

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN
DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO DE BARRO COCIDO”**

PRESENTADO POR:

**GUILLERMO JOSUÉ BERRÍOS ALVARADO
JOSÉ HERIBERTO GÓMEZ BONILLA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**“REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN
DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO DE BARRO COCIDO”**

Presentado por :

**GUILLERMO JOSUÉ BERRÍOS ALVARADO
JOSÉ HERIBERTO GÓMEZ BONILLA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA
ING. CARMEN MARÍA CASTRO LÓPEZ**

San Salvador, Septiembre de 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

ING. CARMEN MARÍA CASTRO LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

A nuestra Alma Mater, la Universidad de El Salvador y a cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura quienes aportaron todo el conocimiento necesario para nuestra formación profesional.

Agradecemos de forma especial a nuestros asesores PhD. Edgar Armando Peña e Ing. Carmen María Castro, por apartar una parte de su tiempo y dirigir este trabajo de graduación por el buen rumbo.

De igual forma agradecemos al personal de laboratorio, Ing. Evelio López y Tec. Carlos Morataya, por permitirnos desarrollar nuestra parte experimental en el tiempo previsto.

Los Autores
(18/09/2015)

DEDICATORIA

A Dios primeramente por haberme dado sabiduría para lograr finalizar este trabajo de graduación, a mis padres Guillermo Berríos y Argentina Alvarado por apoyarme hasta el final y a mis hermanos Oscar Berríos y Beralice Berríos por brindarme su apoyo día a día.

Guillermo Berríos A.

DEDICATORIA

A nuestro Creador “en quien están escondidos todos los tesoros de la sabiduría y del conocimiento” (Col. 2:3).

A mi madre Mariana Bonilla, quien se ha asegurado de enseñarme muchas cosas durante toda mi vida.

A mi padre Heriberto Gómez, por su apoyo.

A mis hermanas Astrid y Tatiana Gómez.

José Gómez B.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1 “GENERALIDADES”	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 ALCANCES	6
1.5 LIMITACIONES	6
1.6 JUSTIFICACIONES	7
CAPÍTULO 2. “GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO DE BARRO COCIDO”	8
2.1 UNIDADES DE LADRILLO DE BARRO COCIDO.....	8
2.1.1 Definición de Ladrillo de Barro Cocido.....	8
2.1.2 Proceso de Fabricación.....	8
2.1.3 Clasificación de los Ladrillos de Barro.....	9
2.1.4 Dimensiones del Ladrillo de Barro.....	11
2.1.5 Control de Calidad de Ladrillo de Barro Cocido.....	12
2.2 MORTERO.	14
2.2.1 Definición de Mortero.	14
2.2.2 Clasificación de los Morteros de Cemento.....	14
2.2.3 Características de los Morteros Según su Clasificación.	15
2.2.4 Tipos de Morteros Utilizados en El Salvador.	16
2.2.5 Ensayo a Compresión de Morteros.	17
2.3 MÉTODOS DE REFRENTADO.	18
2.3.1 Definición de Refrentado.	18
2.3.2 Tipos de Refrentado.....	19
2.4 ENSAYOS RELACIONADOS CON LA DETERMINACIÓN DE $f'm$	26

2.4.1 Resistencia a Compresión de Unidades Individuales de Ladrillo de Barro Cocido.....	26
2.4.2 Resistencia a Compresión de Prismas de Ladrillo de Barro Cocido.	27
2.5 REVISIÓN DE NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES.	30
2.5.1 Normativas y Códigos Internacionales	30
2.5.2 Normativas Nacionales y Extranjeras	32
2.6 DISPOSICIONES RELACIONADAS CON EL ENSAYO A COMPRESIÓN DE PRISMAS.	35
2.6.1 Junta de Mortero en la Mampostería.	36
2.6.2 Determinación de las Dimensiones del Prisma.....	37
2.6.3 Construcción de los Prismas.	38
2.6.4 Factor de Corrección por Esbeltez	40
2.6.5 Curado de Prismas.....	42
2.7 OTROS ENFOQUES EN LA DETERMINACIÓN DE f'_m	44
2.7.1 Enfoques Semi-empíricos de Normativas.....	46
2.7.2 Enfoques Semi-empíricos de Diferentes Investigaciones.	49
2.8 MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	51
2.8.1 Definición de Módulo de Elasticidad.....	51
2.8.2 Determinación del Módulo de Elasticidad.....	51
CAPITULO 3. “DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS”	59
3.1 MATERIALES.....	59
3.1.1 Unidades Utilizadas.....	59
3.1.2 Mortero Utilizado.	59
3.2 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO.....	60
3.2.1 Mortero.....	60
3.2.1 Prismas de Mampostería de Barro Sólido.	61
3.3 ENSAYO.....	67
3.3.1 Equipo.....	67
3.3.2 Ensayo de Unidades.	67

3.3.3 Ensayo del Mortero.	71
3.3.4 Preparación de Prismas.	71
3.3.5 Ensayo de Prismas.	72
CAPITULO 4: “RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS”	74
4.1 EXPRESIONES ESTADÍSTICAS UTILIZADAS.	74
4.1.1 Promedio.....	74
4.1.2 Varianza.....	75
4.1.3 Desviación Estándar.	75
4.1.4 Coeficiente de Variación.....	76
4.2 TERMINOLOGÍA EMPLEADA	77
4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS DE LOS PRISMAS	78
4.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	80
4.4.1 Resultados de Ensayo de Unidades.....	80
4.4.2 Resultados de Ensayo de Morteros.....	81
4.4.3 Resultados de Ensayos en Prismas	82
4.4.4 Resultados de Ensayos en Prismas Normalizados.....	83
4.4.5 Resultados de Módulo de Elasticidad Obtenidos.....	85
4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS	86
4.5.1 Depuración de Resultados de Ensayo de Unidades.....	87
4.5.2 Depuración de Resultados de Ensayo de Mortero.....	87
4.5.3 Depuración de Resultados de Ensayo de Prismas	87
4.5.4 Depuración de Resultados de Módulo de Elasticidad	88
4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
4.6.1 Resistencia Promedio de Prismas de Mampostería de Ladrillo de Barro Cocido.....	89
4.6.2 Análisis de la Junta de Mortero.	90
4.6.3 Comparación de la Resistencia a Compresión de la Mampostería Experimental y Método Empírico (Ecuaciones).	91
4.6.4 Características Esfuerzo-Deformación	92

CAPITULO 5: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”	95
5.1 CONCLUSIONES	95
5.2 RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	103
ANEXO A “RESULTADOS DE ENSAYOS”	104
A1 “RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MORTEROS”	104
A2 “RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE UNIDADES”	106
A3 “RESULTADOS DE ENSAYO DE LOS PRISMAS”	107
ANEXO B “RESUMEN DE RESULTADOS”	115
B1 “RESUMEN DE RESULTADOS DE UNIDADES”	115
B2 “RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS MORTEROS”	116
B3 “PROMEDIO DE PRISMAS POR SERIES”	117
B4 “RESUMEN DE RESULTADOS DE PRISMA NORMALIZADOS”	119
B5 “RESULTADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD”	121
B6 “RESUMEN DE RESULTADOS DEPURADOS DE UNIDADES”	123
B7 “RESUMEN DE RESULTADOS DEPURADOS DE MORTEROS”	123
B8 “RESUMEN DE RESULTADOS DEPURADOS DE PRISMAS”	124
B9 “RESULTADOS DEPURADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD”	126
ANEXO C “GRÁFICOS DE PRISMAS ANALIZADOS”	127
C1 “GRÁFICOS CARGA – DESPLAZAMIENTO”	127
C2 “GRÁFICOS f_m – DEFORMACIÓN UNITARIA”	143
ANEXO D “CONDICIONES DE LOS PRISMAS ENSAYADOS”	159

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPITULO II. “GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA DE BARRO COCIDO”.

Fig. 2.1 – Proceso constructivo de las unidades de ladrillo de barro cocido en El Salvador.	9
Fig. 2.2 – Unidades de ladrillo de barro cocido sólidas.	10
Fig. 2.3 – Unidades huecas de ladrillo de barro cocido.	11
Fig. 2.4 – Proceso de elaboración y ensayo de cubos de mortero.	18
Fig. 2.5 – Proceso de elaboración de cubos de mortero de yeso y azufre.	20
Fig. 2.6 – Lámina de poliestireno.	23
Fig. 2.7 – Fibras de madera comprimida.	24
Fig. 2.8 – Neopreno (a la izquierda) y caucho reciclado (a la derecha).	25
Fig. 2.9 – Ensayo a compresión de unidades de ladrillo de barro cocido.	26
Fig. 2.10 – Construcción de prismas de mampostería.	27
Fig. 2.11 – Ensayo de prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.	28
Fig. 2.12 – Tipos de falla en prismas de mampostería.	30
Fig. 2.13 – Factores de corrección para prismas de mampostería.	42
Fig. 2.14 – Proceso de curado propuesto por diferentes normativas.	43
Fig. 2.15 – Diagrama de esfuerzo-deformación para (a) Módulo de Young; (b) Módulo Tangente; y (c) Módulo Cuerda.	53
Fig. 2.16 – Módulo de elasticidad por el método de la secante.	54
Fig. 2.17 – Determinación del módulo de elasticidad.	54

CAPITULO III. "DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS".

Fig. 3.1 – Cubos de mortero obtenidos de la mezcla; Identificación de los cubos para su proceso de curado.	61
Fig. 3.2 – Diferentes prismas a ensayarse.	62
Fig. 3.3 – Unidades utilizadas en la construcción de prismas	63
Fig. 3.4 – Preparación de las caras de las unidades superiores e inferiores de los prismas.	63

Fig. 3.5 – Corte de las unidades para prismas con junta vertical.	64
Fig. 3.6 – Proceso de saturación de las unidades.	64
Fig. 3.7 – Colocación de la primera hilada.	65
Fig. 3.8 – Colocación de la segunda hilada.	65
Fig. 3.9 – Nivelación y alineación de los prismas.	66
Fig. 3.10 Curado sellado de prismas.	66
Fig. 3.11 – Máquina de ensayo.	67
Fig. 3.12 – Corte con disco de las unidades.	68
Fig. 3.13 – Secado de los especímenes.	68
Fig. 3.14 – Registro del peso del espécimen.	69
Fig. 3.15 – Preparación y limpieza de la placa de refrentado.	69
Fig. 3.16 – Proceso de refrentado de los especímenes.	70
Fig. 3.17 – Especimen durante y después del ensayo a compresión.	70
Fig. 3.18 – Ensayo a compresión de cubos de mortero.	71
Fig. 3.19 – Toma de medidas del prisma.	72
Fig. 3.20 – Uso de refrentado no adherido durante el ensayo.	72
Fig. 3.21 – Registro de cargas y desplazamiento de la máquina de ensayo.	73
CAPITULO IV. "RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS".	
Fig. 4.1 – Modelos ensayados.	77
Fig. 4.2 – Tipos de falla presentes. De izquierda a derecha: Falla por tracción diagonal, separación de la unidad y agrietamiento de la unidad extrema.	79
Fig. 4.3 – Falla del tipo frágil.	79

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II. “GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA DE BARRO COCIDO”.

Tabla 2.1 – Variaciones Permisibles en las Dimensiones del Ladrillo de Barro Cocido.	12
Tabla 2.2 – Requisitos de la Resistencia a Compresión para Ladrillos de Barro Extruido Sólidos y Huecos.	13
Tabla 2.3 – Requisitos de Absorción de Agua para Ladrillos de Barro Cocido. .	14
Tabla 2.4 – Clasificación de los Morteros para Mampostería, Según su Resistencia a la Compresión.	15
Tabla 2.5 – Dureza Shore del Neopreno.....	25
Tabla 2.6 – Especificaciones de Espesores de Junta en la Mampostería.	37
Tabla 2.7 – Determinación de las Dimensiones del Prisma en Diferentes Normativas.	38
Tabla 2.8 – Revisión de Diferentes Normativas y Códigos Sobre La Construcción de Prismas.	40
Tabla 2.9 – Factores de Corrección de Altura a Espesor para la Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería (ASTM C 1314).....	40
Tabla 2.10 – Factores de Corrección de Altura a Espesor para la Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería.	41
Tabla 2.11 – Factores de Corrección de Altura a Espesor para Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería.	41
Tabla 2.12 – Resistencia a la Compresión de Mampostería de Arcilla.....	47
Tabla 2.13 – Valores de K.	48
Tabla 2.14 – Módulo de Elasticidad de la Mampostería en Diferentes Normativas.	58

CAPITULO IV. "RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS".

Tabla 4.1 – Grado de Representatividad del promedio.	76
---	----

Tabla 4.2 – Percentil 5 y 95 para las Unidades Ensayadas.	87
Tabla 4.3 – Percentil 5 y 95 para los Morteros Ensayados.	87
Tabla 4.4 – Percentil 5 y 95 para los Prismas Ensayados.....	88
Tabla 4.5 – Percentil 5 y 95 para los Prismas Ensayados.....	89
Tabla 4.6 – Comparación de la Resistencia a Compresión Promedio de Prismas Construidos con y sin Junta Vertical.	90
Tabla 4.7 – Resistencia a Compresión Experimental y Empírica.	91
Tabla 4.8 – Comparación de E_m Obtenido por Diferentes Métodos.	93
Tabla 4.9 – Comparación de E_m Obtenido por Diferentes Métodos.	94

INTRODUCCIÓN

En El Salvador la mampostería es uno de los principales sistemas de construcción, la cual, consiste en piezas moldeadas fabricadas industrialmente o artesanalmente, como lo son el bloque de concreto y el ladrillo de barro cocido. La evolución de estos sistemas constructivos ha sido considerable a lo largo del tiempo y de acuerdo a las necesidades que ha presentado nuestro país han ido modificando su tipología.

Para poder garantizar un buen diseño de las estructuras acorde con los materiales de nuestro medio, es necesario conocer acerca las principales propiedades de la mampostería como lo es la resistencia a compresión (f'_m) y módulo de elasticidad (E_m). Esta investigación pretende revisar la metodología para evaluar la resistencia a compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido, mediante los métodos que establece la Norma Técnica de Diseño y Construcción Estructural de Mampostería de El Salvador.

En esta investigación se presenta, en forma detallada y bajo una jerarquía lógica, una revisión de los diferentes factores que están involucrados en la resistencia a compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido. Al final de ésta, se presentan los resultados de los ensayos llevados a cabo sobre 64 prismas de mampostería, a fin de evaluar la resistencia a compresión utilizando dos tipos de mortero y utilizando refrentado del tipo flexible, en prismas construidos con diferentes configuraciones geométricas como lo son de 3,4 y 5 unidades sobrepuestas.

CAPITULO 1 “GENERALIDADES”

1.1 ANTECEDENTES

En El Salvador los diferentes sistemas de construcción se han desarrollado en la medida en que se han incrementado las necesidades a solventar y en miras de dar una respuesta satisfactoria en aspectos de economía, seguridad estructural y comodidad. Ya que nuestro país presenta alta vulnerabilidad ante fenómenos naturales extremos y por estar ubicado en una zona de alta sismicidad, estos sistemas constructivos se han desarrollado para obtener una mayor resistencia ante sollicitaciones sísmicas y de servicio en las edificaciones.

La evolución de los sistemas de construcción en El Salvador partió desde un rancho de paja con paredes de varas de maicillo, cambiando luego a edificaciones de adobe y bahareque hasta llegar a un sistema mixto de concreto, acero de refuerzo, ladrillo de barro y/o bloque de concreto.¹

La mampostería de ladrillo de barro cocido es un material de construcción utilizado por el hombre desde tiempos muy antiguos y es hasta el presente uno de los menos comprendidos en cuanto a sus propiedades mecánicas y comportamiento estructural. Esta deficiencia ha hecho que edificaciones construidas con este material hayan presentado fallas frente a sollicitaciones sísmicas, desempeñándose de manera no satisfactoria debido a la aplicación de procesos constructivos y de diseño inadecuados.

Existe una variedad de normas que abordan el diseño y construcción de este tipo de estructuras. En El Salvador, las primeras normas de diseño sísmico surgieron el 10 de enero de 1966 como consecuencia del sismo del 3 de mayo de 1965. Estas normas eran transitorias, sin embargo, estas permanecieron sin

¹ “Informe De Resultados De La Investigación Del Sistema Constructivo Bloque De Concreto Con Refuerzo Integral”, TAISHIN, 2008.

modificarse por casi 20 años. Fue hasta después del terremoto del 10 de octubre de 1986, y a raíz de sus consecuencias catastróficas, que se logró concretizar el Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico, el cual, fue oficializado en septiembre de 1989. En 1992 se inició el proyecto “Reglamento de Diseño Sísmico para la República de El Salvador”, el cual, se oficializó a través de un decreto ejecutivo del Gobierno en octubre de 1996.²

El Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador, contiene las Normas Técnicas vigentes en nuestro país, y en este se aborda el diseño y construcción de las estructuras de mampostería en tres diferentes partes:

1. Norma Técnica para Control de Calidad de Materiales Estructurales.

Capítulo 4. Mampostería. Esta establece los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir las unidades de mampostería, así como los componentes que forman la interfaz de la mampostería.

2. Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería.

Esta establece los requisitos mínimos de diseño y construcción en estructuras de mampostería.

3. Norma Especial para Diseño y Construcción de Viviendas.

En esta se definen los criterios estructurales y detalles constructivos de viviendas de uno y dos niveles a base de sistemas estructurales de paredes de carga (de mampostería y concreto), a las cuales pueden aplicarse procedimientos de diseño y construcción simplificados.

Es importante mencionar que desde 1997, más de diecisiete años a la fecha, no se han actualizado las normativas mencionadas anteriormente.

² Alvarado C. Luis, Pineda A. Santos, Ventura R. Joaquín, “Diseño de Elementos Estructurales de Concreto Reforzado”, Universidad de El Salvador, 2004.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Norma Técnica Para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería menciona que la resistencia de diseño a la compresión de la mampostería (f'_m) se podrá obtener básicamente mediante el ensayo de prismas de mampostería o mediante el ensayo de unidades individuales de mampostería.

Una revisión a dicha normativa nos muestra que la mayoría de las variables implicadas en el diseño de estructuras de mampostería son dependientes del valor de la resistencia de diseño a la compresión de la mampostería (f'_m), es por ello que, dicho valor posee un impacto considerable tanto en el diseño (en cuanto a la consideración de valores reales de resistencia), así como, en la construcción (control de calidad) de este tipo de estructuras.

Es necesario realizar investigaciones para sustentar una metodología adecuada para obtener la resistencia a compresión de la mampostería, que refleje las condiciones de nuestro medio, ya que mayormente, las normativa de nuestro país se basan en las investigaciones y/o normativas realizadas en otros países que no necesariamente reflejan las condiciones de nuestro país, ya sea en cuanto a materiales o procesos constructivos.

Otro aspecto que cabe destacar en la normativa es la recomendación del uso de morteros tipo M (construcciones de más de 2 niveles) y S (construcciones de 1 o 2 niveles), puesto que, en nuestro medio las construcciones de este tipo mayormente no son controladas y en las especificaciones se recomienda principalmente la utilización del mortero M, conviene aclarar la contribución que tendrá el uso de diferentes tipos de morteros en la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido.

Un factor a tomar en cuenta en la investigación, es la calidad de las unidades de los ladrillos de barro cocido, de manera que si bien, dichas unidades

proceden únicamente de un banco de material, éstas no poseen un proceso constructivo y control de calidad adecuado garantizado durante la fabricación de las mismas, lo cual, tiene incidencia en la resistencias de las unidades, por lo que se prevé que con prismas de la misma configuración geométrica se obtengan variabilidades significativas en los resultados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Revisar la metodología de evaluación de la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar la resistencia a compresión (f'_m) de la mampostería de ladrillo de barro cocido mediante ensayos experimentales.
- Verificar la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido utilizando dos tipos de morteros (M y N).
- Revisar los lineamientos establecidos en algunas normativas técnicas que aborden la evaluación de la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido.
- Verificar si existe alguna relación entre la resistencia a la compresión de una unidad de mampostería de ladrillo de barro cocido y la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido en sus diferentes configuraciones prismáticas y utilizando los morteros tipo M y N.
- Analizar las características de esfuerzo–deformación de los prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.

1.4 ALCANCES

- Se verificará mediante pruebas del laboratorio la resistencia a la compresión de los morteros tipo M y N a los 28 días mediante la utilización de equipo adecuado; estos morteros se utilizarán en la construcción de los prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.
- Se obtendrán valores de esfuerzo-deformación en los prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido mediante la utilización de la máquina universal, para revisar lo establecido en la Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería de El Salvador.
- Se ensayarán dos tipos de arreglos constructivos, con y sin junta vertical, para prismas de un tipo de configuración geométrica de prismas para verificar si la junta vertical posee alguna influencia sobre la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido.
- Se ensayarán a compresión unidades individuales de mampostería de ladrillo de barro cocido, y se revisará si existe alguna relación entre la resistencia a compresión de éstas, y el ensayo a la compresión de prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.
- Se verificará únicamente si existe algún efecto usar los morteros tipo M y N, en la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido.

1.5 LIMITACIONES

- Posible variación en los resultados de resistencia a compresión de unidades y prismas de mampostería de barro cocido, debido a su origen artesanal.

1.6 JUSTIFICACIONES

Se plantea esta investigación con el objetivo de revisar la metodología de evaluación de la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido mediante el ensayo de unidades individuales o de prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.

La falta de información específica por parte de la Norma Técnica Para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería, motiva la investigación para:

- Verificar si existe alguna relación entre la resistencia a la compresión de una unidad de ladrillo de barro cocido con la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido.
- Verificar la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido, utilizando dos tipos de mortero M y N.

CAPÍTULO 2. “GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO DE BARRO COCIDO”.

2.1 UNIDADES DE LADRILLO DE BARRO COCIDO.

2.1.1 Definición de Ladrillo de Barro Cocido.

El ladrillo de barro cocido es un tipo de unidad de mampostería compuesta de una mezcla de suelos granulares y arcilla fabricado de forma artesanal. Las dimensiones varían de acuerdo al país y a las normas que lo rigen. No tienen perforaciones y sus caras lucen rústicas.

2.1.2 Proceso de Fabricación.

En El Salvador no existe un método estandarizado para la fabricación de los ladrillos de barro cocido, y su proceso de manufactura se lleva a cabo mediante el uso de mano de obra y herramientas manuales.

El proceso constructivo del ladrillo de barro cocido varía en las diferentes zonas geográficas del país. Partiendo de ese punto es muy difícil esperar que las propiedades mecánicas de las unidades de ladrillo de barro cocido sean homogéneas y que presenten una calidad adecuada. Por ejemplo, en el departamento de San Vicente, la elaboración del ladrillo de barro cocido se realiza con materiales como: tierra blanca, suelo orgánico (tierra negra) y arcilla; mientras que, en el departamento de Santa Ana los principales materiales para la elaboración del ladrillo de barro cocido son únicamente tierra blanca y arcilla.³

³“Evaluación de la Resistencia a la Fractura de los Ladrillos de Barro Fabricados por Compresión”, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, 2006.



Etapa de Extracción de Material



Etapa de Elaboración y Secado del Material



Etapa de Cocción de Material



Producto Final

Fig. 2.1 – Proceso constructivo de las unidades de ladrillo de barro cocido en El Salvador.

(Fuente: "Evaluación de la Resistencia a la Fractura de los Ladrillos de Barro Fabricados por Compresión", UCA)

2.1.3 Clasificación de los Ladrillos de Barro.

En El Salvador, la Norma Técnica para el Control de Materiales Estructurales, en su capítulo 4, sección 4.5.2 define el concepto de unidad sólida y de unidad hueca de la siguiente manera:

Unidad sólida: Son aquellas que en su sección transversal, en cualquier plano paralelo a su superficie de apoyo, tienen un área neta mayor del 75% del área bruta.



Fig. 2.2 – Unidades de ladrillo de barro cocido sólidas.

Además, dicha normativa clasifica las unidades sólidas de ladrillo de barro cocido de acuerdo a la resistencia a la intemperie, en los siguientes grados:

- **Grado SW:**

Ladrillos sometidos a condiciones severas de intemperie. Puede ser utilizado en exteriores ya sea en paredes o en superficies en contacto con el suelo.

- **Grado MW:**

Ladrillo sometidos a condiciones de intemperie moderada. Funciona específicamente en paredes exteriores o en regiones donde la intemperie no es muy considerable.

- **Grado NW:**

Ladrillo para interiores no apto para intemperie.

Unidad hueca: Se consideran unidades huecas a aquellas en que su sección transversal, en cualquier plano paralelo a su superficie de apoyo, tienen un área neta entre 40% y 75% del área bruta.



Fig. 2.3 – Unidades huecas de ladrillo de barro cocido.

(Fuente: Tesis, “Unidades de Mampostería (H-10, H-15 Termosa) con Refrentado en Neopreno (Espesor 3/8”, 1/2”, 3/4””, Universidad Pontificia Bolivariana).

Las unidades huecas se clasifican en **GRADO SW** y **GRADO MW**, los cuales son similares a los correspondientes de las unidades sólidas ya mencionados anteriormente.

2.1.4 Dimensiones del Ladrillo de Barro.

Las dimensiones típicas de las unidades de ladrillo de barro cocido en nuestro medio son de 7 x 14 x 28 cm (espesor x base x largo, respectivamente). Estas dimensiones no son exactas, ya que como se mencionó anteriormente, su proceso de manufactura es artesanal, por lo tanto, se presentan variaciones dimensionales significativas en las unidades. Esto a su vez produce otros efectos como espesores no uniformes de juntas de mortero durante la construcción de elementos estructurales.

La norma ASTM C 62, hace referencia al tamaño del ladrillo de barro y establece que deberá ser especificado por el comprador existiendo variaciones permisibles en las dimensiones de estas unidades, las cuales se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 – Variaciones Permisibles en las Dimensiones del Ladrillo de Barro Cocido.⁴

Dimensiones Pulg. (mm)	Variaciones Máximas en las Dimensiones (±) Pulg. (mm)
Menos de 3 (76)	3/32 (2.4)
De 3 a 4 (76 a 102)	1/8 (3.2)
De 4 a 6 (102 a 152)	3/16 (4.8)
De 6 a 8 (152 a 203)	1/4 (6.4)
De 8 a 12 (203 a 305)	5/16 (7.9)
De 12 a 16 (305 a 406)	3/8 (9.5)

Cabe mencionar que la norma ASTM C 62 muestra valores de tolerancias en función de las dimensiones de las unidades construidas de manera industrial y no de forma artesanal.

2.1.5 Control de Calidad de Ladrillo de Barro Cocido.

En El Salvador, la Norma Técnica Para Control de Calidad de Materiales Estructurales, en su capítulo 4, define los requerimientos físicos a tomar en cuenta en la calidad de los ladrillos de barro cocido los cuales son:

- Resistencia a la compresión.
- Absorción de agua.

También en ese mismo capítulo, en la sección 4.6.1 menciona como parte control de calidad de las unidades de mampostería de barro cocido lo siguiente:

- El muestreo y ensayo de las unidades de mampostería de barro extruidas estarán de acuerdo con las provisiones del “Método estándar de muestreo y ensayo de ladrillo y bloques estructurales de arcilla” (ASTM C 67).
- El muestreo y ensayo de las unidades de mampostería de barro sólido cocido estarán de acuerdo con las provisiones del “Método estándar de

⁴ FUENTE: Tabla 3. ASTM C 62.

muestreo y ensayo de ladrillo y bloques estructurales de arcilla” (ASTM C 67).

2.1.5.1 Resistencia a la Compresión.

La Norma Técnica Para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería, en la tabla 3.1 muestra los requisitos de resistencia a compresión para el ladrillo de barro cocido. Cabe mencionar que los valores que presenta dicha tabla son tomados de la norma ASTM C 62. Además, dicha normativa establece que, para el ladrillo de barro cocido, la resistencia mínima a la compresión no debe tomarse mayor de 40 kg/cm^2 para efectos de diseño.

Tabla 2.2 – Requisitos de la Resistencia a Compresión para Ladrillos de Barro Extruido Sólidos y Huecos.⁵

Designación	Resistencia Mínima a la Compresión f'_u (kg/cm ²) por Área Bruta	
	Promedio de 5 ladrillos	Individual
SW	210	175
MW	175	154
NW*	105	87.5

*NW Válido sólo para ladrillo sólido.

2.1.5.2 Absorción de agua.

Los requerimientos de absorción de agua de los ladrillos de barro cocido, los aborda la Norma Técnica Para el Control de Calidad de Materiales Estructurales de nuestro país, en la tabla 4.8, los cuales están basados en la norma ASTM C 62.

⁵ FUENTE: Tabla 1. ASTM C 62.

Tabla 2.3 – Requisitos de Absorción de Agua para Ladrillos de Barro Cocido.⁶

Designación	Absorción Máxima 5h de Hervido %		Máximo Valor de Coeficiente de Saturación	
	Promedio de 5 Ladrillos	Individual	Promedio de 5 Ladrillos	Individual
SW	17.20	20.00	0.78	0.80
MW	22.00	25.00	0.88	0.90
NW	Sin límite	Sin límite	Sin límite	Sin límite

2.2 MORTERO.

2.2.1 Definición de Mortero.

El mortero es una mezcla homogénea de materiales cementantes, agregado fino, y agua, la cual puede contener aditivos y es usualmente usada en el pegamento de unidades de mampostería.⁷

2.2.2 Clasificación de los Morteros de Cemento.

La norma ASTM C 270-03b, clasifica los morteros de pegamento de unidades de mampostería de acuerdo a sus propiedades mecánicas y dosificación. Originalmente se especificaban cinco tipos de mortero (M, S, N, O y K) y recientemente en esta norma, se dejó de cubrir el mortero K, proporcionando información únicamente sobre los otros cuatro tipos de mortero, los cuales se presentan en orden descendente respecto a sus valores de resistencia a compresión en la Tabla 2.4.

⁶ FUENTE: Tabla 1. ASTM C 62.

⁷ "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, 14a ed., 2002.

Tabla 2.4 – Clasificación de los Morteros para Mampostería, Según su Resistencia a la Compresión.⁸

Tipos de Mortero	Resistencia a la Compresión			Cemento Portland	Cemento Albañilería	Cal	Agregado Fino Suelto
	(MPa)	(kg/cm ²)	(psi)				
M	17.2	175	2800	1 1	1 -	0.25	Entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizado
S	12.4	126	1800	0.5 1	1 -	0.25 a 0.50	
N	5.2	53	750	- 1	1 -	0.5 a 1.25	
O	2.4	25	350	- 1	1 -	1.25 a 2.5	

2.2.3 Características de los Morteros Según su Clasificación.

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Perú, en la publicación “Tecnología de Materiales”⁹, describe cada tipo de mortero de la siguiente manera:

Mortero tipo M:

- Es un mortero de alta resistencia a compresión.
- Posee mayor durabilidad en comparación de los otros tipos de mortero.

⁸ FUENTE: Tabla 1. ASTM C 270.

⁹ <https://es.scribd.com/doc/89821223/MORTEROS-DE-CEMENTOS>, consultado 21/05/2015, 15:04.

- Se usa en mampostería sometida a grandes cargas de compresión, cargas laterales de tierra, viento y sismo.
- Se recomienda su uso en estructuras en contacto con el suelo, cimentaciones, muros de contención, etc.

Mortero tipo S:

- Posee mayor adherencia que otros morteros.
- Su uso está destinado a cargas de compresión normales, pero que a su vez requieran alta adherencia.
- Debe utilizarse únicamente donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como el revestimiento de cerámicos.

Mortero tipo N:

- Es un mortero de propósito general y es utilizado en estructuras sobre el nivel del suelo.
- Es de gran utilidad en paredes internas y divisiones.
- Representa la mejor combinación entre resistencia, trabajabilidad y economía.

Mortero tipo O:

- Son morteros de baja resistencia y elevado contenido de cal.
- Son utilizados en viviendas de un nivel.
- Es preferido grandemente por los albañiles por su alta trabajabilidad y economía.

2.2.4 Tipos de Morteros Utilizados en El Salvador.

En El Salvador, la Norma Técnica Para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería, en el capítulo 3, sección 3.3 establece que los morteros a utilizar en estructuras de mampostería son los tipo M y S, los cuales, deben de cumplir

con los valores de resistencia a compresión y los valores de dosificación mostrados en la Tabla 2.4.

La tabla 4.1 de la Norma Técnica para el Control de Calidad de Materiales Estructurales, define los casos en donde se puede hacer uso de los morteros M y S de manera similar a lo descrito en el acápite 2.2.3.

Cabe mencionar que si bien la normativa de nuestro país, recomienda la utilización del mortero tipo S, este no se especifica a menudo en la construcción de estructuras de mampostería especificándose generalmente el mortero tipo M.

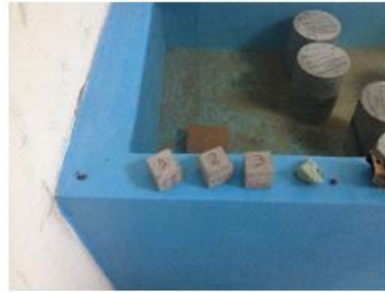
2.2.5 Ensayo a Compresión de Morteros.

La resistencia a compresión de los morteros se verifica de acuerdo al método de ensayo descrito en la norma ASTM C 109 mediante especímenes cúbicos de mortero. Dicho ensayo pretende verificar la resistencia a compresión por cada tipo de mortero y comparar su resultado con los valores de resistencia a compresión que nos brinda la Norma ASTM C 270.

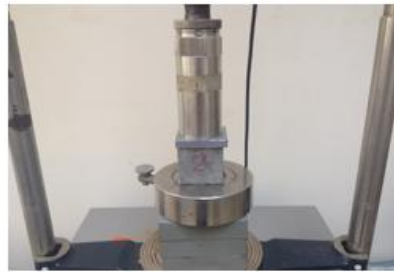
En este método de ensayo se define la construcción de 2 a 3 cubos de mortero de 2 pulgadas de dimensión para cada edad de prueba, ya sea para 7 y 28 días o para 7, 14 y 28 días respectivamente.



Elaboración de Cubos



Identificación y Posterior curado de Cubos.



Resistencia a Compresión de Cubos.

Fig. 2.4 – Proceso de elaboración y ensayo de cubos de mortero.

2.3 MÉTODOS DE REFRENTADO.

2.3.1 Definición de Refrentado.

El refrentado es un proceso a través del cual se garantiza que la superficie superior e inferior de las unidades de mampostería de ladrillo de barro cocido, sean paralelas a las caras de las placas de la máquina de ensayo y que estén libres de irregularidades para que al momento que se aplique la carga axial por

medio de la máquina, ésta sea distribuida uniformemente para poder determinar la resistencia a la compresión.¹⁰

2.3.2 Tipos de Refrentado.

Existen dos clases de refrentado para evaluar la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido, y estos son:

- Refrentados constituidos de materiales adheridos.
- Refrentados constituidos de materiales no adheridos.

2.3.2.1 Refrentado constituido de materiales adheridos.

El refrentado con materiales adheridos, lo componen principalmente materiales como los morteros de yeso y de azufre, con una resistencia mínima a la compresión de 35 MPa, según se especifica en la norma ASTM C 672.

Estos tipos de morteros se caracterizan por constituir un refrentado rígido, ya que presentan grandes resistencias a compresión, mayores a los valores de resistencia de los morteros de pegamento usados en estructuras de mampostería.¹¹

A estos materiales de refrentado rígido se les verifica su resistencia mediante la elaboración y ensayo de cubos a compresión, siguiendo el procedimiento de ensayo establecido en la norma ASTM C 109, que consta de las fases ilustradas en la Figura 2.5.

¹⁰“Análisis de los Esfuerzos de Compresión en Unidades de Mampostería Estructural y Muretes E-9, E-11 y E-14 de una Empresa de Santander”, Universidad Pontificia Bolivariana.
“Ibídem.



Fig. 2.5 – Proceso de elaboración de cubos de mortero de yeso y azufre.

(Fuente: “Análisis de los esfuerzos de compresión en unidades de mampostería estructural y muretes E-9, E-11 Y E-14 de una empresa ladrillera de Santander”, Universidad Pontificia Bolivariana)

Existe una variedad de normativas que describen el uso de refrentado adherido, algunas de ellas son:

- **Norma Técnica Ecuatoriana de Construcción (NEC-10):** El prisma debe refrentarse en sus extremos con mortero de yeso. El espesor promedio de la capa de yeso debe ser menor o igual a 3.5 mm. La capa de refrentado deben colocarse por lo menos 24 horas antes de efectuar el ensayo y el mortero de yeso debe tener una resistencia a la compresión mayor o igual a 35 MPa.
- **Norma Técnica Guatemalteca (COGUANOR NTG 41051 h2):** Establece que los prismas se deben refrentar de acuerdo con la práctica ASTM C 1552.

- **Norma Técnica Peruana NTP 339.605 (“Método de Ensayo Para la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Prismas de Albañilería”)**: Establece que el refrentado con yeso de cemento en la parte superior e inferior en el prisma deben ser paralelos a las placas de la máquina de ensayo, además que el espesor promedio de la capa de refrentado no excederá de 3 mm.
- **Norma ASTM C 1552 (“Práctica Estándar Para Cabeceo de Unidades de Mampostería de Concreto”)**: Esta normativa recomienda la utilización de azufre, en mezclas del 60% y 80 % por peso del mismo, el resto será arcilla cocida u otro material adecuado que pase por el tamiz No. 100. Se recomienda utilizar una capa de refrentado de 0.003 pulgadas de azufre en 16 pulgadas (0.075 mm en 400 mm) y que el espesor de la capa tenga como mínimo 3 milímetros.
- **Norma ASTM C 617 (“Práctica Estándar para Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto”)**: Esta normativa establece el mortero de azufre y el mortero de yeso, como material de refrentado adherido. Para el mortero de azufre y el mortero de yeso, se establece que tengan una resistencia mínima a la compresión de 35 MPa, para verificar esto se deben ensayar cubos de forma similar al ensayo a compresión de morteros de establecidos en la Norma ASTM C 109.
- **Norma Técnica Colombiana NTC 504 (“Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto”)**: Establece que para un espécimen de concreto de 21 MPa, el yeso de refrentado debe tener una resistencia de 34.5 MPa, y que el espesor del refrentado debe ser el mismo en las 2 caras y no debe exceder los 3 mm.
- **Norma Técnica Colombiana NTC 490 (“Yeso para Refrentado de especímenes Cilíndricos de Concreto”)**: El yeso de refrentado de los especímenes cilíndricos de concreto debe tener una resistencia a la compresión de 35 MPa.

2.3.2.2 Refrenados con materiales no adheridos.

El refrentado con materiales no adheridos consiste mayormente en piezas de neopreno retenidas en platos de metal, el cual, representa una solución alternativa al refrentado tradicional, basado en una metodología limpia y no contaminante. Esta alternativa de refrentado es utilizada y normada en países como Argentina, Colombia y Estados Unidos, por las normas IRAM 1709, NTC 3801 y por la ASTM C 1231, respectivamente.¹²

El estudio realizado por la Universidad de Brigham Young de Estados Unidos, “Analisis of Unbonded Capping Materials in Determining the Compresive Strength of Concrete Masonry Prisms” menciona los principales materiales que pueden utilizarse como refrentado no adherido en la evaluación de la resistencia a la compresión de prismas de mampostería, entre los cuales tenemos:

- **Lámina de poliestireno (laminated expanded polystyrene):**

La lámina de poliestireno es una lámina relativamente rígida, que es comúnmente usada para el aislamiento térmico de edificios.

La ventaja del uso de este tipo de material es que cuando se somete a fuerzas de compresión tiene deformaciones muy bajas por lo cual es ideal para cubrir las imperfecciones que presentan las superficies de mampostería. Se recomienda que en el refrentado de prismas de mampostería, utilizando este material, se utilice un espesor de media pulgada (12.7 mm).

¹²“El Uso del Refrentado no Adherido, en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón”, Universidad de Magallanes, 2010.



Fig. 2.6 – Lámina de poliestireno.

(Fuente: Tesis "Analysis of Unbonded Capping Materials in Determining the Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms" Universidad Brigham Young)

- **Fibras de madera comprimida (fiber board):**

Este tipo de material tiene la ventaja principal de estar fácilmente disponible en el mercado y a la vez de presentar un precio económico sobre otros tipos de materiales.

Otra ventaja es que laboratorios pueden realizar ensayos de compresión de rutina sin tener que recurrir en sistemas de refrentado no adherido más costoso como lo es el neopreno o el refrentado tradicional de yeso o azufre. Se recomienda el uso de este tipo de refrentado sobre todo en los ensayos a compresión de especímenes que presentan una superficie relativamente regular donde este material se puede adaptar fácilmente, como por ejemplo, en las unidades de bloque de concreto o prismas de mampostería de bloque de concreto. El espesor que se requiere para que pueda usarse como refrentado no adherido en prismas de mampostería es de media pulgada (12.7 mm).

La desventaja principal de este material es que es más rígido que el caucho o neopreno, y por lo tanto es menos propenso a ajustarse a las imperfecciones de la superficie de las unidades de mampostería de barro cocido.



Fig. 2.7 – Fibras de madera comprimida.

(Fuente: Tesis "Analysis of Unbonded Capping Materials in Determining the Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms" Universidad Brigham Young).

- **Neopreno y caucho reciclado:**

El neopreno se ha convertido en un material de refrentado común para evaluar la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto. El uso de este material ha sido estandarizado en la Norma ASTM C 1231/1231M ("Práctica Estándar para el Uso de Tapas no Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido").

El neopreno ha sido adoptado como un método aceptable para evaluar la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto, ya que los tapones de neopreno son duraderos, reutilizables y fácilmente se deforman para adaptarse a las imperfecciones e irregularidades de superficie en los extremos del espécimen. El espesor recomendable para utilizarse como material de refrentado es de media pulgada (12.7 mm).



Fig. 2.8 – Neopreno (a la izquierda) y caucho reciclado (a la derecha).

(Fuente: Tesis "Analys of Unbonded Capping Materials in Determining the Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms" Universidad Brigham Young).

La dureza y el espesor de la almohadilla de neopreno son de importancia para asegurar la eficacia de este método. La resistencia y el módulo de elasticidad de una muestra a ensayar, se correlacionan directamente con la resistencia requerida y la rigidez de neopreno.

Una propiedad del neopreno es la dureza Shore, que es una medida de la resistencia a la deformación inelástica del caucho, polímeros y elastómeros.

La dureza del neopreno está relacionada con número de usos y los niveles de resistencia a la compresión de las probetas como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 – Dureza Shore del Neopreno.¹³

Niveles de Resistencia a la Compresión de las Probetas (MPa)	Dureza Shore A	Número de Reusos (Máximo)
10 a 40	50 ± 5	100
17 a 50	60 ± 5	100
28 a 50	70 ± 5	100
50 a 85	70 ± 5	50

¹³FUENTE: Tabla 2.3, "El Uso del Refrentado no Adherido, en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Hormigón", Universidad de Magallanes.

2.4 ENSAYOS RELACIONADOS CON LA DETERMINACIÓN DE f'_m .

Los ensayos comúnmente relacionados con la determinación de la resistencia a compresión de la mampostería son:

- Ensayo de resistencia a compresión de unidades individuales de ladrillo de barro cocido.
- Ensayo de resistencia a compresión de prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.

A continuación se define en qué consiste cada uno de estos ensayos y las normativas que hacen mención y describen dichos ensayos:

2.4.1 Resistencia a Compresión de Unidades Individuales de Ladrillo de Barro Cocido.

Este tipo de ensayo tiene el objetivo de comprobar la calidad de las unidades de ladrillo de barro cocido utilizadas en obras de mampostería. Algunas normativas proponen ensayar unidades para estimar la resistencia a compresión de mampostería (f'_m) de manera rápida y mediante el uso de expresiones o tablas establecidas en ellas mismas.



Fig. 2.9 – Ensayo a compresión de unidades de ladrillo de barro cocido.

(Fuente: Tesis “Resistencia de la Mampostería Reforzada Exterioemente Usando Malla Electrosoldada con Fines de Reforzamiento de la Ciudad de Ocaña”).

Entre las normativas que abordan este ensayo tenemos:

- Norma ASTM C 67.
- Norma Mexicana NMX-C-036.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.605.

2.4.2 Resistencia a Compresión de Prismas de Ladrillo de Barro Cocido.

El objetivo de este ensayo es conocer el valor de la resistencia a la compresión de la mampostería de barro cocido (f'_m), para fines de diseño y control de calidad en la construcción de este tipo de estructuras.

Para la ejecución de este tipo de ensayo deben construirse prismas constituidos por dos o más unidades de albañilería (ladrillos), según la norma ASTM C 1314, quien especifica que se deben utilizar las mismas unidades de los elementos que representan, asentadas una sobre otra mediante capas de mortero con las mismas propiedades del que se utilizó en obra. La altura de estos prismas no debe ser excesiva, a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte desde el lugar de su construcción hacia el laboratorio.

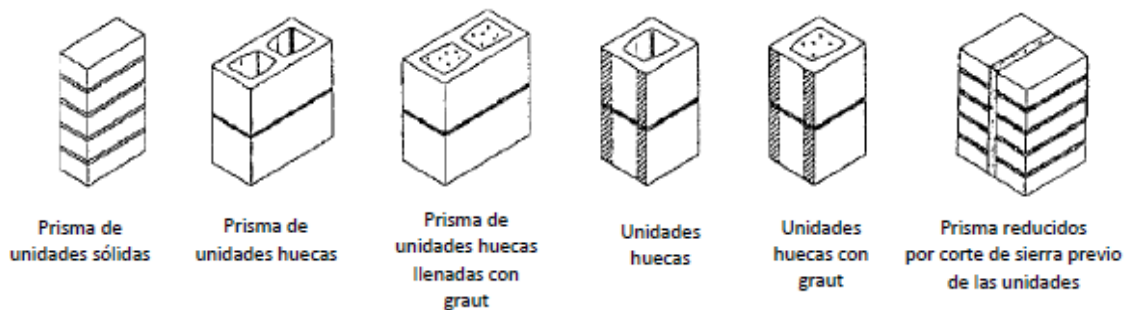


Fig. 2.10 – Construcción de prismas de mampostería.

(Fuente: ASTM C 1314)

Estos prismas son ensayados a los 28 días mediante compresión axial según la Norma ASTM C 1314.



Fig. 2.11 – Ensayo de prismas de mampostería de ladrillo de barro cocido.

Una vez obtenido el valor de resistencia última sobre los prismas de mampostería, se debe tomar en cuenta el efecto de esbeltez, es por ello que, dicho valor de resistencia a la compresión es afectado por factores de corrección que normalizan la resistencia a compresión de prismas de mampostería según su configuración geométrica.

Existen diferentes normativas que describen este método de ensayo para la evaluación de resistencia de compresión de prismas de mampostería, entre las cuales tenemos:

- Norma ASTM C1314 (“Método Estándar de Prueba de Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería”).
- Norma Técnica Peruana de Albañilería NTE E.070.
- Norma Técnica Peruana 339.613:2003 “Método de Ensayo para La Resistencia a la Compresión de Prismas de Albañilería”.

- Norma Chilena Oficial NCH.2123.OF.97 (“Albañilería Confinada – Requisitos de Diseño y Cálculo”).
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-1998).
- Normas Técnicas Mexicanas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

2.4.2.1 Tipos de fallas en los prismas de mampostería.

La Norma ASTM C 1314, menciona siete tipos de fractura que se presentan en el ensayo a compresión de prismas de mampostería, los cuales son:

- Fractura Cónica.
- Cono y Corte o Tracción Diagonal.
- Cono y Tracción Indirecta.
- Fractura por Tracción Axial.
- Fractura Semi – Cónica.
- Fractura por corte o Tracción Diagonal.
- Separación de Pared Externa de Unidad.

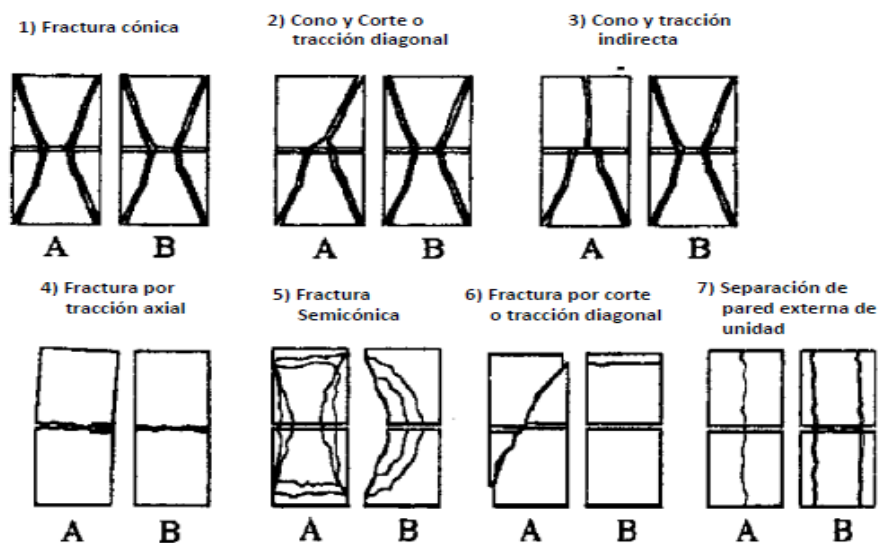


Fig. 2.12 – Tipos de falla en prismas de mampostería.

(Fuente: ASTM C 1314)

2.5 REVISIÓN DE NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES.

Existe una variedad de normativas que abordan el tema de la resistencia a la compresión de la mampostería, algunas se basan en características propias del país donde se utilizan, otras adoptan disposiciones establecidas en normativas o códigos internacionales, mientras que otras adoptan una combinación de ambas.

A continuación se mencionan algunas normativas que se adoptan a nivel internacional y en algunos países de la región.

2.5.1 Normativas y Códigos Internacionales

Las principales normativas y códigos que cuentan con información acerca de los métodos para obtener la resistencia a la compresión de la mampostería son:

ASTM C 1314–02a. “Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prism”. Este método de ensayo presenta los procedimientos para la

construcción y ensayo de prismas de mampostería y los procedimientos para determinar la resistencia a compresión de la mampostería f_{mt} (obtenida a partir de ensayo de prismas), usada para determinar el cumplimiento con la resistencia a compresión especificada de la mampostería, f'_m (sobre la cual el proyecto fue diseñado y está especificada en planos y/o especificaciones técnicas).

ACI 530-05 “Building Code Requirements for Masonry Structures”. Este código provee los requerimientos mínimos para el diseño estructural y construcción de elementos de mampostería que consisten en unidades pegadas con mortero. En ACI 530.1 se menciona que existen dos métodos separados para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería: el método de la resistencia de la unidad que elimina el gasto de ensayos de prismas pero que es más conservador en cuanto a resultados; y el método de ensayo de prismas de acuerdo con lo descrito en ASTM C 1314, el cual, es seleccionado por dicho código como un método uniforme para determinar su resistencia a la compresión de la mampostería.

Eurocode 6 “Design of Masonry Structures” (EN 1996-1-1:2005). En este código se describen los requerimientos para seguridad, capacidad de servicio y durabilidad de las estructuras de mampostería, aplicados en el diseño de edificaciones y en trabajos de ingeniería civil sobre mampostería reforzada, no reforzada, pretensada y confinada. La resistencia a la compresión se obtiene experimentalmente utilizando la norma EN 1052-1 o en términos de una ecuación que relaciona la resistencia a compresión de la mampostería con la resistencia de las unidades y del mortero, la cual, se describe a detalle en la sección 3.6.1.2 de dicho código.

International Building Code (IBC 2009). El IBC establece los requisitos mínimos para la construcción de sistemas que utilizan disposiciones reguladas

y relacionados con el rendimiento. Lo concerniente con la mampostería se cubre mayormente en el capítulo 21 “Masonry” el cuál da especificaciones en cuanto a los materiales, diseño, construcción y calidad de la mampostería. En este código se menciona que la determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería se establecerá por el método de la resistencia de la unidad o por el método de ensayo de prismas construidos y ensayados conforme a ASTM C 1314.

2.5.2 Normativas Nacionales y Extranjeras

Se han tomado como criterio para la selección de las normativas a revisar, los países latinoamericanos, que de acuerdo con el Global Seismic Hazard Program, poseen riesgo sísmico alto a muy alto, entre los cuales podemos mencionar: México, países Centroamericanos, Colombia, Ecuador, Perú y Chile.

Cabe aclarar, que algunas de estas normativas comparten ciertos criterios, además, se utilizan nomenclaturas un tanto diferentes para hacer referencia a un mismo parámetro, por ejemplo, la resistencia a la compresión de las unidades es denotada como f'_b , f'_u o f'_p , de acuerdo a diferentes normas.

Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería (El Salvador). Esta norma técnica forma parte del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones, en la cual se establecen los requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de mampostería. En ésta se menciona que la resistencia de diseño a la compresión de la mampostería f'_m , se podrá obtener mediante el ensayo de prismas y ensayo de unidades. En la Norma Técnica para Control de Calidad de Materiales Estructurales, capítulo 4, sección 4.6.1 especifica que cuando la resistencia a la compresión de la mampostería deba verificarse por medio de ensayos de prismas, se deben construir y ensayarse éstos de acuerdo con la

norma ASTM E 447, la cual ha sido retirada desde 1998. Además, aclara que se ensayan por lo menos cinco prismas antes del inicio de la construcción y por lo menos tres prismas por proyecto o por cada 400 m² de pared.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Mampostería (México). Esta contiene requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de estructuras de mampostería. Respecto a la obtención del valor de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería (f_m^*), se describen en ella tres procedimientos para su obtención: ensayo de prismas (construidos con las unidades y morteros que se emplearán en la obra), a partir de la resistencia de diseño de las unidades y el mortero, y también, a partir de valores indicativos.

Código Sísmico de Costa Rica 2002 (Costa Rica). Este establece los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción sismo-resistente de edificaciones y obras afines que se construyan en Costa Rica. En el capítulo 9 “Requisitos para Mampostería Estructural”, se especifica que se deben satisfacer especificaciones establecidas en dicho código y en el IBC 2000; además, se hace mención en el Anexo A de dicho código que la resistencia a compresión se debe basar en ensayos de prismas construidos con los mismos materiales y mano de obra que se utilizan en la construcción de la obra, para lo cual los prismas deben ser ensayados según la norma ASTM C 1314. Asimismo, establece que cuando no exista información obtenida del ensayo de prismas, el valor de f_m se puede suponer según la clase de mampostería (A, B o C) por medio de una tabla establecida en el anexo antes mencionado.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Título D. Mampostería Estructural (Colombia). En éste se establecen los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Además, se establece que el valor especificado

para la resistencia a la compresión f'_m , se debe determinar de acuerdo con alguno de los siguientes procedimientos: por medio de registros históricos, por determinación experimental sobre muretes (prismas) de prueba (de acuerdo con la norma NTC 3495), y por medio de ensayos sobre materiales individuales.

Norma Ecuatoriana de Construcción. NEC-10. Parte 5. Mampostería Estructural (Ecuador). Este subcapítulo comprende un grupo de normas y requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de mampostería simple, mampostería armada y mampostería confinada. En ésta se establece que la resistencia a compresión de la mampostería se puede determinar de dos maneras: experimental (mediante ensayo de prismas, descrito en los anexos de dicha norma), y teórica (determinada mediante ecuaciones, a partir de la resistencia a la compresión de las unidades y del mortero).

Norma Técnica E. 070 Albañilería 2006 (Perú). Esta norma establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados. En el capítulo 5 “Resistencia de Prismas de Albañilería”, se establece que para determinar f'_m , se podrá hacer de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas (NPT 399.605), de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre como se establece en ésta.

Norma Chilena. NCh 1928.Of1993 Modificada en 2009 y NCh 2123.Of1997 Modificada en 2003. Estas normas establecen los criterios de diseño y sus limitaciones y los métodos de cálculo de la albañilería armada y confinada respectivamente, usada en las construcciones que utilicen estructuralmente unidades de albañilería o de hormigón. En cuanto a la resistencia prismática de

proyecto de albañilería f'_m , se establece que se debe determinar con alguno de los procedimientos siguientes: a partir de ensayos de prismas de albañilería (conforme al Anexo B, NCh 1928), y a partir de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería (cuando las unidades y el mortero cumplan especificaciones estipuladas en la misma).

2.6 DISPOSICIONES RELACIONADAS CON EL ENSAYO A COMPRESIÓN DE PRISMAS.

No existe un acuerdo en cuanto a formas de determinar la resistencia a la compresión de la mampostería; en la medida que las investigaciones demuestran que las condiciones cambian, éstas se adaptan para representar de la mejor manera posible las condiciones reales, las cuales varían de un lugar a otro.

La resistencia a la compresión de la mampostería se ve afectada por la resistencia de las unidades, el espesor y la resistencia del mortero utilizado en las juntas, la mano de obra y el curado, entre otros factores. Estos factores se consideran que son mejor reflejados en los resultados obtenidos al ensayar prismas, comparado con uso de expresiones o tablas en la estimación de f'_m . Por lo tanto, recurrir al ensayo de prismas rendirá resultados más representativos del desempeño en la obra de mampostería, que el ensayo individual de los materiales componentes de la mampostería. Es por ello que se espera que la resistencia a la compresión de la mampostería determinada mediante prismas sea más alta comparada con la obtenida mediante el uso de tablas o ecuaciones. El uso de tablas o ecuaciones posee la ventaja de estimar valores de resistencia a la compresión en menor tiempo y sin incurrir en gastos de construcción y ensayo de prismas, pero, este método posee como

desventaja que no da una verificación en cuanto al control de calidad de la mano de obra y el curado como lo da el ensayo de prismas.¹⁴

A continuación se revisan las disposiciones más relevantes aplicables en la construcción de prismas de mampostería para determinar la resistencia a la compresión, con énfasis en los prismas contruidos con ladrillo de barro cocido (arcilla).

2.6.1 Junta de Mortero en la Mampostería.

La junta de mortero es una de las partes más débiles en la mampostería. La resistencia a la compresión del mortero en la junta afecta la resistencia a la compresión de la mampostería, esto en un grado menos significativo de lo que se podría asumir. Por ejemplo, se ha demostrado a través de ensayos, que la resistencia a la compresión en mampostería de concreto sin celdas llenas, únicamente se incrementa alrededor del 10%, cuando la resistencia del mortero es incrementada un 130%.¹⁵

El espesor de la junta también posee cierto grado de influencia sobre la resistencia a la compresión de la mampostería, esto se debe a que juntas delgadas aumentan el esfuerzo de confinamiento en el mortero (y su resistencia) y disminuyen los esfuerzos de tensión laterales sobre la unidad de mampostería. Por ejemplo, se ha demostrado que espesores de junta entre 1.6-1.9 cm pueden reducir la resistencia a compresión de la mampostería hasta en un 30% comparado con un espesor de 1.0 cm.¹⁶

En una revisión sobre algunas de las normativas enlistadas anteriormente se puede observar que se adopta como espesor típico la junta de 1 cm, variando

¹⁴ "Compressive Strength of Masonry", Masonry Information, Portland Cement Association, IS276.01M, 1993.

¹⁵ Fishburn, C. C., "Effect of Mortar Properties on Strength of Masonry", National Bureau of Standards Monograph 36, Washington DC, 1961.

¹⁶ Hendry, A. W., "Structural Masonry", Macmillan Education Ltd., Londres, 1990.

más o menos alrededor de medio centímetro. Pero en general, para el caso de los prismas de mampostería, éstos deben de representar tanto como sean posibles las condiciones de la obra, para que pueda dar lugar a valores representativos de la resistencia a la compresión de la mampostería

Tabla 2.6 – Especificaciones de Espesores de Junta en la Mampostería.¹⁷

NORMATIVA O CÓDIGO	JUNTA INICIAL	JUNTAS INTERMEDIAS
IBC 2006	De 1/4 de pulgada (0.64 cm) a 3/4 de pulgada (1.91 cm)	3/8 de pulgada (0.95 cm) de espesor
NTDCEM (EI Salvador) y NT E.070 Albañilería 2006 (Perú).	–	De 1.00 a 1.50 cm de espesor
NTCDCM (México)	–	De 0.60 cm a 1.00 cm y 1.50 cm para unidades de fabricación mecanizada y artesanal respectivamente.
Código Sísmico de Costa Rica 2002	De 0.60 cm a 2.50 cm de espesor.	De 0.60 cm a 1.50 cm de espesor.
RCCSR. NSR-10. Título D. (Colombia)	–	Espesor máximo de juntas de 1.00 cm, con una tolerancia de ± 0.40 cm.

2.6.2 Determinación de las Dimensiones del Prisma.

Los resultados de resistencia a la compresión de la mampostería son poco sensibles a la sección transversal cuando las dimensiones se mantienen uniformes en las unidades y en las juntas de mortero, las cuales deben ser garantizadas por procesos constructivos uniformes, ya que en especímenes sometidos a una misma carga pero con diferentes métodos de medición arrojará resultados ligeramente diferentes. Esto es importante, por ejemplo, en

¹⁷ FUENTE: Elaboración propia.

la mampostería de ladrillo de barro cocido fabricado de modo artesanal, por la variación en las dimensiones de una unidad a otra.

Se presenta en la Tabla 2.7 una revisión a diferentes propuestas establecidas en normativas sobre la determinación de la sección transversal para calcular los esfuerzos de compresión.

Tabla 2.7 – Determinación de las Dimensiones del Prisma en Diferentes Normativas.¹⁸

NORMATIVA O CÓDIGO	ESPECIFICACIÓN
ASTM C 1314–02a (ACI 530–05, IBC 2006, Código Sísmico de Costa Rica 2002) y RCCSR. NSR-10. Título D. (Colombia)	La longitud y el espesor se miden sobre los extremos de las caras superior e inferior de los prismas y se promedian. La altura del prisma se mide al centro de cada cara y se promedian.
NEC-10. Parte 5. Mampostería Estructural (Ecuador) y NCh 1928.Of1993 Mod. 2009 (Chile)	El espesor y la longitud del prisma deben determinarse como el promedio de las mediciones de las caras laterales de la unidad ubicada a media altura del prisma. La altura del prisma debe determinarse con el promedio de las alturas sobre las caras laterales del prisma, efectuadas al centro de cada cara e incluyendo el refrentado.

2.6.3 Construcción de los Prismas.

Para la construcción de prismas, la mano de obra utilizada debe ser representativa de la utilizada en la obra, debe usarse morteros con las mismas proporciones y consistencia a los utilizados en la obra, las juntas de mortero deben ser completas y su espesor debe ser el mismo que el utilizado en las obras. Los prismas no deben ser perturbados o movidos durante los primeros 7 días.

¹⁸ FUENTE: Elaboración propia.

La mano de obra afecta considerablemente la resistencia a la compresión en la mampostería. Hendry¹⁹ describe que de acuerdo a estudios llevados a cabo en Inglaterra y Australia, se ha demostrado que si las juntas horizontales son llenadas incompletamente, la resistencia a la compresión puede reducirse hasta en un 33%, por el contrario, las juntas verticales llenadas incompletamente no representa un efecto significativo. Además, se demostró que el efecto en términos generales de la mano de obra en construcciones no supervisadas resultaba en resistencias en los rangos del 55% al 62%, respecto a las resistencias obtenidas en construcciones supervisadas.

Los prismas de mampostería deben ser construidos apilando unidad sobre unidad adheridas mediante una capa de mortero, de modo que queden a plomo y alineados. La altura de estos prismas es por lo general considerada como mínimo de dos o tres unidades apiladas.

Se deben tener en cuenta consideraciones prácticas para el ensayo de prismas de mampostería que están dictadas por las dimensiones de las unidades utilizadas. Además, la resistencia a la compresión de la mampostería depende de las dimensiones del espécimen a ensayar, es por ello que se limitan las dimensiones de los prismas, no solamente para facilitar su ensayo, sino, para que al mismo tiempo se pueda aplicar el factor de corrección por esbeltez adecuado proporcionado por la normativa que se sigue. Generalmente los códigos permiten relaciones altura-espesor (h/t) entre 2.0 a 5.0 para mampostería de ladrillo de barro (arcilla) y entre 1.33 a 5.0 para mampostería de concreto.²⁰ Sin embargo, se ha observado que la relación altura-espesor debe ser mayor de dos, debido a que existe una tendencia a obtener valores

¹⁹ Hendry, A. W., "Structural Masonry", Macmillan Education Ltd., Londres, 1990.

²⁰ "Compressive Strength of Masonry", Masonry Information, Portland Cement Association, IS276.01M, 1993.

errados con relaciones de esbeltez pequeñas, debido a efectos de la restricción producidos en los extremos del prisma.²¹

En la Tabla 2.8 se comparan diferentes especificaciones respecto a las dimensiones de prismas construidos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.

Tabla 2.8 – Revisión de Diferentes Normativas y Códigos Sobre La Construcción de Prismas.²²

NORMATIVA O CÓDIGO	RELACIÓN ALTURA–ESPESOR	ATURA MÍNIMA
ASTM C 1314–02a (Incluye normas que la refieren).	$1.3 < h/t < 5.0$	2 unidades sobrepuestas
NTCDCM (México)	$1.3 < h/t < 5.0$	3 unidades sobrepuestas
RCCSR. NSR-10. Título D. (Colombia)	$1.5 < h/t < 5.0$	30 cm
NEC-10. Parte 5. (Ecuador) NCh 1928.Of1993 Mod. en 2009 (Chile)	$h/t \geq 3.0$	3 unidades sobrepuestas

2.6.4 Factor de Corrección por Esbeltez

La mayoría de normativas utilizan los factores de corrección por esbeltez mostrados en la Tabla 2.9, estos factores adoptan como base la relación altura-espesor (h/t) de 2.0.

Tabla 2.9 – Factores de Corrección de Altura a Espesor para la Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería (ASTM C 1314).²³

RELACIÓN ALTURA–ESPESOR (h/t)	1.33	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

²¹ H. Gallegos V., C. Casabonne R. “Albañilería Estructural”, 3ª ed., Fondo Editorial PUCP, 2005.

²² FUENTE: Elaboración propia.

²³ FUENTE: Tabla 1, ASTM C 1314-02a: “Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prism”.

La Normas Técnicas Mexicanas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, por otra parte, toman como base una relación altura-espesor de 4 (Tabla 2.10).

Tabla 2.10 – Factores de Corrección de Altura a Espesor para la Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería.²⁴

RELACIÓN ALTURA–ESPESOR (h/t)	2.00	3.00	4.00	5.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	0.75	0.90	1.00	1.05

Igualmente la Norma Técnica E.070 ALBAÑILERÍA de Perú, difiere en cuanto a factores de corrección la cual toma como base una relación altura-espesor de 5.0 (Tabla 2.11).

Tabla 2.11 – Factores de Corrección de Altura a Espesor para Resistencia a Compresión de Prismas de Mampostería.²⁵

RELACIÓN ALTURA–ESPESOR (h/t)	2.00	2.50	3.00	4.00	4.50	5.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

En la Figura 2.13, se muestran de forma gráfica las tendencias que siguen los factores de corrección ya mencionados. Se distingue que al aplicar los factores de la norma ASTM, se obtendrán valores de f'_m un tanto mayores, en comparación con los que propone las norma mexicana y la norma peruana.

²⁴ FUENTE: Tabla 2.5, Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, México.

²⁵ FUENTE: Tabla 10, Norma Técnica E.070 Albañilería, Perú.

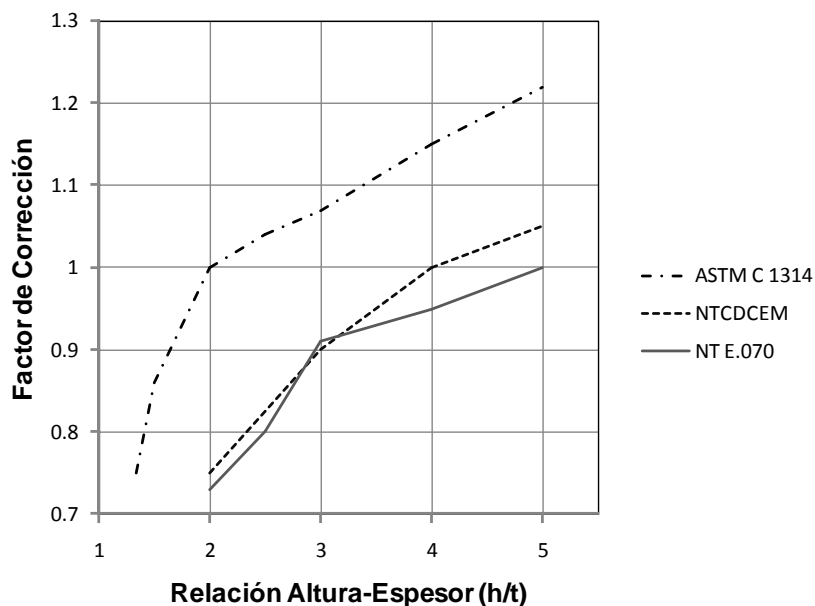


Fig. 2.13 – Factores de corrección para prismas de mampostería.

2.6.5 Curado de Prismas

Como ya se había mencionado, el curado es otro de los aspectos que afectan la resistencia a la compresión de la mampostería. Mientras que algunas normativas establecen una correlación con el ensayo a edades tempranas, los métodos de curado son muy diferentes cuando se quiere representar las condiciones de la estructura, como se puede apreciar en la Figura 2.14.

Además, puesto que la relación de superficie expuesta a volumen es mucho mayor para prismas de mampostería que para paredes de mampostería, esto resulta en tasas de evaporación mayores para prismas de mampostería respecto a las paredes. Motivo por el cual, típicamente se recurre a curados sellados (como el especificado en ASTM C 1314), que se consideran como más

representativos del desempeño en la obra, y por ende rendirá resultados más consistentes.²⁶

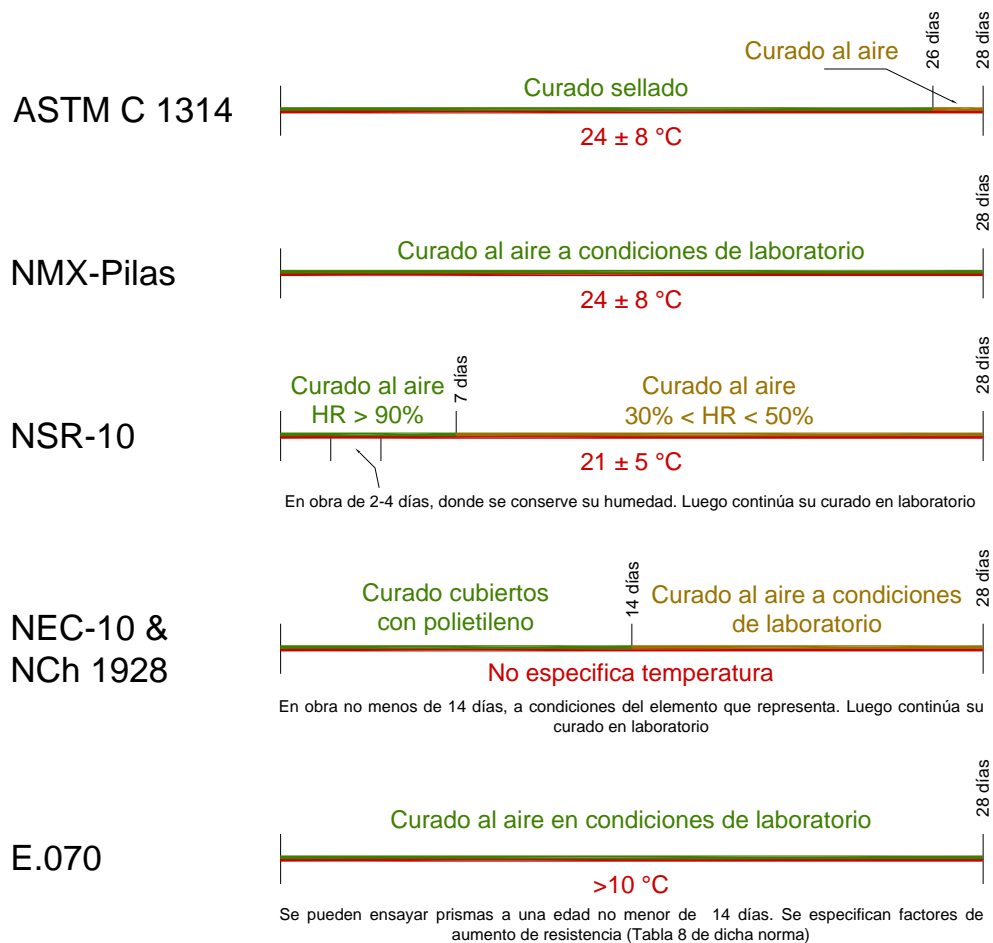


Fig. 2.14 – Proceso de curado propuesto por diferentes normativas.

²⁶ "Compressive Strength of Masonry", Masonry Information, Portland Cement Association, IS276.01M, 1993.

2.7 OTROS ENFOQUES EN LA DETERMINACIÓN DE f'_m .

Además de la evaluación experimental, existen otros enfoques para obtener la resistencia a compresión de la mampostería de una manera rápida, en función de las propiedades mecánicas de los materiales que se utilizarán en la construcción.

2.7.1 Enfoque Analítico.

Existen algunas fórmulas elaboradas para determinar la resistencia a compresión de la mampostería de manera analítica, dichas fórmulas están basadas en un análisis elástico de la interacción entre la unidad y el mortero.

Las teorías desarrolladas empleaban para su deducción la resistencia y la deformación de las unidades y mortero. Estas fórmulas fueron deducidas bajo las siguientes condiciones: Las unidades son sólidas sin ningún hueco, existe una relación lineal entre la resistencia a compresión uniaxial y la tensión biaxial, los esfuerzos laterales de tensión son uniformes a lo largo de la altura de la unidad, los esfuerzos de tensión biaxial son iguales para ambas direcciones y existe una adherencia perfecta entre la unidad y el mortero.²⁷

Hillsdorf²⁸ planteó una ecuación a partir de la definición de una envolvente de falla del ladrillo, en donde se distinguen dos segmentos: uno horizontal, sobre el eje de las abscisas que termina cuando el mortero alcanza su resistencia a la compresión. El segundo es un segmento que representa el esfuerzo de tracción que aumenta en el ladrillo al confinar el mortero y de este modo se impide su

²⁷ H. Gallegos V., C. Casabonne R. "Albañilería Estructural", 3a. ed., Fondo Editorial PUCP, 2005.

²⁸ Hillsdorf H. K, "Investigation into the Failure Mechanism of Brick Masonry Loaded in Axial Compression," Gulf Publishing Company, 1969.

falla a compresión. Este fenómeno se equiparado al confinamiento que ocurre en los cilindros de concreto, además de esto, se definió el esfuerzo mínimo de confinamiento en el mortero y de este modo definió el esfuerzo de compresión de falla al que adicionalmente aplico un factor de no uniformidad en la falla, para obtener la resistencia real del prisma.

$$f'_m = \frac{f'_b}{U} \frac{4.1 + \alpha \frac{f'_j}{f'_{bt}}}{4.1 + \alpha \phi} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

U: Es un factor experimental de no uniformidad y depende de la calidad de construcción, del tipo y resistencia del mortero, del tipo de unidades y espesor de juntas. Este adopta un valor de 1.3 para mampostería de arcilla de resistencia media (10 a 20 MPa) y mortero de cemento con cal.
 $\alpha = t_m/t_b$, relación entre el espesor de la junta de mortero y la altura del ladrillo.

f'_b , f'_j , f'_{bt} : Son la resistencia uniaxial de la unidad, del mortero y la resistencia lateral de tensión sobre la unidad respectivamente.

$$\phi = f'_b/f'_{bt}$$

Con las mismas bases de Hillsdorf, Francis²⁹ elaboró su propio modelo, con la diferencia que en vez de analizar los esfuerzos resistentes, analizó las deformaciones unitarias de los materiales, llegando a la siguiente ecuación.

$$f'_m = f'_b \frac{1}{1 + \frac{\phi(\beta v_j - v_b)}{\alpha \beta(1 - v_j)}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

²⁹ Francis A, Horman C, Jerrems L. "The Effect of Joint Thickness and Other Factors on the Compressive Strength of Brickwork". Proc 2nd Int Brick/Block Masonry Conf. Stoke-on-Trent, 1971.

f'_m , f'_b y ϕ , tienen los mismos significados que en la ecuación anterior.

$\beta = E_b/E_j$, relación entre el módulo de elasticidad del ladrillo y del mortero.

ν_j y ν_b , son los módulos de Poisson del mortero y el ladrillo.

2.7.1 Enfoques Semi-empíricos de Normativas.

Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería.

Nuestra normativa permite la determinación de la resistencia a compresión de la mampostería basada en la resistencia de las unidades individuales, mediante el uso de la ecuación 2.3. Cabe aclarar, que dicha expresión se usa tanto para mampostería de concreto como de arcilla (barro), además, se menciona en los comentarios de dicha norma que el uso de esta expresión da resultados más conservadores en el caso de la mampostería de concreto.

$$f'_m = 0.60f'_u \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

f'_u = resistencia a compresión de las unidades.

ACI 530.1-05

En el ACI 530 se menciona el método de la resistencia de la unidad, y en el caso de la mampostería de arcilla se propone la ecuación 2.4.

$$f'_m = A(400 + Bf_u) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

$A = 1$ (Mampostería inspeccionada).

$B = 0.2$ ó 0.25 , para mortero tipo N y M o S respectivamente.

f_u = resistencia promedio del ladrillo (unidad), psi

f'_m = resistencia a compresión de la mampostería, psi

IBC 2009

El IBC propone un método muy similar al del ACI, pero en lugar de presentar una ecuación, presenta una tabla con los datos tabulados para diferentes resistencias de la unidad y diferentes morteros.

Para poder hacer uso de la tabla 2.12, se especifica en este código que las unidades deben ser muestreadas y ensayadas para verificar cumplimiento con las normas ASTM C 62, C 216 o C 652, y que las juntas de mortero no deben exceder el espesor de 1.59 cm.

Tabla 2.12 –Resistencia a la Compresión de Mampostería de Arcilla.³⁰

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ARCILLA (psi)		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA (psi)
MORTERO TIPO M o S	MORTERO TIPO N	
1,700	2,100	1,000
3,350	4,150	1,500
4,950	6,200	2,000
6,600	8,250	2,500
8,250	10,300	3,000
9,900	-	3,500
11,500	-	4,000

Eurocode 6

En este código se presenta una fórmula semi-empírica, la cual relaciona la resistencia del mortero y las unidades con la resistencia a compresión de la mampostería.

$$f_m = K f_b^\alpha f_j^\beta \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

³⁰ FUENTE: Tabla 2105.2.2.1, International Building Code, 2009.

f_m : Es la resistencia a la compresión característica de la mampostería, en N/mm^2

K : Es una constante, toma valores modificados en acuerdo con Tabla 2.13.

α, β : Son constantes

f_b : Es la resistencia a la compresión media normalizada de la unidad, en N/mm^2

f_j : Es la resistencia a la compresión del mortero, en N/mm^2

Para la mampostería hecha con mortero de uso general o mortero de peso ligero se utiliza la ecuación siguiente:

$$f_m = K f_b^{0.7} f_j^{0.3} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Para utilizar esta ecuación se debe cumplir que: f_b sea considerado menor de 75 N/mm^2 y que f_m sea considerado menor de 20 N/mm^2 y que $2f_b$ cuando se usa mortero de uso general. Además, el coeficiente de variación de resistencia de las unidades de mampostería no debe ser de más del 25% y el espesor de las juntas de mortero debe estar comprendido entre 6 mm a 15 mm.

Tabla 2.13 –Valores de K.³¹

UNIDAD DE MAMPOSTERÍA		MORTERO DE USO GENERAL	MORTERO PESO LIGERO 600 - 800 kg/m^3	MORTERO PESO LIGERO 800 - 1300 kg/m^3
ARCILLA	Grupo 1	0.55	0.30	0.40
	Grupo 2	0.45	0.25	0.30
	Grupo 3	0.35	0.20	0.25
	Grupo 4	0.35	0.20	0.25
CONCRETO	Grupo 1	0.55	0.45	0.45
	Grupo 2	0.45	0.45	0.45
	Grupo 3	0.40	-	-
	Grupo 4	0.35	-	-

³¹ FUENTE: Tabla 3.3, Eurocode 6 (EN 1996-1-1), 2005.

El valor de K, es definido dependiendo del grupo al que pertenecen las unidades utilizadas. Cada grupo es definido por este código de acuerdo a las características de la unidad como el material y los huecos verticales presentes. Por ejemplo, al grupo 1 pertenecen todos los materiales cuyo volumen de huecos respecto al volumen neto sea menor de 25% o que el volumen de un solo hueco sea menor que 12.5% respecto al volumen neto de la unidad.

2.7.2 Enfoques Semi-empíricos de Diferentes Investigaciones.

Diferentes autores han intentado estimar la resistencia a la compresión de la mampostería mediante el uso de expresiones semi-empíricas. Estas expresiones son determinadas mediante ensayos experimentales y son ajustadas de acuerdo a las variables que se consideran que influyen sobre resistencia de la mampostería o de acuerdo a las características de los materiales utilizados.

Malek³², realizó una investigación sobre la información de cientos de muretes de ladrillo de obra sólidos y mortero de proporción 1:¼:3 y 1:1:6 (cemento, cal, arena). En esta investigación se consideró el efecto del grosor de las paredes, además se examinaron los efectos de la posición de carga, llegaron a proponer dos ecuaciones, la primera de ellas válida para un espesor de media unidad (102.5 mm) (Ec 2.7) y la segunda para espesor una unidad completa (215.0 mm) (Ec 2.8).

$$f'_m = 1.242 f_b^{0.531} f_j^{0.208} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$$f'_m = 0.334 f_b^{0.778} f_j^{0.234} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

³² M. H. Malek, "Compressive Strength of Brickwork Masonry Under Concentrated Loading", University of Edinburgh, 1987.

f'_m = es la resistencia a la compresión de la mampostería;

f_b = es la resistencia a la compresión de las unidades;

f_j = es la resistencia a la compresión del mortero.

Por otra parte, basado en el comportamiento observado de las unidades de mampostería y el mortero, Kirstching³³ asumió que era el módulo de elasticidad del mortero quien regía en lugar de la resistencia a la compresión del mortero, con lo cual propuso la siguiente expresión:

$$f'_m = 0.97 f_b^{0.43} E_j^{0.26} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

f'_m = es la resistencia a la compresión de la mampostería;

f_b = es la resistencia a la compresión de las unidades;

E_j = módulo de elasticidad del mortero (N/mm²) dividido entre 1000.

Hermant, Durgesh y Sudhir³⁴, además de estudiar el comportamiento de esfuerzo-deformación bajo compresión de la mampostería, propusieron una expresión semi-empírica (Ec. 2.10) para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería, siguiendo el modelo del Eurocode6 y determinando los valores para cada constante a partir de un análisis sin restricción usando el método de mínimos cuadrados.

$$f'_m = 0.63 f_b^{0.49} f_j^{0.32} \quad (\text{Ec 2.10})$$

Donde:

³³http://www.scholarbank.nus.edu.sg/bitstream/handle/10635/13650/Chapter_2.pdf?sequence=5 ; Consultado 16/07/15, 14:23.

³⁴Hemant B. Kaushik, Durgesh C. Rai, y Sudhir K. Jain, M.ASCE "Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression", JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING, ASCE, 2007.

f'_m , f_b y f_j representan los mismos valores que en las ecuaciones anteriores.

2.8 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

2.8.1 Definición de Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad generalmente es denotado como E_m y se define como la relación entre el esfuerzo normal y la correspondiente deformación para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite proporcional de material.³⁵

2.8.2 Determinación del Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad es una característica importante de la mampostería, ya que controla la interacción de las paredes de mampostería con otros elementos estructurales, además, permite la predicción de la deformación bajo cargas últimas y de servicio.

En la mayoría de normativas de diseño para mampostería, el módulo de elasticidad de la mampostería puede ser obtenido experimentalmente (a través de gráficos esfuerzo deformación obtenidos por cada prisma) o puede ser obtenido mediante la resistencia a compresión de la mampostería, a través del uso de fórmulas semi-empíricas.

³⁵ ACI 530-05 “Building Code Requirements for Masonry Structures”, 2004.

2.8.2.1 Determinación Experimental del Módulo de Elasticidad de la Mampostería.

Uno de los modos en que se puede obtener el módulo de elasticidad experimentalmente se describe en la norma ASTM E 111 “Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Módulo de Young, Módulo Tangente y Módulo Cuerda”, en el cual se distinguen tres formas para determinar el módulo de elasticidad, y se describen de la siguiente manera:

- **MÓDULO DE YOUNG:** Relación entre el esfuerzo a compresión o tensión y la correspondiente deformación por debajo del límite proporcional del material (Fig. 2.15a).
- **MÓDULO TANGENTE:** Pendiente de la curva esfuerzo-deformación en un valor especificado de esfuerzo o deformación (Fig. 2.15b).
- **MÓDULO CUERDA:** Pendiente de la cuerda dibujada entre dos puntos cualesquiera sobre la curva esfuerzo-deformación, por debajo del límite elástico del material (Fig. 2.15c).

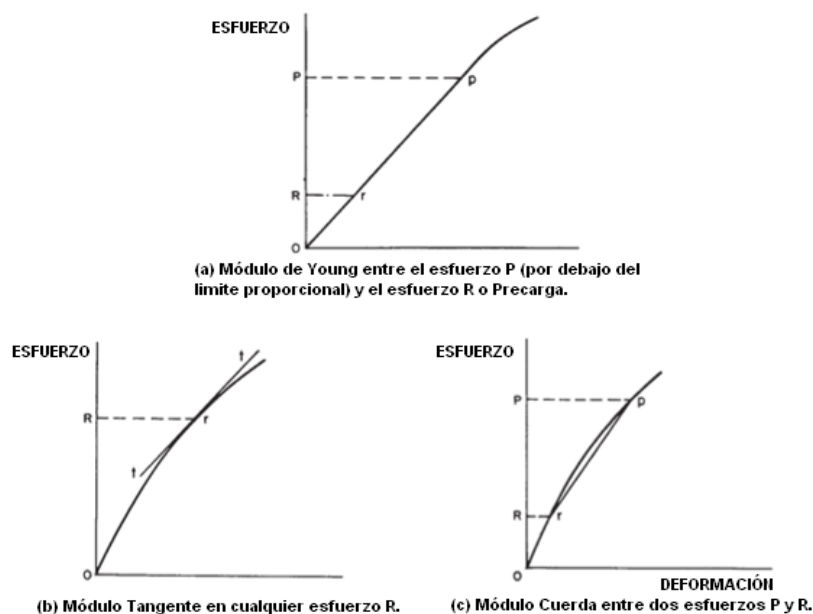


Fig. 2.15 – Diagrama de esfuerzo-deformación para (a) Módulo de Young; (b) Módulo Tangente; y (c) Módulo Cuerda.

(Fuente: ASTM E 111).

Existen diferentes definiciones sobre la determinación experimental del módulo de elasticidad de la mampostería. En algunos casos es definida por el módulo secante a niveles de esfuerzos del 30% o 75% de la resistencia a la compresión. Sin embargo, independientemente del método utilizado se considera que para niveles de esfuerzos bajos y medios, las diferencias obtenidas se consideran pequeñas para fines prácticos.³⁶

Varias normativas e investigaciones, proponen y utilizan generalmente el método de la cuerda, descrito en ACI 530. El módulo de elasticidad, descrito en dicho código, está determinado por la pendiente de la recta definida por los puntos correspondientes a $0.05f_m$ y $0.33f_m$ de la curva de esfuerzo-deformación como se muestra en la Figura 2.16, siguiendo los procedimientos establecidos por las normas ASTM E 111 y ASTM C 1314.

³⁶ "Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills", University of Canterbury.

De forma similar las normas mexicanas proponen la determinación del módulo de elasticidad, pero éste definido por la pendiente de la línea definida entre el esfuerzo correspondiente para una deformación de 0.00005 y el esfuerzo correspondiente al 40% de la carga máxima, el cual posee una deformación unitaria ϵ_2 , como se muestra en la Figura 2.17. Cabe mencionar que esta definición es la que se adopta para determinar el módulo de elasticidad del concreto (Figura 2.17).

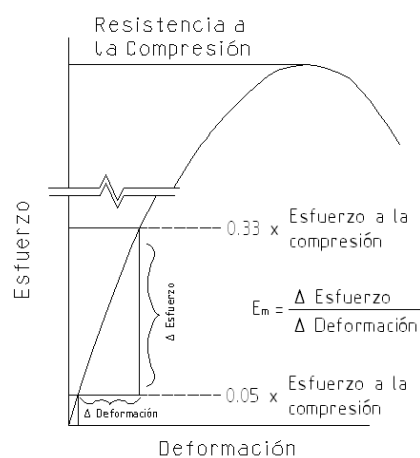


Fig. 2.16 – Módulo de elasticidad por el método de la secante.
(Fuente: ACI 530-05).

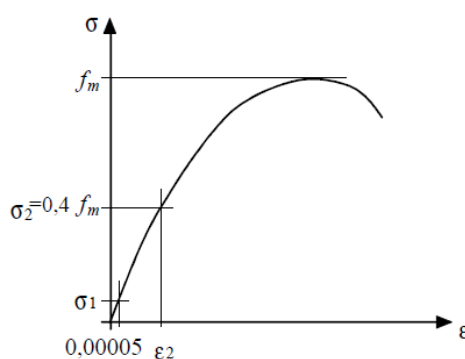


Fig. 2.17 – Determinación del módulo de elasticidad.
(Fuente: Anteproyecto NMX-Pilas).

2.8.2.2 Otros Enfoques en la Determinación de E_m .

La determinación analítica del módulo de Young es una tarea difícil debido al impacto de múltiples factores (principalmente las propiedades mecánicas de la unidad y del mortero, el espesor de la junta de mortero, etc). Un modo fácil de estimar el módulo de elasticidad es relacionándolo con la resistencia a la compresión de la mampostería, ya que estas dos propiedades son influenciadas por los mismos factores.³⁷

Existe una diversidad de enfoques propuestos por diferentes autores para estimar el módulo de elasticidad. En términos generales, entre más variables considere la expresión propuesta, ésta se ve limitada para su uso, mientras que entre menos variables considere puede dar lugar a que los resultados sean sobreestimados o subestimados, debido a que la mampostería se basa en la interacción de dos materiales que a su vez se ven influenciados por otros factores ajenos al material (mano de obra, el curado, etc.), por lo que resulta muy complejo determinar el comportamiento real de la mampostería a través de una sola variable como es descrito en la mayoría de reglamentos.

Las expresiones empíricas generalmente poseen limitantes en su aplicación, como ya se vió, por lo tanto éstas deben ser utilizadas con cierta precaución, ya que puede darse el caso en que se obtenga un mismo valor de resistencia de la mampostería combinando distintos materiales, por ejemplo, morteros de resistencia media y ladrillos de resistencia normal o morteros de baja resistencia con ladrillos de alta resistencia, pero sus propiedades de deformación no serán las mismas en ambos casos.³⁸

³⁷ Zavalis R., Jonaitis B., Lourenço P.B., "Analysis of Bed Joint Influence on Masonry Modulus of Elasticity", International Masonry Society, 2014.

³⁸ F. Javier Crisafulli, "Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills", University of Cantenbury, 1997.

De acuerdo con Crisafulli³⁹, muchos investigadores (Ameny, Binda, Drysdale y Sahlin) han desarrollado modelos analíticos basados en las propiedades de deformación de los ladrillos y el mortero, en donde se asume un comportamiento elástico lineal para ambos materiales y en el que la deformación debido a la compresión de la mampostería se iguala a la suma de deformación de los ladrillos y la junta de mortero, dando origen a la ecuación 2.11.

$$E_m = E_b \frac{\left(\frac{b}{j} + 1\right)}{\left(\frac{b}{j} + \frac{E_b}{E_j}\right)} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

E_m , E_b y E_j : Módulo de elasticidad de la mampostería, la unidad y el mortero, respectivamente.

b y j : altura de la unidad y espesor de la junta de mortero, respectivamente.

Existen otros enfoques, los cuales no están basados en un razonamiento físico, pero tiene un valor práctico para ciertos casos. Dichos enfoques son de carácter empírico, donde solo relacionan el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión de la mampostería como se mencionó anteriormente. Muchos de estos resultados varían en el rango de $400f'_m$ a $1000f'_m$.

Paulay y Priestley⁴⁰ da la siguiente expresión aproximada (Ec. 2.12).

$$E_m = 750 f'_m \quad (\text{Ec. 2.12})$$

San Bartolomé⁴¹, por otra parte, propuso una expresión (Ec. 2.13) para morteros de baja resistencia, que también puede ser aplicable con cierta precaución para relaciones de resistencia mortero-ladrillo bajas:

³⁹ *Ibíd.*

⁴⁰ Paulay T. y Priestley, M. J. N., "Seismic Desing of Reinforced Concrete and Masonry Building", John Wiley & Sons, 1992.

$$E_m = 500 f'_m \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Sinha y Pedreschi⁴² ensayaron prismas de mampostería construidos con diferentes ladrillos y morteros. Basado en un análisis estático sobre estos resultados propusieron la ecuación 2.14.

$$E_m = 1180 f'_m{}^{0.83} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Hendry⁴³ propone utilizar la expresión (Ec. 2.15) de Schubert para estimar E_m :

$$E_m = 2116 \sqrt{f'_m} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Existen otras expresiones, que consideran el peso unitario de la mampostería, resultando en una expresión empírica (Ec 2.16) aplicable para la mampostería de peso ligero:⁴⁴

$$E_m = 28.6 \rho^{1.5} \sqrt{f'_m} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde ρ es el peso unitario de la mampostería en kN/m^3 .

Por otra parte, diferentes normativas proponen sus propias fórmulas semi-empíricas para la determinación del módulo de elasticidad de la mampostería, las cuales están directamente relacionadas con los valores de la resistencia a la compresión de la mampostería, f'_m . Estos valores se encuentran en el rango de 500 a 750 veces la resistencia a la compresión de la mampostería, para el caso del ladrillo de barro cocido (arcilla), como se muestra en la Tabla 2.14.

⁴¹ San Bartolomé A., "Colección del Ingeniero Civil", Colegio de Ingenieros del Perú, 1990.

⁴² Sinha, B. P. y Pedreschi, R., "Compressive Strength and Some Elastic Properties of Brickwork", International Journal of Masonry Construction, Vol. 1, No. 3, 1983

⁴³ Hendry, A. W., "Structural Masonry", Macmillan Education Ltd., Londres, 1990.

⁴⁴ F. Javier Crisafulli, "Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills", University of Cantenbury, 1997.

Tabla 2.14 – Módulo de Elasticidad de la Mampostería en Diferentes Normativas.⁴⁵

NORMA	E_m (ARCILLA)	E_m (CONCRETO)
ACI 530–05	$E_m = 700 f'_m$	$E_m = 900 f'_m$
NTDCM (El Salvador)	$E_m = 600 f'_m$ (ccd*) $E_m = 350 f'_m$ (cs*)	$E_m = 700 f'_m$ (ccd*) $E_m = 350 f'_m$ (cs*)
NTDCM (México)	$E_m = 600 f'_m$ *(ccd*) $E_m = 350 f'_m$ *(cs*)	$E_m = 800 f'_m$ *(ccd*) $E_m = 350 f'_m$ *(cs*)
Código Sísmico de Costa Rica 2002	$E_m = 750 f'_m$ < 210 000 kg/cm ²	$E_m = 750 f'_m$ < 210 000 kg/cm ²
RCCSR. NSR-10. Título D. (Colombia)	$E_m = 750 f'_m \leq 20000$ MPa	$E_m = 900 f'_m \leq 20000$ MPa
NEC-10. Parte 5. (Ecuador)	$E_m = 500 f'_m$ < 10000 MPa.	$E_m = 750 f'_m$ < 14000 MPa
Norma Técnica E. 070 2006 (Perú)	$E_m = 500 f'_m$	Sílico-calcáreas: $E_m = 600 f'_m$ Concreto: $E_m = 700 f'_m$
NCh 1928.Of1993 Mod. 2009 y NCh 2123.Of1997 Mod. 2003 (Chile)	$E_m = 700 f'_m$, (ladrillos cerámicos)	$E_m = 700 f'_m$, (bloques de hormigón sin grout) $E_m = 800 f'_m$, (bloques de hormigón con grout)

* CCD: Cargas de Corta Duración; CS: Cargas Sostenidas.

⁴⁵ FUENTE: Elaboración propia.

CAPITULO 3. “DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS”.

En este capítulo se describen los métodos de ensayo utilizados durante la fase experimental de esta investigación, para los prismas y las unidades, así como para los morteros.

3.1 MATERIALES.

El desarrollo de esta investigación se centra en la utilización de materiales como: ladrillos de barro cocido sólidos, morteros tipo M y N.

3.1.1 Unidades Utilizadas.

Las unidades utilizadas consisten en ladrillos de barro cocido sólidos con dimensiones típicas de alrededor de 7 x 14 x 28 cm. Estas unidades fueron de fabricación artesanal, provenientes de un solo banco de materiales. De acuerdo con el distribuidor, las unidades provienen de una ladrillera ubicada en el municipio de Armenia del departamento de Sonsonate.

3.1.2 Mortero Utilizado.

Se utilizaron dos tipos de mortero en la construcción de prismas. El primero de ellos es un mortero tipo M (ASTM C 270), en modalidad predosificada, marca PegaBlok-M. De acuerdo al fabricante, este tipo de mortero cumple con las especificaciones de la norma ASTM C 270. Para utilizar este mortero se siguieron las especificaciones del fabricante, siendo el contenido de agua utilizado en la mezcla de 150 ml/kg.

El segundo de ellos es un mortero tipo N (ASTM C 270). Este mortero fue hecho en el sitio, el cual fue dosificado de acuerdo a las proporciones establecidas en la norma ASTM C 270. La proporción volumétrica utilizada fue 1:1:4³/₄ (cemento: cal: arena). Los cementantes utilizados en la mezcla fueron el

cemento CESSA Portland Tipo GU (ASTM C 1157) y cal hidratada. La arena utilizada en la mezcla se caracterizó, en una observación visual, por una presencia de alta de finos y pómez, por lo que se procedió a tamizarla por una malla con abertura de 1/4 de pulgada para retener cierta cantidad de pómez y al mismo tiempo los materiales ajenos a la arena y agregados de mayor tamaño. Para el agua de mezcla del mortero originalmente se había contemplado una relación de agua-materiales cementantes de 0.53, pero debido a variaciones en el contenido de humedad del agregado fino (arena), se procedió a medir la misma cantidad de agua de mezcla, pero ésta se fue agregando gradualmente a modo de buscar obtener la misma consistencia en la pasta que la que se había previsto, a partir de un diseño de mezcla previo. Estos diseños de mezcla previos consistieron en proporciones volumétricas de 1:1:4.75, 1:0.75:5.25 y 1:1:6 (cemento: cal: arena), para los cuales se obtuvieron las resistencias a compresión (a los 7 días) de 45.62, 3.99 y 16.11 kg/cm², respectivamente. De estas proporciones se eligió la que poseía mayor resistencia.

3.2 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO.

3.2.1 Mortero.

Para la producción de los morteros, utilizados en la construcción de los prismas de mampostería, se llevaron a cabo distintos procesos.

En el caso del mortero tipo M, solamente se vertió el contenido de la bolsa sobre un recipiente limpio y no absorbente, posterior a esto únicamente se le agregó la cantidad de agua mencionada en el acápite 3.1.2.

En el caso del mortero N, se siguió un procedimiento muy similar al del mortero M, pero en el caso del proporcionamiento, este se midió en recipientes graduados de 750 ml para los agregados y materiales cementantes, y en una probeta de 1000 ml para el agua.

Además, se obtuvieron muestras de mortero, para lo cual, se fabricaron nueve cubos de mortero (por cada tipo de mortero) de dimensiones aproximadas de 5 x 5 x 5 cm en moldes metálicos según la norma ASTM C 109. Las muestras fueron tomadas aleatoriamente, obteniéndose entre uno y dos cubos por cada mezcla producida por el albañil.

Al siguiente día, luego de haber hecho los especímenes, se procedió a desmoldar y rotular con su respectiva identificación los cubos de mortero, para luego someterlos a su proceso de curado, en donde fueron ubicados en el cuarto húmedo de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, hasta su ensayo a los 28 días.



Fig. 3.1 – Cubos de mortero obtenidos de la mezcla; Identificación de los cubos para su proceso de curado.

3.2.2 Prismas de Mampostería de Barro Sólido.

Se construyeron un total de 64 prismas con diferentes números de unidades superpuestas en posición de lazo, de los cuales 32 fueron construidos con mortero de junta tipo N y los otros 32 fueron construidos con mortero de junta tipo M. De estos 32 prismas se construyeron 8 por cada modelo mostrado en la Figura 3.2.

En todos los prismas se mantuvo constante la mano de obra, además el tiempo de fraguado no fue excedido durante el uso del mortero.



Fig. 3.2 – Diferentes prismas a ensayarse.

Para el proceso de construcción de los prismas de barro cocido sólido, primeramente se procedió a la selección de las unidades más representativas de entre un lote de 450 unidades, buscando que las unidades carecieran de irregularidades notorias en sus superficies como agrietamientos, escarificaciones, y que además, de acuerdo a su apariencia presentaran un buen grado de cocimiento.



Fig. 3.3 – Unidades utilizadas en la construcción de prismas

Posteriormente a la selección de las unidades más representativas, se procedió a preparar las superficies de las unidades que se apoyarían sobre las placas de la máquina de ensayo, para lo cual, se corrigieron las imperfecciones presentes en los ladrillos por medio de una lima, tanto para los prismas con y sin junta vertical. A las demás unidades ubicadas en medio de los prismas no se les realizaron ningún tipo de tratamiento superficial.



Fig. 3.4 – Preparación de las caras de las unidades superiores e inferiores de los prismas.

En el caso de los prismas que poseían junta vertical, se procedió al corte con máquina de las unidades. En el proceso se buscó garantizar que el espesor de

la junta vertical fuera igual espesor de las juntas horizontales, este espesor fue especificado de 1.5 cm.



Fig. 3.5 – Corte de las unidades para prismas con junta vertical.

El siguiente paso en la preparación de las unidades fue colocarlas en un recipiente limpio con agua de modo que quedaran sumergidas. La saturación de las unidades se realizó entre 12 y 24 horas antes de su uso.



Fig. 3.6 – Proceso de saturación de las unidades.

Luego se trasladaron las unidades al lugar donde se construyeron los prismas, procurando que la superficie del lugar donde se construyeron estuviera nivelada.

Asegurado lo anterior, se colocaron las unidades sobre una bolsa que retuviera la humedad para el posterior curado de los prismas tal como lo establece la norma ASTM C1314.



Fig. 3.7 – Colocación de la primera hilada.

Una vez colocadas la primer unidad, como se muestra en la Figura 3.7, se procedió a colocar la primera capa de mortero, procurando que el espesor de la misma fuera de 1.5 cm. Sin embargo, se observó que en el caso de la junta horizontal, el espesor no se mantuvo uniforme debido a las irregularidades en las caras de las unidades, variando de este modo el espesor de la junta hasta ± 4 milímetros.



Fig. 3.8 – Colocación de la segunda hilada.

Luego durante la colocación de las unidades sucesivas se verificó la alineación vertical de los prismas (plomo) y la nivelación en la superficie superior del mismo.



Fig. 3.9 – Nivelación y alineación de los prismas.

Luego de colocar la última unidad que conforma los prismas, se procedió a identificarlos, cerrar la bolsa para mantener la humedad y así comenzar el proceso de curado hasta dos días anteriores a su ensayo, donde se destaparon al aire y se mantuvieron así hasta su fecha de ensayo tal como lo establece la norma ASTM C 1314, excepto en que no fueron dejados bajo condiciones de laboratorio, estando sujeto a condiciones climáticas variables.



Fig. 3.10 Curado sellado de prismas.

3.3 ENSAYO.

3.3.1 Equipo.

El equipo que se utilizó para el ensayo a compresión de cubos de mortero, unidades y prismas de mampostería fue la máquina universal marca Tinus Olsen, serie Super “L”, del Laboratorio de Suelos y Materiales “Miguel Ángel Urbina” de la Universidad de El Salvador.

El equipo utilizado tiene una capacidad de hasta 300 toneladas, y además es capaz de registrar el movimiento de las placas de carga y genera gráficos de carga-desplazamiento.



Fig. 3.11 – Máquina de ensayo

3.3.2 Ensayo de Unidades.

Luego de haberse sometido las unidades a un proceso de selección y preparación de las superficies, similar al descrito en el acápite 3.2.1, se procedió a cortar las unidades en forma cuadrada, a unas dimensiones de aproximadamente 10.4 cm por lado, a modo de facilitar su proceso de refrentado.



Fig. 3.12 – Corte con disco de las unidades.

Una vez cortadas las unidades, se procedió a secar en el horno de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ASTM C 67.



Fig. 3.13 – Secado de los especímenes.

Luego de haber perdido la humedad, alcanzando masa constante, se procedió a tomar sus dimensiones y registrar el peso de cada espécimen.



Fig. 3.14 – Registro del peso del espécimen.

Como último paso en la preparación de las unidades posterior a su ensayo, se procedió a refrentar las caras que se apoyarían sobre las placas de la máquina de ensayo. Para lo cual, se preparó el compuesto de azufre, llevándolo a su punto de fusión a alta temperatura (entre 210-350°C). Se preparó el molde de refrentado limpiándolo, engrasando (para evitar que se adhiere el azufre) y nivelándolo.



Fig. 3.15 – Preparación y limpieza de la placa de refrentado.

Luego se procedió a depositar el compuesto de azufre sobre el molde, colocándose rápidamente el espécimen antes que el compuesto se endureciera.

Para garantizar la correcta nivelación del refrentado se auxilió de un nivel, con lo cual también se aseguró que las caras estuvieran paralelas.



Fig. 3.16 – Proceso de refrentado de los especímenes.

Una vez refrentadas todas las caras de las muestras se procedió a tomar la altura con refrentado. Luego se dejó que el azufre adquiriera resistencia durante aproximadamente tres días.

Finalmente se procedió al ensayo de las unidades en la máquina universal a una velocidad de 2 mm/min y se registró su carga última para calcular su resistencia a compresión.

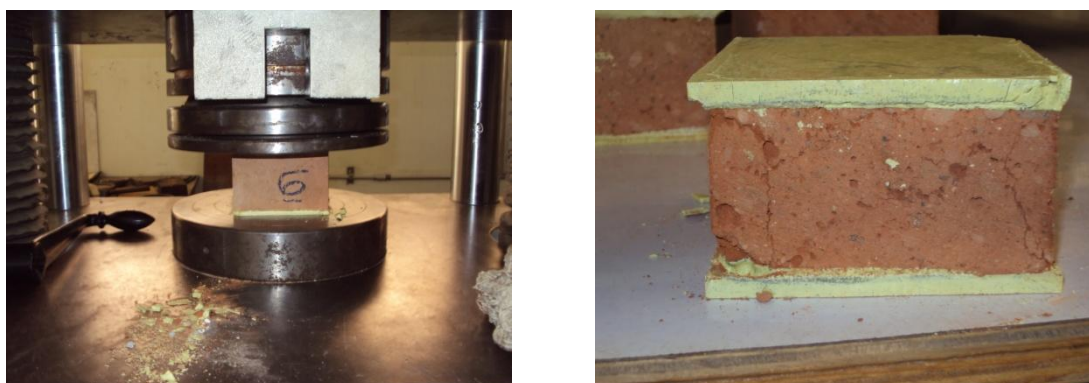


Fig. 3.17 – Especímen durante y después del ensayo a compresión.

3.3.3 Ensayo del Mortero.

Para el ensayo de cubos de mortero, primero se procedió a retirar los especímenes de la pila de curado. Luego se determinaron sus dimensiones y se registró el peso de cada cubo para luego ser ensayados en la máquina universal a una velocidad de 2 mm/min. Se registró su carga última y se determinó su resistencia a compresión, todos estos procedimientos de acuerdo con la norma ASTM C 109.



Fig. 3.18 – Ensayo a compresión de cubos de mortero.

3.3.4 Preparación de Prismas.

En esta fase, previa a la evaluación de la resistencia a la compresión de la mampostería de barro cocido, se procedió a pulir las irregularidades leves que se pudieran presentar y a limpiar residuos de polvo y mortero que pudo quedar adherido sobre las caras del prisma.

Posteriormente se midieron las dimensiones de los prismas, en su longitud, ancho y altura siguiendo los procedimientos descritos en la norma ASTM C 1314. Luego fueron trasladados al laboratorio para su ensayo.



Fig. 3.19 – Toma de medidas del prisma.

3.3.5 Ensayo de Prismas.

Para el ensayo se colocaron los prismas sobre la máquina universal, utilizándose para el refrentado dos piezas de hule de aproximadamente 25 x 35 cm por 6.5 mm de espesor, colocadas sobre las caras donde se aplicó la carga.

El ensayo a compresión de los prismas fue realizado fijando la velocidad de la máquina a 1.5 mm/min, cargándose hasta su falla y registrándose los valores de carga–desplazamiento y su carga máxima para determinar la resistencia a la compresión.



Fig. 3.20 – Uso de refrentado no adherido durante el ensayo.

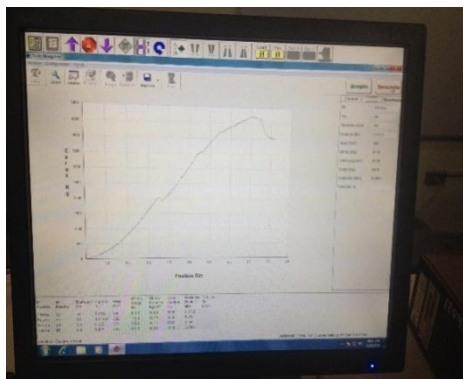


Fig. 3.21 – Registro de cargas y desplazamiento de la máquina de ensayo.

CAPITULO 4: “RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS”

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas experimentales efectuadas en esta investigación, así como el procesamiento y análisis de dicha información.

Es importante recalcar que generalmente los materiales de ingeniería se ajustan a la distribución normal⁴⁶, es por ello que para el procesamiento y análisis de la información empleamos la estadística básica, como se describe en las siguientes secciones.

A continuación, definiremos algunas expresiones estadísticas con las cuales se analizará la información obtenida experimentalmente.

4.1 EXPRESIONES ESTADÍSTICAS UTILIZADAS.

Las expresiones estadísticas que se utilizaron para la interpretación de los resultados en este capítulo son: el promedio, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los percentiles.

4.1.1 Promedio.

El promedio, denotado como \bar{X} , muestra el valor central de los valores de una distribución y se calcula sumando los datos analizados entre el número de datos sumados. Esta expresión estadística se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde:

\bar{X} : Promedio del conjunto de datos.

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$: Elementos individuales de un conjunto de datos.

⁴⁶H. Gallegos V., C. Casabonne R. “Albañilería Estructural”, 3ª Ed., Fondo Editorial PUCP, 2005.

n: Número total de los elementos individuales del conjunto de datos.

4.1.2 Varianza.

La varianza en una distribución de datos es la suma de las desviaciones de cada dato respecto al promedio elevado al cuadrado, y es representada como S^2 . La varianza se calcula de la siguiente manera:

$$S^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

S^2 : Varianza.

X_i : Dato individual del conjunto.

\bar{X} : Promedio de la muestra.

n: Número de datos de la muestra.

4.1.3 Desviación Estándar.

La desviación estándar es definida como la raíz cuadrada de la varianza, y da una indicación de cuán cerca están agrupados los datos alrededor del promedio, y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

4.1.4 Coeficiente de Variación.

El coeficiente de variación, se define como el cociente entre la desviación estándar y el promedio. Este coeficiente se expresa en porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}(100\%) \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Donde:

S : Es la desviación estándar de la muestra.

\bar{X} : Es el promedio de la muestra.

La Tabla 4.1 muestra diferentes rangos de representatividad para el promedio que pueden servir como guía para la aceptación de una muestra.

Tabla 4.1 – Grado de Representatividad del promedio.⁴⁷

CV	Grado en que la media representa a la serie
0-10%	Altamente representativa
10-20%	Bastante representativa
20-30%	Tiene representatividad
30-40%	Representatividad dudosa
40%	Carente de representatividad

4.1.5. Percentiles.

Un percentil es un valor que divide el conjunto de datos en cien partes iguales, con lo cual podemos delimitar los datos en cierto intervalo, la fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$P_K = L_i + \frac{1}{f_i} \left(\frac{K N}{100} - f_a \right)$$

Donde:

⁴⁷ FUENTE: Tabla 6, Bonilla G., "Estadística I", UCA editores, 1998.

P_K : Percentil k.

K : Percentil.

L_i : Límite inferior de la clase donde está ubicado el percentil.

f_i : Frecuencia absoluta de la clase donde se encuentra el percentil.

N : Total de datos.

f_a : Frecuencia absoluta acumulada hasta el límite inferior de la clase donde se encuentra el percentil.

4.2 TERMINOLOGÍA EMPLEADA

Para evaluar experimentalmente la resistencia a compresión de la mampostería, se construyeron 4 modelos de prismas. A cada uno de estos se le identificó con las letras A, B, C y D, los cuales, representan a los prismas construidos con 3, 4, 5 hiladas y 5 hiladas con sisa vertical, respectivamente (ver Fig. 4.1). La segunda letra denota el tipo de mortero utilizado en las juntas.

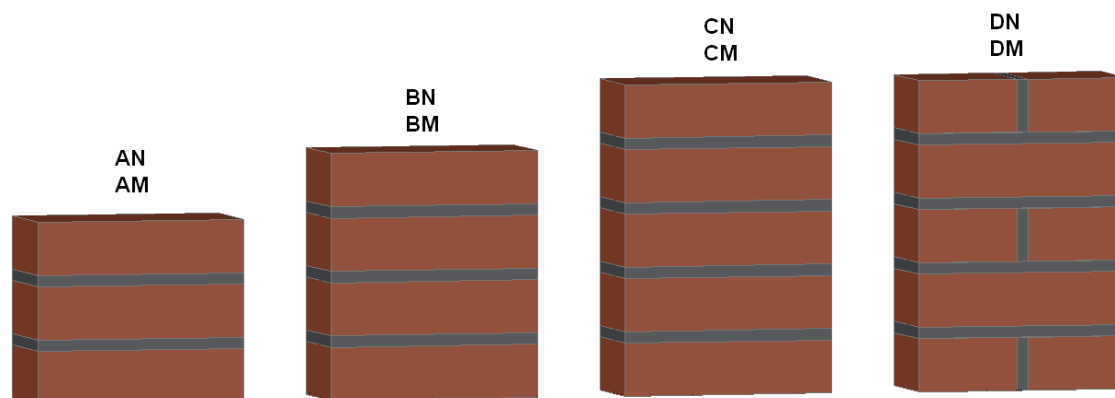


Fig. 4.1 – Modelos ensayados.

La terminología utilizada en este capítulo es:

σ (Esfuerzo último): Es la carga última dividida entre el área bruta del espécimen obtenida en el ensayo.

f'_m (Resistencia a compresión de la mampostería): Es la carga última del prisma entre el área bruta del prisma afectada por factores de corrección.

f'_b (Resistencia a compresión de la unidad): Es la carga última de la unidad dividida entre su área bruta.

f'_j (Resistencia a compresión del mortero): Es la carga última del mortero dividida entre su área bruta.

E_m (Módulo de elasticidad de la mampostería): Pendiente de la curva esfuerzo deformación sobre el rango elástico.

Coeficiente de Corrección por Esbeltez: Factor por medio del cual se normaliza el esfuerzo último de un prisma de acuerdo a su relación altura a espesor.

Relación Altura-Espesor (h/t): Relación entre la altura del prisma y su menor dimensión.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS DE LOS PRISMAS

La falla esperada en los prismas de mampostería consiste en una grieta vertical que cruce las unidades y las juntas de mortero.

En esta investigación se observó que los tipos de fallas más comunes fueron:

-Falla de tracción diagonal: Este tipo de falla se observó en el 31.25% de los prismas ensayados, se presentó mayormente en los prismas tipo A y B, y en menor proporción sobre los prismas tipo C y D.

-Falla por separación de la unidad: Este tipo de falla se presentó en el 60.94% de los primas, principalmente prismas tipo C y D.

-Agrietamiento de la unidad extrema: Este tipo de falla se presentó aleatoriamente junto con alguna de las fallas anteriores en alrededor del 15.6% de los prismas, lo cual, pudo deberse a la fragilidad de la unidad extrema.



Fig. 4.2 – Tipos de falla presentes. De izquierda a derecha: Falla por tracción diagonal, separación de la unidad y agrietamiento de la unidad extrema.

Para el caso de los prismas tipo A, se observó que la falla fue de tipo frágil, lo cual pudo deberse a que tenían una relación de altura a espesor baja. El 7.81% de los prismas poseían este tipo de falla.

Se reportan fotográficamente, en el Anexo D, cada uno de los prismas ensayados, el tipo de falla y las condiciones bajo las que se ensayaron.



Fig. 4.3 – Falla del tipo frágil.

4.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

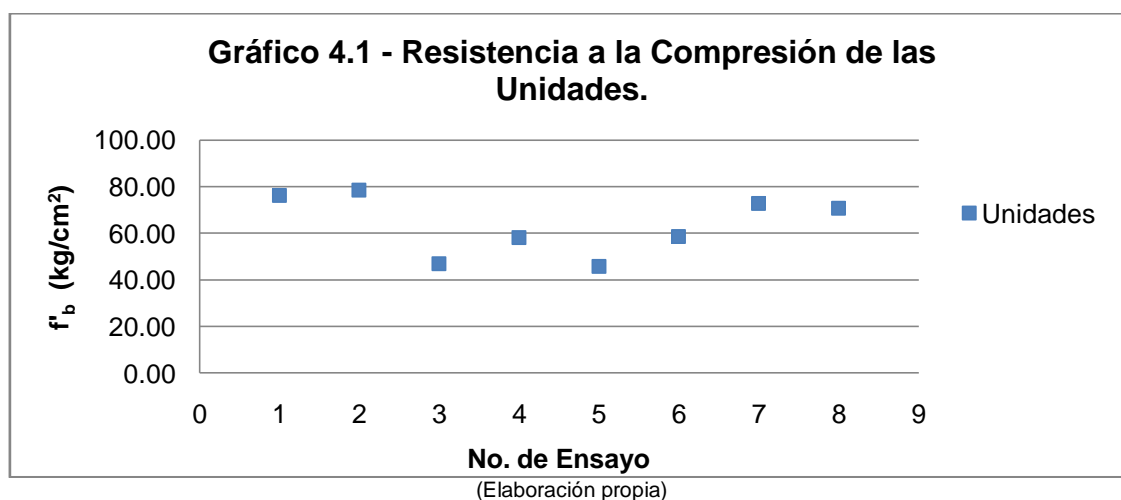
En el Anexo A se muestran en tablas todos los resultados obtenidos de los ensayos correspondientes a compresión de unidades, morteros y prismas.

A continuación, se presentan de forma gráfica los resultados de los ensayos realizados, además, se presentan valores promedios y los coeficientes de variación obtenidos.

4.4.1 Resultados de Ensayo de Unidades

En el Gráfico 4.1 se muestran los resultados de 8 unidades de ladrillo de barro cocido ensayadas a compresión de acuerdo al procedimiento descrito en el capítulo anterior.

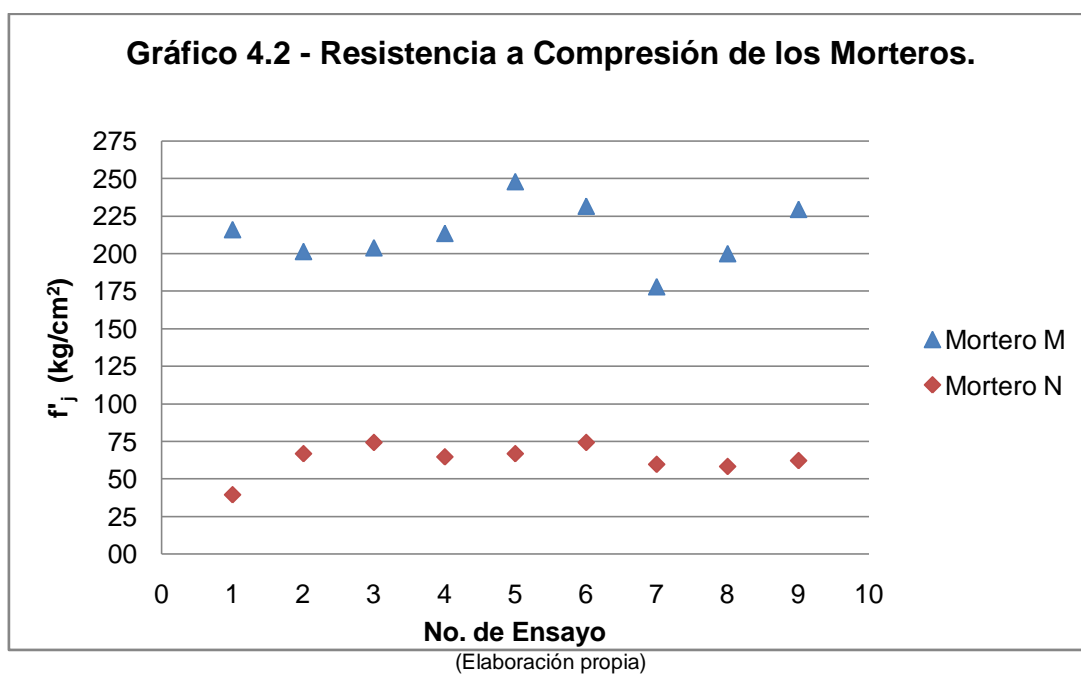
La resistencia a la compresión promedio de dichas unidades (f'_b) fue de 63.3 kg/cm², y se obtuvo un coeficiente de variación del 20.40%, con lo cual los resultados aún se consideran representativos según lo descrito en la Tabla 4.1.



4.4.2 Resultados de Ensayo de Morteros

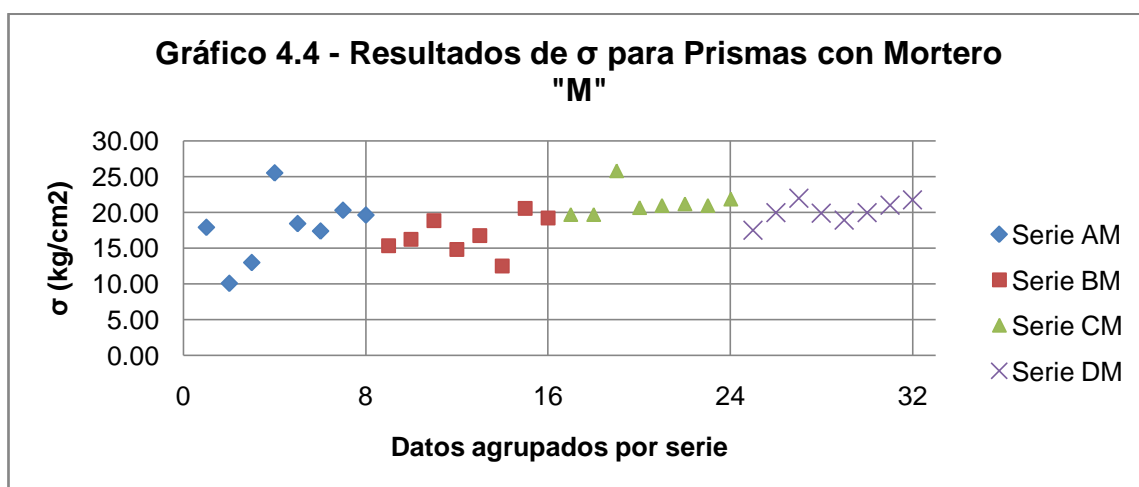
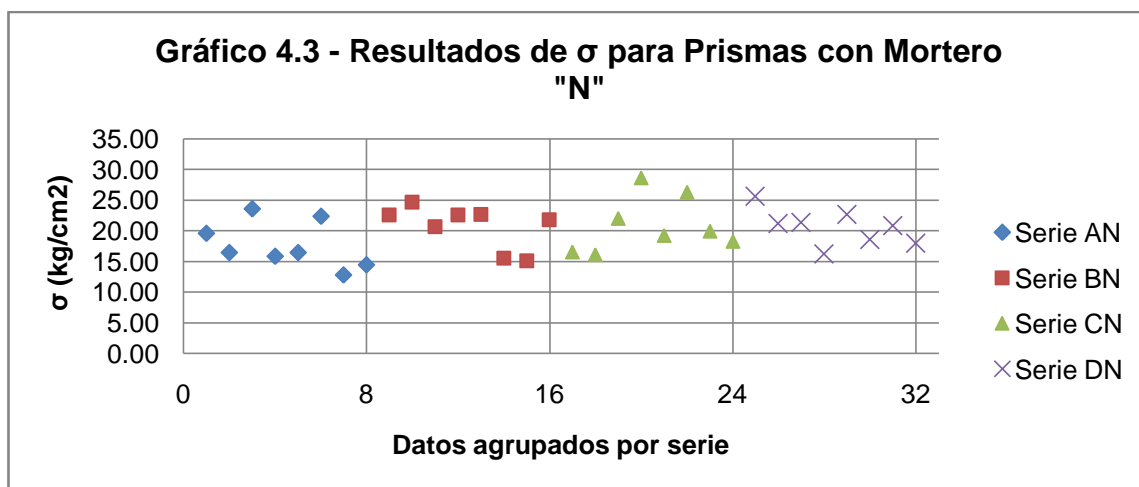
En el Gráfico 4.2 se muestran los resultados de nueve cubos de mortero, tanto de mortero N como mortero M, ensayados a compresión a los 28 días, los cuales fueron utilizados en la construcción de los prismas.

La resistencia a la compresión promedio obtenida para el mortero tipo N fue de 62.9 kg/cm^2 , mientras que para el mortero tipo M fue de 213.5 kg/cm^2 . Para ambos casos se cumplió con la resistencia especificada por la norma ASTM C 270, es decir, que la resistencia fuera de al menos 50 kg/cm^2 y 175 kg/cm^2 , para el mortero N y M, respectivamente. Los coeficientes de variación para los cubos ensayados fueron de 16.55% y 9.76%, para los morteros N y M, respectivamente, con lo cual, se considera que los resultados tienen bastante y alta representatividad según lo descrito en la Tabla 4.1.



4.4.3 Resultados de Ensayos en Prismas

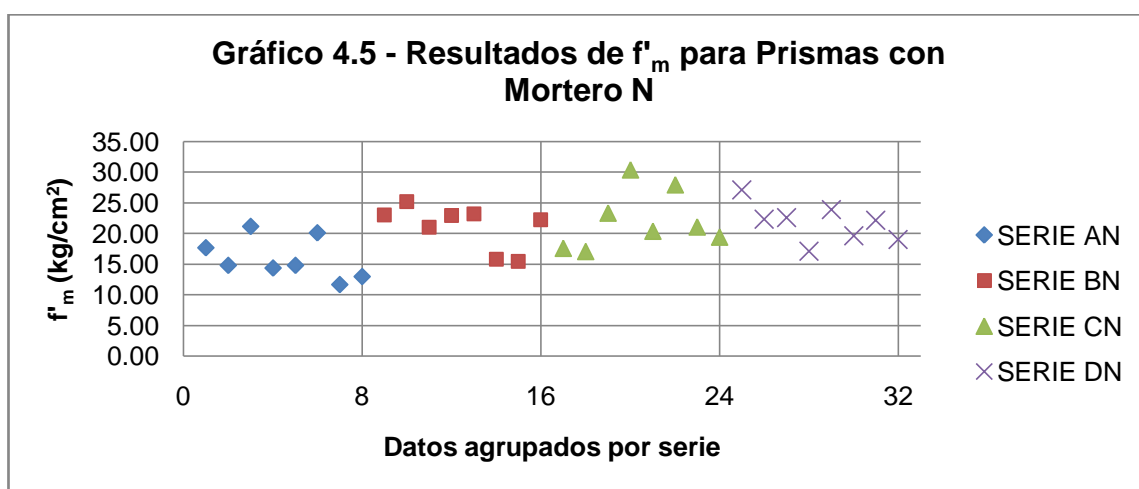
En el Gráfico 4.3 y 4.4 se muestran los resultados de los ensayos a compresión de los prismas construidos con mortero tipo N y M respectivamente. Estos datos no han sido normalizados por factores de corrección por esbeltez. En estos datos se distingue cada serie y se encuentran ordenados ascendentemente desde la serie A hasta la serie D para cada tipo de mortero utilizado, tal como se muestran en el Anexo B3.

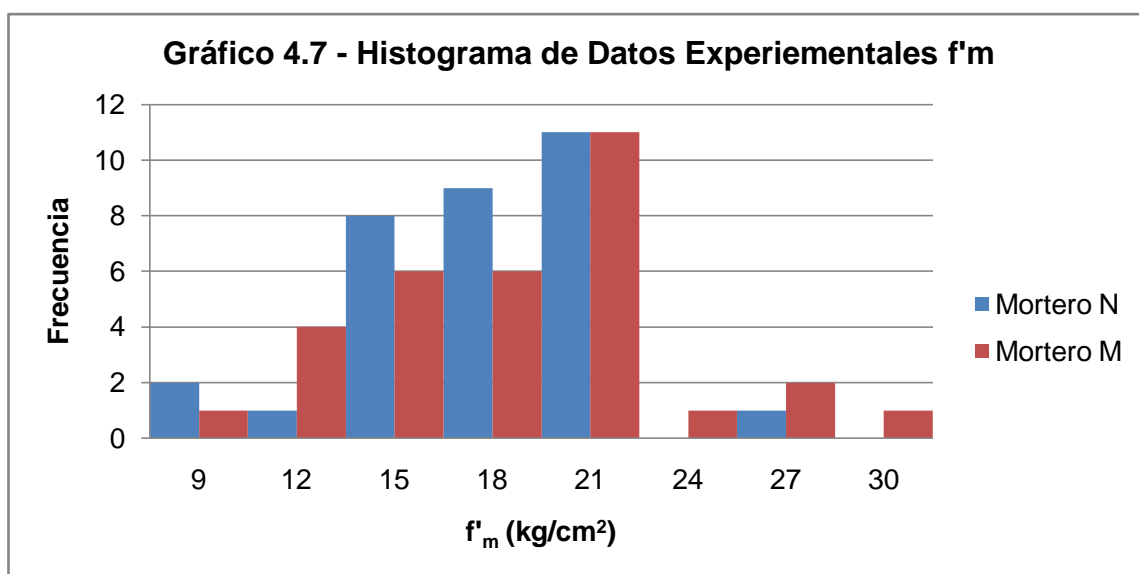
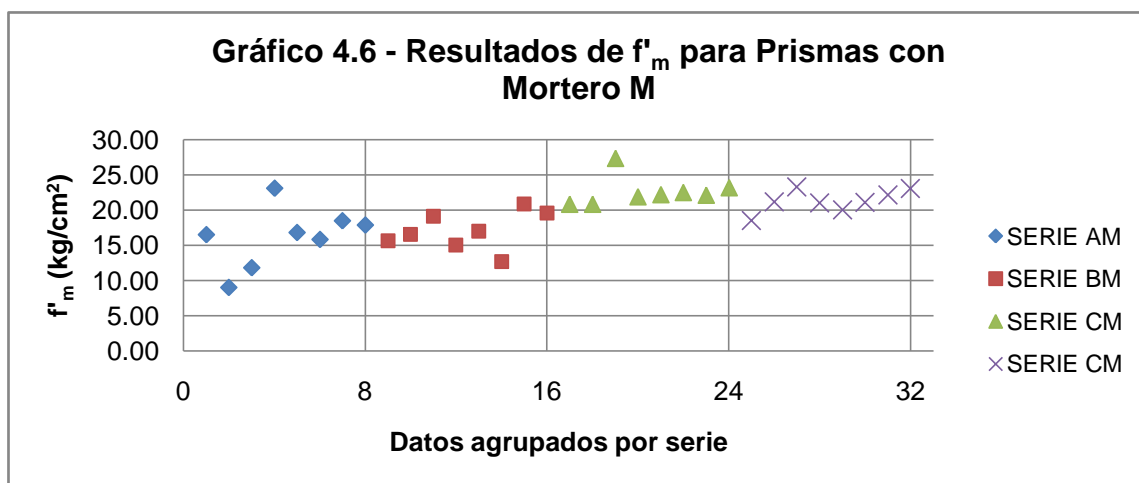


4.4.4 Resultados de Ensayos en Prismas Normalizados

Los datos de prismas mostrados anteriormente fueron normalizados a través de los factores de corrección mostrados en el acápite 2.6.4, proporcionados por la norma ASTM C 1314, ya que corresponden a la metodología que se ha venido siguiendo durante la fase experimental.

A continuación, se muestran dichos datos agrupados por serie, en el Gráfico 4.6 y 4.7 (Obtenidos a partir del Anexo B4). Para estos datos normalizados se obtuvo f'_m promedio 20.19 y 19.25 kg/cm² con un coeficiente de variación de 21.72% y 20.04%, para los prismas construidos con mortero N y M respectivamente, se observa que el coeficiente de variación es muy similar al obtenido de las unidades, lo cual era de esperarse por el tipo de unidades empleadas.





(Elaboración propia)

En el Gráfico 4.7 se puede apreciar el histograma para los datos de los prismas utilizando mortero tipo M y mortero tipo N, estos datos no han sido corregidos por esbeltez, sin embargo, se observa que la tendencia es que f'_m se encuentre entre 18 y 24 kg/cm².

4.4.5 Resultados de Módulo de Elasticidad Obtenidos

En el Anexo C1 se muestran los gráficos obtenidos a partir de los ensayo de prismas. Dichos gráficos fueron procesados para que los valores mostrados en el eje de las abscisas correspondiera a la deformación unitaria, mientras que en las ordenadas mostrara la resistencia a compresión normalizada (f'_m)

En el Anexo C2 se muestra los gráficos de esfuerzo – deformación unitaria, correspondientes a las series de prismas analizadas como se detalla a continuación.

Para determinar E_m , se escogieron las series de prismas C y D, para ambos tipos de mortero, puesto que, los gráficos de estas series de prismas presentaron menos acomodamientos, es decir, pequeñas caídas de carga en el rango elástico, además se lograba distinguir el valor del 5% de f'_m , comparado con las otras series en donde algunas veces la precarga era mayor que dicho valor.

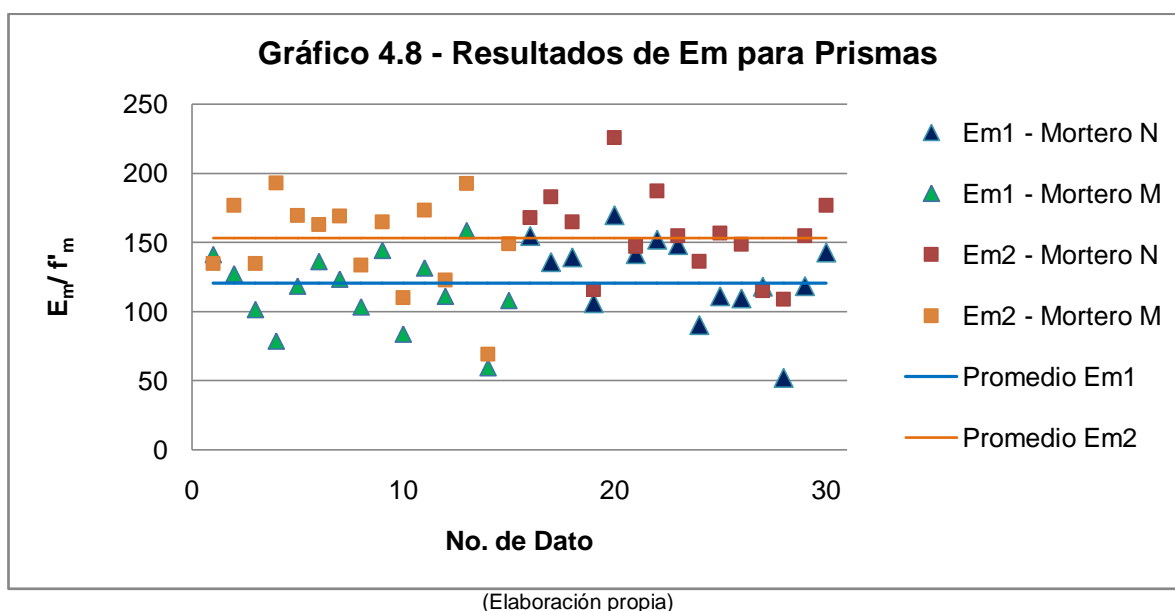
De un total de 32 gráficos fueron eliminados únicamente 2, debido a que estos gráficos presentaban acomodamientos, lo cual, si se tomaran en cuenta, implicaría datos incongruentes respecto al resto de datos.

El módulo de elasticidad fue calculado siguiendo el método del ACI 530-05 (pendiente entre niveles de 5% - 33% f'_m), pero fue observado que siguiendo este método la pendiente de esta línea no era representativa de la tendencia del rango elástico del gráfico obtenido, por lo tanto, se procedió a determinar E_m utilizando como criterio los valores de deformación entre 33% y 50% de f'_m , con lo cual, se visualizaba una mejor representación de la tendencia de la pendiente en el rango elástico de los gráficos.

De aquí en adelante distinguiremos los módulos de elasticidad calculados, nombrando como E_{m1} , al módulo de elasticidad obtenido por el método del ACI

y como E_{m2} , al que se calculó en esta investigación como se describió anteriormente.

Los resultados promedio obtenidos a partir de los gráficos analizados, fueron de $115 f'_m$ y $126 f'_m$ para E_{m1} , para el caso de los morteros M y N respectivamente y de $150 f'_m$ y $156 f'_m$ para el caso de E_{m2} . En el Gráfico 4.8 los valores de E_{m1}/f'_m y E_{m2}/f'_m , ordenados tal como aparecen en el Anexo B5.



4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos, se analizaron los datos en conjunto. Para ello nos auxiliamos de los métodos estadísticos mencionados al inicio de este capítulo.

De acuerdo a lo anterior, se llevó a cabo un proceso de depuración seleccionando los valores que tienen una probabilidad en conjunto de ocurrencia del 90%, mientras que el resto de datos con probabilidad de ocurrencia menor del 10% fueron marcados como atípicos. Es decir, se

analizarán los valores datos contenidos en el intervalo entre los percentiles 5 y 95.

4.5.1 Depuración de Resultados de Ensayo de Unidades

Para el caso de las unidades se depuraron 2 datos, los cuales se muestran en rojo en el Anexo B1. Con la depuración de estos datos (ver Anexo B6) se obtuvo una resistencia promedio de las unidades de 63.77 kg/cm^2 con un coeficiente de variación del 17.61%.

Tabla 4.2 – Percentil 5 y 95 para las Unidades Ensayadas.

Percentil (kg/cm^2)	
5	95
186.68	241.44

4.5.2 Depuración de Resultados de Ensayo de Mortero

Para el caso del mortero, de la depuración realizada se eliminaron 2 datos para cada tipo de mortero, los cuales son mostrados en rojo en el Anexo B2. Obteniendo de este modo, una resistencia a compresión promedio de 64.59 kg/cm^2 y 213.65 kg/cm^2 y un coeficiente de variación de 8.29% y 6.07% para morteros Tipo N y M respectivamente.

Tabla 4.3 – Percentil 5 y 95 para los Morteros Ensayados.

Mortero	Percentil (kg/cm^2)	
	5	95
N	47.03	74.23
M	186.68	241.44

4.5.3 Depuración de Resultados de Ensayo de Prismas

En el procesamiento de datos de los prismas, primero se dejaron fuera los primeros tres resultados de la serie AM. Estos datos fueron dejados fuera ya

que la máquina de ensayo estaba calibrada para terminar el ensayo ante una caída del 10% de la carga alcanzada, y debido que algunos de estos prismas presentaron acomodamientos entre las unidades y el mortero, consideramos que la máquina pudo haber parado el ensayo durante uno de estos acomodamientos, por lo tanto, se duda si estos prismas alcanzaron su carga última.

En el Anexo B3 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos y marcados en gris los datos que fueron eliminados del análisis. Luego de esto, se procedió a calcular los percentiles 5 y 95, del conjunto de datos de los prismas por cada tipo de mortero utilizado, y de este modo se identificaron los valores marcados en rojo como atípicos, en el mismo anexo.

Tabla 4.4 – Percentil 5 y 95 para los Prismas Ensayados.

Mortero de Juntas	Percentil (kg/cm ²)	
	5	95
N	13.74	27.43
M	15.18	23.05

De lo anterior, fueron dejados fuera del análisis 4 datos de los prismas con mortero de juntas tipo N y 8 datos en total de los prismas con mortero de juntas tipo M. Los resultados depurados se muestran en el Anexo B8.

Con los datos depurados se obtuvo un valor de resistencia de 20.12 kg/cm² y 19.89 kg/cm² y, y un coeficiente de variación de 16.82% y 11.78%, para prismas con juntas de mortero tipo N y M, respectivamente.

4.5.4 Depuración de Resultados de Módulo de Elasticidad

En el procesamiento de los datos del módulo de elasticidad se dejaron fuera del análisis 3 datos por cada tipo de mortero, resultando en un promedio de 2,748.9 kg/cm² y 3,350.4 kg/cm², y un coeficiente de variación del 15.45% y 14.02%, para E_{m1} y E_{m2} respectivamente. En el Anexo B5 se presenta el resumen de los

resultados de los módulos de elasticidad, en el cual se distinguen en rojo los datos atípicos. En el Anexo B9 se presentan los datos depurados.

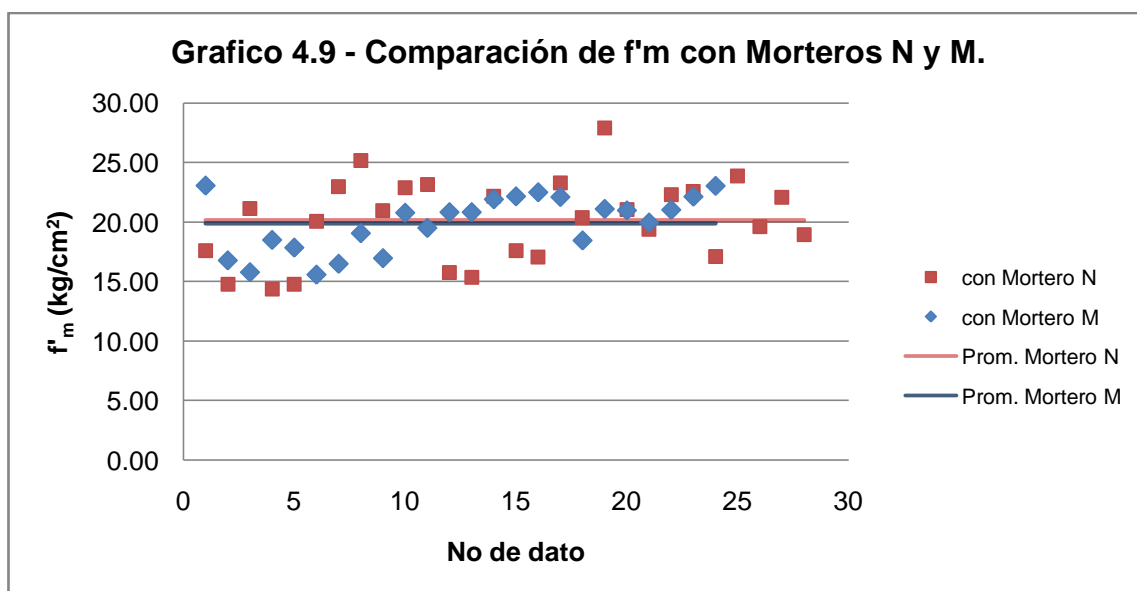
Tabla 4.5 – Percentil 5 y 95 para los Prismas Ensayados.

E _m	Percentil (kg/cm ²)	
	5	95
1	1463.7	3358.4
2	2218.1	4164.9

4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.6.1 Resistencia Promedio de Prismas de Mampostería de Ladrillo de Barro Cocido.

En el Gráfico 4.9 se presenta los resultados depurados de los prismas, en donde se observa que la resistencia promedio total de todas las muestras (f'_m) fue de 20.15 kg/cm² y 19.89 kg/cm², para el mortero tipo M y tipo N respectivamente.



(Elaboración propia)

4.6.2 Análisis de la Junta de Mortero.

En la sección anterior se pudo observar que el promedio de f'_m , presentó resultados muy similares, y se verificó que la contribución de f'_j sobre f'_m , fue casi nula para el tipo de unidades utilizadas en esta investigación. La diferencia en el valor de f'_m , usando el mortero M y el Mortero N, fue del -1.31%, por lo que puede considerarse despreciable.

Además, se pudo comprobar que la sisa vertical tiene un efecto despreciable en la resistencia a la compresión de los prismas de mampostería de barro cocido, tal como se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 – Comparación de la Resistencia a Compresión Promedio de Prismas Construidos con y sin Junta Vertical.⁴⁸

Caso	f'_m (kg/cm ²)		%Diferencia
	Prismas sin junta vertical Serie C	Prismas con junta vertical Serie D	
Mortero M	21.72	20.95	3.52
Mortero N	20.94	20.91	0.14
Ambos morteros	21.30	20.93	1.75

Se observa, que las diferencias entre la resistencia de los prismas, sin y con sisa vertical son bastante bajas. Por ejemplo, en el arreglo con sisa vertical disminuyó la resistencia a compresión en un 3.52% en el caso de los prismas con mortero M, mientras que para los prismas con mortero tipo N disminuyó la resistencia en apenas un 0.14%.

Sin embargo, el efecto general sin considerar el tipo de mortero (ya que se consideran sus resistencia como similares) fue también bajo, del orden del 1.75%, por lo que, para fines prácticos, se puede considerar que construir prismas con juntas verticales, no afectarán los resultados respecto a si se construyeran únicamente con junta horizontal.

⁴⁸ FUENTE: Elaboración propia.

4.6.3 Comparación de la Resistencia a Compresión de la Mampostería Experimental y Método Empírico (Ecuaciones).

Uno de los objetivos de esta investigación, es verificar si existe alguna relación entre la resistencia a compresión de la unidad y de la mampostería de barro cocido.

La Norma Técnica de Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería propone estimar la resistencia de la mampostería como el 60% de la resistencia de las unidades. En la Tabla 4.7 se pueden observar los valores de f'_m obtenidos mediante ensayos experimentales y mediante ecuaciones empíricas.

Tabla 4.7 –Resistencia a Compresión Experimental y Empírica.⁴⁹

Mortero	Valor Experimental			Valor Empírico f'_m (kg/cm ²)	f'_m/f'_b
	f'_b (kg/cm ²)	f'_j (kg/cm ²)	f'_m (kg/cm ²)	NTDCEM	
M	46.77 (m)	213.65	19.89	28.06	0.26
	63.77 (p)			38.26	0.31
	76.15 (M)			45.69	0.43
N	46.77 (m)	64.59	20.15	28.06	0.27
	63.77 (p)			38.26	0.33
	76.15 (M)			45.69	0.45

(p): valor de resistencia promedio.

(M): valor máximo de resistencia.

(m): valor mínimo de resistencia.

Es de notar que los valores promedios obtenidos experimentalmente son mucho menores que los que se obtienen aplicando el método empírico de la norma de nuestro país, siendo estos del orden de $0.32f'_b$ y variando en el rango $0.26 f'_b$ a $0.45 f'_b$, los cuales, no se acercan al $0.60f'_b$.

⁴⁹ FUENTE: Elaboración propia.

Se observa que a partir del método alternativo de dicha norma, los valores variaron el rango de 28.06 a 45.69 kg/cm², con lo cual, podemos confirmar que aún este intervalo no concuerda con el rango en que varían los valores de f'_m experimentales analizados (ver Anexo B8) entre 14.37 y 27.89 kg/cm².

4.6.4 Características Esfuerzo-Deformación

En el Anexo C2, se muestran los gráficos de esfuerzo-deformación de los prismas analizados. En estos gráficos se han trazado las pendientes correspondientes a los módulos de elasticidad que se obtendrían mediante las expresiones establecidas en la Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería, para Cargas de Corta Duración (CCD) y para Cargas Sostenidas (CS), a modo de comparar de forma cualitativa con los obtenidos en esta investigación

En el Gráfico 4.10 se comparan los resultados de esta investigación y los que se obtendrían utilizando las expresiones descritas en nuestra norma de mampostería. En la Tabla 4.8 y 4.9 se presenta un resumen de los resultados.

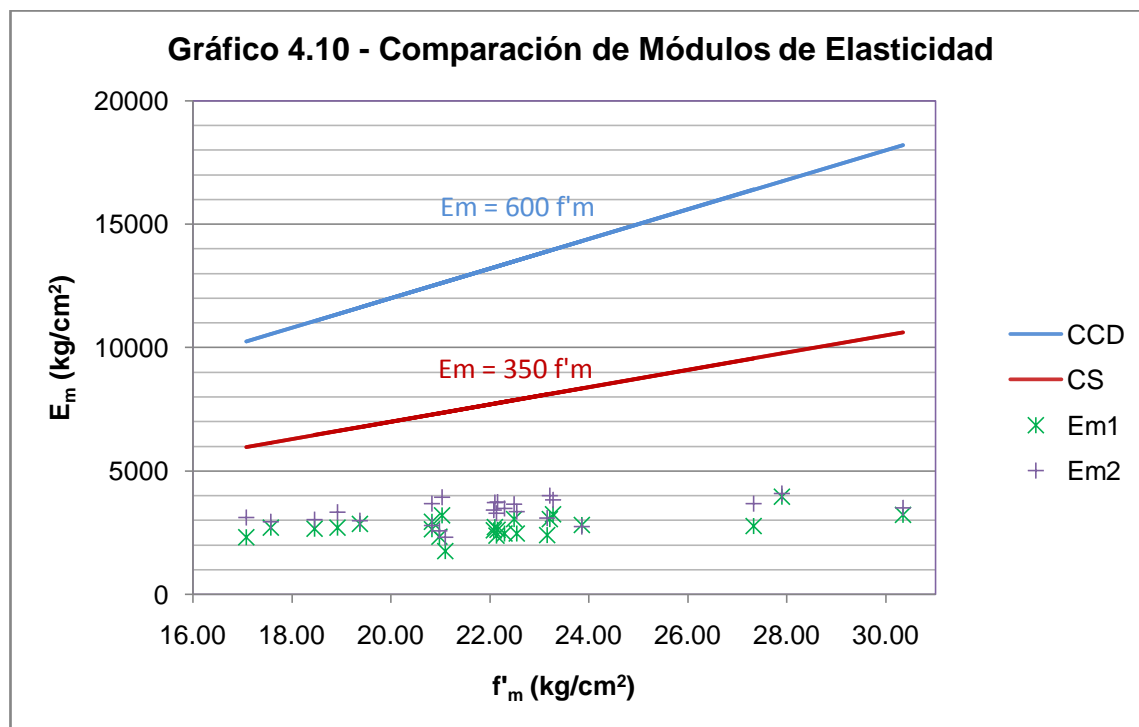


Tabla 4.8 – Comparación de E_m Obtenido por Diferentes Métodos.⁵⁰

RESULTADO	E_{m1} (ACI 530-05)	E_{m2} ($0.33f'_m-0.50f'_m$)	$350 f'_m$ (CS)	$600 f'_m$ (CCD)
E_m (kg/cm ²)	1,765 (m) 2,749 (p) 3,953 (M)	2,318 (m) 3,350 (p) 4,098 (M)	5,976 (m) 7,744 (p) 10,620 (M)	10,224 (m) 13,275 (p) 18,206 (M)

(p): valor promedio.

(M): valor máximo.

(m): valor mínimo.

Se puede observar de la tabla anterior que los datos obtenidos en este trabajo están por debajo de los casos planteados por la norma técnica, mencionados en la sección anterior.

⁵⁰ FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 4.9 – Comparación de E_m Obtenido por Diferentes Métodos.⁵¹

RESULTADO	E_{m1} (ACI 530-05)	E_{m2} ($0.33f'_m-0.50f'_m$)	$350 f'_m$ (CS)	$600 f'_m$ (CCD)
E_m/f'_m	84 (m) 125 (p) 155 (M)	110 (m) 153 (p) 187 (M)	350	600

(p): valor promedio.

(M): valor máximo.

(m): valor mínimo.

En esta investigación se obtuvo una relación E_m/f'_m promedio de 153, variando en el rango de 110 a 187.

Es de observar, que particularmente para las condiciones de esta investigación, el método del ACI 530 parece subestimar el módulo de elasticidad. Esto puede deberse a que en niveles de esfuerzo de alrededor del 5% de f'_m , la pendiente de la curva aún seguía aumentando en el gráfico $f'_m - \epsilon$ hasta cierto nivel de esfuerzo en donde la pendiente alcanzaba un valor estable. También fue observado en algunos pocos casos que los resultados de E_{m1} y E_{m2} estuvieron cercanos, pero siempre se observó que $E_{m1} < E_{m2}$, lo cual, puede ser corroborado a través del Anexo C2.

⁵¹ FUENTE: Elaboración propia.

CAPITULO 5: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

5.1 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo de graduación y bajo las condiciones particulares en que fue llevado a cabo, podemos concluir que:

- Al comparar las resistencias a compresión promedio de los prismas contruidos con mortero tipo N y M, se obtuvieron resultados similares, por lo que no existe un cambio significativo al utilizar distintos morteros.
- Al comparar los dos métodos para evaluar f'_m establecidos por la Norma Técnica de Diseño y Construcción Estructural de Mampostería, se pudo verificar que el valor de f'_m obtenido experimentalmente está por debajo del valor de f'_m obtenido mediante la expresión establecida en dicha normativa. En esta investigación la resistencia a compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido, resultó en el orden de 26% al 45% del valor de la resistencia promedio de la unidad y no el 60% que especifica dicha normativa.
- El módulo de elasticidad obtenido en esta investigación, fue del orden de $110f'_m$ al $187f'_m$. Con lo cual, se obtuvieron valores de E_m por debajo a los dos valores propuestos por la Norma Técnica de Diseño y Construcción Estructural de Mampostería.
- Al utilizar el método del ACI 530-05, para determinar E_m , y compararlos con los obtenidos en esta investigación, se obtienen valores de E_m menores.

5.2 RECOMENDACIONES.

De los resultados obtenidos en esta investigación, y tomando en cuenta las condiciones y propiedades mecánicas de los materiales utilizados, surgen una serie de recomendaciones:

- Se recomienda que para evaluar experimentalmente f'_m , se deben construir prismas con relación altura - espesor (h/t) mayores de 2.5, para evitar dispersiones altas en los resultados de f'_m .
- Se recomienda para futuras investigaciones, evaluar la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de la mampostería utilizando diferentes métodos de refrentado y verificar si existen diferencias entre los refrentados adheridos y no adheridos para unidades de mampostería de barro cocido de nuestro medio.
- Se recomienda que para la utilización de refrentados no adheridos, se preparen previamente las superficies superiores e inferiores del prisma, que se apoyaran sobre las placas de la máquina de ensayo, para garantizar una distribución uniforme de los esfuerzos, por las irregularidades que presentan estas unidades al ser de fabricación artesanal.

BIBLIOGRAFÍA

TESIS

- Alvarado C. Luis, Pineda A. Santos, Ventura R. Joaquín, “Diseño de Elementos Estructurales de Concreto Reforzado”, Universidad de El Salvador, El Salvador, Octubre 2004.
- Bacca S. German, Claro L. Julián Andrés, “Resistencia de la Mampostería Reforzada Exteriormente Usando Malla Electrosoldada con Fines de Reforzamiento en Viviendas en la ciudad de Ocaña”, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia, Abril 2012.
- Cifuentes Vera Guillermo, “El Uso del Refrentado No Adherido, en la Determinación de la Resistencia a la Compresión en Probetas Cilíndricas de Hormigón”, Universidad de Magallanes, Chile, Mayo 2010.
- Crisafulli Francisco Javier, “Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills”, University of Cantenbury, Julio 1997.
- Cuellar H. Edwin, Portillo B. Juver, Renderos C. Mario, Vides C. Francisco, “Evaluación de la Resistencia a la Fractura de los Ladrillos de Barro Fabricados por Compresión”, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador, Octubre 2006.
- Domínguez A. Jhon, Niño G. Oscar, “Unidades de Mampostería (H-10, H-15 Termosa) con Refrentado en Neopreno (Espesor 3/8”, 1/2”, 3/4””, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Colombia, Abril 2008.
- Fonseca Chair Fernando, Richards Paul William, Richard Jack Balling, “Analisy of Unbonded Capping Materials in Determining The Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms”, Brigham Young University, Estados Unidos, Abril 2012.
- Mohammad H. Malek, “Compressive Strength of Brickwork Masonry Under Concentrated Loading”, University of Edinburgh, Octubre 1987.

- Sánchez G. Ana, Mejía A. Fredy, “Análisis de los Esfuerzos de Compresión en Unidades de Mampostería Estructural y Muretes E-9, E-11 y E-14 de una Empresa de Santander”, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Colombia, Agosto 2009.

NORMAS

- ASTM C 62-04: “Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale)” (Especificación Estándar para Ladrillo de Construcción (Unidades de Mampostería Macizas Hechas de Arcilla o Pizarra)).
- ASTM C 67-03a: “Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile” (Método de Ensayo Estándar para el Muestreo y Ensayo del Ladrillo y Baldosa Estructural de Arcilla).
- ASTM C 216-04: “Standard Specification for Facing Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)” (Especificación estándar para ladrillo (unidades de mampostería sólidas Hechas de Arcilla)).
- ASTM C 270-07: “Standard Specification for Mortar for Unit Masonry” (Especificación Estándar del Mortero para Unidades de Mampostería).
- ASTM C 109/C 109M – 08: “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)” (Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando Especímenes Cúbicos de 2-pulg o [50-mm])).
- ASTM C 617-98: “Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens” (Práctica Estándar para Cabeceado de Especímenes Cilíndricos de Concreto).
- ASTM C 1231-00: “Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders”

(Práctica Normativa para el Uso de Capas No Adheridas en la Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido).

- ASTM C 1314-02a: ASTM C 1314–02a. “Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prism”. (Método Estándar de Ensayo. Determinación de la Resistencia a la Compresión de prismas de mampostería).
- ASTM E 111-04: “Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus” (Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Módulo de Young, Módulo Tangente y Módulo Cuerda).
- ACI 530-05: Building Code Requirements for Masonry Structures. (ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05), Masonry Standards Joint Committee (MSJC), Octubre 2004.
- Eurocode 6 “Design of Masonry Structures Part 1-1: General Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures” (EN 1996-1-1:2005), European Comitee for Standardization, Noviembre 2006.
- International Building Code (IBC 2009), International Code Council, Febrero 2009.
- Norma Técnica para el Control de Materiales Estructurales, Reglamento para la Seguridad Estructural de las construcciones, Ministerio de Obras Públicas, El Salvador, 1994.
- Norma Técnica Para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería, Reglamento para la Seguridad Estructural de las construcciones, Ministerio de Obras Públicas, El Salvador, 1994.
- Norma Técnica Colombiana NTC 504: Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto).
- Norma Técnica Colombiana NTC 490: Yeso para Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto).

- Norma Técnica Colombiana NTC 3801-95: Obtención y Ensayo de Muestras de concreto endurecido liviano de aislamiento para la Resistencia a la Compresión.
- Norma Técnica IRAM 1709-02: Método para el uso de encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.
- Norma Técnica Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013: Resistencia a la Compresión de Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones y Adoquines – Método de Ensayo.
- Norma Mexicana Anteproyecto NMX-PILAS, “Determinación de la Resistencia a Compresión y del Módulo de Elasticidad de Pilas de Mampostería de Barro y de Concreto”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C., México D. F. (En proceso), 2003.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.605: Método de Ensayos Para La Determinación de La Resistencia en Compresión de Prismas de Albañilería INDECOPI, 2003.
- Norma Técnica Peruana 339.613:2003: Método de Ensayo Para la Resistencia a la Compresión de Prismas de Albañilería.
- Normas Técnicas Mexicanas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, UNAM, México, 2003.
- Código Sísmico de Costa Rica 2002, Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2003.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-1998), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Colombia, 1998.
- Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC-10, Parte 5 “Mampostería Estructural”, Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de Construcción, Ecuador, 2010.

- Norma Técnica E.070 de Albañilería (NTE E.070-06), SENCICO, Perú, 2006.
- Norma Chilena Oficial NCH.1928.OF.1993, Modificada en 2009: “Albañilería Armada- Requisitos de Diseño y Cálculo”, Instituto Nacional de Normalización (INN), 3a. ed., Chile, 2009.
- Norma Chilena Oficial NCH.2123.OF.1997, Modificada en 2003: “Albañilería Confinada- Requisitos de Diseño y Cálculo”, Instituto Nacional de Normalización (INN), 2a. ed., Chile, 2003.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, Título D “Mampostería Estructural”, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Colombia, 2010.

SITIOS WEB

- <https://es.scribd.com/doc/89821223/MORTEROS-DE-CEMENTOS> (Consultado 21/05/2015, 15:04).
- http://www.scholarbank.nus.edu.sg/bitstream/handle/10635/13650/Chapter_2.pdf?sequence=5 (Consultado 23/05/2015, 13:09).

OTRAS LITERATURAS

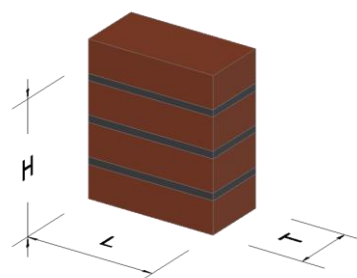
- Bonilla G., “Estadística I”, UCA editores, El Salvador, 1998.
- “Compressive Strength of Masonry”, Masonry Information, Portland Cement Association, IS276.01M, 1993.
- Fishburn, C. C., “Effect of Mortar Properties on Strength of Masonry”,
- Francis A, Horman C, Jerrems L. “The Effect of Joint Thickness and Other Factors on the Compressive Strength of Brickwork”. In: Proc 2nd Int Brick/Block Masonry Conf.Stoke-on-Trent, Reino Unido, 1971.

- Hendry, A. W., "Structural Masonry", Macmillan Education Ltd., Londres, 1990.
- Hemant B. Kaushik; Durgesh C. Rai; and Sudhir K. Jain, M.ASCE "Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry Under Uniaxial Compression", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 2007.
- H. Gallegos V., C. Casabonne R. "Albañilería Estructural", 3a. ed., Fondo Editorial PUCP, 2005.
- Hilsdorf H. K, "Investigation into the Failure Mechanism of Brick Masonry Loaded in Axial Compression," Gulf Publishing Company, Houston, Texas, U.S.A., 1969.
- "Informe de Resultados de la Investigación del Sistema Constructivo Bloque de Concreto con Refuerzo Integral", TAISHIN, El Salvador, 2008.
- Kosmatka Steven H., Kerkhoff Beatrix y Panarese William. "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, 14a. ed., Illinois, U.S.A., 2002.
- National Bureau of Standards Monograph 36, Washington DC, 1961.
- Paulay T. y Priestley, M. J. N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building", John Wiley & Sons, 1992.
- San Bartolomé A., "Colección del Ingeniero Civil", Colegio de Ingenieros del Perú, 1990.
- Sinha, B. P. y Pedeschi, R., "Compressive Strength and Some Elastic Properties of Brickwork", International Journal of Masonry Construction, Vol. 1, No. 3, 1983.
- Zavalis R., Jonaitis B., Lourenço P.B., "Analysis of Bed Joint Influence on Masonry Modulus of Elasticity", International Masonry Society, 9th International Masonry Conference, Guimarães Portugal, 2014.

ANEXOS

ANEXO A “RESULTADOS DE ENSAYOS”

Dimensiones de
los prismas



A1 “RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MORTEROS”

CUBO	FECHA/EDAD	LARGO (L)	ESPESOR (T)	ALTURA (H)	ÁREA (L*T)	CARGA MAX. (kg)	PESO (g)	γ (kg/m ³)	σ (kg/cm ²)
M	24/06/2015	5.1	5.1	5.0	26.3	5670	283.60	2160	215.88
1	28 días	5.1	5.2	5.0					
		5.1	5.2	5.0					
M	24/06/2015	5.1	5.1	5.1	26.0	5240	279.30	2106	201.46
2	28 días	5.1	5.1	5.1					
		5.1	5.1	5.1					
M	24/06/2015	5.1	5.1	5.0	25.8	5250	280.00	2174	203.84
3	28 días	5.1	5.0	5.0					
		5.1	5.1	5.0					
M	25/06/2015	5.1	5.0	5.1	25.5	5440	284.20	2207	213.33
4	28 días	5.1	5.0	5.0					
		5.1	5.0	5.1					
M	25/06/2015	5.0	5.0	5.1	25.0	6200	285.90	2265	248.00
5	28 días	5.0	5.0	5.0					
		5.0	5.0	5.1					
M	25/06/2015	5.0	5.0	5.0	25.0	5790	284.90	2257	231.62
6	28 días	5.1	4.9	5.1					
		5.1	5.0	5.1					
M	25/06/2015	5.1	5.1	5.0	25.8	4580	284.70	2189	177.83
7	28 días	5.0	5.1	5.1					
		5.1	5.1	5.1					
M	25/06/2015	5.1	5.0	5.1	25.8	5150	284.80	2168	199.96
8	28 días	5.1	5.1	5.1					
		5.1	5.1	5.1					
M	25/06/2015	5.0	5.1	5.1	25.8	5910	286.20	2179	229.47
9	28 días	5.1	5.1	5.1					
		5.1	5.1	5.1					

CUBO	FECHA/EDAD	LARGO (L)	ESPESOR (T)	ALTURA (H)	ÁREA (L*T)	CARGA MAX. (kg)	PESO (g)	γ (kg/m ³)	σ (kg/cm ²)
N	01/07/2015	5.0	5.0	5.0	25.0	989	226.10	1809	39.56
1	28 días	5.0	5.0	5.0					
		5.0	5.0	5.0					
N	01/07/2015	5.1	5.1	5.1	26.0	1735	235.60	1776	66.71
2	28 días								
		5.1	5.1	5.1					
N	01/07/2015	5.1	5.1	5.1	26.0	1929	239.50	1805	74.16
3	28 días								
		5.1	5.1	5.1					
N	01/07/2015	5.1	5.1	5.1	26.0	1684	239.10	1802	64.74
4	28 días								
		5.1	5.1	5.1					
N	01/07/2015	5.1	5.1	5.1	26.0	1733	242.60	1829	66.63
5	28 días								
		5.1	5.1	5.1					
N	01/07/2015	5.1	5.1	5.2	26.0	1932	243.00	1797	74.28
6	28 días								
		5.1	5.1	5.2					
N	02/07/2015	5.0	5.0	5.0	25.0	1491	238.50	1908	59.64
7	28 días								
		5.0	5.0	5.0					
N	02/07/2015	5.0	5.0	5.0	25.0	1456	238.60	1909	58.24
8	28 días								
		5.0	5.0	5.0					
N	02/07/2015	5.0	4.9	5.0	24.5	1519	238.10	1944	62.00
9	28 días								
		5.0	4.9	5.0					

A2 “RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE UNIDADES”

ESPECIMEN	FECHA ENSAYO	LARGO (L1)	ANCHO (L2)	ALTURA (H)	ALTURA REF. (Hr)	ÁREA (L1*L2)	CARGA MAX. (kg)	PESO (g)	γ (kg/m ³)	f'b
L	13/07/2015	10.3	10.2	6.5	7.3	105.05	8000	903.6	1323.3	76.15
1		10.3	10.1	6.5						
		10.4	10.2	6.4						
		10.4	10.1	6.6						
		10.4	10.2	6.5						
L	13/07/2015	10.4	10.3	6.6	7.5	107.12	8390	908.9	1295.4	78.32
2		10.4	10.2	6.5						
		10.4	10.4	6.6						
		10.4	10.3	6.5						
		10.4	10.3	6.6						
L	13/07/2015	10.3	10.2	6.7	7.5	105.83	4950	929.4	1296.2	46.77
3		10.4	10.3	6.7						
		10.3	10.2	6.8						
		10.3	10.3	6.9						
		10.3	10.3	6.8						
L	13/07/2015	10.4	10.4	6.3	6.8	107.12	6210	838.7	1218.6	57.97
4		10.3	10.3	6.7						
		10.4	10.4	6.7						
		10.3	10.3	6.0						
		10.4	10.4	6.4						
L	13/07/2015	10.4	10.3	6.3	7.2	106.34	4856	861.0	1240.8	45.66
5		10.3	10.4	6.4						
		10.0	10.4	6.7						
		10.3	10.4	6.7						
		10.3	10.4	6.5						
L	13/07/2015	10.4	10.2	6.8	7.5	106.60	6230	920.8	1274.9	58.44
6		10.3	10.2	6.9						
		10.4	10.4	6.8						
		10.4	10.3	6.6						
		10.4	10.3	6.8						
L	13/07/2015	10.2	10.2	6.5	7.4	104.29	7580	941.2	1357.1	72.68
7		10.3	10.2	6.7						
		10.3	10.0	6.7						
		10.3	10.2	6.7						
		10.3	10.2	6.7						
L	13/07/2015	10.4	10.2	6.4	7.5	105.92	7480	-	-	70.62
8		10.3	10.2	6.4						
		10.3	10.3	6.3						
		10.4	10.3	6.5						
		10.3	10.3	6.4						

A3 “RESULTADOS DE ENSAYO DE LOS PRISMAS”

PRISMA	FECHA/EDAD	LARGO (L)	ESPESOR (T)	ALTURA (H)	ÁREA (L*T)	CARGA MAX. (kg)	H/T	σ (kg/cm ²)
AM	23/06/2015	27.0	13.8	24.1	379.8	6800	1.72	17.90
1	27 días	27.7	13.8	23.3				
		27.9	13.8	24.1				
		27.1	14.0	24.0				
		27.4	13.9	23.9				
AM	23/06/2015	27.7	13.7	22.4	380.2	3830	1.63	10.07
2	27 días	27.2	14.1	22.6				
		27.5	13.9	22.5				
		27.8	13.5	22.5				
		27.6	13.8	22.5				
AM	23/06/2015	27.5	13.5	22.9	368.6	4770	1.68	12.94
3	27 días	26.9	13.8	23.0				
		26.5	13.8	22.7				
		27.5	13.3	22.8				
		27.1	13.6	22.9				
AM	23/06/2015	26.6	13.9	22.9	374.3	9530	1.66	25.46
4	27 días	27.4	13.7	23.1				
		27.5	13.7	22.9				
		27.0	13.9	22.9				
		27.1	13.8	23.0				
AM	23/06/2015	27.9	13.2	23.0	368.2	6770	1.69	18.39
5	27 días	27.2	13.7	22.6				
		26.7	13.8	22.7				
		27.5	13.2	22.7				
		27.3	13.5	22.8				
AM	23/06/2015	27.1	13.9	22.8	373.3	6490	1.67	17.38
6	27 días	27.4	13.7	22.8				
		27.2	13.6	22.8				
		27.1	13.7	23.4				
		27.2	13.7	23.0				
AM	24/06/2015	26.9	13.6	23.4	375.0	7610	1.68	20.29
7	28 días	27.3	14.1	23.3				
		27.4	13.5	23.2				
		27.3	13.9	22.9				
		27.2	13.8	23.2				
AM	24/06/2015	27.3	13.8	22.7	374.3	7330	1.68	19.58
8	28 días	27.1	13.6	22.9				
		27.4	13.7	23.4				
		27.3	13.8	23.5				
		27.3	13.7	23.1				

BM	23/06/2015	27.6	14.2	31.1	384.0	5870	2.25	15.29
1	27 días	27.4	13.8	31.5				
		27.7	13.9	31.0				
		27.6	13.8	31.5				
		27.6	13.9	31.3				
BM	23/06/2015	27.7	13.9	31.6	382.6	6180	2.27	16.15
2	27 días	27.0	13.9	31.3				
		27.9	13.8	31.6				
		27.7	13.9	31.3				
		27.6	13.9	31.5				
BM	23/06/2015	27.5	14.1	30.8	390.2	7330	2.18	18.78
3	27 días	27.7	14.1	30.6				
		27.6	14.2	30.8				
		27.9	14.0	30.9				
		27.7	14.1	30.8				
BM	23/06/2015	27.1	13.8	30.8	376.7	5550	2.23	14.73
4	27 días	27.4	13.8	30.8				
		27.2	13.9	30.8				
		27.5	13.7	30.8				
		27.3	13.8	30.8				
BM	23/06/2015	27.2	13.8	30.7	378.8	6320	2.21	16.68
5	27 días	27.5	13.8	30.8				
		27.7	13.8	30.4				
		27.4	13.8	30.3				
		27.5	13.8	30.6				
BM	23/06/2015	27.5	13.9	30.4	379.2	4710	2.22	12.42
6	27 días	27.5	13.7	30.5				
		27.7	13.9	30.5				
		27.6	13.5	30.6				
		27.6	13.8	30.5				
BM	24/06/2015	27.8	13.6	30.1	377.8	7740	2.18	20.49
7	28 días	27.1	13.9	29.8				
		27.4	13.9	29.9				
		27.6	13.6	29.9				
		27.5	13.8	29.9				
BM	24/06/2015	27.4	13.7	31.0	385.4	7390	2.21	19.18
8	28 días	27.8	14.2	30.9				
		27.7	14.1	30.8				
		27.4	13.9	31.0				
		27.6	14.0	30.9				

CM	24/06/2015	27.1	13.9	38.9	372.3	7320	2.82	19.66
1	27 días	27.0	13.5	38.9				
		27.2	13.8	38.4				
		27.2	13.7	38.6				
		27.1	13.7	38.7				
CM	24/06/2015	27.2	13.9	39.3	373.7	7340	2.84	19.64
2	27 días	27.5	13.6	38.8				
		27.0	13.4	38.5				
		27.4	13.9	38.8				
		27.3	13.7	38.9				
CM	25/06/2015	26.9	13.6	38.5	365.8	9440	2.82	25.80
3	28 días	27.0	13.6	38.6				
		27.1	13.5	37.9				
		26.8	13.6	38.0				
		27.0	13.6	38.3				
CM	25/06/2015	27.5	13.9	39.8	367.5	7590	2.84	20.65
4	28 días	26.1	13.5	39.4				
		26.5	13.6	38.5				
		27.0	13.9	38.4				
		26.8	13.7	39.0				
CM	25/06/2015	27.1	13.7	39.0	367.2	7680	2.82	20.92
5	28 días	26.6	13.5	38.2				
		27.1	13.4	38.4				
		27.0	13.9	38.1				
		27.0	13.6	38.4				
CM	25/06/2015	27.3	13.7	38.8	368.6	7810	2.86	21.19
6	28 días	27.6	13.5	38.6				
		27.1	13.3	38.5				
		27.0	13.6	38.7				
		27.3	13.5	38.7				
CM	25/06/2015	27.2	14.3	38.9	379.5	7940	2.77	20.92
7	28 días	27.2	13.7	38.5				
		27.6	13.8	38.4				
		27.0	13.9	38.4				
		27.3	13.9	38.6				
CM	25/06/2015	27.0	14.3	39.0	376.7	8240	2.81	21.87
8	28 días	27.9	13.5	38.9				
		27.6	13.4	38.8				
		26.7	14.0	38.5				
		27.3	13.8	38.8				

DM	24/06/2015	26.9	13.9	38.9	368.4	6420	2.82	17.42
1	27 días	26.5	13.7	39.1				
		26.9	13.8	38.9				
		26.3	13.9	39.0				
		26.7	13.8	39.0				
DM	24/06/2015	27.1	13.9	38.8	370.2	7380	2.80	19.94
2	27 días	26.6	13.7	38.7				
		26.4	13.8	38.7				
		27.0	13.9	38.8				
		26.8	13.8	38.8				
DM	24/06/2015	26.1	13.9	39.4	369.2	8080	2.84	21.89
3	27 días	27.2	13.5	39.2				
		26.2	13.9	39.1				
		27.5	13.9	39.1				
		26.8	13.8	39.2				
DM	24/06/2015	27.0	14.3	39.6	381.1	7550	2.81	19.81
4	27 días	26.7	14.0	39.7				
		27.4	13.9	39.5				
		27.2	14.1	39.5				
		27.1	14.1	39.6				
DM	24/06/2015	27.0	14.1	39.0	374.2	7070	2.77	18.89
5	27 días	26.6	13.7	38.9				
		26.5	14.2	38.5				
		27.0	13.9	38.5				
		26.8	14.0	38.7				
DM	24/06/2015	26.0	13.9	39.0	372.9	7410	2.80	19.87
6	27 días	27.9	13.5	38.6				
		25.9	14.1	38.7				
		27.9	13.9	38.8				
		26.9	13.9	38.8				
DM	25/06/2015	27.0	14.0	39.0	379.8	7950	2.78	20.93
7	28 días	27.7	13.7	39.2				
		27.0	14.1	38.7				
		27.2	14.0	38.5				
		27.2	14.0	38.9				
DM	25/06/2015	26.9	14.0	39.2	376.0	8170	2.83	21.73
8	28 días	27.4	14.1	39.3				
		27.2	13.7	39.4				
		26.9	13.7	39.2				
		27.1	13.9	39.3				

PRISMA	FECHA/EDAD	LARGO (L)	ESPESOR (T)	ALTURA (H)	ÁREA (L*T)	CARGA MAX. (kg)	H/T	σ (kg/cm ²)
AN	01/06/2015	27.2	14.0	23.1	378.8	7400	1.65	19.54
1	28 días	27.4	13.4	23.0				
		27.8	13.8	22.6				
		27.0	14.2	22.6				
		27.4	13.9	22.8				
AN	01/06/2015	26.9	13.9	22.7	374.0	6140	1.64	16.42
2	28 días	27.3	13.8	22.7				
		27.2	13.8	22.5				
		27.2	13.6	22.6				
		27.2	13.8	22.6				
AN	01/06/2015	27.1	13.7	22.8	378.8	8920	1.64	23.55
3	28 días	27.4	13.7	22.9				
		27.3	14.2	22.4				
		27.6	13.8	22.5				
		27.4	13.9	22.7				
AN	01/06/2015	27.6	14.0	23.2	378.8	5990	1.67	15.81
4	28 días	27.4	13.9	23.1				
		27.2	13.8	23.3				
		27.2	13.7	23.1				
		27.4	13.9	23.2				
AN	01/06/2015	27.3	13.6	22.8	382.3	6280	1.64	16.43
5	28 días	27.7	14.1	22.6				
		27.5	13.8	22.7				
		27.9	13.9	22.6				
		27.6	13.9	22.7				
AN	01/06/2015	27.4	14.2	23.2	386.4	8630	1.64	22.34
6	28 días	27.6	14.2	23.2				
		27.5	13.9	22.7				
		27.7	13.8	22.8				
		27.6	14.0	23.0				
AN	01/06/2015	27.6	14.0	23.7	382.9	4890	1.69	12.77
7	28 días	27.2	14.0	23.5				
		27.2	13.7	23.7				
		27.6	14.2	23.5				
		27.4	14.0	23.6				
AN	01/06/2015	27.0	13.7	22.8	379.8	5490	1.64	14.45
8	28 días	27.5	14.0	22.7				
		27.2	14.0	22.9				
		27.6	13.9	22.6				
		27.3	13.9	22.8				

BN	02/06/2015	27.5	13.7	31.0				
1	28 días	27.6	13.8	31.1	379.2	8550	2.24	22.55
		27.4	13.8	30.9				
		27.4	13.9	30.7				
		27.5	13.8	30.9				
BN	02/06/2015	27.4	13.7	31.4				
2	28 días	27.5	13.9	31.5	380.2	9360	2.28	24.62
		27.7	13.9	31.5				
		27.4	13.8	31.6				
		27.5	13.8	31.5				
BN	02/06/2015	27.7	13.7	30.4				
3	28 días	27.3	13.9	30.4	377.1	7780	2.21	20.63
		27.2	13.6	30.3				
		27.5	13.8	30.3				
		27.4	13.8	30.4				
BN	02/06/2015	26.9	14.0	30.6				
4	28 días	27.1	13.5	30.1	375.7	8460	2.21	22.52
		27.7	14.1	30.9				
		27.2	13.6	30.2				
		27.2	13.8	30.5				
BN	02/06/2015	27.3	13.4	31.1				
5	28 días	27.1	13.7	31.2	372.6	8440	2.28	22.65
		27.4	13.8	31.1				
		27.2	13.8	31.1				
		27.3	13.7	31.1				
BN	02/06/2015	27.3	13.9	31.1				
6	28 días	27.2	13.7	31.0	375.7	5800	2.26	15.44
		27.3	13.8	31.2				
		27.3	13.7	31.1				
		27.3	13.8	31.1				
BN	02/06/2015	27.5	13.9	31.3				
7	28 días	27.8	13.6	31.3	378.5	5700	2.26	15.06
		27.5	13.9	31.1				
		27.1	13.7	30.8				
		27.5	13.8	31.1				
BN	02/06/2015	27.0	13.6	30.8				
8	28 días	27.0	13.7	30.7	370.6	8060	2.24	21.75
		27.1	13.8	30.7				
		27.1	13.7	30.6				
		27.1	13.7	30.7				

CN	02/06/2015	27.5	13.8	39.6				
1	28 días	27.4	13.9	39.6	375.7	6210	2.88	16.53
		27.2	13.5	39.5				
		27.4	13.7	39.6				
		27.4	13.7	39.6				
CN	02/06/2015	27.7	13.9	38.9				
2	28 días	27.3	13.7	38.5	378.8	6110	2.81	16.13
		27.5	13.7	38.8				
		27.5	13.8	38.6				
		27.5	13.8	38.7				
CN	02/06/2015	27.7	13.9	39.0				
3	28 días	27.2	14.2	39.0	385.4	8490	2.77	22.03
		27.4	13.9	38.5				
		27.8	14.0	38.8				
		27.5	14.0	38.8				
CN	02/06/2015	27.2	13.7	38.4				
4	28 días	26.6	13.6	38.4	362.8	10380	2.84	28.61
		26.6	13.4	38.4				
		26.9	13.4	38.6				
		26.8	13.5	38.5				
CN	02/06/2015	27.4	13.8	38.9				
5	28 días	27.0	13.7	38.9	374.3	7200	2.82	19.23
		27.2	14.0	38.8				
		27.1	13.6	38.8				
		27.2	13.8	38.9				
CN	02/06/2015	27.0	13.6	39.0				
6	28 días	27.1	13.8	39.1	373.0	9810	2.84	26.30
		27.2	13.7	38.8				
		27.6	13.7	38.9				
		27.2	13.7	39.0				
CN	02/06/2015	27.4	13.8	38.4				
7	28 días	26.7	13.8	38.4	373.7	7430	2.80	19.88
		27.4	13.8	38.5				
		27.2	13.6	38.5				
		27.2	13.8	38.5				
CN	02/06/2015	27.1	13.7	39.5				
8	28 días	27.6	13.9	39.7	378.8	6910	2.87	18.24
		27.6	13.9	39.5				
		27.5	13.7	39.5				
		27.5	13.8	39.6				

DN	01/06/2015	27.3	13.7	38.7	378.5	9680	2.79	25.58
1	28 días	27.4	13.9	38.7				
		27.2	13.9	38.4				
		27.4	13.9	38.8				
		27.3	13.9	38.7				
DN	01/06/2015	27.7	14.0	37.8	371.3	7830	2.78	21.09
2	28 días	26.8	13.7	38.2				
		27.1	13.4	38.2				
		27.2	13.5	37.8				
		27.2	13.7	38.0				
DN	01/06/2015	27.4	13.7	37.8	371.9	7940	2.77	21.35
3	28 días	27.0	13.5	38.2				
		27.1	13.8	38.2				
		26.9	13.9	37.8				
		27.1	13.7	38.0				
DN	01/06/2015	26.7	13.9	38.8	377.1	6090	2.80	16.15
4	28 días	27.3	14.0	38.8				
		27.0	13.9	38.9				
		27.7	13.7	38.8				
		27.2	13.9	38.8				
DN	01/06/2015	27.1	13.6	38.3	374.0	8450	2.77	22.59
5	28 días	26.9	14.0	38.0				
		27.4	13.6	38.4				
		27.0	14.0	38.0				
		27.1	13.8	38.2				
DN	01/06/2015	27.2	14.0	39.1	381.2	7060	2.81	18.52
6	28 días	27.4	14.2	39.4				
		27.4	13.9	39.0				
		27.3	13.7	39.1				
		27.3	14.0	39.2				
DN	02/06/2015	27.5	14.0	39.2	379.5	7900	2.84	20.82
7	29 días	27.4	13.9	39.3				
		27.4	13.8	39.4				
		27.3	13.7	39.5				
		27.4	13.9	39.4				
DN	02/06/2015	26.7	13.8	38.5	375.0	6710	2.79	17.89
8	29 días	27.2	13.8	38.6				
		27.5	14.0	38.8				
		26.9	13.8	38.8				
		27.1	13.9	38.7				

ANEXO B “RESUMEN DE RESULTADOS”

B1 “RESUMEN DE RESULTADOS DE UNIDADES”

No. ESPÉCIMEN	ÁREA (cm²)	CARGA MAX. (kg)	f'_b (kg/cm²)
1	105.05	8000	76.15
2	107.12	8390	78.32
3	105.83	4950	46.77
4	107.12	6210	57.97
5	106.34	4856	45.66
6	106.60	6230	58.44
7	104.29	7580	72.68
8	105.92	7480	70.62
PROMEDIO			63.33
DESV. ESTÁNDAR			12.92
CV %			20.40

B2 “RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS MORTEROS”

MORTERO	No. CUBO	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	f _j (kg/cm ²)
M	1	26.3	5670	215.9
	2	26.0	5240	201.5
	3	25.8	5250	203.8
	4	25.5	5440	213.3
	5	25.0	6200	248.0
	6	25.0	5790	231.6
	7	25.8	4580	177.8
	8	25.8	5150	200.0
	9	25.8	5910	229.5
PROMEDIO				213.50
DESV. ESTÁNDAR				20.84
CV%				9.76

MORTERO	No. CUBO	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	f _j (kg/cm ²)
N	1	25.0	989	39.6
	2	26.0	1735	66.7
	3	26.0	1929	74.2
	4	26.0	1684	64.7
	5	26.0	1733	66.6
	6	26.0	1932	74.3
	7	25.0	1491	59.6
	8	25.0	1456	58.2
	9	24.5	1519	62.0
PROMEDIO				62.90
DESV. ESTÁNDAR				10.40
CV%				16.55

B3 "PROMEDIO DE PRISMAS POR SERIES"

PRISMA	ÁREA	CARGA MAX.	H/T	σ (kg/cm ²)	σ_{PROM} (kg/cm ²)
AM 1	379.84	6800	1.72	17.90	17.75
AM 2	380.19	3830	1.63	10.07	
AM 3	368.56	4770	1.68	12.94	
AM 4	374.33	9530	1.66	25.46	
AM 5	368.20	6770	1.69	18.39	
AM 6	373.32	6490	1.67	17.38	
AM 7	375.02	7610	1.68	20.29	
AM 8	374.35	7330	1.68	19.58	
BM 1	383.98	5870	2.25	15.29	16.72
BM 2	382.60	6180	2.27	16.15	
BM 3	390.22	7330	2.18	18.78	
BM 4	376.74	5550	2.23	14.73	
BM 5	378.81	6320	2.21	16.68	
BM 6	379.16	4710	2.22	12.42	
BM 7	377.78	7740	2.18	20.49	
BM 8	385.36	7390	2.21	19.18	
CM 1	372.29	7320	2.82	19.66	21.33
CM 2	373.67	7340	2.84	19.64	
CM 3	365.85	9440	2.82	25.80	
CM 4	367.49	7590	2.84	20.65	
CM 5	367.19	7680	2.82	20.92	
CM 6	368.56	7810	2.86	21.19	
CM 7	379.46	7940	2.77	20.92	
CM 8	376.74	8240	2.81	21.87	
DM 1	368.44	6420	2.82	17.42	20.06
DM 2	370.16	7380	2.80	19.94	
DM 3	369.15	8080	2.84	21.89	
DM 4	381.08	7550	2.81	19.81	
DM 5	374.18	7070	2.77	18.89	
DM 6	372.91	7410	2.80	19.87	
DM 7	379.79	7950	2.78	20.93	
DM 8	376.01	8170	2.83	21.73	

PRISMA	ÁREA	CARGA MAX.	H/T	σ (kg/cm ²)	σ_{PROM} (kg/cm ²)
AN 1	378.80	7400.00	1.65	19.54	17.66
AN 2	373.99	6140.00	1.64	16.42	
AN 3	378.80	8920.00	1.64	23.55	
AN 4	378.80	5990.00	1.67	15.81	
AN 5	382.26	6280.00	1.64	16.43	
AN 6	386.39	8630.00	1.64	22.34	
AN 7	382.92	4890.00	1.69	12.77	
AN 8	379.82	5490.00	1.64	14.45	
BN 1	379.16	8550.00	2.24	22.55	20.65
BN 2	380.19	9360.00	2.28	24.62	
BN 3	377.09	7780.00	2.21	20.63	
BN 4	375.71	8460.00	2.21	22.52	
BN 5	372.64	8440.00	2.28	22.65	
BN 6	375.71	5800.00	2.26	15.44	
BN 7	378.47	5700.00	2.26	15.06	
BN 8	370.59	8060.00	2.24	21.75	
CN 1	375.72	6210.00	2.88	16.53	20.87
CN 2	378.81	6110.00	2.81	16.13	
CN 3	385.35	8490.00	2.77	22.03	
CN 4	362.81	10380.00	2.84	28.61	
CN 5	374.34	7200.00	2.82	19.23	
CN 6	372.98	9810.00	2.84	26.30	
CN 7	373.66	7430.00	2.80	19.88	
CN 8	378.81	6910.00	2.87	18.24	
CN 1	378.45	9680.00	2.79	25.58	20.50
CN 2	371.28	7830.00	2.78	21.09	
CN 3	371.95	7940.00	2.77	21.35	
CN 4	377.05	6090.00	2.80	16.15	
CN 5	373.98	8450.00	2.77	22.59	
CN 6	381.18	7060.00	2.81	18.52	
CN 7	379.49	7900.00	2.84	20.82	
CN 8	374.99	6710.00	2.79	17.89	

B4 “RESUMEN DE RESULTADOS DE PRISMA NORMALIZADOS”

PRISMA	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	H/T	f'm (ASTM) (kg/cm ²)
AN 1	378.80	7400	1.65	17.61
AN 2	373.99	6140	1.64	14.77
AN 3	378.80	8920	1.64	21.14
AN 4	378.80	5990	1.67	14.37
AN 5	382.26	6280	1.64	14.76
AN 6	386.39	8630	1.64	20.07
AN 7	382.92	4890	1.69	11.66
AN 8	379.82	5490	1.64	12.98
BN 1	379.16	8550	2.24	22.98
BN 2	380.19	9360	2.28	25.17
BN 3	377.09	7780	2.21	20.97
BN 4	375.71	8460	2.21	22.89
BN 5	372.64	8440	2.28	23.15
BN 6	375.71	5800	2.26	15.76
BN 7	378.47	5700	2.26	15.37
BN 8	370.59	8060	2.24	22.17
CN 1	375.72	6210	2.88	17.57
CN 2	378.81	6110	2.81	17.07
CN 3	385.35	8490	2.77	23.27
CN 4	362.81	10380	2.84	30.34
CN 5	374.34	7200	2.82	20.37
CN 6	372.98	9810	2.84	27.89
CN 7	373.66	7430	2.80	21.03
CN 8	378.81	6910	2.87	19.37
DN 1	378.45	9680	2.79	27.05
DN 2	371.28	7830	2.78	22.29
DN 3	371.95	7940	2.77	22.55
DN 4	377.05	6090	2.80	17.09
DN 5	373.98	8450	2.77	23.86
DN 6	381.18	7060	2.81	19.60
DN 7	379.49	7900	2.84	22.08
DN 8	374.99	6710	2.79	18.92
			PROMEDIO	4.39
			DESV. ESTÁNDAR	20.19
			CV%	21.72

PRISMA	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	H/T	f'm (ASTM) (kg/cm ²)
AM 1	379.84	6800	1.72	16.52
AM 2	380.19	3830	1.63	9.03
AM 3	368.56	4770	1.68	11.78
AM 4	374.33	9530	1.66	23.06
AM 5	368.20	6770	1.69	16.78
AM 6	373.32	6490	1.67	15.79
AM 7	375.02	7610	1.68	18.50
AM 8	374.35	7330	1.68	17.85
BM 1	383.98	5870	2.25	15.59
BM 2	382.60	6180	2.27	16.50
BM 3	390.22	7330	2.18	19.06
BM 4	376.74	5550	2.23	15.00
BM 5	378.81	6320	2.21	16.97
BM 6	379.16	4710	2.22	12.64
BM 7	377.78	7740	2.18	20.78
BM 8	385.36	7390	2.21	19.50
CM 1	372.29	7320	2.82	20.83
CM 2	373.67	7340	2.84	20.82
CM 3	365.85	9440	2.82	27.33
CM 4	367.49	7590	2.84	21.91
CM 5	367.19	7680	2.82	22.15
CM 6	368.56	7810	2.86	22.49
CM 7	379.46	7940	2.77	22.10
CM 8	376.74	8240	2.81	23.16
DM 1	368.44	6420	2.82	18.46
DM 2	370.16	7380	2.80	21.10
DM 3	369.15	8080	2.84	23.21
DM 4	381.08	7550	2.81	20.98
DM 5	374.18	7070	2.77	19.96
DM 6	372.91	7410	2.80	21.02
DM 7	379.79	7950	2.78	22.13
DM 8	376.01	8170	2.83	23.03
PROMEDIO				19.25
DESV. ESTÁNDAR				3.86
CV %				20.04

B5 "RESULTADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD"

PRIS	f'm	0.05 f'm	0.33 f'm	0.50 f'm	$\epsilon_{33} - \epsilon_5$	$\epsilon_{50} - \epsilon_{33}$	Em1	Em1/f'm	Em2	Em2/f'm
CM 1	20.83	1.04	6.87	10.41	0.00198	0.00126	2938.86	141	2801.69	135
CM 2	20.82	1.04	6.87	10.41	0.00220	0.00096	2653.91	127	3674.91	176
CM 3	27.33	1.37	9.02	13.66	0.00276	0.00126	2775.71	102	3676.34	135
CM 4	21.91	1.10	7.23	10.95	0.00355	0.00088	1728.17	79	4219.24	193
CM 5	22.15	1.11	7.31	11.08	0.00237	0.00100	2621.65	118	3752.49	169
CM 6	22.49	1.12	7.42	11.25	0.00206	0.00104	3062.26	136	3660.15	163
CM 7	22.10	1.10	7.29	11.05	0.00227	0.00101	2725.95	123	3733.47	169
CM 8	23.16	1.16	7.64	11.58	0.00270	0.00127	2397.68	104	3089.72	133
DM 1	18.46	0.92	6.09	9.23	0.00194	0.00103	2658.80	144	3038.32	165
DM 2	21.10	1.05	6.96	10.55	0.00335	0.00155	1764.57	84	2318.25	110
DM 3	23.21	1.16	7.66	11.61	0.00213	0.00098	3051.94	131	4014.75	173
DM 4	20.98	1.05	6.92	10.49	0.00252	0.00138	2334.64	111	2575.39	123
DM 5	19.96	1.00	6.59	9.98	0.00177	0.00088	3160.59	158	3837.86	192
DM 6	21.02	1.05	6.94	10.51	0.00472	0.00246	1247.33	59	1454.51	69
DM 7	22.13	1.11	7.30	11.06	0.00259	0.00114	2390.08	108	3297.85	149
PROMEDIO							2500.81	115.11	3276.33	150.23
DESV. EST.							547.47	26.89	741.48	33.36
CV %							21.89	23.36	22.63	22.20

PRIS	f'm	0.05 f'm	0.33 f'm	0.50 f'm	ε33 - ε5	ε50 - ε33	Em1	Em1/f'm	Em2	Em2/f'm
CN 1	17.57	0.88	5.80	8.78	0.00181	0.00101	2720.39	155	2945.47	168
CN 2	17.07	0.85	5.63	8.54	0.00206	0.00093	2318.62	136	3122.61	183
CN 3	23.27	1.16	7.68	11.64	0.00201	0.00103	3240.30	139	3831.61	165
CN 4	30.34	1.52	10.01	15.17	0.00264	0.00147	3222.48	106	3508.22	116
CN 5	20.37	1.02	6.72	10.19	0.00165	0.00075	3455.02	170	4593.22	225
CN 6	27.89	1.39	9.21	13.95	0.00198	0.00116	3952.57	142	4098.49	147
CN 7	21.03	1.05	6.94	10.52	0.00184	0.00091	3196.98	152	3932.56	187
CN 8	19.37	0.97	6.39	9.69	0.00189	0.00110	2870.62	148	2997.75	155
DN 1	27.05	1.35	8.93	13.52	0.00309	0.00125	2447.60	90	3684.15	136
DN 2	22.29	1.11	7.36	11.15	0.00252	0.00109	2474.82	111	3486.83	156
DN 3	22.55	1.13	7.44	11.27	0.00256	0.00114	2467.31	109	3350.10	149
DN 5	23.86	1.19	7.87	11.93	0.00237	0.00148	2817.32	118	2746.46	115
DN 6	19.60	0.98	6.47	9.80	0.00538	0.00156	1019.79	52	2136.10	109
DN 7	22.08	1.10	7.29	11.04	0.00237	0.00110	2612.47	118	3416.30	155
DN 8	18.92	0.95	6.24	9.46	0.00196	0.00096	2702.71	143	3339.44	176
PROME DIO							2767.93	125.98	3412.62	156.09
DESV. EST.							658.45	29.81	594.95	30.68
CV %							23.79	23.67	17.43	19.66

B6 “RESUMEN DE RESULTADOS DEPURADOS DE UNIDADES”

ESPÉCIMEN	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	f' _b (kg/cm ²)
1	105.05	8000	76.15
3	105.83	4950	46.77
4	107.12	6210	57.97
6	106.60	6230	58.44
7	104.29	7580	72.68
8	105.92	7480	70.62
PROMEDIO			63.77
DESV. ESTANDAR			11.23
CV %			17.61

B7 “RESUMEN DE RESULTADOS DEPURADOS DE MORTEROS”

MORTERO	No. DE CUBO	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	f' _j (kg/cm ²)
M	1	26.3	5670	215.9
	2	26.0	5240	201.5
	3	25.8	5250	203.8
	4	25.5	5440	213.3
	6	25.0	5790	231.6
	8	25.8	5150	200.0
	9	25.8	5910	229.5
PROMEDIO				213.65
DESV. ESTANDAR				12.98
CV %				6.07
MORTERO	No. DE CUBO	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	f' _j (kg/cm ²)
N	2	26.0	1735	66.7
	3	26.0	1929	74.2
	4	26.0	1684	64.7
	5	26.0	1733	66.6
	7	25.0	1491	59.6
	8	25.0	1456	58.2
	9	24.5	1519	62.0
PROMEDIO				64.59
DESV. ESTANDAR				5.35
CV %				8.29

B8 “RESUMEN DE RESULTADOS DEPURADOS DE PRISMAS”

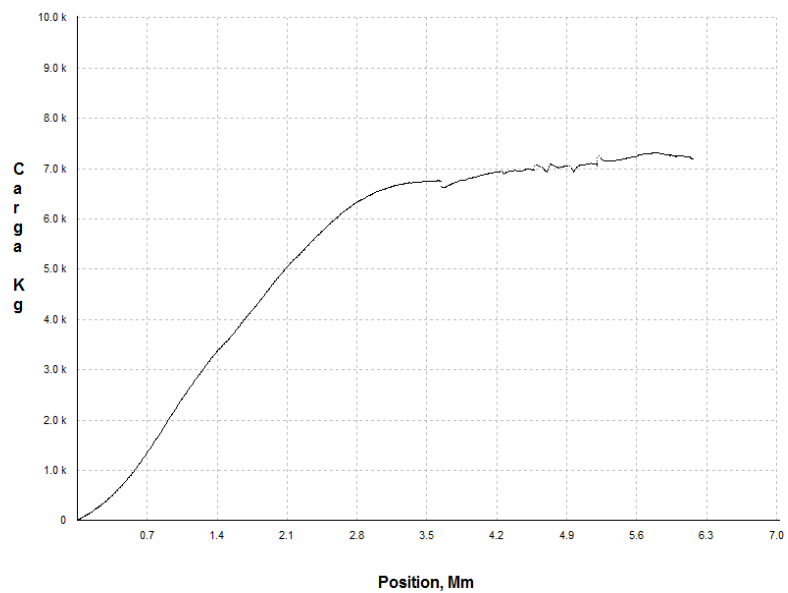
PRISMA	ÁREA	CARGA MAX.	H/T	f'm (ASTM)
AN 1	378.80	7400	1.65	17.61
AN 2	373.99	6140	1.64	14.77
AN 3	378.80	8920	1.64	21.14
AN 4	378.80	5990	1.67	14.37
AN 5	382.26	6280	1.64	14.76
AN 6	386.39	8630	1.64	20.07
BN 1	379.16	8550	2.24	22.98
BN 2	380.19	9360	2.28	25.17
BN 3	377.09	7780	2.21	20.97
BN 4	375.71	8460	2.21	22.89
BN 5	372.64	8440	2.28	23.15
BN 6	375.71	5800	2.26	15.76
BN 7	378.47	5700	2.26	15.37
BN 8	370.59	8060	2.24	22.17
CN 1	375.72	6210	2.88	17.57
CN 2	378.81	6110	2.81	17.07
CN 3	385.35	8490	2.77	23.27
CN 5	374.34	7200	2.82	20.37
CN 6	372.98	9810	2.84	27.89
CN 7	373.66	7430	2.80	21.03
CN 8	378.81	6910	2.87	19.37
DN 2	371.28	7830	2.78	22.29
DN 3	371.95	7940	2.77	22.55
DN 4	377.05	6090	2.80	17.09
DN 5	373.98	8450	2.77	23.86
DN 6	381.18	7060	2.81	19.60
DN 7	379.49	7900	2.84	22.08
DN 8	374.99	6710	2.79	18.92
PROMEDIO				20.15
DESV. ESTÁNDAR				3.45
CV %				17.13
MIN, MAX				15.59, 23.06

PRISM A	ÁREA (cm²)	CARGA MAX. (kg)	H/T	f'm (ASTM) (kg/cm²)
AM 4	374.33	9530	1.66	23.06
AM 5	368.20	6770	1.69	16.78
AM 6	373.32	6490	1.67	15.79
AM 7	375.02	7610	1.68	18.50
AM 8	374.35	7330	1.68	17.85
BM 1	383.98	5870	2.25	15.59
BM 2	382.60	6180	2.27	16.50
BM 3	390.22	7330	2.18	19.06
BM 5	378.81	6320	2.21	16.97
BM 7	377.78	7740	2.18	20.78
BM 8	385.36	7390	2.21	19.50
CM 1	372.29	7320	2.82	20.83
CM 2	373.67	7340	2.84	20.82
CM 4	367.49	7590	2.84	21.91
CM 5	367.19	7680	2.82	22.15
CM 6	368.56	7810	2.86	22.49
CM 7	379.46	7940	2.77	22.10
DM 1	368.44	6420	2.82	18.46
DM 2	370.16	7380	2.80	21.10
DM 4	381.08	7550	2.81	20.98
DM 5	374.18	7070	2.77	19.96
DM 6	372.91	7410	2.80	21.02
DM 7	379.79	7950	2.78	22.13
DM 8	376.01	8170	2.83	23.03
PROMEDIO				19.89
DESV. ESTÁNDAR				2.34
CV %				11.78
MIN, MAX				14.37, 27.89

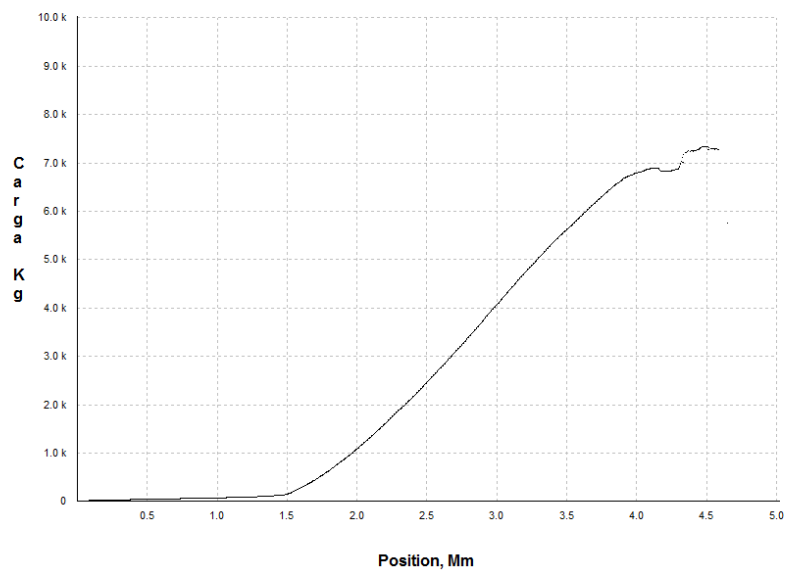
B9 “RESULTADOS DEPURADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD”

PRISMA	f'm	0.05 f'm	0.33 f'm	0.50 f'm	ε33 - ε5	ε50 - ε33	Em1	Em1/ f'm	Em2	Em2/ f'm	
CM 1	20.83	1.04	6.87	10.41	0.00198	0.00126	2938.86	141	2801.69	135	
CM 2	20.82	1.04	6.87	10.41	0.00220	0.00096	2653.91	127	3674.91	176	
CM 3	27.33	1.37	9.02	13.66	0.00276	0.00126	2775.71	102	3676.34	135	
CM 5	22.15	1.11	7.31	11.08	0.00237	0.00100	2621.65	118	3752.49	169	
CM 6	22.49	1.12	7.42	11.25	0.00206	0.00104	3062.26	136	3660.15	163	
CM 7	22.10	1.10	7.29	11.05	0.00227	0.00101	2725.95	123	3733.47	169	
CM 8	23.16	1.16	7.64	11.58	0.00270	0.00127	2397.68	104	3089.72	133	
DM 1	18.46	0.92	6.09	9.23	0.00194	0.00103	2658.80	144	3038.32	165	
DM 2	21.10	1.05	6.96	10.55	0.00335	0.00155	1764.57	84	2318.25	110	
DM 3	23.21	1.16	7.66	11.61	0.00213	0.00098	3051.94	131	4014.75	173	
DM 4	20.98	1.05	6.92	10.49	0.00252	0.00138	2334.64	111	2575.39	123	
DM 7	22.13	1.11	7.30	11.06	0.00259	0.00114	2390.08	108	3297.85	149	
CN 1	17.57	0.88	5.80	8.78	0.00181	0.00101	2720.39	155	2945.47	168	
CN 2	17.07	0.85	5.63	8.54	0.00206	0.00093	2318.62	136	3122.61	183	
CN 3	23.27	1.16	7.68	11.64	0.00201	0.00103	3240.30	139	3831.61	165	
CN 4	30.34	1.52	10.01	15.17	0.00264	0.00147	3222.48	106	3508.22	116	
CN 6	27.89	1.39	9.21	13.95	0.00198	0.00116	3952.57	142	4098.49	147	
CN 7	21.03	1.05	6.94	10.52	0.00184	0.00091	3196.98	152	3932.56	187	
CN 8	19.37	0.97	6.39	9.69	0.00189	0.00110	2870.62	148	2997.75	155	
DN 2	22.29	1.11	7.36	11.15	0.00252	0.00109	2474.82	111	3486.83	156	
DN 3	22.55	1.13	7.44	11.27	0.00256	0.00114	2467.31	109	3350.10	149	
DN 5	23.86	1.19	7.87	11.93	0.00237	0.00148	2817.32	118	2746.46	115	
DN 7	22.08	1.10	7.29	11.04	0.00237	0.00110	2612.47	118	3416.30	155	
DN 8	18.92	0.95	6.24	9.46	0.00196	0.00096	2702.71	143	3339.44	176	
							PROM	2748.8	125	3350.4	153
							DESV. EST	424.74	18.64	469.76	22.27
							CV %	15.45	14.87	14.02	14.56

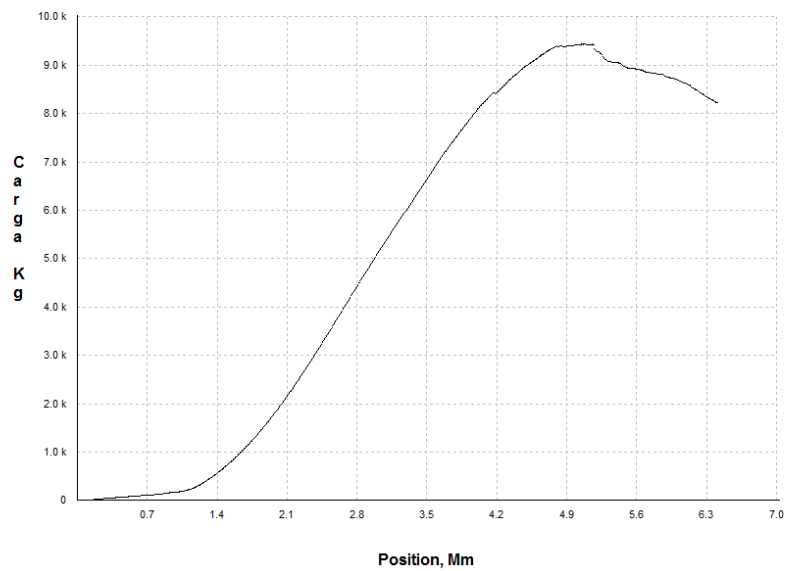
ANEXO C “GRÁFICOS DE PRISMAS ANALIZADOS”
C1 “GRÁFICOS CARGA – DESPLAZAMIENTO”
CM-1



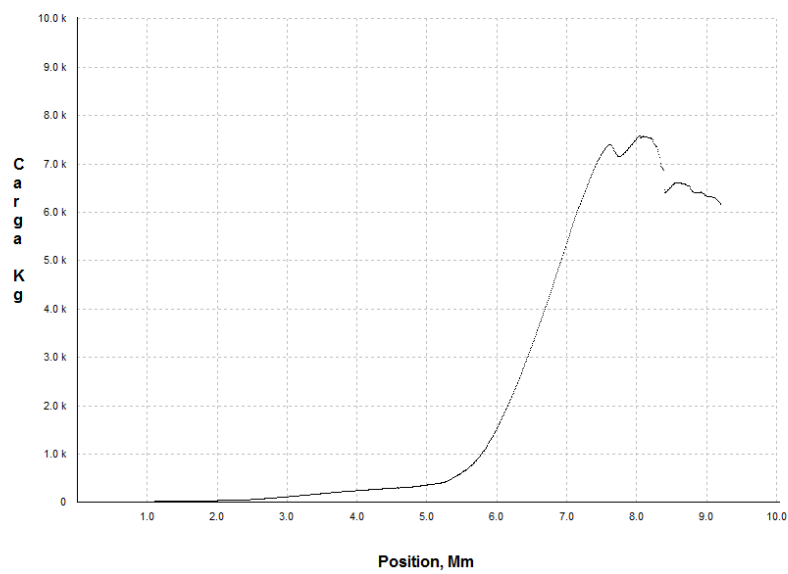
CM-2



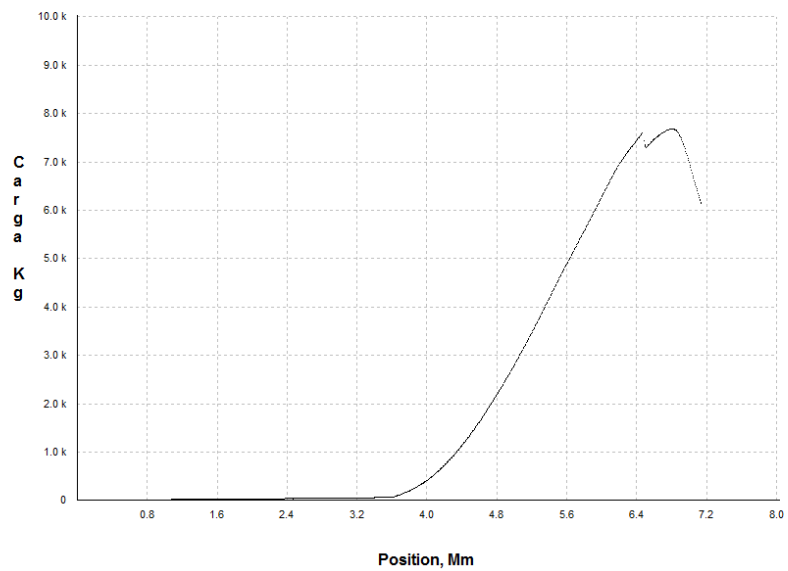
CM-3



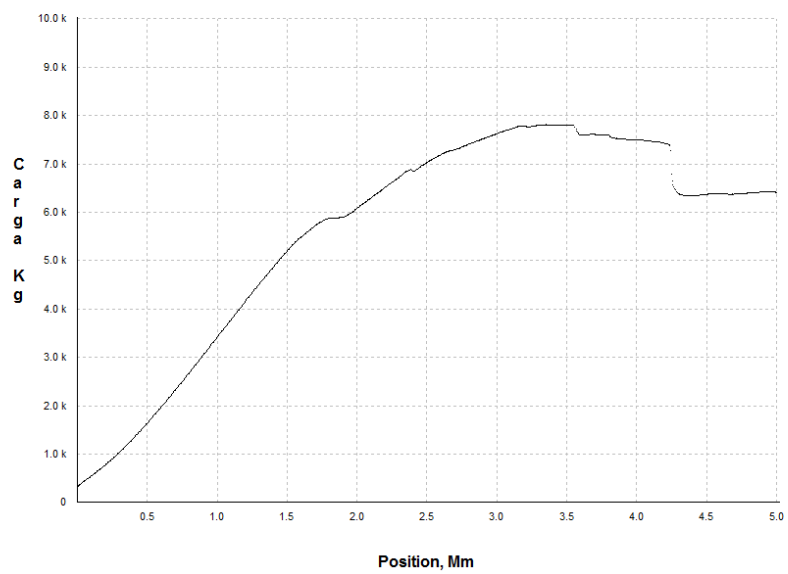
CM-4



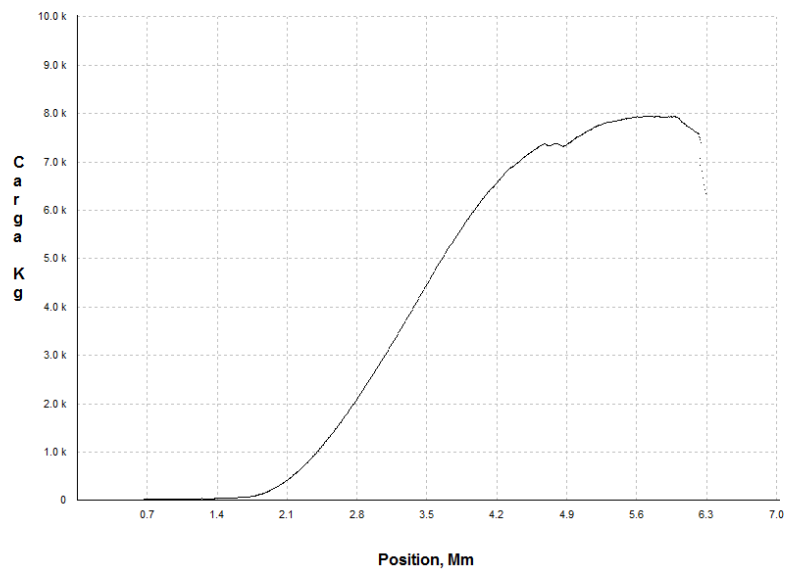
CM-5



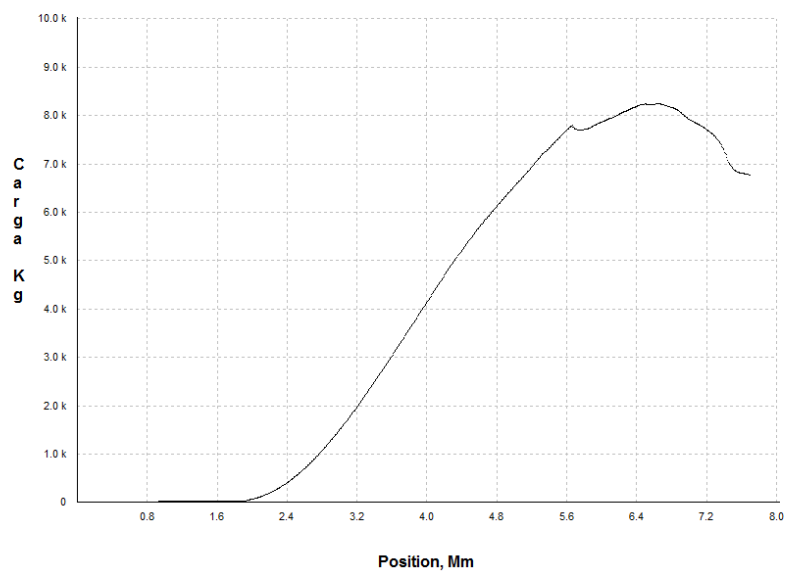
CM-6



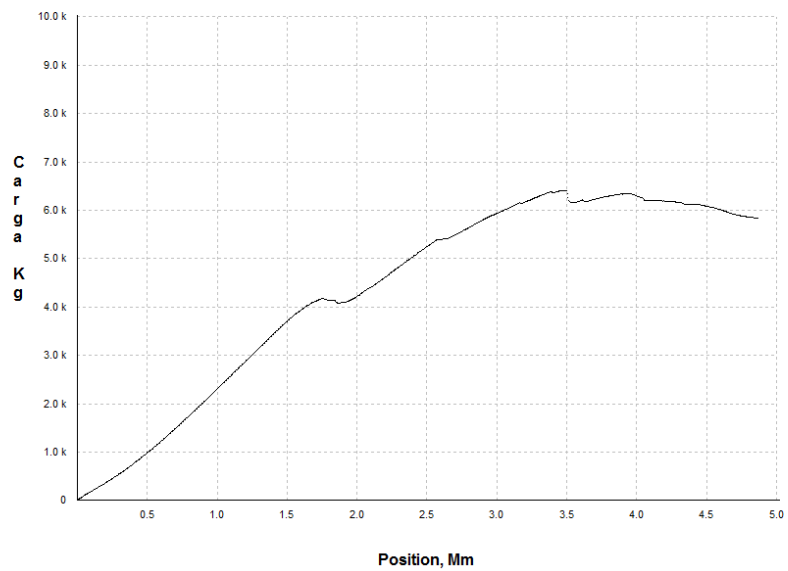
CM-7



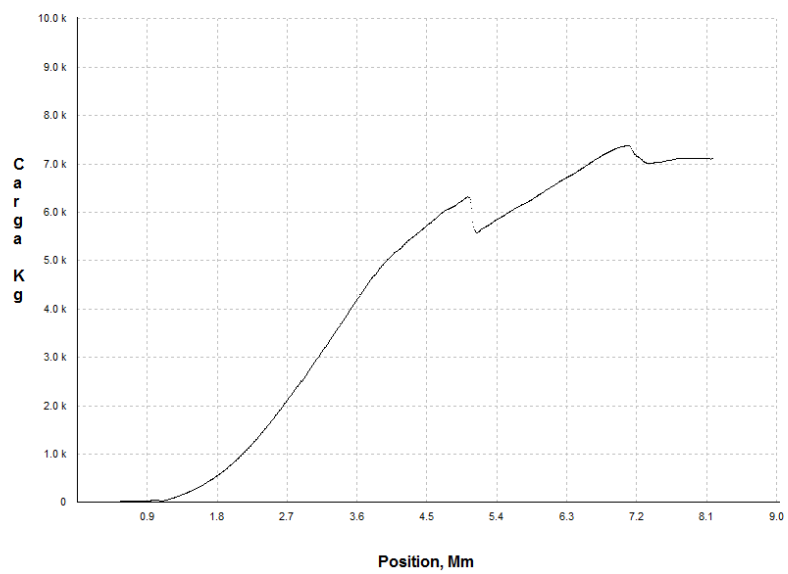
CM-8



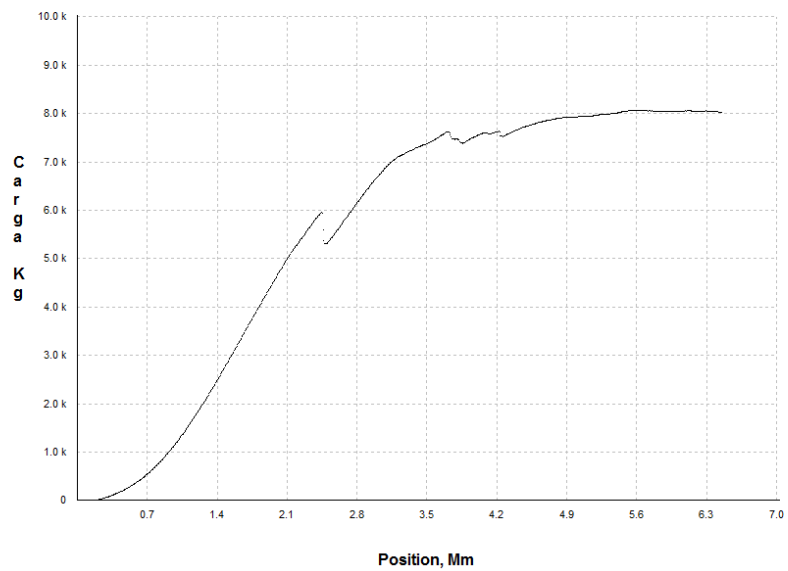
DM-1



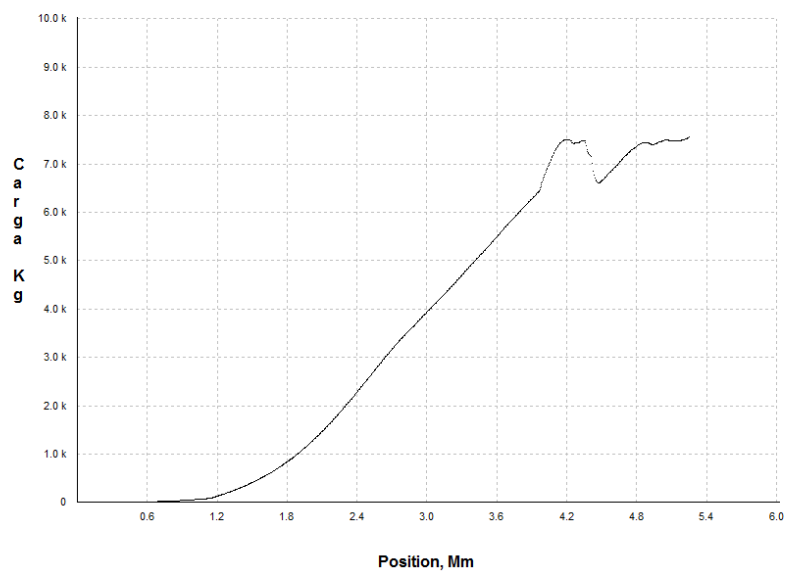
DM-2



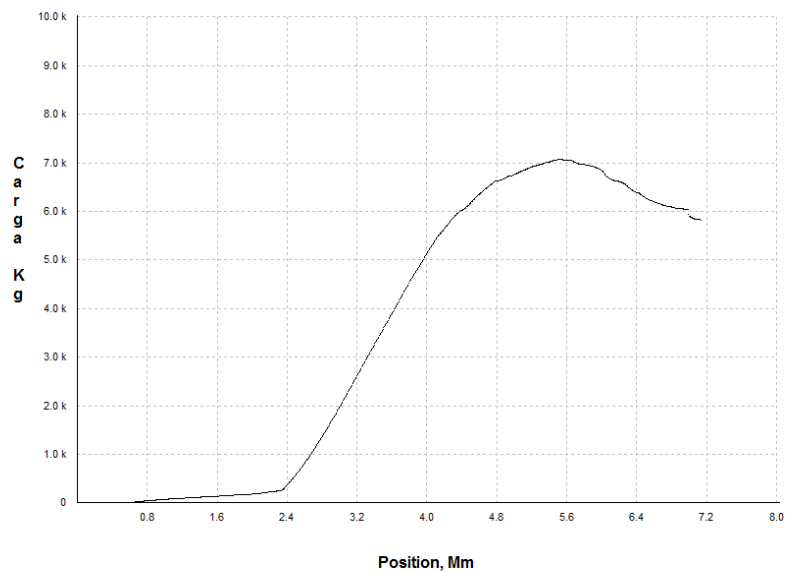
DM-3



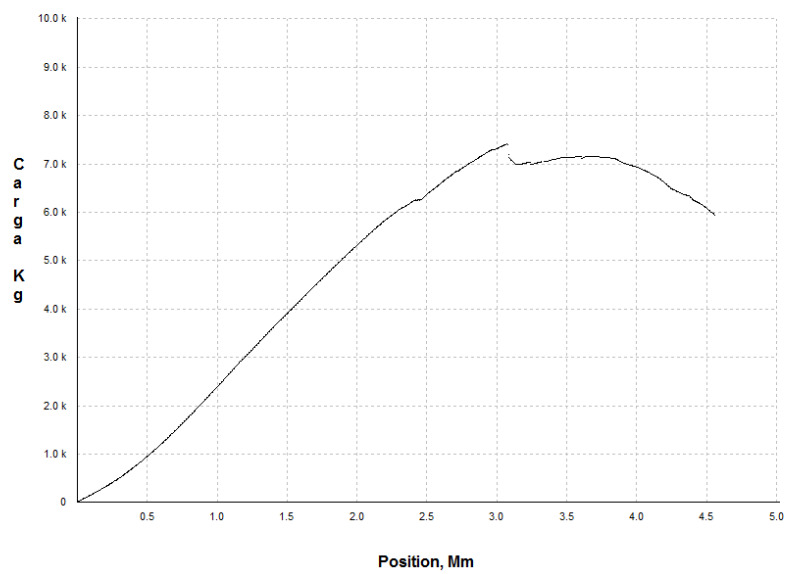
DM-4



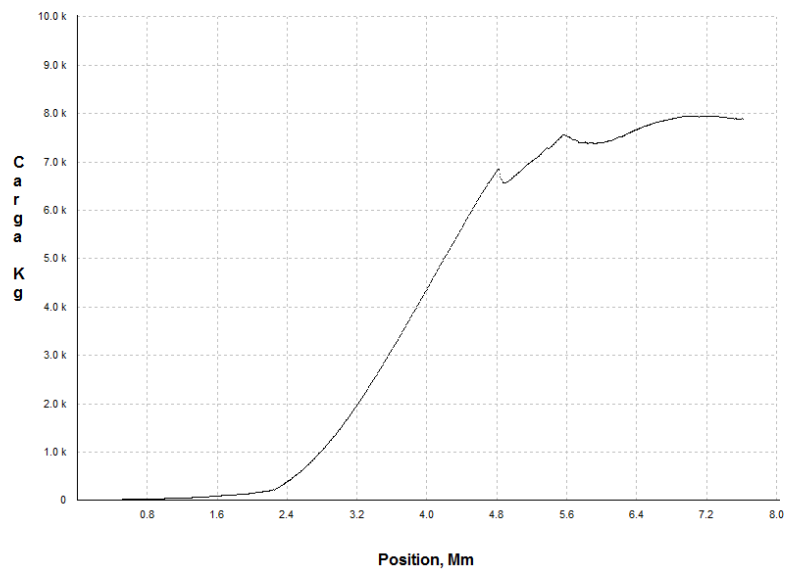
DM-5



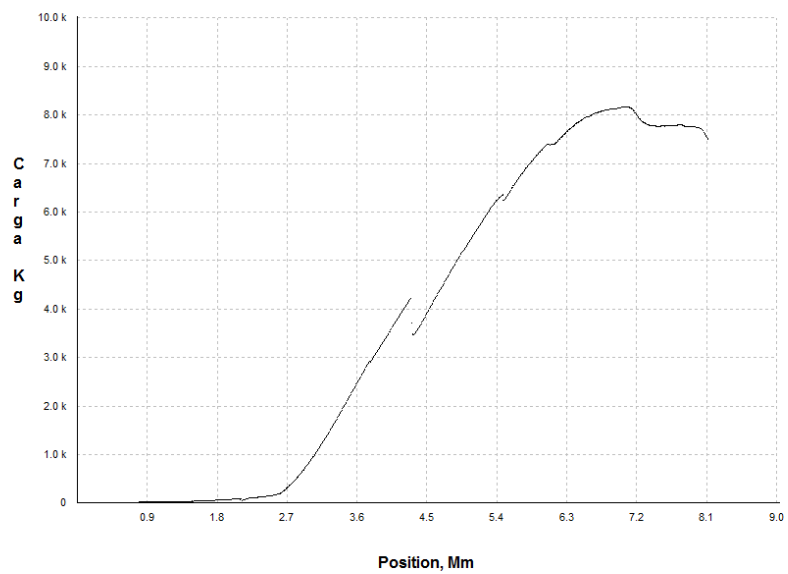
DM-6



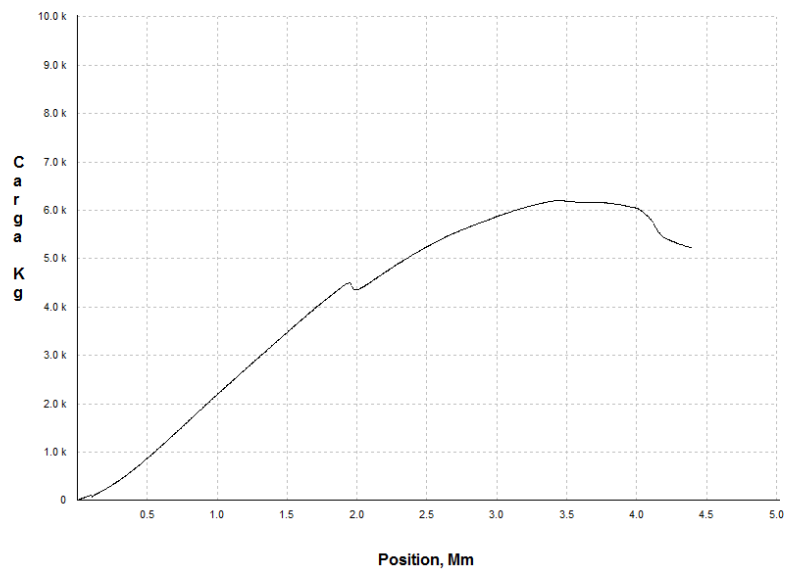
DM-7



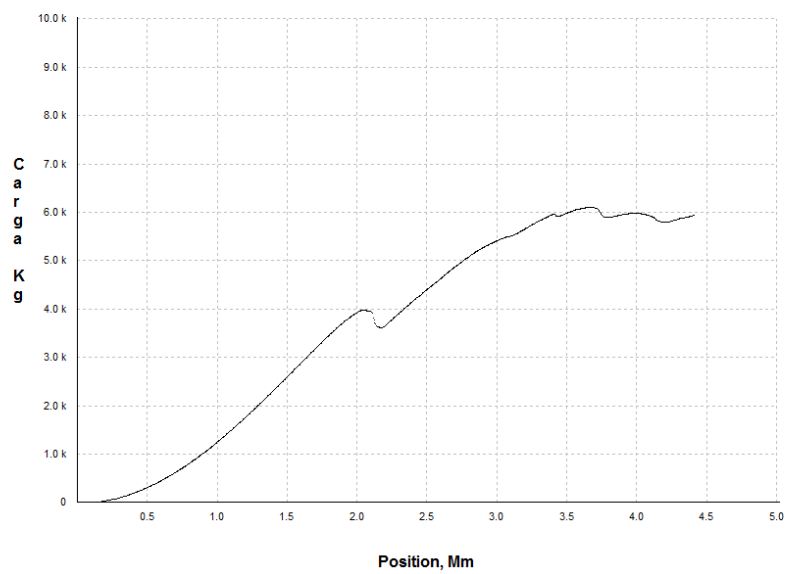
DM-8



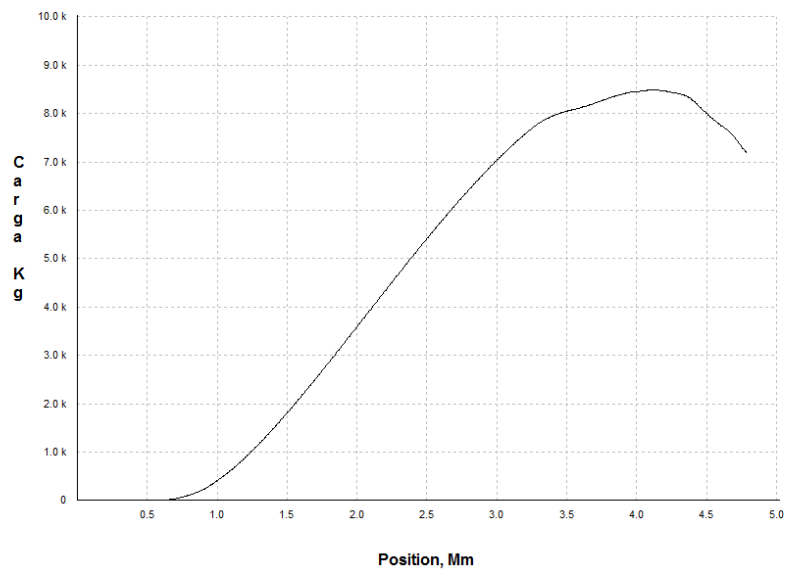
CN-1



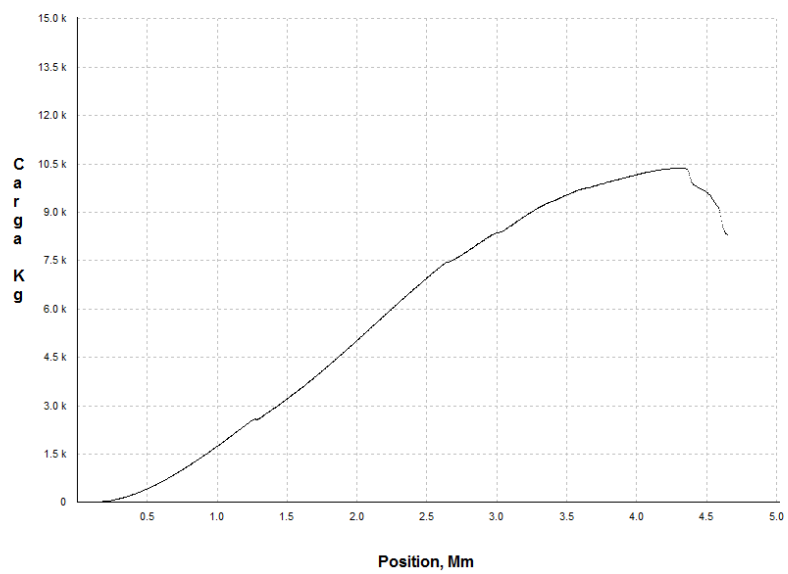
CN-2



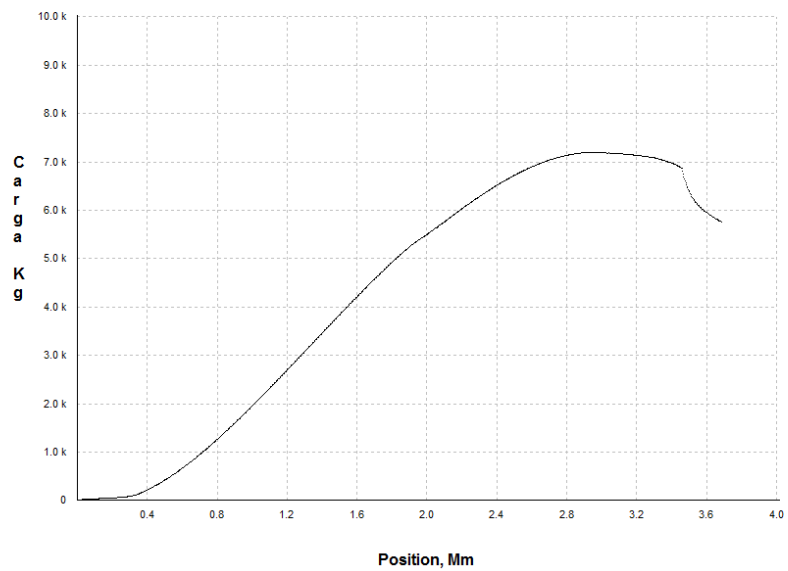
CN-3



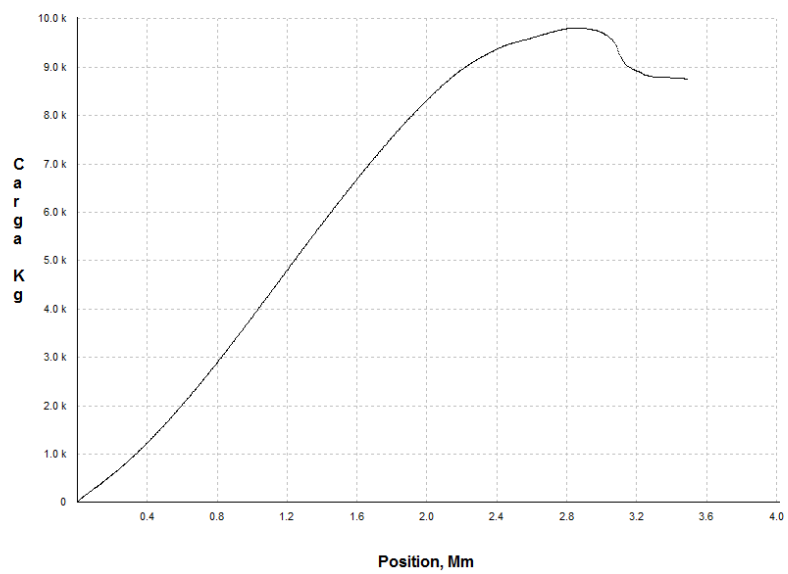
CN-4



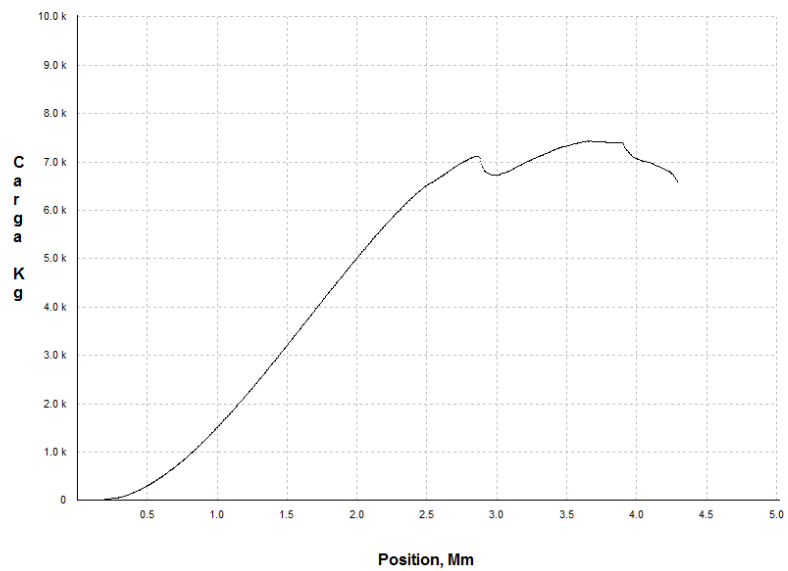
CN-5



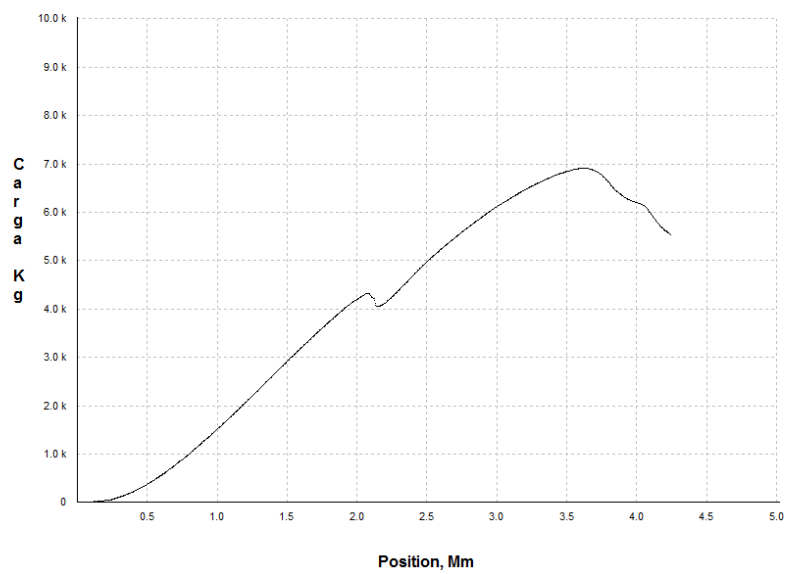
CN-6



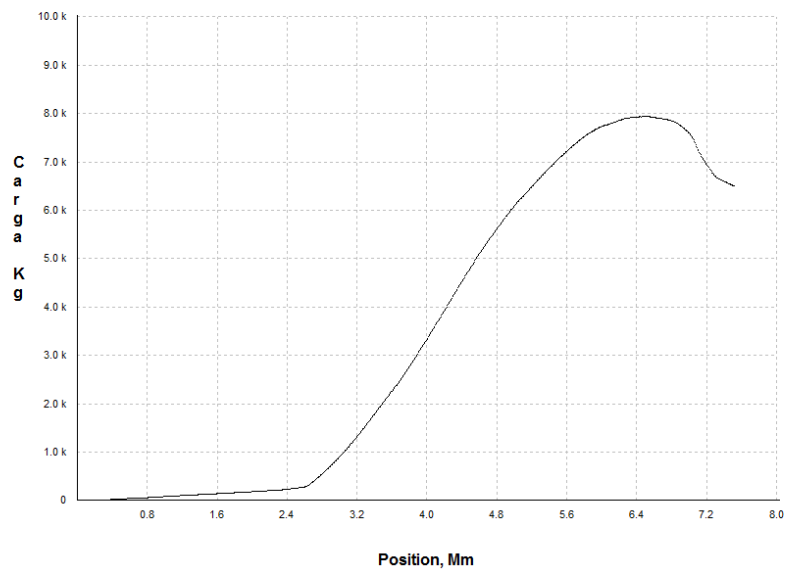
CN-7



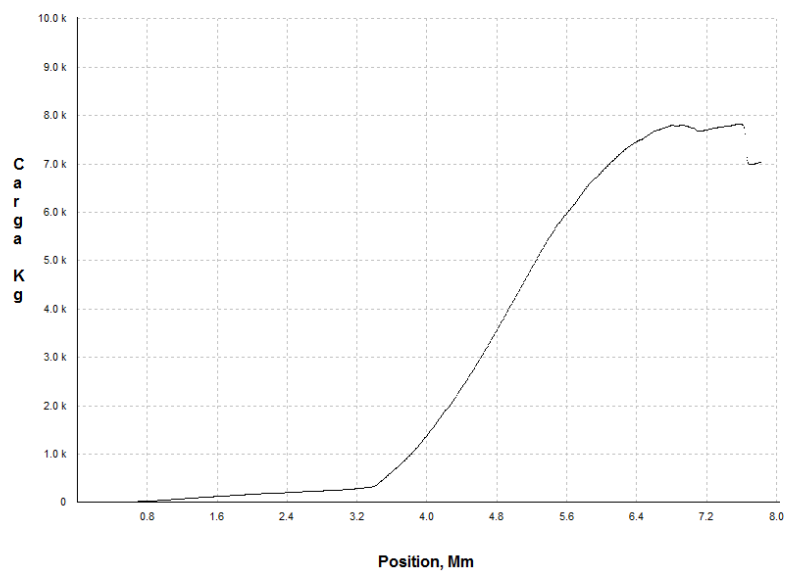
CN-8



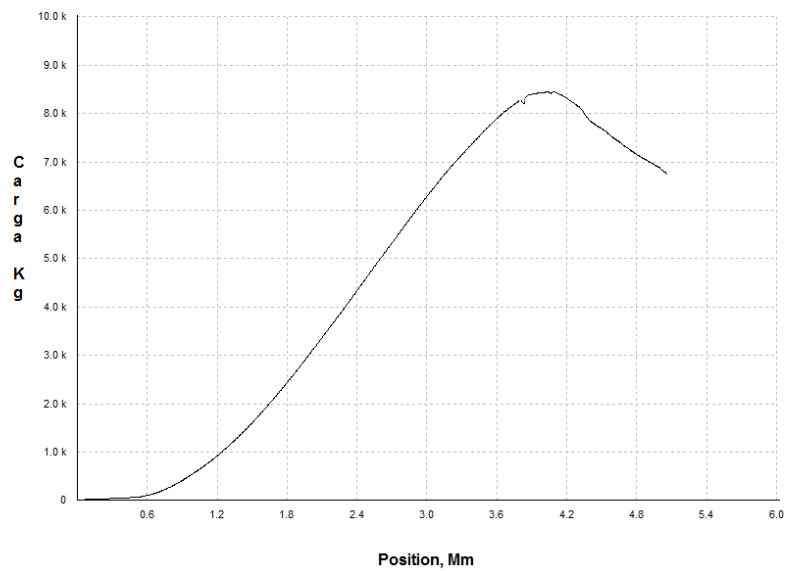
DN-1



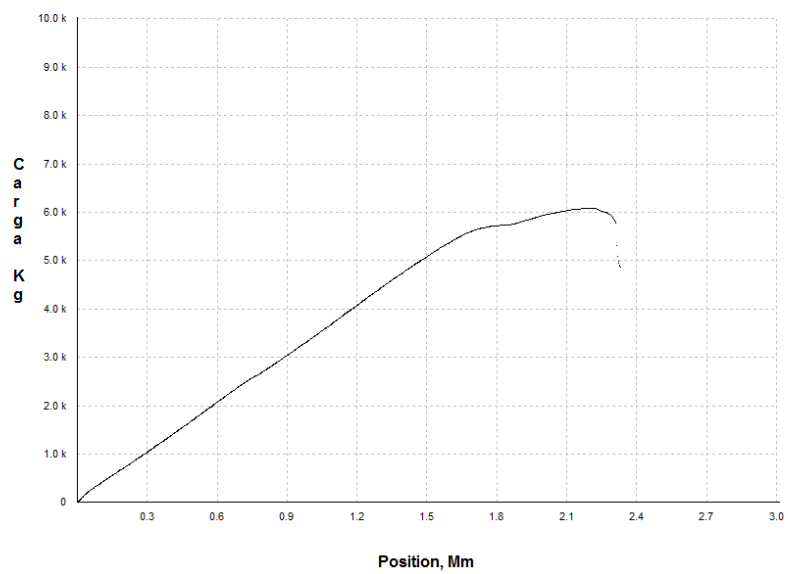
DN-2



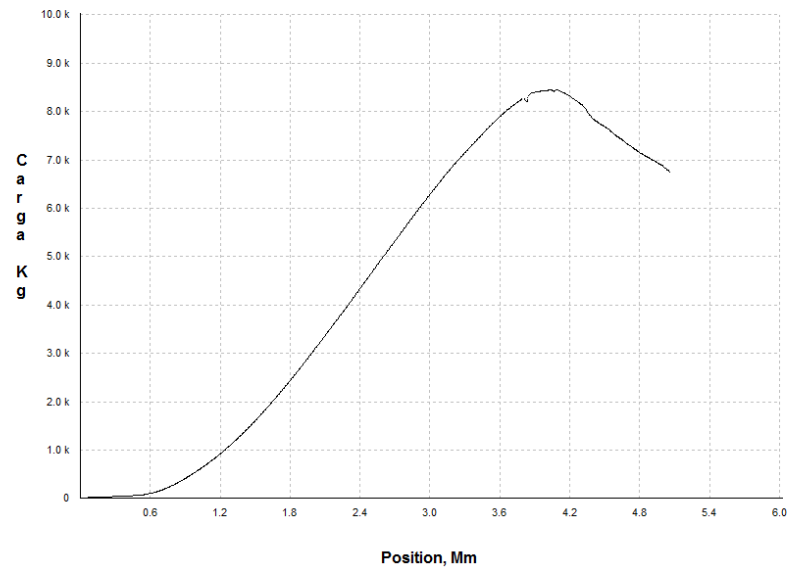
DN-3



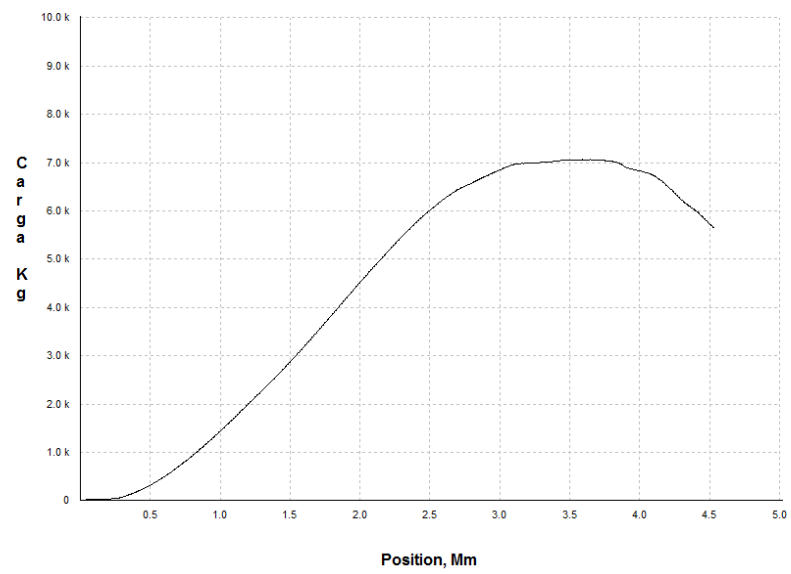
DN-4



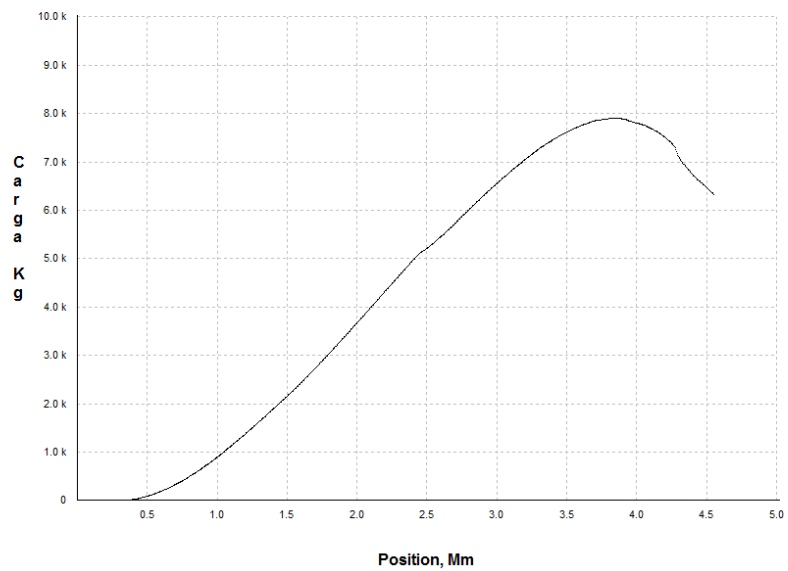
DN-5



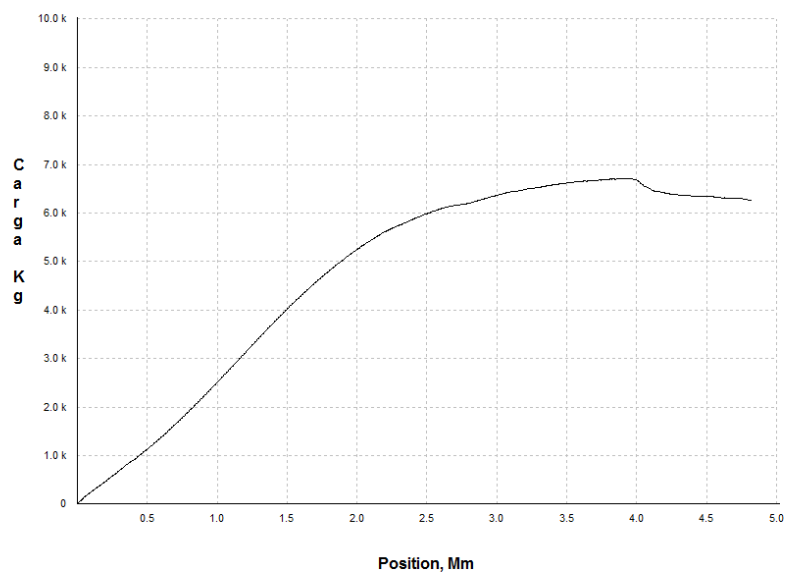
DN-6



DN-7

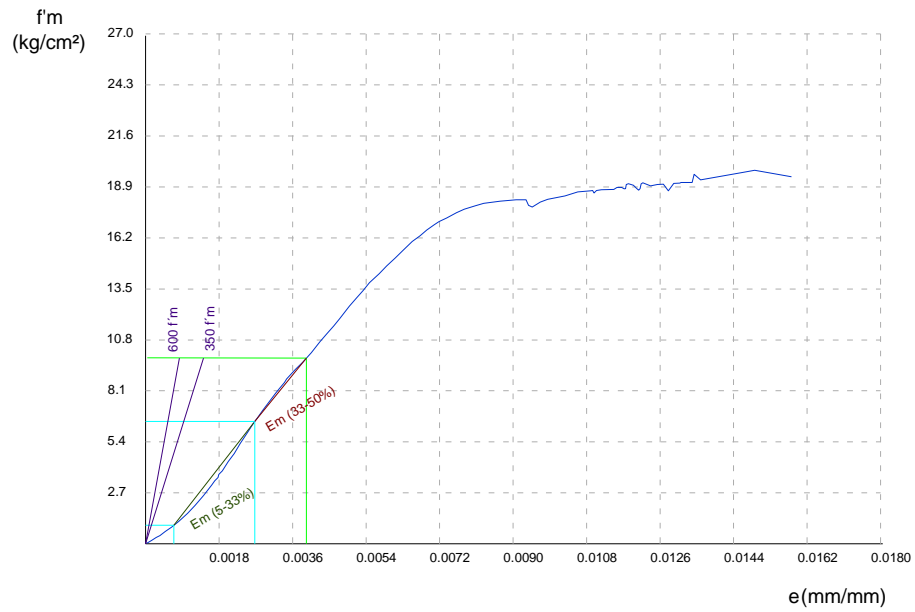


DN-8

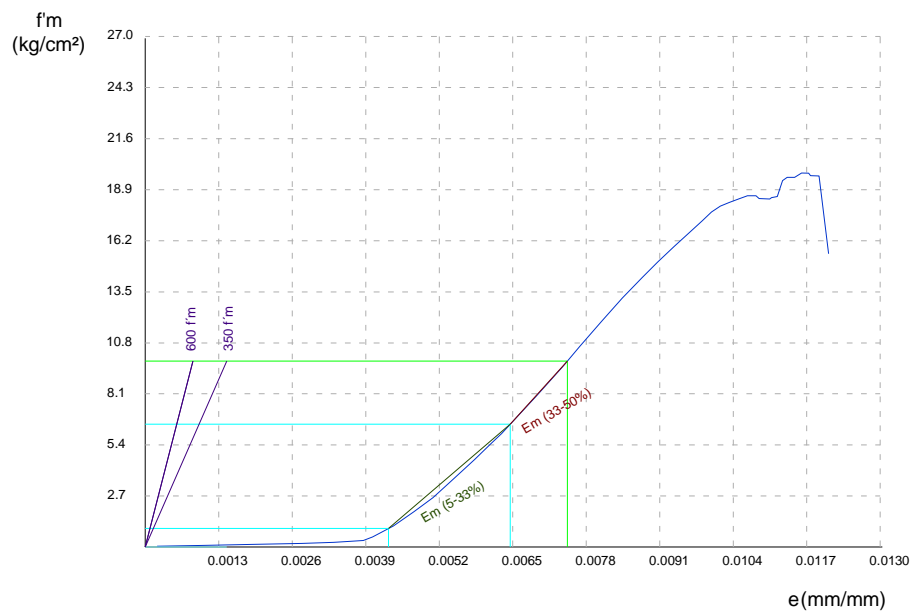


C2 "GRÁFICOS f'_m - DEFORMACIÓN UNITARIA"

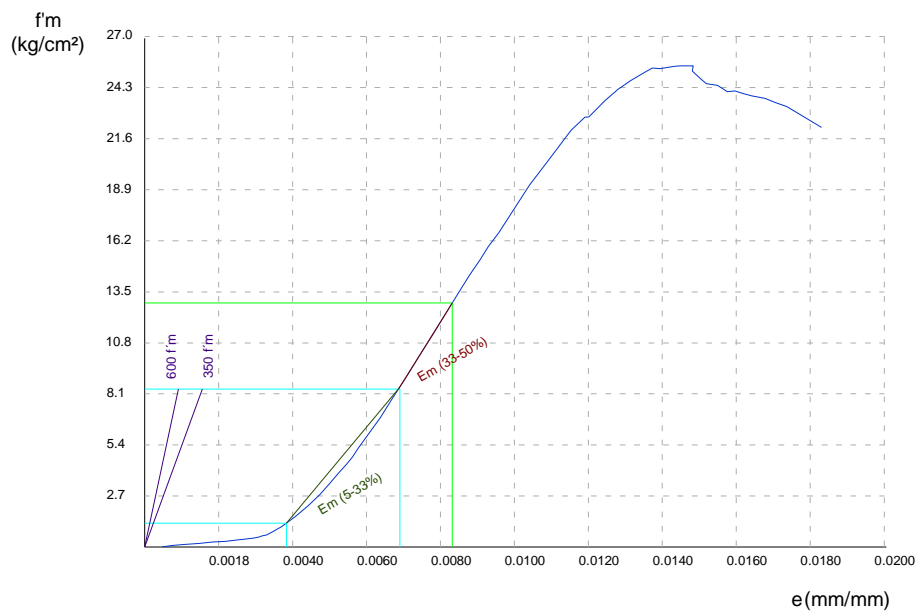
CM-1



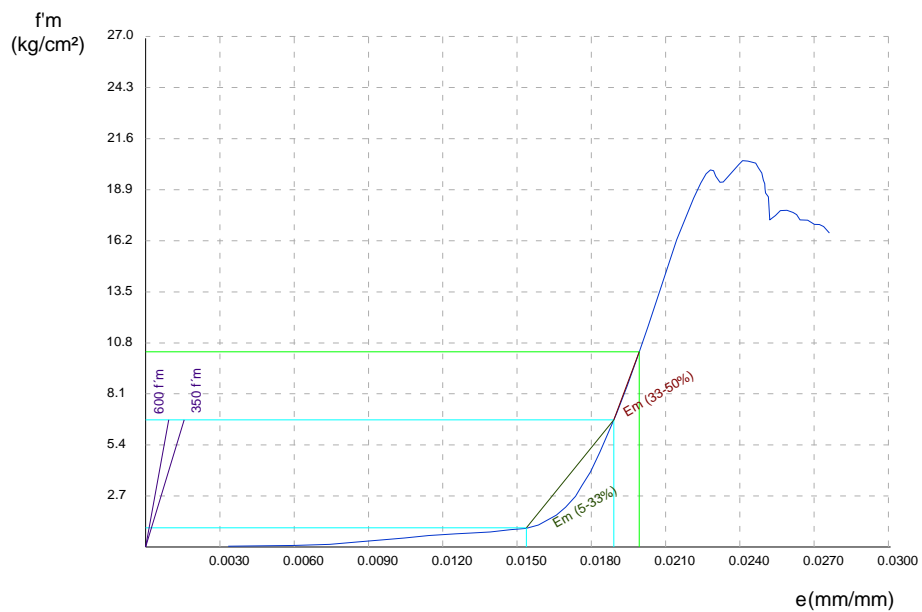
CM-2



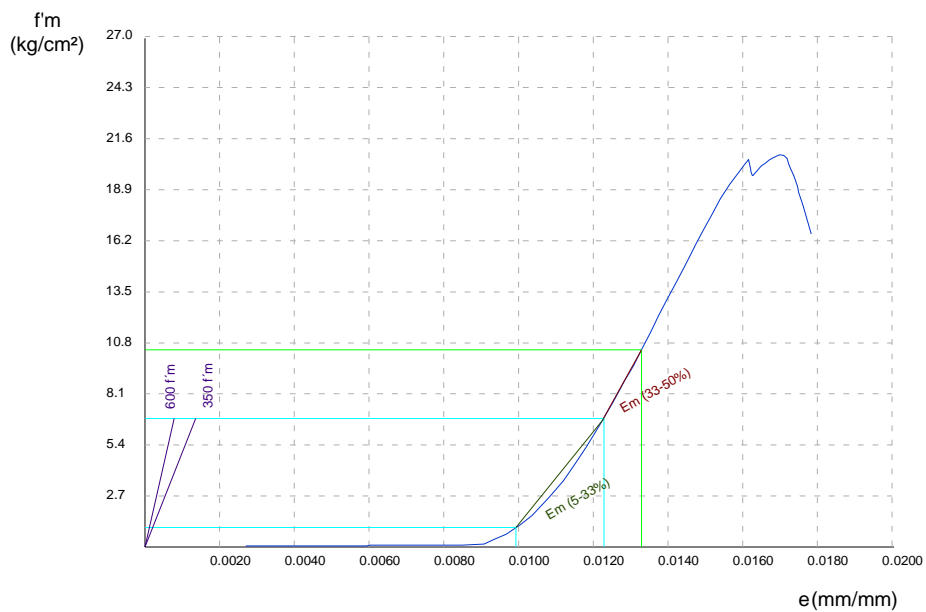
CM-3



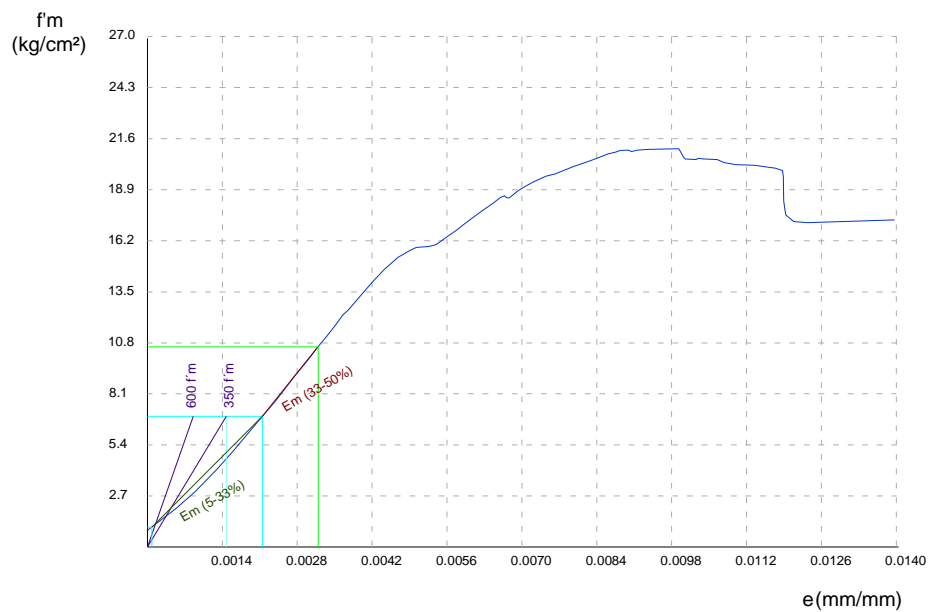
CM-4*



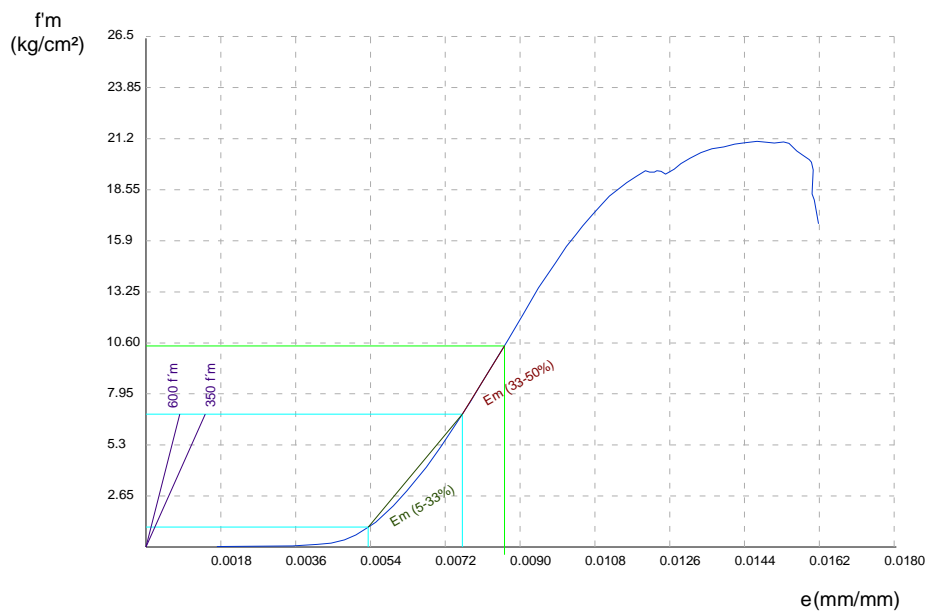
CM-5



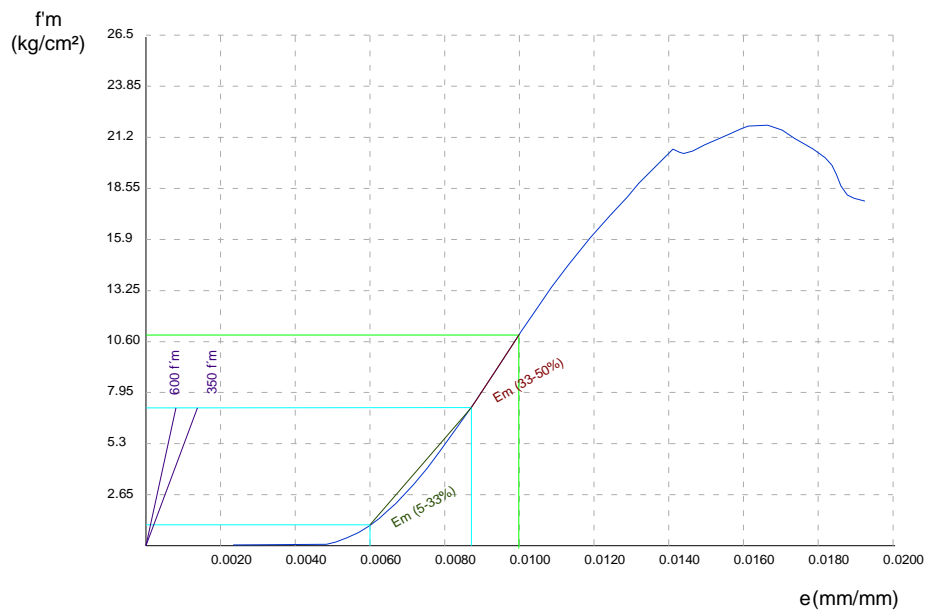
CM-6*



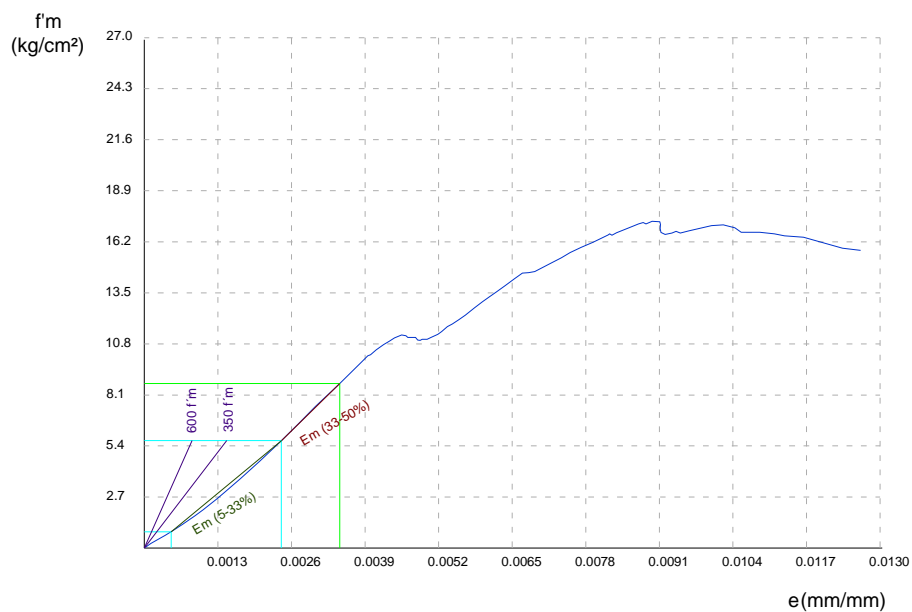
CM-7



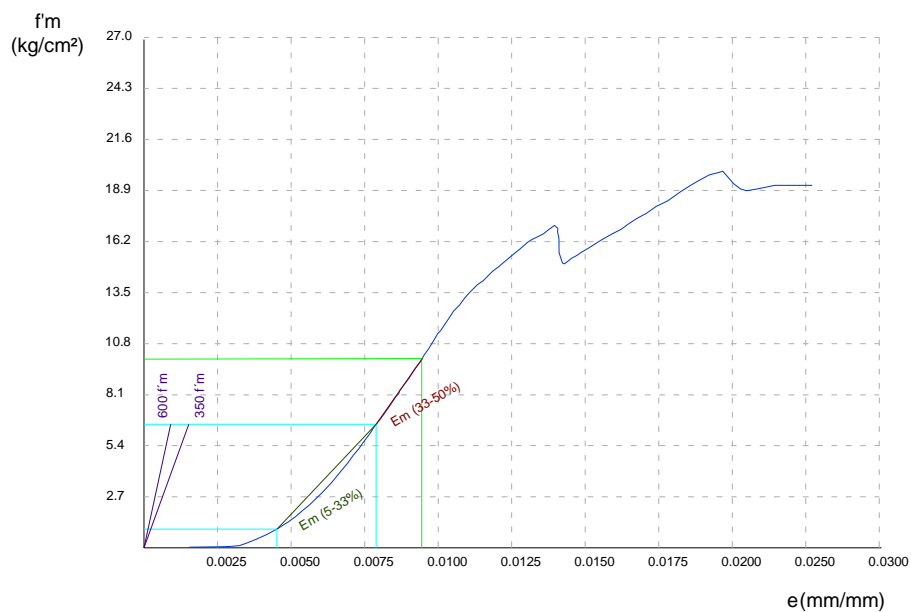
CM-8



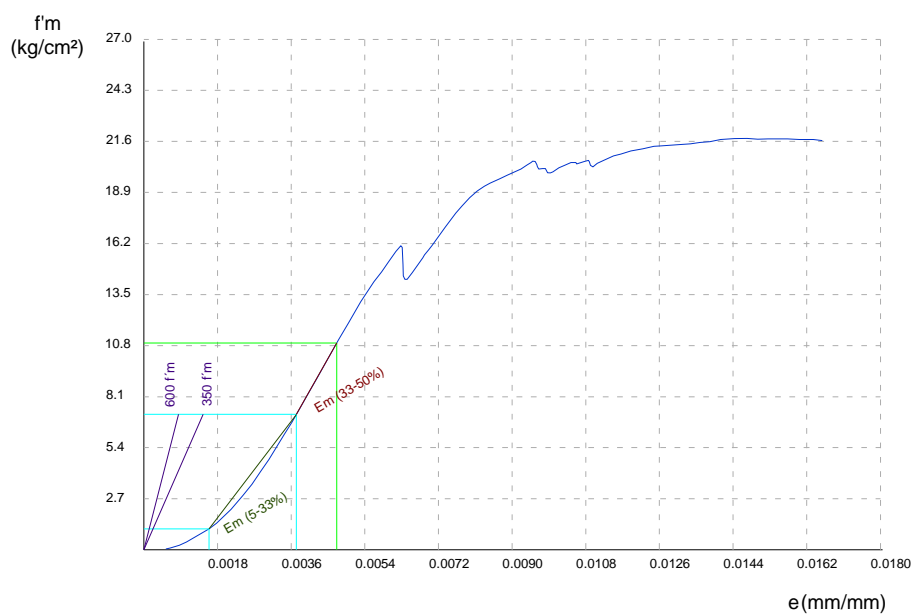
DM-1



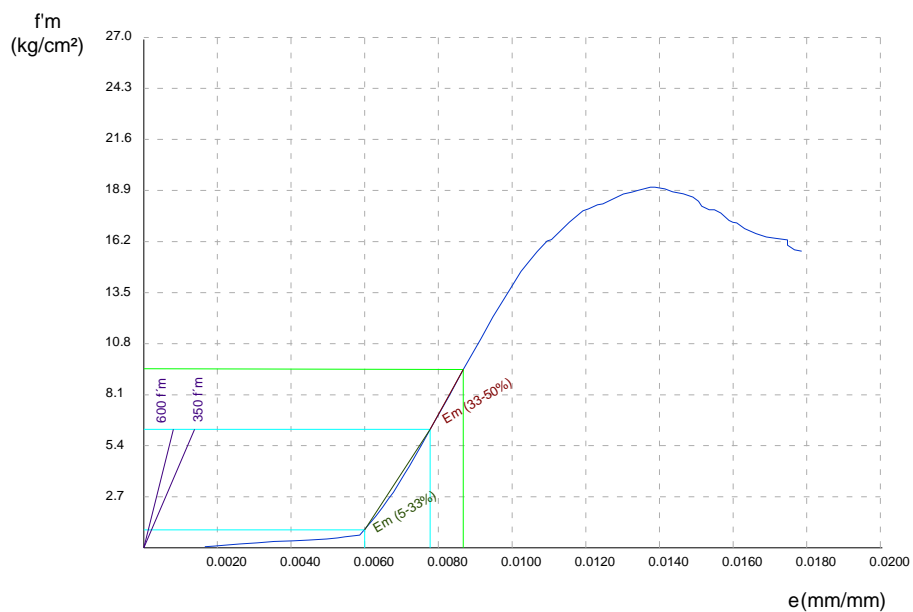
DM-2



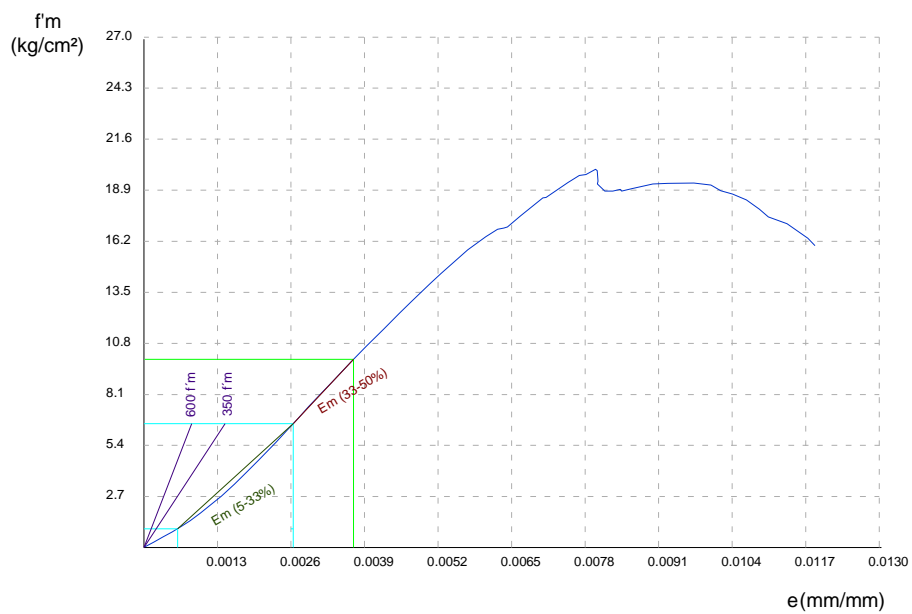
DM-3



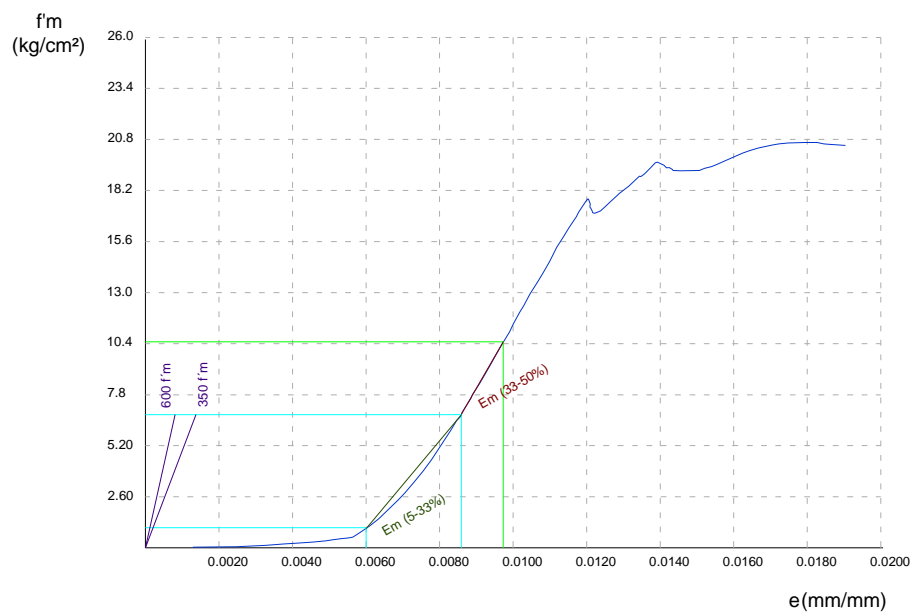
DM-5



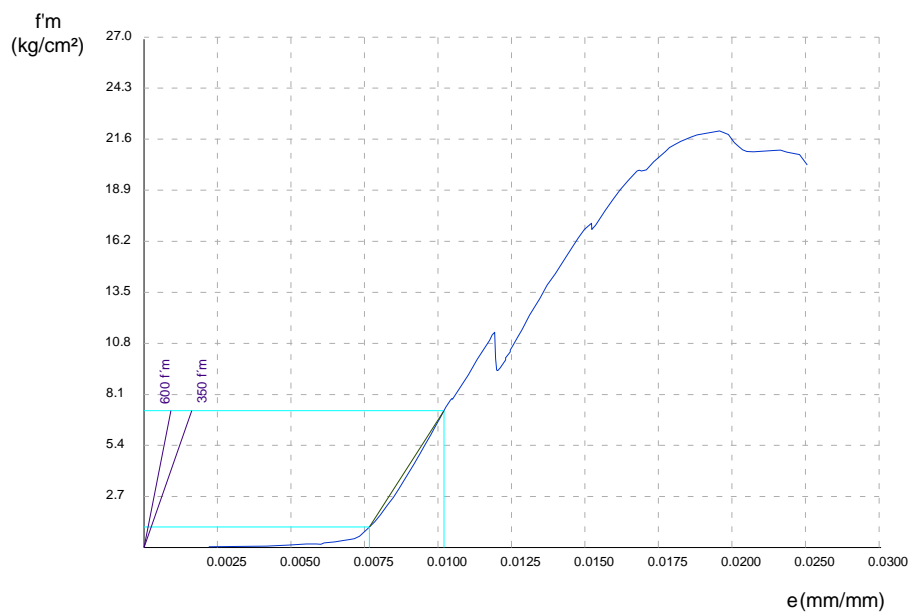
DM-6



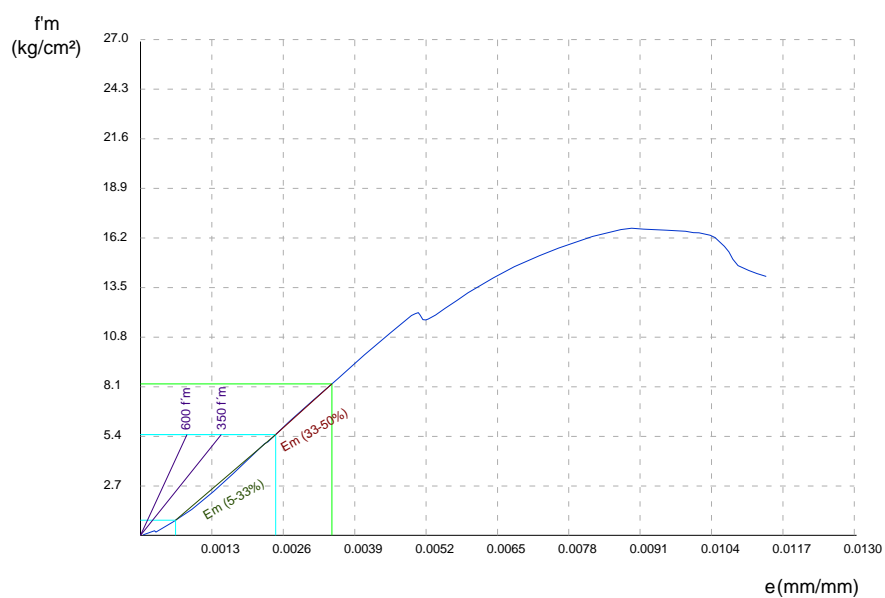
DM-7



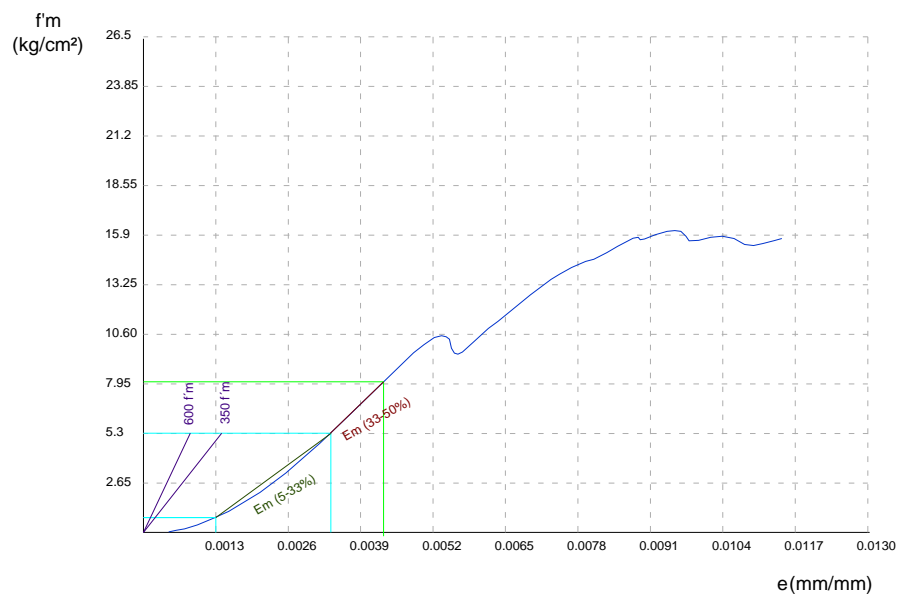
DM-8



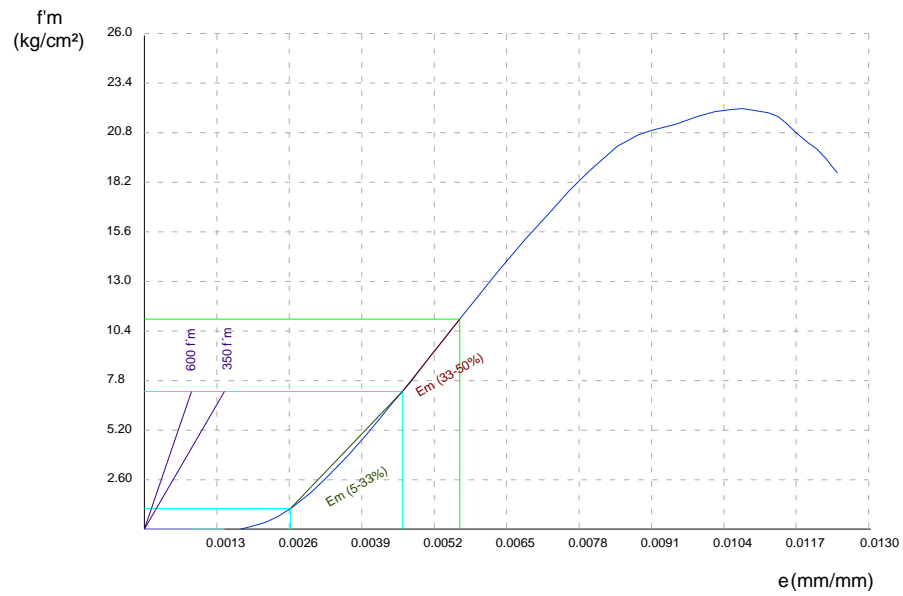
CN-1



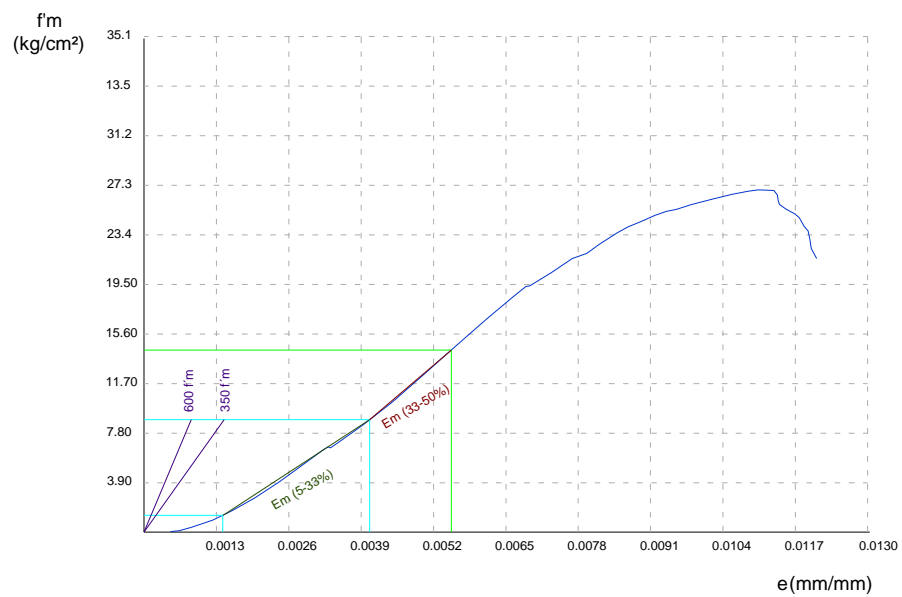
CN-2



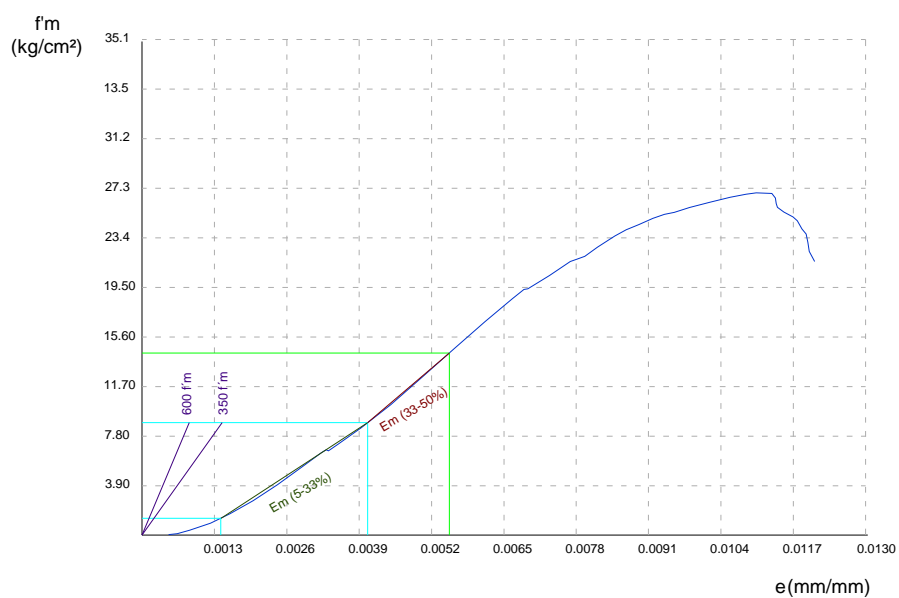
CN-3



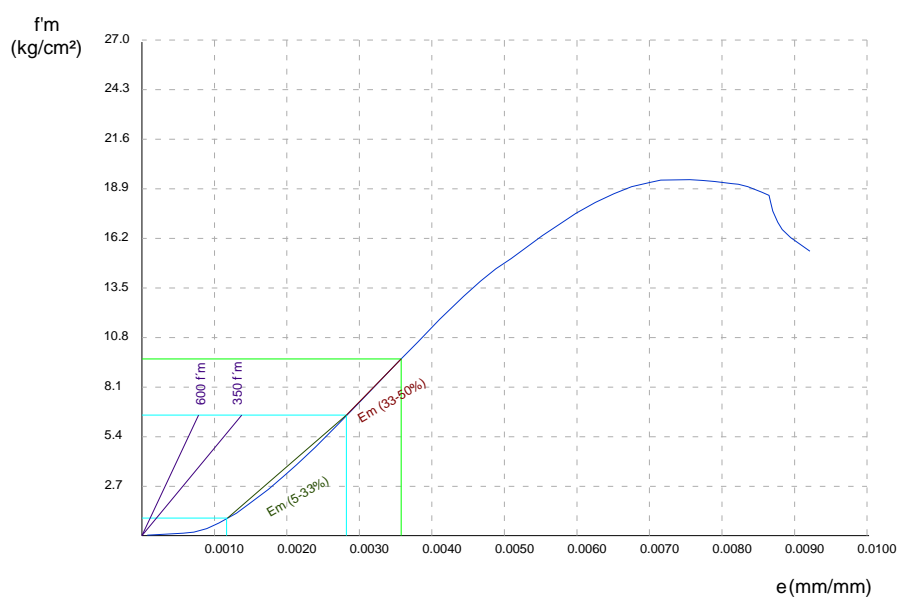
CN-4



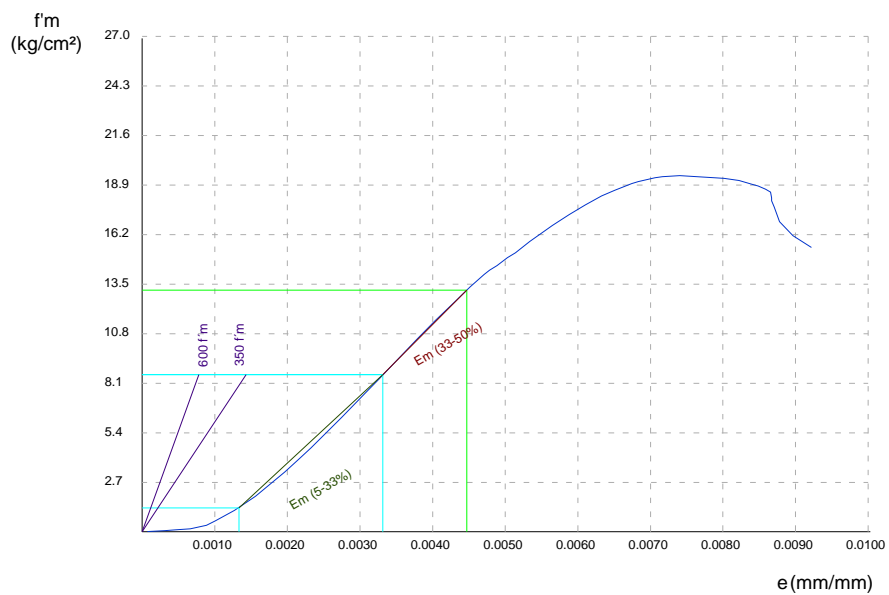
CN-4



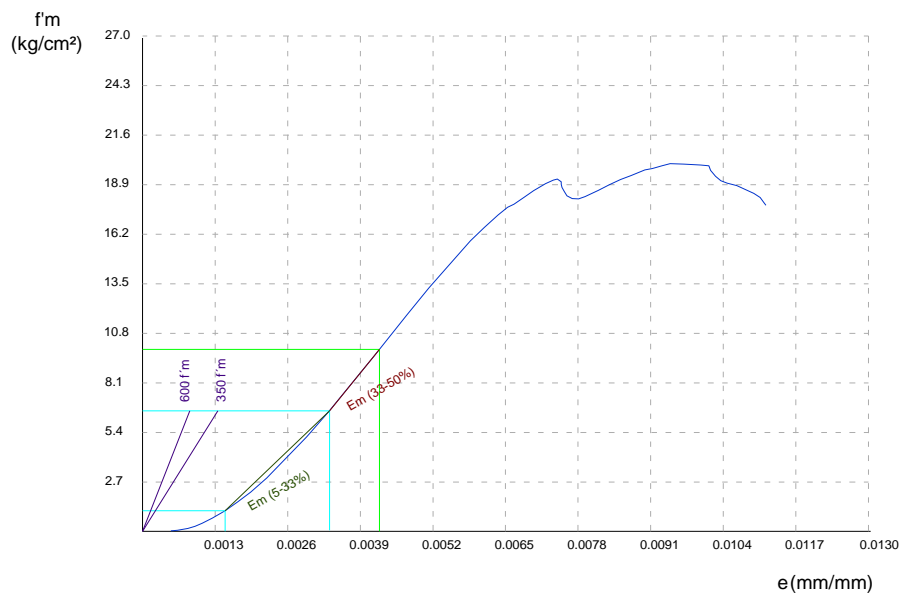
CN-5



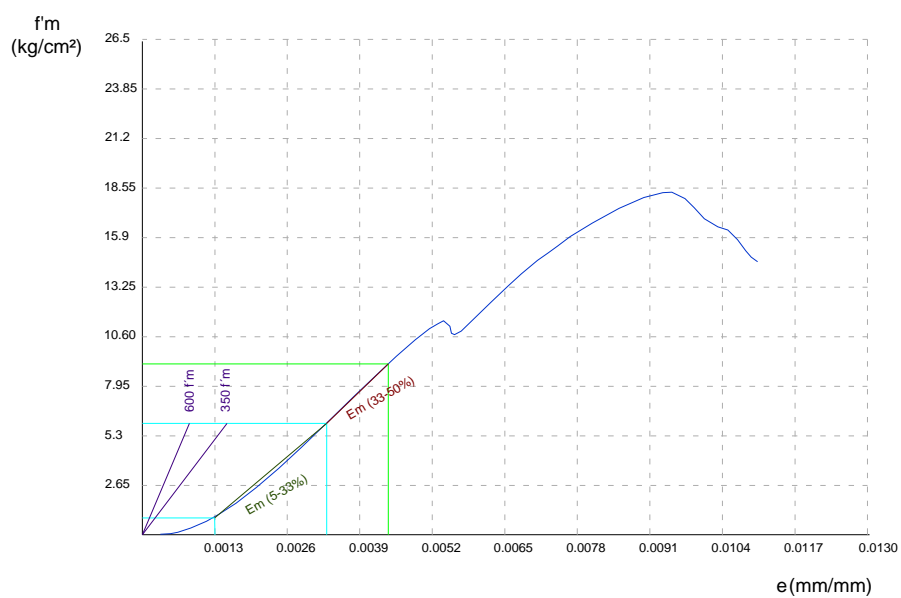
CN-6*



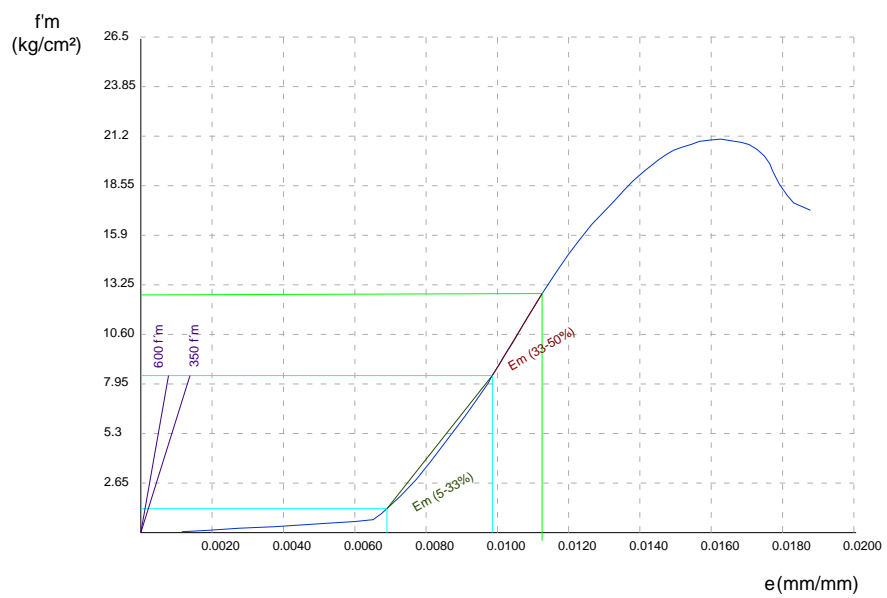
CN-7



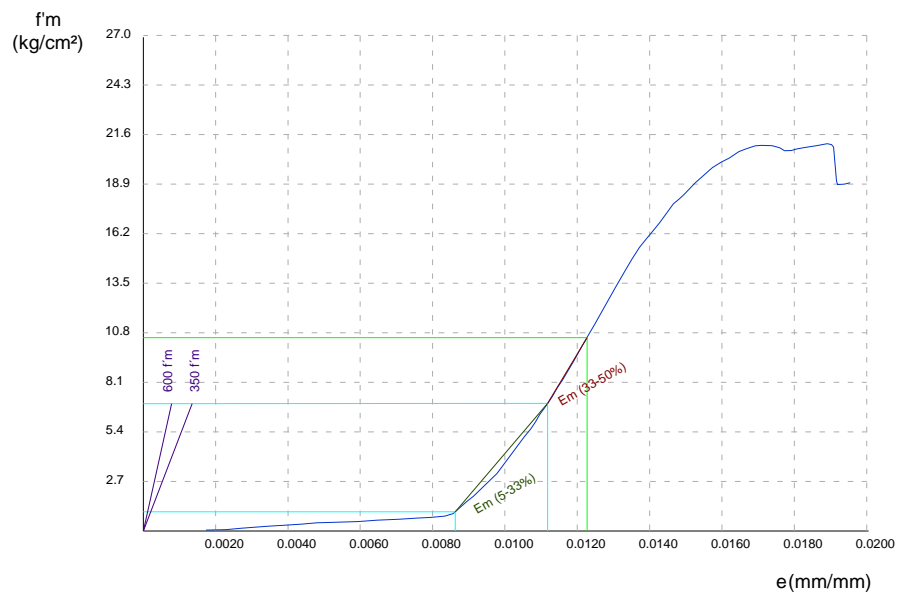
CN-8



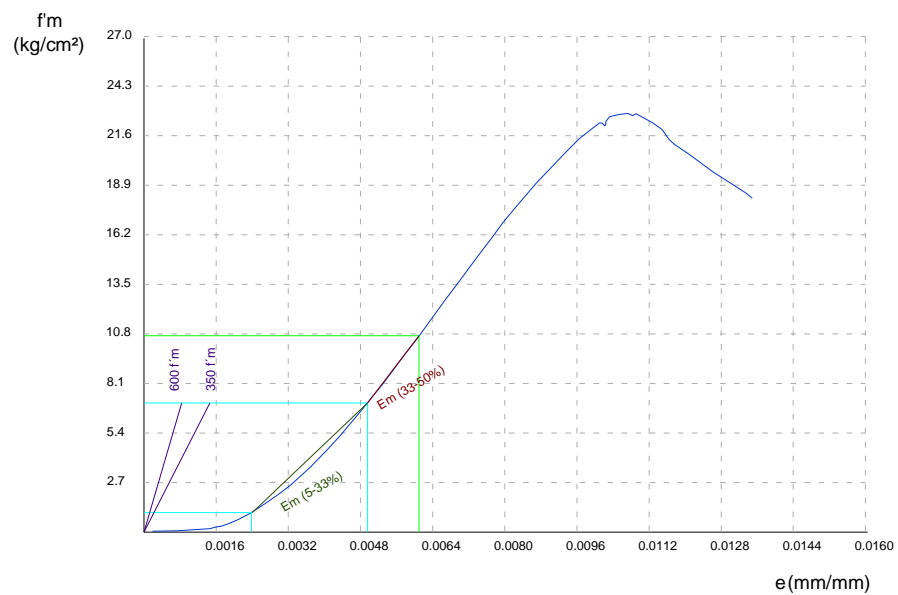
DN-1



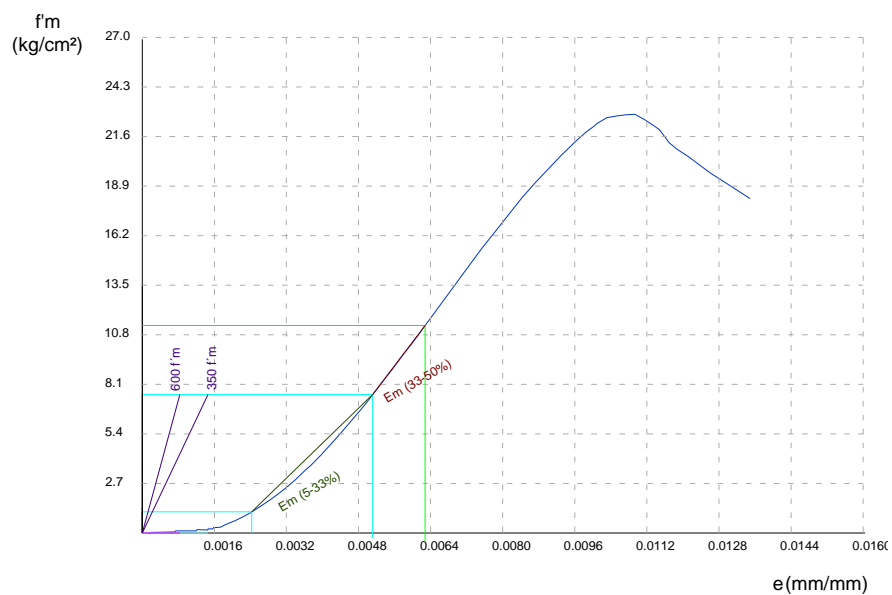
DN-2



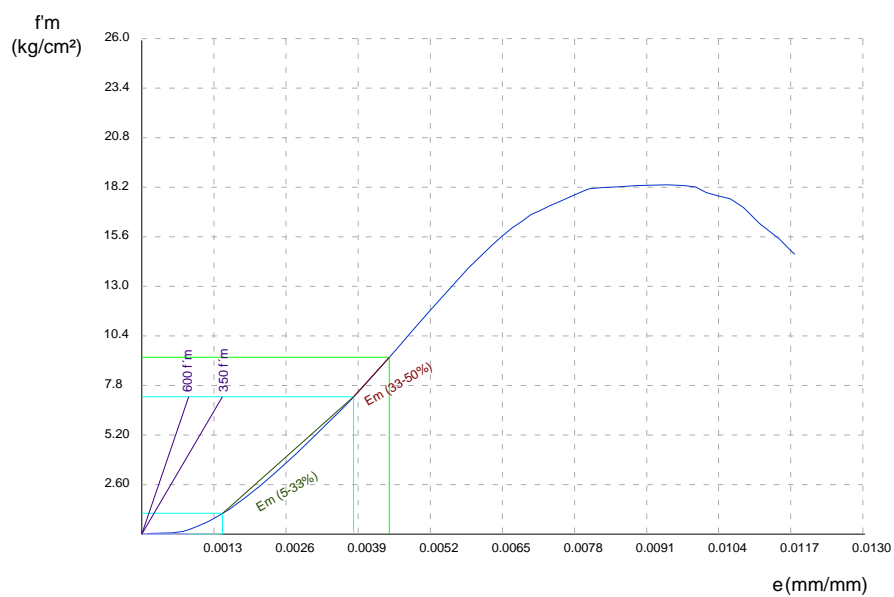
DN-3



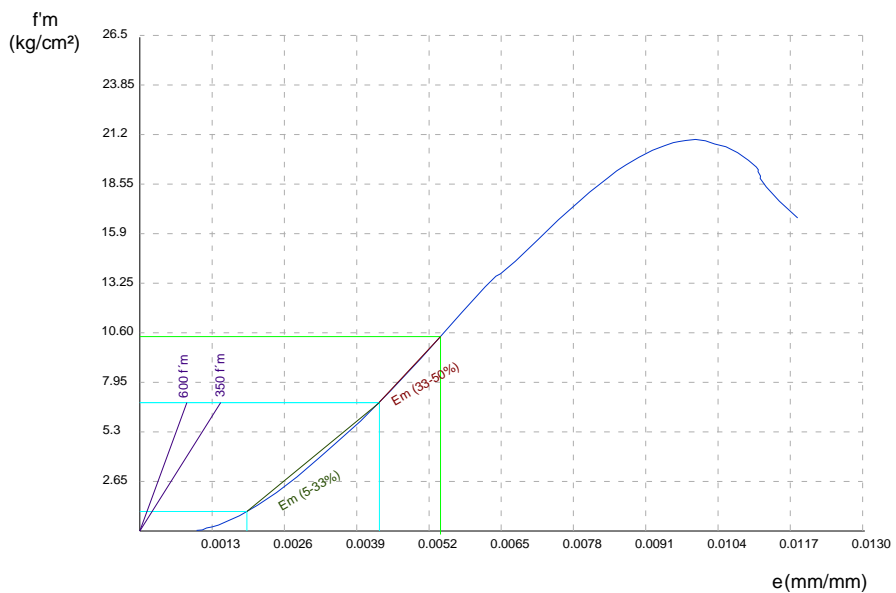
DN-5



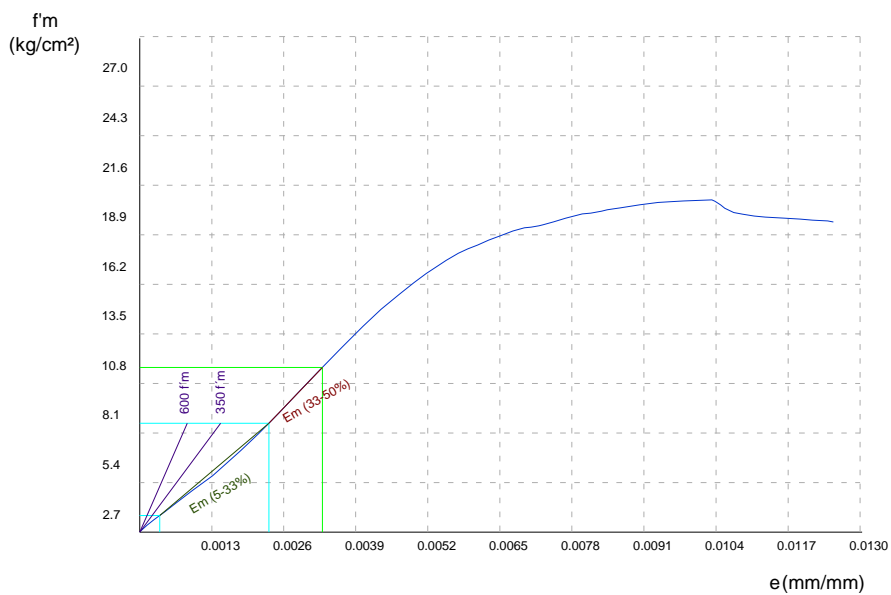
DN-6




DN-7











DN-8










ANEXO D “CONDICIONES DE LOS PRISMAS ENSAYADOS”





Ensayo N°	1		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A1	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
Observaciones: Condiciones normales presentes en el prisma.			





Ensayo N°	2		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A2	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma A2, sin grietas ni escarificaciones observadas. No se observan grietas considerables durante el ensayo ya que hubo error de uso del equipo de parte del operador de la máquina.</p>			





Ensayo N°	3		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A3	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma A3, únicamente la superficie inferior del prisma presentaba mínimas fisuraciones y en este prisma la carga a la máquina de ensayo se incrementó un 10% de su valor inicial.</p>			

Ensayo N°	4		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A4	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se presentan escarificaciones en la parte inferior del prisma, propias de la misma unidad. En este espécimen se incrementó el valor de la carga a la máquina de ensayo de un 10 a un 20% de su carga inicial.</p>			





Ensayo N°	5		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B1	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se presentan irregularidades en la parte superior e inferior del prisma. Durante el ensayo no se pudieron obtener datos de este prisma debido a un corte de energía eléctrica.</p>			





Ensayo N°	6		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B2	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: El prisma estaba levemente desplomado y presentaba altas irregularidades en los extremos de la superficie superior del prisma.</p>			





Ensayo N°	7		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B3	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron irregularidades en la superficie superior e inferior del prisma. También el espécimen presentaba leve desplome.</p>			



Ensayo N°	8		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B4	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: El espécimen estaba levemente desplomado, así mismo presentaba irregularidades en la superficie superior e inferior.</p>			





Ensayo N°	9		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B5	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron escarificaciones en la parte superior e inferior del prisma, también se observó irregularidad al centro de la superficie superior del mismo.</p>			





Ensayo N°	10		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B6	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado, también se presentaron escarificaciones en la superficie de las unidades centrales.</p>			




Ensayo N°	11		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A5	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Cono y Tracción Indirecta.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron escarificaciones en la superficie inferior del prisma también se presentó irregularidades en el borde superior derecho.</p> <p>Nota: El operador de la máquina universal volvió a cargar el prisma ya que argumenta que la maquina paró automáticamente.</p>			





Ensayo N°	12		
Fecha	23 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A6	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron irregularidades en la esquina superior derecha del prisma.</p>			



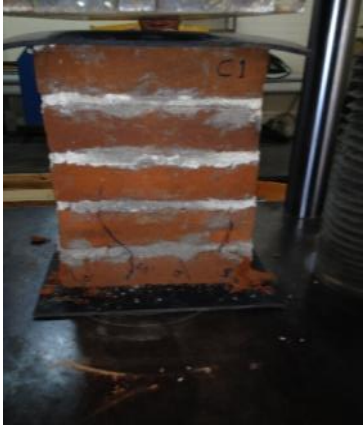

Ensayo N°	13		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A7	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Se observaron condiciones normales en este prisma.			





Ensayo N°	14		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	A8	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Se observaron irregularidades en la superficie superior del prisma.			



Ensayo N°	15		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B8	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática.	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la segunda unidad superior del prisma estaba agrietada, también se observaron irregularidades en las esquinas de la superficie superior. Nota: Se volvió a cargar el prisma ya que la máquina de ensayo se paró automáticamente.</p>			





Ensayo N°	16		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	B7	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado, también el centro de la superficie superior presenta irregularidades.</p> <p>Nota: Nuevamente se volvió a cargar el prisma ya que la máquina volvió a apagarse automáticamente.</p>			





Ensayo N°	17		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C2	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron irregularidades tanto en la superficie inferior como superior del prisma.</p>			





Ensayo N°	18		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C1	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó condiciones regulares en la parte superior del prisma, en cuanto en la superficie inferior se observaron irregularidades en la superficie.</p>			





Ensayo N°	19		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D1	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades. Sisa Vertical.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron fisuraciones en la esquina inferior del prisma, también la esquina superior derecha presenta desnivel con respecto a la horizontal.</p>			





Ensayo N°	20		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D2 (Sisa Vertical).	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó irregularidades en la superficie superior e inferior del prisma y levemente desplomado.</p>			





Ensayo N°	21		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D3 (Sisa Vertical).	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó irregularidades en la superficie superior e inferior del prisma y levemente desplomado.</p>			





Ensayo N°	22		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D4 (Sisa Vertical).	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la unidad media de barro cocido del prisma tenía dimensiones mayores a las otras unidades, también que una unidad de la superficie superior estaba levantada una sobre la otra.</p>			



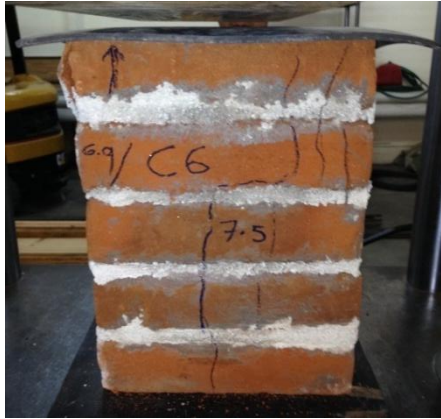

Ensayo N°	23		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D5 (Sisa Vertical).	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó irregularidades en la superficie superior en la parte central, también el prisma presentaba escarificaciones en la esquina de la segunda unidad superior y levemente desplomado.</p>			





Ensayo N°	24		
Fecha	24 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D6 (Sisa Vertical).	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la superficie superior del prisma era de menor dimensión que la superficie superior y que el espécimen estaba levemente desplomado.</p>			





Ensayo N°	25		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C3	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la unidad inferior del prisma presentaba apariencia de cocimiento no adecuado, fragilidad y facilidad a escarificaciones.</p>			





Ensayo N°	26		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C4	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared externa de unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la superficie superior del prisma poseía apariencia de poco cocimiento y fragilidad, además que la segunda unidad superior tenía menores dimensiones que las otras y levemente desplomado.</p>			





Ensayo N°	27		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C5	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado y con irregularidades en la parte superior del mismo.			





Ensayo N°	28		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C6	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron irregularidades en la parte superior e inferior del prisma, además se observó que estaba levemente desplomado y presentaba escarificaciones en la parte superior del mismo.</p>			





Ensayo N°	29		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C7	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Prisma levemente desplomado, presentó irregularidades en la superficie superior como inferior, también se observó que la unidad inferior poseía mayor dimensión en su ancho que las demás unidades.</p>			





Ensayo N°	30		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	C8	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó una grieta existente en la segunda unidad inferior del prisma, así mismo irregularidades en la superficie superior del prisma y también que el espécimen estaba levemente desplomado.</p>			





Ensayo N°	31		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D7	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades. (Sisa Vertical)	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron irregularidades en las superficies superior e inferior del prisma, así mismo las mismas unidades (superior e inferior) presentaron apariencia de poco cocimiento y fragilidad.</p>			




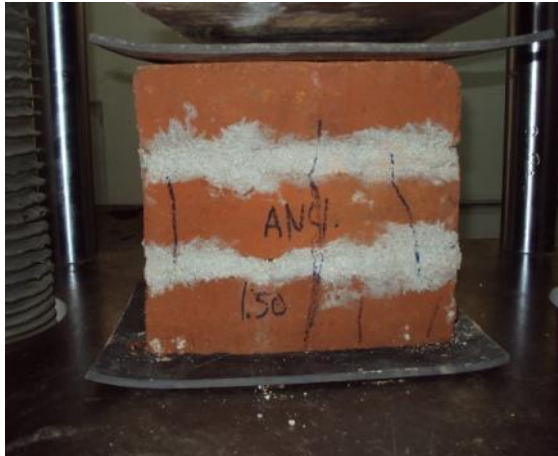
Ensayo N°	32		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D8	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades. (Sisa Vertical)	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó una grieta en la unidad superior del prisma, también irregularidades en la superficie superior e inferior y la tercera unidad con dimensiones más cortas respecto a su longitud.</p>			





Ensayo N°	32		
Fecha	25 de Junio de 2015.		
Código de Prisma	D8	Tipo de Mortero	M
Configuración Prismática	5 Unidades. (Sisa Vertical)	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó una grieta en la unidad superior del prisma, también irregularidades en la superficie superior e inferior y la tercera unidad con dimensiones más cortas respecto a su longitud.</p>			

Ensayo N°	33		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN1	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó una grieta en la unidad superior del prisma, también irregularidades en la superficie superior e inferior y la tercera unidad con dimensiones más cortas respecto a su longitud.</p>			

Ensayo N°	34		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN2	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma. Únicamente superficie superior del mismo levemente irregular.</p>			

Ensayo N°	35		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN3	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			

Ensayo N°	36		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN4	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron condiciones normales en el prisma. Únicamente se constató que el prisma estaba levemente desplomado y que se volvió a cargar a 1,535 kg.</p>			





Ensayo N°	37		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN5	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma. Únicamente presenta escarificaciones en la superficie inferior.</p>			





Ensayo N°	38		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN6	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma, únicamente se observaron escarificaciones en las caras laterales del mismo.</p>			





Ensayo N°	39		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN7	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado, también escarificaciones en las caras laterales de las unidades y la superficie inferior del prisma levemente irregular.</p>			





Ensayo N°	40		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN8	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado, también escarificaciones en las caras laterales de las unidades y la superficie inferior del prisma levemente irregular.</p>			





Ensayo N°	40		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	AN8	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	3 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó irregularidades en la superficie superior del prisma, escarificaciones laterales y se volvió a cargar la máquina porque se detuvo a 855 kg.</p>			

Ensayo N°	41		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN1 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó irregularidades en la superficie superior e inferior del prisma y escarificaciones en las unidades laterales.</p>			

Ensayo N°	42		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN2 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Se observó una unidad superior floja (Ligeramente Despegada).			




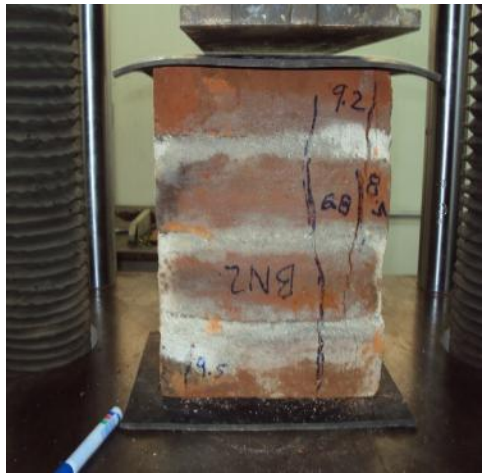
Ensayo N°	43		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN3 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que el prisma se encontraba levemente desplomado, además se observó la superficie superior irregular y también escarificaciones en las unidades laterales del prisma.</p>			





Ensayo N°	44		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN4 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
Observaciones: Se observaron condiciones normales en el prisma.			





Ensayo N°	45		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN5 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado. Por lo demás se observaron condiciones normales en el prisma.</p>			





Ensayo N°	46		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN6 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó el prisma levemente desplomado. Por lo demás se observaron condiciones normales en el prisma.</p>			





Ensayo N°	47		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN1	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			




Ensayo N°	48		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN2	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			

Ensayo N°	49		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN3	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó la superficie superior del prisma inclinada e irregularidades en la superficie inferior del mismo.</p>			





Ensayo N°	50		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN4	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la parte de la superficie superior del prisma presentaba inclinación con respecto a la horizontal y de la misma manera en la superficie inferior específicamente en la parte central de la unidad.</p>			





Ensayo N°	51		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN5	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la unidad inferior del prisma estaba agrietada, y la superficie superior presentaba cierta inclinación con respecto a la horizontal.</p>			

Ensayo N°	52		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN6	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Superficie superior del prisma levemente inclinada con respecto a la horizontal y se observó leve desplome en el espécimen.</p>			





Ensayo N°	53		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN7	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			





Ensayo N°	54		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	BN8	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	4 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			





Ensayo N°	55		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN7 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma. Se observó el prisma desplomado.			





Ensayo N°	56		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	DN8 Sisa Vertical	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que la superficie superior del prisma presentaba inclinación con respecto a la horizontal. También se observó que las esquinas inferiores estaban levantadas respecto a la superficie de la máquina.</p>			





Ensayo N°	57		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN1	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			





Ensayo N°	58		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN2	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron escarificaciones laterales en la unidad inferior del prisma, así como también se observó leve desplome del mismo.</p>			





Ensayo N°	59		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN3	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observaron irregularidades en la superficie superior estaba más inclinada respecto a la horizontal, también que el prisma estaba levemente desplomado.</p>			

Ensayo N°	60		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN4	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Se observó que una esquina de la parte superior estaba más levantada con respecto a la horizontal, también se observó escarificaciones en la parte inferior del prisma.</p>			

Ensayo N°	61		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN5	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma. Únicamente se observó que la segunda unidad superior del prisma presenta mayores dimensiones en cuanto a su ancho respecto a las demás unidades.</p>			

Ensayo N°	62		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN6	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			

Ensayo N°	63		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN7	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Separación de Pared Externa de Unidad.
			
			
<p>Observaciones: Condiciones normales en el prisma. Se observó variación dimensional en el ancho de las dos unidades inferiores donde sus anchos eran menores en dimensión al resto de unidades que conformaron el prisma.</p>			

Ensayo N°	64		
Fecha	01 de Julio de 2015.		
Código de Prisma	CN8	Tipo de Mortero	N
Configuración Prismática	5 Unidades.	Tipo de Falla.	Tracción Diagonal.
			
			
Observaciones: Condiciones normales en el prisma.			