



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

**“CARACTERIZACIÓN DE RESISTENCIA A  
COMPRESIÓN DE PIEZAS DE TABIQUE DE BARRO  
RECOCIDO HECHO A MANO FABRICADO EN LA  
CIUDAD DE AGUASCALIENTES Y SUS  
ALREDEDORES. ESTUDIO EXPERIMENTAL”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAestrÍA EN INGENIERÍA CON TERMINAL  
EN SEGURIDAD ESTRUCTURAL PRESENTADA POR:

**I.C. JORGE GUTIÉRREZ RIVERA**

TUTORÍA:

**DR. GERARDO ARAIZA GARAYGORDOBIL**  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS

AGUASCALIENTES, MARZO 2009



*A Mis Padres, Esperanza y Manuel*  
*A Mis Hermanos, Antonia, Luís, Manuel, Ismael, Juan y Carlos*

## *AGRADECIMIENTOS*

Agradezco al Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil por la asesoría brindada para la realización de este trabajo de investigación.

También aprovecho este espacio para agradecer al Dr. Mario Eduardo Zermeño de León, así como a los Drs. José Ortiz Lozano y Jesús Pacheco Martínez y al M. en Ing. Enrique Mendoza Otero por compartir sus conocimientos y experiencias.

Agradezco al personal de laboratorio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Jorge Jesús Salas Molina y Jorge Ibarra Marmolejo por su colaboración en la realización de los ensayos.

Así mismo quiero agradecer a Daniel López Sánchez, encargado del laboratorio de la Secretaría de Obras Públicas del Estado de Aguascalientes por su apoyo brindado en la ejecución de las pruebas.

En el plan personal, quiero hacer un agradecimiento a mis padres, en especial a mi madre Esperanza por todo su apoyo brindado durante mi vida académica.

A mis hermanos quiero agradecerles por su confianza y afecto.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN



DC-D-390  
ASUNTO: Autorización de Tema de Maestría.

**ING. JORGE GUTIERREZ RIVERA  
P R E S E N T E.**

Con base en lo que establece el Reglamento de Docencia en el artículo 173, le informo que se le autoriza el Tema de tesis: "Caracterización de Resistencia a Compresión de Piezas de Tabique de Barro Recocido Hecho a Mano Fabricado en la Ciudad de Aguascalientes y sus Alrededores. Estudio Experimental". Así mismo se le designa como asesor al Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil. A fin de asignarle fecha para la verificación del Examen de Grado para la obtención del título de la Maestría en Ingeniería con salida terminal en Seguridad Estructural, deberá cumplir con lo establecido en los artículos 161, 162, 174 y 175.

Con el objeto de dar cumplimiento a este reglamento el paso siguiente será autorizar la impresión de su tesis, toda vez que presente la carta de liberación y/o acuerdo señalado en la Fracc. II del artículo 175.

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"SE LUMEN PROFERRE"  
Aguascalientes, Ags., 14 de octubre de 2008

M. EN A. MARIO ANDRADE CERVANTES  
DECANO

- c.c.p. M. EN URB. HUMBERTO DURAN LOPEZ  
Secretario de Investigación y Posgrados.
- c.c.p. M. EN VAL. JUAN JAVIER AMADOR ROMO DE VIVAR  
Jefe del Depto. de Construcción y Estructuras
- c.c.p. Archivo.

JJARV/lbm



M. EN A. MARIO ANDRADE CERVANTES  
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCION.  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE AGUASCALIENTES

**Asunto:** autorización de impresión de tesis

Por este conducto, le informo que el Ing. Jorge Gutiérrez Rivera, ha concluido la tesis que lleva por nombre "**Caracterización de resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido hecho a mano fabricado en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores. Estudio experimental**", de acuerdo a los objetivos y contenidos planteados para su autorización y en cuya tesis fungí como asesor, por lo que he autorizado al sustentante para que realice la impresión final del documento y realice los trámites pertinentes para obtener el grado de Maestría en Ingeniería con salida Terminal en Seguridad Estructural, por la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Agradezco la atención que se sirva tener a la presente y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Aguascalientes, Ags. 19 Marzo del 2009

  
DR. GERARDO ARAIZA GARAYGORDOBIL  
DIRECTOR DE TESIS

C.C.P. ING. JORGE GUTIÉRREZ RIVERA  
C.C.P. Archivo

  
01/21/09  
27/03/09

## RESUMEN

Se realizaron muestreos y ensayos en laboratorio de materiales de la producción de piezas de tabique de barro recocido hecho a mano fabricados en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores, con la finalidad de obtener valores característicos de resistencia a compresión de las unidades que se utilizan en la construcción de estructuras de mampostería, además se determinaron algunas características físicas de las piezas.

Se obtuvieron para las diferentes fábricas productoras, algunos parámetros estadísticos de valores de resistencia media, valores mínimos y máximos, así como medidas de dispersión. Se hace el análisis de los valores obtenidos entre los sitios geográficos donde se ubican las fábricas y de manera general.

También en el presente documento se determinan valores de resistencia para emplearse en el diseño de estructuras de mampostería y se realizan las comparativas con los valores de diseño establecidos en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcción del Distrito Federal, versión del 2004.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

PÁGINA

**CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 METODOLOGÍA	2
1.3 ANTECEDENTES	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 OBJETIVOS	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos	6

**CAPITULO 2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

2.1 INTRODUCCIÓN	8
2.2 CARACTERÍSTICAS DE PIEZAS DE TABIQUE DE BARRO RECOCIDO	8
2.2.1 Clasificación	8
2.2.2 Características Físicas	8
2.2.3 Características Mecánicas	9
2.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PIEZAS DE TABIQUE DE BARRO RECOCIDO	10
2.4 MÉTODO DE PRUEBA	13
2.4.1 Campo de Aplicación	13
2.4.2 Máquina de Ensaye	13
2.4.3 Placas y Bloques de Acero	13
2.4.4 Preparación de las Muestras	14
2.4.5 Cabeceo	14
2.4.6 Colocación de la Probeta	15
2.4.7 Velocidad de la Prueba	15
2.4.8 Cálculos	15
2.5 NORMAS DE DISEÑO	16
2.5.1 Criterios de Diseño	16
2.5.2 Bases Probabilísticas para las Normas de Diseño	16

**CAPITULO 3. REALIZACIÓN DE ENSAYES**

3.1 INTRODUCCIÓN	19
3.2 UBICACIÓN DE LAS FÁBRICAS PRODUCTORAS DE TABIQUE	19
3.3 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS PIEZAS	20
3.3.1 Extracción y Preparación de Arcillas	20
3.3.2 Moldeo, Secado y Cocción	21
3.4 MUESTREO DE LAS UNIDADES	22
3.5 PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS	23
3.6 REALIZACIÓN DE ENSAYES	23
3.7 RESULTADOS OBTENIDOS	24

**CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

*PÁGINA*

4.1 INTRODUCCIÓN	30
4.2 ANÁLISIS DE LOS VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DISPERSIONES OBTENIDOS	30
4.2.1 Análisis de Valores por Sitio Geográfico	30
4.2.2 Análisis en Forma Global	36
4.3 COMPARATIVA DE LOS VALORES OBTENIDOS CON LOS VALORES NORMATIVOS	37

**CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE DESARROLLO**

5.1 INTRODUCCIÓN	40
5.2 CONCLUSIONES REFERENTES AL ESTADO DEL CONOCIMIENTO	40
5.3 CONCLUSIONES REFERENTES A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PIEZAS	40
5.4 CONCLUSIONES REFERENTES A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PIEZAS	41
5.4.1 Los Arellano	41
5.4.2 Norias de Paso Hondo	41
5.4.3 El Conejal	41
5.4.4 Los Arquitos	41
5.4.5 Los Ramírez	41
5.4.6 De Forma General	42
5.5 CONCLUSIONES REFERENTES A LA NORMATIVIDAD	42
5.6 PROPUESTAS DE DESARROLLO	42
ANEXO 1 MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA (NTC-2004)	44
GLOSARIO	46
BIBLIOGRAFÍA	47



**ÍNDICE DE FIGURAS**

*PÁGINA*

**CAPITULO 2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

Figura 2.1- Histograma de la resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido (Meli y Hernández 1971) 12

Figura 2.2- Placas y bloque de acero (ONNCCE-2004) 14

Figura 2.3- Placas para el cabeceo de piezas de tabique (ONNCCE-2004) 15

**CAPITULO 3. REALIZACIÓN DE ENSAYES**

Figura 3.1- Principales zonas de producción de tabique de barro recocido hecho a mano en Aguascalientes 20

Figura 3.2- Secado al sol de piezas de barro (los Arellano, Aguascalientes) 21

Figura 3.3- Horno de fabricación artesanal para el cocido de piezas de barro (los Arquitos, Aguascalientes) 22

Figura 3.4- Cabeceo con azufre de las piezas de tabique de barro recocido (laboratorio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes) 23

Figura 3.5- Realización de ensaye a compresión en máquina de prueba con capacidad de carga de 120 toneladas (laboratorio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes) 24

**CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Figura 4.1- Histograma de resistencia a compresión de tabique recocido en los Arellano, Aguascalientes 31

Figura 4.2- Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocido en los Arellano, Aguascalientes 31

Figura 4.3- Histograma de resistencia a compresión de tabique recocido en Norias de Paso Hondo, Aguascalientes 32

Figura 4.4- Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocido en Norias de Paso Hondo, Aguascalientes 32

Figura 4.5- Histograma de resistencia a compresión de tabique recocido en el Conejal, Aguascalientes 33

Figura 4.6- Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en el Conejal, Aguascalientes	33
Figura 4.7- Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en los Arquitos, Jesús Maria, Aguascalientes	34
Figura 4.8- Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de Tabique recocado en los Arquitos, Jesús Maria, Aguascalientes	34
Figura 4.9- Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en los Ramírez, Jesús Maria, Aguascalientes	35
Figura 4.10- Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en los Ramírez, Jesús Maria, Aguascalientes	35
Figura 4.11- Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en Aguascalientes	36
Figura 4.12- Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en Aguascalientes	37

**ÍNDICE DE TABLAS**

*PÁGINA*

**CAPITULO 2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

Tabla 2.1- Resultados de ensayos a compresión en piezas de tabique de barro recocido (Meli y Hernández, 1971)	11
Tabla 2.2- Resumen estadístico de ensayos de piezas de tabique de barro recocido (Meli y Hernández, 1971)	12

**CAPITULO 3. REALIZACIÓN DE ENSAYES**

Tabla 3.1- Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de los Arellano, Aguascalientes	24
Tabla 3.2- Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de Norias de Paso Hondo, Aguascalientes	26
Tabla 3.3- Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de el Conejal, Aguascalientes	26
Tabla 3.4- Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de los Arquitos, Jesús Maria, Aguascalientes	27
Tabla 3.5- Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de los Ramírez, Jesús Maria, Aguascalientes	27

**CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Tabla 4.1- Medidas estadísticas de los valores de resistencia a compresión en piezas de tabique recocido en diferentes sitios geográficos del municipio de Aguascalientes y del municipio de Jesús Maria	30
Tabla 4.2- Resumen de medidas estadísticas de valores de resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido producidos en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores	36
Tabla 4.3- Comparativa de resistencia de diseño obtenida con diferentes valores del coeficiente de variación para piezas de tabique de barro recocido producidos en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores	38
Tabla 4.4- Comparativa de resistencia de diseño obtenida con diferentes valores del coeficiente de variación para piezas de tabique de barro recocido producidos en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores	38



# CAPITULO

# 1

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Para los materiales que más se utilizan en la construcción como el concreto o el acero se especifican valores de resistencia para poder analizar su comportamiento ante las distintas solicitaciones de carga a las que serán expuestos, dichos valores se han observado que no presentan variabilidad importante entre los diferentes fabricantes debido al control de calidad de los productos y a los procesos de fabricación empleados.

En el caso de materiales para construcciones de mampostería como el tabique de barro recocido, si bien en años recientes se ha proliferado la producción de manera industrializada y en una gran variedad de tipos y tamaños; todavía existe un gran número de fábricas que continúan produciendo tabique de manera artesanal con poco o ningún control de calidad y basándose solamente en la experiencia del fabricante para la selección de la materia prima y el proceso constructivo empleado para la elaboración de las piezas.

Particularmente en México para realizar el análisis y diseño de estructuras de mampostería existe solo una norma con un sustento científico, la cual se basa en valores de resistencia de piezas de tabique obtenidos por medio de muestreos y ensayos de piezas fabricadas en el Distrito Federal en los años setentas y que aún continua vigente. En algunos estudios similares realizados en otros estados de la República Mexicana se ha visto variaciones importantes con respecto a los valores que establece la normatividad.

La finalidad del presente trabajo de tesis es la determinación de las características de resistencia con la que actualmente se fabrican los tabiques de barro recocido que se elaboran a mano en diferentes sitios de la ciudad de Aguascalientes.

## 1.2 METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo de tesis se realizaron las siguientes actividades:

Primeramente se llevo a cabo la revisión del estado del conocimiento referente al tema de investigación, enfocándose principalmente en la documentación de carácter nacional debido a las diferencias existentes en los materiales y procesos constructivos empleados en la fabricación de piezas de tabique para mampostería de otros países. En este proceso de revisión del acervo documental se encontró que las principales investigaciones hechas en México se han realizado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, y se tomaron como base para este trabajo de investigación.

Como resultado de la revisión del estado del conocimiento se identificó las necesidades actuales de conocimiento para las construcciones de mampostería en el estado de Aguascalientes y en base a ello se plantearon los objetivos de la investigación.

Una vez revisada la documentación existente, se procedió a la búsqueda y ubicación de las principales fábricas productoras de tabique de barro recocido principalmente las localizadas en las cercanías a la mancha urbana, debido al volumen de producción que manejan.

Se realizó un análisis de los alcances de la investigación en base al tiempo, recursos financieros e infraestructura requerida para la ejecución de los ensayos en laboratorio y con base en ello se determinó la cantidad de muestras adquiridas por grupo de fábricas.

Por último, una vez obtenidos los resultados de los ensayos se analizan los valores entre las diferentes fábricas y en forma general, para después hacer la comparativa con los valores establecidos por la normatividad actual. Para terminar se presentan algunas conclusiones y se hacen propuestas de desarrollo para futuras investigaciones.

### **1.3 ANTECEDENTES**

El estudio de las propiedades mecánicas de piezas para mampostería de barro recocido se ha realizado desde hace varias décadas de forma analítica y experimental. En México se inició a partir del sismo de 1957 con un amplio programa de investigación que ha la fecha continua desarrollándose.

Desde el reglamento de construcciones para el distrito federal de 1963 y sobre todo el reglamento de 1976, se incluyeron en las Normas Técnicas Complementarias criterios racionales de análisis y diseño de estructuras de mampostería producto de los resultados de las investigaciones realizadas a las piezas de barro y conjuntos pieza-mortero. Incluso el planteamiento que propone el reglamento de construcciones de 1976 fue pionero a nivel internacional.

Meli y Hernández (1971), realizaron un muestreo de piezas para mampostería producidas en el Distrito Federal, con la finalidad de estudiar las principales propiedades mecánicas y en particular la distribución estadística de la resistencia a compresión de las unidades. Se muestrearon lotes de materiales del mismo tipo producidos por diferentes fabricas y en diferentes etapas de muestreo para una misma empresa, se determinó la dispersión en unidades de un mismo lote, entre lotes de una misma procedencia y entre lotes de distintas fabricas que producen un mismo material.

Para el tabique de barro recocido se distinguieron grupos de fabricas con resistencias del mismo orden y correspondían a las zonas geográficas en donde se localizaban las fábricas, lo que indica que la resistencia de las piezas depende en gran medida de los

bancos de materia prima con que se fabrican los productos, que por lo general están en las cercanías del sitio de fabricación.

En general se obtuvieron valores de resistencia promedio del orden de 36 kg/cm<sup>2</sup> a 114 kg/cm<sup>2</sup>, una media de 67 kg/cm<sup>2</sup> y un coeficiente de variación de hasta un 54%. Lo que indica una gran variabilidad en las características de resistencia de las piezas de tabique de barro recocido. En el capítulo 2 se describe más ampliamente las investigaciones realizadas por Meli y Hernández en el año de 1971.

Los resultados de estas investigaciones son hoy en día la base de las tablas de diseño de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal del 2004.

Según Castilleja y Ruiz (1995) después de los sismos del 85, en donde se demostró el buen comportamiento de las estructuras de mamposterías diseñadas con las Normas Técnicas, han aparecido piezas de muy buena calidad que sobrepasan los valores normativos, pero en general la calidad de las mamposterías ha disminuido de manera significativa, ellos realizaron un estudio en lo correspondiente a la calidad de las piezas en donde se hace un comparativo de resistencias promedio obtenidas con muestreos a principios de los años setentas y las obtenidas en el año de 1995, se nota una notable disminución de resistencia en piezas de tabique de barro extruído que se producen de manera industrializada de hasta un 50% , y en el caso de piezas de tabique de barro recocido producidos en el Estado de Puebla y Tlaxcala , los cuales se consumen casi en su totalidad en la Cd. de México y gran parte del centro del país, se obtuvieron resistencias de diseño promedio del orden de 54 kg/cm<sup>2</sup>, valor que se encuentra por debajo de la normatividad actual.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad muchas de las construcciones continúan edificándose a base de piezas de tabique de barro recocido del tipo artesanal o industrializado. Especialmente en México las construcciones hechas a base de materiales de mampostería esta fuertemente arraigado a la cultura nacional y continua siendo un sistema constructivo muy aceptado entre la sociedad, particularmente en la construcción de vivienda. Precisamente esa aceptación ha provocado el retraso del desarrollo de nuevas técnicas y procesos constructivos más modernos, debido a ello también se continúan desarrollando amplias investigaciones en el área de las estructuras de mampostería.

Las propiedades mecánicas de la mampostería son muy variables y difíciles de predecir, a diferencia de otros materiales como el acero o el concreto. Esto se debe principalmente por ser un elemento compuesto, en donde se produce una interacción entre las piezas que conforman la estructura y el mortero que las une, esta interacción depende además de las características físicas y mecánicas propias de cada material.

Se ha observado que las piezas de tabique de barro recocido hecho a mano tienen características de resistencia muy variadas y que dependen principalmente de tres factores:

- Las técnicas y/o procedimientos de fabricación
- La mano de obra empleada
- La materia prima con que se elabora el producto

Se ha visto también una variación entre los fabricantes en cuanto a las técnicas y procedimientos empleados en la elaboración de las piezas, y la mano de obra empleada, estos dos factores en realidad influyen ligeramente en las características de resistencia de las piezas y dependen del sitio geográfico en donde se ubican las fábricas.

Con respecto a la materia prima utilizada en la fabricación de las unidades, esta tiene una influencia determinante en las propiedades de resistencia de los tabiques de barro, y depende fundamentalmente de la calidad del banco de extracción utilizado, que por lo general se ubican cerca de las fábricas, así como de los materiales que se adicionan para el mejoramiento de sus propiedades.

Debido a la gran variabilidad que representa la fabricación de estos productos referente a mano de obra, procesos de fabricación y sobre todo la calidad de los materiales con que se elaboran, resulta importante considerar la realización de un estudio actual que nos permita conocer las características de resistencia de las piezas de tabique de barro para construir estructuras de mampostería.

Las investigaciones realizadas sobre el comportamiento de la mampostería ante diferentes solicitaciones de carga, son la base para la creación de los reglamentos de diseño estructural. Actualmente en México solo existe un reglamento para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, las ya mencionadas Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, sin embargo, debido a lo ya antes expuesto, se deberán de crear reglamentos estatales o regionales dependiendo de las características de los materiales y de las necesidades de las diferentes zonas geográficas dentro del país. Este trabajo además pretende ser el inicio de una campaña de investigación en el área de mampostería para el estado de Aguascalientes.



## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo consiste en determinar las características físicas y de resistencia a compresión de piezas de tabique macizo de barro recocido hecho a mano fabricado en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores a través de la realización de ensayos en laboratorio de materiales.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

Para cumplir con el objetivo general antes descrito se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Revisar y analizar el acervo documental referente al tema de investigación como son: libros, tesis, cuadernos de investigación, reportes técnicos, revistas, reglamentos y normas.
- Determinar en laboratorio las características físicas de las piezas de tabique de barro recocido, con apoyo de la norma NMX-C-038-ONNCCE-2004.
- Caracterizar la resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido ensayadas en laboratorio de materiales y con apoyo en la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004.
- Analizar estadísticamente los valores de resistencia a compresión obtenidos de los ensayos experimentales y su comparativa entre las diferentes fabricas productoras.
- Comparar los valores de resistencia a compresión promedio obtenidos, con los valores que recomienda las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004.



# CAPITULO

# 2

## ESTADO DEL CONOCIMIENTO

## 2.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se presenta un panorama general del conocimiento existente a la fecha acerca de las características físicas y de resistencia de piezas de tabique de barro recocido fabricado en diversas zonas geográficas de México. Distinguiéndose las investigaciones realizadas en los años setentas por Meli y Hernández (1971).

Además se presenta el método de prueba estandarizado para ensayos a compresión en piezas de tabique publicado por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (ONNCCE).

Por último se describe de manera breve los criterios normativos establecidos en los años setentas y que dieron origen a los valores de resistencia para el diseño de estructuras de mampostería, con base en la teoría de probabilidad de alcanzar o no un cierto valor.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE PIEZAS DE TABIQUE DE BARRO RECOCIDO

### 2.2.1 Clasificación.

Tabique es toda pieza generalmente en forma de ortoedro que se usa en la construcción de estructuras de mampostería. Los tabiques de barro recocido se clasifican entre los materiales de construcción de piedras artificiales, producto de la cocción de arcillas naturales previamente moldeadas y secadas al sol, pueden ser destinados para uso estructural o no estructural.

### 2.2.2 Características Físicas.

Las dimensiones de piezas de tabique de barro recocido hechas en México son muy variadas y dependen del sitio o zona geográfica donde se fabrican, varían desde 5-10-19 cm. hasta 6.5-13.5-26.5 cm. de espesor, ancho y largo respectivamente, las dimensiones típicas de 7-14-28 cm. Por lo regular ya no se fabrican.

El peso volumétrico de las piezas también es muy variable, desde 1.3 ton/m<sup>3</sup>, hasta 1.5 ton/m<sup>3</sup> (Robles y otros 1984).

Las piezas de tabique deberán cumplir con ciertas características físicas básicas para poder ser utilizados en las construcciones, como son:

- Ser homogéneo
- Estar bien moldeado y con aristas vivas
- Tener cierta porosidad, para formar la trabazón mecánica con el mortero
- Tener buena sonoridad al ser golpeado
- Que se pueda cortar con facilidad

Algunas pruebas prácticas que se pueden realizar en la obra o en el sitio de fabricación de los tabiques para verificar la calidad de estos, pueden ser:

- Frotar dos piezas y verificar que ninguna de estas se desmoronen
- Golpear el tabique con algún objeto duro y se deberá escuchar un sonido metálico
- Partir un tabique y que no se observen manchas blancas

### **2.2.3 Características Mecánicas**

Entre las principales características mecánicas de las piezas de tabique de barro recocido hecho a mano, se pueden mencionar las siguientes: absorción, durabilidad, adherencia, resistencia a flexión (modulo de rotura), y la más importante desde el punto de vista estructural, la resistencia a compresión.

La absorción es una propiedad importante en las piezas, la cual nos indica una medida de la porosidad, que si bien es necesaria para la adherencia con el mortero en las juntas, esta no debe ser excesiva, debido a la exposición de las piezas a las posibles filtraciones y su consecuente disgregación.

La durabilidad es otra propiedad de las piezas y depende de los cambios en las condiciones de humedad y temperatura, se puede evaluar sometiendo al tabique a pruebas de congelación-descongelación y a varios ciclos de humedecimiento-secado, la pérdida de peso se relaciona con su resistencia a los cambios climáticos.

Gallegos (1989). Se ha demostrado que la adherencia entre el mortero y la pieza de mampostería es de naturaleza mecánica. Cuando el mortero se pone en contacto con el tabique, este succiona lechada que penetra por los poros capilares de la pieza, que al cristalizar forma la trabazón mecánica, que es la base de la adhesión entre ambos elementos. Este fenómeno se ve incrementado tanto por el aumento de la rugosidad superficial en la cara de asiento de la unidad como por la presencia de cavidades en la misma cara. En la cara inferior de la pieza se tiene una mayor adherencia con respecto a la cara superior debido al proceso constructivo.

La resistencia a flexión (modulo de rotura), se ensayan piezas a flexión con carga al centro y se determina el esfuerzo máximo de tensión en la fibra extrema.

La resistencia a compresión de la pieza, es el parámetro mas importante para evaluar la calidad de la misma, se realiza el ensaye sobre la pieza entera o la mitad de ella en posición horizontal y se le aplica una carga de compresión mediante una prensa hidráulica, previamente se recubren las caras de la pieza con azufre u otro material que permita asegurar que las caras en contacto con la maquina de ensaye sean planas y paralelas. A continuación se presenta información amplia de las principales investigaciones realizadas sobre resistencia de compresión en piezas de tabique de barro recocido realizada principalmente en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## 2.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PIEZAS DE TABIQUE DE BARRO RECOCIDO.

Meli y Hernández (1971). Uno de los parámetros más importantes de una pieza desde el punto de vista estructural es su resistencia a compresión, determinada mediante el ensaye directo a compresión de la pieza entera o la mitad de ella. La compresión así determinada no es un parámetro uniforme de calidad, ya que los resultados obtenidos en piezas de materiales o geometrías distintos no son comparables y no se relacionan en la misma forma con la resistencia que puedan tener las piezas en un elemento estructural.

La razón de estas diferencias estriba en que las restricciones a las deformaciones transversales, producidas por la fricción con las placas de la máquina de ensaye, introducen compresiones transversales que afectan la resistencia de las piezas. La forma en que influye esta restricción depende no solo de la relación altura-espesor del espécimen, si no también del material de que se compone la pieza, por lo tanto, no ha sido posible encontrar un procedimiento general para estandarizar los resultados a un caso uniforme.

Por lo anterior, los resultados del ensaye de compresión son estrictamente comparables solo para piezas del mismo tipo, y las correlaciones entre este índice y el comportamiento estructural del muro pueden ser distintas para materiales diferentes.

Meli y Hernández (1971), realizaron un muestreo de la producción de piezas para mampostería destinadas a la construcción en el Distrito Federal, con la finalidad de estudiar las propiedades más importantes y en particular la distribución estadística de la resistencia de las piezas. Se determinó en todos los casos sobre una mitad de la pieza, por la mayor facilidad que tenía esta modalidad de ensaye y por no diferir en forma significativa los resultados respecto a los obtenidos con piezas enteras.

Los ensayos se realizaron en piezas provenientes de cuatro etapas de muestreo, la primera fue exhaustiva y se llevo a cabo en 48 materiales de distinta procedencia, la segunda el número de materiales se redujo a 34, en la tercera se muestrearon 13 tipo de piezas, y en la cuarta etapa se ensayaron 11 tipos de piezas. La reducción en el número de materiales estudiados se debió a que en la primera etapa se examinó la variación de resistencias de piezas de características semejantes de diferente procedencia, mientras que en las demás etapas, se estudió la variación de la resistencia de piezas de una misma procedencia en diferentes periodos.

El ensaye seleccionado para la determinación de los valores de resistencia a compresión de las piezas fue el de la norma ASTM C67, se ensayaron en todos los casos sobre la mitad de las piezas porque se suponía que de esta forma se obtendrían resultados más uniformes debido a la reducción del efecto de las irregularidades geométricas de las piezas, sin embargo se realizaron una serie de ensayos simultáneamente piezas enteras y mitades de algunos lotes de materiales, se observó

que no existe diferencia significativa en los resultados, aunque si se observó menor dispersión en los valores de resistencia de ensayos sobre mitades.

Los ensayos para determinar la resistencia en compresión de las piezas correspondientes a las distintas etapas de muestreo se realizaron sobre lotes de veinte especímenes. Los valores de resistencia obtenida, así como sus variaciones se muestran en la tabla 2.1

*Tabla 2.1 Resultados de ensayos a compresión en piezas de tabique de barro recocido (Meli y Hernández, 1971)*

Procedencia	Clasificación	Dimensiones cm	fp. en kg/cm <sup>2</sup>				Cv. en porcentaje			
			Etap I	Etap II	Etap III	Etap IV	Etap I	Etap II	Etap III	Etap IV
T1	B	7X14X28	52	64	56	58	26	23	24	19
T2	C	7X14X28	52				29			
T3	C	7X14X28	51				34			
T4	B	7X14X28	114	112	109		34	25	23	
T5	C	7X14X28	80	64			21	17		
T6	C	7X14X28	85	109			23	52		
T7	C	7X14X28	93	76	66	88	58	19	24	11
T8	C	7X14X28	33				32			
T9	C	7X14X28	53				45			
T10	C	7X14X28	45	43	47	55	28	22	10	21
T11	C	7X14X28	36	45	51	45	32	28	20	28

*B: Fabrica de tamaño intermedio con escaso control de calidad*

*C: Fabrica rudimentaria*

*fp: Resistencia a compresión promedio de las piezas*

*Cv: Coeficiente de variación de la resistencia*

Meli y Hernández (1971), observaron que se distinguían grupos de fábricas con resistencia del mismo orden y que estos grupos correspondían a las zonas geográficas en las que estaban localizadas las mismas; esto indica que la resistencia del tabique depende principalmente de los bancos de materia prima con la que se fabrican y que la diferencia en los procedimientos de fabricación empleados tienen menos importancia.

Los coeficientes de variación de la resistencia de piezas de un mismo lote, salvo algunas excepciones fueron en promedio del 35 % para las diferentes empresas. La resistencia fue notablemente uniforme de uno a otro lote de una misma procedencia. En la figura 2.1 se muestra un histograma de los datos obtenidos, se considera como una sola población con distribución de probabilidad aproximadamente logarítmico-normal con media de 67 kg/cm<sup>2</sup> y coeficiente de variación del 54 %.

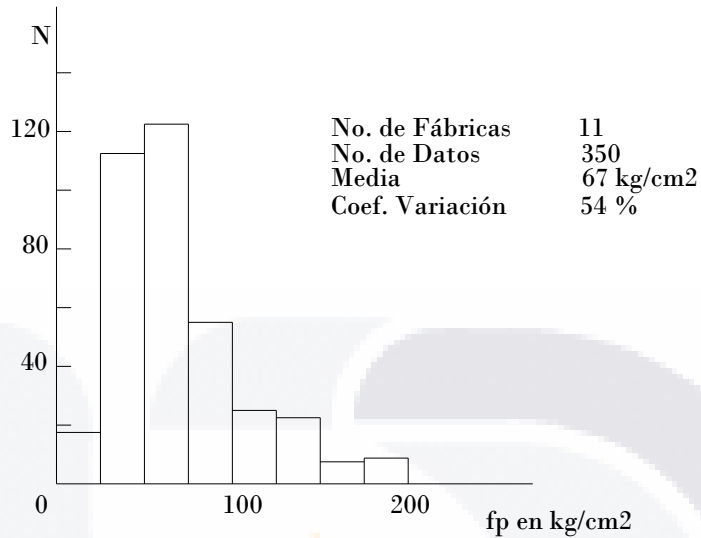


Figura 2.1 Histograma de la resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido (Meli y Hernández, 1971).

Las dispersiones totales obtenidas por Meli y Hernández (1971), provienen de tres fuentes: la variación de la resistencia dentro de un mismo lote, la variación de uno a otro lote de la misma fábrica y las variaciones entre las diferentes empresas. En la tabla 2.2 se muestran los resultados.

Tabla 2.2 Resumen estadístico de ensayos de piezas de tabique de barro recocido (Meli y Hernández, 1971).

Tipo de pieza	Resistencia media, en kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_i$ , en kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_l$ , en kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_f$ , en kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma$ , en kg/cm <sup>2</sup>
tabique recocido	62	18	8	21	28

$\sigma_i$  : desviación estándar de la resistencia de piezas de un mismo lote

$\sigma_l$  : desviación estándar de la resistencia media de las piezas de lotes diferentes de una misma procedencia

$\sigma_f$  : desviación estándar de la resistencia media de piezas de distinta procedencia

$\sigma$  : desviación estándar total

Los resultados de las investigaciones realizadas por Meli y Hernández (1971), son todavía la base de las tablas de diseño de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal del 2004.

## **2.4 MÉTODO DE PRUEBA**

Actualmente se ha estandarizado la prueba de ensaye para determinar la resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido, en México esta normalizado por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C., mediante la norma : NMX-C-036-ONNCCE-2004, la cual se describe en los siguientes párrafos.

### **2.4.1 Campo de Aplicación**

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines fabricados de concreto, cerámica, arcilla y otros materiales para la construcción.

### **2.4.2 Máquina de Ensaye**

La máquina de prueba debe estar equipada con bloques de acero, cuya dureza Rockwell C., no sea menor de 60 y de dureza Brinnell N 620; uno de los cuales tiene asiento esférico que trasmite la carga a la superficie superior de la probeta y el otro en un bloque plano rígido en el cual descansa la probeta. Cuando el área de la aplicación de la carga de los bloques de acero no es suficiente para cubrir el área que se va a cargar en la probeta deben colocarse placas adicionales de acero que cumplan con los requisitos que se mencionan más adelante y se colocan entre los bloques de carga y la probeta cabeceada de modo que el centroide de la superficie a la cual se le va aplicar la carga se alinea con el centro de los bloques de la máquina.

### **2.4.3 Placas y Bloques de Acero**

La superficie de los bloques y placas de carga no deben diferir de un plano en más de 0.025 mm., en cualquiera de las dimensiones en 152.4 mm. El centro de la esfera del bloque superior debe coincidir con el centro de su carga. Si se usa placa de carga al centro de las esferas debe caer en una línea que pasa verticalmente en el centroide de la carga de la probeta. El bloque con asiento esférico debe mantenerse fijo en su sitio, pero debe girar libremente en cualquier dirección. El diámetro de la cara de la carga de los bloques debe ser cuando menos de 160 mm. Cuando se empleen placas de acero entre los bloques de carga y la probeta, estos deben tener un espesor igual, cuando menos a la tercera parte de la distancia de la orilla del bloque de carga a la esquina mas distante de la probeta. En ningún caso el espesor de la placa debe ser menor de 13 mm., la ilustración se muestra en la figura 2.2



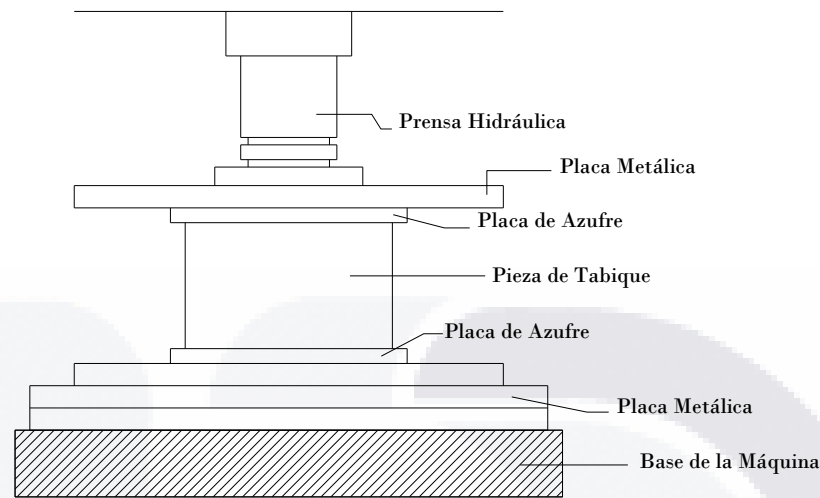


Figura 2.2 Placas y Bloque de acero, (ONNCCE-2004).

#### 2.4.4 Preparación de las muestras

La muestra para hacer las determinaciones de resistencia de las piezas a que se refiere esta norma, se obtiene de manera aleatoria tomando cinco especímenes de cada lote de 10,000 piezas o fracción si es en planta, en obra se puede tomar una muestra de cinco especímenes por cada entrega, de acuerdo con el cliente, se recomienda una muestra por cada 10,000 a 40,000 piezas suministradas.

Se deben probarse cinco unidades completas, sin fallas ni fisuras y con sus caras razonablemente paralelas, que representen el lote de entrega, debidamente marcados para su identificación.

#### 2.4.5 Cabeceo

Las superficie de las probetas que va a quedar en contacto con las placas de la máquina de prueba, se deben cabecear con mortero de azufre cuya resistencia mínima a compresión será de 350 kg/cm<sup>2</sup> para lograr que sean paralelas entre si.

Se utiliza una placa de 445 mm x 250 mm de 18.5 mm de espesor, con dos fronteras de placa de 6.5 mm de espesor y 50 mm de altura, la cual delimita dos fronteras, para delimitar las otras dos, lo mas recomendable es mandar fabricar escuadras con cuadro de 12 mm x 12mm una para cada tamaño de tabique, como se muestra en la figura 2.3. Lo que se debe garantizar es que sea metálica, su horizontalidad y que no se salga el mortero de azufre por los lados.

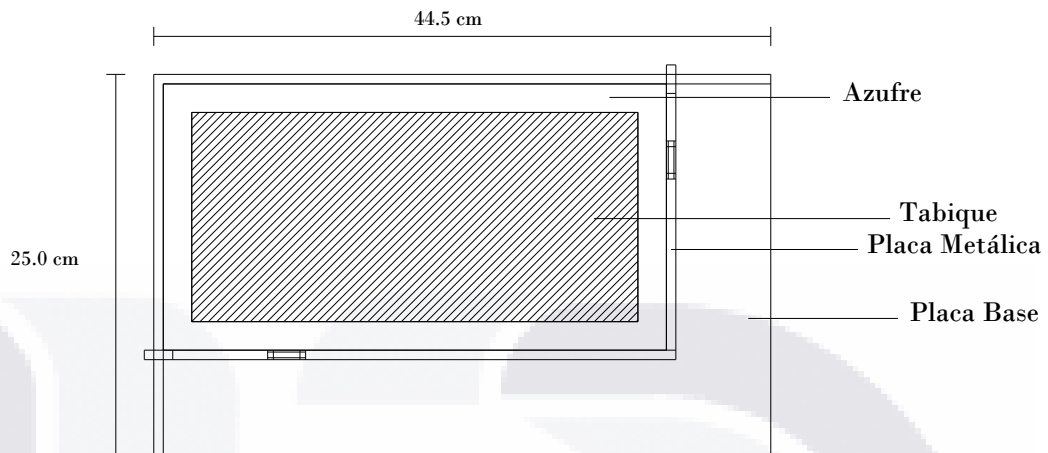


Figura 2.3 Placas para el cabeceo de piezas de tabique, (ONNCCE-2004).

#### 2.4.6 Colocación de la Probeta

La prueba se realiza colocando la probeta con el centroide de sus superficies que va a recibir la carga alineado verticalmente con el centro del bloque de carga de acero de la maquina de prueba. Para materiales homogéneos el centróide de la superficie de carga la vertical que pase por el centro de gravedad de la probeta.

#### 2.4.7 Velocidad de la Prueba

Se aplica la mitad de la carga que se espera como máximo, a una velocidad conveniente después de la cual se ajustan los controles de la maquina lo necesario para ejercer una velocidad uniforme de traslado de la cabeza móvil, de tal modo que la carga restante no se aplique en menos de uno ni más de dos minutos.

#### 2.4.8 Cálculos

La resistencia a la compresión de una probeta se obtiene como la carga máxima (kg) dividida entre el área transversal de la probeta o sea el área total de una sección perpendicular a la dirección de la carga.

$$R = F / A$$

Donde:

R: resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup>

F: carga máxima en kg

A: área transversal del espécimen en cm<sup>2</sup>

## 2.5 NORMAS DE DISEÑO

Para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, particularmente en México solo existe una normatividad sustentada científicamente a través de numerosas investigaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, se iniciaron a principios de los setentas y se ha desarrollado a través de los años, enfocándose principalmente al comportamiento sísmico de la mampostería. En los mismos años setentas se planteo el criterio de diseño estructural para el reglamento y se describe a continuación.

### 2.5.1 Criterios de Diseño

Meli (1976), establece criterios de diseño tomando en consideración el carácter aleatorio de las variables que influyen en la carga y la resistencia de los materiales, así como los procedimientos para tratar en forma racional y a la vez sencilla, la variabilidad y la incertidumbre en las distintas etapas del proceso de diseño estructural.

Para revisar la seguridad contra la ocurrencia de posibles estados límite, hay que contar con métodos para evaluar la respuesta de la estructura ante el efecto de cada posible combinación de acciones. En este contexto puede definirse la resistencia como la intensidad de una acción hipotética o del efecto de una combinación de acciones, que conduciría a la estructura a un estado límite. De esta manera puede compararse las resistencias y las acciones en una misma escala.

La resistencia de un elemento estructural puede determinarse por medio de procedimientos analíticos o experimentales en función de algunas propiedades mecánicas y geométricas de la estructura.

Por las incertidumbres que existen en las acciones que puedan afectar una estructura y en las variables que definen su resistencia, cualquiera que sea el procedimiento de diseño y el factor de seguridad empleado, habrá siempre una probabilidad finita de que la acción máxima exceda a la resistencia.

### 2.5.2 Bases Probabilísticas para las Normas de Diseño

Meli (1976), la aplicación estricta de la teoría de probabilidades al tratamiento de las incertidumbres en el diseño requiere definir la distribución de probabilidades de las variables que intervienen y operar con la distribución conjunta de probabilidades de sus variables derivadas. La complejidad de los desarrollos matemáticos y la dificultad de obtener soluciones generales hacen preferible recurrir a procedimientos aproximados.

Las características más importantes de la distribución de probabilidades de una variable, quedan descritas por la posición de su centroide (media) y por el momento de

inercia centroidal (variancia), estos dos parámetros proporcionan una medida de la tendencia central y de la dispersión de la variable y mediante ellos es posible llegar a aseveraciones probabilísticas aproximadas.

La probabilidad de que un determinado valor de la variable sea excedido o no alcanzado, puede plantearse en función de la media ( $m_x$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_x$ ) o coeficiente de variación ( $C_x$ ).

Con base en lo anterior, Meli (1976), plantea una expresión aproximada para determinar el valor de la variable considerando una probabilidad de que el 98 % de los datos lo pudieran alcanzar y que es:

$$X_m = \frac{m_x}{1+2.5C_x}$$

*En donde:*

*X<sub>m</sub>: valor promedio de la muestra, considerando la probabilidad de que el 98% de los datos lo pueden alcanzar.*

*m<sub>x</sub>: media estadística de la muestra*

*C<sub>x</sub>: coeficiente de variación de la muestra*

La expresión anterior continúa siendo válida en la Normas Técnicas Complementarias para el Análisis y Diseño de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones del 2004 y se emplea para determinar la resistencia de diseño a compresión de piezas de mampostería como el tabique de barro recocido. ( $f_p^*$ ).



# CAPITULO

# 3

## REALIZACIÓN DE ENSAYES

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Sin duda en varios municipios de la República Mexicana se han realizado diversos estudios de resistencias a compresión en piezas de tabique de barro recocido para su empleo en la mampostería, en particular en el Estado de Aguascalientes se han realizado numerosos ensayos de piezas, sin embargo la mayoría de estos, son para obras muy específicas y no se dan a conocer los resultados ni tampoco se conoce la procedencia de los materiales.

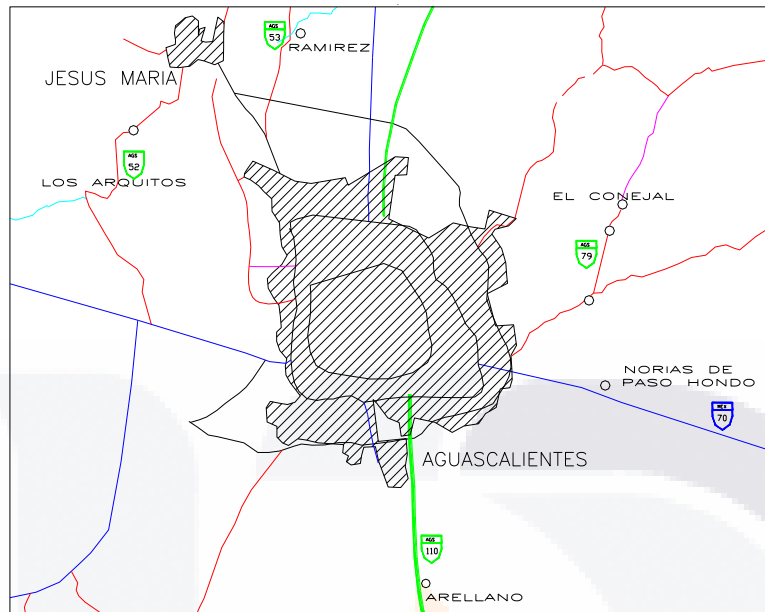
En este apartado se describe el proceso de la realización de los ensayos, iniciando con la obtención de las muestras de piezas de tabique de barro que se utilizaron en las pruebas de compresión, para lo cual se realizó la búsqueda y localización de las fábricas de tabique en los alrededores de la ciudad de Aguascalientes en donde se incluyeron los principales sitios de concentración de las fábricas y se incluyeron los cuatro puntos cardinales de la ciudad.

Se incluye también los procesos de fabricación de las piezas, que son muy similares en todas las fábricas que se visitaron, además se describe la forma de muestreo y la preparación de los especímenes para la realización de los ensayos y por último se presentan los resultados obtenidos.

### **3.2 UBICACIÓN DE LAS FABRICAS PRODUCTORAS DE TABIQUE**

Se realizó la búsqueda y localización de las principales fábricas productoras de tabique de barro recocido, enfocándose a las ubicadas en las cercanías de la ciudad de Aguascalientes.

Al sur de la ciudad de Aguascalientes, en la comunidad denominada los Arellano se ubica la mayor concentración de fábricas productoras de tabique, con alrededor de cien, al oriente en la comunidad llamada Norias de Paso Hondo se localizan cerca de quince fábricas, en la comunidad de el Conejal también al oriente de la ciudad se ubican cerca de quince fábricas. Hacia el poniente de la ciudad de Aguascalientes en la comunidad de los Arquitos, se ubican alrededor de veinte, y hacia el norte en la comunidad de los Ramírez del municipio de Jesús María se encuentran cerca de doce fábricas. En la figura 3.1 se muestra la ubicación de las principales zonas de producción de tabique de barro recocido que abastecen las construcciones en la ciudad de Aguascalientes, no se descarta la posibilidad de que existan de manera dispersa algunas otras fábricas productoras de tabique, aunque las mencionadas se consideran como las más importantes.



*Figura 3.1 Principales zonas de producción de tabique de barro recocido hecho a mano en Aguascalientes*

Todas la fábricas productoras de tabique anteriormente mencionadas son del tipo artesanal, en donde el tabique se elabora mediante el mezclado de diferentes tierras, mejoradas con abono de res y otros materiales para luego vertir el barro en moldes rectangulares, y dejar las piezas secadas al sol para posteriormente cocerlas en el horno construido con las mismas piezas de tabique o piezas de adobe.

### **3.3 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS PIEZAS**

El proceso constructivo para la elaboración de piezas de tabique de barro recocido es muy similar entre las diferentes fábricas productoras, las diferencias consisten principalmente en la calidad de las tierras empleadas (arcillas, limos y arenas) y en los materiales que se adicionan a dichas tierras para el mejoramiento de sus propiedades, así como los procesos de mezclado, que en algunos casos son mecanizados (con tractor) y en otros casos mezclados a mano, otro diferencia importante es el tiempo que las piezas de barro duran en el horno y varían desde veinte hasta veinticuatro horas de cocido. A continuación se describe brevemente el proceso constructivo generalizado para la elaboración del tabique de barro recocido.

#### **3.3.1 Extracción y Preparación de Arcillas**

La explotación de los mantos arcillosos se efectúa a cielo abierto y por lo regular en sitios cercanos a los lugares donde se elaboran los productos. La maquinaria que se

emplea en esta operación depende de la magnitud de la fábrica y se utilizan tractores o para fábricas pequeñas con pico y pala.

La preparación del barro se realiza mezclando los diferentes materiales naturales extraídos de los bancos, arcilla en mayor cantidad mezclada con arena y limo o en ocasiones arcilla y arena. La cantidad empleada de cada material para la elaboración de la mezcla, así como la inclusión de materiales de mejoramiento como el abono de res, esta en base a la experiencia de los fabricantes.

**3.3.2 Moldeo, Secado y Cocción**

La pasta arcillosa preparada como se describió anteriormente, se coloca en moldes rectangulares especiales con capacidad para cuatro piezas, con el objeto de proporcionar la forma que tendrá el producto terminado.

El proceso de secado se inicia aproximadamente 24 horas después del moldeo del material, el secado es directamente al sol, se colocan en la superficie del piso en los patios de secado el cual debe estar lo más uniforme posible, para evitar irregularidades en las caras de la pieza. El tiempo de secado depende de las condiciones de temperatura del lugar y puede ser hasta de ocho días. Las condiciones extremas de temperatura afectan a la estructura de las piezas, si la temperatura es baja, el barro es sometido a procesos de congelación y descongelación provocando deformaciones permanentes en el material que una vez cocido, se incrementan estas deformaciones provocando el agrietamiento y rotura de la pieza, también si la temperatura de secado es alta, las piezas de barro sufren contracciones importantes, que una vez cocidos provocan el agrietamiento de las piezas. En la figura 3.2 se muestra el proceso de secado.



*Figura 3.2 Secado al sol de piezas de barro (Los Arellano, Aguascalientes).*



Una vez secas las piezas de barro, el siguiente proceso es la cocción, durante esta etapa los productos adquieren sus características pétreas y de resistencia que hacen inalterable su forma. La temperatura de cocido de las piezas se cree que es cerca de los mil grados centígrados y el tiempo de exposición de las piezas es de aproximadamente 24 horas. Las piezas de barro deben ser colocadas en el horno de tal manera que todas tengan uniformidad en la exposición al fuego. La mayoría de los hornos construidos en Aguascalientes tienen una capacidad para cocer entre lotes de diez mil a quince mil piezas de barro. En la figura 3.3 se observa un horno típico para la cocción del barro.



*Figura 3.3 Horno de fabricación artesanal para el cocido de piezas de barro (Los Arquitos, Aguascalientes).*

### **3.4 MUESTREO DE LAS UNIDADES**

Se realizó una sola etapa de muestreo en donde se obtuvieron al azar cinco piezas de tabique por cada lote de diez mil a quince mil unidades en las diferentes fábricas productoras, así en la comunidad de los Arellano se tomaron cincuenta y cinco piezas provenientes de once lotes diferentes, que representa aproximadamente el veinte por ciento del total de las fábricas.

En la comunidad de Norias de Paso Hondo, se obtuvieron quince piezas de tres diferentes lotes y que representa el veinte por ciento del total de las fábricas. Así mismo en la comunidad del Conejal se continúa con el mismo criterio, tomando al azar quince piezas de tres lotes que representa el veinte por ciento del total.

En la comunidad de los Arquitos se realizó el muestreo obteniendo también quince piezas de tres lotes diferentes, representando aproximadamente el veinte por ciento del total. Por último en la comunidad denominada los Ramírez del municipio de Jesús Maria se obtuvieron quince piezas de tres lotes y representando el veinte por ciento.

### 3.5 PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS

La preparación de las piezas para la realización de los ensayos, consistió en cuatro partes: la identificación de las unidades, la determinación de la geometría, la determinación del peso volumétrico y el cabeceo.

Para identificar las unidades, se marcó en el tabique la procedencia y el número de pieza. La determinación de la geometría, al no contar con instrumentación más precisa se realizó con regla graduada, con aproximación al milímetro, promediando tres mediciones en cada lado de la pieza. Se determinó el peso volumétrico de las piezas, con aproximación al gramo, se encontró que el peso volumétrico de los tabiques en general está en el rango de: 1258 a 1459 kg/m<sup>3</sup>.

El cabeceo consistió en recubrir con azufre las caras de las piezas que estarán en contacto con las placas de la máquina de ensaye, como se muestra en la figura 3.4



*Figura 3.4 Cabeceo con azufre de las piezas de tabique de barro recocido (laboratorio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes).*

### 3.6 REALIZACIÓN DE ENSAYES

Se realizaron los ensayos sobre piezas enteras de tabique de barro recocido con apoyo en la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004, en los laboratorios de materiales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y de la Secretaría de Obras Públicas del estado de Aguascalientes, en la figura 3.5 se observa el ensaye.



*Figura 3.5 Realización de ensaye a compresión en maquina de prueba con capacidad de carga de 120 toneladas (laboratorio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes).*

### 3.7 RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan los valores obtenidos de resistencias a compresión de tabique de barro recocido de las diferentes fábricas en las siguientes tablas.

*Tabla 3.1 Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de los Arellano, Aguascalientes.*

Ensaye	Dimensiones ( Cm )			Área Total Cm <sup>2</sup>	Carga Total Kg	Resistencia a Compresión Kg/Cm <sup>2</sup>
	Largo	Ancho	Espesor			
1	26.5	13.3	5.7	352.5	31207	88.5
2	26.9	13.3	5.8	357.8	24831	69.4
3	25.6	13.0	6.0	332.8	33150	99.6
4	26.8	13.2	5.8	353.8	34658	98.0
5	27.0	13.4	6.0	361.8	11033	30.5
6	27.1	13.2	6.0	357.7	9683	27.1
7	27.3	13.5	5.9	368.6	32114	87.1
8	26.5	13.4	5.8	355.1	20080	56.5
9	25.9	13.2	5.5	341.9	15870	46.4
10	25.9	12.8	5.9	331.5	18391	55.5
11	26.4	13.5	5.7	356.4	20533	57.6
12	26.5	13.7	5.8	363.1	29633	81.6

13	26.7	13.6	5.5	363.1	15458	42.6
14	26.9	13.5	5.6	363.2	32063	88.3
15	27.0	13.6	5.7	367.2	26485	72.1
16	27.0	13.5	6.0	364.5	14810	40.6
17	26.7	13.2	5.5	352.4	22623	64.2
18	26.5	13.4	5.7	355.1	24056	67.7
19	26.4	13.6	5.4	359.0	19157	53.4
20	27.0	13.7	5.8	369.9	20615	55.7
21	26.8	13.3	5.8	356.4	29573	83.0
22	26.7	13.4	5.6	357.8	14756	41.2
23	26.4	13.6	5.5	359.0	35359	98.5
24	26.8	13.5	5.7	361.8	14879	41.1
25	25.6	13.2	5.9	337.9	29924	88.6
26	27.0	13.2	5.8	356.4	16873	47.3
27	26.5	13.0	5.5	344.5	51965	150.8
28	26.6	13.0	5.6	345.8	30382	87.9
29	26.5	13.5	5.7	357.8	26815	75.0
30	26.7	13.2	5.8	352.4	31844	90.4
31	26.5	13.3	5.8	352.5	26747	75.9
32	26.0	13.1	6.0	340.6	31939	93.8
33	27.1	13.2	5.6	357.7	31161	87.1
34	26.3	13.2	5.8	347.2	40161	115.7
35	26.5	13.2	6.1	349.8	34935	99.9
36	26.0	13.0	5.7	338.0	27159	80.4
37	26.5	13.3	5.8	352.5	28162	79.9
38	26.4	13.0	5.9	343.2	32455	94.6
39	27.2	13.2	6.0	359.0	32741	91.2
40	26.5	13.6	5.8	360.4	49168	136.4
41	26.5	12.0	6.0	318.0	30205	95.0
42	26.0	13.2	6.0	343.2	27369	79.7
43	26.0	13.0	5.5	338.0	26843	79.4
44	26.5	13.2	6.1	349.8	28416	81.2
45	26.3	13.2	5.8	347.2	29117	83.9
46	26.5	13.3	6.0	352.5	38790	110.1
47	25.9	13.0	5.8	336.7	37523	111.4
48	26.3	13.2	6.0	347.2	37033	106.7
49	27.0	13.5	6.3	364.5	22534	61.8
50	26.4	13.3	6.0	351.1	40505	115.4
51	26.0	13.3	5.8	345.8	20614	59.6

52	25.5	13.5	6.3	344.3	25354	73.6
53	25.8	13.3	5.8	343.1	36695	106.9
54	26.1	13.2	6.0	344.5	20935	60.8
55	26.5	13.0	5.6	344.5	35952	104.4

*Tabla 3.2 Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de Norias de Paso Hondo, Aguascalientes.*

Ensaye	Dimensiones ( Cm)			Área Total Cm <sup>2</sup>	Carga Total Kg	Resistencia a Compresión Kg/Cm <sup>2</sup>
	Largo	Ancho	Espesor			
1	26.4	13.2	5.4	348.5	25900	74.3
2	25.5	13.3	5.4	339.2	23100	68.1
3	25.4	13.2	5.4	335.3	31400	93.7
4	26.0	13.3	6.1	345.8	21100	61.0
5	25.7	13.1	5.9	336.7	21200	63.0
6	26.8	13.7	5.6	367.2	25400	69.2
7	26.7	13.5	5.4	360.5	26600	73.8
8	26.6	13.5	5.7	359.1	35200	98.0
9	26.5	13.4	5.6	355.1	23000	64.8
10	26.7	13.5	5.7	360.5	22800	63.3
11	26.0	13.6	5.8	353.6	26400	74.7
12	26.1	13.7	5.7	357.6	28300	79.1
13	26.2	13.7	5.8	358.9	24600	68.5
14	26.1	13.6	5.7	355.0	26600	74.9
15	26.0	13.8	5.6	358.8	24500	68.3

*Tabla 3.3 Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de el Conejal, Aguascalientes.*

Ensaye	Dimensiones ( Cm)			Área Total Cm <sup>2</sup>	Carga Total Kg	Resistencia a Compresión Kg/Cm <sup>2</sup>
	Largo	Ancho	Espesor			
1	26.1	13.7	5.7	357.6	35000	97.9
2	26.6	13.7	6.0	364.4	33500	91.9
3	26.3	13.7	6.0	360.3	33200	92.1
4	26.2	13.5	5.9	353.7	30100	85.1
5	26.0	13.6	5.8	353.6	25900	73.2
6	26.8	13.3	5.6	356.4	42400	119.0
7	26.7	13.3	5.8	355.1	42200	118.8
8	26.4	13.2	5.7	348.5	41000	117.7

9	26.4	13.1	5.6	345.8	38000	109.9
10	26.6	13.2	5.7	351.1	38200	108.8
11	25.4	13.2	5.6	335.3	59000	176.0
12	25.8	15.7	5.6	405.1	34200	84.4
13	25.4	13.2	5.7	335.3	46600	139.0
14	25.8	13.4	5.9	345.7	39200	113.4
15	25.5	13.3	5.6	339.2	49000	144.5

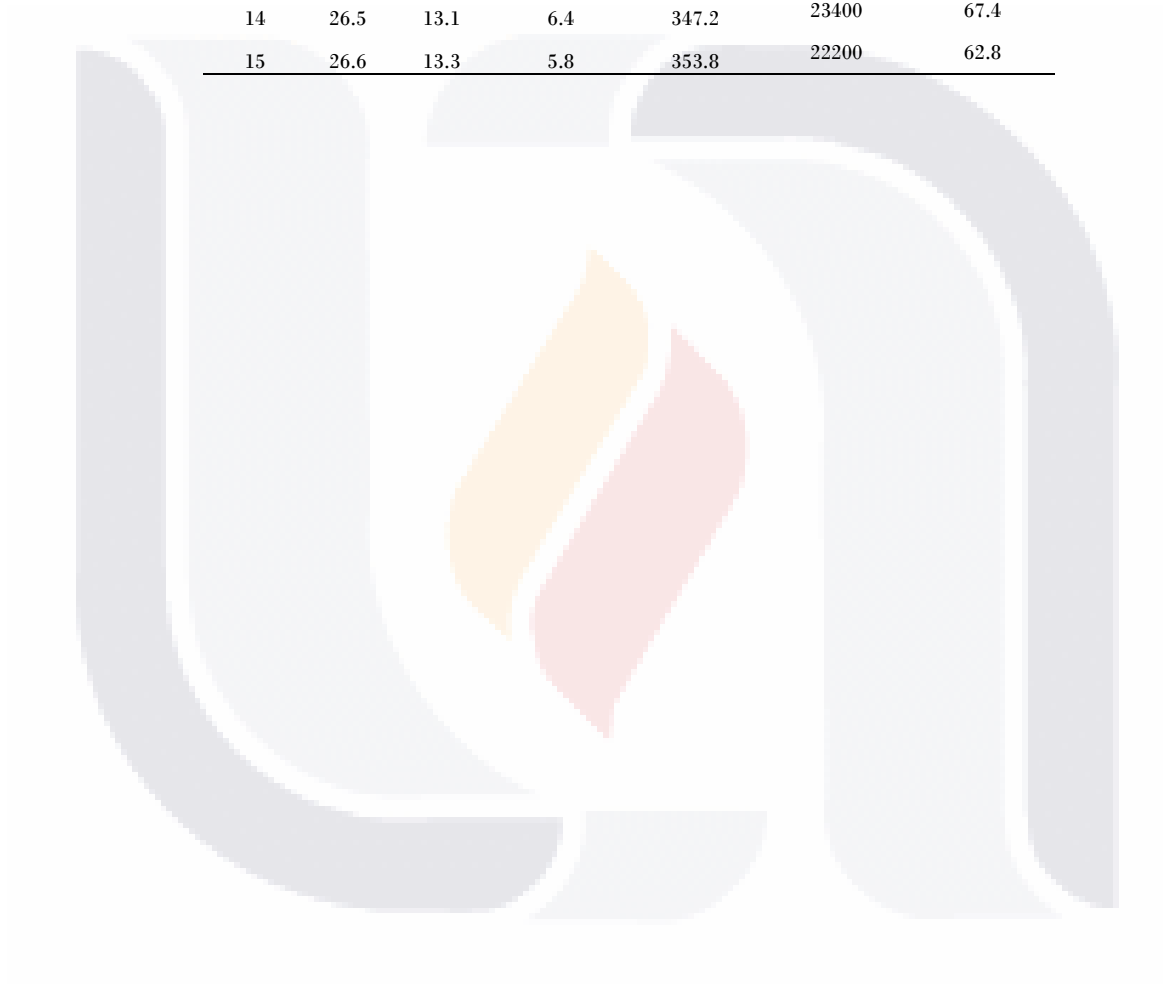
*Tabla 3.4 Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de los Arquitos, Jesús Maria, Aguascalientes.*

Ensaye	Dimensiones ( Cm )			Área Total Cm <sup>2</sup>	Carga Total Kg	Resistencia a Compresión Kg/Cm <sup>2</sup>
	Largo	Ancho	Espesor			
1	26.7	13.4	5.8	357.8	44000	123.0
2	26.4	13.3	6.3	351.1	57200	162.9
3	26.1	13.1	6.0	341.9	43000	125.8
4	26.4	13.2	6.5	348.5	53200	152.7
5	26.5	13.2	5.9	349.8	54100	154.7
6	25.8	13.5	6.1	348.3	41800	120.0
7	25.9	13.3	6.0	344.5	31800	92.3
8	25.9	13.7	6.2	354.8	25200	71.0
9	26.4	13.8	6.0	364.3	31000	85.1
10	26.3	13.6	6.0	357.7	40200	112.4
11	26.6	13.2	6.0	351.1	43600	124.2
12	26.9	12.9	6.1	347.0	52400	151.0
13	27.0	13.6	6.2	367.2	32000	87.1
14	26.9	13.5	6.5	363.2	28800	79.3
15	26.8	13.3	6.0	356.4	40400	113.3

*Tabla 3.5 Valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido, en la comunidad de los Ramírez, Jesús Maria, Aguascalientes.*

Ensaye	Dimensiones ( Cm )			Área Total Cm <sup>2</sup>	Carga Total Kg	Resistencia a Compresión Kg/CM2
	Largo	Ancho	Espesor			
1	26.7	13.0	5.9	347.1	32200	92.8
2	26.5	13.1	5.9	347.2	37200	107.2
3	26.3	13.2	5.7	347.2	45800	131.9
4	26.0	12.7	6.0	330.2	19200	58.1
5	26.5	13.0	6.1	344.5	29000	84.2

6	26.6	13.5	6.0	359.1	36400	101.4
7	26.8	13.4	5.9	359.1	24600	68.5
8	26.5	13.5	5.8	357.8	30800	86.1
9	26.7	13.5	5.9	360.5	27200	75.5
10	26.8	13.4	6.0	359.1	24200	67.4
11	26.9	13.4	6.0	360.5	21200	58.8
12	27.0	13.4	5.9	361.8	20600	56.9
13	26.8	13.3	6.2	356.4	20200	56.7
14	26.5	13.1	6.4	347.2	23400	67.4
15	26.6	13.3	5.8	353.8	22200	62.8





# CAPITULO

# 4

## ANÁLISIS DE RESULTADOS



## 4.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se presenta el análisis de los valores de resistencia a compresión de piezas de tabique recocido obtenidos a través de la realización de ensayos en laboratorio de materiales.

Se realiza el análisis por zona geográfica donde se encuentran ubicadas las fábricas y de manera general considerando una sola muestra representativa de la producción en Aguascalientes. Además se determinan y analizan algunas medidas estadísticas importantes para conocer el comportamiento de los datos.

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DISPERSIONES OBTENIDOS.

Para el análisis de los valores de resistencia a compresión, se calcularon algunos parámetros estadísticos, con apoyo del programa minitab 14 y los cuales se resumen en la tabla 4.1, se incluyen dos medidas de tendencia central como la media y mediana debido a que en algunos casos la media pudiera ser menos representativa debido a la afectación de algunos valores extremos en la muestra.

*Tabla 4.1 Medidas estadísticas de los valores de resistencia a compresión en piezas de tabique recocido en diferentes sitios geográficos del municipio de Aguascalientes y del municipio de Jesús María.*

<i>Procedencia</i>	<i>Valor Mínimo (Kg/Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Valor Máximo (Kg/Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Media (Kg/Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Mediana (Kg/Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Desviación Estándar (Kg/Cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Coefficiente de Variación (%)</i>
Los Arellano	27.1	150.8	79.5	81.2	25.6	32.3
Norias de Paso Hondo	61.0	98.0	73.0	69.2	10.6	14.6
El Conejal	73.2	176.0	111.5	109.9	26.7	24.0
Los Arquitos	71.0	162.9	117.0	120.0	29.6	25.3
Los Ramírez	56.7	131.9	78.4	68.5	22.1	28.2

### 4.2.1 Análisis de Valores por Sitio Geográfico.

En la comunidad de los Arellano se observa gran variedad de valores de resistencia, en la figura 4.1 se observa la manera en que se distribuyen estos valores, en este lugar se obtuvo el valor más bajo de todas las fábricas que fue de 27.1 kg/cm<sup>2</sup>. En la figura 4.2 se muestra la dispersión de los valores, en donde se observa la concentración de datos en un amplio rango de los 40 kg/cm<sup>2</sup> a los 120 kg/cm<sup>2</sup>; así mismo en esta misma figura

se distinguen cuatro valores que se ubican bastantes dispersos del grupo, lo indica que estos datos pudieran no ser representativos de la población.

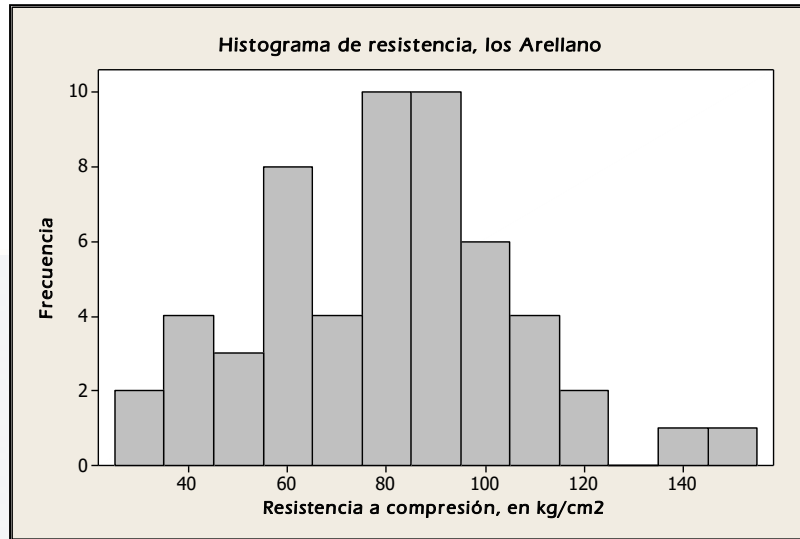


Figura 4.1 Histograma de resistencia a compresión de tabique recocido en los Arellano, Aguascalientes

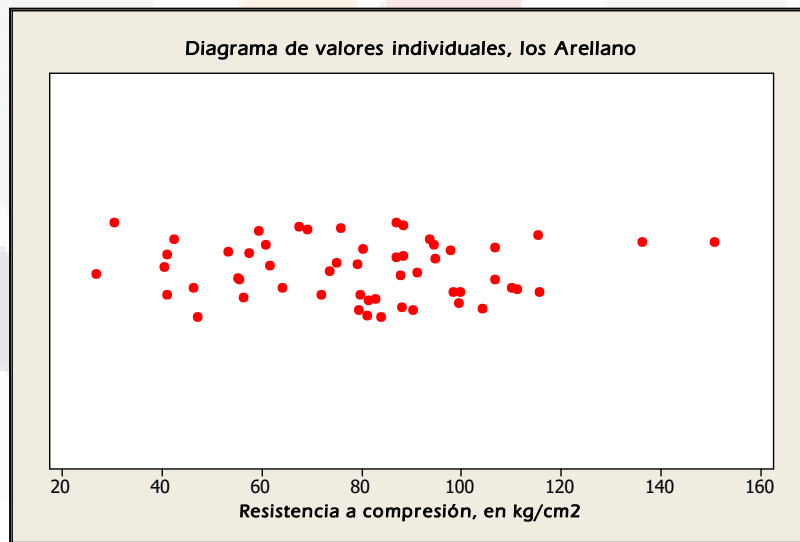


Figura 4.2 Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocido en los Arellano, Aguascalientes

En la comunidad de Norias de Paso Hondo, se observa mayor uniformidad en los valores de resistencia, en la figura 4.3 se muestra la distribución de estos valores y en la figura 4.4 se presenta la dispersión de los datos, en donde se observa la distribución de valores en el rango de 60 a 80 kg/cm<sup>2</sup> y dos valores dispersos que al igual que el caso

anterior pudieran ser no representativos de la población. En este sitio se encontró la menor variabilidad en los valores de resistencia de las piezas y fue del 14.6 %.

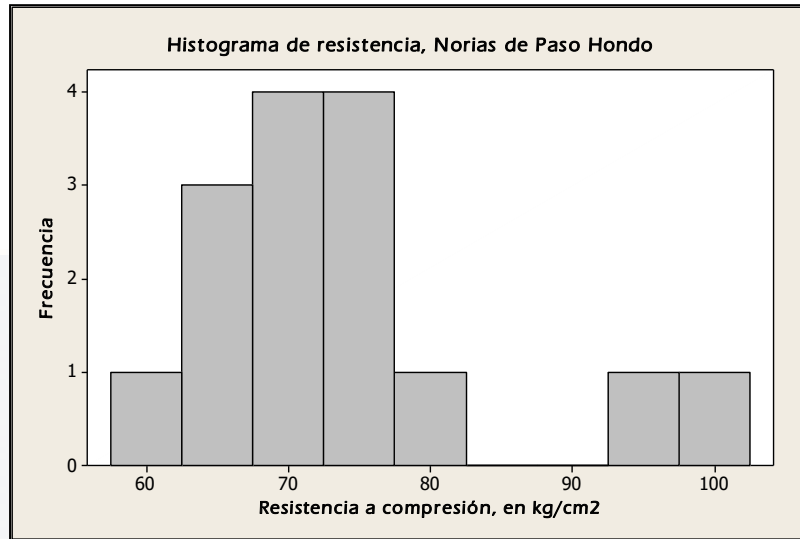


Figura 4.3 Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en Norias de Paso Hondo, Aguascalientes

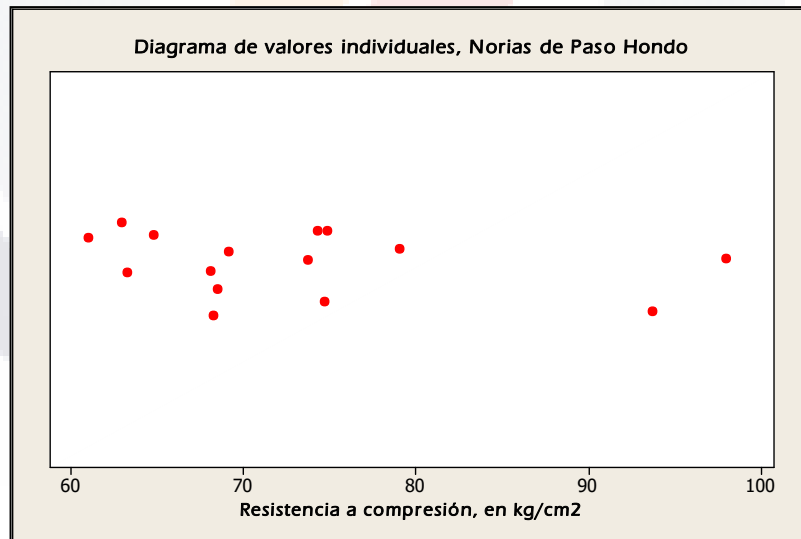


Figura 4.4 Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en Norias de Paso Hondo, Aguascalientes

En la comunidad de el Conejal del municipio de Aguascalientes, existe también una variabilidad importante en los valores de resistencia, se encontró el valor mínimo mayor de todas las fabricas, el cual fue de 73.2 kg/cm<sup>2</sup>, en la figura 4.5 se presenta la

distribución de los valores obtenidos. En la figura 4.6 se muestra la dispersión de los valores en donde se distingue uno de ellos bastante alejado del grupo.

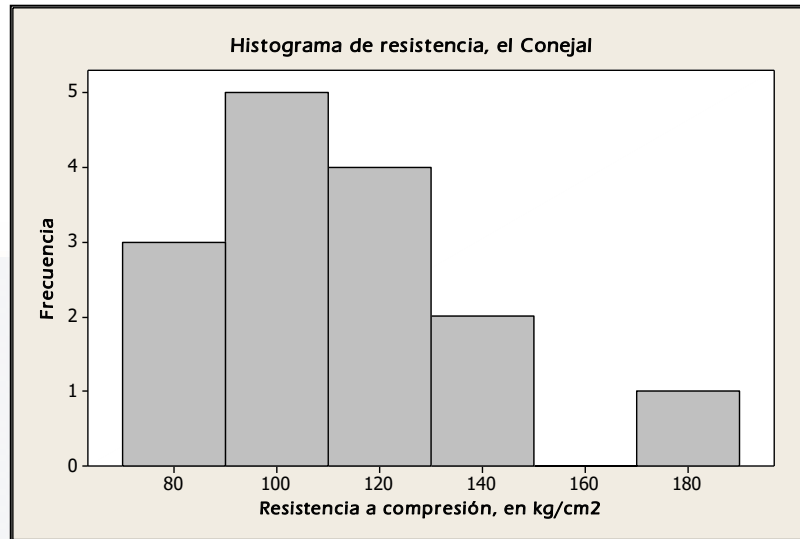


Figura 4.5 Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en el Conejal, Aguascalientes

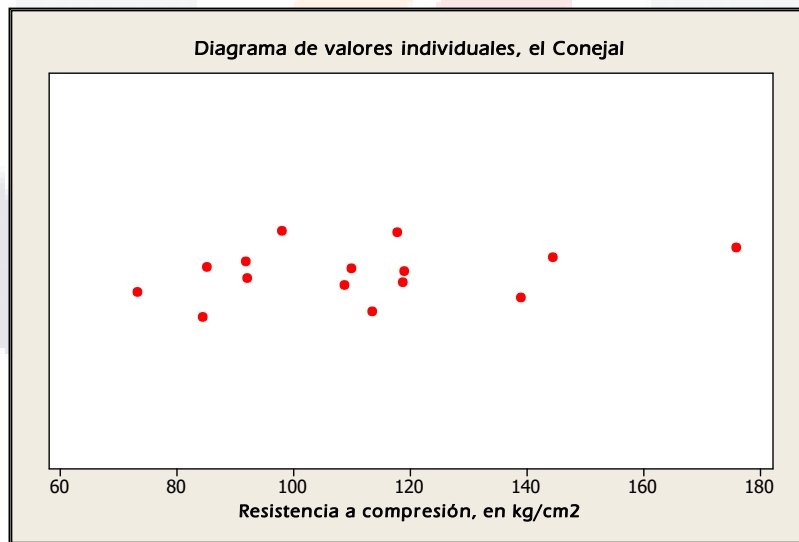


Figura 4.6 Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en el Conejal, Aguascalientes

En la comunidad de los Arquitos del municipio de Jesús María, también se distingue variaciones importantes en los valores de resistencia, con coeficiente de variación del 25.3 %, y se presentan los valores mayores de resistencia promedio de las piezas, con

una media de 117 kg/cm<sup>2</sup> y una mediana de 120 kg/cm<sup>2</sup>. En las figuras 4.7 y 4.8 se observa con claridad las variaciones entre los tres diferentes lotes muestreados.

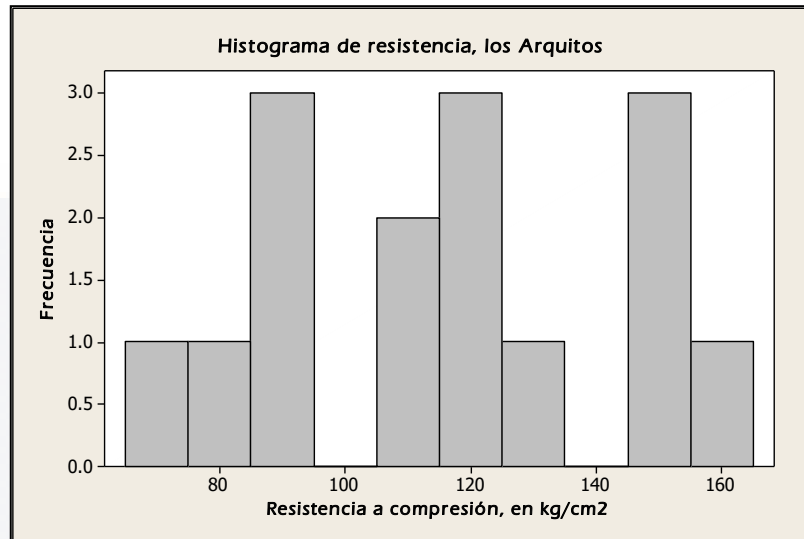


Figura 4.7 Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en los Arquitos, Jesús María, Aguascalientes

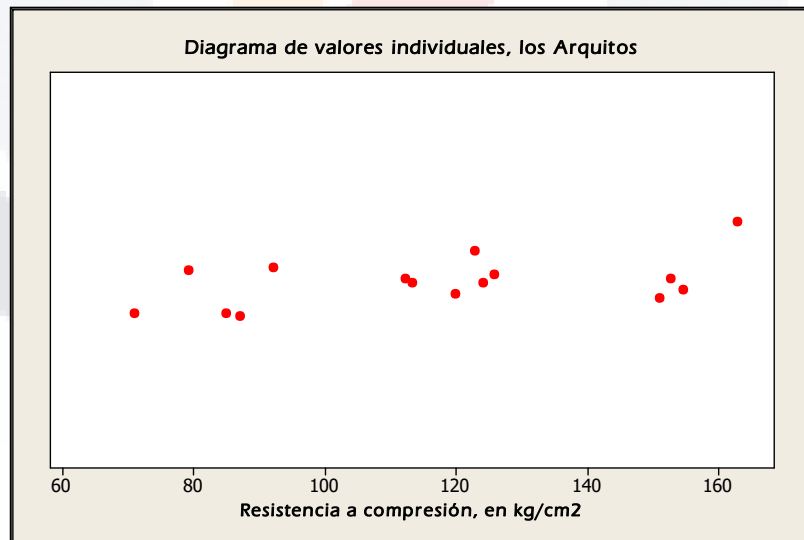
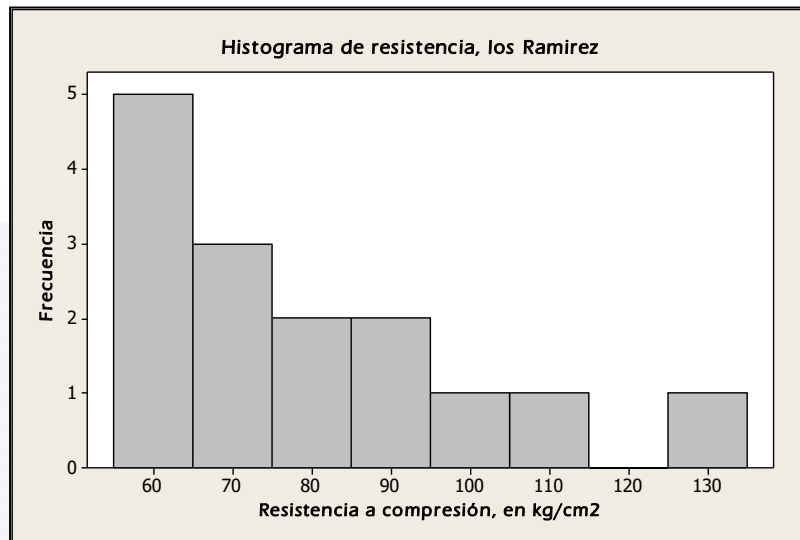


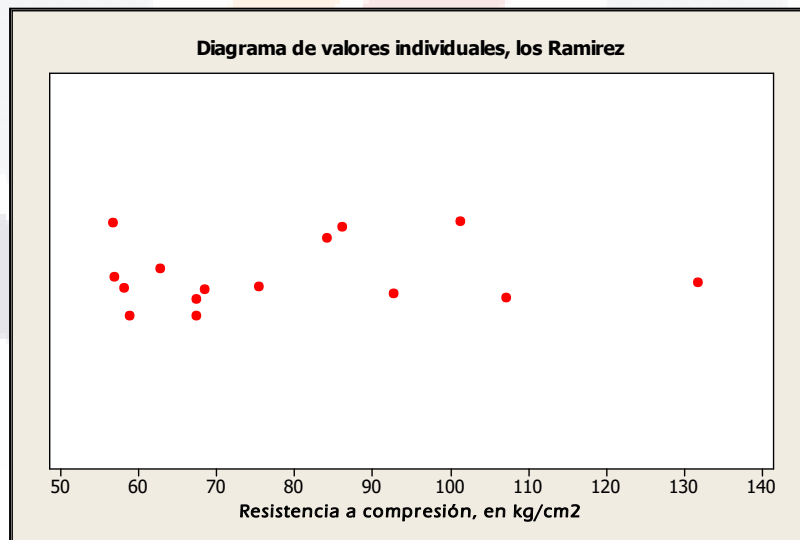
Figura 4.8 Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en los Arquitos, Jesús María, Aguascalientes

En la comunidad de los Ramírez perteneciente al municipio de Jesús María, Aguascalientes, se obtiene un coeficiente de variación bastante importante del orden

del 28.2 %. En las figuras 4.9 y 4.10 se muestran la distribución de los valores y una concentración de datos en el rango de 56 kg/cm<sup>2</sup> a 90 kg/cm<sup>2</sup> y algunos valores dispersos por encima de los 90 kg/cm<sup>2</sup>.



*Figura 4.9 Histograma de resistencia a compresión de tabique recocado en los Ramírez, Jesús María, Aguascalientes*



*Figura 4.10 Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en los Ramírez, Jesús María, Aguascalientes*

#### 4.2.2 Análisis en Forma General

Si se considera que las fábricas productoras de tabique de los diferentes sitios geográficos en donde se obtuvieron las piezas representan a la población y contribuyen de igual manera a la producción total, las medidas estadísticas se presentan en la tabla 4.2

Tabla 4.2 Resumen de medidas estadísticas de valores de resistencia a compresión de piezas de tabique de barro recocido producidos en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores.

Procedencia	Valor Mínimo (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Valor Máximo (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Media (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Mediana (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Coficiente de Variación (%)
Aguascalientes	27.1	176.0	87.6	84.4	29.0	33.1

De la tabla 4.2 se puede observar grandes variaciones en la resistencia a compresión de las piezas de tabique, el rango de valores es bastante amplio y a pesar del valor de resistencia promedio que es de 87.6 kg/cm<sup>2</sup>, existe gran incertidumbre debido a la dispersión de los datos. En la figura 4.11 se presenta la distribución de los valores antes mencionados.

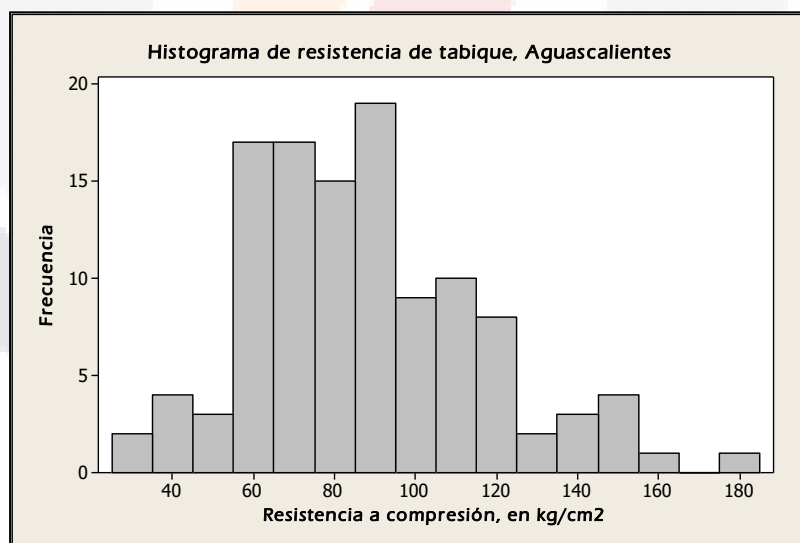


Figura 4.11 Histograma de resistencia a compresión de tabique recocido en Aguascalientes

En la figura 4.12, se grafican los valores de resistencia obtenidos, en donde se observan la dispersión de los valores, la concentración de los datos se ubica en el rango de los 40 kg/cm<sup>2</sup> a 120 kg/cm<sup>2</sup> y algunos valores extremos mínimos y máximos que como ya se mencionó pudieran ser no representativos de la población.

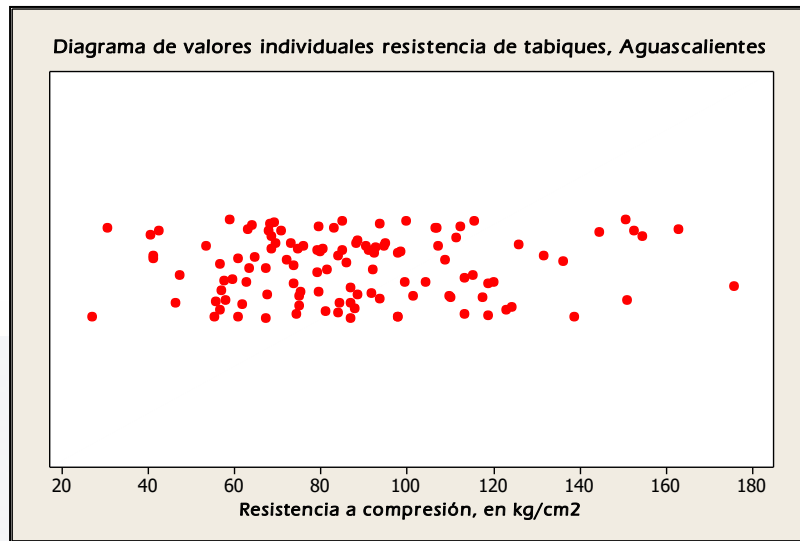


Figura 4.12 Diagrama de dispersión de valores de resistencia a compresión de tabique recocado en Aguascalientes

### 4.3 COMPARATIVA DE LOS VALORES OBTENIDOS CON LOS VALORES NORMATIVOS

En la Normas Técnicas Complementarias del 2004, en el apartado 2.1.2, indica que para diseño se empleará el valor de resistencia,  $fp^*$  que se determina como el que es alcanzado por lo menos por el 98 por ciento de las piezas producidas. La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o partir de muestreos de la pieza, y se calculará como:

$$fp^* = \frac{fp}{1+2.5cp}$$

Donde:

$fp$ : media de la resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta

$cp$ : coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas

Las Normas también establecen que el valor de  $cp$  para piezas de producción artesanal no se tome menor a 0.35, y el valor menor aceptado por las Normas para  $fp^*$  es de 60 kg/cm2.

En la tabla 4.2 se calculan valores de resistencia de diseño para los diferentes sitios de producción de piezas de tabique y se hace la comparativa de los coeficientes de



variación obtenidos a través de los ensayos y el coeficiente de variación establecido por las Normas Técnicas Complementarias.

*Tabla 4.2 Comparativa de resistencia de diseño obtenida con diferentes valores del coeficiente de variación para piezas de tabique de barro recocido producidos en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores.*

<i>Procedencia</i>	<i>Media de la Resistencia <math>f_p</math></i>	<i>Coeficiente de Variación <math>cp</math></i>	<i>Coeficiente de Variación <math>cp=0.35</math></i>	<i>Resistencia de Diseño <math>f_p^*</math> con <math>cp</math></i>	<i>Resistencia de Diseño <math>f_p^*</math> con <math>cp=0.35</math></i>
Los Arellano	79.5	0.32	0.35	44.0	42.4
Norias de Paso Hondo	73.0	0.14	0.35	53.5	38.9
El Conejal	111.5	0.24	0.35	69.7	59.5
Los Arquitos	117.0	0.25	0.35	71.7	62.4
Los Ramírez	78.4	0.28	0.35	46.0	41.8

De los cálculos anteriores se observa las diferencias de los valores de resistencia con los diferentes coeficientes de variación ( $cp$ ), con los coeficientes calculados solo dos grupos de fábricas superan el valor mínimo de resistencia de diseño establecido por las Normas ( $f_p^* = 60 \text{ kg/cm}^2$ ), mientras que tomando el valor recomendado del coeficiente de variación de la normatividad, solo un grupo de fábricas supera en valor mínimo establecido y otro grupo prácticamente lo alcanza.

En la tabla 4.3 se realiza el mismo cálculo, pero ahora considerando a los grupos de fábricas como una sola muestra representativa de la producción.

*Tabla 4.3 Comparativa de resistencia de diseño obtenida con diferentes valores del coeficiente de variación para piezas de tabique de barro recocido producidos en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores*

<i>Procedencia</i>	<i>Media de la Resistencia <math>f_p</math></i>	<i>Coeficiente de Variación <math>cp</math></i>	<i>Coeficiente de Variación <math>cp=0.35</math></i>	<i>Resistencia de Diseño <math>f_p^*</math> con <math>cp</math></i>	<i>Resistencia de Diseño <math>f_p^*</math> con <math>cp=0.35</math></i>
Aguascalientes	87.6	0.33	0.35	47.9	46.7

De la tabla 4.3, se observan resultados muy similares de los valores de resistencia de diseño, con las variaciones calculadas y las recomendadas por las Normas Técnicas Complementarias en cuestión, y muy por abajo del valor mínimo establecido por dichas normas.



# **CAPITULO**

# **5**

## **CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE DESARROLLO**

## 5.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se presenta el conjunto de conclusiones obtenidas como resultado de los ensayos a compresión realizados a las piezas muestreadas en los diferentes sitios de producción de tabique en la ciudad de Aguascalientes y sus alrededores.

En primer término se exponen las conclusiones referentes al estado del conocimiento, para después presentar las conclusiones resultado de los ensayos en laboratorio y de los análisis realizados a los mismos de las características físicas y de resistencia de las piezas de tabique de barro, y finalmente se exponen las conclusiones producto de realizar la comparativa de valores obtenidos en laboratorio con los valores establecidos en la normatividad aplicable.

En este capítulo además se describen algunas propuestas de desarrollo para futuras investigaciones referentes al tema.

## 5.2 CONCLUSIONES REFERENTES AL ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Desde hace casi cuatro décadas en México se han realizado numerosas investigaciones referentes a las características físicas y de resistencia de piezas de tabique de barro recocido en trabajos de tesis, así como en reportes técnicos, en la gran mayoría de estos documentos, los investigadores coinciden en que la resistencia de las piezas dependen principalmente de la calidad de los materiales utilizados en la elaboración de las mismas, más que los procesos constructivos empleados en la fabricación, los cuales son muy similares en la mayoría de las fábricas de tabique en el país.

Otra característica de las piezas de tabique de barro es la gran variabilidad que presentan en los valores de resistencia a compresión, inclusive para una misma fábrica, y mayormente entre fábricas de diferentes sitios geográficos. En todos los documentos consultados se pueden apreciar coeficientes de variación que van desde un 20% hasta un 60%.

## 5.3 CONCLUSIONES REFERENTES A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PIEZAS

De acuerdo con los datos obtenidos producto de las investigaciones realizadas en los diferentes sitios geográficos donde se ubican las fábricas productoras de tabique, se puede decir que la geometría de las piezas de barro recocido hecho a mano es la misma en todas la fábricas y en promedio con sección de 6.5-13.5-26.5 cm. También se concluye que el peso volumétrico de los tabiques esta en el rango de 1258 kg/m<sup>3</sup> a 1459 kg/m<sup>3</sup>.

## **5.4 CONCLUSIONES REFERENTES A LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PIEZAS**

Una vez realizado el proceso de obtención de las muestras de piezas de tabique, así como la preparación y ejecución de los ensayos en laboratorio de las mismas, y en conjunto con el análisis realizado a los resultados obtenidos, se presentan las conclusiones primeramente por grupo de fábricas ubicadas en un mismo sitio geográfico, y posteriormente en forma general.

### **5.4.1 Los Arellano**

En este lugar es donde se obtuvo la mayor dispersión de valores de resistencia de las piezas, lo que implica una gran incertidumbre y se puede decir que en este sitio se fabrican en diferentes calidades los tabiques, también en esta zona se ubican la mayor cantidad de fábricas productoras y representan el sesenta y dos por ciento del total de las fábricas muestreadas por lo que se recomienda la realización de un estudio más amplio en este lugar, en donde se puedan identificar y clasificar a las fábricas de acuerdo con la calidad del producto que ofrecen.

### **5.4.2 Norias de Paso Hondo**

En la Comunidad de Norias de Paso Hondo, se obtuvieron valores de resistencia uniformes y todos mayores a 60 kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual nos indica que en general los tabiques que ahí se fabrican son de buena calidad y existe una probabilidad baja de encontrar tabiques con resistencias menores a los 60 kg/cm<sup>2</sup>.

### **5.4.3 El Conejal**

En la Comunidad de el Conejal, aunque se determinó un coeficiente de variación del veinticuatro por ciento, todos los valores obtenidos están por encima de los 60 kg/cm<sup>2</sup>. con un valor mínimo obtenido de 73.2 kg/cm<sup>2</sup>. Lo que indica que los tabiques de este sitio son de muy buena calidad, además este es el único lugar donde se observó que las mezclas de las tierras se realizan de manera mecanizada (con tractor), lo que garantiza una mejor homogenización de los materiales constituyentes de los tabiques.

### **5.4.4 Los Arquitos**

En la Comunidad de los Arquitos del municipio de Jesús Maria, se observaron variaciones importantes entre las tres diferentes fábricas muestreadas, aunque en todas se obtienen valores superiores a los 60 kg/cm<sup>2</sup>. Nos indica también muy buena calidad de las piezas.

### **5.4.5 Los Ramírez**

En la Comunidad de los Ramírez del municipio de Jesús Maria, algunos valores de resistencia están por debajo de los 60 kg/cm<sup>2</sup> aunque muy cercanos, con un mínimo de

56.7 kg/cm<sup>2</sup>. Esto nos indica en general buena calidad de las piezas, pero existe probabilidad alta de encontrar piezas de calidad inferior a los 60 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **5.4.6 De Forma General**

De acuerdo con los resultados de resistencia obtenidos se puede concluir de manera general, que en Aguascalientes se fabrican piezas de tabique de barro recocido de diferente calidad. En las comunidades de Norias, el Conejal y los Arquitos se fabrican los tabiques con mejor calidad y en todas las piezas muestreadas se obtuvieron resistencia mayor a 60 kg/cm<sup>2</sup>. En la comunidad de los Arellano se fabrican tabiques de buena, pero también de mala calidad, mientras que en la comunidad de los Ramírez, la calidad de las piezas es buena, aunque como se mencionó anteriormente también se pueden encontrar piezas de baja resistencia.

### **5.5 CONCLUSIONES REFERENTES A LA NORMATIVIDAD**

Siguiendo la recomendaciones de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal del año 2004, se concluye que solo el grupo de fábricas ubicadas en las comunidades de los Arquitos y el Conejal cumplen con el valor mínimo de resistencia para diseño de mampostería, en las demás fabricas se obtuvieron valores de diseño inferiores a los 60 kg/cm<sup>2</sup>.

### **5.6 PROPUESTAS DE DESARROLLO**

Como resultado de la experiencia adquirida en este trabajo de investigación se proponen las siguientes perspectivas de desarrollo para futuras investigaciones en el área de mampostería.

Se observó que las proporciones empleadas en la mezcla de las tierras para la elaboración del tabique de barro se realizan en base a la experiencia de los fabricantes, en este sentido se pudiera desarrollar investigaciones que determinen las propiedades físico-mecánicas de los materiales empleados en la elaboración de los productos y de esa manera proponer un método para diseñar las mezclas y así tener un mejor control de calidad de las piezas.

Otra investigación se podría enfocar en la determinación en laboratorio de las propiedades mecánicas no solo de piezas, también del conjunto pieza-mortero, como el módulo elástico y módulo de cortante.

Otra propuesta más ambiciosa consiste en experimentar en laboratorio con muros de mampostería reforzada e inducir en ellos de alguna manera esfuerzos provocados por el fenómeno de subsidencia para conocer su comportamiento y respuesta ante este evento.



**ANEXO 1. MATERIALES PARA  
MAMPOSTERÍA**

## ANEXO 1. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA (NTC- 2004).

El siguiente anexo es un extracto de las Normas Técnicas Complementarias en su capítulo 2.

### Tipo de piezas

Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE, con excepción de lo dispuesto para el límite inferior del área neta de piezas huecas.

El peso volumétrico neto mínimo de las piezas, en estado seco será el indicado en la siguiente tabla:

*Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco*

Tipo de Pieza	Valores en (Kg/M <sup>3</sup> )
Tabique de barro recocido	1300
Tabique de barro con Huecos Verticales	1700
Bloque de Concreto	1700
Tabique de Concreto	1500

### Resistencia a compresión

La resistencia a compresión se determinará para cada tipo de pieza de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-036.

Para diseño, se empleará un valor de la resistencia  $f_p^*$ , medida sobre el área bruta, que se determinará como el que es alcanzado por lo menos por el 98 por ciento de las piezas producidas.

La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra. Si se opta por el muestreo, se obtendrán al menos tres muestras, cada una de diez piezas, de lotes diferentes de la producción. Las treinta piezas así obtenidas se ensayaran en laboratorios acreditados por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. La resistencia de diseño se calculará como:

$$fp^* = \frac{fp}{1+2.5cp}$$

*Donde:*

*fp: media de la resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta*

*cp: coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas*

El valor de **cp** no se tomará menor que 0.20 para piezas provenientes de plantas mecanizadas que evidencien un sistema de control de calidad como el requerido en la norma NMX-C-404-ONNCCE, ni que 0.30 para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuenten con un sistema de control de calidad, ni que 0.35 para piezas de producción artesanal.

El sistema de control de calidad se refiere a los diversos procedimientos documentados de la línea de producción de interés, incluyendo los ensayos rutinarios y sus registros.

Para fines de estas normas, la resistencia mínima a compresión de las piezas de la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE corresponde a la resistencia **fp\***.



## GLOSARIO

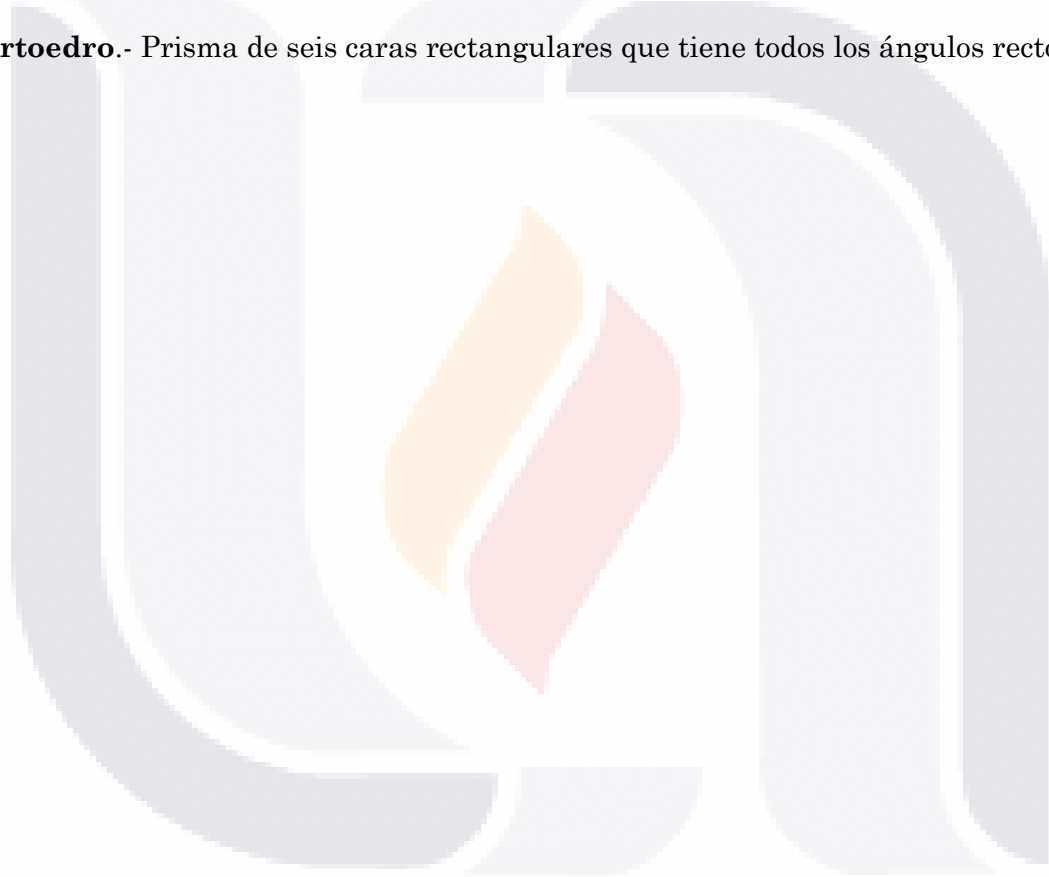
**Cabeceo.-** Recubrir con mortero de azufre las caras de la pieza que estarán en contacto con la máquina de ensaye.

**Cocción.-** Proceso de cocido de las piezas en el horno

**Moldeo.-** Procedimiento de modelado de material de barro para darle forma

**Muestreo.-** Acción que se le denomina a la obtención de muestras

**Ortoedro.-** Prisma de seis caras rectangulares que tiene todos los ángulos rectos



## BIBLIOGRAFÍA

**Bernal Ernesto** “Principales materiales fabricados y su empleo en la construcción” Tesis Profesional, UNAM, Septiembre 1980.

**Departamento del Distrito Federal** (DDF, 1977), “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería”, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México, D.F., julio.

**Departamento del Distrito Federal** (DDF, 1992), “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería”, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México, D.F., enero.

**Departamento del Distrito Federal** (DDF, 2004), “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería”, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México, D.F., 06 octubre.

**Fundación ICA**, “Edificaciones de mampostería para vivienda”, fundación ICA, México, D.F., 2003.

**Gallo Gabriel O., Espino Luís I., Olvera Alfonso E.**, “Diseño estructural de casas habitación”, Mc Graw Hill, México, D.F., 2003.

**Hernández O.** (1975), “Recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras de mampostería”, Informe no. 351, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F., marzo.

**Meli R. y Salgado G.** (1969), “Comportamiento de muros de mampostería sujetos a carga lateral”, Informe no. 237, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F., septiembre.

**Meli R. y Reyes G. A.** (1971), “Propiedades mecánicas de la mampostería”, Ingeniería, vol.41, no.3, México, D.F.

**Meli R. y Hernández O.** (1971), “Propiedades de piezas para mampostería producidas en el Distrito Federal”, Informe no. 297, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F., diciembre.

**Meli R.** (1976), *“Bases para los Criterios de Diseño Estructural del Proyecto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”*, informe no. 375, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F., junio.

**Meli Piralla R.**, *“Diseño estructural”*, editorial limusa segunda edición, México, D.F., 2007.

**NMX-C-036-ONNCCE** (2004), *“Industria de la construcción. Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines. Resistencia a la compresión. Método de Prueba”*, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, México. Julio 2004.

**Walpole y Myers**, *“Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias”*, Prentice Hall, México 2007.

