



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias (Construcción)

EFFECTO DE LA ADHERENCIA TABIQUE MORTERO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestra en Ciencias (Construcción)

Presenta:

Greyse Lourdes Moreno Pacheco

Dirigido por:

M. en I. Rubén Ramírez Jiménez
SINODALES

M. en I. Rubén Ramírez Jiménez
Presidente

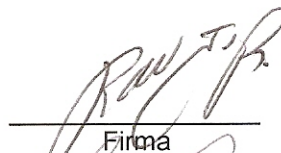
Dr. José Luis Reyes Araiza
Secretario

Dr. José de Jesús Pérez Bueno
Vocal

M. en C. Joaquín Noriega Montes
Suplente

M. en C. Hilda Edith Jiménez Robles
Suplente

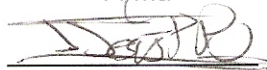
Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad



Firma



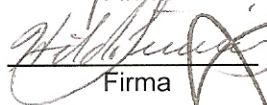
Firma



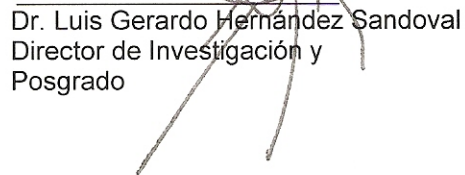
Firma



Firma



Firma



Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y
Posgrado

RESUMEN

Las estructuras de mampostería representan un porcentaje significativo de construcciones en todo el mundo. Sin embargo, este elemento estructural es susceptible a sufrir daños por eventos sísmicos o asentamientos diferenciales. Considerando que la adherencia entre el mortero y tabicón tiene una influencia significativa en el comportamiento estructural en los muros de mampostería, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el esfuerzo de adherencia del sistema tabicón-mortero diseñando un dispositivo de prueba. El procedimiento experimental consistió inicialmente en caracterizar cada uno de los materiales utilizados de la región; y después, ensayar los especímenes. El procedimiento para esto consistió en unir piezas individuales de tabicón con tres tipos diferentes de mortero; enseguida se efectuaron las pruebas para obtener el esfuerzo de adherencia del sistema tabicón-mortero, para lo cual, se diseñó y construyó un dispositivo. Los parámetros obtenidos fueron: a) para las unidades de tabicón: dimensiones, peso volumétrico, módulo de ruptura, resistencia a compresión, absorción inicial, porcentaje de absorción; b) para el mortero: resistencia a compresión, retentividad, relación cemento/cal/arena, y c) para los especímenes de mampostería: esfuerzo de adherencia tabicón-mortero.

(Palabras Clave: mampostería, adherencia, tabicón, mortero, índice de absorción, esfuerzo de compresión.)

SUMMARY

Masonry structures represent a significant percentage in buildings all over world. However, this structural element is susceptible to damages due to seismic events or subsidence. Considering that the bond strength between the mortar and brick has a significant influence on the structural behavior in the masonry walls, the present study has as the objective of determining the strength of the bond of a brick-mortar system by designing a test device. The experimental procedure consisted at first in characterizing the materials used in the region; then, testing specimens. The procedure for this consisted in joining individual pieces of bricks with three different types of mortar; finally, several tests to obtain the bond strength of the brick-mortar system were made; a device was designed and built for such purpose. The obtained parameters were: a) for the brick units: dimensions, volumetric weight, rupture module, compression strength, initial absorption, rate of absorption b) for the mortar: compression strength, water retention, cement/lime/sand ratio, and c) for the masonry specimens: brick-mortar bond strength.

(Keys Words: masonry, bond strength, mortar, brick, rate of absorption, compressive strength.)

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme vida, salud y protección.

A MI PADRE

Por forjar mi carácter.

A MI MADRE

Por su amor absoluto y ejemplo de lucha para seguir.

A MI HERMANA

Por compartir mis alegrías y darme dos regalos maravillosos.

A MI FAMILIA

Por su amor, ánimo y apoyo incondicional.

A TI

Por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, CONACYT.

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO.**

A mi director de tesis:

M. EN I. RUBÉN RAMÍREZ JIMÉNEZ

A mis sinodales:

DR. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ BUENO

M. EN C. JOAQUÍN NORIEGA MONTES

M. EN C. HILDA EDITH JIMÉNEZ ROBLES

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Expreso mi más afectuoso agradecimiento al **Dr. José Luís Reyes Araiza**, por ofrecerme su sabia orientación, ayuda, cordialidad, atención desinteresada e interés en mi investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	I
SUMMARY	II
DEDICATORIAS	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE ECUACIONES	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. OBJETIVO.	2
I.2. HIPÓTESIS.	2
I.3. JUSTIFICACIÓN.	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
II.1. MORTERO.	5
II.2. CAL.	9
II.3. MORTEROS DE CAL.	12
II.3.1. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE CAL:	12
II.4. INTERACCIÓN PIEZA-MORTERO.	13
II.5. SISTEMAS ESTRUCTURALES	15
II.5.1. MAMPOSTERÍA SIMPLE	15
II.5.2. MAMPOSTERÍA CONFINADA	15
II.5.3. MAMPOSTERÍA REFORZADA INTERIORMENTE	16
II.6. LA MAMPOSTERÍA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL	16
II.6.1. FALLA ANTE CARGA AXIAL	16
II.6.2. FALLA POR FLEXIÓN	17
II.6.3. FALLA POR CORTANTE	17
II.7. TIPOS DE GRIETAS EN LAS MAMPOSTERÍAS	18
III. MATERIALES DE LA MAMPOSTERIA	20
III.1. TABIQUE BLANCO Ó TABICÓN.	20
III.2. MORTEROS.	20
IV. METODOLOGIA	32
IV.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES EN LA MAMPOSTERÍA	32
IV.1.1. PRUEBAS MECÁNICAS Y FÍSICAS A PIEZAS INDIVIDUALES DE TABICÓN.	32

IV.1.1.1.	DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS TABICONES.	33
IV.1.1.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO.	34
IV.1.1.3.	RESISTENCIA A TENSIÓN O MÓDULO DE RUPTURA.	35
IV.1.1.4.	PRUEBA DE ABSORCIÓN, ABSORCIÓN INICIAL Y COEFICIENTE DE SATURACIÓN.	36
IV.1.1.4.1.	ABSORCIÓN MÁXIMA DE AGUA DURANTE 24 HORAS.	37
IV.1.1.4.2.	ABSORCIÓN INICIAL DE AGUA.	38
IV.1.1.4.3.	COEFICIENTE DE SATURACIÓN.	38
IV.1.1.5.	PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	39
IV.1.1.6.	PRUEBA DE ADHERENCIA EN PROBETAS.	42
IV.1.2.	CARACTERIZACIÓN A LOS AGREGADOS	43
IV.1.2.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	44
IV.1.2.2.	PORCENTAJE DE DESPERDICIOS	45
IV.1.2.3.	PESOS VOLUMÉTRICOS EN LA ARENA.	45
IV.1.2.3.1.	CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD.	45
IV.1.2.3.2.	CÁLCULO DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS).	45
IV.1.2.3.3.	CÁLCULO DEL PESO VOLUMÉTRICO COMPACTO (PVC).	46
IV.1.2.3.4.	CÁLCULO DEL PVSC Y PVSS.	46
IV.1.2.3.5.	CÁLCULO DE LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO.	46
IV.2.	PREPARACIÓN DEL MORTERO	47
IV.3.	PRUEBAS AL MORTERO	49
IV.3.1.	COMPRESIÓN DE CILINDROS DE MORTERO	49
IV.3.1.1.	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA A COMPRESIÓN DE LOS MORTEROS	50
IV.3.2.	PRUEBA DE RETENTIVIDAD Ó RETENCIÓN DE AGUA DEL MORTERO.	51
IV.3.2.1.	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RETENTIVIDAD DE LOS MORTEROS.	52
IV.4.	FABRICACIÓN DE LOS ESPECIMENES O ARREGLOS PARA PRUEBA	53
IV.5.	DISEÑO Y ENSAYO DE LOS DISPOSITIVOS DE PRUEBA	54
IV.5.1.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	55
IV.5.2.	ENSAYO DE LOS ARREGLOS Ó ESPECIMENES.	57
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
V.1.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS A LOS ARREGLOS DE MAMPOSTERÍA.	60
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
	REFERENCIAS	68
	APENDICE	72
	ANEXO	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación	Página
1. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL.	17
2. MÓDULO DE CORTE.	17
3. RESISTENCIA BÁSICA A LA COMPRESIÓN.	18
4. RESISTENCIA BÁSICA AL CORTE.	18
5. PESO VOLUMÉTRICO.	35
6. MODULO DE RUPTURA.	35
7. ABSORCIÓN EN 24 HORAS.	37
8. ABSORCIÓN MÁXIMA INICIAL.	38
9. COEFICIENTE DE SATURACIÓN.	39
10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	40
11. ESFUERZO DE ADHERENCIA.	43
12. SUMA DE LAS SUPERFICIES.	43
13. ESFUERZO DE ADHERENCIA.	43
14. CONTENIDO DE GRAVA EN LA ARENA.	45
15. PORCENTAJE DE HUMEDAD.	45
16. PESO VOLUMÉTRICO SUELTO.	45
17. PESO VOLUMÉTRICO COMPACTO.	46
18. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO.	46
19. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.	46
20. ABSORCIÓN DE AGREGADO.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS (NMX-C-414-ONNCCE-2004).	23
2. ESPECIFICACIÓN POR PROPIEDADES, PARA MORTEROS DE CEMENTO Y CAL, PREPARADOS EN LABORATORIO (R. SALAMANCA, 2004).	28
3. ESPECIFICACIÓN POR PROPORCIONES, PARA MORTEROS DE CEMENTO Y CAL (R. SALAMANCA, 2004).	29
4. TABLA COMPARATIVA DE LAS DIMENSIONES DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	34
5. CLASIFICACIÓN DE PIEZAS DE ACUERDO A LOS MATERIALES EMPLEADOS EN SU FABRICACIÓN (NMX-C-404-1997-ONNCCE).	34
6. PESO VOLUMÉTRICO NETO MÍNIMO DE PIEZAS, EN ESTADO SECO. SEGÚN LA NMX-C-404-ONNCCE-2005.	34
7. VALORES ACEPTABLES DE ABSORCIÓN MÁXIMA DE AGUA (NMX-C-404-1997, NMX-C-037- MÉTODO DE PRUEBA).	37
8. RESISTENCIA MÍNIMA A COMPRESIÓN SOBRE ÁREA BRUTA (NMX-C-404-ONNCCE, NMX-C-036- MÉTODO DE PRUEBA).	40
9. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PIEZAS INDIVIDUALES DE TABICÓN.	42
10. LÍMITES GRANULOMÉTRICOS PRESCRITOS POR LAS NORMAS (ASTM C144).	44
11. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA DE SALTARREAGA USADA EN LA ELABORACIÓN DE LOS MORTEROS.	44
12. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN A LA ARENA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MORTEROS.	47
13. PROPORCIONAMIENTOS EN VOLUMEN PARA MORTEROS ESTRUCTURALES (NTCM-95, RCDF-93).	47
14. PROPORCIÓN DE MATERIALES USADOS EN LA ELABORACIÓN DE NUESTROS MORTEROS.	48
15. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS MORTEROS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.	50
16. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RETENTIVIDAD A LOS MORTEROS.	52
17. RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN, ARREGLO 1.	60
18. RESULTADOS DE ESFUERZO CORTANTE, ARREGLO 2.	61
19. RESULTADO DE ESFUERZO CORTANTE, ARREGLO 3.	61
20. RESULTADO DE ESFUERZO A TENSIÓN, ARREGLO 4.	62

21. TABLA ANOVA DE COMPRESIÓN SIMPLE.	65
22. PESOS Y DIMENSIONES DE LAS PIEZAS DE TABICÓN DE LA BLOQUERA QUERETANA.	73
23. PESOS Y DIMENSIONES DE LAS PIEZAS DE TABICÓN DEL GRUPO AVARSA.	73
24. PESOS Y DIMENSIONES DEL GRUPO CONDOR.	73
25. RESULTADOS DE LOS PESOS VOLUMÉTRICOS DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	74
26. RESULTADOS DE LOS PORCENTAJES DE ABSORCIÓN A 24 HORAS DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	74
27. RESULTADOS DE LOS COEFICIENTES DE SATURACIÓN INICIAL DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	74
28. RESULTADOS DE ABSORCIÓN MÁXIMA INICIAL DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	75
29. RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE RUPTURA DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	75
30. RESULTADOS DE LA PRUEBA A COMPRESIÓN DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. PROCESO DE OBTENCIÓN Y PUESTA EN OBRA DE LA CAL (BARBERÁ, 2006).	11
2. MECÁNICA DE LA ADHERENCIA ENTRE PIEZAS Y MORTERO (FUNDACIÓN ICA, 2003).	14
3. VARIACIÓN DE LA ADHERENCIA CON RESPECTO DE LA DEMORA DE ASENTADO DE LA PIEZA SUPERIOR (FUNDACIÓN ICA, 2003).	15
4. EFECTO DE LA SUCCIÓN DE LAS PIEZAS EN LA ADHERENCIA PARA DIFERENTES PROPORCIONAMIENTOS DEL MORTERO (FUNDACIÓN ICA, 2003).	15
5. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.	33
6. DIMENSIONES MÍNIMAS DE UNA PIEZA DE TABICÓN.	33
7. LOCALIZACIÓN DEL BANCO DE MATERIALES SALDARREAGA.	48
8. ENSAYE A COMPRESIÓN DE LOS MORTEROS.	50
9. ENSAYE DE LA RETENTIVIDAD DEL MORTERO.	52
10. ALGUNOS DE LOS ESPECÍMENES ELABORADOS.	53
11. ESQUEMA DE LOS ARREGLOS CONSTRUIDOS.	54
12. DISPOSITIVO PARA PRUEBA DE ADHERENCIA, MODELO A.	56
13. CONFINAMIENTO DEL DISPOSITIVO CON AYUDA EL TORQUÍMETRO.	56
14. TORQUÍMETRO.	56
15. DISPOSITIVO PARA PRUEBA DE ADHERENCIA, MODELO B.	57
16. V. KANDINSKY. VARIOS CÍRCULOS (1866-1944).	58
17. ENSAYO DEL MÓDULO DE RUPTURA DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	76
18. ENSAYO DE LA PRUEBA A COMPRESIÓN DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	76
19. PRUEBA DE ABSORCIÓN INICIAL DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	76
20. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	77
21. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA.	77
22. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA.	77
23. ELABORACIÓN DEL MORTERO Y PRUEBA DE RETENTIVIDAD.	78
24. ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS DE MORTERO.	78
25. CABECEO DE LOS CILINDROS DE MORTERO PARA LA PRUEBA A COMPRESIÓN.	78
26. PRUEBA A COMPRESIÓN DE LOS MORTEROS.	79
27. ARREGLOS DE LAS PIEZAS DE TABICÓN.	79
28. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PRUEBA.	79
29. ACOMODO DE LOS ESPECÍMENES PARA ENSAYARLOS.	80
30. ENSAYE DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA.	80
31. ESPECÍMENES ENSAYADOS.	80

I. INTRODUCCIÓN

Por mampostería se entiende el conjunto de dos fases de materiales constituidas por bloques, ya sean en forma natural o de fábrica y, una sucesión de juntas, eventualmente de mortero, dispuestas en forma irregular o regular. En este último caso, las juntas siguen la disposición del contorno de los ladrillos, teniendo dos grupos principales: horizontales y verticales. Las dimensiones de estas unidades, varían de un país a otro, con lo cual, existe en el medio una gran variedad de tamaños, materiales y formas (López et al. 1998).

La mampostería es uno de los materiales con un mayor abanico de aplicaciones en la construcción de obras civiles. Su uso se remonta a las primeras civilizaciones que poblaron la tierra. Las ruinas de Jericó (Medio Oriente, 7350 a.C.), las pirámides de Egipto (2500 a.C.) la gran muralla China (200 a.C. a 220 d.C.), las pirámides de Yucatán en México (500 d.C.) las murallas de piedra de Machu Pichu en Perú (1200 a 1400 d.C.) y la Taj Majal en la India (1600 d.C.), son sólo algunos ejemplos de construcciones que dan testimonio del uso y durabilidad de este material (San Bartolomé, 1998).

Han sido muchos los materiales utilizados a lo largo de la historia como elementos componentes de la mampostería. Con el transcurso de los años los procesos de fabricación han ido evolucionando, sin embargo, la forma de colocación de este material continúa siendo a mano, y es ésta una de las variables que más incide en el comportamiento final de la mampostería. Esta variable resulta difícil de controlar y, por consiguiente, puede decirse que es uno de los principales limitantes dentro de la calidad de la obra de fábrica (Fundación ICA, 2003).

La mampostería es un material ampliamente utilizado para la construcción de vivienda en el mundo y en particular en Latinoamérica, incluyendo México. El estudio del comportamiento estructural de edificaciones de mampostería es relevante en nuestro país por que la demanda de vivienda excede por mucho a la oferta disponible, y es deseable optimizar el empleo de

materiales de manera de lograr una seguridad estructural aceptable (Rodríguez M. E., 2004).

Los informes de los daños observados en las construcciones de albañilería durante los sismos que han afectado a los países sísmicos de Latinoamérica en los últimos 100 años, destacan la necesidad de mejorar la calidad de los materiales usados en la construcción de los edificios de albañilería, y en particular de los morteros para lograr una buena adherencia (Rochelle F., 2004).

La adherencia entre los tabiques y el mortero se ve desmejorada cuando el mortero endurece rápidamente debido a la succión de los tabiques, por lo que tradicionalmente se adiciona cal aérea hidratada al mortero, para que éste retenga el agua un mayor tiempo, sin embargo, el problema de la adherencia bloque-mortero continúa persistiendo (Rodríguez M. E., 2004).

Durante el proceso de construcción se incorporan otra serie de factores que afectan la adherencia, entre ellos se pueden destacar el tiempo que demora la colocación de la unidad, la presión que se ejerza en la asentado de la unidad y el tipo de curado o protección que se haga de los muros. De este modo se pueden reconocer múltiples factores de los que depende la adherencia (Rochelle F., 2004).

I.1. Objetivo.

Evaluar el esfuerzo de adherencia y su relación entre el mortero y las características de las piezas de tabicón de la región de Querétaro; así como su repercusión en el comportamiento estructural de la mampostería.

I.2. Hipótesis.

Existe una relación entre el esfuerzo de adherencia y las características físicas de las piezas de tabicón así como con el proporcionamiento del mortero usado en la juntas y por ende en el comportamiento estructural de la mampostería.

I.3. Justificación.

A diferencia de otros materiales estructurales, la mampostería es un material compuesto no homogéneo, de quien las propiedades mecánicas dependen de la interacción tabique-mortero. Así como de la proporción en volumen de sus componentes (San Bartolomé, 1994).

La adherencia que se desarrolla entre el mortero y las piezas es de dos tipos:

- Primaria.- De naturaleza química, debida a la acción del cemento Pórtland y de las cales ó limos.
- Secundaria.- también conocida como adherencia de confinamiento, es aquella debida a la fricción. Esta puede ser muy importante. El coeficiente de fricción de la mampostería μ , varía entre 0.8 y 1.0.

Existen numerosos parámetros que pueden afectar la resistencia de adherencia entre las unidades y el mortero, no obstante, su influencia e interrelación no está aún completamente definida. Los factores más importantes, relacionados con las características de los materiales son:

- ✚ Unidades: porosidad, tasa inicial de absorción de agua, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad y la reactividad química.
- ✚ Mortero: características de la arena, la relación limo-cemento, la retentividad de agua, el contenido de agua y la presencia de aditivos.

No hay información cuantitativa suficiente que permita evaluar el efecto de cada uno de los factores mencionados, no obstante, es posible identificar cuales de ellos son beneficiosos para la resistencia de la adherencia. Así por ejemplo, incrementos en el contenido de humedad de las unidades, sin llegar al estado de saturación y, la presencia de limos en la mezcla utilizada para el mortero, aumentan la resistencia de la adherencia entre el mortero y las unidades (Sinha, 1983; Hendry, 1990).

La función principal del mortero de junta es actuar como agente de vinculación o adherencia que integre a las unidades de albañilería, permitiendo que trabajen en forma monolítica, ayudando a un adecuado comportamiento estructural de los muros y en general de las albañilerías de las cuales forma parte (Barrera H. 2006).

Sin embargo, esa no es su única función. Además deben acomodar variaciones dimensionales y características físicas de las unidades, deben lograr un efecto sellante entre éstas, impidiendo el paso tanto del agua como del aire. Finalmente, el mortero de junta debe proporcionar resultados estéticos satisfactorios en albañilerías que requieran dejar las unidades expuestas.

El cumplimiento íntegro de las propiedades antes descritas depende fundamentalmente del comportamiento adecuado que presenten sus distintas propiedades, en especial la adherencia, la cual debe ser fuerte, total y, por sobre todo, durable.

A pesar de que el mortero de junta ocupa alrededor de un 15% del volumen total de un muro de albañilería, desempeña un papel crucial en su funcionamiento estructural, debido a que es el responsable de mantener unida monolíticamente las unidades de albañilería (Barrera H. 2006).

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II.1. Mortero.

Si nos remontamos a las primitivas civilizaciones, con el abandono del nomadismo, la arcilla-barro, la piedra y los entramados se toman como materiales de construcción, con los que el hombre trataba de cubrir y cerrar un espacio donde protegerse de la Naturaleza en aquellas zonas en que escaseaban los recursos de alimentos y refugios naturales.

Es así que, el hombre toma los materiales tal como los encuentra a su alrededor readaptándolos para la mejora de su subsistencia. El origen del mortero viene ligado al descubrimiento de la cal y el yeso, no siendo claro su origen, ciertos autores lo sitúan en el comienzo de la Prehistoria junto con el descubrimiento del fuego y la posibilidad de calcinar piedras.

Es el caso del antiguo yacimiento de Jericó (9.000 a C.), que situado junto a un manantial de agua permanente y surgido inicialmente como santuario, es donde se hallan los primeros morteros basados en la cal. También, y debido al desarrollo de cambios en el contexto religioso (alrededor del 7.000 a C.), se han hallado cráneos con recubrimiento de yeso según modelos de antepasados venerados (Kenyon, K., 1981-82).

Estos hallazgos de morteros en yacimientos neolíticos evidencian el conocimiento de la cal y la tecnología de fabricación: la calcinación de la cal, su apagado, la mezcla para obtener morteros y su aplicación para obtener refinados de superficies.

Por tanto, el proceso de fabricación del mortero atendiendo a las características de los materiales consistiría en añadirle a la cal, que poseía un gran contenido de restos de piedra carbonatada (apagada) pero no calcinada totalmente, una mínima cantidad de agua para el apagado y, tras su puesta en obra se sometía a un proceso de compactación consiguiendo más

consistencia. Por el contrario, en zonas de Europa central y Septentrional esta forma de fabricar el mortero era menos elaborada.

En la civilización Egipcia y Mesopotámica, conocían y fabricaban materiales conglomerantes, yesos y cales aéreas, que bien, mediante pastas o morteros de yeso y cal reforzaban los aparejos de piedra y ladrillos, y revestían y ornaban sus fábricas (Torres Balbas, 1955). Es así que, la disposición de las piedras de las pirámides egipcias, amontonadas primero y labradas y revestidas después, tienen su equivalente en los ziggurats mesopotámicos, pirámides truncadas ejecutadas con escalonamientos de fábrica de ladrillos secados al sol, a veces revestidas con ladrillos cerámicos ornamentados con bajorrelieves.

Los egipcios fueron los primeros en utilizar el yeso, obtenido por cocción a temperaturas de, aproximadamente, 120° C para unir los bloques de las construcciones como en la pirámide de Kheops (2.600 a C.). Los egipcios conocían bien el yeso y lo empleaban de forma indistinta como material de unión de grandes bloques de piedra, como acabado de superficies y como material de decoración. En el templo de Amón en Karnak (2.000 a C.), los morteros de las juntas de los bloques de piedra estaban formados por anhídrita insoluble, es decir, yeso sobrecocido, mientras que los revestimientos que servían de soporte para las decoraciones estaban realizados con yeso, esto demuestra el riguroso conocimiento y, los secretos que tenían de este material por ser tan abundante en la región del Nilo (Gaspar Teba, 1995).

En la civilización griega ya se conocía casi la totalidad de materiales naturales (rocas, adobes, maderas) y artificiales (cerámicas y conglomerantes). Ya en el siglo VII a C., utilizaron una gran variedad de rocas calizas y tobas muy apropiadas a las que les aplicaban un enlucido fino o estuco, a base de caliza calcinada, sobre el que después se daba una mano de color. En cambio, en las construcciones, utilizaban un mortero hecho simplemente de tierra y arcilla para unir las piedras.

Son los griegos los primeros en utilizar el mortero de cal propiamente dicho, encontrándose morteros fechados a finales del siglo II y principios del I a C. ,ejemplo de ello, las viviendas de Délos y de Théra. Estos morteros, conocidos como morteros helénicos, eran a base de cal, yeso y áridos de polvo de mármol; Además se ha probado que se incorporaban adiciones para hacer el mortero más duro y estable (Gaspar Teba, 1995). En Théra, se introducía en la mezcla de cal y arena, polvo volcánico o “tierra de Santorín” obteniéndose unos morteros estables al agua y con propiedades análogas a los morteros actuales a base de aglomerantes hidráulicos (Laffarga Osteret et al. 1995). También, en estos morteros se empleó ladrillo machacado traduciéndose en una coloración rosácea en ciertos revestimientos exteriores.

En Roma, el empleo de mortero para la construcción, “opus caementium” (mortero de cal más árido más puzolana) se desarrolla paralelamente a la construcción con ladrillo, reservándose el aparejo sin mortero para la construcción en piedra natural “opus laeticium” (gruesos bloques ajustados sin mortero) o “later crudus” (ladrillos secos ajustados sin mortero), es decir, la técnica de “piedra seca”. Así mismo, no se sabe con exactitud la fecha de la introducción del mortero de cal, pero, fueron capaces rápidamente de perfeccionar y transmitir por todo el imperio los procesos de fabricación de la cal y puesta en obra del mortero (siglos II y I a C.). En cambio, el yeso será utilizado como material secundario en la albañilería.

El Tratado de Arquitectura de Marcus Vitruvius Pollon (siglo I a C.) describe el procedimiento y la proporción de la mezcla del mortero: (una unidad de cal/tres de arena; dos unidades de cal/cinco de arena, dependiendo el tipo de arena) “Si la arena fuese de mina, á tres partes de ella se pondrá una de cal, incorporándolo todo bien; y si fuese de río ó mar, á dos partes de arena, una de cal: esta regla es la que debe seguirse en la composición del mortero” (Libro II Cap. VI). Pero lo extraordinario de la calidad de los morteros romanos, se debía al cuidado con el que elegían y mezclaban sus constituyentes, la perfecta cocción y apagado de la cal, la homogeneidad de la mezcla y su puesta en obra.

Con la desaparición del Imperio Romano las técnicas de fabricación se diversificaron y sus características variaron según el lugar o el edificio. En cuanto a la Edad Moderna, se siguen utilizando los mismos materiales que en siglos anteriores pero hay que destacar el invento de la escayola, atribuido al arquitecto Andrea de Verrocchio (1432-1486), un material de construcción que no se preparó hasta entonces, pese a que el yeso como material de construcción ya se conocía desde tiempos remotos.

Por otro lado, en edificios españoles neoclásicos (siglo XVIII) se emplean morteros a base de cal común o grasa, mezclada con arena, que a su vez podía ser de río, de mar o de mina imitándose las fábricas de piedra con el aparejo de grandes despieces de sillares. Así mismo, en los morteros de fábricas de ladrillo era normal el uso de arena de mina; determinar las proporciones de los morteros era una tarea a seguir de manera adecuada y bien estudiada, con proporciones usuales de mezcla arena: cal 5:2, si la arena era de mina, y 2:1 si la arena era de río. La fabricación de dichos morteros se realizaba a cubierto evitando la influencia de las condiciones atmosféricas.

En 1812, L. J. Vicat fue el primero que expuso científicamente las propiedades hidráulicas de ciertas cales, y que estas propiedades se debían principalmente a la reacción del óxido de calcio con compuestos derivados de las arcillas, es decir, sílice más óxidos de hierro y aluminio, originando silicatos cálcicos hidratados. Así, los compuestos resultantes poseían mayor o menor hidratación según el contenido de arcilla, la temperatura y el tiempo de cocción.

Joseph Aspdin, en 1824, patenta el cemento que produce, y del que afirma ser “tan duro como la piedra Portland”. Este es el principio de la denominación “cemento Portland”, aunque las características difieran de las de la piedra de la cual tomó su nombre.

Ya en el 1839, L. J. Vicat fijó el término “hidráulico” para definir aquellos conglomerantes que podían endurecer bajo el agua al comprobar el éxito de un cemento ideado por él a base de mezclas de cal y arcilla, empleado en la construcción del puerto de Cherburgo.

Actualmente, el resultado de un mejor conocimiento de los materiales convencionales, permite que incluyamos otros numerosos “nuevos materiales” mediante modificaciones de sus composiciones: nuevos cementos de adición, , vidrios compuestos y blindados, placas de yeso especialmente endurecidas, maderas laminadas, ferrocementos, fibrocementos. Por tanto, la evolución de las civilizaciones ha hecho que la industria de los morteros, ya sean naturales o sintéticos, avance extraordinariamente, y actualmente se pueda proporcionar cualquier tipo de mortero según las necesidades exigidas en la obra.

Como se ha comentado, los morteros han formado parte de la historia en paralelo a la evolución del hombre, desde el Neolítico hasta el siglo XXI. Tierra, yeso y cal han sido los materiales fundamentales en las manifestaciones artísticas y constructivas.

II.2. Cal.

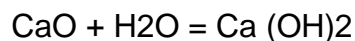
El diccionario de la Real Academia de la Lengua distingue entre aglomerante y conglomerante. El aglomerante lo define como el material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico, por ejemplo el barro; y, el conglomerante viene definido como el material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos, por ejemplo el yeso, la cal, el cemento, las resinas sintéticas, etc.

Los conglomerantes cumplen una doble función, por un lado, la función física de adherirse a la superficie de las partículas/árido a las que debe unir, así como, rellenar los huecos entre las partículas de árido, y otra, la función química de polimerizar o combinarse con el disolvente formando una serie de compuestos químicos capaces de conformar una estructura, conseguir la adherencia y desarrollar una elevada resistencia (Pitarch Roig, A. M. et al, 2003).

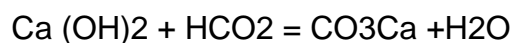
La cal es uno de los materiales conglomerantes más antiguos por excelencia, datada en el 4.000 a C. Según Arredondo, “se llama cal a todo producto, sea cual fuere su composición y aspecto físico, que proceda de la calcinación de las piedras calizas. Después del proceso de calcinación hay que proceder a la extinción o apagado del producto anhidro, con lo cual se obtiene un material hidratado en forma pulverulenta o pastosa, según la cantidad de agua añadida. Con una calcinación hasta unos 900-1.000 °C, se verifica la reacción:



es decir, se descompone el carbonato cálcico en óxido de calcio y anhídrido carbónico, desprendiéndose éste con los productos de la combustión. Durante el apagado se verifica:



o, lo que es lo mismo, se formará el hidróxido cálcico, el cual al ser puesto en obra, se recarbonata según la reacción:



al absorber el anhídrido carbónico de la atmósfera”.

Y sigue diciendo “cuando la piedra caliza de la que se parte contiene como impurezas sílice o alúmina y se calcina a temperatura de unos 1.200 °C, se disocia el carbonato dando óxido de calcio y anhídrido carbónico, reaccionando, entonces, el óxido de calcio con los componentes arcillosos de la piedra. Se forma así una cal hidráulica, denominación que proviene de fraguar en ambiente húmedo, e incluso bajo el agua”.

Vicart (1850-1900) ya afirmaba que “cuando la caliza tenía una cierta cantidad de arcilla cocida o se le agregaba, daba lugar por cocción a una cal hidráulica”. Por tanto, la cal viva se obtiene mediante la operación de cocción

de calizas puras (óxido de calcio, CaO), y suele presentarse en forma de terrones. Esta misma cal, al añadirsele agua se transforma en cal apagada (hidróxido de calcio), y puede presentarse en polvo o en pasta, atendiendo a la cantidad de agua añadida. Dependiendo de la cantidad de óxido magnésico (MgO) contenido, la cal aérea resultante la llamaremos cal grasa o blanca (menos del 5%) y/o cal magra/gris o dolomítica (más del 5%).

Esta cal grasa, tras el amasado con áridos y agua, se endurecerá mediante un proceso de fraguado por acción del dióxido de carbono del aire (Ilustración 1).

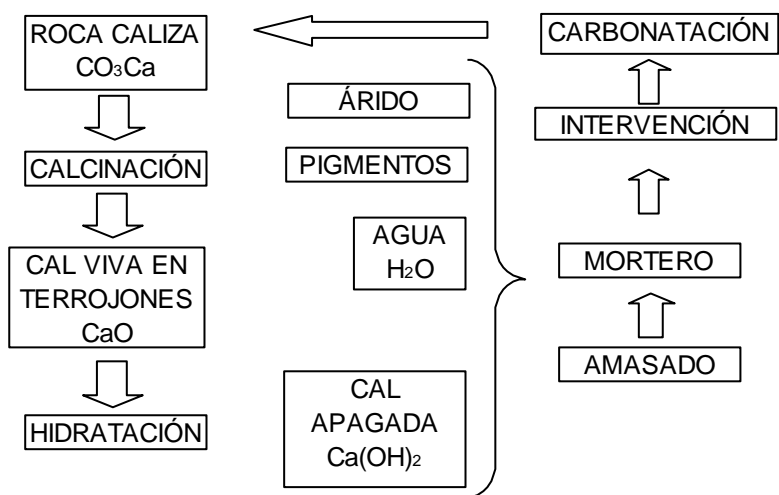


Ilustración 1. Proceso de obtención y puesta en obra de la cal (Barberá, 2006).

El término dosificación define la proporción en volumen o en masa de los diferentes materiales que componen el mortero (aglomerante/árido/aditivo/solvente) y, va a depender, de la finalidad del mortero, de su composición y de la resistencia mínima deseada (Renison, 2000).

Generalmente la dosificación viene expresada como la razón entre el aglomerante y el árido. En la mayoría de los casos, se tiende a que esta relación sea baja en cuanto a la cantidad de aglomerante (Ashurt, 1990). Normalmente, en morteros tradicionales (cal:arena), la más frecuente es (1:3) (Malinoswki, 1981; Sbordoni-Mora, 1981; Carrington, et al. 1995), aunque también se ha utilizado (1:2) y (1:10). En cambio, en morteros de matriz

polimérica las dosificaciones son más dispares, desde (1:0,5) hasta (1:8) (Lazzarini, et al. 1986; Weber, et al. 1990; Carboney de Masy, 1993; Roig, 1995; Godos, 1996; Fernández, 1999; Galán, 2001; Mas, 2004).

II.3. Morteros de cal.

Como se ha comentado anteriormente, durante la evaporación del agua de una pasta de cal, se produce un proceso de contracción que da lugar a la aparición de grietas y fisuras. La adición de una arena/árido a la pasta reducirá el nivel de retracción dando lugar al mortero. Así, si se añade poca arena la retracción será elevada y si se añade mucha se reducirá la plasticidad y resistencia (Arredondo y Verdú, 1991).

La cal empleada en los morteros puede ser aérea o hidráulica, siendo en ésta última más resistente y pudiendo endurecer bajo el agua. Los morteros de cal más utilizados son los 1:2 y 1:3, aunque también se conocen los 1:4, 1:6 (cal:arena), 1:2:8, 1:1:6 (cemento:cal:arena) y 1/3:2:3 (yeso:cal:arena) (Arredondo y Verdú, 1991).

II.3.1. Propiedades de los morteros de cal:

- ◇ Fácil trabajabilidad y elevada plasticidad del mortero fresco.
- ◇ Resistencias mecánicas bajas.
- ◇ Ausencia de sales solubles y álcalis.
- ◇ Proceso de fraguado y endurecimiento lento.
- ◇ Buena adherencia entre el mortero y las piezas.
- ◇ Buena durabilidad del mortero tras la carbonatación.
- ◇ Baja resistencia a las heladas.
- ◇ El endurecimiento se produce de modo progresivo del exterior hacia el interior, “proceso exógeno”.
- ◇ Permeabilidad al vapor de agua y al agua líquida.
- ◇ Reversibilidad.

Los morteros, tanto en estado plástico como endurecido, poseen una serie de propiedades para cubrir las tareas funcionales a las que van a ser sometidos en las diferentes operaciones.

II.4. Interacción pieza-mortero.

Diversas investigaciones han demostrado que la adherencia entre el mortero y las piezas de mampostería es de naturaleza mecánica. Cuando el mortero se pone en contacto con la pieza de mampostería, ésta 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 será incrementado tanto por el aumento de la rugosidad superficial en la cara de asiento de la unidad, como por la presencia de cavidades o alvéolos en la misma cara (Gallegos, 1989). En la ilustración 3, se muestra en forma esquemática el proceso antes descrito. Nótese que en la pieza inferior se desarrolla por la naturaleza del proceso constructivo, una mayor adherencia con respecto a la pieza superior que succiona menos lechada. Para minimizar este efecto e incrementar la adherencia se puede optar por uno o más de los siguientes procedimientos:

a) Proveer juntas de mortero gruesas, de manera que la succión de agua por la unidad de abajo no alcance a afectar la disponible para la de arriba. La consecuencia de este procedimiento es la reducción de la resistencia a la compresión de la mampostería.

b) Reducir la succión en el momento del asentado de la pieza cuando esta succión es elevada. Esto implica humedecer la unidad, incorporando un factor más de variabilidad difícilmente controlable.

c) Aumentar la consistencia del mortero (aumentando la cantidad de agua en el mismo) o aumentando su retentividad, por ejemplo, añadiendo cal en la dosificación del mortero. Sin embargo, estas posibilidades tienen limitaciones.

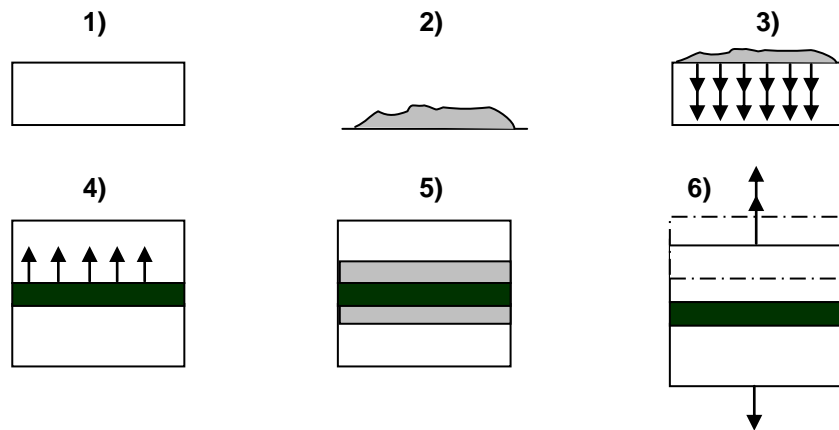


Ilustración 2. Mecánica de la adherencia entre piezas y mortero (Fundación ICA, 2003).

- 1) Pieza; unidad de mampostería con propiedades absorbentes.
- 2) Mortero; mezcla de cementante, arena y agua.
- 3) Se coloca el mortero sobre la unidad de abajo, el agua del mortero es succionada preferentemente por la pieza de abajo.
- 4) Se coloca la unidad de arriba, el mortero está más seco, la unidad de arriba succiona menos agua y menos solubles del cemento que la de abajo.
- 5) Fraguado del cemento, se forman cristales en los poros de las piezas, estos son mayores y más profundos abajo que arriba.
- 6) En un ensayo de tensión se rompe la interfaz mortero-unidad de arriba.

En los esquemas 4 y 5 se muestra de manera general, el efecto de diferentes parámetros en la adherencia medida en ensayos a tensión. Se observa que existe un rango de succión de la pieza al momento de la colocación del mortero que fluctúa entre los 10 y 40 gramos, en donde la adherencia es máxima. Por otra parte, los proporcionamientos elevados de cal y arena reducen la adherencia al reducirse la concentración de cementante, material que provee los cristales necesarios para la trabazón en la interfaz. Si se demora la colocación de la pieza se permite además de que el agua se evapore, que la pieza de abajo extraiga del mortero una mayor cantidad de agua disminuyendo la incrustación de cristales en la interfaz superior. Obviamente si se retira una pieza asentada se pierde totalmente su adherencia, si se bambolea la pieza al asentarla, se reduce esta propiedad, y si

se ejerce presión en la colocación o asentado de la pieza se mejora la adherencia. (Fundación ICA, 2003).

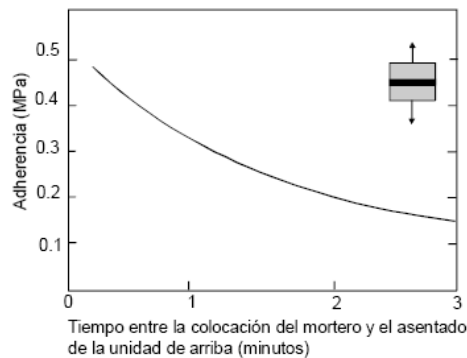


Ilustración 3. Variación de la adherencia con respecto de la demora de asentado de la pieza superior (Fundación ICA, 2003).

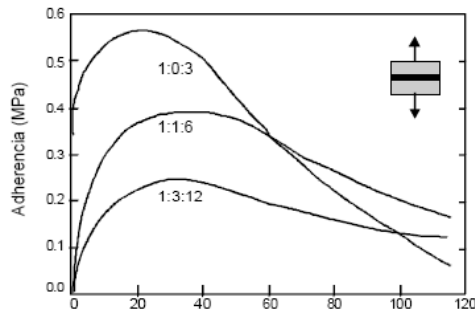


Ilustración 4. Efecto de la succión de las piezas en la adherencia para diferentes proporciones de mortero (Fundación ICA, 2003).

II.5. Sistemas estructurales

Se clasifican en tres grupos:

Mampostería simple, confinada y reforzada interiormente.

II.5.1. Mampostería simple

Construida con piezas macizas de tipo artesanal que no cuenta con ningún refuerzo ya sea interior o perimetral.

II.5.2. Mampostería confinada

Es el tipo de sistema constructivo más empleado para vivienda en México. Está basado en muros de carga hechos con piezas macizas o huecas,

confinados en todo su perímetro por elementos de concreto reforzado (dadas y castillos), que forman un marco confinante.

II.5.3. Mampostería reforzada interiormente

Estos muros están contruidos con piezas huecas reforzados en su interior con barras de acero de alta resistencia y diámetros pequeños. Se colocan de forma vertical dentro de las celdas y en juntas horizontales de mortero. Su uso ha estado limitado por las dificultades que presenta este tipo de sistema en su construcción, la falta de control de calidad y el uso tradicional de la mampostería confinada. Para garantizar la correcta colocación del refuerzo y el llenado de los huecos, la supervisión durante su construcción tiene que ser más elaborada y detallada.

II.6. La mampostería como elemento estructural

Las estructuras de mampostería en su vida útil pueden estar sometidas a las siguientes solicitaciones:

1. Carga axial o vertical, debida al peso de la losa, las cargas vivas y al peso propio de la mampostería.
2. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes, debidas a las fuerzas de inercia durante un sismo.
3. Empujes normales al plano del muro, causados por viento, agua o tierra, así como las fuerzas de inercia por sismos que actúan en dirección normal al plano del muro.

II.6.1. Falla ante carga axial

Esta falla depende de la interacción de piezas y mortero: las piezas restringen las deformaciones transversales del mortero induciendo en éste, esfuerzos de compresión en el plano transversal.

En las piezas se introducen esfuerzos de tensión que disminuyen su resistencia. Es inusual que se presente este tipo de falla, y puede ser causada por piezas de mala calidad o porque éstas han perdido capacidad de carga por intemperismo.

II.6.2. Falla por flexión

Se produce cuando se alcanza el esfuerzo resistente en tensión (del orden de 1 a 2 Kg/cm²). Es grave cuando no existe en la mampostería acero de refuerzo, ya que éste toma los esfuerzos de tensión. Se identifica mediante grietas horizontales en los extremos de los muros, que se van haciendo más grandes en la parte inferior.

II.6.3. Falla por cortante

Hay dos tipos: Falla por cortante, cuando la grieta es diagonal y corre sólo a través de las juntas de mortero; y la Falla por tensión diagonal, cuando la grieta es casi recta, rompiendo las piezas. La mayoría de estas fallas se deben a que no se cuida el diseño en la estructura.

Las cualidades resistentes de la mampostería se caracterizan mediante los siguientes parámetros:

- Módulo de elasticidad longitudinal

$$E_m \text{ (Ton/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 1. Módulo de elasticidad longitudinal.

- Módulo de corte

$$G_m \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 2. Módulo de corte.

Las características de deformabilidad de la mampostería se definen mediante los siguientes parámetros:

- Resistencia básica a la compresión

$$\sigma'_{mo} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 3. Resistencia básica a la compresión.

- Resistencia básica al corte

$$\tau_{mo} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 4. Resistencia básica al corte.

II.7. Tipos de grietas en las mamposterías

En términos generales, cuando los muros de mampostería no cuentan con un adecuado confinamiento mediante dalas y castillos de concreto reforzado, o bien una cantidad insuficiente o detallado inadecuado del refuerzo en los elementos confinantes, se han detectado cuatro tipos de patrones de agrietamiento y causas de daño en los muros de mampostería confinada:

- Agrietamiento inclinado, ocasionado por esfuerzos de tensión diagonal en las piezas.
- Agrietamiento en forma de escalera siguiendo la junta de mortero, originado por esfuerzo de corte.
- Agrietamiento vertical en las esquinas y el centro; originado por la flexión fuera del plano del muro y volteo de la estructura.
- Agrietamiento en forma de placa perimetralmente apoyada, ocasionado por los esfuerzos de corte y volteo de la estructura.

III. MATERIALES DE LA MAMPOSTERIA

Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE, para nuestro trabajo de investigación, se uso únicamente tabique blanco o tabicón, cuyas características se mencionan a continuación.

III.1. Tabique Blanco ó Tabicón.

La NMX-C-404-ONNCCE define al tabicón como un componente macizo para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.

En la Norma NOM-000-SCFI-1994 se especifican las propiedades que deben cumplir los tabiques blancos o tabicón, las cuales se mencionan a continuación:

- Las dimensiones mínimas deben ser de 6 x 10 x 24 cm. Con tolerancias no mayores de +- 2%.
- Resistencia a la compresión mínima de $f^*p > 100 \text{ kg/cm}^2$ (10.0 MPa).
- Absorción máxima de agua de las piezas a las 24 horas de 9-20 %.
- Módulo de ruptura mínimo de 8 kg/cm^2 (0.8 MPa).

III.2. Morteros.

La RAE define al mortero como: Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante y agua, que puede contener además algún aditivo.

La NMX-C-021-ONNCCE-2004 lo define como el material formado por un cementante hidráulico finamente pulverizado, que al agregarle agua y arena, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto máximo.

Los códigos de construcción establecen varios requerimientos para el mortero, incluyendo la clasificación y los detalles para su uso en la construcción. La calidad del mortero es muy importante para la integridad de la mampostería, ya que éste es el responsable de garantizar la adherencia y la cohesión entre las unidades (Ambrose, 1991).

Las principales propiedades de los morteros son: su resistencia a la compresión y tensión, adherencia con la piedra y/o pieza, módulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado, e impermeabilidad. Otra característica importante es su retención de agua, es decir, su capacidad para evitar que la pieza absorba el agua necesaria para el fraguado del mortero. El índice de resistencia generalmente aceptado es la resistencia a compresión, obtenida según la NMX-C-061 mediante el ensaye de muestras cúbicas de 5cm de lado; aunque también puede hacerse con muestras cilíndricas de 5cm de diámetro por 10cm de largo.

Las propiedades mecánicas de los morteros son muy variables y dependen principalmente del tipo de cementante utilizado y de la relación arena/cementante (Fundación ICA, 2003).

El mortero es especificado por uno de los dos siguientes métodos: proporción o propiedad. No es apropiado combinar los requerimientos de estos dos métodos. La especificación por proporción dictamina las cantidades relativas de cada ingrediente a ser incluidas en un mortero preparado en la obra. La especificación por propiedad es el método dado por la normativa ASTM C 270.

Por otro lado, una especificación por propiedad, dictamina los valores máximos o mínimos para ciertas propiedades físicas de una mezcla de mortero preparada en un laboratorio.

Las propiedades físicas expresadas por la ASTM C 270 son: una fuerza compresiva mínima, retención mínima del agua y máximo contenido de aire. Otras propiedades, como la fuerza de adherencia, pueden ser

especificadas por el arquitecto o ingeniero del proyecto si son consideradas importantes para el rendimiento exitoso de la mampostería y no están incluidas en la ASTM C 270. Los requerimientos de propiedad adicionales a los incluidos en la normativa ASTM C 270 no se especifican a menudo (Bonett D., 2003).

Las mezclas de mortero son designadas como tipo M, S, N y O. Son ordenadas en orden de mayor a menor en cuanto a fuerza compresiva y de menor a mayor en facilidad de "moldeabilidad". Puesto que no hay un solo tipo de mortero ideal, la decisión de cuál usar debería basarse en la mejor mezcla para el proyecto y no simplemente en una alta fuerza compresiva. El mortero siempre debe ser de una fuerza compresiva menor que la de las unidades que comprenden el ensamblaje la mampostería. Con respecto a los tipos de mortero, cualquiera de las tres categorías de materiales cementosos (cemento Portland, cemento para mampostería o cemento para mortero) pueden ser usadas a menos de que sean restringidas por los documentos del proyecto (Bonett D., 2003).

III.2.1. Componentes del mortero

El mortero está usualmente compuesto de agua, cemento y arena, no obstante en algunos casos, se adicionan otros materiales, para aumentar su capacidad de adherencia y/o hacerlo mas manejable durante la construcción.

III.2.1.1. Cemento

Según la NMXC- 414-ONNCCE el cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, comúnmente conocido como cemento, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conservará su resistencia y estabilidad.

Su función es proporcionar resistencia a la mezcla. Usualmente se utiliza cemento Pórtland tipo I y excepcionalmente el tipo II (resistente a sulfatos). Su densidad es aproximadamente de 1500 kg/m³.

Tabla 1. Clasificación de los cementos (NMX-C-414-ONNCCE-2004).

Tipo	Denominación	Clase resistente	Características especiales
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	20	RS Resistente a los Sulfatos
CPP	Cemento Pórtland Puzolanico	30	BRA Baja Reactividad Álcali agregado
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R	BCH Bajo Calor de Hidratación
CPC	Cemento Pórtland Compuesto	40	B Blanco
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	40 R	---
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	---	---

III.2.1.2. Cal (Hidróxido de calcio Ca(OH)₂).

Cal hidratada. En la elaboración de morteros se podrá usar cal hidratada que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE; la cual menciona:

- La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (CaO) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio).
- Se conoce con este nombre comercial a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos.
- Debe contener un mínimo de 80% de óxido de calcio y un máximo de 5% de óxido de magnesio.

- Se conoce como cal hidráulica a la cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúminica (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer debajo del agua.

De emplearse cal en el mortero, ésta debe ser hidratada y normalizada; la razón por la cual la cal debe ser normalizada se debe a que pueden existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. La densidad de la cal es del orden de 640 kg/m³. Cuando se emplea en el mortero, ésta (a diferencia del cemento) endurece muy lentamente al reaccionar con el anhídrido carbónico del ambiente, en un proceso llamado carbonatación, el cual es beneficioso para el mortero por dos razones: 1) las fisuras se sellan a lo largo del tiempo al formarse cristales de carbonato de calcio, que proveen una resistencia adicional a la del cemento y, 2) al endurecer lentamente favorecen la retentividad de la mezcla.

III.2.1.3. Arena

Es la encargada de proporcionar estabilidad volumétrica a la mezcla y atenuar la contracción por secado, por lo tanto, se recomienda no usar arena fina y lavar la arena gruesa cuando tenga polvo. Por otra parte, es preferible que los granos de arena sean redondeados y de una granulometría completa, es decir con variedad en el tamaño de las partículas que permita rellenar fácilmente los vacíos. La arena de mar no debe usarse, debido a que las sales que ella contiene producirán la eflorescencia de la unidad.

Los agregados pétreos deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-111:

Agregado Fino

- Conocido como arena.
- Composición granulométrica
- Módulo de finura entre 2.30 y 3.10

- Se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en las 6 cribas (no. 4, 8, 16, 30,50 y 100) y dividiendo entre 100
- El retenido parcial en cualquier tamiz no debe ser mayor del 45%
- Grumos de arcilla menores al 3% de la masa total.
- Materiales que pasan la criba 200 menores al 3% (sujeto a abrasión) a 5%.

III.2.1.4. Agua

El agua para el mezclado del mortero debe cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-122. El agua debe almacenarse en depósitos limpios y cubiertos.

El agua que se utiliza para la mezcla, debe ser potable, libre de partículas orgánicas y de sustancias deletéreas (aceite, ácidos, etc.). Su función es darle trabajabilidad a la mezcla e hidratar al cemento. El uso de agua de mar produce eflorescencia en los ladrillos por las sales que contiene.

En la obra, la normativa no limita la cantidad de agua que un albañil puede usar. El agua del mortero no se limita a la obra puesto que parte del agua de la mezcla será absorbida por las unidades de mampostería o se evaporará. El albañil puede decidir la cantidad correcta de agua a añadir basado en el tipo de unidades de mampostería y de las condiciones ambientales (Bonett D., 2003).

El contenido del agua en el mortero se autorregula: si se añade demasiada agua, las unidades de mampostería flotarán en el mortero y el albañil no podrá ponerlas; si se agrega muy poca agua no se podrá trabajar con la mezcla del mortero, el albañil no podrá esparcir el mortero adecuadamente y la mezcla no se pegará a las unidades. Reconociendo la necesidad de la información que el albañil da en la obra, la ASTM C 270 establece que el mortero debe mezclarse "con la máxima cantidad de agua para producir una consistencia que facilite el trabajo" (Bonett D., 2003).

III.2.2. Propiedades del mortero

Con excepción de morteros extremadamente débiles, las propiedades mecánicas del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería, son su deformabilidad y su adherencia con las piezas. De la primera propiedad, dependen, en gran medida, las deformaciones totales del elemento de mampostería y, en parte, su resistencia a carga vertical. La adherencia entre el mortero y las piezas, define en muchos tipos de mampostería, sobre todo en aquellos en los que las piezas son muy resistentes, la resistencia al cortante del elemento. Adicionalmente, es importante que el mortero tenga manejabilidad adecuada, para que pueda ser colocado en capas uniformes sobre las que asienten bien las piezas, evitándose concentraciones de esfuerzos y excentricidades accidentales (Fundación ICA, 2003).

Entre las principales propiedades del mortero se tiene:

- La adherencia unidad-mortero: ésta se logra cuando los solubles del cemento son absorbidos por la unidad, cristalizándose como agujas en sus poros. La adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas.
- Consistencia: se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder fluir o ser manejable utilizando los instrumentos adecuados para ello.
- Retentividad: consiste en la capacidad de la mezcla de mantener su consistencia o de continuar siendo manejable después de un lapso de tiempo.
- Trabajabilidad. La trabajabilidad es la propiedad más importante del mortero de junta en estado fresco, en virtud de la influencia que ella ejerce sobre otras propiedades del mismo, tanto en estado fresco como endurecido. La trabajabilidad resulta difícil de definir, debido a que es

una combinación de cierto número de propiedades interrelacionadas. Se considera que las que tienen mayor incidencia en la trabajabilidad son: consistencia, fluidez, capacidad de retención de agua y tiempo de fraguado.

III.2.3. Resistencias del mortero.

Los morteros a base de cal, son de baja resistencia a compresión, del orden de 1 a 10 kg/cm², por lo cual en las NTCM se descarta el uso de la cal como único cementante del mortero en elementos que tengan función estructural. Según dichas normas, todo mortero deberá tener cemento hidráulico. Las mezclas que se obtienen son muy trabajables, de fraguado lento y con buena retención de agua. El fraguado lento es favorable ya que permite preparar una mezcla para toda una jornada de trabajo, sin embargo una desventaja importante se refiere a que la resistencia de la mampostería se desarrolla lentamente (Fundación ICA, 2003).

Los morteros de cemento tienen resistencias a la compresión mucho más altas que los de cal, entre 40 y 200 kg/cm². El módulo de elasticidad varía entre 10,000 y 50,000 kg/cm² y el peso volumétrico es de aproximadamente 2 t/m³. Estos morteros son de fraguado rápido; una mezcla puede usarse como máximo 40 a 60 minutos después de fabricada. Son menos trabajables que los de cal y su retención de agua es menor que en los morteros de cal. Los morteros de yeso tienen resistencias muy bajas, fraguado muy rápido y sólo se usan en modalidades constructivas especiales (Fundación ICA, 2003).

Los morteros que contienen más de un material cementante se conocen como mixtos. En la práctica prevalecen los morteros elaborados con cemento y cal ya que reúnen ventajas de los dos materiales, dando lugar a mezclas de buena resistencia y trabajabilidad (Fundación ICA, 2003).

Para fines estructurales, la relación arena a cementante recomendable debe estar entre 2.25 y 3 ya que se obtienen así mezclas de buena resistencia, buena adherencia con la piedra y baja contracción. La variabilidad en la

resistencia que se obtiene para un proporcionamiento dado es considerable, debido a que la dosificación se hace por volumen y sin controlar la cantidad de agua. El coeficiente de variación se encuentra entre 20 y 30% (Fundación ICA, 2003).

III.2.4. Clasificaciones del mortero.

De acuerdo con la norma ASTM e 270, los morteros se clasifican, bien por sus propiedades, o por sus proporciones. Toda especificación debe hacerse por una sola categoría de las indicadas, pero no por ambas (son excluyentes); (Salamanca C., 2004).

En la tabla No. 2 se muestra tal clasificación, referida a los morteros de cemento y cal. La especificación por proporciones se basa en el conocimiento previo de los pesos unitarios de los materiales componentes del mortero; en la tabla No. 3 se muestra tal clasificación para los morteros de cemento y cal (Salamanca C., 2004).

Tabla 2. Especificación por propiedades, para morteros de cemento y cal, preparados en laboratorio (R. Salamanca, 2004).

Tipo de mortero	Resistencia mínima a la compresión a 28 días, kg/cm ² (MPa)	Retención mínima de agua, %	Contenido máximo de aire, %	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
M	175 (17.0)	75	12	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la sumas de los volúmenes separados de materiales cementantes.
S	125 (12.5)	75	12	
N	50 (5.0)	75	14	
O	25 (2.5)	75	14	

Tabla 3. Especificación por proporciones, para morteros de cemento y cal (R. Salamanca, 2004).

Tipo de Mortero	Proporciones por volumen (Materiales cementantes)		Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
	Cemento Pórtland o Pórtland Adicionado	Cal hidratada o apagada	
M	1	0.25	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la sumas de los volúmenes separados de materiales cementantes.
S	1	0.25 A 0.50	
N	1	0.50 A 1.25	
O	1	1.25 A 2.50	

III.2.4.1. Características del mortero tipo 'M'

- Es una mezcla de alta resistencia
- Ofrece más durabilidad que otros morteros
- Se recomienda para mampostería reforzada, o sin refuerzo, pero sometida a grandes cargas de compresión para cuando se prevea congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes, temblores.
- Se debe usar en estructuras en contacto con el suelo: cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos, etc.

III.2.4.2. Características del mortero tipo 'S'

- Es un mortero que alcanza la más alta característica de adherencia que un mortero puede alcanzar.
- Debe usarse para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que requieran a la vez de una alta característica de adherencia.
- Debe usarse en aquellos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosones de barro cocido, etc.

III.2.4.3. Características del mortero tipo 'N'

- Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo.
- Es bueno en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones.
- Representa la mejor combinación en resistencia, trabajabilidad y economía.
- Usualmente las mezclas de tipo N, alcanzan cerca de 125 kg/cm² (1800 psi) de resistencia a la compresión, en los ensayos de laboratorio.
- Debe tenerse presente que la calidad de mano de obra, la succión propia de los elementos de mampostería y otras variables afectan su resistencia una vez colocado.

III.2.4.4. Características del mortero tipo 'O'

- Es un mortero de baja resistencia y con un alto contenido de cal.
- Puede usarse en paredes y divisiones sin carga para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos.
- Son usuales en construcciones de vivienda de uno o dos pisos.
- Por su excelente trabajabilidad y bajo costo, son morteros preferidos por los albañiles.

III.2.5. Correlación entre morteros y piezas de mampostería.

El tipo de mortero usado en cada obra debe correlacionarse con las piezas de mampostería, bloques o ladrillos, a efecto de evaluarse compatibilidad, y garantizar una fuerte adherencia, que evite la entrada de agua al muro. Así, tratándose del uso de piezas de mampostería con gran tasa inicial de absorción, son de mejor compatibilidad los morteros de gran retención de agua (tipo O). Esto significa que ladrillos de mucha absorción deben combinarse con morteros de alto contenido de cal. Por el contrario, para ladrillos de poca absorción los ensayos indican que es más conveniente el uso de mortero con mayor contenido de cemento que de cal (Morteros tipo S o M).

La razón por la cual deben usarse morteros de cemento y cal es explicada por Walker y Gutschick⁴, de la siguiente manera: la cal hidratada tipo S (hecha de cal viva dolomítica, y que contiene cantidades iguales de hidróxido de Magnesio e hidróxido de Calcio, y cuyos tamaños de partículas son del orden de 500 veces menores que las de cemento), actúa de la siguiente manera:

- ✓ Mejora la plasticidad del mortero.
- ✓ Mejora notablemente la retención de agua.
- ✓ Incrementa la adherencia entre mortero y - piezas de mampostería.
- ✓ Incrementa la ductilidad y flexibilidad del mortero Ayuda a evitar la eflorescencia.
- ✓ Cura fisuras pequeñas.
- ✓ Contribuye ligeramente a la adquisición de resistencias finales.

III.2.6. Control de calidad de los morteros.

Mezclado Mortero, medios manuales:

- ∞ Se mezclan en seco la arena y el o los aglutinantes hasta alcanzar una mezcla homogénea.
- ∞ Se agrega el agua hasta lograr la consistencia deseada, cuidando la dosificación (entre el 35% y 45% del agregado fino).

Resistencia a la compresión: se controla mediante la elaboración de cubos de mortero de 5cm de arista, o de cilindros de 7.5cm (3") de diámetro y 15cm (6") de altura; o de cilindros de 5cm (2") de diámetro y 10cm (4") de altura.

El uso de los cubos, siendo un procedimiento dispendioso y de cuidado, más apropiado para laboratorio, no es recomendable en obra. Es preferible el uso de cilindros, fundidos en tres capas, 25 golpes, varilla redondeada de 9.5mm, mazo de caucho, etc.; los ensayos usuales son a 7 y 28 días de edad (R. Salamanca Correa, 2004).

IV. METODOLOGIA

IV.1. Caracterización de los materiales en la mampostería

La caracterización de los materiales usados en la fabricación de las unidades de mampostería fue la primera etapa, es decir, primero se ensayaron las piezas individuales de tabicón; posteriormente, se dosificaron y prepararon las mezclas de mortero y, en una tercera etapa, se construyeron los conjuntos de mampostería para estudiar la adherencia entre el mortero y la pieza; finalmente se fabricaron los dispositivos de prueba para dichos ensayos.

El equipo que se utilizó para el ensayo de compresión y ruptura de las piezas, compresión de los morteros y esfuerzo de adherencia de las piezas, fue la maquina universal FORNEY TESTING MACHINES, modelo LT-1150, con capacidad de 150 toneladas, la cual se ubica en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).

IV.1.1. Pruebas mecánicas y físicas a piezas individuales de tabicón.

Para verificar algunas de las propiedades físicas y mecánicas significativas de las piezas de tabicón; se procedió a aplicar los métodos de prueba correspondientes a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 y NTCM-RCDF-2004.

Para la fabricación de los especímenes de prueba se utilizó tabicón sólido de concreto de forma rectangular, fabricado en la ciudad de Querétaro; cuyas dimensiones usuales fueron 14 cm. de ancho, 10 cm. de alto, y 28 cm. de largo. Las propiedades mecánicas y físicas así como las características geométricas de las piezas, se verificaron de acuerdo con lo establecido en la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005 y sus normas complementarias.

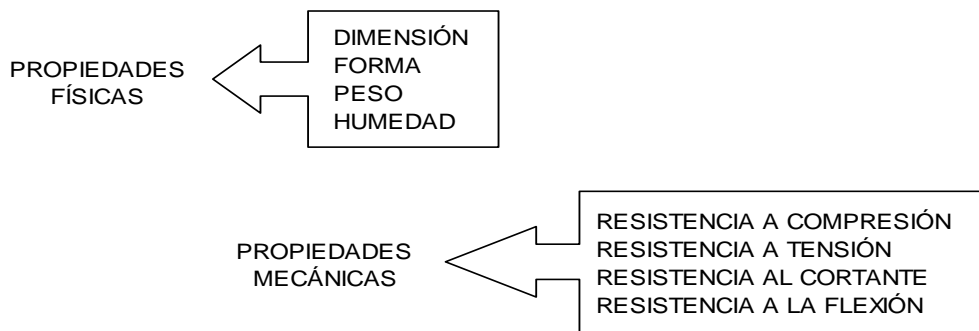


Ilustración 5. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Como ya se mencionó, fue necesario aplicar pruebas de laboratorio a piezas de manera individual. En cada ensayo se tomaron 10 muestras de cada uno de los tres diferentes proveedores; consideramos que el valor característico de la prueba efectuada fue el promedio de los resultados.

IV.1.1.1. Determinación de las dimensiones de los tabicones.

Según la norma NMX-C-038, se toman las características de 10 piezas para el lote muestreado y a éstas se les toman sus dimensiones y peso.

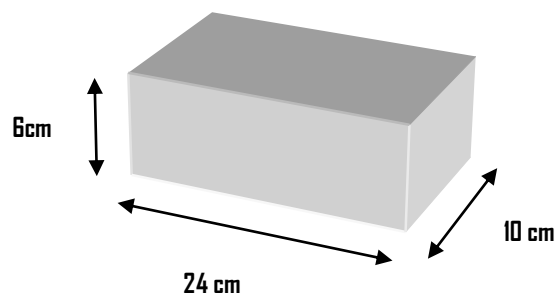


Ilustración 6. Dimensiones mínimas de una pieza de tabicón.

Tabla 4. Tabla comparativa de las dimensiones de las piezas de tabicón.

	Bloquera Queretana	Grupo Avarsa	Grupo Condor
Largo (cm)	22.95	22.86	27.00
Ancho (cm)	13.37	14.10	13.49
Alto (cm)	10.00	10.05	10.05

Tabla 5. Clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación (NMX-C-404-1997-ONNCCE).

TIPO DE PIEZA	MATERIALES	FORMA
Bloque Macizo Hueco	Grava-cemento Arena-cemento Barro extruido Arcilla recocido Otros	Rectangular Rectangular Rectangular Rectangular Otras
Tabique Macizo (ladrillo) Hueco y multiperforado	Silicio calcáreo Barro extruido Arcilla recocido Otros	Rectangular Rectangular Rectangular Otras
Tabicón	Grava-cemento Arena-cemento Tepojal-cemento Otros	Rectangular Rectangular Rectangular Otras

IV.1.1.2. Determinación del peso volumétrico.

El peso volumétrico neto mínimo de las piezas, en estado seco, será el indicado en la tabla 6.

Tabla 6. Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco. Según la NMX-C-404-ONNCCE-2005.

Tipo de pieza	Valores en kN/m ³ (kg/m ³)
Tabique de barro recocido	13 (1300)
Tabique con barro con huecos verticales	17 (1700)
Bloque de concreto	17 (1700)
Tabique de concreto	15 (1500)

El peso volumétrico de las piezas se obtuvo mediante la siguiente formula:

$$\gamma = \frac{W_s}{V} \approx 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$$

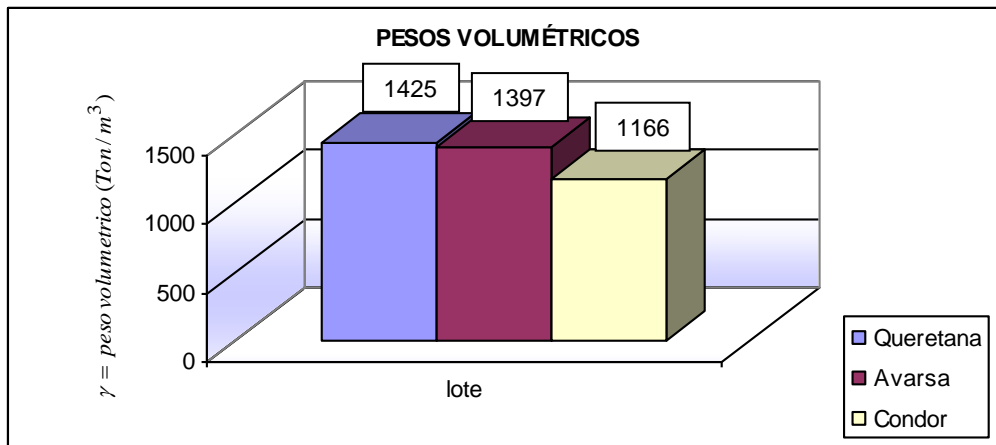
Ecuación 5. Peso volumétrico.

DONDE:

γ = PESO VOLUMÉTRICO

W_s = PESO SECO

V = VOLUMEN



Gráfica 1. Comparativa de los pesos volumétricos.

IV.1.1.3. Resistencia a tensión o módulo de ruptura.

Esta prueba se efectúa en especímenes enteros, los cuales son colocados sobre 2 apoyos fijos. Los apoyos tienen de claro el 70% de la longitud total del espécimen; se aplica la carga en el centro, para determinar el esfuerzo máximo de tensión en la fibra extrema, obteniéndose la carga de ruptura para posteriormente calcular el módulo de ruptura (la Norma NOM-000-SCFI-1994 exige un valor mínimo de 8 kg/cm²); según la fórmula:

$$M_r = M_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Ecuación 6. Modulo de ruptura.

DONDE:

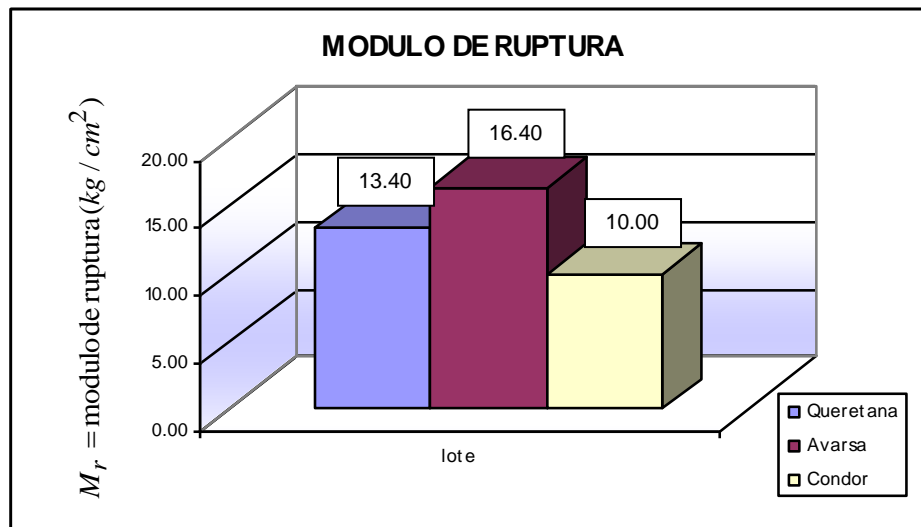
P = CARGA EN Kg.

L= CLARO

b= PROMEDIO DE ANCHO

d= ALTURA

Nosotros escogimos según la Norma, 10 piezas representativas de un millar y obtuvimos los siguientes resultados:



Gráfica 2. Comparativa de módulos de ruptura.

IV.1.1.4. Prueba de absorción, absorción inicial y coeficiente de saturación.

Consideramos que la prueba de absorción inicial y el coeficiente de saturación de las piezas, son las propiedades más importantes de las unidades y tienen un efecto significativo sobre la reacción de los mampuestos a la hora de su colocación y por ende en las características de la mampostería.

La capacidad de la unidad para absorber agua se mide por dos parámetros: la absorción total y la tasa inicial de absorción (Inicial Rate Absorption, IRA). El primer parámetro representa la cantidad de agua requerida para saturar la unidad de mampostería, mientras que la IRA, o succión, es la masa de agua absorbida por unidad de área y tiempo.

IV.1.1.4.1. Absorción máxima de agua durante 24 horas.

La prueba de absorción consiste en determinar la cantidad de agua absorbida por el espécimen en 24 hrs. Del peso de la inmersión total de la pieza, según se especifica en la norma NOM-000-SCFI-1994, restando el peso inicial seco, se obtiene el peso del agua absorbida cuyo porcentaje se da en función del peso seco; limitado entre el 9% y el 20%.

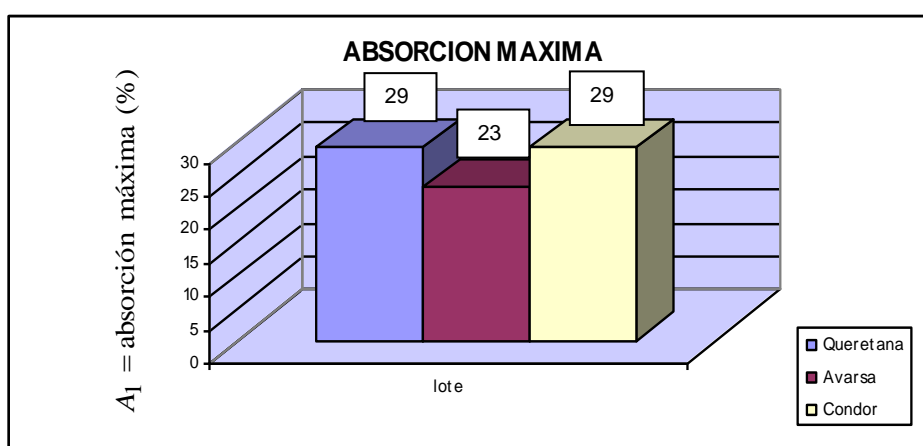
$$absorción = \frac{W_{24h} - W_s}{W_s} \times 100 \geq 9\% \leq 20\%$$

Ecuación 7. Absorción en 24 horas.

DONDE:

W_{24h} = PESO DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA FRÍA

W_s = PESO SECO DE LA PIEZA



Gráfica 3. Comparativa de absorción máxima de las piezas de tabicón.

Tabla 7. Valores aceptables de absorción máxima de agua (NMX-C-404-1997, NMX-C-037-Método de prueba).

Tipo de pieza	Absorción máxima de agua en % durante 24 h
Bloques de concreto	9-20
Tabicones	13-21
Tabique (ladrillo) recocido	12-19
Tabique (ladrillo) extruido	9-20

IV.1.1.4.2. Absorción inicial de agua.

A diferencia de la prueba de absorción máxima, esta solo considera la absorción estando sumergida la pieza un minuto. Aunque no se especifican límites, esta prueba es conveniente para obtener un control de humedad durante la construcción.

$$A_{m1} = \frac{W_h - W_s}{LB}$$

Ecuación 8. Absorción Máxima Inicial.

DONDE:

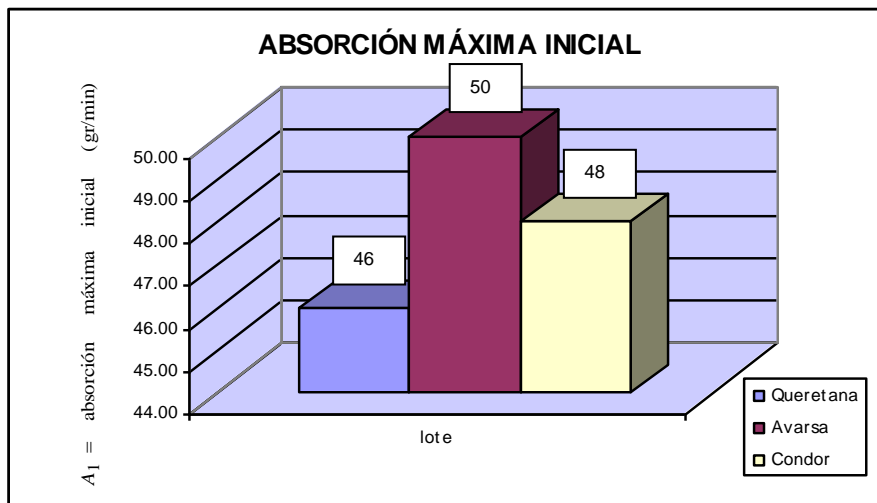
A_{m1} = ABSORCIÓN MÁXIMA INICIAL

W_h = PESO DE LA PIEZA DESPUES DEL PERIODO DE CONTACTO CON EL AGUA (gr)

W_s = PESO SECO DE LA PIEZA (gr)

L = ES LA LONGITUD DE LA PIEZA (cm)

B = ES EL ANCHO DE LA PIEZA (cm)



Gráfica 4. Comparativa de absorción máxima inicial en piezas de tabicón.

IV.1.1.4.3. Coeficiente de saturación.

Con este ensayo se puede conocer el coeficiente de saturación de una pieza de mampostería, propiedad con la cual se observa si la pieza puede formar una buena unión con el mortero.

$$CS = \frac{C}{B} = \frac{W_{24h} - W_s}{W_{5h} - W_s} \leq 1.0$$

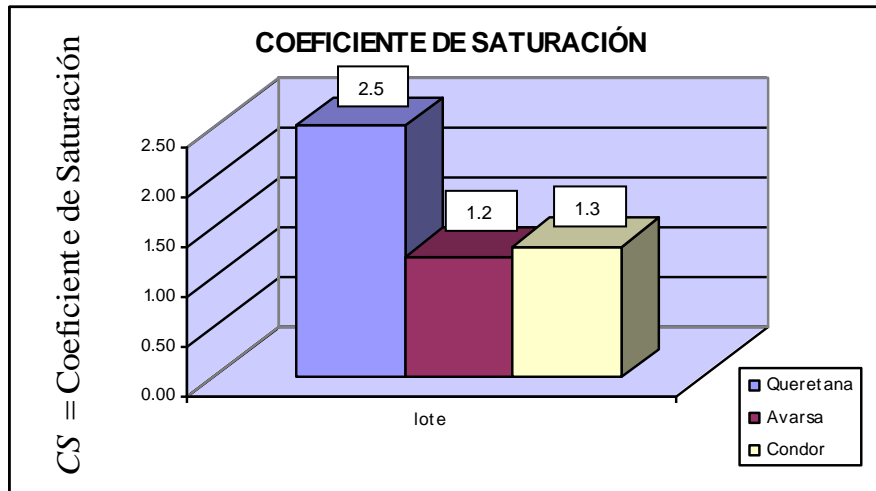
Ecuación 9. Coeficiente de saturación.

DONDE :

CS = COEFICIENTE DE SATURACIÓN

C = PESO DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA FRÍA

B = PESO DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE 5 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA HIRVIENDO



Gráfica 5. Comparativa de los coeficientes de saturación de las piezas de tabicón.

IV.1.1.5. Prueba de resistencia a la compresión.

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 de la mitad de ella. La resistencia a 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.

Por lo anterior, los resultados del ensaye de compresión son estrictamente comparables solo para piezas del mismo tipo, y la relación entre la resistencia a la compresión de la pieza y el comportamiento estructural del muro puede ser distinto para materiales diferentes (la Norma NOM-000-SCFI-1994 exige un valor mínimo de 100 Kg/cm²).

Tabla 8. Resistencia mínima a compresión sobre área bruta (NMX-C-404-ONNCCE, NMX-C-036- Método de prueba).

Tipo de pieza	Resistencia de diseño (f^*p) N/mm ² (kgf/cm ²)
Bloques de concreto vibrocomprimido	6 (60)
Tabicones	10 (100)
Tabique (ladrillo) recocido	6 (60)
Tabique (ladrillo) extruido o prensado (hueco vertical)	10 (100)
Tabique (ladrillo) multiperforado	10 (100)

- 1) Las piezas o unidades fueron cabeceadas con ligeras capas de arena en ambos lados para eliminar así las imperfecciones de las superficies.
- 2) La carga fue aplicada sobre medios tabiques y en la dimensión menor promedio.
- 3) La carga aplicada fue de 200 kg/seg aproximadamente e interrumpida cuando se observaban agrietamientos.
- 4) Precisión. La resistencia a compresión se reporta con una aproximación de 100 kPa(1,0 kgf/cm²).

$$RC = \frac{P}{A}$$

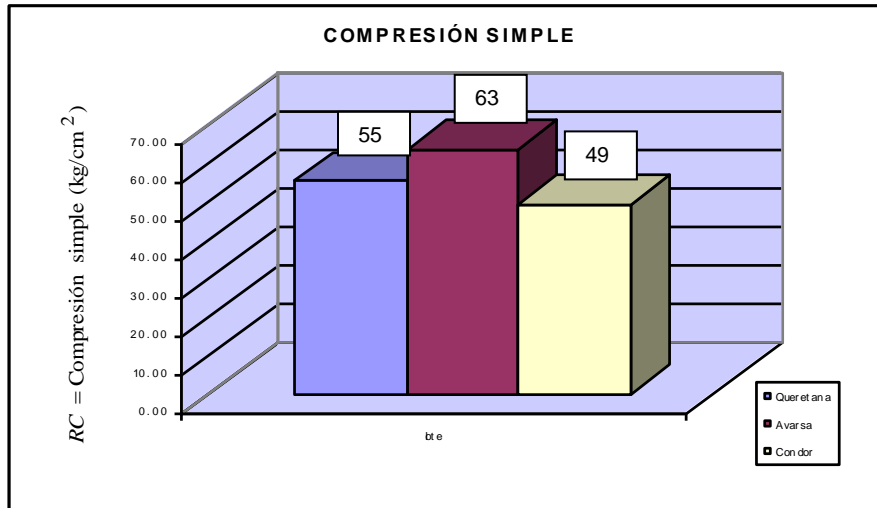
Ecuación 10. Resistencia a la compresión.

DONDE:

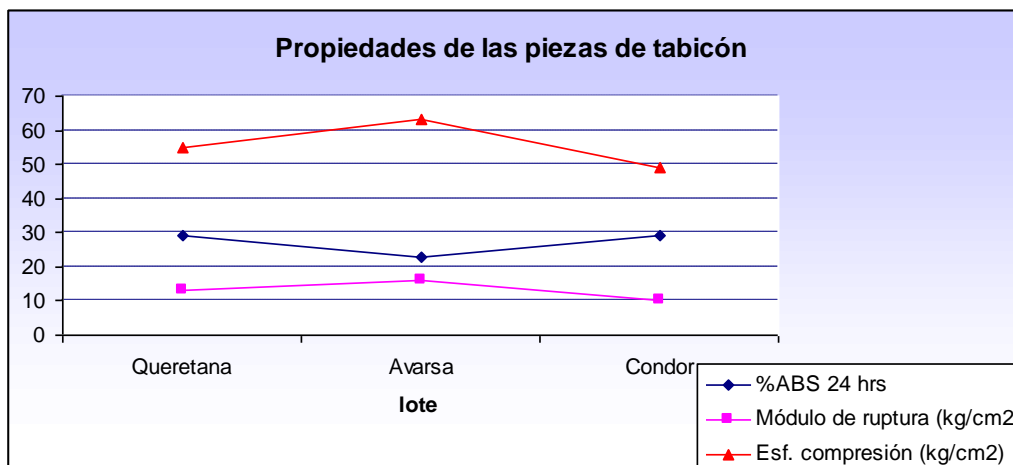
RC = RESISTENCIA A LA PRIMERA GRIETA (Kg/cm²)

P = CARGA A LA PRIMERA GRIETA (Kg)

A = AREA O SECCIÓN (cm²)



Gráfica 6. Comparativa de las resistencias a compresión de las piezas de tabicón.



Gráfica 7. Resultados de Absorción, Módulo de Ruptura y compresión simple.

Tabla 9. Resumen de los resultados obtenidos en la caracterización de las piezas individuales de tabicón.

BLOQUERA QUERETANA	GRUPO AVARSA	GRUPO CONDOR
RESUMEN DE PESOS VOLUMETRICOS (kg/m3)		
1425	1397	1166
RESUMEN DE PORCENTAJES DE ABSORCION A 24 HORAS (%)		
29	23	29
RESUMEN DE COEFICIENTES DE SATURACIÓN INICIAL		
3	1	1
RESUMEN DE ABSORCIÓN MÁXIMA INICIAL (g/min)		
46	50	48
RESUMEN DE MODULOS DE RUPTURA (kg/cm2)		
13.4	16.4	10.0
RESUMEN DE PRUEBA A COMPRESIÓN (kg/cm2)		
55	63	49

IV.1.1.6. Prueba de adherencia en probetas.

Según la NMX-C-082; con el mortero a usar en los muros se preparan las probetas para realizar una serie de pruebas para tres niveles de esfuerzos de confinamiento normales a las juntas. Para cada valor de confinamiento se ensayarán dos probetas de idénticas características. Cada probeta se formará de tres piezas.

Adherencia. Es la propiedad de algunas sustancias que consiste en que al ponerse en contacto se pegan con cierta fuerza.

Esfuerzo de adherencia. Es la fuerza con que se pegan dos superficies en contacto, por unidad de área común.

Es esfuerzo de adherencia se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$A = \frac{P}{S}$$

Ecuación 11. Esfuerzo de adherencia.

DONDE:

A= esfuerzo de adherencia, en kgf/cm²

P= carga máxima que logra despegar los ladrillos, en Kg

S= suma de las dos superficies adheridas al ladrillo central, sin tomar en cuenta las áreas de los huecos o perforaciones, en cm².

$$S = \frac{4aL}{3}$$

Ecuación 12. Suma de las superficies.

$$A = \frac{3P}{4aL}$$

Ecuación 13. Esfuerzo de adherencia.

Precisión. Las pruebas no deben diferir en más de 5% si se hacen en el mismo laboratorio y por un solo operador, y 10% cuando las pruebas se hacen o por operadores distintos y/o en laboratorios diferentes.

IV.1.2. Caracterización a los agregados

Se aplicó el debido muestreo y ensayos al material orgánico utilizado en la elaboración del mortero. Éste fue obtenido de un banco de materiales de Saldarreaga, dentro de la región de Querétaro.

IV.1.2.1. Análisis granulométrico

Haciendo uso de los tamices se hizo pasar una muestra de arena para identificar la graduación de la misma y verificar si era adecuada para ser utilizada en la elaboración de nuestros morteros, ya que su función es determinante en cuanto a la trabajabilidad y a la disminución de los efectos por contracción.

Tabla 10. Límites Granulométricos prescritos por las normas (ASTM C144).

Granulometría de las arenas (UBC 24-21)	
Malla	% que pasa la malla
4	100
8	95-100
100	25 máximo
200	10 máximo

Tabla 11. Composición granulométrica de la arena de Saldarreaga usada en la elaboración de los morteros.

Malla número	Peso retenido parcial	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa
4	0.0	0.0	0.0	100.4
8	0.0	0.0	0.0	100.4
16	233.8	54.8	54.8	45.6
20	40.2	9.4	64.2	36.2
30	38.9	9.1	73.3	27.1
50	54.7	12.8	86.1	14.2
60	13.8	3.2	89.4	11.0
100	24.6	5.8	95.1	5.3
200	22.4	5.3	100.4	-
Suma	428.4	100.4	-	-
Charola	4.7	-	-	-
Suma	433.1	-	-	-

IV.1.2.2. Porcentaje de desperdicios

Con esta prueba pudimos determinar la cantidad de grava presente en nuestra muestra de arena. Probamos el peso total de la muestra, la cribamos a través de la malla número 4 (4.75mm) y pesamos el retenido en dicha malla. Obtuvimos la relación entre el peso retenido y el peso total de la muestra. Según lo especificado, el % de desperdicio de grava en arena deberá ser menor del 5%. La formula es la siguiente:

$$\% \text{ de grava en el arena} = \frac{\text{Peso retenido en la malla No. 4}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

Ecuación 14. Contenido de grava en la arena.

IV.1.2.3. Pesos volumétricos en la arena.

IV.1.2.3.1. Cálculo del porcentaje de humedad.

$$\% w = \frac{P_w - P_s}{P_s} \times 100$$

Ecuación 15. Porcentaje de humedad.

Donde:

P_w = Peso húmedo del material (gr)

P_s = Peso seco del material (gr)

$P_w - P_s$ = Peso del agua (gr)

IV.1.2.3.2. Cálculo del peso volumétrico suelto (PVS).

$$PVS = \frac{\text{Peso del material contenido en el recipiente (kg)}}{\text{volumen del recipiente (lt)}} \times 1000$$

Ecuación 16. Peso volumétrico suelto.

Donde:

PVS = Peso volumétrico suelto (kg/m³)

IV.1.2.3.3. Cálculo del peso volumétrico compacto (PVC).

$$PVS = \frac{\text{Peso del material contenido en el recipiente (kg)}}{\text{volumen del recipiente (lt)}} \times 1000$$

Ecuación 17. Peso volumétrico compacto.

Donde :

PVS = Peso volumétrico compacto (kg/m³)

IV.1.2.3.4. Cálculo del PVSC y PVSS.

$$PVSC = \frac{\text{Peso volumétrico compacto (kg/m}^3\text{)}}{1 + \frac{\% w}{100}}$$

Ecuación 18. Peso volumétrico seco compacto.

$$PVSS = \frac{\text{Peso volumétrico suelto (kg/m}^3\text{)}}{1 + \frac{\% w}{100}}$$

Ecuación 19. Peso volumétrico seco suelto.

Donde :

PVS = Peso volumétrico seco compacto

PVSS = Peso volumétrico seco suelto

IV.1.2.3.5. Cálculo de la absorción del agregado.

$$\% w = \frac{P_w - P_s}{P_s} \times 100$$

Ecuación 20. Absorción de agregado.

Donde :

P_w = Peso húmedo del material (gr)

P_s = Peso seco del material (gr)

P_w - P_s = Peso del agua (gr)

Tabla 12. Resumen de los resultados obtenidos de la caracterización a la arena para la elaboración de los morteros.

Porcentaje de desperdicios =	15.898	%
Porcentaje de humedad =	8.124	%
Peso volumetrico suelto =	1190.728	kg/m ³
Peso volumetrico seco y suelto =	1147.261	kg/m ³
Peso volumetrico compacto =	1351.643	kg/m ³
Peso volumetrico seco y compacto =	1302.302	kg/m ³
Modulo de finura =	3.1	
Porcentaje de absorción =	11.744	%
Densidad =	2.020	
Contenido de materia organica =	M. O. < 3	

IV.2. Preparación del mortero

En la elaboración del concreto y morteros se puede emplear cualquier tipo de cemento hidráulico que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-414-ONNCCE.

Tabla 13. Proporcionamientos en Volumen para Morteros Estructurales (NTCM-95, RCDF-93).

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena	Valor típico de resistencia a compresión (kg/cm ²)
I	1	-----	1 a ¼	2.25 a 3	125
	1	0 a ½	-----		
II	1	-----	¼ a ½	2.25 a 3	75
	1	½ a 1	-----		
III	1	-----	½ a 1 ¼	2.25 a 3	40

Como mencionamos, para nuestro caso, tanto el proporcionamiento como las propiedades de los materiales constituyentes del mortero se seleccionaron de acuerdo a las normas mexicanas mencionadas en la NMX-C-414-ONNCCE. Utilizamos Cemento Pórtland CPC 30 R, (nomenclatura Mexicana para cemento Pórtland compuesto de clase 30); cal hidratada, arena del banco de materiales dentro de la zona del Marqués, municipio de Querétaro

y agua potable del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

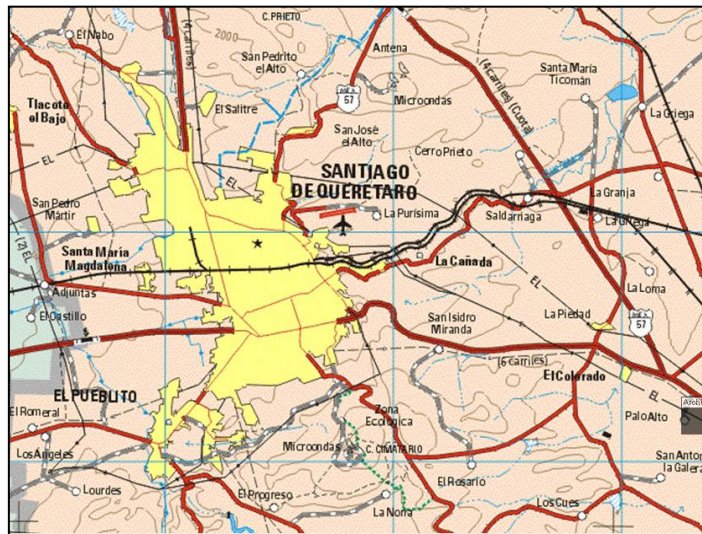


Ilustración 7. Localización del Banco de Materiales Saldarreaga.

De acuerdo a los objetivos planteados, se determinó utilizar 3 mezclas diferentes de mortero, en las cuales se consideró el mismo productor y tipo de cemento, se empleó el mismo tipo de arena natural y de cal, que fue la única variable en proporción; es decir, se elaboraron 3 grupos de mezclas: cemento + arena + cal en distintas proporciones, en los tres grupos se mantuvo constante el cemento y la arena, tal y como lo indica la norma. La proporción cemento-cal-arena en volumen para la elaboración de nuestros morteros fue: 1:¼:3 para el mortero tipo I, 1:½:3 para el mortero tipo II, 1: 1¼: 3 para el mortero tipo III.

Tabla 14. Proporción de materiales usados en la elaboración de nuestros morteros.

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cal hidratada	Partes de arena
I	1	¼	3
II	1	½	3
III	1	1 ¼	3

Ingredientes básicos en el Mortero:

- a) Cementantes: Cemento Pórtland CPC 30 R.
- b) Cal hidráulica: supusimos que mejora la trabajabilidad y la adherencia entre las piezas y el mortero.
- c) Arena: nos aseguramos de realizar las pruebas de laboratorio para el su análisis.
- d) Agua: se utilizó la mínima necesaria para fines de trabajabilidad.

Se procedió a elaborar el mortero para el pegado de las piezas en el sitio, a mano, y posteriormente a fabricar los especímenes de prueba con los tres diferentes tipos de mortero así como los cilindros para posteriormente ensayarlos a compresión a los 7, 14 y 28 días de edad. La junta usada para el pegado de las piezas, se rigió por la Norma Mexicana que menciona que deberá ser de 1cm de espesor como máximo, con una tolerancia de +/- 2mm.

IV.3. Pruebas al mortero

IV.3.1. Compresión de cilindros de mortero

Para esta prueba se siguieron parcialmente los lineamientos especificados en la norma ASTM E-518 y NMX-C-061 que menciona que para cada mezcla diferente de mortero se preparan muestras de tres cubos de 50mm de arista, después de curarlos en los moldes por 24 horas, deben ser extraídos y almacenados en las mismas condiciones de laboratorio que los prismas por un período de 28 días.

Sin embargo, es conveniente mencionar que el moldeado de la mezcla también puede realizarse haciendo uso de cilindros de dos pulgadas de diámetro por cuatro de alto para la prueba de compresión, que fue lo que nosotros realizamos, a nuestros cilindros de mortero no le dimos ningún tipo de curado, los dejamos a la intemperie dentro del Laboratorio de Mecánica de Suelos al igual ó en la mismas condiciones que a los especímenes de mampostería.



Ilustración 8. Ensaye a compresión de los morteros.

IV.3.1.1. Resultados obtenidos en la prueba a compresión de los morteros

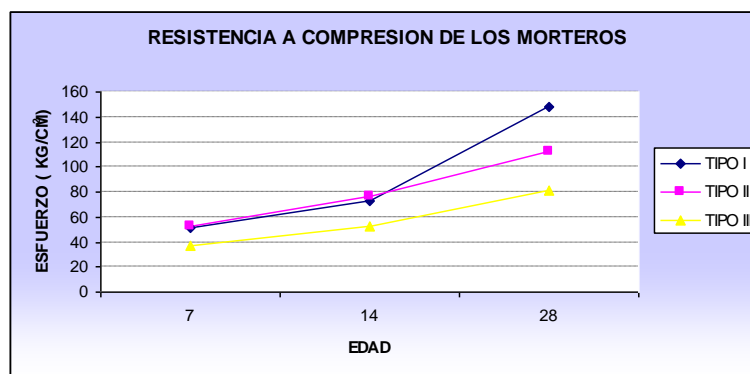
La resistencia a la compresión del mortero se verificó en base de muestras de cilindros de mortero de 5 cm. de diámetro por 10 cm. de alto. Se ensayaron cinco muestras de cada uno de los tres tipos diferentes de mortero.

Tabla 15. Resultados de la resistencia a compresión de los morteros utilizados en la fabricación de los especímenes.

PROBETA No.	TIPO I	TIPO II	TIPO III
	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
	28 DIAS	28 DIAS	28 DIAS
1	146.08	111.26	55.25
2	147.49	110.80	54.79
3	148.50	110.38	53.21
4	148.80	112.00	51.57
5	148.75	113.68	49.93
Media=	147.92	111.63	52.95

De acuerdo a los resultados obtenidos se muestra que la resistencia a la compresión de los morteros utilizados cumplió con lo establecido por la Norma, dado que se obtuvo una resistencia promedio de 147.9 kg/cm², 111.6 kg/cm² y 52.9 kg/cm², respectivamente; incluso cuando como mencionamos anteriormente, las probetas no fueron curadas ni recibieron ningún tratamiento.

Como era de esperarse, al aumentar la cantidad de arena y/o de cal en el mortero en relación a la cantidad de cemento se disminuyó la resistencia a la compresión del mortero.



Gráfica 8. Resultados de compresión simple de los morteros.

IV.3.2. Prueba de retentividad ó retención de agua del mortero.

La retentividad o poder de retención de agua es la capacidad del mortero de retener el agua de amasado antes solicitudes externas de absorción o succión por parte de las unidades de albañilería. Esto permite que el mortero mantenga su plasticidad para que las unidades puedan ser cuidadosamente alineadas y niveladas sin romper el enlace, lo que hace que esta propiedad esté íntimamente relacionada con la trabajabilidad, y por lo tanto sea uno de los factores de mayor incidencia en la adherencia entre mortero y unidades.

La retentividad adquiere mayor importancia cuando las unidades de albañilería utilizadas presentan una alta absorción. Esto incide en la adherencia mortero-unidad (Barrera H., 2006).

IV.3.2.1. Resultados obtenidos en la prueba de retentividad de los morteros.

Para llevar a cabo esta prueba se siguieron los lineamientos especificados por la norma ASTM C-1506 en la que se muestra el procedimiento a seguir así como el equipo necesario para dicha prueba.

El propósito de esta prueba fue determinar cual de los 3 tipos diferentes de mortero realizados con cemento Pórtland y variaciones en el proporcionamiento de cal retenían más el agua y compararlos.

Tabla 16. Resultados de la prueba de retentividad a los morteros.

PRUEBA RENTETIVIDAD DEL MORTERO			
TIPO DE MORTERO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	CAMBIO DE FLUJO
I	10	21.5	115.0
II	10	21.1	111.0
III	10	21.4	114.0



Ilustración 9. Ensayo de la retentividad del mortero.

IV.4. Fabricación de los especímenes o arreglos para prueba

En total se construyeron 108 pilas: 27 compuestas por 3 tabicones enteros, asentados uno sobre otro; usando cada uno de los morteros especificados en la Norma. Luego, se fabricaron otras 27 pilas compuestas por 3 tabicones enteros, asentados uno sobre otro pero traslapándolos. De igual manera, se construyeron otros 27 prismas de 2 bloques cada uno, asentados con los mismos 3 tipos diferentes de mortero, también traslapados y por último se fabricaron 27 especímenes, compuestos también con 2 unidades cada uno, pero orientados de manera transversal.



Ilustración 10. Algunos de los especímenes elaborados.

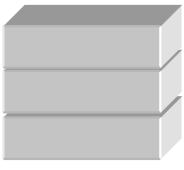



MODELO	MORTERO	FIGURA	
		No. DE PILAS	
ESPECIMEN 1	I	9	
	II	9	
	III	9	
ESPECIMEN 2	I	9	
	II	9	
	III	9	
ESPECIMEN 3	I	9	
	II	9	
	III	9	
ESPECIMEN 4	I	9	
	II	9	
	III	9	

Ilustración 11. Esquema de los arreglos construidos.

IV.5. Diseño y ensayo de los dispositivos de prueba

Como antecedente, habrá que decir que los estudios para establecer el comportamiento de muros de mampostería se iniciaron a finales de los años cincuenta y prácticamente han seguido casi de forma ininterrumpida hasta el presente, sus primeros resultados se incluyeron en el Reglamento de Construcciones de 1966 y se modificaron en el del 1977, haciéndose algunas modificaciones menores en las NTCM, emitidas en 1987 y 1995; en las NTCM que aparecerán en el 2003 se modifican algunos procedimientos de refuerzo y de diseño al tomar en cuenta nuevos tipos de piezas para mamposterías. También es importante hacer notar que en el caso de las características de las piezas, de los morteros y de las mamposterías que se dan como valores índice de resistencia en las normas, fueron obtenidos de estudios que datan de principios de los años 70 y aparecieron por primera vez en el Reglamento de 1977; estos valores han permanecido sin modificación desde esa fecha.

Curiosamente, después de los sismos de 1985, donde se demostró que las mamposterías diseñadas de acuerdo a las normas se comportaron de manera muy satisfactoria, si bien han aparecido piezas de muy buena calidad que sobrepasan las expectativas de las normas, en general la calidad de las mamposterías ha disminuido de manera alarmante (Castilleja, 1995 y Ruiz, 1995).

IV.5.1. Diseño y construcción de los dispositivos

Para la evaluación del esfuerzo de adherencia entre mortero y tabicón se diseñaron y construyeron dispositivos de prueba.

Como mencionamos anteriormente, la primera etapa en el proceso experimental fue caracterizar los mampuestos; posteriormente, se procedió a la fabricación de los prismas uniendo piezas de tabicón de aproximadamente 10x14x28cm., con diferentes tipos de mortero; el cemento utilizado para la fabricación de dicho mortero, fue cemento CPC 30R, cal hidratada y arena de mina de Saldarreaga, municipio del Marqués, en el estado de Querétaro. Como etapa final dentro del proyecto, se procedió a las mediciones de fuerza de adherencia de los prismas propuestos.

Para poder realizar las pruebas de adherencia fue necesario construir un dispositivo mecánico (modelo A) para la sujeción de los especímenes de mampostería a la máquina de prueba, para así poder aplicarle la carga a fin de lograr un deslizamiento de las piezas para entonces obtener la resistencia característica a la adherencia. El modelo A, se compuso con elementos placa de 3/8" (9.5mm); perfil angular lados iguales de 1 x 3/16"; varillas de 1/2", fijadas con tuercas hexagonales regulares también de 1/2".



Ilustración 12. Dispositivo para prueba de adherencia, Modelo A.

A efectos de simular la carga vertical sobre el muro, se consideró un análisis de baja de cargas que estuviera actuando sobre la pila (ver anexo), misma que fue simulada a través de las paredes del dispositivo, para confinar la pila por la carga, se utilizó un torquímetro. Luego de que el dispositivo estuvo concluido y de cumplirse los 28 días de edad de los especímenes se ensayaron aplicándoles carga y observando su comportamiento.



Ilustración 13. Confinamiento del dispositivo con ayuda el torquímetro.



Ilustración 14. Torquímetro.

Es interesante señalar que la idea concebida originalmente, en la mayoría de los casos es muy distinta del modelo construido pues al realizar el proyecto surgen condicionantes diversas que originan modificaciones y que buscan perfeccionamientos. Motivos normalmente económicos y de tiempo obligan a adoptar la solución que parezca más conveniente o preferible. Fue así como concluimos los trabajos con el dispositivo anterior (modelo A) y nos enfocamos a construir el nuevo dispositivo (modelo B).

El otro sistema propuesto (modelo B), consistía también de elementos placa de $\frac{1}{2}$ ", varillas espárrago de 7/16 y tuercas hexagonales regulares también de 7/16". El cual se ajusto a la maquina universal de tal manera que la carga aplicada sobre las piezas fuera empujándolas hasta lograr el desprendimiento de las mismas.



Ilustración 15. Dispositivo para prueba de adherencia, Modelo B.

IV.5.2. Ensayo de los arreglos ó especímenes.

Con el objeto de probar la adherencia entre el mortero y los tabicones de concreto se realizaron ensayos sobre pilas de mampostería. Como ya mencionamos, dichas pilas ó especímenes se construyeron con 3 tabicones enteros, asentando uno sobre otro traslapados, usando para la junta los tres tipos diferentes de morteros especificados en la norma. Con ayuda del modelo A, los especímenes se colocaron de tal manera que las piezas quedaran de manera vertical y se le aplicó carga sólo a una de ellas; dicha carga lograría el

deslizamiento de la pieza y observaríamos cual sería el tipo de mortero que pondría más resistencia.

También se construyeron otras pilas con 2 tabicones cada una asentándolos con los mismos 3 tipos de mortero pero orientados perpendicularmente. Ahora con la ayuda del segundo modelo; colocado el prisma dentro del dispositivo de sujeción, se procedió a ubicar este elemento en su posición final en la maquina universal para realizar la prueba de empuje. La prueba se llevó a cabo mediante un control de desplazamiento de de las piezas con ayuda de un micrómetro. A medida que se aplicaba la carga a cada espécimen, una persona monitoreaba y controlaba la carga a cada 5 Kg. aproximadamente. Mientras que otra persona leía la carátula del indicador de deslizamiento (micrómetro), registraba los datos y observaba los modos de falla del espécimen. Esto con la finalidad de que, a través de la prueba de empuje, pudiéramos obtener la carga máxima resistente de adherencia por el sistema propuesto antes de la falla.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS



Ilustración 16. V. Kandinsky. Varios círculos (1866-1944).

La estadística descriptiva en su función básica de reducir datos, propone una serie de indicadores que permiten tener una percepción rápida de lo que ocurre en un fenómeno. La primera gama de indicadores corresponde a las “Medidas de Tendencia Central”. Existen varios procedimientos para expresar matemáticamente las medidas de tendencia central, de los cuales, los más conocidos son: la media aritmética, la moda y la mediana.

Las medidas de tendencia central más comunes son:

1. La media aritmética: comúnmente conocida como media o promedio. Se representa por medio de una letra M en otros casos por una X con una línea en la parte superior.
2. La mediana: la cual es el puntaje que se ubica en el centro de una distribución. Se representa como Md .
3. La moda: que es el puntaje que se presenta con mayor frecuencia en una distribución. Se representa Mo .

De estas tres medidas de tendencia central, la media es reconocida como la mejor y más útil de las medidas de tendencia central. Sin embargo, cuando en una distribución se presentan casos cuyos puntajes son muy bajos o muy altos respecto al resto del grupo, es recomendable utilizar la mediana o la moda. (Porque dada las características de la media, ésta es afectada por los valores extremos. Se puede optar por no tomar en cuenta tales valores extremos y excluirlos de la observación, si se considera indispensable utilizar la media).

La media aritmética:

- La media aritmética es el promedio más comúnmente usado, este puede ser simple o ponderado.
- La media aritmética simple esta dada por la formula $\frac{\sum X}{n}$ y que significa: la suma de todos los valores dividida por el número de datos.

Media Aritmética Ponderada:

- Si los valores que toma x en una serie de datos, no todos tienen la misma importancia, es valido asignar "pesos" o "ponderaciones" de acuerdo a la importancia de cada dato.

La mediana:

- La mediana toma en cuenta la posición de los datos y se define como el valor central de una serie de datos o, más específicamente, como un valor tal que no más de la mitad de las observaciones son menores que el y no más de la mitad mayores.
- El primer paso es ordenar los datos de acuerdo a su magnitud, luego se determina el valor central de la serie y esa es la mediana. Si el número

de datos es par, existirán dos valores centrales y entonces la mediana se obtiene sacando el promedio de ellos.

La moda:

- La moda es el valor que aparece con mayor frecuencia en la serie de datos.
- La moda es una medida muy natural para describir un conjunto de datos; su concepto se adquiere fácilmente.
- Tiene la ventaja de que no se ve afectada por la presencia de valores altos o bajos.
- La principal limitación esta en el hecho de que requiere un número suficiente de observaciones para que se manifieste o se defina claramente.
- Otros inconvenientes son que puede darse el caso de que una determinada serie no tenga moda o que tenga varias modas.

V.1. Resultados obtenidos de las pruebas a los arreglos de mampostería.

Tabla 17. Resultados de resistencia a compresión, Arreglo 1.

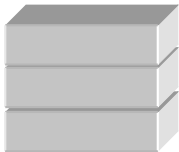
PIEZA No.	Resist. Compresion kg/cm2			Arreglo tipo 1
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III	
1	47.9	35.4	23.9	
2	40.8	34.9	24.5	
3	47.9	35.1	24.5	
4	34.9	41.4	37.1	
5	36.1	23.8	35.3	
6	36.8	33.6	33.0	
7	44.1	36.8	29.7	
8	46.7	36.8	41.6	
9	43.8	38.8	25.6	
Media aritmética (X):	42.11	35.18	30.58	
Mediana (Md):	43.80	35.40	29.70	
Moda (Mo):	47.9	36.80	24.50	

Tabla 18. Resultados de esfuerzo cortante, Arreglo 2.

PIEZA No.	Esfuerzo Cortante			Arreglo tipo 2
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III	
1	4.0	6.7	8.4	
2	4.6	6.7	9.3	
3	4.0	6.2	10.3	
4	5.1	6.6	10.6	
5	4.5	7.8	11.5	
6	5.4	6.1	9.3	
7	5.9	6.2	8.9	
8	6.0	6.4	7.5	
9	5.6	6.1	6.8	
Media aritmética (X):	5.01	6.53	9.18	
Mediana (Md):	5.10	6.40	9.30	
Moda (Mo):	4.00	6.70	9.30	

Tabla 19. Resultado de esfuerzo cortante, Arreglo 3.

PIEZA No.	Esfuerzo Cortante			Arreglo tipo 3
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III	
1	8.0	6.2	7.4	
2	6.7	6.3	6.9	
3	6.0	7.8	7.9	
4	7.1	6.8	5.8	
5	7.1	7.1	4.8	
6	7.9	6.8	5.4	
7	7.4	7.3	7.0	
8	6.5	6.8	5.8	
9	7.5	7.0	6.4	
Media aritmética (X):	7.13	6.90	6.38	
Mediana (Md):	7.10	6.80	6.40	
Moda (Mo):	7.1	6.80	5.80	

Tabla 20. Resultado de esfuerzo a tensión, Arreglo 4.

PIEZA No.	Esfuerzo a Tensión			Arreglo tipo 4
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III	
1	0.6	0.7	1.1	
2	0.6	0.8	1.0	
3	0.6	0.8	1.1	
4	0.5	0.7	0.9	
5	0.7	0.7	0.9	
6	0.6	0.9	0.9	
7	0.6	0.9	1.0	
8	0.6	0.8	1.0	
9	0.6	0.7	1.0	
Media aritmética (X):	0.60	0.78	0.99	
Mediana (Md):	0.60	0.80	1.00	
Moda (Mo):	0.6	0.70	1.00	

Sin embargo, las medidas de tendencia central no son suficientes para indicar como se distribuye una variable en una muestra. Se necesitan estadísticos que informen sobre la variabilidad o dispersión.

Cuando se tiene una serie de mediciones de observaciones realizadas en una investigación no basta con presentar la media o la mediana según sea el caso. Desde luego que la información no es despreciable, pero se requiere lograr información mas objetiva, por ejemplo saber como es la variación de dichas observaciones, es decir, como se dispersan, o se sitúan en el área bajo la curva.

Varias son las medidas estadísticas, que se utilizan para dar una idea clara de cómo es la dispersión o variación de las observaciones. Entre otras, el rango, extensión o amplitud, la desviación estándar, el coeficiente de variación, percentiles y el rango o amplitud intercuartil.

La diferencia entre la observación más grande y la mas pequeña es lo que se denomina rango, lo primero que se tiene que hacer es organizar los datos, por ejemplo en una grafica de tronco y hoja o bien una lista en orden ascendente o descendente. Se hace la operación aritmética y se obtiene un número que es el rango, esta información o número obtenido es poco útil, por

lo cual muchos autores al mencionar y exponer el rango, anotan los valores mínimo y máximo de la lista de observaciones, lo cual tiene mayor utilidad, porque nos indica de alguna forma como están dispersos los datos o más bien cual es la amplitud de la dispersión de las observaciones.

Desviación Típica: Permite medir la variabilidad usando una aproximación a las unidades originales.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}$$

Varianza: es el resultado obtenido, antes de extraer la raíz cuadrada

$$S_x^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n} = \frac{\sum x^2}{n}$$

Coeficiente de variación: Es un estadístico de dispersión que tiene la ventaja de que no lleva asociada ninguna unidad, por lo que nos permitirá decir entre dos muestras, cual es la que presenta mayor dispersión. Es decir, para comparar la variabilidad de grupos con medias muy distintas. CV como índice de representatividad de la media: a mayor CV, menor representatividad.

$$CV = \frac{S_x}{\bar{X}} \cdot 100$$

El concepto de bloques fue introducido por Fisher hacia 1925 en agricultura; observó que los campos experimentales en agricultura marcaban una heterogeneidad de fertilidad, lo que complicaba la asignación de los tratamientos de un punto a otro, de aquí que el bloque permita la partición de la variabilidad inherente en el campo experimental después de la asignación de los tratamientos en las siguientes componentes:

- i. Diferencias entre Tratamientos-Variación entre Tratamientos.
- ii. Variación dentro de bloques.
- iii. Variación entre bloques.

De esta forma nació el concepto de diseño en bloque completos aleatorizados (DBCA). El término bloque es usado más ampliamente para referirse a un grupo de UE que tienen un conjunto de características que "provocan" un problema efectivo de respuesta, una vez que han sido aplicados los tratamientos.

El DBCA busca básicamente ver en donde cada uno de los tratamientos, bajo estudio, es aplicado a distintas UE en cada uno de los bloques; por tal razón el número de UE por bloques es constante, por ejemplo, t .

Por consiguiente, en los DBCA las UE a las que se aplican los tratamientos, son subdivididas en grupos homogéneos llamados bloques, de tal manera que el número de unidades experimentales dentro de un bloque es igual al número (o a un múltiplo del mismo) de tratamientos en estudio. Una vez caracterizados los bloques se asignan los tratamientos en forma aleatoria a las UE dentro de cada bloque. Es necesario hacer notar que en este arreglo, cada uno de los tratamientos aparece en todos los bloques, y cada bloque recibe todos los tratamientos.

Se presenta a continuación el modelo superparametrizado para identificar el DBCA; dejando el modelo de estructura de medias para el caso de dos factores de clasificación y sin interacción.

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ijk}$$

donde $i = 1; \dots; t$ número de tratamientos, $j = 1; \dots; b$ número de bloques y $k = 1; \dots; n_{ij}$ número de réplicas.

El análisis de varianza se origina de la partición de la suma de cuadrados corregida por la media en tres sumas de cuadrados independientes: la primera, debido a la variabilidad entre los bloques, la segunda debida a la variabilidad entre los tratamientos ajustada por bloques y la tercera, debida a la variación dentro tratamientos y bloques.

Consideramos que nuestro caso, corresponde a un DBCA, al comparar todos los resultados arrojados, decidimos nombrar t al número de tipos de morteros, que es igual a 3; b al número de bloques o arreglos, que son 4 los diferentes acomodados que tuvimos de las piezas y k=9, el número de repeticiones o ensayos que realizamos.

Por lo tanto, se realizó un análisis de resultados, con ayuda del software Statgraphics Plus 5.0, una herramienta que nos permitió obtener el análisis de la varianza del modo mencionado anteriormente, de ahí obtuvimos la siguiente tabla:

Tabla 21. Tabla ANOVA de compresión simple.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón F	Valor P
Tipo de mortero	172.486	2	86.2429	30.5	0.0339
Bloques o Arreglos	37617.1	2	12539.0	508.82	0.0000
Residual	2513.63	102	24.6435		
Total	40303.2	107			

De la tabla mostrada anteriormente, obtuvimos el valor de F, que nos dio de 30.5, utilizando éste, se calculó el valor de P que nos dio .0339, valor que es menor que 0.05, con lo cual podemos concluir que existe una diferencia significativa entre las variables estudiadas, con un nivel de confiabilidad del 95%.

De lo anterior concluimos que existe una mayor variabilidad entre las unidades de los diferentes arreglos, que entre unidades observadas dentro del mismo arreglo. Por lo que es recomendable darle una mayor importancia al submuestreo en los arreglos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque es deseable obtener resultados de ensayos a especímenes a escala natural, no siempre es posible hacerlo ya que existen varios factores que los limitan, el económico, principalmente; por lo tanto, si se pretende establecer criterios generales para estimar el comportamiento mecánico de la mampostería, en muchas ocasiones, como es nuestro caso, es necesario efectuar ensayos simples en pequeños conjunto de pieza y mortero, y con los materiales más comúnmente utilizados, obteniendo entonces, valores representativos de sus propiedades mecánicas elementales para así estudiar sus mecanismos de falla ante las sollicitaciones básicas.

De acuerdo con datos obtenidos fue posible realizar un análisis de resultados a fin de compararlos con los valores que especifican las normas, y así determinar el cumplimiento o no de las mismas; aplicando la estadística para determinar el comportamiento de los resultados. Por ejemplo, se procedió a aplicar los métodos de prueba correspondientes a las normas y las propiedades mecánicas y físicas de las piezas individuales obtenidas fueron: peso volumétrico 1329 kg/cm³, módulo de ruptura 13 kg/cm², resistencia a compresión 48 kg/cm², absorción de agua 27 %. Comparándolos con los valores permisibles de la norma NMX-C-404-ONNCCE en la cual se observa que el peso volumétrico 1500 kg/cm³, modulo de ruptura tiene que ser de 8 kg/cm², la resistencia a compresión de 100 kg/cm² y absorción de agua entre 9 y 20 %, por lo que dichos parámetros son muy diferentes a los que obtuvimos en nuestra investigación.

Por lo tanto, concluimos que en la producción de las piezas individuales de tabicón, en la región de Querétaro, existe una gran diversidad, desde la materia prima utilizada para su fabricación como en los resultados finales, abarcando algunas de sus propiedades físicas como las dimensiones y/o índice de absorción, hasta sus propiedades mecánicas, como sus módulos de ruptura y/o compresión. Por lo que se pudiera sugerir que se implementara un elevado control de calidad dentro de los fabricantes de los materiales

usados en la construcción, así como adecuar las normas mexicanas a las necesidades de cada región.

También existe una gran variabilidad en los morteros que se utilizan para la juntas de las piezas, ya que frecuentemente están integrados por componentes tan básicos como el cemento, la cal, arena y agua; los cuales también podríamos afirmar sin miedo a equivocarnos, que varían de región a región del país. Por lo tanto, se dificulta establecer una descripción general del comportamiento mecánico de la mampostería, y en muchas ocasiones hace poco confiable la aplicación de conclusiones obtenidas de resultados de un tipo de mampostería a otro.

El esfuerzo de adherencia mayor se obtuvo en los arreglos 2 y 4 con juntas de mortero tipo iii. Sin embargo, en el arreglo 3 no se percibieron diferencias significativas con respecto al tipo de mortero usado. Por lo tanto, pudiéramos concluir que además del tipo de mortero usado en las juntas, también existe un efecto sobre la adherencia por el tipo de arreglo de que se trate o ensaye.

También como supusimos, las características físicas influyen sobre el esfuerzo de adherencia e interacción pieza-mortero, esto lo pudimos comprobar al observar la rugosidad de la superficie de las piezas al ensayarlas, ya que pudimos observar que en varias ocasiones ésta impidió la penetración del mortero en los poros. Lo mismo sucedió con el comportamiento frágil de unidades, que en algunas ocasiones nos impidió evaluar el esfuerzo de adherencia

Por último, sabemos que los dispositivos (modelo a y modelo b) utilizados este trabajo de investigación para medir el esfuerzo de adherencia entre las piezas de tabicón y el mortero, pudieran perfeccionarse a fin de incluir otros parámetros en la medición de nuestra interacción piezas-mortero y/o para poderlos usar no solo en los tabicones sino en piezas con otras dimensiones y características físicas como los ladrillos.

REFERENCIAS

- Barberá X. 2006. Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales.
- Barrera V. H., Luna G. P., Faúndez V. D. Estudio de los morteros de junta, según NCH 2256/1, bajo la óptica de la adherencia.
- Bonett Díaz, 2003. Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada.
- Enríquez Cerón E. R. 2002. Mampostería con lodos primarios de papel.
- Fundación ICA, A.C. 2003. Edificaciones de mampostería para vivienda.
- Jaramillo J. D. 2002. Mecanismo de transmisión de cargas perpendiculares al plano del muro en muros de mampostería no reforzada. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT, A.A. 3300, Medellín, Colombia.
- Khalaf F. M. 2005. New Test for Determination of Mansory Tensile bond Strength. Journal of materials in civil engineering.
- Lourenco P. B. 2001. Analysis of Mansory Structures with Interface Elements. Delft Univ. Techno. Faculty of Civil Engineering. Report no. 03-21-22-0-01.
- M. Astroza I., M. Muñoz. 2008. Estudio sobre la resistencia de adherencia de la albañilería en Chile.
- R. van der Pluijm, 1992. Material properties of masonry and its components under tension and shear, Saskatchewan.
- Rochelle Jaffe. (2004). La Mezcla en Mampostería: Entendiendo el mortero y la mampostería.
- Rodríguez M. E. 2004. Un enfoque alternativo para la evaluación y diseño de edificaciones de mampostería en zonas sísmicas. Revista de Ingeniería Sísmica No. 70, 27-58.
- Salamanca Correa R. 2004. La tecnología de los morteros.
- San Bartolomé A. 1994. Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial PUCP.
- San Bartolomé a, Romero C. y Torres J. C. 1998. Mejora de la adherencia bloque-mortero. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Serrano Gutierrez G. René 1994. Manual de prácticas de materiales de construcción. Laboratorio de materiales, edición interna de la FI-UAQ.

V. Bosiljkov. 2006. Micro vs. Macro reinforcement of brick work masonry. Materials and Structures.

Revista de Ingeniería Sísmica 2002. No. 67 53-78.

Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007:

E 51. Standard Test Method for diagonal tension (shear) on masonry assemblages.

C 67. Standard Test Method for Sampling and testing brick and structural clay tile.

C91. Standard Specification for Masonry Cement.

C109. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.

C110. Standard Test Method for Physical Testing of Quicklime, Hydrated, and Limestone.

C140. Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units.

C144. Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar.

C207. Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes.

C230. Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement.

C270. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry.

E 518. Standard Test Method for flexural bond strength of masonry.

C 519. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.

C780. Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and.

C 952. Standard Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units.

C 1006. Standard Test Method for Splitting tensile strength of masonry units.

C 1072. Standard Test Method for Measurement of masonry flexural bond strength.

C1329. Standard Specification for Mortar Cement.

C1384. Standard Specification for Admixtures for Masonry Mortars

NMX-C-024-ONNCCE-2005. Determinación de la contracción por secado de los bloques, ladrillos, tabiques y tabicones de concreto.

NMX-C-036-ONNCCE-2005. Industria de la construcción - bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines - resistencia a compresión -método de prueba.

NMX-C-037-ONNCCE-2005. Industria de la construcción - bloques, tabiques o ladrillos y tabicones - determinación de la absorción de agua y absorción máxima inicial de agua.

NMX-C-038-ONNCCE-2004. Industria de la construcción - determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones para la construcción.

NMX-C-082-1974. Determinación del esfuerzo de adherencia de los ladrillos cerámicos y el mortero de las juntas.

NMX-C-085-ONNCCE-2002. Industria de la construcción - cementos hidráulicos - método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos.

NMX-C-404-ONNCCE-2005. Industria de la construcción - bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - especificaciones y métodos de prueba.

APENDICE

Tabla 22. Pesos y Dimensiones de las piezas de tabicón de la Bloquera Queretana.

BLOQUERA QUERETANA					
PIEZA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO HÚMEDO Wh (gr)	PESO SECO Wd (gr)
1	23.0	13.2	10.0	4767.9	4339.2
2	22.8	13.3	10.1	4474.5	4155.7
3	23.0	13.2	10.0	4880.8	4522.7
4	22.8	13.1	10.1	5011.7	4685.4
5	22.9	13.6	10.0	4917.4	4468.3
6	23.0	14.0	10.0	4870.8	4536.6
7	23.0	13.0	10.0	4575.5	4270.9
8	23.0	14.0	10.0	4895.2	4556.7
9	23.0	13.3	9.8	4794.5	3467.1
10	23.0	13.0	10.0	5092.1	4706.7
Media aritmética (X):	23.0	13.4	10.0	4828.0	4370.9
Mediana (Md):	23.0	13.3	10.0	4875.8	4495.5
Moda (Mo):	23.0	13.2	10.0	-	-

Tabla 23. Pesos y Dimensiones de las piezas de tabicón del Grupo Avarsa.

GRUPO AVARSA					
PIEZA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO HÚMEDO Wh (gr)	PESO SECO Wd (gr)
1	23.1	14.2	10.1	4997.2	4609.4
2	22.8	14.3	10.3	4823.4	4383.3
3	23.0	14.1	10.0	4978.0	4536.1
4	22.9	14.0	10.0	5121.4	4614.5
5	22.7	14.0	10.1	4877.4	4382.3
6	22.8	14.3	10.0	4864.8	4470.2
7	23.0	14.1	10.0	4975.5	4619.7
8	22.8	14.0	10.0	4883.2	4589.2
9	22.7	14.0	10.2	4864.5	4537.5
10	22.8	14.0	9.8	5002.3	4506.9
Media aritmética (X):	22.9	14.1	10.1	4938.8	4524.9
Mediana (Md):	22.8	14.1	10.0	4929.4	4536.8
Moda (Mo):	22.8	14.0	10.0	-	-

Tabla 24. Pesos y Dimensiones del Grupo Condor.

GRUPO CONDOR					
PIEZA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO HÚMEDO Wh (gr)	PESO SECO Wd (gr)
1	27	13.6	10	3767.9	3488.6
2	27	13.5	10.1	4674.5	4054.2
3	27	13.6	10.1	4998	4640
4	27	13.3	10	5100.2	4403.4
5	27	13.5	10	4991.3	4150
6	27	13.5	10.1	5070.8	4716.8
7	27	13.5	9.9	4485.7	4000.8
8	27	13.3	10.1	5401.5	4742.6
9	27	13.5	10	4994.5	4192.2
10	27	13.6	10.2	4992.1	4289
Media aritmética (X):	27.0	13.5	10.1	4847.7	4267.8
Mediana (Md):	27.0	13.5	10.1	4993.3	4240.6
Moda (Mo):	27.0	13.5	10.0	-	-

Tabla 25. Resultados de los pesos volumétricos de las piezas de tabicón.

	BLOQUERA QUERETANA (kg/m ³)	GRUPO AVARSA (kg/m ³)	GRUPO CONDOR (kg/m ³)
1	1429	1399	950
2	1357	1305	1101
3	1490	1399	1251
4	1553	1439	1226
5	1435	1365	1139
6	1409	1371	1281
7	1428	1425	1109
8	1415	1438	1308
9	1157	1400	1150
10	1574	1441	1150
Media aritmética (X):	1425	1397	1166
Mediana (Md):	1429	1399	1150
Moda (Mo):	-	1399	1150

Tabla 26. Resultados de los porcentajes de absorción a 24 horas de las piezas de tabicón.

	BLOQUERA QUERETANA (%)	GRUPO AVARSA (%)	GRUPO CONDOR (%)
1	21	25	26
2	21	23	30
3	33	23	28
4	41	17	29
5	44	29	29
6	35	28	29
7	14	19	31
8	29	21	29
9	26	24	30
10	28	25	31
Media aritmética (X):	29	23	29
Mediana (Md):	29	23	29
Moda (Mo):	21	23	29

Tabla 27. Resultados de los coeficientes de saturación inicial de las piezas de tabicón.

	BLOQUERA QUERETANA (g/min)	GRUPO AVARSA (g/min)	GRUPO CONDOR (g/min)
1	3	1	1
2	4	1	1
3	2	1	1
4	2	1	1
5	2	1	2
6	2	1	1
7	4	1	1
8	2	1	1
9	2	1	1
10	2	1	1
Media aritmética (X):	3	1	1
Mediana (Md):	2	1	1
Moda (Mo):	2	1	1

Tabla 28. Resultados de absorción máxima inicial de las piezas de tabicón.

	BLOQUERA QUERETANA (g/min)	GRUPO AVARSA (g/min)	GRUPO CONDOR (g/min)
1	46	50	39
2	32	40	39
3	30	49	39
4	33	59	65
5	75	33	40
6	61	42	32
7	34	59	72
8	47	64	60
9	66	52	60
10	32	38	36
Media aritmética (X):	46	49	48
Mediana (Md):	40	49	40
Moda (Mo):	32	49	39

Tabla 29. Resultados de los módulos de ruptura de las piezas de tabicón.

	BLOQUERA QUERETANA (kg/cm2)	GRUPO AVARSA (kg/cm2)	GRUPO CONDOR (kg/cm2)
1	7	19	10
2	16	17	10
3	16	19	10
4	17	12	11
5	15	13	11
6	10	16	11
7	7	18	6
8	9	17	12
9	21	18	10
10	17	15	9
Media aritmética (X):	13	16	10
Mediana (Md):	15	17	10
Moda (Mo):	16	17	10

Tabla 30. Resultados de la prueba a compresión de las piezas de tabicón.

	BLOQUERA QUERETANA	GRUPO AVARSA	GRUPO CONDOR
1	51	63	43
2	55	63	46
3	78	62	52
4	82	67	53
5	51	62	46
6	25	55	54
7	52	69	49
8	36	78	55
9	63	48	50
10	55	66	45
Media aritmética (X):	55	63	49
Mediana (Md):	53	63	50
Moda (Mo):	55	63	46



Ilustración 17. Ensayo del módulo de ruptura de las piezas de tabicón.



Ilustración 18. Ensayo de la prueba a compresión de las piezas de tabicón.



Ilustración 19. Prueba de absorción inicial de las piezas de tabicón.



Ilustración 20. Prueba de absorción de las piezas de tabicón.



Ilustración 21. Caracterización de la arena.



Ilustración 22. Caracterización de la arena.



Ilustración 23. Elaboración del mortero y prueba de retentividad.



Ilustración 24. Elaboración de los cilindros de mortero.



Ilustración 25. Cabeceo de los cilindros de mortero para la prueba a compresión.



Ilustración 26. Prueba a compresión de los morteros.



Ilustración 27. Arreglos de las piezas de tabicón.



Ilustración 28. Diseño y construcción de los dispositivos de prueba.



Ilustración 29. Acomodo de los especímenes para ensayarlos.



Ilustración 30. Ensayo de los especímenes de prueba.

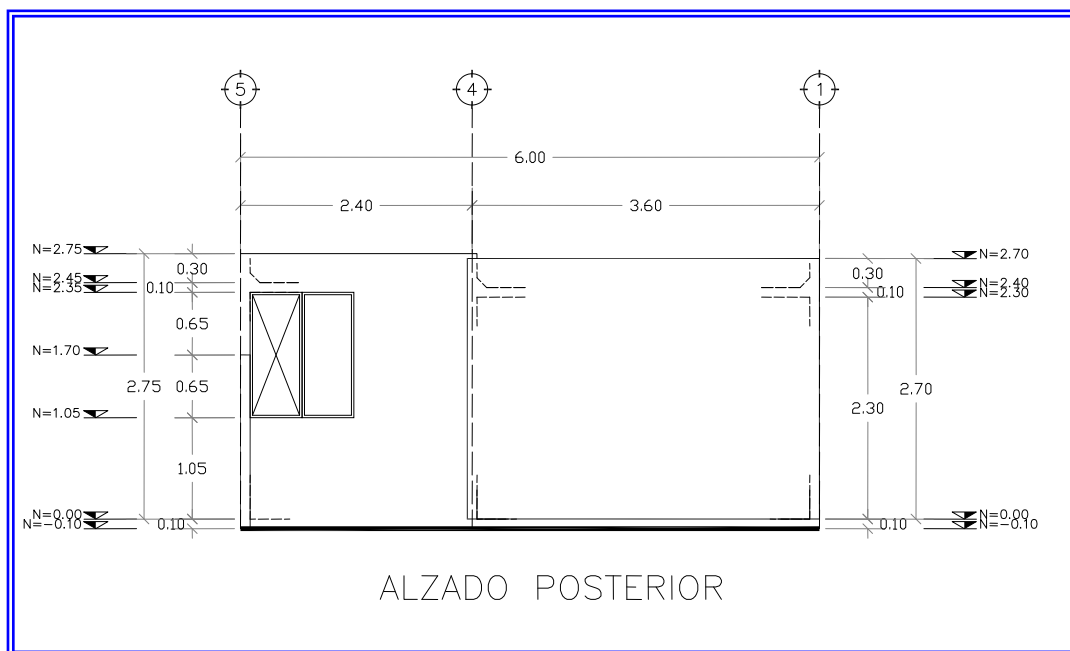
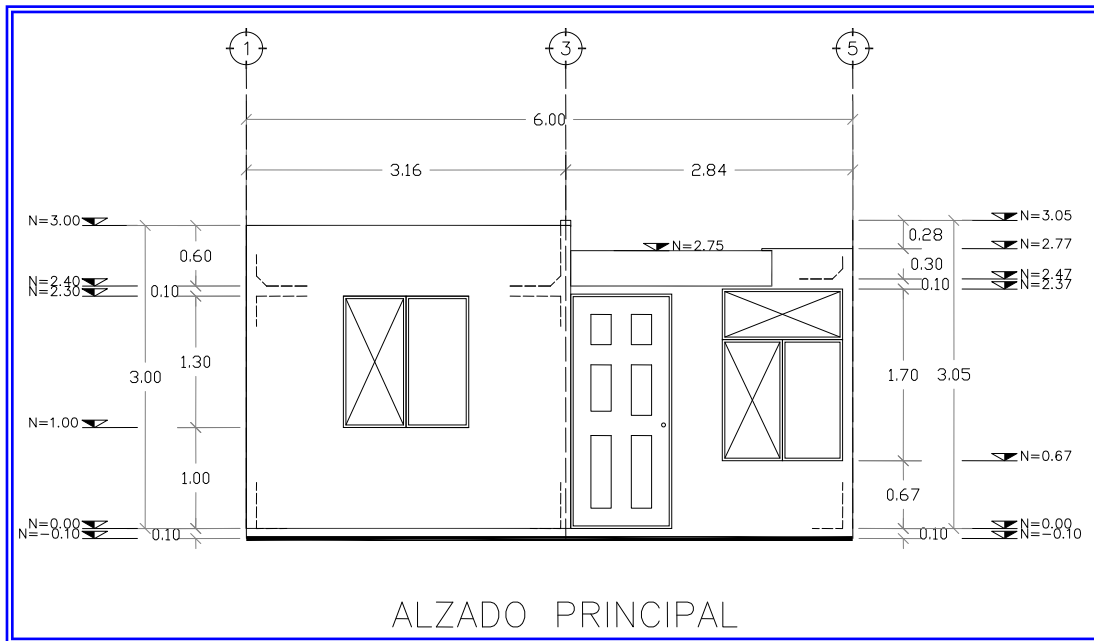


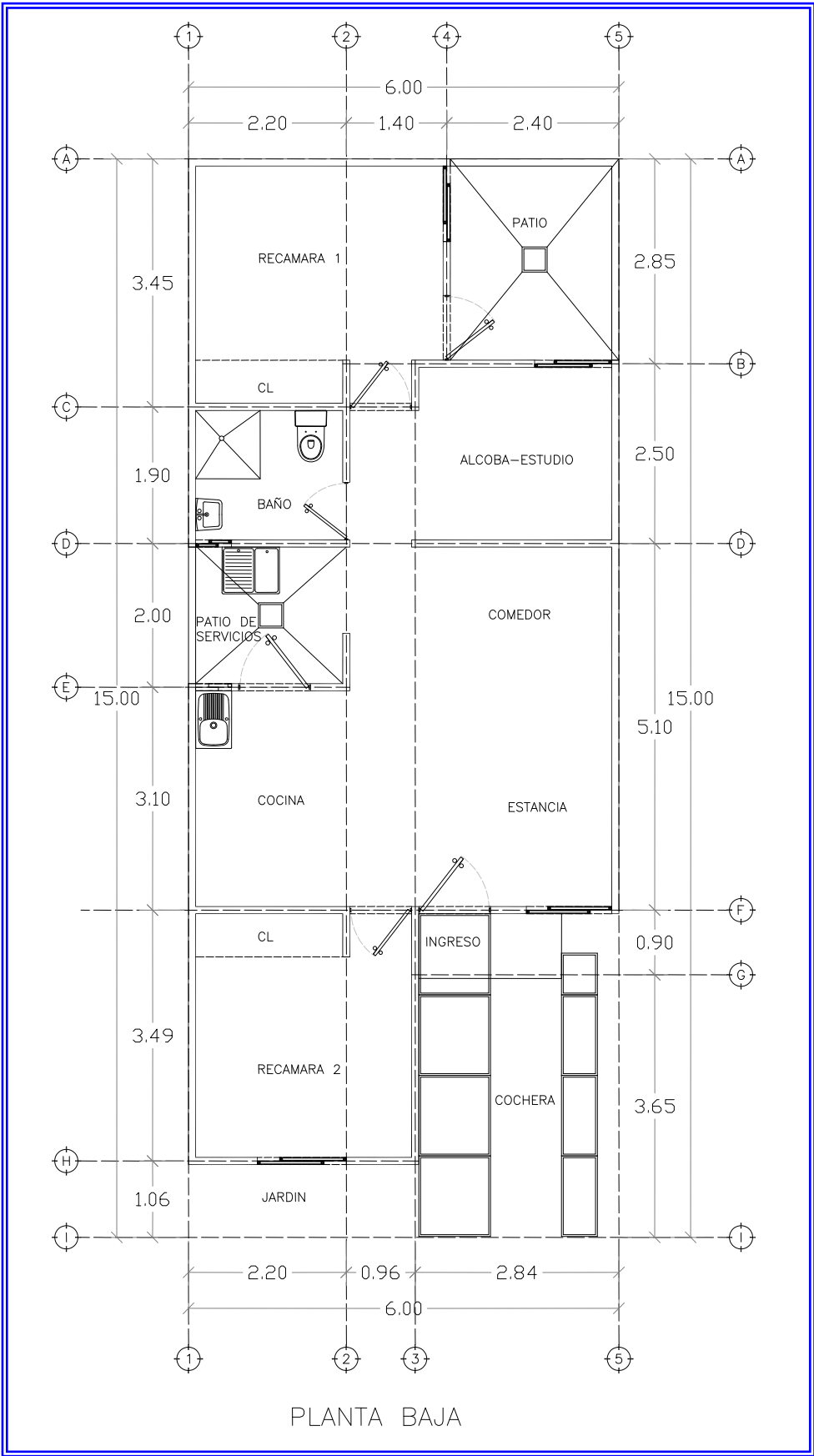
Ilustración 31. Especímenes ensayados.

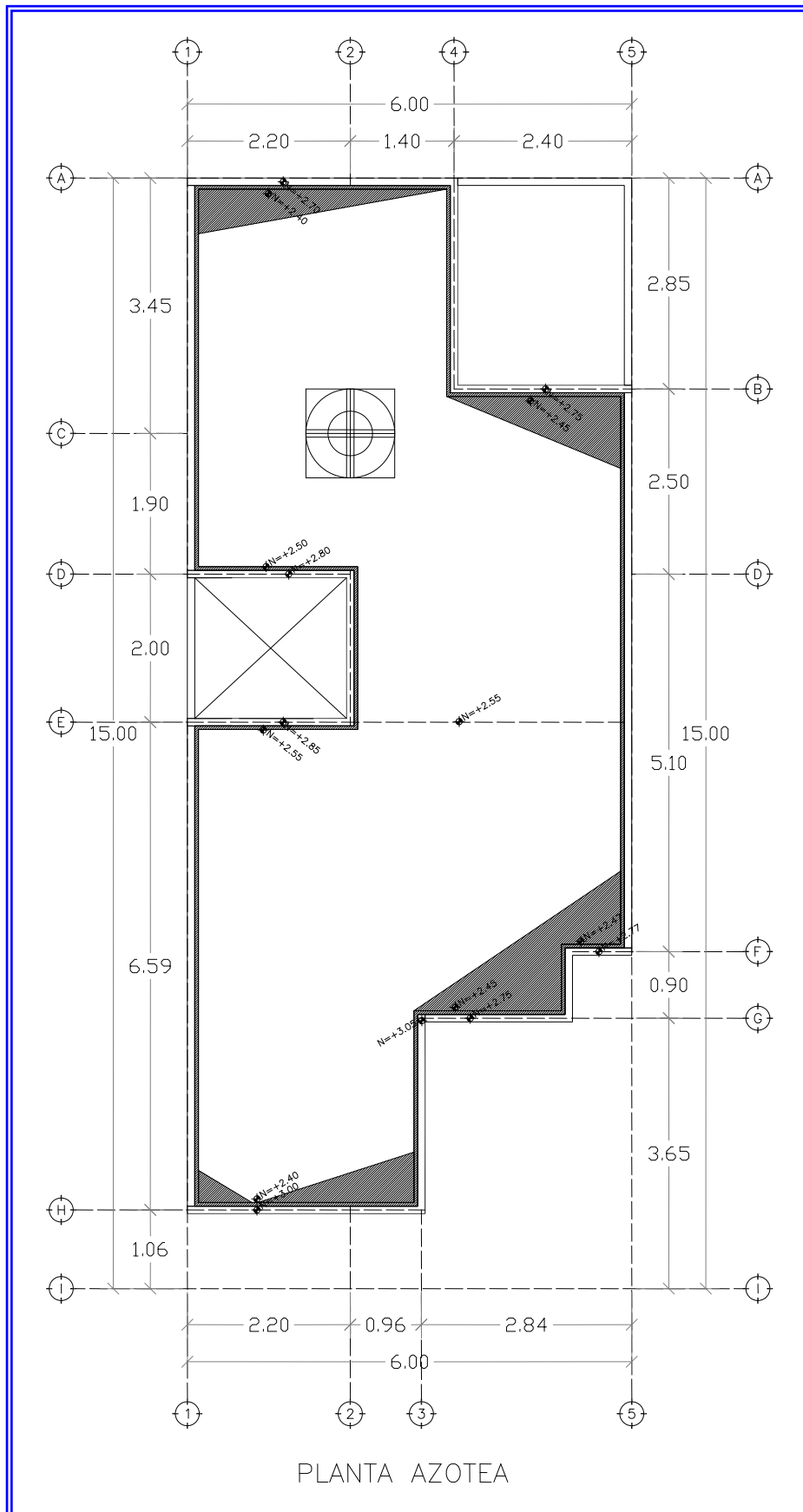
ANEXO

A fin de estudiar un tipo de vivienda que fuese representativa, se seleccionó como prototipo la vivienda de INFONAVIT tipo Coral Plus 2 Recámaras 1 Alcoba COR-2R1A, del Grupo Dinámica, ubicada en el Fraccionamiento la Cantera en la ciudad de Tepic, Nayarit. Esta vivienda es de un nivel, tiene dos recámaras, una alcoba-estudio y la superficie total de construcción es de 65.14 m².

CALCULO DE TRANSMISIÓN Y BAJADA DE CARGAS DEL PROYECTO







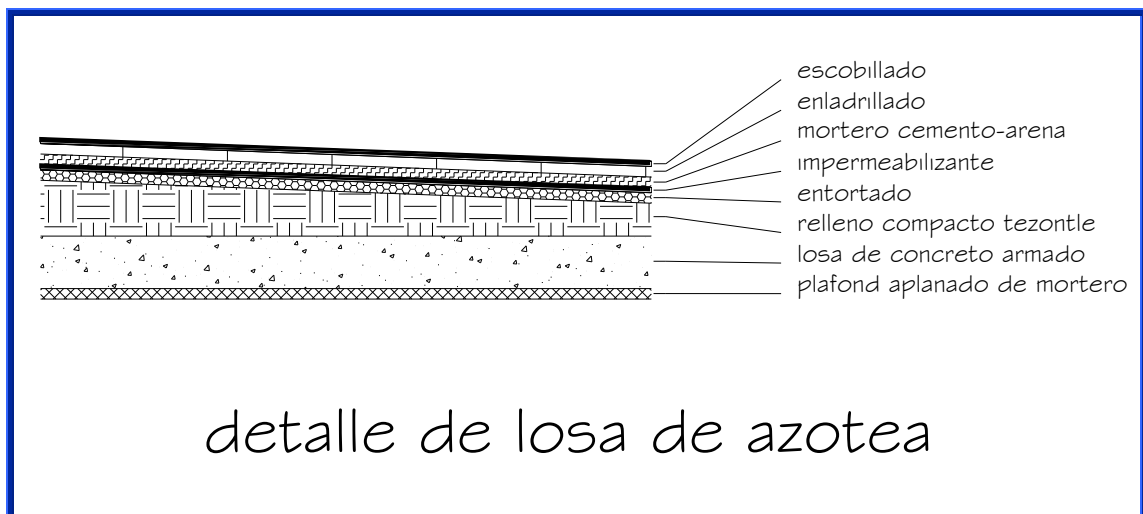
SUPERFICIES
90.00 m2 de terreno tipo.
65.14 m2 de construcción.

ESPECIFICACIONES	
	Vivienda de un nivel.
	Sistema Constructivo: tabicón de barro o block sólido 10x14x28.
	Losa de concreto.
	Altura de entrepiso 2.30 mts.
	2 recámaras y 1 alcoba-estudio.
	1 baño completo con wc, lavabo y accesorios.
	Acabados: muros y losas con yeso-pasta texturizada y pintura vinilica.
	Piso interior con Vitropiso.
	Huellas de concreto en cochera.
	Pasto en cochera.
	Ventanería en aluminio.
	Cocina Integral, incluye tarja, estufa y campana.
	Baño con wc, lavabo y accesorios.
	2 patios, uno de servicios con lavadero y calentador.
	Closet de recámaras sin equipar.
	Impermeabilizante doble asfáltico base de agua o termodifusión prefabricado.
	* No incluye línea telefónica.
	* No incluye tanque estacionario ni cilindro de gas.
	* No incluye protecciones.

MATERIAL	PASO VOLUMÉTRICO Kg.m ³	MATERIAL	PASO VOLUMÉTRICO Kg.m ³
Basalto	2200	Mortero de cal y arena	1500
Piedra brasa	1800	Yeso	1500
Tezontle	1300	Maderas tropicales	1000
Tepetate	1100	Madera de pino	800
Concreto simple	2200	Ocote	600
Concreto reforzado	2400	Plomo	11400
Tabique rojo macizo (prensado)	1800	Cobre	8900
Tabique rojo hecho a mano	1500	Acero	7850
Tabique rojo hueco prensado	900	Fierro dulce	7800
Tabique rojo hecho a mano	1200	Acero laminado	7600
Tabique ligero de cemento macizo	900	Fierro fundido	7200
Tabique ligero hueco de cemento	800	Vidrio	1800
Ladrillo rojo prensado	1800	Prismáticos	2000
Ladrillo hecho a mano	1500	Empuje de tierra	1600
Adobe	1400	Tierra y arena mojada	2100
Mosaico	2000	Grava mojada	2000
Azulejo	1800	Arena y grava seca	1600
Piso de terrazo	1800	Tierra húmeda suelta	1300
Mortero de cemento y arena	2000	Tierra suelta y seca	1200
Lechada de cemento	2100	Tepetate en grano	800
Mortero de cemento y cal	1900	Arena pómez	700

- **ANÁLISIS DE CARGAS**

Losa de azotea



1. APLANADO DE YESO

2. LOSA DE CONCRETO
3. RELLENO DE TEZONTLE
4. ENTORTADO DE CEMENTO-ARENA
5. IMPERMEABILIZANTE
6. MORTERO DE CEMENTO-ARENA
7. ENLADRILLADO
8. ESCOBILLADO DE CEMENTO

Concepto	Volumen	Kg/m²
Aplanado de yeso	(1)(1)(0.02)(1500)	30.00
Losa de concreto	(1)(1)(0.13)(2400)	312.00
Relleno de tezontle	(1)(1)(0.10)(1300)	130.00
Entortado de cemento-arena	(1)(1)(0.02)(2000)	40.00
Impermeabilizante		5.00
Mortero de cemento-arena	(1)(1)(0.02)(2000)	40.00
Enladrillado	(1)(1)(0.02)(1500)	30.00
Escobillado de cemento	(1)(1)(0.007)(1900)	13.3
	Carga muerta	600.3

DISEÑO CARGA PERMANENTE

DISEÑO POR CARGA ACCIDENTAL

Carga muerta	600.30	Carga muerta	602.30
Carga viva	100.00	Carga accidental	70.00
CARGA TOTAL	700.30	CARGA TOTAL	670.30

Según las NTCDF se considerara para losa de azotea por carga permanente una carga viva de 100kg/m² considerando una carga viva máxima Wm (inciso g tabla 6.1).

Se considero una carga viva accidental Wa=70Kg/m² para cubiertas con pendiente menor al 5%.

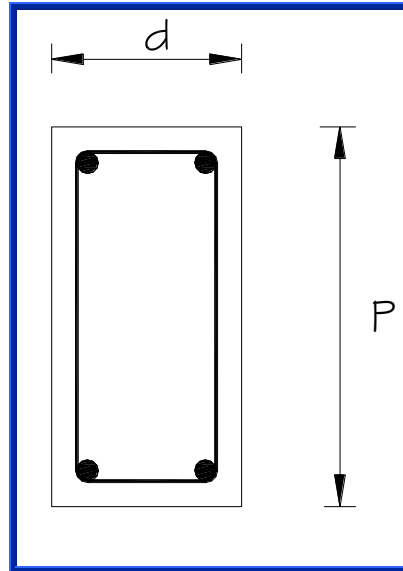
Carga total de la losa de azotea = 700.30 kg/m²

POR CARGA PERMANENTE

Carga total de la losa de azotea = 670.30 kg/m²

POR CARGA ACCIDENTAL

CONSIDERAMOS LA TRABE DE: $p = 25\text{cm}$ $d = 15\text{cm}$



PESO DE LA TRABE EN kg/m:

$$P_{TRABE} = P_{VOL} \times P \times d$$

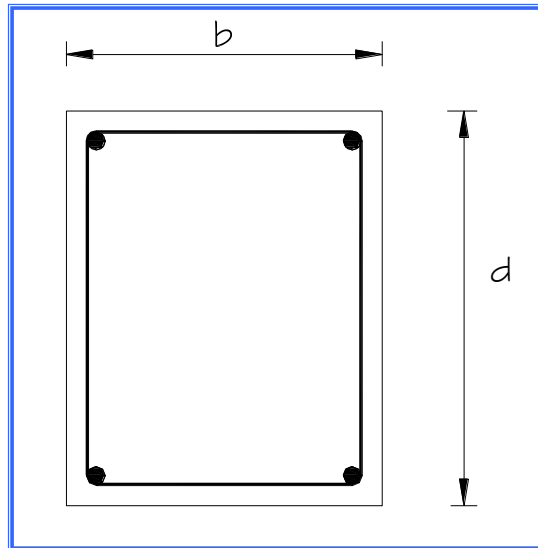
$$P_{TRABE} = (2400) \times (0.25) \times (0.15) = 90 \text{ kg/ml}$$

- PESO DE LA TRABE POR ML.

Concepto	Volumen	Kg/m
Peso de la trabe	$(0.25)(0.15) (2400)$	90.00
Peso del yeso	$[(0.01)(0.15)(2)+(0.25)(0.01)2] (1500)(1)$	12.0
	total	102.0

Carga de la trabe = 102.00 kg/m

CONSIDERAMOS LA SECCIÓN DEL CASTILLO DE: $b = 15\text{cm}$ $d = 15\text{cm}$



PESO DEL CASTILLO EN kg/m:

$$P_{CASTILLO} = P_{VOL} \times b \times d$$

$$P_{TRABE} = (2400) \times (0.15) \times (0.15) = 54 \text{ kg/ml}$$

- PESO DEL CASTILLO POR ML.

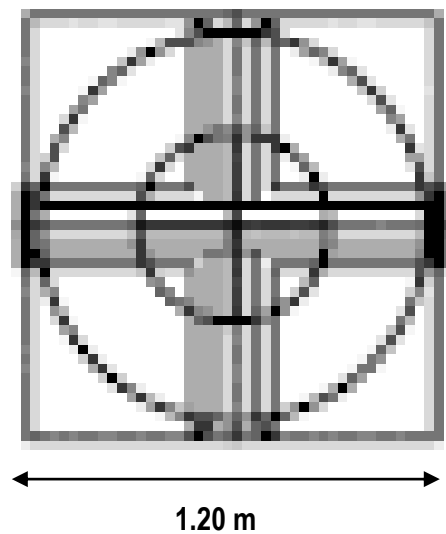
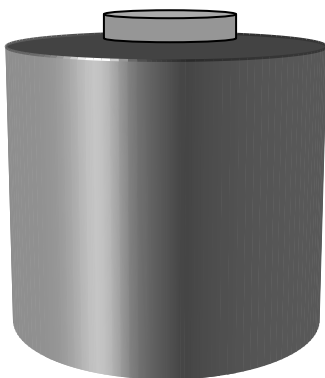
Concepto	Volumen	Kg/m ²
Peso del castillo	(1)(0.15)(0.15)(2400)	54.00
Peso del yeso	(2)(0.01)(0.15)(1500)	4.50
Peso del mortero	(2)(0.01)(0.15)(2000)	6.00
	total	64.50

$$Carga_de_castillo = 64.50 \text{ kg/m}$$

- PESO DE MURO POR ML.

Concepto	Volumen	Kg
Peso del yeso	(1)(1)(0.02)(1500)	30.00
Peso del tabique	(1)(1)(0.14)(900)	126.00
Peso del mortero	(1)(1)(0.02)(2000)	40.00
	total	196.00

- PESO DE TINACO



Este se encuentra entre los ejes 1 – 4 y A – D; exactamente en la intersección del eje 2 con el C.

Análisis

Concepto	Volumen	TON
Losa de concreto	(1.20)(1.20)(0.10)(2400)	0.35
Bases de muro de tabique ligero de cemento macizo y aplanado con mortero por ambos lados	[(1.20)(0.50)(700.3 kg/m ²)] x 2	0.84
Peso de tinaco + Agua (considerado tinaco 1100 m ³)	(220) + (1100)	1.32
	Total	2.51

peso de tinaco y bases = 2.52 Ton

CARGAS SOBRE AZOTEA

Elemento	Área (m ²)	W por m ² (Kg/m ²)	Operación	Ton	
Losa de azotea	62.76	700.3	(62.76)*(700.3)	43.95	
Elemento	Longitud (m)	W por m (Kg/m)	Operación	Ton	
Trabes de cerramiento	44.25	102.0	(44.25)*(102.0)	4.51	
Elemento	Longitud (m)	Altura (m)	W por m ² (Kg/m ²)	Operación	Ton
Muros pretil	20.95	0.40	700.3	(20.95)*(0.40)*(700.3)	5.87
Total cargas sobre azotea				54.33	

EJE C TRAMO 1-3

- AREAS TRIBUTARIAS

$$\text{Area del triángulo} = \frac{a_1^2}{4}$$

$$\text{Area del trapecio} = \frac{a_1 a_2}{2} - \text{área del triángulo}$$

$$A_1 = \frac{(3.45)^2}{4.00} = 2.98m^2$$

$$A_1' = \frac{(3.45) \times (3.59)}{2.00} = 6.19 - 2.98 = 3.21m^2$$

$$A_2 = \frac{(1.90)^2}{4.00} = 0.90m^2$$

$$A_2' = \frac{(1.90) \times (2.19)}{2.00} = 2.08 - 0.90 = 1.18m^2$$

$$W_{TRABE} = \text{longitud}_{TRABE} \times W_{TRABE \text{ POR ML}} = 3.16 m \times 102 kg / m = 322.32 kg$$

$$W_{CASTILLO} = \text{longitud}_{CASTILLO} \times W_{CASTILLO \text{ POR ML}} = 2.30 m \times 64.50 kg / m = 148.35 kg$$

*EN ESTA AREA SE LOCALIZA EL TINACO POR LO QUE

ESTA TRABE CARGA LA MITAD DEL PESO DEL TINACO P= 1.255 Ton DIVIDIDO ENTRE LA LONGITUD DE 1.20 m DE LA LOSA POR LO TANTO

Concepto	Operación	Ton
Peso de losa	$(700.3 \text{ Kg/m}^2)(3.21\text{m}^2)=2.25$ +	3.08
Peso trabe	$(700.3 \text{ Kg/m}^2)(1.18\text{m}^2)=0.83$ 322.32 kg	0.32
Peso castillos	148.35 kg x 2.0 castillos	0.29
*Porción de tinaco	$(1.255 \text{ Ton}) / (1.20 \text{ m})$	1.05
	Total carga muro	4.74