
# 200	0.075	29.5
Módulo de finura (M.F)		2.51

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Mortero Pegablock

CUADRO 18. GRANULOMETRÍA MORTERO INDUSTRIALIZADO PEGABLOCK, EMPRESA PEDREGAL		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
# 8	2.36	16.5
# 16	1.18	12.5
# 30	0.6	14.5
# 50	0.3	13
# 100	0.15	15
# 200	0.075	27.5
Módulo de finura (M.F)		4.29

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Mortero Repello Grueso

CUADRO 19. GRANULOMETRÍA MORTERO INDUSTRIALIZADO REPELLO GRUESO, EMPRESA PEDREGAL		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
# 8	2.36	-
# 16	1.18	-
# 30	0.6	7.5
# 50	0.3	23.5
# 100	0.15	24
# 200	0.075	44.5
Módulo de finura (M.F)		2.45

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Resultados de gravedad específica, densidad y porcentaje de absorción de las arenas obtenidas de los proyectos en construcción visitados.

CUADRO 20. VALORES DE GRAVEDAD ESPECÍFICA, DENSIDAD Y % DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN SITIO.					
Proyecto	Gbs	Gbsss	Gba (g/cm ³)	% Absorción	Peso Unitario (kg/m ³)
Proyecto 1	1.95	2.18	2.55	12.2	1350
Proyecto 2	1.89	2.10	2.40	11.33	1210
Proyecto 3	1.81	2.14	2.71	18.41	1280
Proyecto 4	1.87	2.11	2.46	12.82	1180
Proyecto 5	2.08	2.25	2.50	8.12	1410
Proyecto 6	2.09	2.27	2.54	8.52	1330

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Resultados del ensayo de colorimetría de las arenas obtenidas de los proyectos en construcción visitados.

CUADRO 21. RESULTADOS DEL ENSAYO DE COLORIMETRÍA AL AGREGADO FINO, SEGÚN LA NORMA ASTM C-40		
Proyecto	Número de referencia en Tabla Gardner	Color
Proyecto 1	0-1	Amarillo Claro
Proyecto 2	0-1	Amarillo Claro
Proyecto 3	0-1	Amarillo Claro
Proyecto 4	0-1	Amarillo Claro
Proyecto 5	3-4	Ámbar
Proyecto 6	0-1	Amarillo Claro

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Resultados de porcentajes de material más fino que la malla N° 200, para los agregados estudiados.

CUADRO 22. VALORES DEL MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200 EN AGREGADO FINO, SEGÚN LA NORMA ASTM C-117	
Proyecto	Finos < 0.075 mm
Proyecto 1	19.67%
Proyecto 2	9.70%
Proyecto 3	18.53%
Proyecto 4	8.09%
Proyecto 5	0.02%
Proyecto 6	0.03%

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Mortero

Resultados de la resistencia a la compresión promedio a los 28 días del mortero fabricado en sitio y el preparado en los laboratorios del TEC y de la empresa PEDREGAL.

CUADRO 23. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DEL MORTERO DE PEGA Y REPELLO, FABRICADO EN LOS PROYECTOS VISITADOS DE MANERA TRADICIONAL			
Cubos mortero	Dosificación	Mortero Pega	Mortero Repello
		Resistencia (kg/cm ²)	
Proyecto 1	1:3	314.44	328.23
Proyecto 2	1:3	247.63	244.19
Proyecto 3	1:5	177.03	193.56
Proyecto 4	1:3	275.03	269.13
Proyecto 5	1:3	321.78	340.47
Proyecto 6	1:3	291.37	309.62
Promedio		271.21	280.87
σ		53.43	56.09
C.V		19.70	19.97

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 24. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DEL MORTERO DE PEGA INDUSTRIALIZADO TIPO PEGABLOCK, ELABORADO EN EL CIVCO Y EN LA EMPRESA PEDREGAL

Cubos mortero	Lab. CIVCO	Lab. PEDREGAL
	Resistencia (kg/cm ²)	
Promedio	76.70	174.99
σ	0.12	7.11
C.V	0.16	4.07

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 25. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DEL MORTERO DE PEGA INDUSTRIALIZADO TIPO MULTIUSO, ELABORADO EN EL CIVCO Y EN LA EMPRESA PEDREGAL

Cubos mortero	Lab. CIVCO	Lab. PEDREGAL
	Resistencia (kg/cm ²)	
Promedio	106.20	137.66
σ	4.74	30.46
C.V	4.46	22.13

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 26. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DEL MORTERO DE REPELLO INDUSTRIALIZADO, ELABORADO EN EL CIVCO Y EN LA EMPRESA PEDREGAL

Cubos mortero	Lab. CIVCO	Lab. PEDREGAL
	Resistencia (kg/cm ²)	
Promedio	94.14	68.55
σ	2.66	0.90
C.V	2.82	1.31

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Tiempo de Fragua

Resultados de los tiempos de fraguado para los morteros Tradicional y Multiuso a partir del esfuerzo de penetración.

CUADRO 27. TIEMPO DE FRAGUA INICIAL Y FINAL DEL MOTERO TRADICIONAL E INDUSTRIALIZADO MULTIUSO CON UN FLUJO DE 43% Y 40% RESPECTIVAMENTE

Mortero	Velocidad de endurecimiento (tiempo minutos)	
	Inicial (35 kg/cm ²)	Final (280 kg/cm ²)
Tradicional	180	450
Multiuso	180	540

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Prismas de Mampostería

Resultados de la prueba granulométrica del agregado con el cual se fabricó mortero de tipo tradicional para la elaboración de prismas

CUADRO 28. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, MORTERO TRADICIONAL PARA PRISMAS		
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando
3/8"	9.5	100
# 4	4.75	99.31
# 8	2.36	71.86
# 16	1.18	42.86
# 30	0.6	25.72
# 50	0.3	13.60
# 100	0.15	4.63
# 200	0.075	0.0
Módulo de finura (M.F)		3.42

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Características del bloque utilizado para el cálculo del área neta de acuerdo con la norma INTE 06-0213-07, con el cual se fabricaron los prismas de mampostería.

CUADRO 29. DETERMINACIÓN AREA NETA DE LO BLOQUES DE CONCRETO UTILIZADOS PARA ELABORAR LOS PRISMAS DE MAMPOSTERÍA	
Wsum	5910 g
Wsss	11044 g
Volumen	5134 g
Altura	19 cm
Área Neta	270, 21 cm ²

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Resultados de resistencias a la compresión promedio a los 28 días de los bloques utilizados para fabricar los prismas de mampostería, según la norma INTE 06-02-13-07

CUADRO 30. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE CONCRETO DE 12X20X40 cm FABRICADOS EN LA EMPRESA PEDREGAL	
Bloque	Resistencia (kg/cm ²)
Promedio	148.89
σ	14.52
C.V	9.75

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Resultados de resistencias a la compresión promedio a los 28 días de los prismas fabricados para cada tipo de mortero, según la norma INTE 06-02-18-07

CUADRO 31. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DE LOS PRISMAS DE MAMPOSTERÍA ELABORADOS CON MORTERO TRADICIONAL	
Prisma	Resistencia (kg/cm ²)
Promedio	135.43
σ	15.67
C.V	11.57

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 32. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DE LOS PRISMAS DE MAMPOSTERÍA ELABORADOS CON MORTERO INDUSTRIALIZADO TIPO PEGABLOCK	
Prisma	Resistencia (kg/cm ²)
Promedio	100.49
σ	30.56
C.V	30.41

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 33. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS DE LOS PRISMAS DE MAMPOSTERÍA ELABORADOS CON MORTERO INDUSTRIALIZADO TIPO MUTIUSO	
Prisma	Resistencia (kg/cm ²)
Promedio	119.27
σ	38.89
C.V	32.61

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE LOS MORTEROS FABRICADOS EN SITIO E INDUSTRIALIZADOS, PARA LA EMPRESA PEDREGAL

Flujo vs Consistencia

CUADRO 34. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL MORTERO DE PEGA CUMPLIENDO CON EL FLUJO DE LA NORMA ASTM 270 Y UTILIZANDO LA CONSISTENCIA COMÚN DEL SITIO				
Dosificación	Flujo 110±5%	Resistencia a la compresión, f' mortero (kg/cm ²)		
		Edad (días)		
		3	7	Proy. 28
1:3	111.41	93.68	134.32	191.88
	46.31	141.90	194.25	277.49
1:2	110.30	143.96	221.11	315.87
	49.26	219.73	327.19	467.41

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Análisis de Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de las normas y especificaciones técnicas vigentes para cada tipo de ensayo realizado a los agregados y morteros, tanto los extraídos de los proyectos en construcción como los utilizados en el laboratorio para la fabricación de los prismas de mampostería.

De cada proyecto visitado se trasladó aproximadamente 20 kg de agregado fino para realizar los ensayos de laboratorio necesarios y así caracterizar el material.

Agregado fino

Inicialmente se redujo el material de acuerdo con la norma ASTM C-702, de esta manera cada ensayo se realizó con una muestra representativa del apilamiento extraído del sitio.

Análisis Granulométrico

La prueba para determinar la granulometría de los agregados con los cuales se fabricó el mortero, se realizó siguiendo las especificaciones

de la norma ASTM C-136, utilizando mallas como las que se presentan en la Imagen 24.



Imagen 24.

Mallas

Ensayo Granulometría de agregado fino

En los cuadros 35, 36, 37, 38, 39 y 40 se presenta en resumen el resultado de la granulometría y el del valor del módulo de finura para el agregado de cada proyecto

Es importante mencionar que la granulometría es el mecanismo más directo y común para caracterizar un suelo conociendo el tamaño de las partículas por las cuales está compuesto, sin embargo en lo que corresponde a suelos finos el comportamiento depende más de las formas de las partículas y su composición mineralógica, por lo que se calcula a partir de la curva granulométrica el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura para conocer tanto el tamaño de los granos como la buena o mala graduación de estos.

A continuación se analiza la caracterización de la arena para cada proyecto en particular:

CUADRO 35. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 1				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	94.92		100
# 8	2.36	76.18	95	100
# 16	1.18	58.47	70	100
# 30	0.6	42.52	40	75
# 50	0.3	30.72	20	40
# 100	0.15	24.49	10	25
# 200	0.075	19.67	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.73		

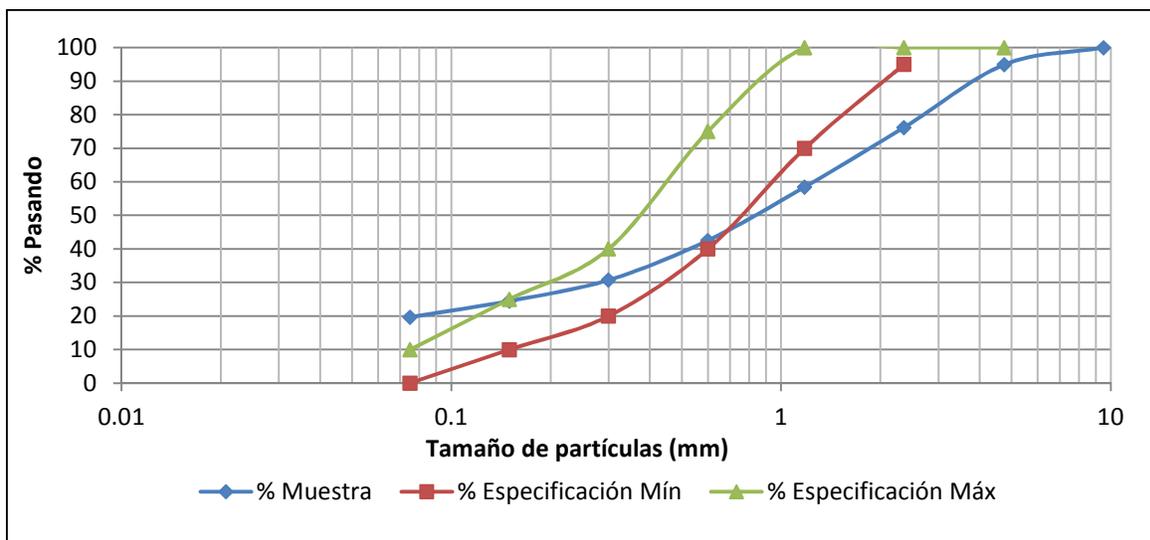


Figura 5. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 1.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Los valores del cuadro 35 se encuentran representados gráficamente en la figura 5, donde se puede observar la curva granulométrica de la arena utilizada en el proyecto, compuesta por las curvas que proporcionan valores máximos y mínimos del porcentaje total pasando por cada tamiz del agregado, según la norma ASTM C-144; la curva se compone del tamaño de las partículas o abertura de cada malla en el eje de las abscisas en una escala logarítmica y los porcentajes de material pasando cada malla en una escala natural en el eje de las ordenadas.

Es evidente que la curva que representa la arena utilizada no cumple con las

especificaciones ya que se encuentra fuera del rango establecido; con los valores de C_u (Coeficiente de Uniformidad) y C_c (Coeficiente de Curvatura) es posible determinar la graduación del material, sin embargo como se puede observar por la tendencia de la curva esta es muy extendida y el menor porcentaje pasando es de 19.67% por la malla # 200 esto indica que la arena presenta mala graduación y gran contaminación de finos, lo que puede afectar su resistencia además de aumentar su porcentaje de absorción.

CUADRO 36. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 2				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	93.24		100
# 8	2.36	80.54	95	100
# 16	1.18	64.51	70	100
# 30	0.6	47.87	40	75
# 50	0.3	30.28	20	40
# 100	0.15	16.42	10	25
# 200	0.075	9.75	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.67		

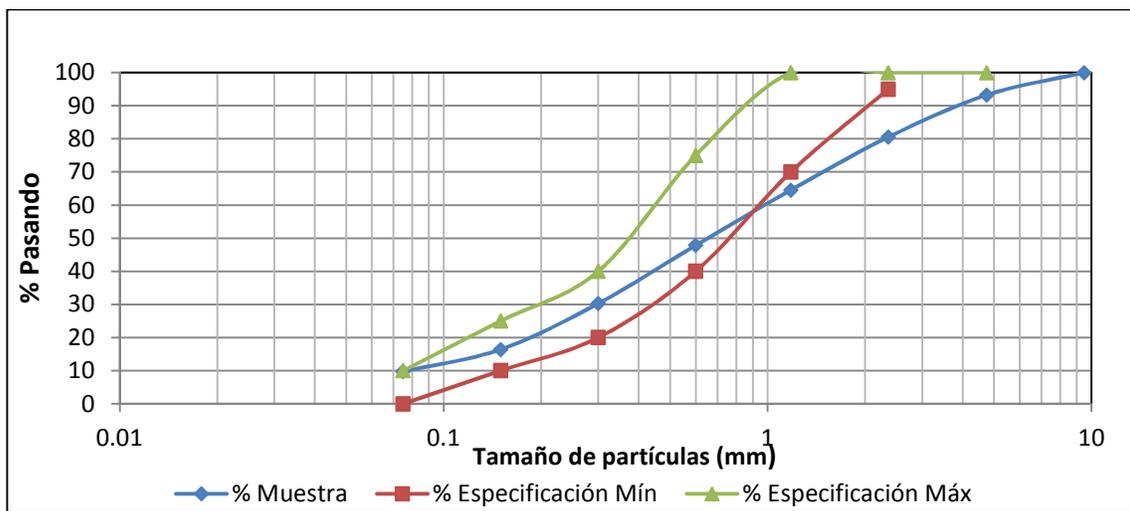


Figura 6. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 2.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

En el caso del Proyecto 2 como se puede observar en la figura 6, la mayor parte de la curva se encuentra dentro de los límites establecidos por la Norma ASTM C-144, y su módulo de finura la clasifica como arena media. Para determinar la graduación del material se procedió a calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura los cuales

dan como resultado respectivamente 13.3 y 1.2 lo que indica que se trata de una arena bien graduada que es lo ideal para realizar cualquier tipo de mezcla con agregado fino.

CUADRO 37. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 3

Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	98.61		
# 4	4.75	91.89		100
# 8	2.36	77.27	95	100
# 16	1.18	62.24	70	100
# 30	0.6	47.58	40	75
# 50	0.3	34.68	20	40
# 100	0.15	25.40	10	25
# 200	0.075	18.69	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.62		

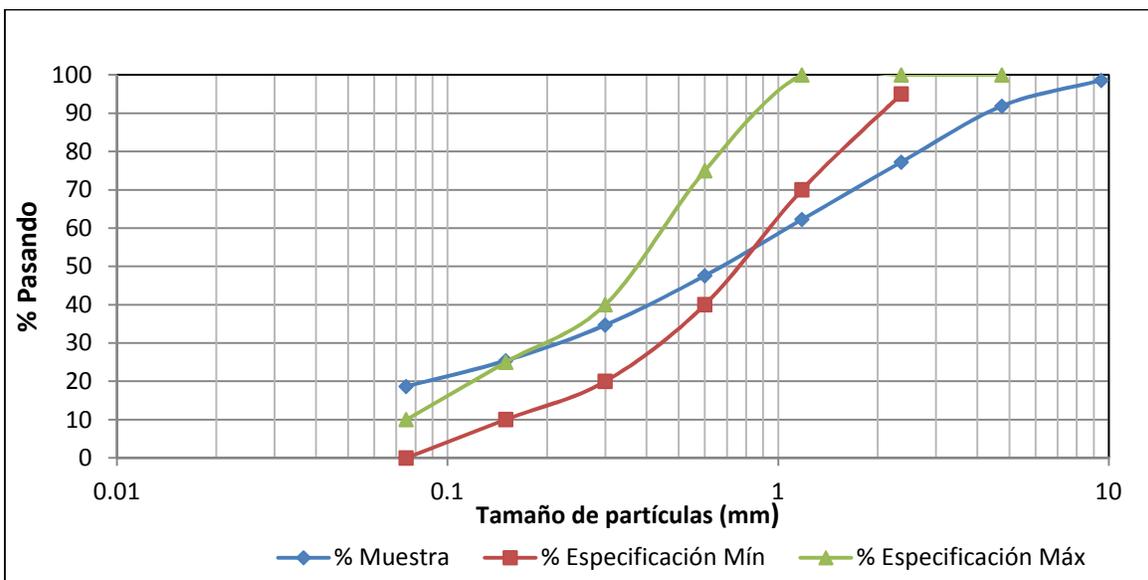


Figura 7. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 3.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

La curva granulométrica del Proyecto 3 en la figura 7, evidencia que el material utilizado en sitio cumple en una mínima parte con las especificaciones establecidas, al igual que en el caso del Proyecto 1 el agregado presenta contaminación de finos al sobrepasar por mucho

el 10% que es el valor teórico máximo permitido para el material que pase por el tamiz de 0.075 mm. El módulo de finura indica que se trata de una arena clasificada como tipo media, sin embargo presenta graduación discontinua.

CUADRO 38. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 4				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	99.76		
# 4	4.75	96.25		100
# 8	2.36	76.62	95	100
# 16	1.18	59.62	70	100
# 30	0.6	43.24	40	75
# 50	0.3	27.02	20	40
# 100	0.15	14.22	10	25
# 200	0.075	7.51	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.83		

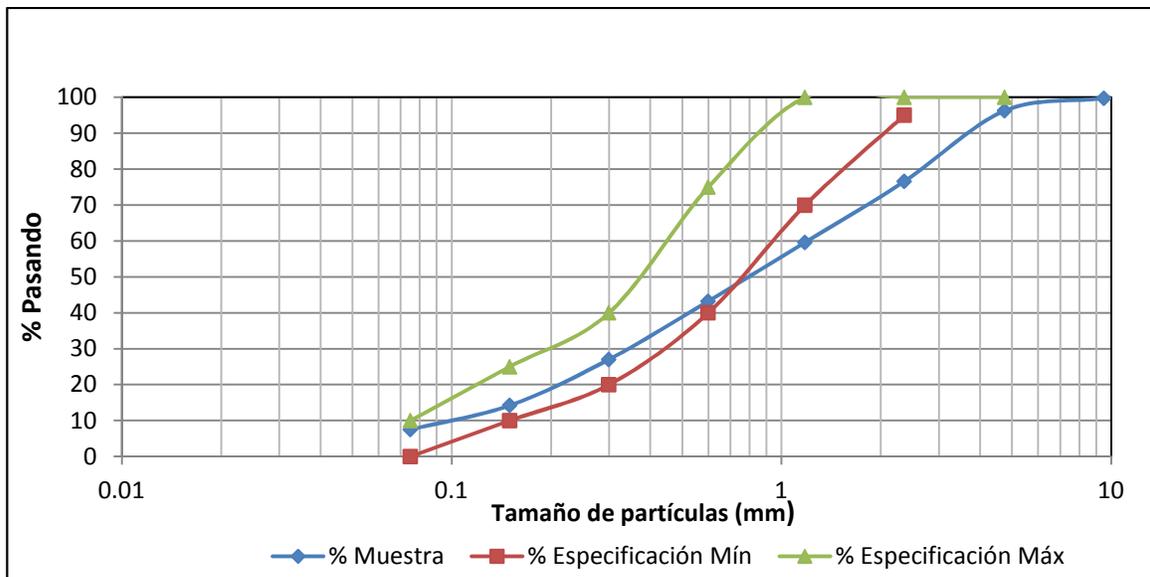


Figura 8. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 4.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

De igual manera el Módulo de Finura, según el cuadro 38, se clasifica la arena del proyecto 4 como tipo media. Calculando los coeficientes para determinar la graduación del material se obtiene que el Cu (Coeficiente de Uniformidad) clasifica la arena como bien graduada cumpliendo con la especificación para tal caso, sin embargo

no se cumple con el rango establecido para el Cc (Coeficiente de Curvatura) y esto se evidencia en la curva de la figura 8 donde se observa que la curva del material sigue una tendencia casi lineal por lo que el tamaño de las partículas no es uniforme.

CUADRO 39. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 5

Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	97.73		100
# 8	2.36	87.29	95	100
# 16	1.18	69.24	70	100
# 30	0.6	52.19	40	75
# 50	0.3	29.97	20	40
# 100	0.15	8.73	10	25
# 200	0.075	0.0	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.55		

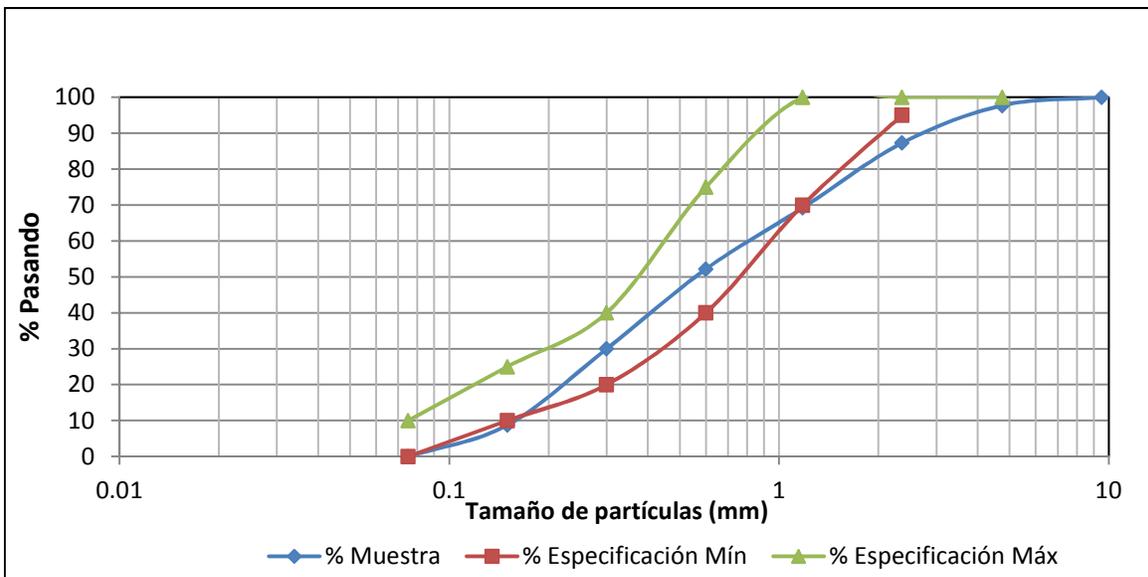


Figura 9. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 5.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

En el Proyecto 5 se utiliza un material que tanto la curva granulométrica de la figura 9, como los coeficientes de uniformidad y curvatura calculados, muestran que se trata de una arena de mala graduación, C_u y C_c se encuentran por debajo de los rangos establecidos y la tendencia

de la curva es inversa a la de las especificaciones de la Norma ASTM C-144, además el Módulo de Finura la clasifica como arena tipo media fina lo que en estas condiciones puede perjudicar en gran parte la trabajabilidad de la mezcla.

CUADRO 40. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 6				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	96.77		100
# 8	2.36	84.80	95	100
# 16	1.18	69.13	70	100
# 30	0.6	51.41	40	75
# 50	0.3	30.28	20	40
# 100	0.15	9.77	10	25
# 200	0.075	0.00	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.58		

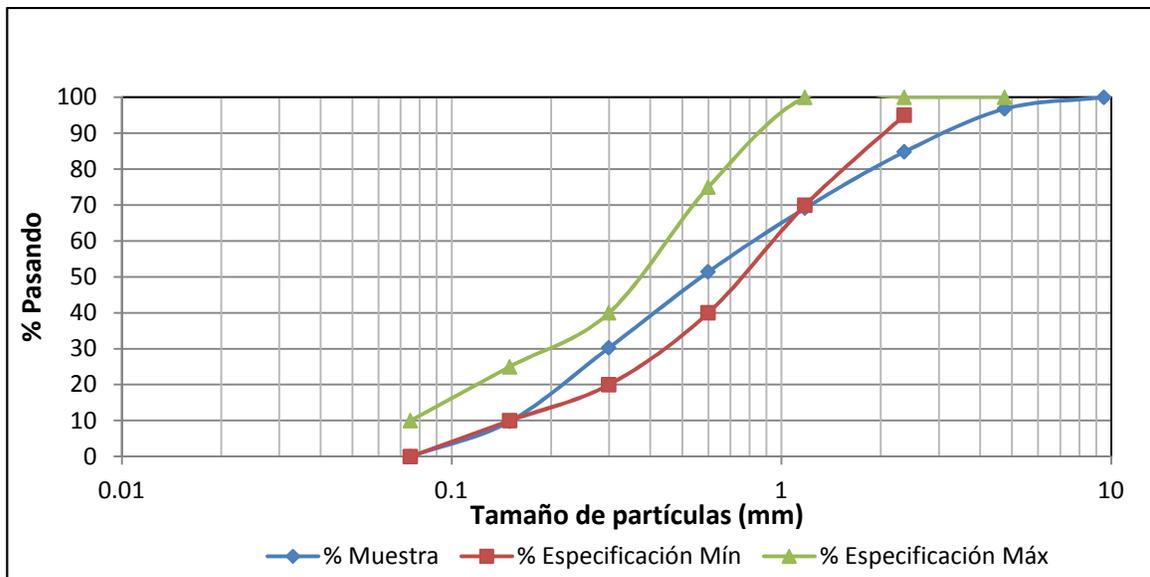


Figura 10. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 6.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

De manera similar al caso anterior ocurre en el Proyecto 6, donde como se puede observar en la curva de la figura 10 se invierte la tendencia y los coeficientes C_u y C_c indican que la arena carece

de buena graduación. Los porcentajes pasando cada malla en su mayoría, no cumplen con los rangos establecidos por la norma ASTM C-144.

CUADRO 35. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 1				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	94.92		100
# 8	2.36	76.18	95	100
# 16	1.18	58.47	70	100
# 30	0.6	42.52	40	75
# 50	0.3	30.72	20	40
# 100	0.15	24.49	10	25
# 200	0.075	19.67	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.73		

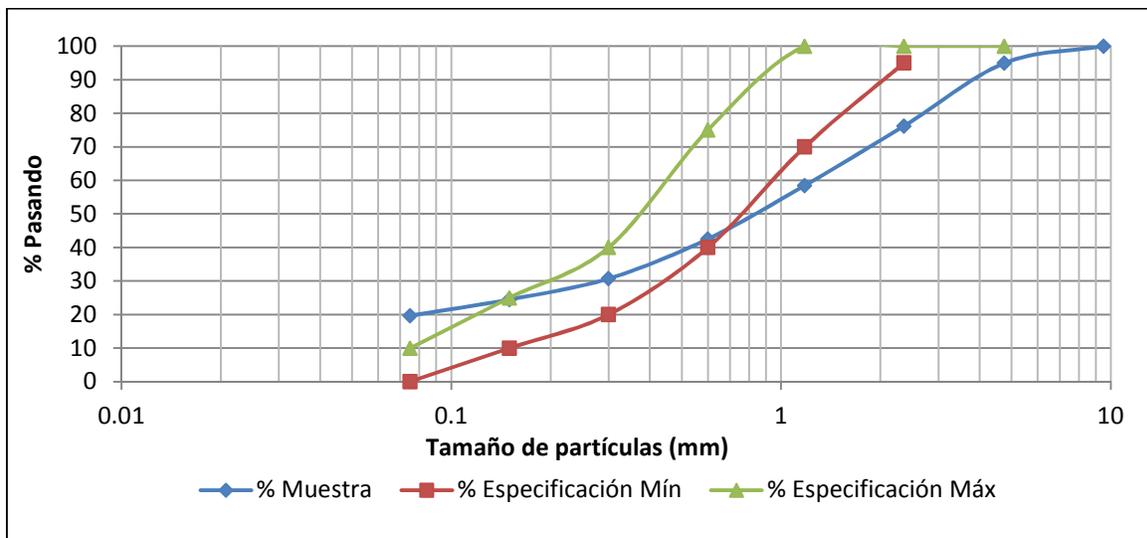


Figura 5. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 1.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Los valores del cuadro 35 se encuentran representados gráficamente en la figura 5, donde se puede observar la curva granulométrica de la arena utilizada en el proyecto, compuesta por las curvas que proporcionan valores máximos y mínimos del porcentaje total pasando por cada tamiz del agregado, según la norma ASTM C-144; la curva se compone del tamaño de las partículas o abertura de cada malla en el eje de las abscisas en una escala logarítmica y los porcentajes de material pasando cada malla en una escala natural en el eje de las ordenadas.

Es evidente que la curva que representa la arena utilizada no cumple con las

especificaciones ya que se encuentra fuera del rango establecido; con los valores de C_u (Coeficiente de Uniformidad) y C_c (Coeficiente de Curvatura) es posible determinar la graduación del material, sin embargo como se puede observar por la tendencia de la curva esta es muy extendida y el menor porcentaje pasando es de 19.67% por la malla # 200 esto indica que la arena presenta mala graduación y gran contaminación de finos, lo que puede afectar su resistencia además de aumentar su porcentaje de absorción.

CUADRO 36. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 2				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	93.24		100
# 8	2.36	80.54	95	100
# 16	1.18	64.51	70	100
# 30	0.6	47.87	40	75
# 50	0.3	30.28	20	40
# 100	0.15	16.42	10	25
# 200	0.075	9.75	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.67		

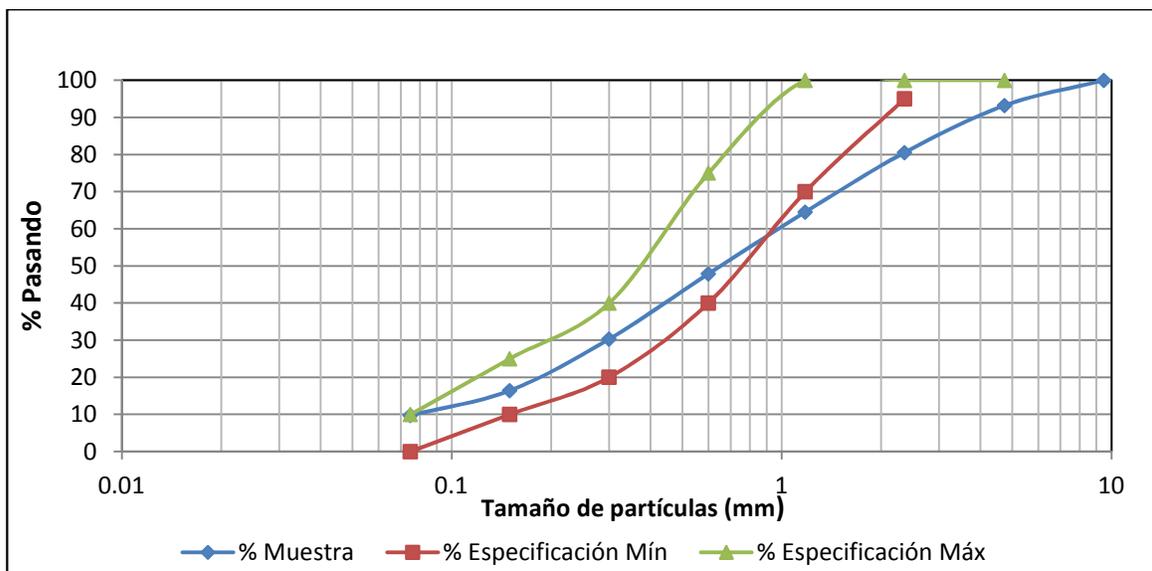


Figura 6. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 2.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

En el caso del Proyecto 2 como se puede observar en la figura 6, la mayor parte de la curva se encuentra dentro de los límites establecidos por la Norma ASTM C-144, y su módulo de finura la clasifica como arena media. Para determinar la graduación del material se procedió a calcular los

coeficientes de uniformidad y curvatura los cuales dan como resultado respectivamente 13.3 y 1.2 lo que indica que se trata de una arena bien graduada que es lo ideal para realizar cualquier tipo de mezcla con agregado fino.

CUADRO 37. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 3

Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	98.61		
# 4	4.75	91.89		100
# 8	2.36	77.27	95	100
# 16	1.18	62.24	70	100
# 30	0.6	47.58	40	75
# 50	0.3	34.68	20	40
# 100	0.15	25.40	10	25
# 200	0.075	18.69	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.62		

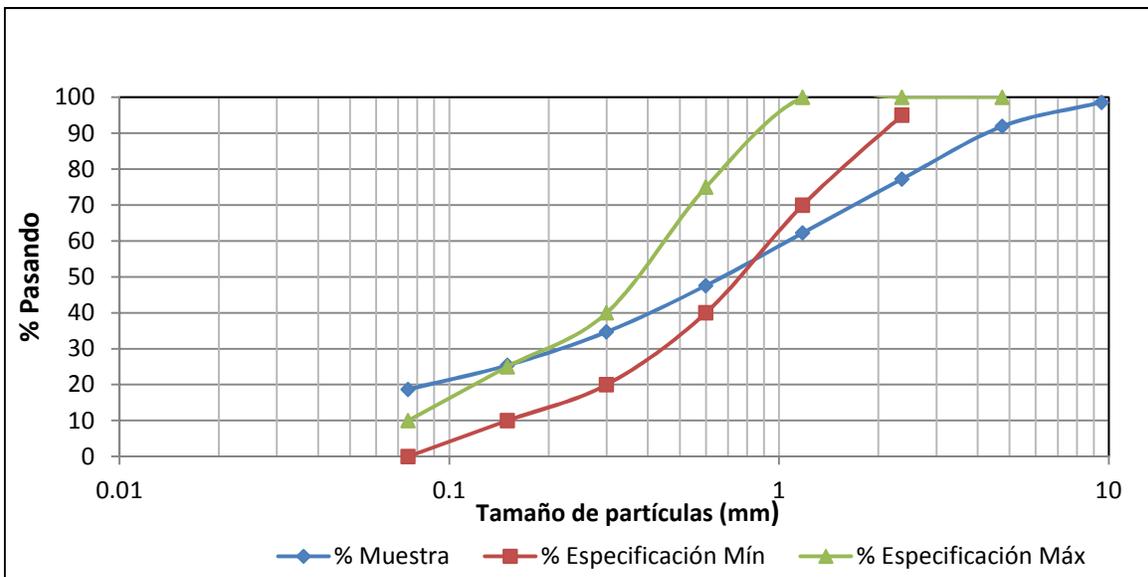


Figura 7. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 3.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

La curva granulométrica del Proyecto 3 en la figura 7, evidencia que el material utilizado en sitio cumple en una mínima parte con las especificaciones establecidas, al igual que en el caso del Proyecto 1 el agregado presenta contaminación de finos al sobrepasar por mucho

el 10% que es el valor teórico máximo permitido para el material que pase por el tamiz de 0.075 mm. El módulo de finura indica que se trata de una arena clasificada como tipo media, sin embargo presenta graduación discontinua.

CUADRO 38. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 4				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	99.76		
# 4	4.75	96.25		100
# 8	2.36	76.62	95	100
# 16	1.18	59.62	70	100
# 30	0.6	43.24	40	75
# 50	0.3	27.02	20	40
# 100	0.15	14.22	10	25
# 200	0.075	7.51	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.83		

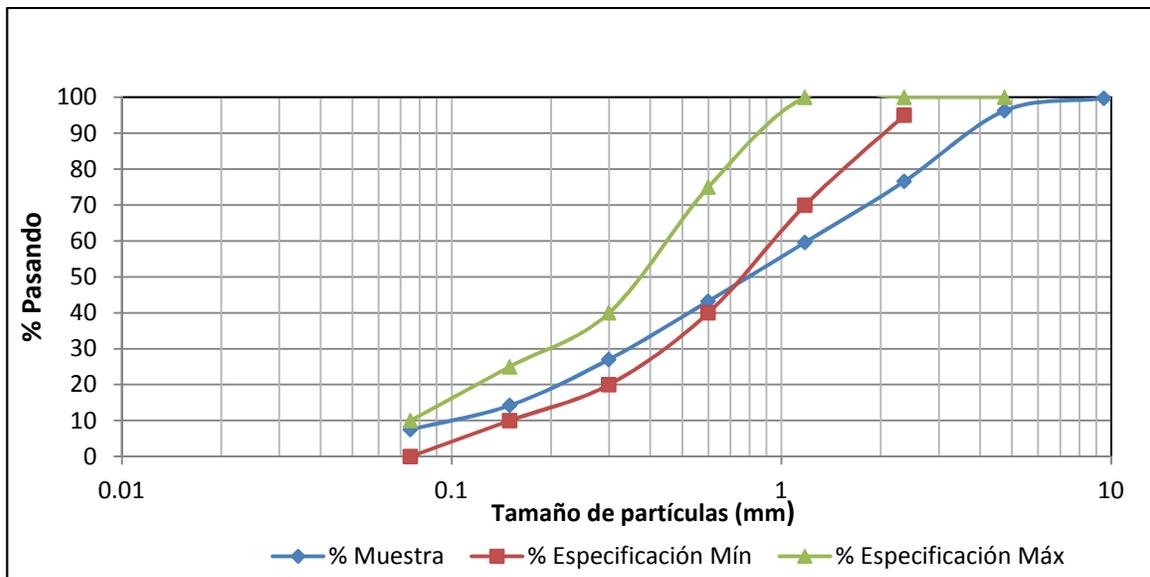


Figura 8. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 4.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

De igual manera el Módulo de Finura, según el cuadro 38, se clasifica la arena del proyecto 4 como tipo media. Calculando los coeficientes para determinar la graduación del material se obtiene que el Cu (Coeficiente de Uniformidad) clasifica la arena como bien graduada cumpliendo con la especificación para tal caso, sin embargo

no se cumple con el rango establecido para el Cc (Coeficiente de Curvatura) y esto se evidencia en la curva de la figura 8 donde se observa que la curva del material sigue una tendencia casi lineal por lo que el tamaño de las partículas no es uniforme.

CUADRO 39. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 5

Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	97.73		100
# 8	2.36	87.29	95	100
# 16	1.18	69.24	70	100
# 30	0.6	52.19	40	75
# 50	0.3	29.97	20	40
# 100	0.15	8.73	10	25
# 200	0.075	0.0	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.55		

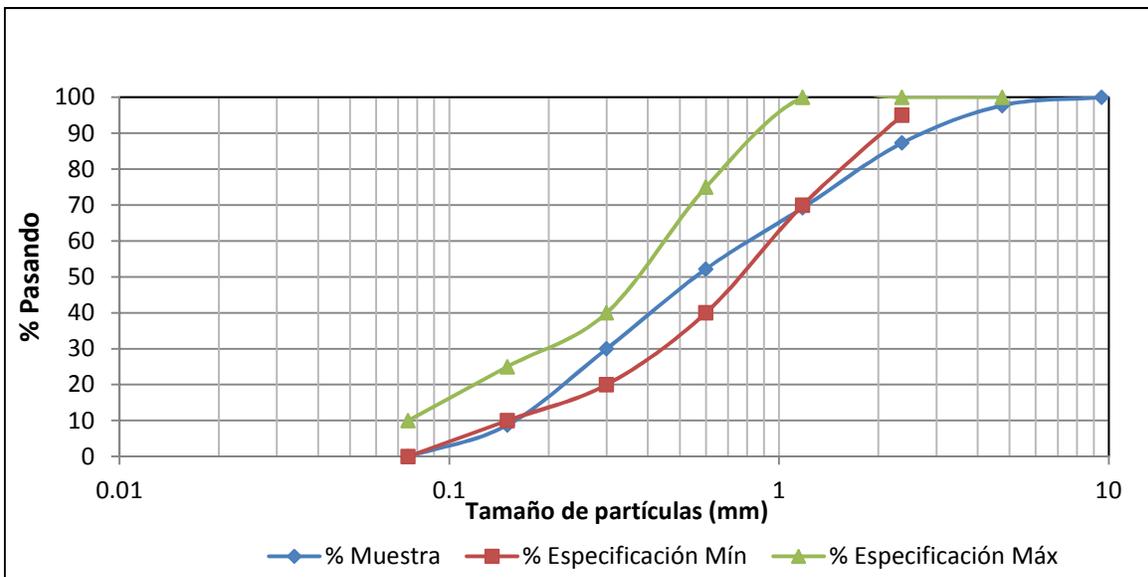


Figura 9. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 5.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

En el Proyecto 5 se utiliza un material que tanto la curva granulométrica de la figura 9, como los coeficientes de uniformidad y curvatura calculados, muestran que se trata de una arena de mala graduación, C_u y C_c se encuentran por debajo de los rangos establecidos y la tendencia

de la curva es inversa a la de las especificaciones de la Norma ASTM C-144, además el Módulo de Finura la clasifica como arena tipo media fina lo que en estas condiciones puede perjudicar en gran parte la trabajabilidad de la mezcla.

CUADRO 40. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 6				
Malla Nominal	Malla (mm)	% Pasando	% Especificación min.	% Especificación max
3/8"	9.5	100		
# 4	4.75	96.77		100
# 8	2.36	84.80	95	100
# 16	1.18	69.13	70	100
# 30	0.6	51.41	40	75
# 50	0.3	30.28	20	40
# 100	0.15	9.77	10	25
# 200	0.075	0.00	0	10
Módulo de finura (M.F)		2.58		

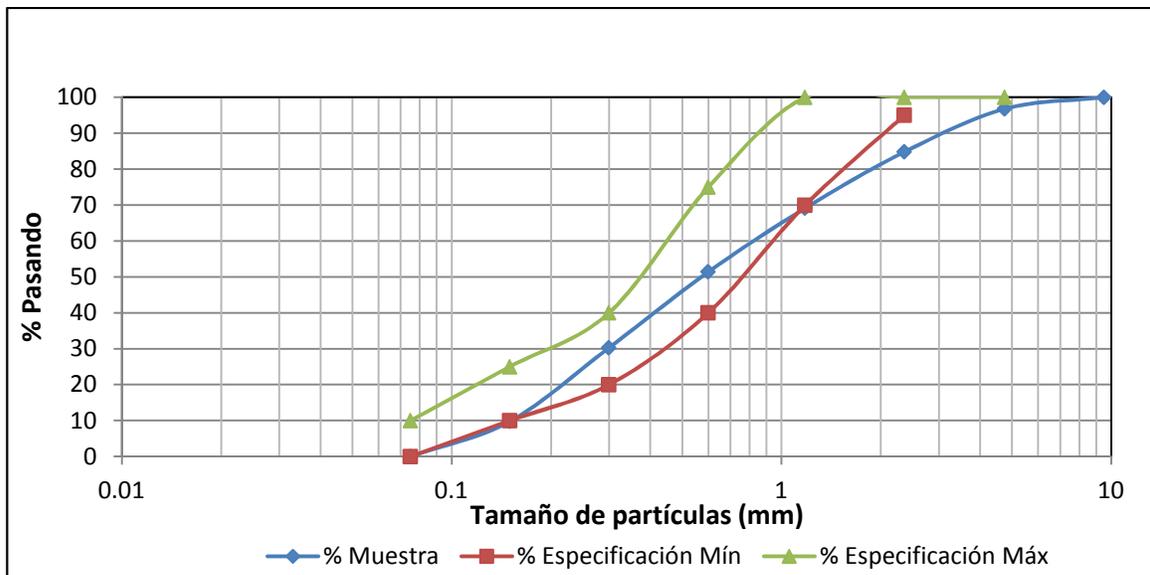


Figura 10. Curva granulométrica de agregado fino, Proyecto 6.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

De manera similar al caso anterior ocurre en el Proyecto 6, donde como se puede observar en la curva de la figura 10 se invierte la tendencia y los coeficientes C_u y C_c indican que la arena carece de buena graduación. Los porcentajes pasando cada malla en su mayoría, no cumplen con los rangos establecidos por la norma ASTM C-144.

Gravedad específica y porcentaje de absorción.

Además del análisis granulométrico realizado a cada arena se efectuó el ensayo de gravedad específica según la norma ASTM C-128 (ver imagen 25 y 26) la cual define la relación entre el peso y el volumen del material.



Imagen 25.

Realización de ensayo de Gravedad Específica

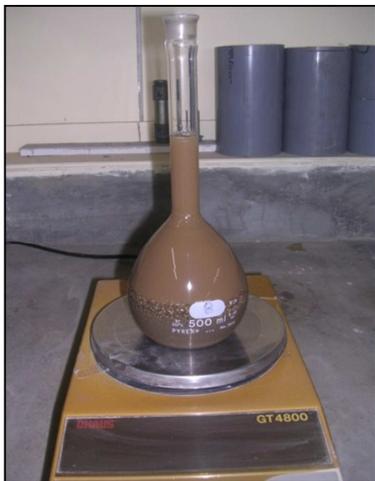


Imagen 26.

Peso Picnómetro + agua + muestra
Ensayo Gravedad Específica

Sin embargo, en el caso de los agregados para mortero hay necesidad de definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna; en tal caso la densidad que interesa es la densidad aparente debido a que lógicamente con ella es que se determina la cantidad (en peso) de agregado requerida para un volumen unitario de

mezcla de mortero, porque los poros interiores de las partículas de agregados van a ocupar un volumen dentro de la masa de mortero y porque el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hace parte del agua de mezclado. Generalmente estos valores se encuentran entre 2.3 y 2.8 g/cm³.

Otra característica de los agregados que influye significativamente en la fabricación de cualquier mezcla donde se utilice el cemento como conglomerante, es la porosidad y en la práctica una forma de cuantificar esta influencia es por medio de su capacidad de absorción. Como se puede observar en el Cuadro 20 de la sección de resultados a mayor densidad aparente se tiene el mayor porcentaje de absorción que es el caso del Proyecto 3 con una absorción de más del 18% y conforme aumenta la porosidad del agregado, menor será la capacidad de absorción de este y su gravedad específica, además disminuye su resistencia, aumenta la permeabilidad y puede afectar su estabilidad química.

Peso Unitario

Esta propiedad del agregado depende de la granulometría, la forma y la textura del agregado y relaciona el peso de la muestra de arena compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. En consecuencia, el peso unitario de un agregado indica de manera general la calidad de éste y su aptitud para ser utilizado en la fabricación de mortero.

En la siguiente imagen se muestra la realización de la prueba para determinar el peso unitario de los agregados en el laboratorio y el equipo utilizado.



Imagen 27.
Ensayo Peso Unitario



Imagen 28.
Equipo
Ensayo Peso Unitario

El valor de peso unitario oscila entre 1100 y 1600 kg/m^3 , por lo que se puede notar en el cuadro 20 de la sección de resultados todos los agregados de los proyectos visitados se encuentran dentro del rango.

En la norma para fabricación del mortero ASTM C-270 y en su adaptación en la norma INTECO no especifican los valores ideales de las propiedades de los agregados determinadas para caracterizar el material, sin embargo, es muy importante conocerlas para generar una mezcla de calidad y trabajable en el campo.

En este caso el valor de peso unitario es de vital importancia cuando se van a manejar los agregados, ya que por ejemplo el transporte se hace por volumen y en estado suelto, de tal manera que el volumen de agregado a transportar y consumir será mayor que el

volumen de agregados dentro del mortero a producir, colocar y compactar; es decir, se debe tomar en cuenta el fenómeno de expansión y abultamiento de la arena para no subestimar las cantidades reales del material.

Contenido de materia orgánica

Para determinar si en el agregado había presencia de material orgánico se realizó el ensayo de colorimetría según la norma ASTM C-40, en la cual se utilizó solución de Hidróxido de Sodio y la Tabla de Gardner para identificar el color.



Imagen 29.
Tabla de Gardner
Ensayo Colorimetría



Imagen 30.
Ensayo Colorimetría Proyecto 5.



Imagen 31.
Ensayo Colorimetría Proyecto 3.

Tal como se puede observar en el cuadro 21, la mayoría de los proyectos se encuentran dentro del rango permitido ya que se considera que si en el ensayo se obtiene un número de referencia menor a 3 en la tabla de Gardner la arena no cuenta con una cantidad importante de contaminación, esto ocurrió en la mayoría de los proyectos visitados a excepción del Proyecto 5 que se encuentra por encima de este rango.

Sin embargo, este es un ensayo relativo, ya que si el valor del número de referencia orgánica se encuentra por encima de 3, no necesariamente quiere decir que la coloración se deba a materia orgánica por lo que se recomienda hacer otro tipo de pruebas al agregado que indique la condición en la que se encuentra.

Es importante conocer y controlar el contenido de sustancias orgánicas en la arena ya que en cierta cantidad, puede dificultar el fraguado del cemento perjudicando a su vez la resistencia final y la adherencia con las unidades de mampostería.

Contenido de material con diámetro inferior a 0.075 mm (malla # 200)

La norma ASTM C-117 no especifica porcentajes máximos de la cantidad de finos que puede contener una cierta cantidad de arena, sin embargo, si se aclara que estos porcentajes no deben ser muy altos ya que las partículas finas como arcillas y limos impiden la buena adherencia entre la pasta de cemento y el agregado, perjudicando su resistencia.

La mayoría de los proyectos visitados utilizaron agregados con gran cantidad de finos (ver cuadro 22), lo que genera el aumento de la relación agua-cemento (A/C), y si se quiere mantener la resistencia el aumento de la proporción de cemento que a su vez aumenta el costo.

A causa de lo anterior es necesario controlar el contenido de estas partículas de menor tamaño.

Mortero

Con el fin de comparar el mortero que se fabrica en sitio con el mortero industrializado en la empresa PEDREGAL, se llenó en cada proyecto 2 moldes con mortero de pega y dos moldes con mortero para repello según la norma ASTM C-109. Los moldes se dejaron en el sitio durante 24 horas en un lugar adecuado para evitar vibraciones, y así alcanzar la fragua inicial y luego de este tiempo ser trasladados al laboratorio para el curado respectivo y finalmente llevarlos a la falla.



Imagen 32.
Elaboración de la mezcla de mortero en sitio



Imagen 33.
Cubos de mortero en sitio

Resistencia a la compresión



Imagen 34.
Falla a compresión del mortero

Una de las pruebas más importantes para determinar si una mezcla de mortero es adecuada es el ensayo de resistencia a la compresión. El CSCR 2002 no especifica la resistencia mínima del mortero de mampostería, sin embargo hace referencia a la norma ASTM C-270 donde se especifica claramente la resistencia según el uso y las condiciones en las cuales se va a colocar, dichas resistencias se presentan en el cuadro 2 de la sección de marco teórico.

Con el fin de determinar dicha resistencia en la mezcla utilizada en sitio y en el mortero industrializado se moldearon cubos de 50,8 mm

de lado de acuerdo con la norma ASTM C-109 y luego se fallaron a los 7 días y a los 28 días para observar el incremento de la resistencia con el paso del tiempo y la hidratación del cemento.

En el caso de los morteros obtenidos de los proyectos en mampostería visitados, se puede observar en el cuadro 23 que todos sobrepasaron la resistencia mínima de 175 kg/cm^2 que especifica la norma ASTM C-270 a la cual hace referencia el CSCR-02 a los 28 días, tanto para el mortero de pega como el mortero de repello. Se observó que en la práctica común se utiliza la dosificación 1:3 (una parte de cemento por tres partes de arena) para fabricar la mezcla de mortero, el agua utilizada quedaba a criterio del albañil, quien busca una mezcla que no sea fluida ni seca, sino en un punto de equilibrio donde el mortero sea trabajable sin perjudicar su resistencia; más adelante se muestran las pruebas realizadas para intentar buscar la cantidad de agua utilizada en sitio.

Con respecto a los morteros industrializados se fabricaron muestras en el CIVCO (Centro de Investigación en Vivienda y Construcción) del mortero tipo PEGABLOCK, MULTIUSO y de REPELLO GRUESO producido en la planta de la empresa PEDREGAL, para la realización de dichas muestras se utilizó la cantidad de agua indicada en el empaque la cual es en el caso del PEGABLOCK de 5,6 litros a 6,4 litros por cada saco de 40 kg y para el tipo MULTIUSO 6,75 litros por cada saco de 50 kg; además, se recopilaron resultados de pruebas anteriormente realizadas por los técnicos de la empresa para el análisis comparativo. En la sección de resultados en los cuadros 24, 25 y 26 se muestran los valores de la resistencia promedio a la compresión a los 28 días de los cubos muestreados en ambos laboratorios.

En la figura 11 y figura 12 se describe mediante un gráfico de barras, la variación en la resistencia promedio de todas las muestras de mortero analizadas en los dos laboratorios tanto para mortero de pega como de repello, y de acuerdo al tipo de mezcla utilizada.

Para el caso del mortero de pega se puede observar que el mortero elaborado de manera tradicional (con cemento, arena y agua) en el sitio es el que cuenta con la resistencia mayor, en cuanto a los morteros industrializados según las pruebas realizadas en la empresa el mortero tipo Multiuso tiene una resistencia más alta que el tipo Pegablock aunque ninguno de los

dos llega a la resistencia mínima establecida en la norma, el caso contrario ocurre con los resultados recopilados en la empresa, es decir, el mortero Pegablock se encuentra en el límite de la especificación con 174.99 kg/cm^2 y el tipo Multiuso se encuentra por debajo con 137.66 kg/cm^2 ; sin embargo, se aclaró en la planta que los diseños de mezcla han sufrido modificaciones lo que ha incrementado la resistencia principalmente del mortero tipo Multiuso, además se desconoce si el mortero que se analizó en el laboratorio del TEC coincide con la línea de producción del mortero con el cual se realizaron las pruebas en el laboratorio PEDREGAL, otro aspecto que puede influir en la diferencia de resultados obtenidos es también el hecho de que en el momento de la investigación la empresa se encontraba en una reestructuración de la planta

de morteros tanto de su ubicación como de la tecnología empleada, además se desconocen las condiciones en las cuales se realizaron los ensayos.

Al igual que en el mortero de pega, en el mortero de repello tal y como se observa en el gráfico de barras la resistencia más alta se obtuvo con el mortero tradicional y fue de 280.9 kg/cm^2 , para el mortero industrializado las muestras falladas en el CIVCO presentaron resistencias a la compresión mucho mayores que las elaboradas en el laboratorio de la empresa, sin embargo, no cumplen con el requerimiento mínimo.

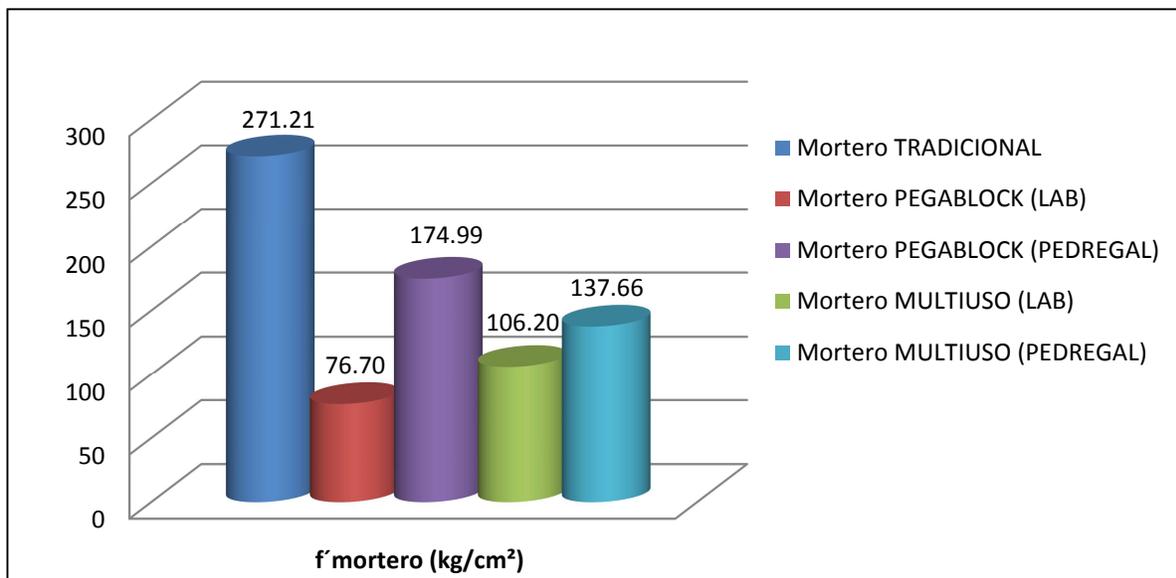


Figura 11. Resistencias a la Compresión Promedio a los 28 días de los morteros de pega analizados en los laboratorios de PEDREGAL y del CIVCO
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

El mortero de repello cumple dos funciones: la primera es aportar resistencia al muro e impermeabilizarlo para evitar el desgaste del mismo con el paso del tiempo y con las condiciones atmosféricas a las que estará sometido, especialmente el agua y la segunda función es meramente estética, es decir, es utilizado para darle un acabado agradable a la pared. Especialmente para cumplir esta última

función, el mortero debe cumplir con cierta granulometría, lo que se trata es de utilizar una arena fina para que se forme una mezcla homogénea con el cemento, y de esta manera mejorar la adherencia evitando así el desarrollo de grietas y fisuras en el muro. Para efectuar un buen repello también es necesario realizar el pringado de la pared y muy importante mantener la hidratación o curado.

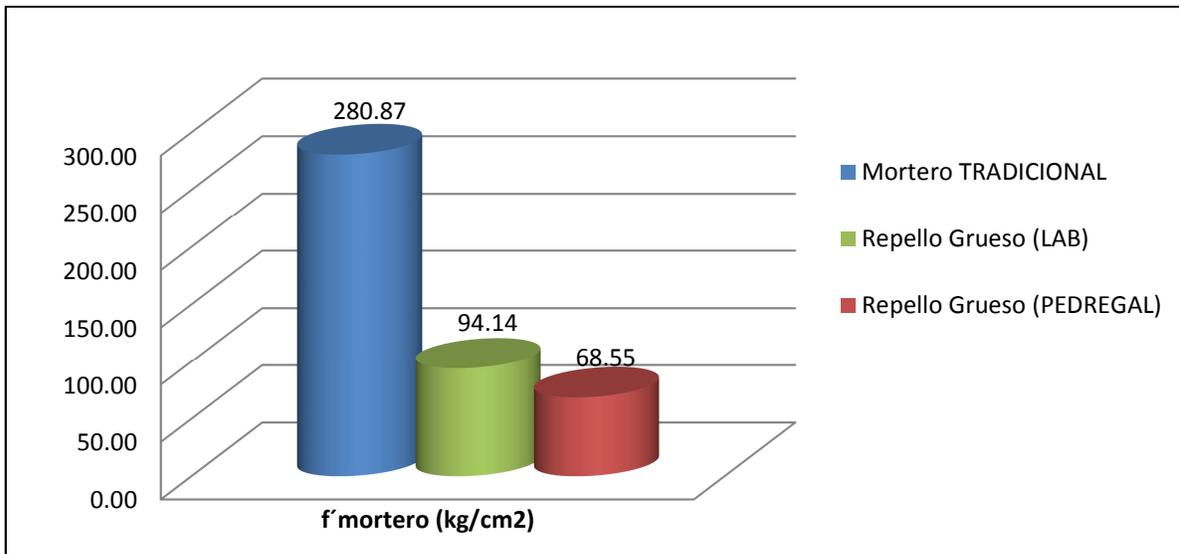


Figura 12. Resistencias a la Compresión Promedio a los 28 días de los morteros para repello analizados en los laboratorios de PEDREGAL y del CIVCO
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Como se ha mencionado anteriormente en la norma ASTM C-270 y en su adaptación nacional INTE 06-03-04-08 se especifica la resistencia mínima en los morteros según su clasificación por tipo o clase de acuerdo a su uso. Un resumen de dichas resistencias para las clases A, B y C es el siguiente:

CUADRO 41. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO DE ACUERDO A SU USO		
Mortero	Tipo	Resistencia (kg/cm ²)
Mortero	A (M)	175.4
	B (S)	126.45
	C (N)	53.03

De acuerdo con el anterior se realizó un análisis comparativo con todas las muestras de mortero obtenidas tanto en sitio como las elaboradas en los laboratorios; por medio de un gráfico de barras se determina el porcentaje de los morteros que cumplen con la clase A que solicita la norma, los que llegan a los 126 kg/cm² de la clasificación B y por último los que se encuentran dentro de la clase C.

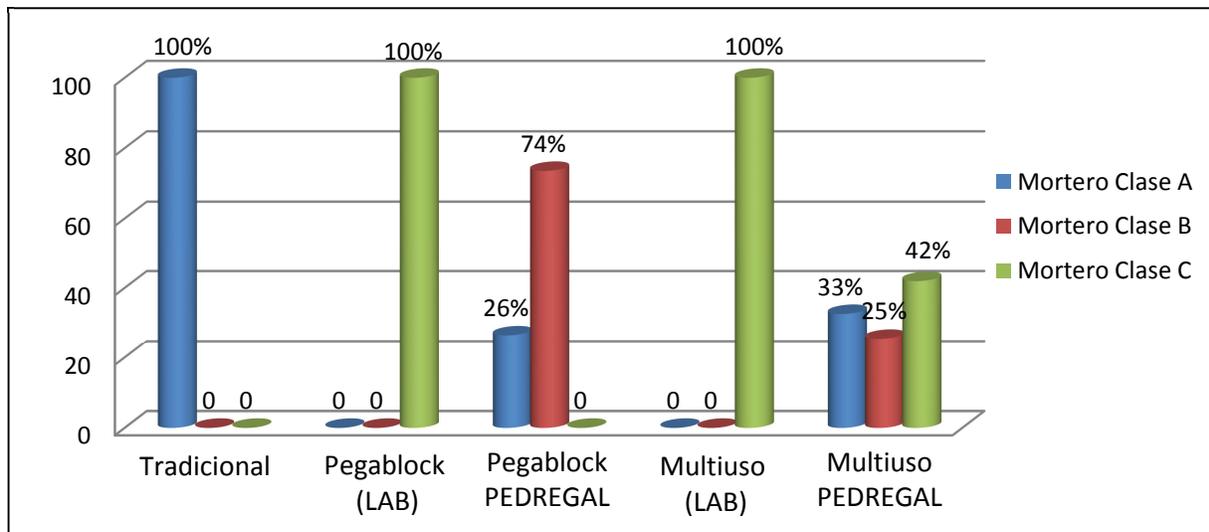


Figura 13. Clasificación de los morteros de pega analizados de acuerdo con la especificación de la norma ASTM C-270
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Primeramente en el caso del mortero de pega se puede observar en la figura 13 que las muestras obtenidas de los proyectos de mampostería visitados en los cuales se elaboró el mortero de manera tradicional, todos los cubos fallados a los 28 días sobrepasaron la resistencia mínima de 175 kg/cm^2 es decir, el 100% se clasifica como clase A, lo que indica que este mortero se puede utilizar en estructuras que deben soportar grandes pesos y están expuestas a fuerzas laterales como viento o sismo de altas magnitudes.

En el caso del mortero industrializado tipo Pegablock, se comparan los resultados de las muestras obtenidas en el laboratorio del Tecnológico con los resultados aportados por la empresa y se observa la variación entre ellas; de las muestras del laboratorio el 100% se encuentra dentro de la clasificación C ya que aunque sobrepasan los 53 kg/cm^2 no alcanzan los 126 kg/cm^2 que requiere la clase B, en cuanto a las pruebas que se realizaron en la planta se tiene que el 26% cumple para la categoría A y el 74% restante se encuentra dentro de la clase B, por lo que se puede usar en estructurales que deban soportar cargas de compresión normales. Como se describió anteriormente esta diferencia en resultados radica principalmente en que no se tiene certeza de si la producción de mortero evaluada en ambos estudios sea la misma por la modificación que se encontraba viviendo en la

planta de morteros en ese momento, además de que se desconoce las condiciones en las cuales se elaboraron los cubos de mortero y el tratamiento que se les dio hasta el momento de la falla.

En lo que respecta al mortero tipo Multiuso se tiene el mismo inconveniente en cuanto a la dispersión de los datos, sin embargo se puede observar que las muestras falladas en el laboratorio al igual que en el mortero Pegablock el 100% corresponde a mortero clase C según ASTM C-270, pero en este caso más del 40 % de las pruebas realizadas en la empresa también se clasifican dentro de esta categoría.

Es importante tomar en cuenta que por limitaciones de tiempo, de equipo y de material se decidió moldear en el laboratorio la misma cantidad de muestras que se elaboraron en cada proyecto, es decir, se fallaron 3 cubos a los 7 días y 3 cubos a los 28 días para cada tipo de mortero industrializado, por otro lado los resultados recopilados de la planta se tratan de resistencias promedio elaboradas con distinto material y en diferentes momentos.

De la misma manera se clasificaron las pruebas de mortero para repello tal y como se observa en la figura 14. El 100% de las muestras tomadas en sitio pertenecen a la clase A, y todas las pruebas realizadas al mortero de repello grueso industrializado en la empresa PEDREGAL se encuentran dentro de la clase C, tanto las

fallas realizadas en el CIVCO como en el laboratorio de la empresa.

El mortero de clase C se trata de un mortero de mediana resistencia, se recomienda usar este tipo para repello ya que no es necesario que el repello aporte tanta resistencia a la pared,

sino que su función depende en gran parte de la preparación adecuada de la mezcla, de la granulometría del agregado y de la aplicación del mortero en el muro.

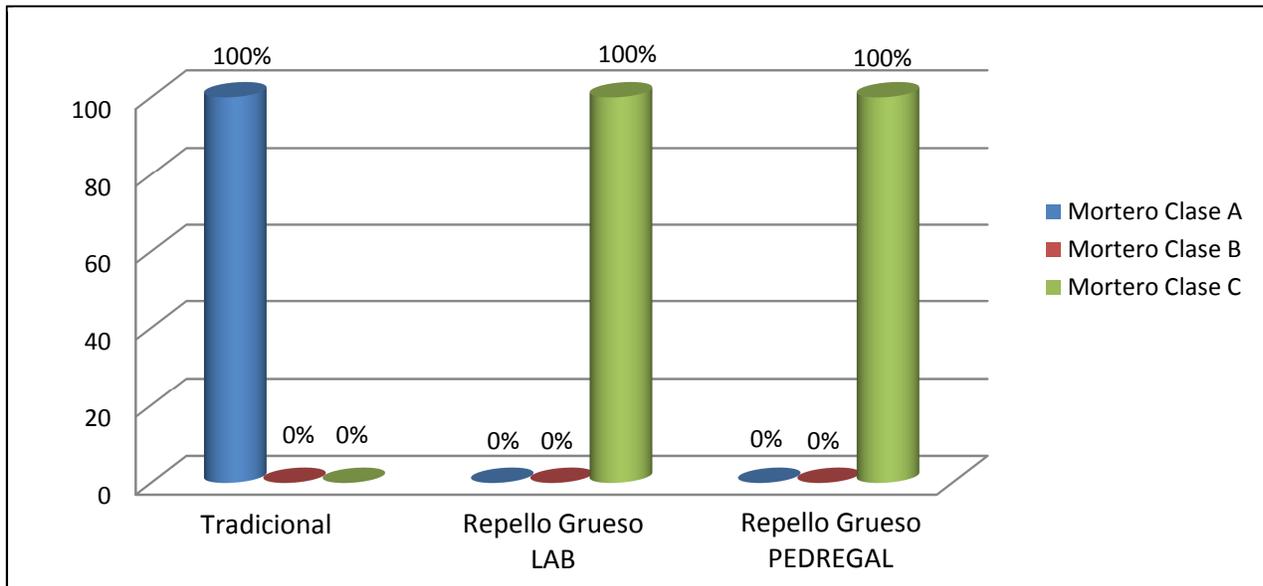


Figura 14. Clasificación de los morteros de repello analizados de acuerdo con la especificación de la norma ASTM C-270
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Tiempo de fragua

Además de la resistencia a la compresión para comparar el mortero industrializado con el tradicional, se realizó la prueba según la norma ASTM C-403 para determinar los tiempos de fraguado inicial y final de la mezcla en base a un ensayo de velocidad de endurecimiento, realizado por medio de agujas de resistencia a la penetración del mortero, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 35.
Resistencia a la penetración para determinar la fragua del mortero

El objetivo principal de este estudio es analizar los materiales reproduciendo las condiciones reales que se manejan en el sitio, por esta razón para comparar la velocidad de fragua

del mortero tradicional y el mortero multiuso, escogido por ser el que cuenta con la resistencia a la compresión mayor según los ensayos realizados, se dosifican las mezclas de acuerdo con la consistencia comúnmente utilizada en el campo; por lo que realizando el ensayo para determinar el flujo según la norma ASTM C-1437 se obtuvo $40\pm 5\%$ para el mortero fabricado tradicionalmente y $43\pm 5\%$ para el mortero industrializado Multiuso, como se pudo observar en el campo el mortero se fabrica con menos humedad que el laboratorio lo que aumenta su resistencia.

Como se mencionó anteriormente el tiempo de fragua se obtuvo de acuerdo a la velocidad de endurecimiento al penetrar una aguja en la probeta que contiene el mortero, las mediciones se realizaron cada 30 minutos disminuyendo el diámetro de la aguja conforme aumenta la resistencia de la mezcla. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 27

y más claramente en la figura 15 donde se puede observar que ambos tipos de mortero alcanzan la fragua inicial a los 80 minutos, de acuerdo a la norma este tiempo es el transcurrido, después del contacto inicial del cemento y el agua, requerido para que el mortero alcance una resistencia a la penetración de 35 kg/cm^2 , y el tiempo de fragua final es cuando la resistencia alcanzada supera los 280 kg/cm^2 , esto ocurrió a los 450 minutos para el mortero tradicional y a los 540 minutos en el caso del Multiuso.

La fragua del mortero depende de varios factores tales como la cantidad de cemento que contenga la mezcla, la temperatura, o bien la incorporación de algún aditivo. En este caso se tiene que el tiempo de fragua del mortero Multiuso es mayor en un 20% respecto al mortero tradicional, lo que indica que el mortero industrializado mantiene la trabajabilidad por más tiempo antes de iniciar el endurecimiento.

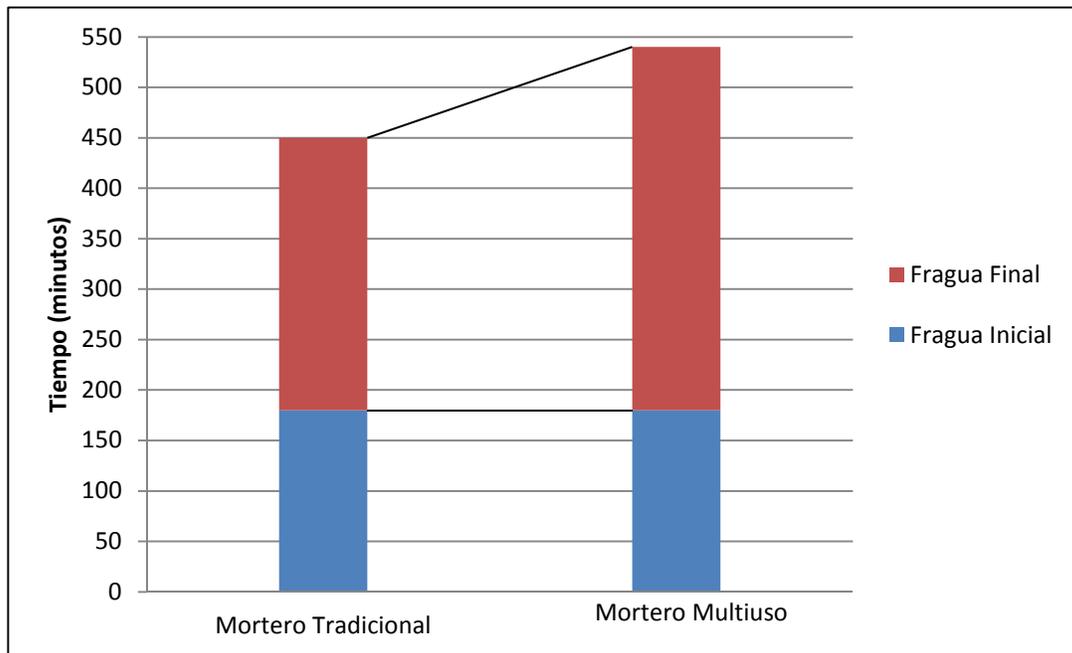


Figura 15. Tiempo de fragua inicial y final del mortero tradicional y el mortero industrializado Multiuso
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Prismas de Mampostería

Una vez conocida la resistencia a la compresión del mortero por medio del moldeo, curado y falla de cubos de 50,8 mm de lado, se procede a la elaboración de prismas de mampostería con la unión de dos bloques de concreto de 12x20x40 cm por medio de una sisa de mortero de aproximadamente 1 cm de espesor, dichos bloques son fabricados en la planta de la empresa PEDREGAL; se elaboran los prismas de mampostería con el fin de conocer la resistencia real del mortero de pega, es decir, su aporte en el muro de mampostería.

Previo a la fabricación de los prismas de mampostería se realizó la caracterización de los bloques de concreto, determinando la resistencia a la compresión de los mismos. En las siguientes imágenes se muestran las pruebas realizadas al los bloques para determinar su área neta y su resistencia a la compresión.



Imagen 36.
Peso sumergido del bloque de concreto



Imagen 37.
Resistencia a la compresión del bloque de concreto

Los datos obtenidos son comparados con las resistencias y clasificación establecidas en los dos documentos que normalizan la utilización de estos elementos en la práctica con mampostería, los cuales son el CSCR 2002 (Código Sísmico de Costa Rica 2002) en la parte de anexos el cual es de carácter obligatorio y la norma INTE 06-03-01-07 (Elementos de mampostería hueca de concreto-bloques-para uso estructural-requisitos), la cual se trata de una adaptación nacional la cual la convierte en acatamiento voluntario.

En el cuadro 30 de la sección de resultados y más en detalle en la sección de apéndices, se pueden observar los valores de la resistencia a la compresión de las muestras de bloques, se tiene que el 100% de las muestras analizadas cumplen con el requisito de resistencia para la clasificación A la cual es de 120 kg/cm^2 por unidad y no se tienen bloques en la clasificación B ni para la C.

En los cuadros 31, 32 y 33 se muestran los valores de la resistencia promedio de los prismas de mampostería fabricados con los tres tipos de mortero en estudio, el elaborado de manera tradicional, y los industrializados Pegablock y Multiuso de la empresa PEDREGAL.

Se fabricaron 5 prismas para cada tipo de mortero según la norma INTE 06-02-18-07 (ver imagen 38 y 39), los resultados completos de las pruebas se encuentran en la sección de apéndices del presente estudio; cabe resaltar que los mismos fueron construidos por un albañil para obtener resultados representativos del trabajo realizado en campo; y en cuanto a la dosificación se utilizó para el mortero tradicional 1:3 (una parte de cemento por 3 partes de arena), y para los morteros industrializados la cantidad de agua indicada en el saco; además, todas las superficies de los especímenes fueron niveladas antes de la prueba mediante el proceso de capeo, con el fin de garantizar una distribución de esfuerzos uniforme.



Imagen 38.

Unión de los bloques con el mortero de pega



Imagen 39.

Prismas listos para ser fallados

Los prismas fueron fallados a compresión a los 28 días, y los valores obtenidos se comparan con la resistencia ($f'm$) que especifica el Código Sísmico de Costa Rica 2002 para mampostería la cual se encuentra en el cuadro 9 de la sección de marco teórico.

En las siguientes figuras se muestra para cada tipo de mortero la clasificación que adopta el CSCR-02, para el mortero tradicional se puede observar que el 100% de las pruebas cumplen con la resistencia para la mampostería clase A, para el caso de los prismas elaborados utilizando el mortero industrializado Multiuso, tal y como se observa en la figura 17 se obtuvo que el 90,71% de los especímenes se encuentran dentro de la clasificación A, no existen prismas con resistencia para la categoría B de 70 kg/cm^2 y sólo una de ellas está dentro de la clase C que corresponde al 9,29% restante; esta diferencia en los datos puede incurrir en algún error en la manipulación del espécimen o en el momento de la falla. De igual manera se fallaron 5 prismas utilizando el mortero Pegablock de PEDREGAL, en la figura 18 se muestra que el 72,34% se encuentra dentro de la clasificación A, el 27,66% son de clase B, y no se obtuvieron resistencias dentro de la categoría C.

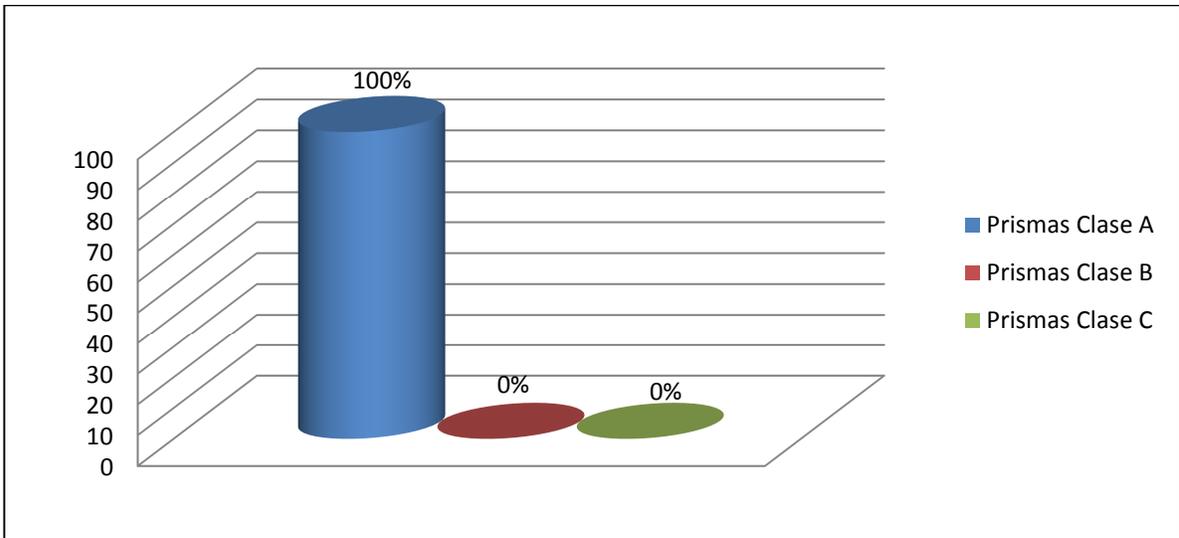


Figura 16. Clasificación de los prismas de mampostería según f'm establecido en el CSCR-02, utilizando mortero de tipo Tradicional.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

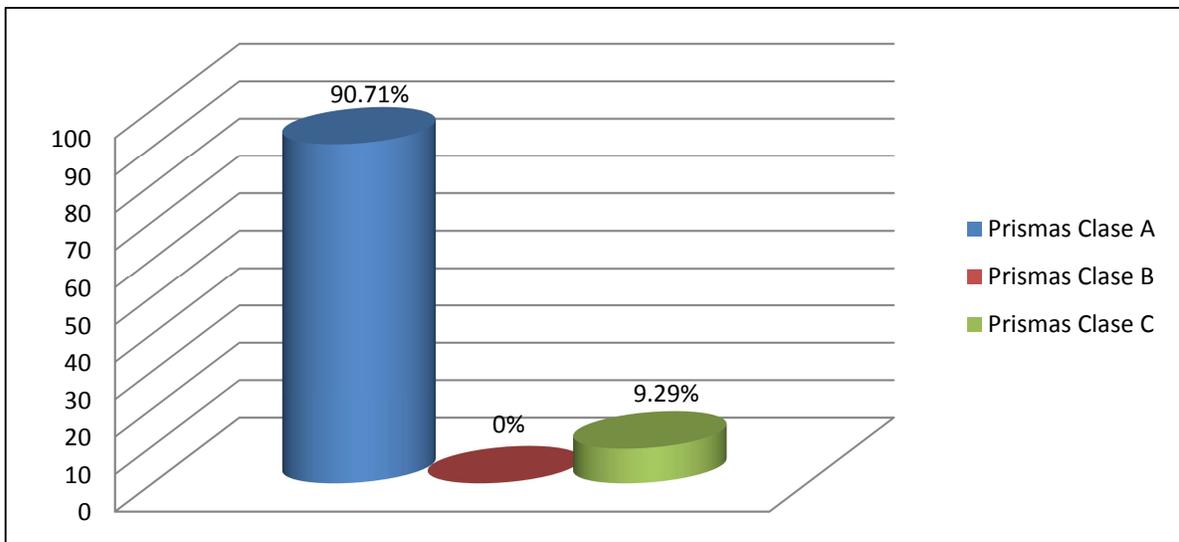


Figura 17. Clasificación de los prismas de mampostería según f'm establecido en el CSCR-02, utilizando industrializado Multiuso de PEDREGAL..
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

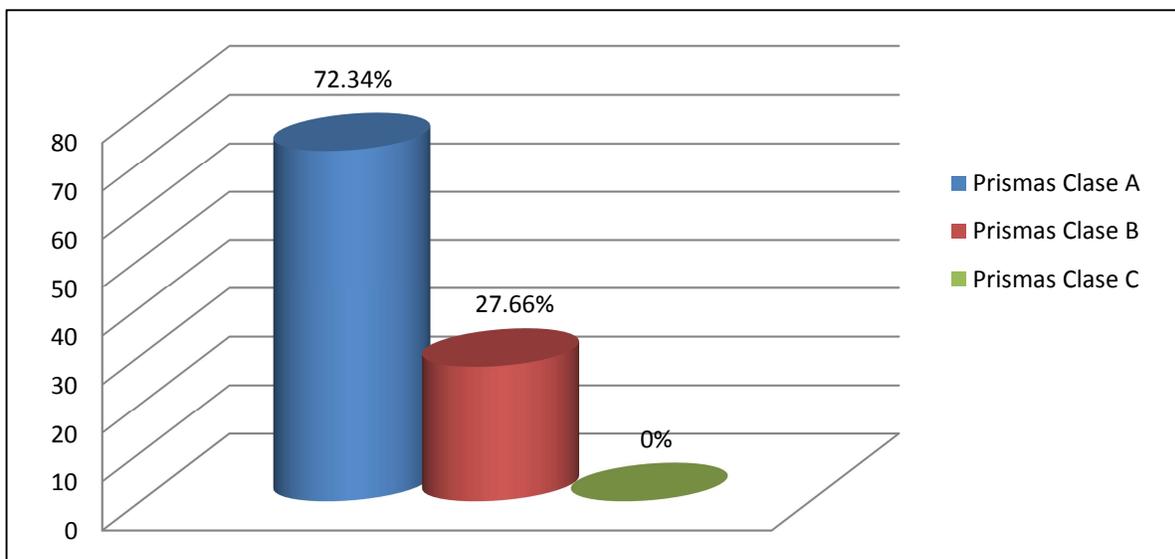


Figura 18. Clasificación de los prismas de mampostería según $f'm$ establecido en el CSCR-02, utilizando el mortero industrializado Pegablock de PEDREGAL..

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Se fabricaron y fallaron en total 15 prismas, en la figura 19 se puede observar que más del 89% de los prismas estudiados cumple con la resistencia requerida para la mampostería ($f'm$) de 100 kg/cm^2 que establece el CSCR-02, el 7,83% cumple para la clase B y sólo el 3,12% se encuentra dentro de la categoría C de 60 kg/cm^2 .

En la figura 20 se muestra la resistencia promedio de los prismas de acuerdo con el tipo de mortero utilizado, como se puede observar, la diferencia no es tan significativa entre el mortero tradicional y el Multiuso, es sólo de aproximadamente 15 kg/cm^2 , y superando los 100 kg/cm^2 se encuentra el promedio de los especímenes que corresponden al mortero Pegablock.

Es importante recordar que los prismas fueron contruidos con un solo tipo de bloque, el clase A, por lo que se puede decir que la variación presentada depende directamente del mortero utilizado para la unión de los bloques.

En los resultados, tanto de la resistencia promedio de los morteros como la de los primas, se puede observar que a la menor resistencia de los morteros, la resistencia de los prismas es también menor, esto se debe a que los morteros de baja resistencia sufren una mayor deformación transversal e inducen a mayores esfuerzos de

tracción en la interface de contacto entre el mortero y el bloque.

Por otra parte, si se realiza una comparación entre el mortero que soporta mayor resistencia a la compresión, en este caso el fabricado en sitio de manera tradicional, con el que cuenta con la menor resistencia en el presente estudio, el mortero industrializado Pegablock cuyos cubos fueron moldeados en el CIVCO, se tiene que el aumento en la resistencia del mortero fue de 165%, mientras que el incremento en la resistencia de los prismas fabricados con ambos morteros fue sólo del 35%. Lo anterior demuestra que aumentar la resistencia del mortero no es la manera más eficiente de aumentar la resistencia del prisma, por lo que se puede modificar la resistencia de los bloques utilizados para lograrlo.

En la figura 21 se puede observar que la resistencia a compresión de la mampostería depende directamente de la resistencia a compresión de los bloques. El coeficiente de correlación obtenido indica que el 88% de la variación en $f'm$ está explicada por variaciones en $f'b$, lo anterior ratifica que al aumentar $f'b$ también aumenta $f'm$. Para el caso del mortero tal y como se muestra en la figura 22 el coeficiente de correlación indica que para este estudio sólo el

30% de la variación en la resistencia de la mampostería se debe a la variación en f' mortero.

La falla típica en todos los prismas de mampostería fallados fue la formación de grietas en sentido vertical, esta se puede observar en las imágenes siguientes, producidas por deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas.



Imagen 40.

Falla típica en prismas con mortero Multiuso



Imagen 41.

Falla típica en prismas con mortero Pegablock

En el caso del mortero tradicional donde la resistencia a la compresión es mayor que la resistencia de las unidades de mampostería (bloques), la falla ocurrió básicamente por aplastamiento de las mismas piezas, causando agrietamiento vertical en las caras principales del prisma.



Imagen 42.

Falla típica en prismas con mortero Tradicional

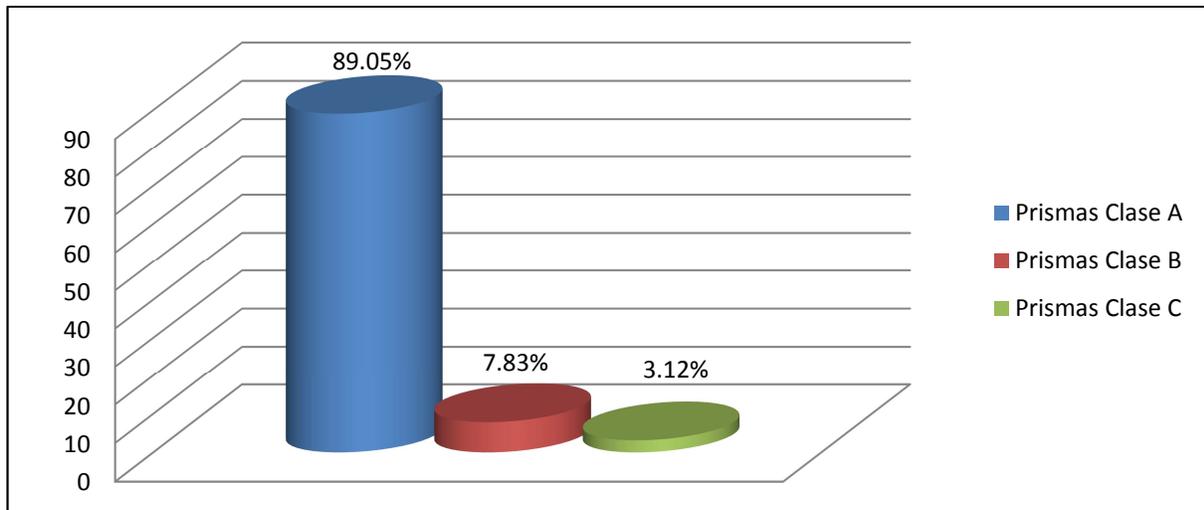


Figura 19. Clasificación de la totalidad de los prismas estudiados, de acuerdo con el CSCR-02
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

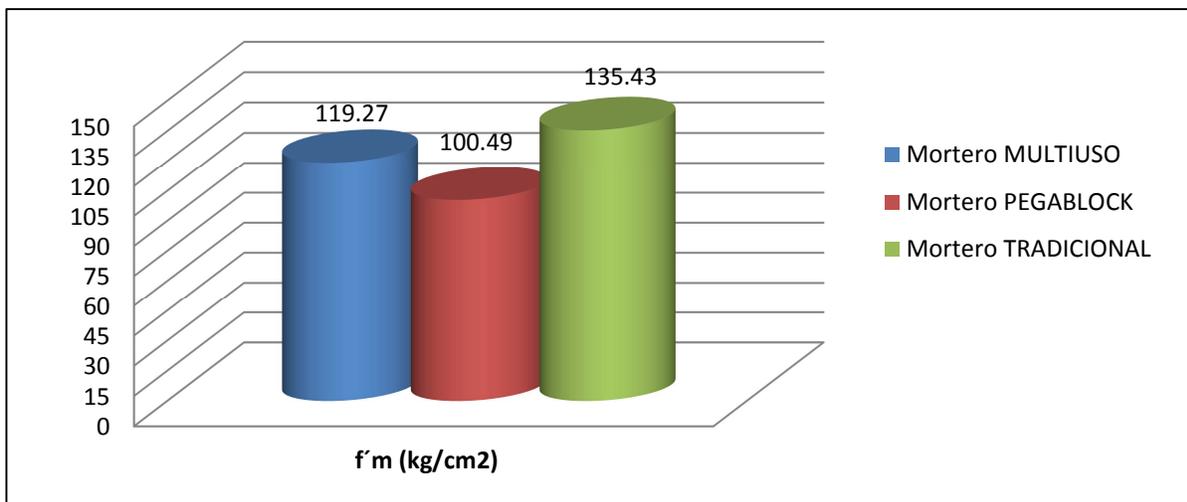


Figura 20. Resistencias promedio en kg/cm² de los prismas de mampostería, según el tipo de mortero utilizado.
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

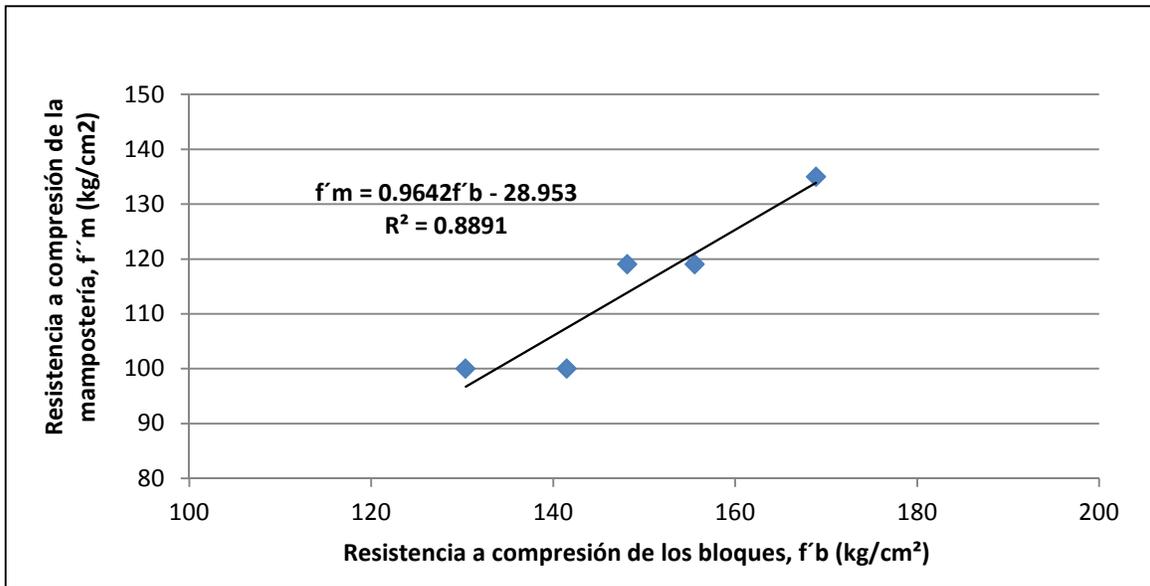


Figura 21. Relación general entre la resistencia a la compresión de los prismas ($f'm$) y la resistencia de los bloques ($f'b$).
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

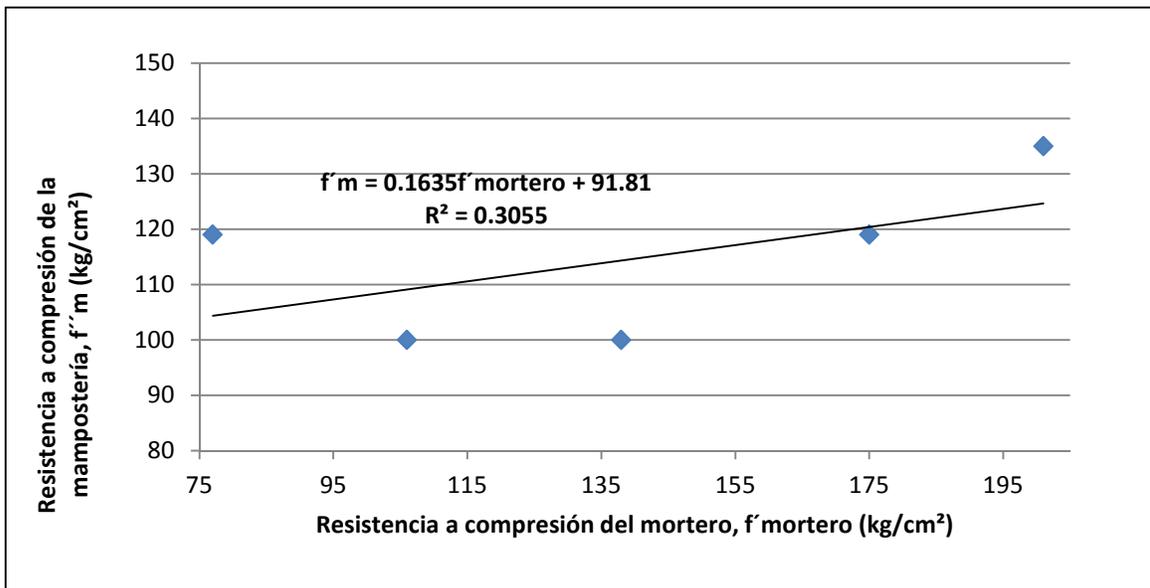


Figura 22. Relación general entre la resistencia a la compresión de los prismas ($f'm$) y la resistencia de los morteros utilizados (f' mortero).
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Flujo vs Consistencia

La norma ASTM C 270 menciona claramente que el mortero para mampostería para las pruebas realizadas en el laboratorio, debe cumplir con una resistencia mínima de 175 kg/cm^2 considerando un flujo de $110 \pm 5\%$, sin embargo, en el sitio se deja de lado este último requisito por varias razones, entre ellas: resulta poco práctico medir el flujo de la mezcla en la obra, por limitaciones de tiempo y equipo, y además, aplicar esta cantidad de agua al mortero resulta una mezcla muy fluida lo que la hace imposible de manipular a la hora de pegar los bloques de concreto, ya que no es la consistencia adecuada.

En el cuadro 34 de la sección de resultados se muestran los valores promedio de la resistencia a la compresión de 2 mezclas de mortero elaboradas en el laboratorio del CIVCO, utilizando una dosificación de 1:3 y 1:2 (una parte de cemento por cada 3 y 2 partes de arena respectivamente), cumpliendo con el flujo especificado en la norma y por otra parte, guiados por la consistencia utilizada en sitio para pegar los bloques.

El aumento en la resistencia del mortero es significativa cuando se disminuye la cantidad

de agua que especifica la norma para llegar al flujo de $110 \pm 5\%$, pero sin dejar de lado la trabajabilidad necesaria en el campo.

En la figura 23 se muestra la resistencia obtenida con la dosificación 1:3 del mortero, que como se comprobó en los proyectos visitados es la más utilizada en el sitio, se puede observar que con flujo de $111 \pm 5\%$ a los tres días la resistencia es de 63.98 kg/cm^2 , y utilizando la consistencia del campo esta aumenta hasta un 51%, a 7 días la resistencia a la compresión es de 194.25 kg/cm^2 es decir, sobrepasa la especificación del valor mínimo a los 28 días de la norma ASTM C 270, y al proyectar los datos obtenidos en el laboratorio a los 28 días se tiene que la resistencia aumenta en un 44% llegando a 277.49 kg/cm^2 cumpliendo con el flujo estándar.

De la misma manera ocurre con la dosificación 1:2 que aparece en la figura 24, se elabora una mezcla cumpliendo con un flujo de $110 \pm 5\%$, y otra con una fluidez de $49 \pm 5\%$ debido a que con respecto a dosificación anterior aumenta la cantidad de cemento, por consiguiente la cantidad de agua el flujo es mayor. En este caso se obtuvo una resistencia a los 3 días de 143.96 kg/cm^2 , la cual proyectada a los 28 días se obtiene 315.87 kg/cm^2 cumpliendo con el flujo de $110 \pm 5\%$, y se llega a incrementar hasta un 47% proyectado a los 28 días dando una resistencia a la compresión de 467.41 kg/cm^2 aplicando la consistencia del campo.

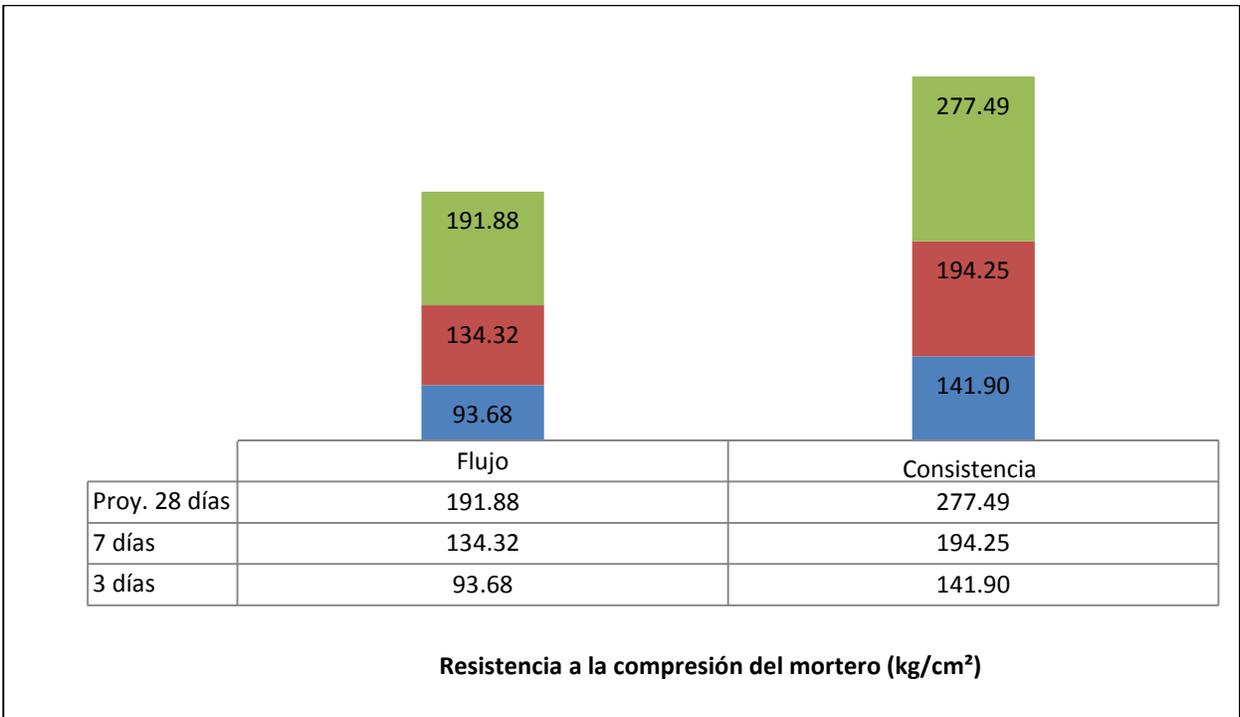


Figura 23. Resistencia a compresión de mortero tradicional con dosificación 1:3, fabricado en el laboratorio cumpliendo con el flujo de 110±5% y aplicando la consistencia utilizada comúnmente en sitio
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

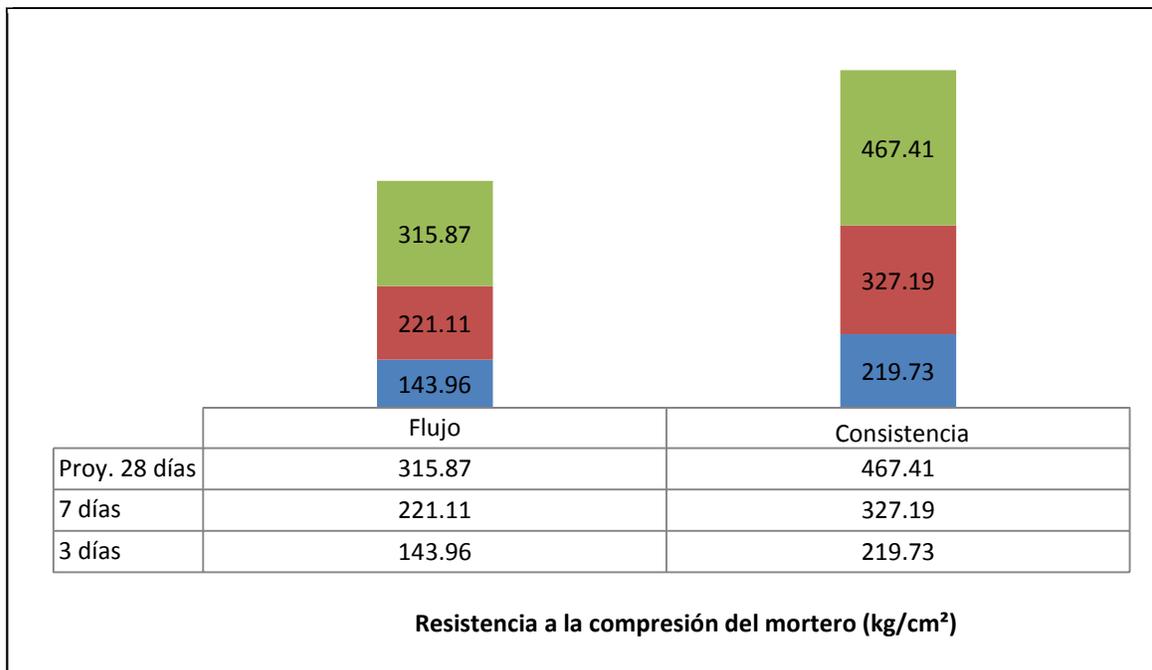


Figura 24. Resistencia a compresión de mortero tradicional con dosificación 1:2, fabricado en el laboratorio cumpliendo con el flujo de 110±5% y aplicando la consistencia utilizada comúnmente en sitio
Fuente: (La autora), Microsoft Excel

El CSCR-02 establece los requisitos generales para la construcción con mampostería, sin embargo, en lo que concierne al mortero este documento sólo hace referencia a la norma ASTM C-270 y especifica las proporciones por volumen que se deben utilizar para fabricar la mezcla, proporciones con las cuales, según la norma, se llega a la resistencia definida para cada tipo de mortero de acuerdo con la clasificación establecida también en dicha norma, no obstante se hace la salvedad de que estas resistencias mínimas se deben cumplir solamente para ensayos realizados en el laboratorio, no así para evaluar el comportamiento del mortero fabricado en el campo.

La norma ASTM C-780 (Método estándar para la Evaluación Antes y Durante la construcción de morteros para mampostería sencilla o reforzada), describe métodos de ensayo para realizar en el campo como lo son: consistencia por medio de la penetración del cono, proporción mortero-agregado, contenido de agua del mortero, resistencia a la compresión de cubos moldeados de mortero de mampostería y retención de la consistencia, sin embargo, la norma describe cómo hacer los ensayos, pero no establece los resultados considerados como aceptables, y aclara que por encontrarse en condiciones distintas, los resultados obtenidos por este método no tiene por qué cumplir con el requisito de resistencia a la compresión dado por la especificación por propiedades de la norma ASTM C-270. En otras palabras, si se ensaya el mortero con la norma ASTM C-780, este puede ser aceptable aunque no cumpla con la norma C-270.

Debido a que la resistencia mínima del mortero elaborado en sitio no se encuentra definida aún, en la práctica común y por ser la norma ASTM C-270 la que considera el CSCR-02 se parte de las propiedades allí establecidas para evaluar un mortero.

Se cree según la normativa que las resistencias de los morteros hechos en obra generalmente son más bajas que los morteros hechos en el laboratorio, debido a que los morteros mezclados en sitio tienen una relación A/C mayor, sin embargo en este estudio se demuestra lo contrario con los resultados obtenidos, además de que con la visitas a los proyectos estudiados y moldeando los cubos en sitio se pudo observar que la fluidez utilizada en

el campo es mucho menor que la controlada en el laboratorio mediante el flujo de $110\pm 5\%$.

De esta manera, con los datos presentados anteriormente se ratifica el hecho de que en obra las resistencias pueden llegar a ser mucho mayores, ya que generalmente la consistencia requerida para la unión de bloques merece menos cantidad de agua que la necesaria para cumplir con el flujo establecido.

Generalmente el contenido de agua en la mezcla lo establece el albañil en el sitio, ya que resulta casi imposible determinar la cantidad de agua exacta que logra el mortero deseado, ya que todos los morteros son distintos y depende del uso que se le vaya a dar, de las condiciones atmosféricas a las que esté expuesto, la manipulación, etc. La relación A/C que se utilice debe garantizar que el mortero tenga buena fluidez, sea trabajable, que cuente con buena retención, sea cohesivo y homogéneo y que sea capaz de mantener estas características por largo tiempo.

Además, debe adherirse bien a las unidades de mampostería (bloques de concreto), esta propiedad es muy importante para definir el tipo de mortero a utilizar, depende en gran parte de la capacidad de absorción de los bloques, ya que el agua extraída del mortero puede afectar la resistencia del mortero, las propiedades de la unión entre las unidades y el mortero, y por lo tanto, la resistencia de la mampostería. Cuando se utilizan unidades con alta absorción se puede recurrir al humedecimiento para mejorar la adherencia, pero si se tienen bloques con baja absorción, no existe un mecanismo para aumentarla por lo que el tiempo desde que se esparce el mortero y la colocación del bloque se puede incrementar.

Es un hecho, el mejoramiento de alguna propiedad de la mezcla de mortero se dará a expensas de otras, por lo que se deberá evaluar, según las condiciones, cuál característica será necesaria mantener y mejorar en el mortero, asegurándose de la calidad de los materiales y de cumplir con las especificaciones establecidas en el país. Se puede especificar el mortero a utilizar por medio de la norma ASTM C-270, y mediante la norma ASTM C-780 controlar y medir la cantidad de mortero en obra.

Conclusiones

Con base en los objetivos planteados y en el análisis de la presente investigación se concluye lo siguiente:

- Al realizarle el análisis granulométrico a los agregados extraídos de los proyectos, se tiene que más del 80% no cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C 136, sin embargo, con el coeficiente de curvatura y uniformidad se demuestra que la mayoría de las arenas resultan ser bien graduadas lo que garantiza que se logre en el sitio, mezclas homogéneas y resistentes.
- El tamaño promedio del agregado de los proyectos visitados se determinó por medio del módulo de finura, con el cual se obtuvo que las arenas utilizadas se encontraban dentro de la clasificación de “media fina” a “media”, no obstante en todos los casos la contaminación de finos representó un porcentaje importante llegando hasta el 19.67% para el caso del proyecto 1.
- El proyecto 3 cuenta con el mayor porcentaje de absorción, superando el 18% lo que indica que se trata de un agregado muy poroso, disminuyendo la densidad, la resistencia, aumentando su permeabilidad y probablemente afecte su estabilidad química al hacer contacto con otros materiales.
- La propiedad del mortero que se tomó como punto de comparación entre los distintos tipos que se estudiaron fue la resistencia a la compresión, por medio de la cual se determinó que el mortero elaborado de manera tradicional en el sitio es el que resiste más a esfuerzos aplicados, la resistencia promedio fue de 271.21 kg/cm² para el mortero de pega y 280.87 kg/cm² para el mortero de repello.
- De acuerdo con los resultados de resistencia a la compresión del mortero elaborado en sitio, se verifica que se está cumpliendo con los únicos parámetros descritos en la normativa costarricense, por lo que se tratan de valores bastantes alentadores que vale la pena optimizar.
- Para el mortero industrializado se realizaron pruebas de resistencia a la compresión según la norma ASTM C-109 en el CIVCO y se recopilaron datos de pruebas realizadas anteriormente en la empresa, sin embargo, la dispersión en los resultados fue significativa, debido a que se desconoce el tiempo y las condiciones en las que se evaluaron las mezclas en la planta, además de la manipulación y el uso del agua, por lo que se decide realizar un análisis de los resultados para cada laboratorio.
- De acuerdo con la clasificación establecida en la norma ASTM C-270 o en su adaptación nacional INTE 06-03-04-08, el 100% de las muestras de mortero tradicional corresponden a mortero clase A, en cuanto al mortero Pegablock y Multiuso analizado en el CIVCO ambos se encuentran dentro de la clasificación C y de las muestras analizadas en el laboratorio de la empresa para el Multiuso el 33% y del Pegablock el 26% se clasifica como mortero A. En lo que respecta al mortero de repello para el elaborado tradicionalmente 100% cumple para la clase A y el repello grueso industrializado tanto en el CIVCO como en el laboratorio PEDREGAL, el 100% se clasifica como mortero clase C.
- Con las visitas al sitio se observó que en el caso del mortero para repello se utiliza la misma dosificación que para el mortero de pega, sólo varía la humedad para lograr la consistencia necesaria según el acabado que se quiera dar y la rugosidad de la pared.
- En la actualidad, en la mayoría de los proyectos se utilizan los productos pre-

empacados de repello ya que debido a la granulometría que presentan y la trabajabilidad que generan se facilita en gran medida la tarea del albañil, además de disminuir tiempo de preparación y por consiguiente los costos.

- Otra característica analizada fue la fragua del mortero, se determinó que el tiempo de fragua del mortero Tradicional es menor que el del mortero Multiuso, lo que pone en ventaja a este último ya que indica que permanece trabajable por más tiempo permitiéndole al trabajador elaborar mayores cantidades de mezcla sin aumentar la cantidad de agua requerida.
- Al fabricar prismas de mampostería se determinó el aporte del mortero en la resistencia de la mampostería ($f'm$), para esto se utilizó en todos los casos bloques clase A, producidos de igual manera en la empresa PEDREGAL.
- De la totalidad de los prismas fabricados utilizando los 3 tipos de mortero en estudio, el 89% se clasificó como mampostería clase A, el 7.83% como clase B y poco más del 3% como clase C. La resistencia promedio mayor fue de 135 kg/cm^2 para el mortero tradicional y la menor fue de 100 kg/cm^2 para el mortero Pegablock, lo que demostró que a mayor resistencia del mortero mayor $f'm$.
- m. Por otra parte, se demostró por correlación entre $f'm$ y unidad de mampostería, que el 88% de la resistencia de la mampostería se debe a variaciones en la resistencia y calidad del bloque utilizado.
- En la mampostería al disminuir la resistencia a la compresión del mortero, la resistencia del prisma de mampostería es también menor; sin embargo, cuando la resistencia de los bloques es inferior a la del mortero como en el caso del mortero tradicional, utilizar morteros de alta resistencia no influye de manera significativa en la resistencia final de la mampostería.
- Se comprobó con el análisis comparativo que si el aumento en la resistencia entre el mortero tradicional y el industrializado fue de 165%, el aumento en la resistencia

de la mampostería fue tan sólo de 30% con los mismos morteros, lo que indica que aumentar la resistencia del mortero no es la manera más eficiente para incrementar la resistencia de la mampostería, si no asegurarse de que los bloques utilizados sean de calidad y cumplan con las especificaciones del CSCR-02.

- Según lo observado en el campo, el uso del agua en las mezclas de mortero es mucho menor que lo que plantea la norma ASTM C-270, reproduciendo esta consistencia en el laboratorio se determinó que se puede reducir en más del 50% el flujo de $110 \pm 5\%$ y de igual manera aumentar la resistencia del mortero.

Recomendaciones

- Es necesario que el control de calidad en el sitio sea más estricto de parte del encargado de la obra, especialmente en la compra de materiales para asegurarse que estos sean de calidad. Es importante que cuando se trabaje con agregados se conozca las propiedades físicas de los mismos y el contenido de humedad para que esto no llegue a afectar en el resultado final de la mezcla.
- Además de la resistencia a la compresión existen propiedades importantes para seleccionar un mortero como lo son el contenido de aire y la adherencia, aunque el CSCR-02 no exige su cumplimiento es deseable conocerlas para el buen funcionamiento del sistema de mampostería.
- Es importante conocer la absorción de las unidades de mampostería (bloques de concreto) aunque sólo se especifique en la norma INTECO que es de carácter voluntario, ya que de la cantidad de agua que absorba el bloque del mortero así afectará la adherencia y la resistencia, se debe recordar que un bloque con baja absorción se puede disminuir su efecto humedeciendo las superficies pero no se tiene una técnica aún para contrarrestar el efecto en el caso contrario.
- La única norma que especifica la resistencias mínimas requeridas para morteros es la Norma ASTM C-270 y es la que hace referencia el CSCR-02; sin embargo esta especificación se basa en un flujo de $110\pm 5\%$ en las condiciones controladas del laboratorio, por lo que se recomienda realizar un estudio para definir las resistencias que el mortero debe alcanzar en campo respetando este flujo ó establecer nuevos valores de resistencia aplicando la consistencia requerida en el sitio.
- Realmente el tema de morteros se ha desarrollado poco en el país por esta razón se recomienda realizar más investigación y estudios para que las prácticas en la construcción sean más seguras y se garantice la confiabilidad de los productos pre-empacados de esta manera se podrían ahorrar costos y las tareas en la construcción se aligerarían en este sentido.
- Se recomienda generar un reglamento o norma específicamente para morteros, en el cual se haga diferenciación entre mortero de pega y de repello, con las respectivas características y especificaciones que merece cada tipo, ya que en la normativa actual el mortero de repello se menciona muy poco y en algunos casos se olvida.
- Antes de utilizar morteros pre-empacados en obra, se recomienda realizar constantes controles de calidad para verificar la especificación de paquete y lo que se ha producido en planta.

Apéndices

Los cuadros que se presentan a continuación corresponden a los resultados de los ensayos realizados a los agregados extraídos de los proyectos, tales como el granulometría, gravedad específica, material más fino que la malla # 300 y % de absorción.

CUADRO 42. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 1					
Malla Nominal	Malla (mm)	W Retenido (±0.1g)	% Retenido Acumulado	% Pasando	Especificación
3/8"	9.5	0	0	100	100
# 4	4.75	25.27	5.08	94.92	100
# 8	2.36	93.21	23.82	76.18	95-100
# 16	1.18	88.07	41.53	58.47	70-100
# 30	0.6	79.34	57.48	42.52	40-75
# 50	0.3	58.66	69.28	30.72	20-40
# 100	0.15	30.98	75.51	24.49	10-25
# 200	0.075	24	80.33	19.67	0-10
Peso Total		497.35	M.F		2.73

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 43. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 2					
Malla Nominal	Malla (mm)	W Retenido (±0.1g)	% Retenido Acumulado	% Pasando	Especificación
3/8"	9.5	0	0	100	100
# 4	4.75	44.14	6.76	93.24	100
# 8	2.36	82.92	19.46	80.54	95-100
# 16	1.18	104.74	35.49	64.51	70-100
# 30	0.6	108.68	52.13	47.87	40-75
# 50	0.3	114.86	69.72	30.28	20-40
# 100	0.15	90.49	83.58	16.42	10-25
# 200	0.075	43.59	90.25	9.75	0-10
Peso Total		653.08	M.F		2.67

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 44. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 3					
Malla Nominal	Malla (mm)	W Retenido ($\pm 0.1g$)	% Retenido Acumulado	% Pasando	Especificación
3/8"	9.5	8.15	1.39	98.61	100
# 4	4.75	39.35	8.11	91.89	100
# 8	2.36	85.67	22.73	77.27	95-100
# 16	1.18	88.02	37.76	62.24	70-100
# 30	0.6	85.93	52.42	47.58	40-75
# 50	0.3	75.53	65.32	34.68	20-40
# 100	0.15	54.42	74.60	25.40	10-25
# 200	0.075	39.39	81.31	18.69	0-10
Peso Total		585.85	M.F		2.62

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 45. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 4					
Malla Nominal	Malla (mm)	W Retenido ($\pm 0.1g$)	% Retenido Acumulado	% Pasando	Especificación
3/8"	9.5	1.42	0.24	99.76	100
# 4	4.75	20.85	3.75	96.25	100
# 8	2.36	116.48	23.38	76.62	95-100
# 16	1.18	100.88	40.38	59.62	70-100
# 30	0.6	97.24	56.76	43.24	40-75
# 50	0.3	96.21	72.98	27.02	20-40
# 100	0.15	75.99	85.78	14.22	10-25
# 200	0.075	39.81	92.49	7.51	0-10
Peso Total		593.45	M.F		2.83

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 46. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144, PROYECTO 5					
Malla Nominal	Malla (mm)	W Retenido ($\pm 0.1g$)	% Retenido Acumulado	% Pasando	Especificación
3/8"	9.5	0	0	100	100
# 4	4.75	12.79	2.27	97.73	100
# 8	2.36	58.93	12.71	87.29	95-100
# 16	1.18	101.87	30.76	69.24	70-100
# 30	0.6	96.22	47.81	52.19	40-75
# 50	0.3	125.37	70.03	29.97	20-40
# 100	0.15	119.88	91.27	8.73	10-25
# 200	0.075	49.28	100	0	0-10
Peso Total		564.34	M.F		2.55

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

**CUADRO 47. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO SEGÚN ASTM C 144,
PROYECTO 6**

Malla Nominal	Malla (mm)	W Retenido (±0.1g)	% Retenido Acumulado	% Pasando	Especificación
3/8"	9.5	0.01	0	100	100
# 4	4.75	17.05	3.23	96.77	100
# 8	2.36	63.23	15.20	84.80	95-100
# 16	1.18	82.81	30.87	69.13	70-100
# 30	0.6	93.62	48.59	51.41	40-75
# 50	0.3	111.67	69.72	30.28	20-40
# 100	0.15	108.36	90.23	9.77	10-25
# 200	0.075	51.60	100	0	0-10
Peso Total		528.35	M.F		2.58

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

**CUADRO 48. CONTENIDO DE MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200,
PROYECTO 1**

Peso total de la muestra + bandeja (±0.1g)	645.46 g
Peso bandeja (±0.1g)	111.03 g
Peso total muestra (±0.1g)	534.43 g
Peso seco + bandeja (±0.1g)	608.38 g
Peso seco (±0.1g)	497.35 g
Peso seco lavado + bandeja (±0.1g)	510.56 g
Peso seco lavado (±0.1g)	399.53 g
% Material más fino que la malla # 200	19.67

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

**CUADRO 49. CONTENIDO DE MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200,
PROYECTO 2**

Peso total de la muestra + bandeja (±0.1g)	789.02 g
Peso bandeja (±0.1g)	109.85 g
Peso total muestra (±0.1g)	679.17 g
Peso seco + bandeja (±0.1g)	762.93 g
Peso seco (±0.1g)	653.08 g
Peso seco lavado + bandeja (±0.1g)	699.58 g
Peso seco lavado (±0.1g)	589.73 g
% Material más fino que la malla # 200	9.70

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 50. CONTENIDO DE MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200, PROYECTO 3	
Peso total de la muestra + bandeja ($\pm 0.1g$)	762.31 g
Peso bandeja ($\pm 0.1g$)	109.60 g
Peso total muestra ($\pm 0.1g$)	652.71 g
Peso seco + bandeja ($\pm 0.1g$)	695.45 g
Peso seco ($\pm 0.1g$)	585.85 g
Peso seco lavado + bandeja ($\pm 0.1g$)	586.96 g
Peso seco lavado ($\pm 0.1g$)	477.32g
% Material más fino que la malla # 200	18.53

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 51. CONTENIDO DE MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200, PROYECTO 4	
Peso total de la muestra + bandeja ($\pm 0.1g$)	759.89 g
Peso bandeja ($\pm 0.1g$)	114.40 g
Peso total muestra ($\pm 0.1g$)	645.49 g
Peso seco + bandeja ($\pm 0.1g$)	707.85 g
Peso seco ($\pm 0.1g$)	593.45 g
Peso seco lavado + bandeja ($\pm 0.1g$)	659.85 g
Peso seco lavado ($\pm 0.1g$)	545.45 g
% Material más fino que la malla # 200	8.09

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 52. CONTENIDO DE MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200, PROYECTO 5	
Peso total de la muestra + bandeja ($\pm 0.1g$)	747.83 g
Peso bandeja ($\pm 0.1g$)	112.05 g
Peso total muestra ($\pm 0.1g$)	635.78 g
Peso seco + bandeja ($\pm 0.1g$)	713.55 g
Peso seco ($\pm 0.1g$)	601.50 g
Peso seco lavado + bandeja ($\pm 0.1g$)	676.44 g
Peso seco lavado ($\pm 0.1g$)	564.39 g
% Material más fino que la malla # 200	6.17

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 53. CONTENIDO DE MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200, PROYECTO 6	
Peso total de la muestra + bandeja ($\pm 0.1g$)	718.60 g
Peso bandeja ($\pm 0.1g$)	134.28 g
Peso total muestra ($\pm 0.1g$)	584.32 g
Peso seco + bandeja ($\pm 0.1g$)	684.14 g
Peso seco ($\pm 0.1g$)	549.86 g
Peso seco lavado + bandeja ($\pm 0.1g$)	662.66 g
Peso seco lavado ($\pm 0.1g$)	528.38 g
% Material más fino que la malla # 200	3.91

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 54. CÁLCULO DE DENSIDADES Y % DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO, PROYECTO 1	
	W picn + muestra = 638.82 g
A = Peso Seco	416.87 g
B = Peso picnómetro + agua	668.21 g
C = Peso picnómetro + muestra + agua	921.80 g
D = Peso muestra	467.92 g
Gbs = A / (B+D-C)	1.95
Gbsss = D / (B+D-C)	2.18
Gba = A / (B+A-C)	2.55
% Absorción = ((D-A) / A)*100	12.2 %

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 55. CÁLCULO DE DENSIDADES Y % DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO, PROYECTO 2	
	W picn + muestra = 667.65g
A = Peso Seco	440.16 g
B = Peso picnómetro + agua	675.01 g
C = Peso picnómetro + muestra + agua	931.60 g
D = Peso muestra	490.04 g
Gbs = A / (B+D-C)	1.89
Gbsss = D / (B+D-C)	2.01
Gba = A / (B+A-C)	2.40
% Absorción = ((D-A) / A)*100	11.33%

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 56. CÁLCULO DE DENSIDADES Y % DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO, PROYECTO 3	
	W picn + muestra = 650.5 g
A = Peso Seco	405.02 g
B = Peso picnómetro + agua	668.21 g
C = Peso picnómetro + muestra + agua	923.70 g
D = Peso muestra	479.60 g
Gbs = A / (B+D-C)	1.81
Gbsss = D / (B+D-C)	2.14
Gba = A / (B+A-C)	2.71
% Absorción = ((D-A) / A)*100	18.41 %

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 57. CÁLCULO DE DENSIDADES Y % DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO, PROYECTO 4	
	W picn + muestra = 648.66 g
A = Peso Seco	423.46 g
B = Peso picnómetro + agua	668.21 g
C = Peso picnómetro + muestra + agua	919.30 g
D = Peso muestra	477.76 g
Gbs = A / (B+D-C)	1.87
Gbsss = D / (B+D-C)	2.11
Gba = A / (B+A-C)	2.46
% Absorción = ((D-A) / A)*100	12.82%

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 58. CÁLCULO DE DENSIDADES Y % DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO, PROYECTO 5	
	W picn + muestra = 673.18g
A = Peso Seco	458.37 g
B = Peso picnómetro + agua	675.01 g
C = Peso picnómetro + muestra + agua	950.30 g
D = Peso muestra	495.57 g
Gbs = A / (B+D-C)	2.08
Gbsss = D / (B+D-C)	2.25
Gba = A / (B+A-C)	2.50
% Absorción = ((D-A) / A)*100	8.12 %

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 59. CÁLCULO DE DENSIDADES Y % DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO, PROYECTO 6	
	W picn + muestra = 651.3 g
A = Peso Seco	442.67 g
B = Peso picnómetro + agua	668.21 g
C = Peso picnómetro + muestra + agua	936.70 g
D = Peso muestra	480.38 g
Gbs = A / (B+D-C)	2.09
Gbsss = D / (B+D-C)	2.27
Gba = A / (B+A-C)	2.54
% Absorción = ((D-A) / A)*100	8.52 %

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Los siguientes cuadros corresponden a los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los morteros en estudio.

CUADRO 60. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO TRADICIONAL, PROYECTO 1							
	Edad (días)	kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
PEGA	7	202.51	200.79	19.69	1.58	0.79%	Alta
		200.45					
		199.41					
	28	313.07	314.44	30.84	12.46	3.96%	Alta
		302.73					
		327.53					
REPELLO	7	180.81	178.06	17.46	2.60	1.46%	Alta
		175.65					
		177.71					
	28	312.03	318.23	31.21	20.35	6.40%	Alta
		301.70					
		340.96					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 61. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO TRADICIONAL, PROYECTO 2							
	Edad (días)	kg/cm2	kg/m2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
PEGA	7	150.85	154.64	15.16	4.88	3.16%	Alta
		160.15					
		152.92					
	28	245.91	247.63	24.28	7.89	3.19%	Alta
		240.74					
		256.24					
REPELLO	7	158.08	156.02	15.30	2.07	1.32%	Alta
		156.02					
		153.95					
	28	230.41	244.19	23.95	17.97	7.36%	Alta
		237.64					
		264.51					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 62. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO TRADICIONAL, PROYECTO 3							
	Edad (días)	kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
PEGA	7	150.85	152.99	15.00	1.92	1.26%	Alta
		153.54					
		154.57					
	28	185.98	177.03	17.36	8.35	4.72%	Alta
		175.65					
		169.45					
REPELLO	7	154.57	154.71	15.17	0.24	0.15%	Alta
		154.57					
		154.98					
	28	198.38	193.56	18.98	11.14	5.76%	Alta
		201.48					
		180.81					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 63. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO TRADICIONAL, PROYECTO 4							
	Edad (días)	kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
PEGA	7	194.25	192.52	18.88	1.58	0.82%	Alta
		191.15					
		192.18					
	28	277.49	275.03	26.97	2.25	0.82%	Alta
		273.07					
		274.54					
REPELLO	7	194.25	188.39	18.47	5.10	2.71%	Alta
		185.98					
		184.95					
	28	277.49	269.13	26.39	7.28	2.71%	Alta
		265.69					
		264.21					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 64. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO TRADICIONAL, PROYECTO 5							
	Edad (días)	kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
PEGA	7	215.94	225.24	22.09	9.30	4.13%	Alta
		234.54					
		225.24					
	28	308.49	321.78	31.56	13.28	4.13%	Alta
		335.06					
		321.78					
REPELLO	7	237.64	238.33	23.37	4.18	1.75%	Alta
		234.54					
		242.81					
	28	339.49	340.47	33.39	5.97	1.75%	Alta
		335.06					
		346.87					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 65. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO σ TRADICIONAL, PROYECTO 6							
	Edad (días)	kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
PEGA	7	194.25	180.19	17.67	12.42	6.89%	Alta
		170.69					
		175.65					
	28	277.94	291.37	28.57	11.74	4.03%	Alta
		299.63					
		296.54					
REPELLO	7	175.85	173.44	17.01	4.36	2.51%	Alta
		168.42					
		176.06					
	28	301.70	309.62	30.36	11.98	3.87%	Alta
		303.77					
		323.40					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 66. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO INDUSTRIALIZADO PEGABLOCK							
Edad (días)		kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
7	LAB	55.79	57.15	5.60	2.91	5.09%	Alta
		60.49					
		55.18					
	PEDREGAL	144.90	123.67	12.13	15.75	12.74%	Bastante
		117.27					
		124.71					
107.80							
28	LAB	76.84	76.70	7.52	0.12	0.15%	Alta
		76.63					
		76.63					
	PEDREGAL	172.00	174.99	17.16	7.11	4.07%	Alta
		169.07					
		185.28					
		173.60					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 67. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO INDUSTRIALIZADO MULTIUSO							
Edad (días)		kg/cm2	kg/cm2 (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
7	LAB	73.98	70.03	6.87	3.52	5.02%	Alta
		67.23					
		68.87					
	PEDREGAL	97.69	98.72	9.68	34.62	35.07%	Alta
		147.90					
		71.69					
		77.60					
28	LAB	109.33	106.20	10.41	4.74	4.46%	Bastante
		108.51					
		100.75					
	PEDREGAL	140.35	137.66	13.50	30.46	22.13%	Bastante
		179.39					
		110.50					
		120.40					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 68. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO INDUSTRIALIZADO REPELLO GRUESO							
Edad (días)		kg/cm ²	kg/cm ² (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
7	LAB	50.89	52.52	5.15	1.87	3.57%	Alta
		54.56					
		52.11					
	PEDREGAL	46.61	54.13	5.31			
		61.64					
28	LAB	91.55	94.14	9.23	2.66	2.82%	Alta
		94.01					
		96.87					
	PEDREGAL	67.91	68.55	6.72			
		69.18					
0.90	1.31%	Alta					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 69. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MORTERO TRADICIONAL UTILIZADO PARA FABRICAR PRISMAS DE MAMPOSTERIA						
Edad (días)	kg/cm ²	kg/cm ² (Promedio)	MPa promedio	σ	C.V	Representatividad
7	128.12	129.84	12.73	4.88	3.76%	Alta
	126.05					
	135.35					
28	200.45	201.48	19.76	1.03	0.51%	Alta
	201.48					
	202.51					

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 70. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE MAMPOSTERIA DE ACUERDO CON EL MORTERO UTILIZADO			
Prisma	f'm (kg/cm ²)		
	Multiuso	Pegablock	Tradicional
1	133.97	82.41	139.66
2	55.41	110.89	160.83
3	110.59	130.80	129.61
4	146.15	56.57	122.78
5	150.21	121.79	124.26
Promedio	119.27	100.49	135.43
σ	38.89	30.56	15.67
CV	32.61	30.41	11.57

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE LOS MORTEROS FABRICADOS EN SITIO E INDUSTRIALIZADOS, PARA LA EMPRESA PEDREGAL

CUADRO 71. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE CONCRETO UTILIZADOS EN LOS PRISMAS DE MAMPOSTERIA								
Bloque	Peso (kg)	Area neta (cm ²)	kg/cm ²	Mpa	Prom	σ	C.V	Representatividad
1	45600	270	168.89	16.57	148.89	14.52	9.75%	Alta
2	35200	270	130.37	12.79				
3	42000	270	155.56	15.27				
4	38200	270	141.48	13.88				
5	40000	270	148.15	14.54				

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Los cuadros 72 y 73 contienen el tiempo de fragua para el mortero tradicional y Multiuso respectivamente, y las resistencias a la penetración alcanzadas.

CUADRO 72. TIEMPO DE FRAGUA DEL MORTERO TRADICIONAL POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	
Tiempo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	4.25
30	9.17
60	15.65
90	25.26
120	26.70
150	33.43
180	38.28
210	48.0
240	60.15
270	65.92
300	108.36
330	164.61
360	165.60
390	177.24
420	264.09
450	303.53

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

CUADRO 73. TIEMPO DE FRAGUA DEL MORTERO INDUSTRIALIZADO TIPO MULTIUSO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Tiempo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	4.84
30	8.58
60	13.50
90	20.75
120	21.77
150	31.00
180	41.69
210	48.97
240	60.15
270	97.50
300	118.03
330	135.79
360	155.53
390	214.74
420	214.74
450	220.67
480	234.48
510	264.09
540	279.88

Fuente: (La autora), Microsoft Excel

Referencias

- Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica (CPCSCR) (2002). **CODIGO SISMICO DE COSTA RICA 2002**. (3ª ed.). Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- American Society for Testing and Materials, (1994) ASTM C136 "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.02,
- American Society for Testing and Materials, (2005) ASTM C144 "Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.05.
- American Society for Testing and Materials, (1994) ASTM C40 "Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.02.
- American Society for Testing and Materials, (1994) ASTM C117 "Standard Test Method for Materials Finer than 75 -µm (No 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.02.
- American Society for Testing and Materials, (1994) ASTM C128 "Standard Test Method for Density, Relative Density and Absorption in Fine Aggregates" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.02.
- American Society for Testing and Materials, (1994) ASTM C29 "Standard Test Method for Unit Weight and Voids Aggregate" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.02.
- American Society for Testing and Materials, (1994) ASTM C136 "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.02,
- American Society for Testing and Materials, (2005) ASTM C109 "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 2-in Cube Specimens)" Annual Book of ASTM Standards, Vol.4.01.
- INTECO, 2008. Norma INTE 06-03-04-08 ESPECIFICACION DE MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERIA. Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica.
- INTECO, 2008. Norma INTE 06-02-18-07 METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE MAMPOSTERÍA. Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica.
- CFIA, ICCYC, 2009. **ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DE LA MAMPOSTERÍA DE CONCRETO PARA VIVIENDA EN LA PROVINCIA DE SAN JOSE**. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto.
- Araya, M., 1998. **CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ESTRUCTURAL Y DEL MORTERO DE PEGA EN VIVIENDAS**. Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- Sánchez de Guzmán, D., 2001. **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO**. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Colombia.
- Gudiel, F., 2009. **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA**. Trabajo de Graduación. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Navas, A., 2007 **PROPEDADES A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERIA DE BLOQUES DE CONCRETO**. Ingeniería, San José Costa Rica.

