



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

***“ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE
EDIFICIOS COLONIALES DE LA CIUDAD DE
MÉXICO”***

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
RANGEL GONZÁLEZ MARISOL

TESIS DIRIGIDA POR:
DR. FERNANDO PEÑA MONDRAGÓN



MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/049/04

Señorita
MARISOL RANGEL GONZÁLEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. FERNANDO PEÑA MONDRAGÓN, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE EDIFICIOS COLONIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. CIMENTACIONES
- III. SISTEMA DE PISO Y CUBIERTA
- IV. SISTEMA DE SOPORTE
- V. CÁLCULO GENERAL DE PESO DE LOS SISTEMAS
- VI. CONCLUSIONES
- REFERENCIAS
- ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitario a 22 de abril de 2004.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/AJP/crc

*Mi sincera gratitud al
Dr. Fernando Peña Mondragón
por orientarme en el desarrollo de la presente tesis*

Marisol Rangel González

Agradecimientos

A mis padres por ser mi guía y por brindarme apoyo, confianza y amor incondicionalmente.

A mis hermanas Diana y Claudia por su cariño y por que con su ejemplo me impulsan a ser mejor cada día.

A José Luis Colín, Eloy Pérez y Gerardo Sánchez por haberme brindado su apoyo y amistad a lo largo de mi estancia en la Facultad.

A todos mis amigos y compañeros que compartieron conmigo buenos y malos momentos.

A la Facultad de Ingeniería y a sus profesores por haberme transmitido sus conocimientos y experiencias profesionales.

Marisol Rangel González

ÍNDICE

Introducción	5
1 Antecedentes	7
1.1 Generalidades	7
1.2 Clasificación de los edificios coloniales y sus características	9
1.3 Materiales de construcción	13
1.4 Estructuración y situación actual de las casas coloniales	15
2 Cimentaciones	17
2.1 Generalidades	17
2.2 Características del suelo	18
2.3 Tipos de cimentaciones	20
2.4 Métodos constructivos	23
2.5 Funcionamiento estructural	26
3 Sistema de Piso y cubierta	29
3.1 Generalidades	29
3.2 Sistemas de piso originales	30
3.2.1 Métodos constructivos	31
3.2.2 Funcionamiento estructural	33
3.3 Sistemas de piso colocados en reestructuraciones	34
3.3.1 Lámina acanalada	34
3.3.2 Bóveda catalana	36
3.3.3 Concreto armado	37
3.4 Escaleras	38
4 Sistema de soporte	41
4.1 Generalidades	41
4.2 Muros	43
4.2.1 Métodos constructivos	43
4.2.2 Materiales de construcción	45
4.2.3 Características de los materiales de construcción	47
4.2.4 Funcionamiento estructural	51

4.3 Columnas	54
5 Cargas Gravitacionales Unitarias	55
5.1 Cimentación	56
5.2 Sistema de piso y cubierta	57
5.2.1 Terrado	58
5.2.2 Lámina acanalada	61
5.2.3 Bóveda catalana	63
5.2.4 Losa de concreto armado	65
5.3 Escaleras	66
5.4 Sistema de soporte	68
5.4.1 Muros	68
5.4.2 Columnas	69
5.4.3 Arcos	70
5.5 Cargas gravitacionales unitarias	71
5.6 Ejemplos de aplicación	73
5.6.1 Antigua Escuela de Medicina	73
5.6.2 Palacio de Minería	76
6 Conclusiones	81
Referencias	83
Anexo: Glosario	89

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el principal problema al que se enfrentan las construcciones históricas que se localizan en el centro de la ciudad de México, son los hundimientos diferenciales. Estas deformaciones sufridas hacen necesario proyectar reestructuraciones, en las que el conocimiento de los sistemas constructivos empleados originalmente definen el modo de intervención.

Si bien se tienen algunos datos constructivos sobre los edificios monumentales, al tratarse de casas en general, la información sobre su estructuración es escasa o nula. Por esta razón en el presente trabajo se exponen los datos obtenidos como resultado de la investigación hecha sobre las casas coloniales construidas en la ciudad de México. De este modo se facilita el cálculo de una bajada de cargas simplificada que permita conocer la descarga aproximada de la estructura al suelo.

Los objetivos del presente trabajo son:

- 1.-Describir los sistemas estructurales empleados en la edificación de casas coloniales.
- 2.-Identificar los principales materiales constructivos empleados durante la época de la Colonia.
- 3.-Obtener cargas muertas unitarias de los diferentes sistemas estructurales.

Si bien es cierto que la época de la Colonia abarca desde el siglo XVI hasta las dos primeras décadas del siglo XIX, en esta tesis solo se tomarán en cuenta las estructuras civiles construidas durante los siglos XVII y XVIII. Esto debido a que no hay vestigios de casas construidas durante el

siglo XVI y las construidas durante el siglo XIX están fuera de los alcances de esta tesis.

Se presentan, también, diferentes sistemas de piso que se han encontrado en edificios coloniales y que fueron colocados en reestructuraciones durante el siglo XIX. De esta manera se puede saber si los elementos estructurales encontrados en los edificios son los originales o han sido sustituidos por otros más recientes. De los sistemas de piso usados en la actualidad se incluyen solamente las losas de concreto armado.

La presente tesis forma parte de los estudios que hace el Instituto de Ingeniería sobre la vulnerabilidad y conservación de edificaciones históricas.

1 ANTECEDENTES

1.1 GENERALIDADES

A mediados del siglo XVI la conquista de América ya había terminado en su mayor parte. Los españoles preparaban la construcción de la nueva civilización hispanoamericana sobre las ruinas de las antiguas ciudades precolombinas.

En el trazado reticular de las ciudades, basado en las costumbres heredadas de los romanos a los españoles, aparecieron las plazas y los grandes edificios como elementos importantes en la conformación de las ciudades del nuevo continente. Aquí cabe mencionar que, las ciudades tenían una conformación diferente de las tradicionales españolas pues a diferencia de éstas, diseñadas como fortalezas amuralladas, las de las nuevas ciudades presentaban una estructura abierta, con grandes espacios al aire libre. Esto también influyó en la arquitectura de las casas pues con el tiempo se fueron perdiendo elementos, como las almenas, que se empleaban para la defensa en contra de posibles revueltas (CICM, 1994).

Como resultado de esta fusión constructiva, surgieron diversas formas arquitectónicas como son las capillas abiertas, las plazas en una concepción diferente y la disposición de muchos espacios abiertos. En el Valle de México, estas formas dieron lugar a la expansión de la nueva ciudad mas allá de las fronteras naturales, impuestas por el lago que circundaba a la metrópoli. Esta expansión propició el desarrollo de nuevas técnicas constructivas empleadas en la edificación de las casas y los diversos tipos de edificios.

La mezcla artística dio, también, como resultado la evolución de las formas en los elementos estructurales de las antiguas casas coloniales, en las que emplearon los materiales y algunas técnicas constructivas usadas por los indígenas. Al principio, las casas construidas en la Ciudad de

México, se edificaron a la usanza española pero poco a poco fueron cambiando hasta llegar a una combinación que las hacía parecer menos defensivas y más artísticas.

En la edificación de su ciudad, los españoles, emplearon las técnicas constructivas usadas en España, que trajeron consigo; por lo que las primeras casas y templos fueron edificados a la usanza de la península. Sin embargo este tipo de construcción, demasiado pesada, no era apta para el terreno "cenagoso" en que los aztecas habían levantado sus templos.

Antes de la llegada de los españoles, la ciudad azteca se alzaba sobre un islote ubicado en el centro del lago. Los aztecas, antes de edificar su ciudad sobre el islote, que posteriormente se levantaría como el imperio más poderoso de la región; mejoraron el terreno con la construcción de un terraplén en el que emplearon rocas de gran tamaño, que dejaban caer al lago hasta que las podían acomodar con la mano en la superficie, y tierra. A este terraplén construido por los indígenas, los españoles le adicionaron otro que se formó con los materiales obtenidos de la destrucción de los templos y casas de la antigua ciudad prehispánica (Vargas y Álvarez, 1999). El objetivo de estos terraplenes era mejorar las condiciones del suelo. El nivel del agua superficial era muy alto, por lo que no había un lugar en el que se pudiera excavar sin que se encontrara, agua. Otro de los problemas que encontraron los españoles fue la sismicidad constante en la ciudad, pero el más grave era la diferencia de consolidación en el terreno, pues en el centro del islote, el terreno estaba más consolidado que en las orillas.

Este terreno, prácticamente desconocido para los españoles, estaba conformado por arcillas lacustres con un alto contenido de agua que se deformaba rápidamente con el peso excesivo de las nuevas construcciones. Por esta causa la mayoría de las primeras casas y edificios religiosos españoles, construidos dentro de la nueva traza, sufrieron deformaciones

tan graves que los que no se desplomaron por sí solos, fue necesario demolerlos y volverlos a construir.

Con el tiempo, los españoles fueron observando y acoplando, a las técnicas constructivas aportadas por ellos, algunas técnicas usadas por los indígenas en la construcción de las casas, y aprovecharon el conocimiento que los aztecas tenían del tipo de terreno. De esta manera se puede decir que nació la ingeniería mexicana.

1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS COLONIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS

Los edificios coloniales se pueden clasificar de una manera muy variada de acuerdo con su uso: arquitectura religiosa, arquitectura civil, arquitectura técnica especializada y arquitectura militar. De los rubros anteriores, únicamente trataremos la arquitectura civil, cuyas estructuras se pueden subdividir en: educación, terminales de transporte, vivienda, comercial y de depósito, gubernamental y recreativo. Como aún es necesario acotar más el tema, se debe aclarar que solo prestaremos atención a los inmuebles destinados a la educación, la vivienda y el uso gubernamental.

Los edificios del siglo XVI tanto civiles como públicos, tenían en general las siguientes características: ocupaban grandes terrenos, por lo que eran muy amplios; sin embargo, como los elementos estructurales eran de grandes espesores, las habitaciones eran pequeñas; también a pesar de tener entresijos altos, por el número de niveles, las casas eran muy bajas de uno o a lo sumo dos pisos; esta configuración se tomaba como medida de protección en contra de los temblores.

Los muros eran gruesos en exceso pues, consideraban que de esta manera, eran más resistentes contra los sismos y contra posibles ataques de los indígenas, como lo explica Cervantes de Salazar en sus Diálogos: *“las casas eran hechas a modo de fortalezas para defenderse de insurrecciones y acometidas de los indígenas. Eran de pocas ventanas*

hacia la calle con grandes rejas de hierro, grandes paredes lisas de tezontle, con pocos o ningún claro, recias puertas llenas de clavos y almenas en los pretiles. Los techos eran de terrado, planos con canales de barro o de madera" (Cervantes de Salazar, 1963). Los españoles también usaban este tipo de techos y paredes para protegerse del calor intenso, pues actuaban como aislantes (De Gante, 1954).

Durante el siglo XVII, y los siglos posteriores que duró el dominio español, la distribución de las viviendas se caracterizaba por la existencia del patio central, que era el punto de unión y de acceso a todas las habitaciones pues, por lo general, éstas estaban dispuestas en tres de sus cuatro lados, puesto que en el lado restante se encontraban las accesorias y el acceso a la casa en la planta baja. En el resto de las plantas las habitaciones estaban distribuidas alrededor de los patios. Esto se puede observar en las casas que se encuentran en el Centro de la Ciudad (figura 1.1).

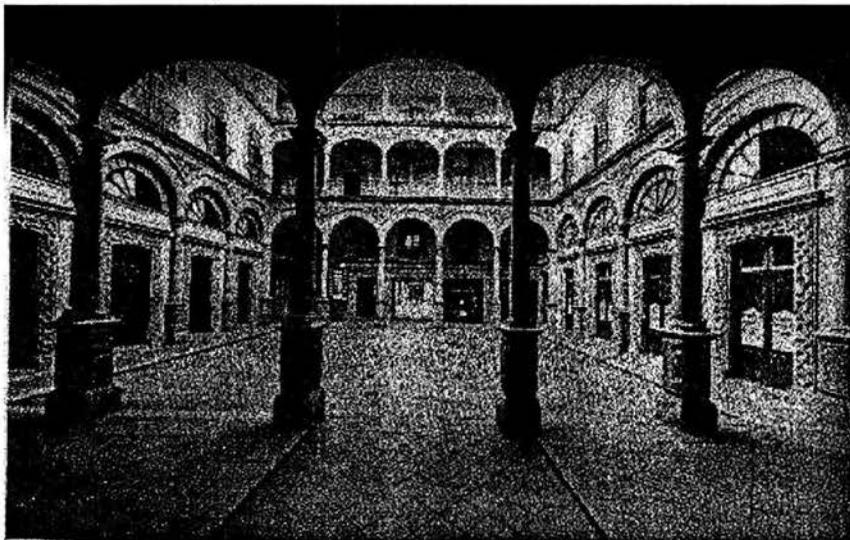
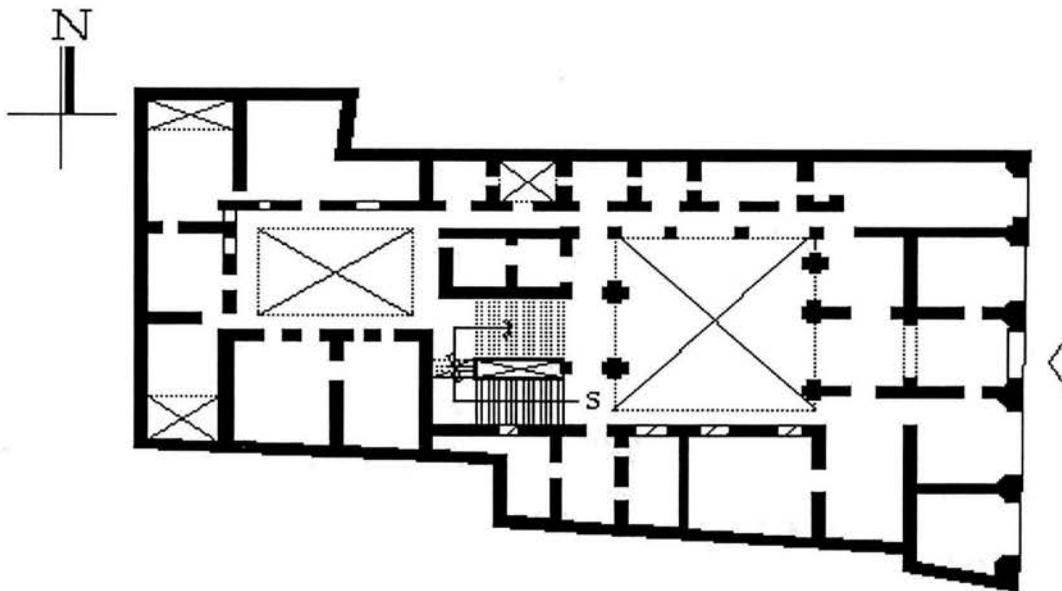
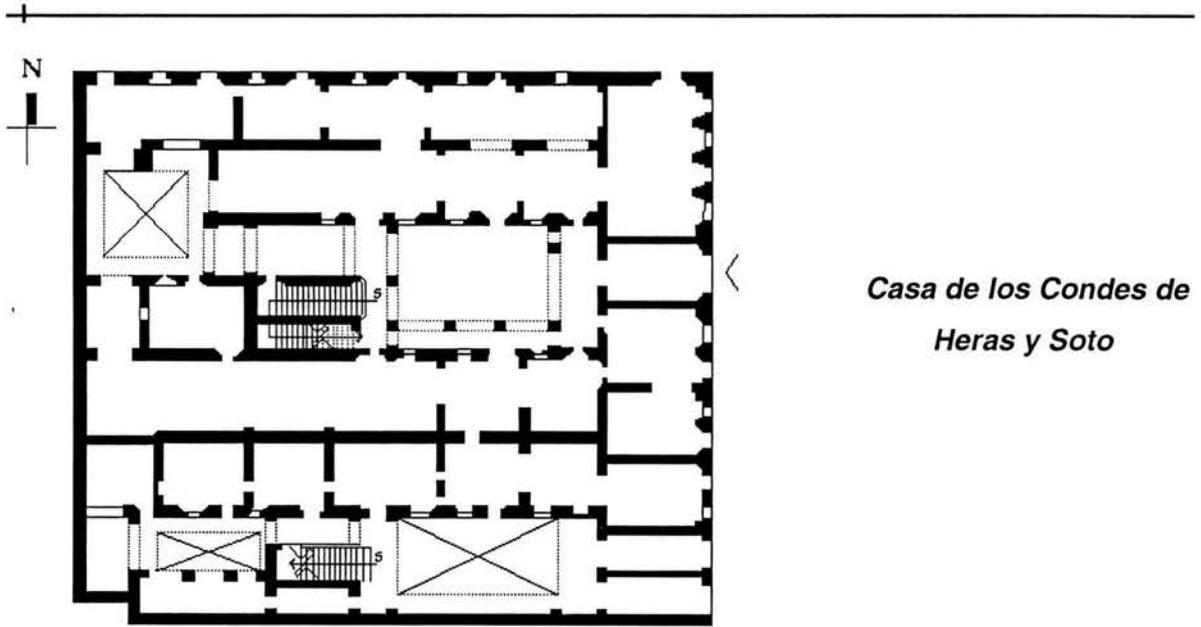


Figura 1.1 Casa de Iturbide (Zerecero, 2004)



Casa de don Lorenzo de la Hidalga

Figura 1.2 Distribución general de dos casas coloniales (INAH, 2004)

Las casas generalmente contaban, a lo más con planta baja y dos pisos, y dependiendo de la importancia del dueño se tenían uno o dos patios centrales alrededor de los cuales estaban distribuidas las habitaciones. En la planta baja casi siempre se tenían accesorias con habitación anexa a las que se entraba directamente de la calle, en esta planta se encontraban los servicios (para todos los tipos de vivienda). En las residencias señoriales existía un entresuelo en el que se encontraban las habitaciones de la servidumbre y en la planta alta se localizaban las habitaciones y los servicios de los dueños (González y Pérez, 1998). En la *figura 1.2* se presenta la distribución general de dos casas coloniales.

Durante los dos siglos siguientes al de la conquista, las residencias se construyeron con habitaciones alrededor de uno o varios patios. La forma que adoptaban era la de galerías con arcos en las que se abrían las puertas de acceso a las habitaciones. En las casas modestas, esta galería estaba conformada por un cobertizo apoyado sobre columnas que sostenían a la cornisa.

En una estructura podemos encontrar dos tipos de elementos que la conforman: elementos estructurales y elementos no estructurales.

Los elementos estructurales se pueden dividir en cimientos que son los encargados de transmitir las cargas al suelo; elementos de apoyo, que se encargan de distribuir las cargas a la cimentación y que pueden ser columnas, pilastras y arcos; sistemas de piso que se encargan de cubrir los espacios habitables; y los elementos de comunicación, que sirven para comunicar un nivel con otro, los cuales pueden ser las escaleras.

Como elementos no estructurales podemos considerar los acabados y las instalaciones. Estos elementos son usados para dar confort, buena impresión visual, protección al espacio arquitectónico y, en la mayoría de las ocasiones, para proteger los materiales de los elementos estructurales en contra de los agentes naturales, como la humedad y la erosión. Entre los acabados que podemos encontrar en los edificios coloniales tenemos:

aplanados, lambrines, rodapiés, guardapolvos, zoclos y decoraciones en formas y materiales diversos, etc. En este trabajo solo se hará referencia a los elementos estructurales.

1.3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El estilo de vivienda que se construyó estuvo influenciada por la combinación de las técnicas constructivas españolas y prehispánicas, éste tipo de edificación se conservó a lo largo de los dos siglos restantes de dominio español.

Al principio de la Colonia los materiales básicos empleados en la construcción de la nueva urbe fueron la piedra proveniente de la demolición de los edificios prehispánicos y de canteras cercanas. El tezontle fue la roca que se empleó más en la construcción de los muros, debido a sus características como son: la ligereza, la adherencia y la resistencia al deterioro producido por la humedad.

Otro material que se empleó ampliamente fue la cantera, ésta se usaba principalmente en la fabricación de sillares que se colocaban en los enmarcamientos, en las columnas y en las tallas usadas como decoraciones.

En pequeñas casas el material más importante usado en su construcción fue el adobe. De este tipo de construcciones ya no queda vestigio alguno en la ciudad. La importancia del adobe en la construcción de la nueva ciudad fue consecuencia de la facilidad de fabricación de los bloques, además de que este material era ya conocido y empleado por los aztecas antes de la llegada de los españoles. Los indígenas construían sus casas de adobe, desde su establecimiento en Tenochtitlan (*Riva et. al., 1982*).

La cal era un material muy importante pues con ella se fabricaban los morteros o argamasas con las que se asentaba o unía la mampostería y

los sillares. Se empleaba también para la fabricación de aplanados, enlucidos y pinturas que protegían los materiales de construcción.

La madera se empleó de manera importante en algunas cimentaciones, sistemas de piso, techumbres, puertas y mobiliario. Este material también se usaba en los andamiajes y cercas colocados durante la construcción.

Todos los materiales se empleaban conjuntamente. Por ejemplo, una casa de esta época consistía de cimientos y muros de mampostería de piedra; enmarcamientos de puertas y ventanas de cantera; techumbres planas de vigería de madera con tablas o tejamanil, terrado y entortado. A finales del siglo XVI se empieza a utilizar de manera más amplia el ladrillo para recubrir y proteger los pisos y las azoteas.

Los materiales de construcción fueron esencialmente los mismos durante toda la Colonia; sin embargo, la principal diferencia fue que se buscó mejorar el suelo de desplante con el uso de piedra y de emparrillados de madera. Las cimentaciones de mampostería se siguieron empleando, así como el sistema constructivo de grandes muros y entrepisos de tablaterrado.

A lo largo de la época de la Colonia, el estilo arquitectónico de las construcciones va cambiando, del estilo medieval de construcción fortificada se llegó a un estilo más suave y menos defensivo, un ejemplo de esto es que en las casas las almenas desaparecieron o se sustituyeron por remates de adorno como macetones y figuras de ornamentación.

La piedra se empezó a usar de manera más amplia en las edificaciones, tanto en la estructura como en la ornamentación. Un ejemplo de esto son los muros hechos de mampostería de tezontle que le daban una vista diferente a las casas y las hacían más ligeras; otro ejemplo son las molduras y la ornamentación en las que se empleaba la chiluca o la cantera por su trabajabilidad, pues eran piedras suaves, fáciles de labrar.

Siguiendo el auge que se presentó a finales del siglo XVI, los recubrimientos de tabique en las azoteas, combinado con la mampostería para muros, arcos y pilastras, en forma de ladrillo, para pisos y entrepisos sobre viguería, se usaron en mayor cantidad debido a su facilidad de fabricación y manejo.

1.4 ESTRUCTURACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE LAS CASAS COLONIALES

Los métodos de cálculo empleados durante la época de la Colonia, no son los que conocemos actualmente, pues desde el punto de vista estructural los ingenieros y los arquitectos antiguos elaboraban los cálculos de las estructuras basados en la geometría constructiva, ciencia que se basa en la manipulación de triángulos, cuadrados y círculos que servían para definir los puntos y los trazos necesarios para que las resultantes de las fuerzas no salieran del tercio medio de los elementos estructurales (Meli, 1998).

Existían diversas reglas geométricas para calcular las dimensiones de los elementos estructurales típicos como por ejemplo el arquitecto Rodrigo Gil de Hontañón, para los muros que sostienen las bóvedas de las iglesias, dio reglas como: *“el espesor del muro debe ser un cuarto del claro de la bóveda; otra más elaborada es la que dice que el espesor del muro debe ser igual a la raíz cuadrada de la suma de la altura del mismo (al nivel de arranque de la bóveda) más el radio de la bóveda”* (Meli, 1998), existen también otros métodos aún más complejos.

Desde el punto de vista estructural, los edificios históricos fueron construidos como estructuras de gravedad, en las cuales tanto las cargas gravitacionales, como accidentales son transmitidas a la cimentación por esfuerzos de compresión. La estructuración es con base en muros de carga, encontrándose arcos y columnas solo alrededor de los patios (figura 1.1). Las cubiertas son de tablaterrados y en muy pocas ocasiones se encuentran bóvedas. El techo de azotea es plano, con una ligera pendiente

para eliminar las aguas de lluvia. Así, debemos recordar que, los edificios históricos fueron construidos con materiales y técnicas constructivas diferentes a los edificios modernos; así como su estructuración difiere significativamente de estos últimos. Por lo tanto, el comportamiento estructural de las construcciones modernas es diferente al comportamiento de las edificaciones históricas. Así mismo, a lo largo del tiempo, estas construcciones han sido intervenidas en diferentes formas, modificando tanto la estructura, los elementos que la conforman y los materiales utilizados. Todos estos datos deben ser tomados en cuenta, al momento de intervenir un edificio histórico.

En la actualidad podemos encontrar edificios coloniales, principalmente del siglo XVIII, en la ciudad. La mayor parte de estos edificios se encuentran desplomados y con hundimientos diferenciales notorios en su estructura. Así como con modificaciones en sus espacios originales. Los desplomos y hundimientos que presentan se deben al tipo de suelo, muy compresible, sobre el que se encuentra el centro de la ciudad y a la continua extracción de agua.

A lo largo del tiempo las intervenciones que han sufrido los edificios en sus reestructuraciones, han alterado su configuración original. Por esta razón es importante entender cuales son los elementos estructurales que las conforman y darle importancia a los procedimientos constructivos que se emplearon originalmente. Así como a los daños ocasionados por el envejecimiento natural de los materiales de construcción, los hundimientos, los sismos, las modificaciones, y las destrucciones que han sufrido con el fin de intervenir en ellos de la manera menos dañina posible.

2 CIMENTACIONES

2.1 GENERALIDADES

Las cimentaciones se pueden definir como la base o subestructura que soporta a un edificio, incluyendo el suelo o la roca en que se encuentra desplantada. La cimentación es la encargada de transmitir las cargas al suelo de manera que las afectaciones en este se vean disminuidas, siendo su función principal la de evitar asentamientos mayores a los tolerables de deformación de la estructura. Esto significa que la estructura no falle por las deformaciones durante su vida útil.

La construcción y el estado de conservación de una cimentación en un edificio depende de algunos factores, por ejemplo (*Weaver, 1992*):

- La naturaleza del sitio en que la estructura fue construida. Es decir el tipo de terreno y sus características como el nivel freático, la resistencia, la compresibilidad, etc.
- Los materiales con que fue construida la cimentación. En este aspecto es importante considerar las características del material y su resistencia a las condiciones del suelo sobre el que estará desplantada.
- Las influencias a que la cimentación misma y su alrededor han estado sujetas. Por ejemplo extracción de agua del manto acuífero, consolidaciones a través del tiempo, etc.

En todas las edificaciones, las cimentaciones son una parte muy importante, pues éstas le brindan a la construcción solidez y durabilidad. Dependiendo de las características del suelo, que por lo general no es lo suficientemente sólido para soportar el peso, se define el tipo de cimentación que se requiere, determinando la profundidad de desplante

por debajo de la superficie del terreno natural para construirla hasta enrasar con la superficie del terreno.

En los edificios construidos durante la Colonia la función principal de los cimientos no era, precisamente, la de transmitir y distribuir las cargas en el suelo para evitar las deformaciones en la superestructura, era más bien, la de obtener una superficie regular para el apoyo de la estructura que se iba a construir. Por ejemplo en el caso de obras pequeñas los cimientos eran una mínima prolongación del muro por debajo del nivel natural del terreno.

A la llegada de los españoles las condiciones del terreno en la ciudad prehispánica eran muy graves, pues la poca resistencia y gran deformabilidad del suelo lacustre en la capital colonial, ocasionó que numerosas construcciones levantadas durante el siglo XVI se perdieran irremediablemente o sufrieran considerables hundimientos dejando como única alternativa su demolición y re-construcción.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Las condiciones ideales del terreno sobre el que se va a cimentar deben ser: incompresibilidad, dureza y coherencia, inalterabilidad a la acción del aire y del agua e impermeabilidad. Sin embargo en la zona en la que se estableció la capital colonial, el terreno difícilmente cumplía con alguna de estas características.

El suelo del centro de la ciudad tiene las características que le brinda el haber sido originalmente un lago. El manto superficial del suelo está formado por depósitos arenoarcillosos o limosos, con abundancia de restos arqueológicos, o bien rellenos artificiales que en algunos sitios de la ciudad llegan a tener hasta 10 m de espesor. Es poco resistente debido a su origen lacustre y al tipo de material que lo conforma que se caracteriza por un alto contenido de agua.

Además la continua extracción de agua, a través del tiempo, ha desecado el subsuelo ocasionando hundimientos que se pueden observar en los edificios. Cabe aclarar que esta no fue la única causa de hundimientos. El suelo sobre el que los españoles edificaron su ciudad influyó grandemente en las deformaciones de las estructuras. Considerando que la traza de la nueva ciudad se extendió fuera de los límites de la edificada antes por los aztecas, es fácil comprender por qué las primeras casas se deformaron o desplomaron, *“los límites de la traza inicial pronto desaparecieron, pues la capital comenzó a crecer hacia el noroeste. La expansión urbana fue posible por que, a raíz de la conquista, comenzó la rápida disminución del volumen de los lagos, la deforestación y el pastoreo excesivo contribuyeron a aflojar los terrenos de naturaleza compacta lo que originó que el limo y la tierra suelta fueran arrastrados por las lluvias hacia el fondo de los lagos. Tal situación dio origen a la formación de un subsuelo de muy poca resistencia para la cimentación”*(CICM, 1994).

Los españoles se encontraron con un tipo de suelo mayormente consolidado en el centro que en las orillas y a pesar del intento por mejorar sus condiciones, con la construcción de un terraplén y con los estacados de las cimentaciones, las construcciones que levantaron en las orillas del islote sufrieron mayores hundimientos y deformaciones. Algunas de ellas se colapsaron y otras fueron demolidas y vueltas a construir.

Estas características del terreno captaron la atención de los constructores, convirtiéndose en parte de los programas arquitectónicos de una cantidad muy importante de obras: exigieron atención las condiciones del subsuelo, y los constructores tuvieron que inventar nuevos sistemas de cimentación que fuesen adecuados a las exigencias y durabilidad de las nuevas estructuras.

Al tratarse de un terreno con movimientos sísmicos frecuentes, los edificios se comenzaron a construir sobre retículas y se amplió el espesor de los muros. Esto dio como resultado el aumento en el peso de las

estructuras que, sumado a la baja resistencia del suelo, aumentaba las deformaciones y los hundimientos diferenciales de las estructuras. Sin embargo se conservó la proporción de los vanos, lo que resultó en la construcción de casas con gruesos muros y habitaciones "pequeñas" (De Gante, 1954). De esta manera obligaban a que la resultante de las descargas no saliera del tercio medio de la base de los muros, asegurando la estabilidad de la estructura.

2.3 TIPOS DE CIMENTACIONES

Durante la época de la Colonia se emplearon principalmente dos tipos de cimentaciones, una con estacones y la otra sin ellos (*figura 2.1*). La primera constaba de estacones de madera bajo una capa de vigas de madera con lajas de piedra, sobre las que se podía colocar o no un pedraplén o directamente la zapata corrida. Este tipo de cimentación daba un grado de resistencia a la humedad aceptable. Así se lograban cimientos formando una retícula de geometría sin escarplos, continua y de mayores dimensiones bajo los muros maestros. El espesor de la cimentación era, por lo regular, ligeramente mayor que la base de las columnas y muros que estaban soportados en ella.

Las cimentaciones desplantadas sobre estacones de madera sufrieron algunas variantes y modificaciones de su configuración original durante el periodo colonial, pero esencialmente conservaron el concepto de crear retículas de suelo reforzado.

Los procesos constructivos utilizados en buena parte de los edificios más grandes de la ciudad, en especial los que se terminaron después del siglo de la conquista (XVI), incluyeron cimentaciones masivas, superficiales o profundas, según lo requiriera el peso o la complejidad de la obra, o lo exigiera la calidad del suelo (Vargas y Álvarez, 1999). Haciendo la aclaración de que las cimentaciones superficiales son las zapatas corridas

sin estacones de madera y las profundas aquellas que si contaban con ellos.

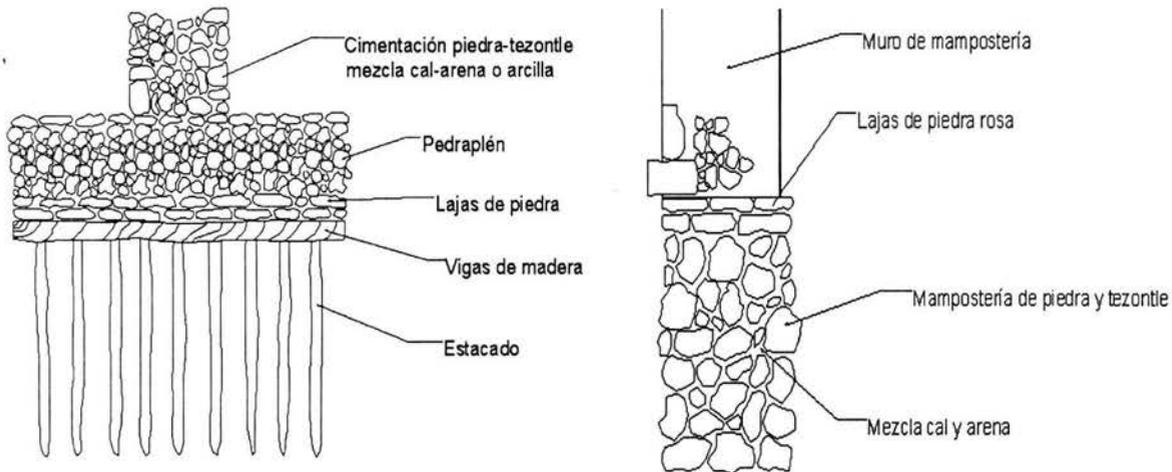


Figura 2.1 Tipos de cimentaciones empleados en la época de la colonia, con y sin estacado

En la época de la Colonia también se emplearon cimentaciones de placa, que consistían en plataformas de piedras sobre un entramado de estacones que soportaban la superestructura. Este tipo de cimentaciones se empleaban de acuerdo con el arquitecto encargado de la obra. En la Catedral y el Sagrario Metropolitano se usó este tipo de cimentación.

Las edificaciones pesadas de la Colonia cimentaban sus muros de mampostería sobre estacones de madera de 1.50m hasta 3.50m de largo por unos 10 a 20 cm de diámetro con separaciones de 50 a 60 cm (figura 2.2) y las viviendas menores sobre zapatas corridas, ligeramente más gruesas que los muros, fabricadas con materiales pétreos y mortero de cal, este tipo de cimentaciones daba continuidad estructural y lograba la economía en la construcción.

En algunas casas se ha encontrado que su cimentación era a base de zapatas continuas de mampostería, con una profundidad de desplante que varía de 2.90 a 3.50 m, mientras que el ancho del cimiento varía entre

1.75 y 2.80 m (SMMS, 1990). Sin embargo, lo más común era que los cimientos se hicieran del ancho del muro. Algunas veces se le colocaba una zarpa a cada lado del cimiento que variaba entre 20 y 30 cm.

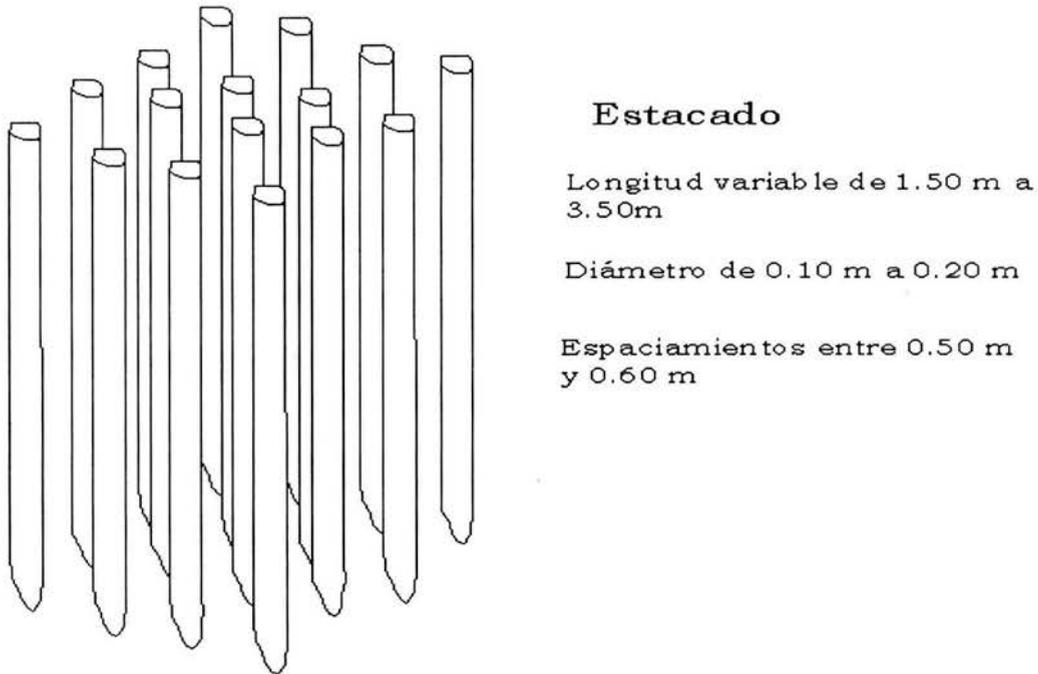


Figura 2.2 Dimensiones aproximadas del estacado encontrado en algunos edificios coloniales

Ocasionalmente se registraban las características de las estructuras por ejemplo en "...1679 el arquitecto Cristóbal de Medina firmó una escritura para construir unas casas..." en las que se encuentran las dimensiones de cada uno de los sistemas estructurales, para la cimentación se tiene que "...los cimientos [...] han de ser de vara y tercia [1.10 m aproximadamente] de grueso y de fondo de una y media [1.30 m], estacados con morillos de cedro y de una estacada a otra ha de haber una cuarta [0.20 m] por la parte de adentro"(Fernández, 1990). Las dimensiones encontradas en la literatura varían en rangos muy amplios de espesor y profundidad (figura 2.3).

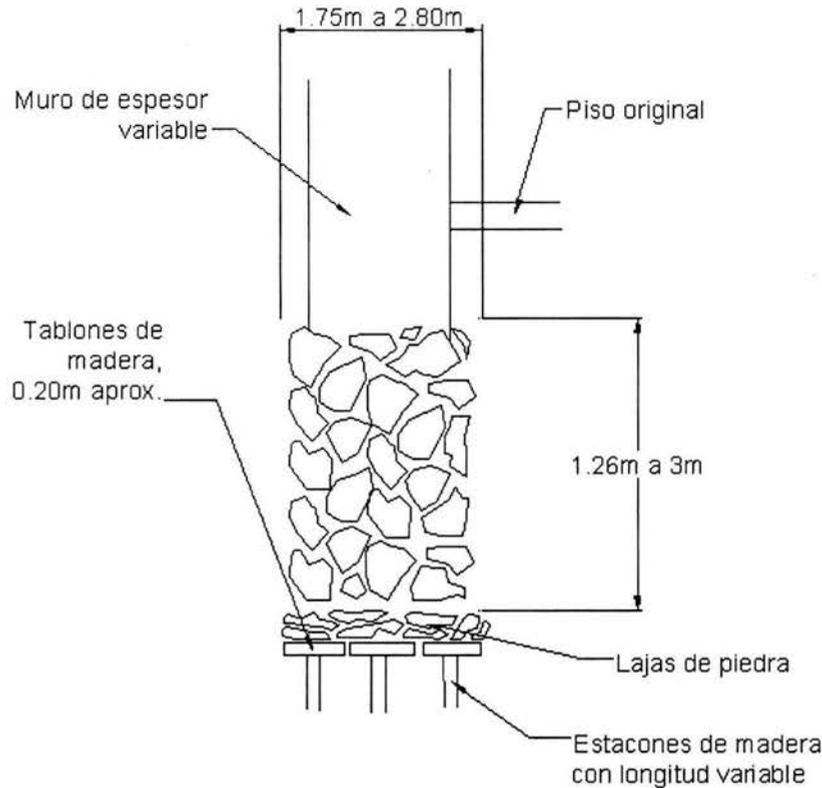


Figura 2.3 Valores entre los que varían las dimensiones de una cimentación colonial

2.4 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

En materia de construcción los textos que registran los métodos constructivos empleados durante el siglo XVI son escasos y en ellos se registran solo ocasionalmente los métodos que se emplearon para la construcción de las cimentaciones.

En muchas ocasiones después de construir una plataforma sobre el terreno, se excavaban los cimientos (Katzman, 1973). Era importante dar la profundidad precisa a las excavaciones pues de lo contrario los muros sufrían cuarteaduras rápidamente.

Los arquitectos españoles acostumbraban que cuando la superficie del terreno era horizontal y de roca inalterable a la acción de la intemperie, la obra se podía empezar a construir inmediatamente sin necesidad de

cimiento, sin embargo acostumbraban desmontar el terreno por lo menos 0.30m de profundidad. En la ciudad de México, el terreno frecuentemente presentaba desigualdades que era preciso desaparecer dejando un plano horizontal para establecer la fábrica, además de que el terreno era demasiado fangoso como para considerarlo lo suficientemente firme para desplantar los edificios directamente sobre él (*Espinosa, 1859*). Las zanjas para los cimientos se hacían del ancho de éstos en excavaciones que se llevaban a cabo por capas de 25 a 50 cm de profundidad.

Comúnmente las cimentaciones se hacían excavando en toda la extensión que iba a ocupar el edificio hasta encontrar el nivel del agua. A partir de ahí se hacía un estacado lo suficientemente unido y de una longitud adecuada de modo que alcanzara el tepetate o el terreno firme dejando, las cabezas de las estacas al mismo nivel. Esta capa se cree que era el terraplén construido por los españoles sobre las ruinas de Tenochtitlan antes de edificar sus casas y templos. Después se colocaba una capa de mortero de cal y arena de una tercia de vara [0.30 m aproximadamente]de espesor muy bien pisoneada y maceada. En algunas ocasiones se colocaba una capa delgada de carbón cuya función aún no se sabe con exactitud pero algunos autores consideran que evitaba el ascenso de la humedad del terreno a la cimentación. A partir de ahí se empezaba la mampostería de piedra dura junteada con una buena mezcla hasta el nivel del piso, en ocasiones se registraban las proporciones de los materiales que se empleaban en los morteros de la cimentación: *"las mezclas para los cimientos han de ser de 3 de arena, 2 de tierra y 2 de cal"* (*Fernández, 1990*)

Los cimientos del Colegio de San Ildefonso pueden servir de ejemplo pues *"probablemente se hicieron sobre una base muy amplia de mampostería concertada, es decir, de piedras a las que se retocó ligeramente para lograr su mejor asiento y para conseguir una mayor superficie de contacto con el suelo, es presumible así que tanto los grandes muros como los apoyos aislados del conjunto se alcen sobre importantes*

plataformas de piedras y que no se hayan incluido en el diseño de la cimentación elementos verticales, a modo de pilotes, encargados de transmitir las cargas a mantos profundos más resistentes."(Vargas y Álvarez, 1999)

Las cimentaciones como la del Colegio de San Ildefonso, casi invariablemente, se terminaban con una hilada de piezas de recinto como la que se encuentra en la parte baja del muro, a este material se le asignaba la función de evitar que las humedades del subsuelo ascendieran por capilaridad a los muros (Vargas y Álvarez, 1999).

Las técnicas constructivas empleadas en la Nueva España fueron un mestizaje entre las técnicas empleadas por los aztecas y por los españoles. Por ejemplo en algunos edificios coloniales se ha observado el uso de la cimentación prehispánica en la que los mexicas preparaban una superficie plana en la que incrustaban los pilotes, sobre ellos ponían una cama de piedras lajas (plantilla) después unas de cantera rosa (sillares) y sobre todo esto empezaban a construir las estructuras.

Otras técnicas de cimentación empleadas en los edificios del siglo XVI corresponden a edificaciones que se levantaron directamente sobre capas de tepetate no muy profundas. Se considera que estos mantos de tepetate corresponden a los terraplenes construidos por los aztecas para nivelar el terreno del islote y para hacerlo más firme para el apoyo de sus casas y templos.

Durante la época de la Colonia no solo se emplearon los estacados para mejorar las características del suelo, otro método empleado para consolidar el terreno sobre el que se iba a edificar se ha observado en estas edificaciones. Este consistía en arrojar grandes piedras en el lodo que probablemente eran empujadas con palos hasta que la base era lo suficientemente firme y el albañil podía colocar mampuestos de un tamaño regular con la mano formando la cimentación propiamente dicha, esto aplicado en el terreno fangoso de los alrededores de la capital azteca (Facultad de Arquitectura, 1977).

Un aspecto importante en relación con los cimientos era como evitar el ascenso de la humedad por los muros debida a la capilaridad de los mismos. Para esto había dos soluciones una era levantar el nivel del piso con rellenos y sobre ellos construir el edificio y la otra era impermeabilizar integralmente el sitio de contacto entre la corona del cimiento y el inicio de los muros "*por medio de mezclas a base de cal y arena de tezontle o simplemente cubiertos de betún o cera*" (Facultad de Arquitectura, 1977)

2.5 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL

El sistema colonial de cimentación concentraba las cargas bajo los ejes de los muros y columnas y no evitaba los asentamientos que, por las cargas aplicadas y por las propiedades heterogéneas del subsuelo, ocasionó asentamientos diferenciales de gran magnitud en muchos edificios civiles construidos en esta época (Shelley y Flores, 1998).

El criterio de diseño que prevalecía en esta época sobre los sistemas de cimentación era heredado de Europa y consideraba que la resistencia estaba en función de la profundidad y no del área de contacto entre la cimentación y el terreno. No se consideraba la fuerza de fricción como una ayuda para aumentar la capacidad de carga, quizás se pensaba solo en la ventaja de empotrar profundamente el edificio en el subsuelo, pues tal empotramiento era importante para contrarrestar el efecto de los sismos (Facultad de Arquitectura, 1997).

El exceso del ancho del cimiento sobre los muros (zarpa) se daba a un lado de la pared o se repartía entre los dos en la proporción conveniente, la cual ya no se sujetaba al eje del muro si no a la resultante de todas las fuerzas que obraban sobre la cimentación. Se buscaba que la resultante no saliera del tercio medio de la base del cimiento, lo que garantizaba la estabilidad de la estructura, pues no se tenían esfuerzos de tensión.

En el tipo de cimentación usada en los edificios coloniales, zapatas corridas, la longitud es mucho mayor que el ancho y su funcionamiento es

bueno para soportar cargas lineales como muros de carga o para columnas en línea muy cercanas entre sí. Los estacones de madera de las cimentaciones no tenían la suficiente longitud para resistir las cargas y evitar los hundimientos y deformaciones del suelo.

Se han encontrado arcos y bóvedas invertidas en los cimientos cuyo propósito fue distribuir las cargas bajo las columnas a las que se proveía de zapatas aisladas de gran tamaño apoyadas nuevamente sobre pilotes cortos (*figura 2.4*), este sistema tampoco evita los hundimientos diferenciales, sin embargo cabe aclarar que este tipo de cimentaciones no se utilizó en México antes de 1888, el primero en construirlos fue el arquitecto Eleuterio Méndez (*Katzman, 1973*).

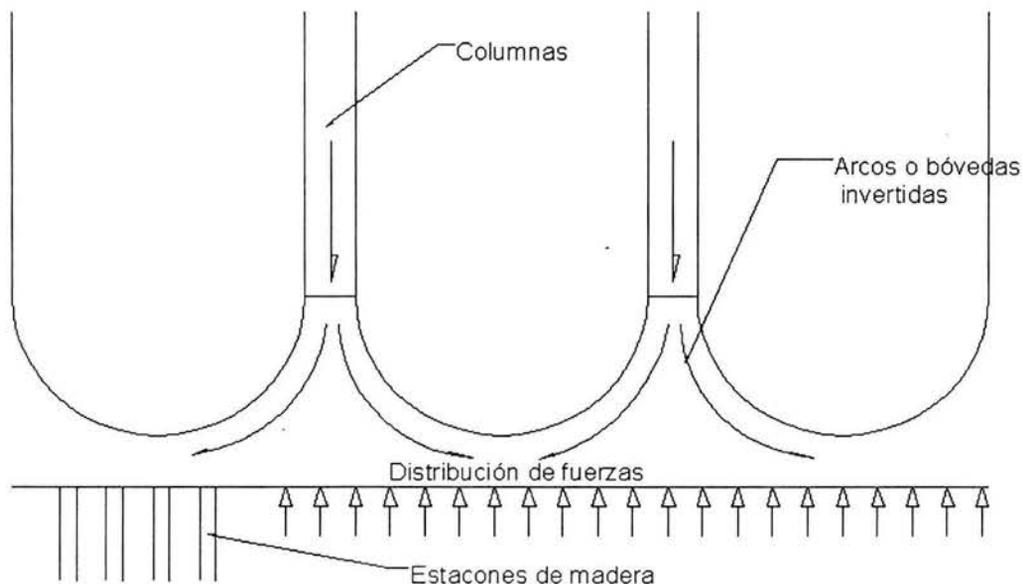


Figura 2.4 Cimentación con arcos o bóvedas invertidas

Como los materiales empleados en este tipo de construcciones son de origen pétreo, la resistencia que presentan ante los esfuerzos de tensión es muy baja. Las fracturas que se presentan en los elementos constructivos se produce en las superficies de menor resistencia, como por ejemplo las juntas de mortero. Esto se debe a que los materiales no son homogéneos implicando diferentes resistencias de acuerdo al tipo de material.

Los daños que se presentan cuando hay una falla de cimentación son comúnmente los hundimientos diferenciales y las fracturas de los muros. La Tabla 2.1 presenta las causas típicas por las que falla una cimentación en edificios históricos.

Tabla 2.1 Causas que generan los tipos de falla en la cimentación

CAUSAS	EJEMPLOS
Fallas del subsuelo	Ocasionadas por movimientos sísmicos, compresibilidad del suelo, oquedades y nivel freático que alteran o afectan de manera sustancial la resistencia del terreno.
Sobrecarga:	Son las cargas adicionales, agregadas a través del tiempo, que soporta la estructura y que no fueron consideradas en el diseño original.
Diseño erróneo:	Falta de secciones apropiadas desde su diseño.
Falla del material:	Por disgregación del mortero, desprendimiento, fractura o pulverización de la mampostería y putrefacción de la madera.
Heterogeneidad en la resistencia del subsuelo:	Cuando el edificio se encuentra asentado sobre una superficie natural o artificial de diferentes resistencias.

3 SISTEMAS DE PISO Y CUBIERTA

3.1 GENERALIDADES

Un sistema de piso es una combinación de elementos estructurales con el fin de lograr una superficie horizontal de apoyo capaz de resistir las distintas solicitaciones en ella aplicadas y cubrir las habitaciones dando utilidad a los niveles superiores.

Las residencias de los conquistadores estuvieron generalmente resueltas con crujeías simples, alrededor de un patio, cubiertas con techos planos de terrado, costumbre tomada de las construcciones aztecas. Las primeras casas aparentaban ser fortalezas en las que abundaba la piedra tallada tomada de las estructuras aztecas.

Durante la época de la Colonia se emplearon entrepisos de madera. La madera empleada en las construcciones por lo general no se trataba, siendo necesario cambiarla frecuentemente. De acuerdo con los tratados de Vitruvio (*Espinosa, 1859*) la madera requería un tratamiento de por lo menos dos años; sin embargo, durante la época en que se edificó la nueva ciudad, esto no se hacía por falta de tiempo, aumentando las afectaciones en la madera y haciéndola menos duradera.

Los primeros sistemas de piso construidos estuvieron formados en general por un conjunto de tablones apoyados en vigas de madera, que a su vez transmitían las fuerzas a las columnas o muros de carga. Este tipo de piso está limitado en cuanto a la dimensión máxima de los claros y a la magnitud de las cargas que puede soportar, ya que depende de las características de la madera y de las escuadrías disponibles en el mercado.

En nuestros días, aún pueden observarse entrepisos hechos con vigería de madera. También, pueden encontrarse pisos realizados con perfiles de hierro o acero, que soportan una bóveda de ladrillo o una lamina de zinc en forma de arco y losas de concreto con acabados

aparentes que simulan los sistemas de piso originales. Sobre los elementos curvos, se colocaba un relleno de tierra para obtener una superficie horizontal. Este tipo de sistemas fue empleado en las reestructuraciones realizadas a finales del siglo XIX y a lo largo del XX.

3.2 SISTEMAS DE PISO ORIGINALES

Originalmente las cubiertas de las casas estaban formadas por una estructura ligera y sin grandes complicaciones, que por lo general se deterioraba rápidamente. En los primeros años del siglo XVI las casas se techaban usando el tejamanil *"techan las casas con pequeñas tejas de madera, algo mas largas que las normales, planas y del grueso de un dedo, se clavan a las vigas con la inclinación adecuada para que corra el agua... Duran de 10 a 12 años y están hechos de una clase de pino que se da en Michoacán, que se corta fácilmente y muy derecho..."* (Kubler, 1948) (figura 3.1).



Figura 3.1 Vista del sistema de piso de terrado

Sin embargo las cubiertas más frecuentes fueron las de terrado (figura 3.2) sobre vigas de madera, este sistema de piso tenía las funciones de proporcionar aislamiento térmico y dar las pendientes necesarias al

desagüe de los techos. Este tipo de cubierta se ponía sobre “*cada piso o división de los altos, especialmente en el último*” (González, 1984).

Los materiales de construcción comúnmente empleados en los entrepisos fue la madera. Durante los primeros años de la Colonia los constructores europeos se confundían con las clases de maderas debido a la gran variedad de especies mexicanas, además la existencia de insectos tremendamente destructivos, desconocidos para ellos los obligaban a techar de nuevo y reemplazar las cosas hechas de madera. Esta situación ocasionó que en un periodo de poco tiempo se convirtiera en un material muy escaso, teniendo como resultado el aumento desconsiderado en su precio (Kubler, 1948).

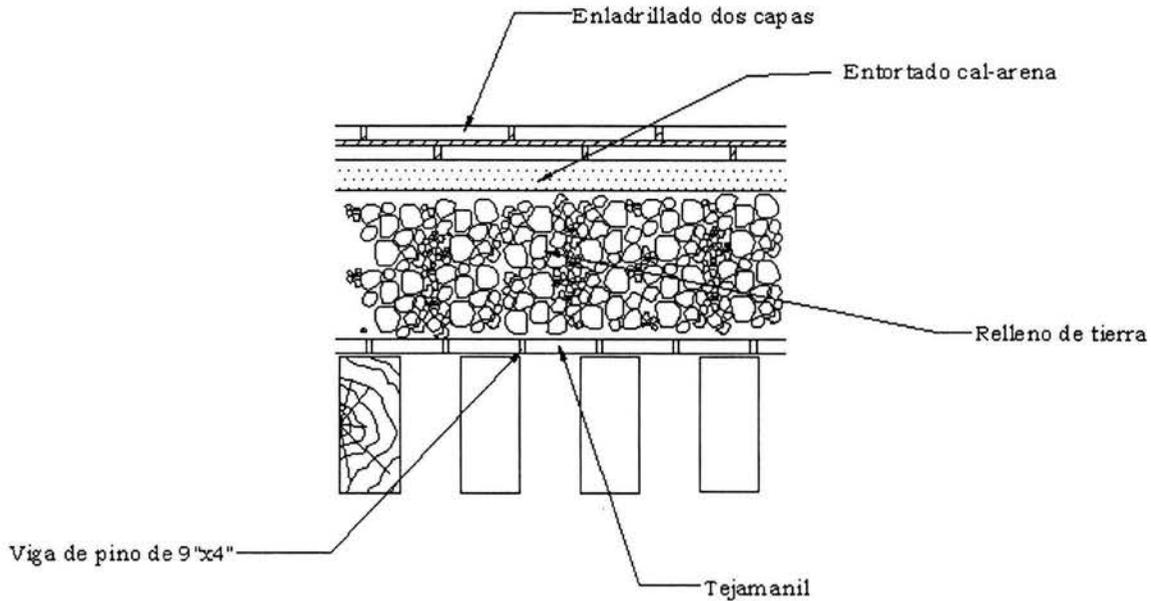


Figura 3.2 Sistema de piso de terrado

3.2.1 Métodos constructivos

Para los entablados por debajo del terrado había diversos métodos constructivos, por ejemplo, entre viga y viga la separación podía adoptar la siguiente distribución: entre viga y viga, viga, que expresa una separación igual a una vez la base de las mismas. Otra posibilidad era entre viga y

viga, dos vigas, con una separación igual a dos veces la base de la viga. Otra más era entre viga y viga, viga acostada; con separación igual a tres veces la base o a dos veces el peralte (Facultad de Arquitectura, 1997) (figura 3.3). El sistema, más común, empleado en las techumbres era entre viga y viga, otra viga.

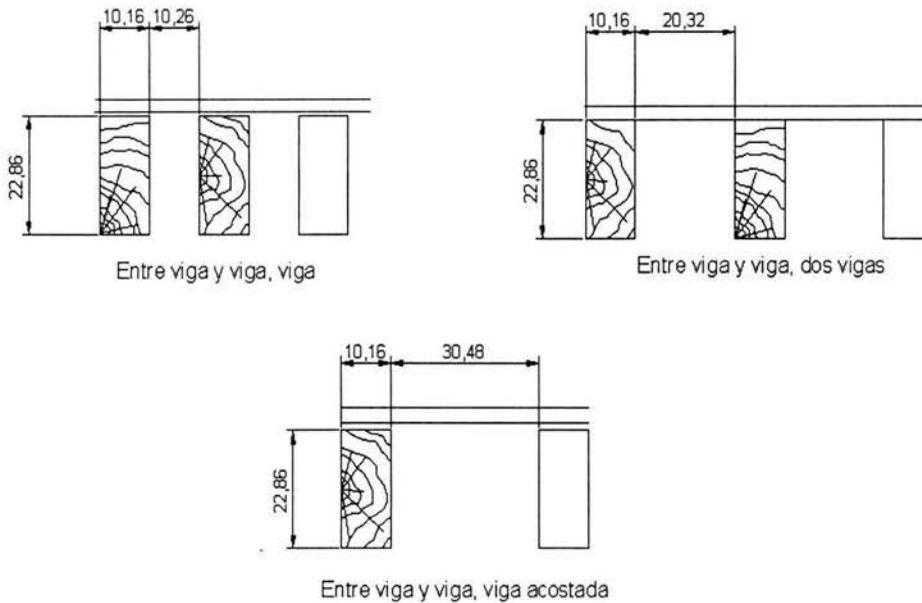


Figura 3.3 Métodos constructivos de las vigas en los entablados, dimensiones en cm

Para lograr mayor durabilidad las vigas se empotraban en los mechinales, previamente preparados, con una adecuada ventilación para evitar su deterioro y garantizar un perfecto apoyo en los extremos. En general el sistema constructivo se componía de un terrado de variado espesor hecho de material inerte: se ponía “una tercia o media vara [0.30 a 0.40 m] de tierra intermedia para que sobre ella se dispusiera la argamasa o suelo” (González, 1984). Encima del terrado se asentaba un firme sobre el cual si no se ponían polines y duela, se colocaba losas o ladrillos, o bien una capa de mezcla de cal y arena de tezontle a la que se daba un acabado.

3.2.2 Funcionamiento estructural

La estructura sustentante de los sistemas de piso esta conformada por dos muros sobre los cuales descansan dos vigas de arrastre y dónde transversalmente se colocan las vigas para salvar el claro cuya separación sigue una secuencia rítmica que depende tanto del ancho como del alto de la viga.

Por el tipo de material y de estructuración de los sistemas de piso, éstos funcionan como losas en una sola dirección pues están apoyadas solamente en dos de sus extremos a los que transmiten sus cargas. La principal ventaja de los entresijos de madera es que no provocan empujes sobre los muros de las casas, con los que estos están simplemente sometidos a un trabajo de compresión relativamente escaso. Por el otro lado esta condición permite los desplazamientos horizontales del sistema de piso, pues la construcción no funciona en conjunto.

Los sistemas de piso de madera pueden resistir tensión y compresión, y las juntas pueden resistir tensión pero la resistencia del sistema depende de la resistencia de las juntas. El claro que pueden cubrir está limitado por la longitud de la madera disponible. Por lo que las dimensiones de las habitaciones no son grandes. Los terrados no funcionan como un diafragma rígido, pues las tablas se desplazan independientes unas de otras propiciando deformaciones en el conjunto.

Estos sistemas de techado tenían una serie de desventajas por ejemplo los inevitables incendios que periódicamente obligaban a rehacer el trabajo, así como los derrames de la tierra que al hacer un techado de madera se producían *“...ponían entre cada piso o división de los altos, especialmente en el último (azotea) ... tierra intermedia para que sobre ella se dispusiera la argamasa o suelo y de aquella costumbre tan material e inconsiderada, resultaba un aumento de peso y de fábrica inútil en lo alto, y un continuo derrame de tierras...luego que se secan y desunen las maderas”*

(González, 1984). De este comentario se puede concluir que las tablas colocadas para la fábrica de los entrepisos no eran tratadas de manera adecuada pues no había tiempo suficiente para dejarlas secar y luego de un tiempo comenzaban a separarse, esto también pudo haber ocasionado un peso aún mayor al introducirse agua entre las maderas hasta humedecer la tierra.

3.3 SISTEMAS DE PISO COLOCADOS EN REESTRUCTURACIONES

Algunos edificios construidos durante la época de la Colonia han sufrido reestructuraciones con el objetivo de que sigan en uso, en estas reestructuraciones se han sustituido los sistemas de piso de terrado por otros tipos, de acuerdo a la época de la reestructuración.

En las edificaciones construidas en la época de la Colonia, que todavía se pueden encontrar en el centro de la ciudad, se observan diversos sistemas de piso entre los que se encuentran las láminas acanaladas de zinc y las bóvedas catalanas apoyadas en perfiles de acero. También encontramos losas de concreto armado y diferentes losas aligeradas como la vigueta y bovedilla, losacero, etc.

3.3.1 Lámina Acanalada

Con respecto a los sistemas de piso que sustituyeron al terrado a finales del siglo XIX, se han encontrado algunos hechos con lámina acanalada, rellenos de argamasa y encima un enladrillado (*figura 3.4*). Este tipo de sistema de piso está formado por dos perfiles de acero, sobre los que se apoyan los extremos de la lámina acanalada, a la que se le da una pequeña curvatura con el fin de reducir los espesores y mejorar el funcionamiento del sistema. La lámina actúa como un arco reduciendo los esfuerzos y trasmitiéndolos a los puntos de apoyo.

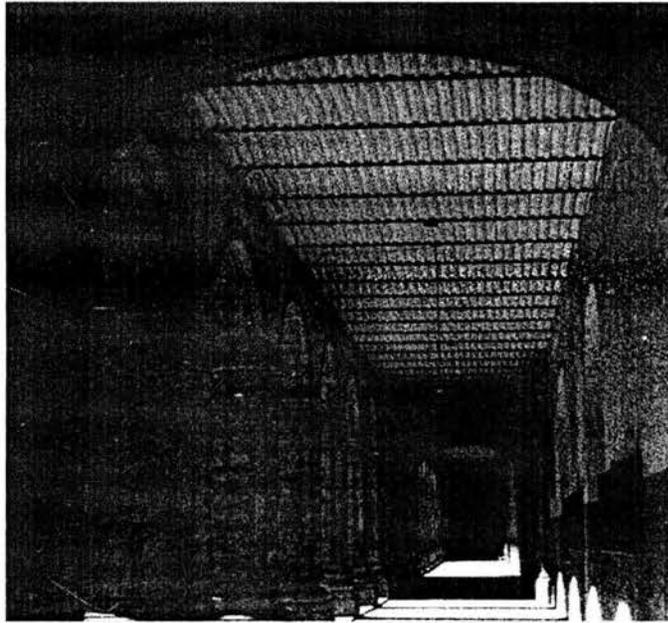
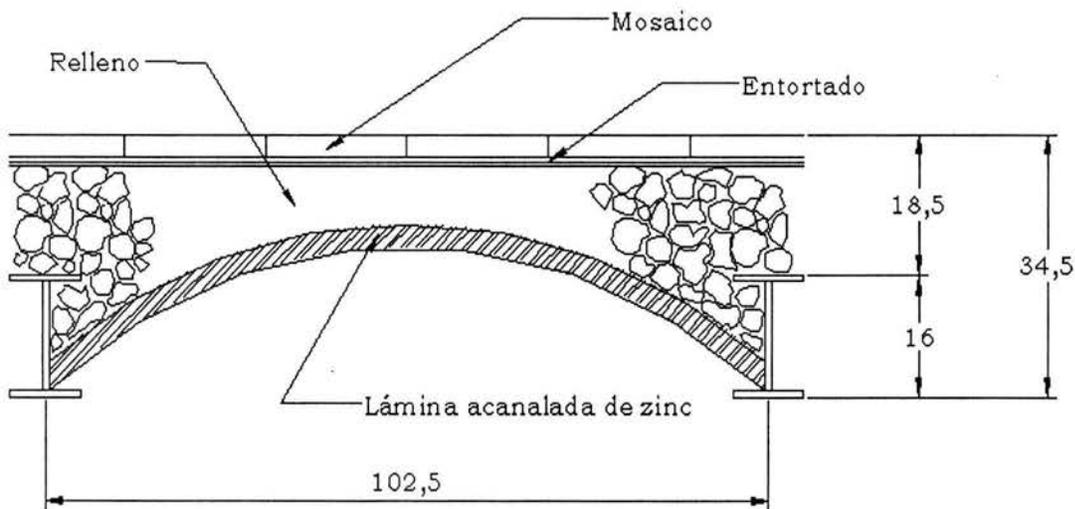


Figura 3.4 Sistema de piso con lámina acanalada



Vigueta y lámina acanalada.

Figura 3.5 Sistema de piso con lámina acanalada (acotaciones en cm)

Al igual que los terrados este sistema de entrepiso no funciona como un diafragma rígido, pues permite desplazamientos independientes entre los dos extremos de apoyo de la lámina acanalada. También actúa como una losa en una sola dirección. Los perfiles de acero están simplemente

apoyados sobre los muros produciendo, al igual que el terrado, solamente esfuerzos de compresión sobre éstos. La *figura 3.5* muestra un esquema típico de este tipo de sistema de piso.

3.3.2 *Bóveda Catalana*

Otro sistema de piso con el que se sustituyeron las techumbres originales a finales del siglo XIX, fue la bóveda catalana apoyada sobre perfiles de acero (*figura 3.6*). Este sistema de piso está formado por dos perfiles de acero sobre los que se apoya la bóveda catalana de doble o triple capa de ladrillo, sobre la que se colocaba un relleno de tierra para dar la superficie plana del siguiente nivel. Sobre el relleno de tierra se colocaba un entortado y sobre éste el acabado del piso que podía ser de ladrillo o mosaico. En la *figura 3.7* se presenta el esquema de este tipo de pisos.

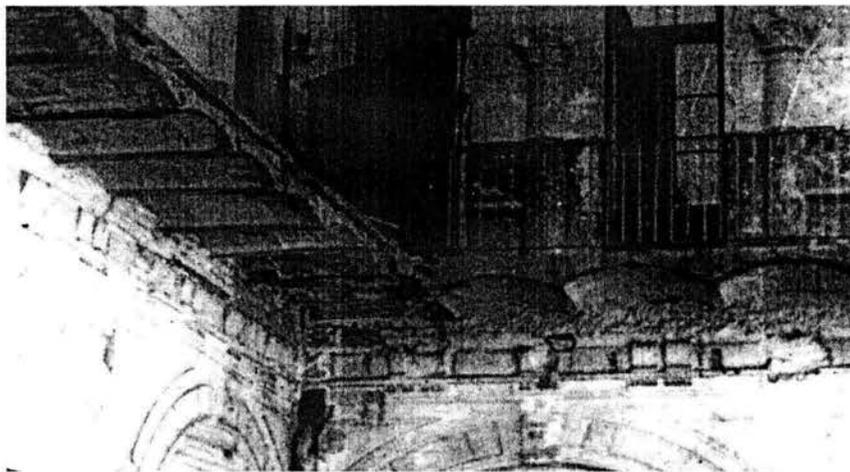
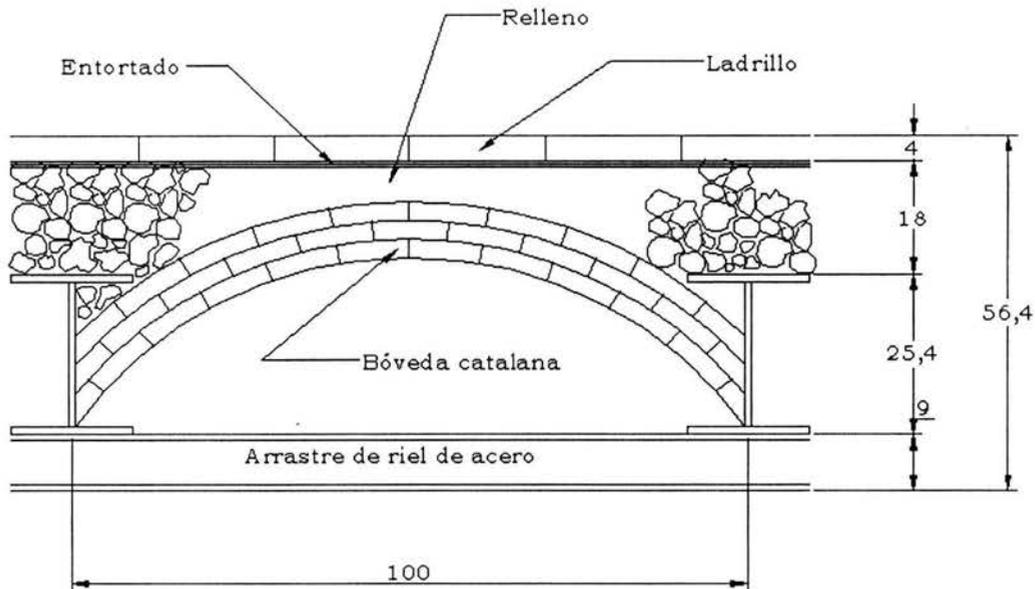


Figura 3.6 Sistema de piso con bóveda catalana

Los sistemas de piso que se emplearon durante los siglos XVIII y XIX en las reestructuraciones actúan independientemente de los muros al estar apoyados sobre estos libremente, por lo que no trabajan en conjunto con la estructura. El sistema de piso de bóveda catalana tampoco trabaja

como un diafragma rígido pues permite desplazamientos diferentes en los apoyos propiciando deformaciones en la superficie.



Bóveda Catalana con triple capa de ladrillo.

Figura 3.7 Sistema de piso con bóveda Catalana (acotaciones en cm)

3.3.3 Losas de concreto armado

En los edificios históricos es posible encontrar losas de concreto armado debido a reestructuraciones realizadas a partir de los años cincuenta del siglo XX. Este tipo de reestructuraciones permite reducir los pesos de las edificaciones, así como también logran un diafragma rígido. Los espesores de la losa varían entre 10 y 20 cm (figura 3.8). Las losas se apoyan directamente sobre los muros o sobre cadenas de concreto empotradas en los muros de apoyo (Peña, 2004). Debido a la concepción arquitectónica y estructural de los edificios son losas apoyadas en una sola dirección. Generalmente para evitar una modificación arquitectónica del inmueble, se colocan por debajo de la losa, vigas de madera y

enladrillado o entablado para dar la apariencia del sistema de piso original. Estos elementos no tienen ninguna función estructural.

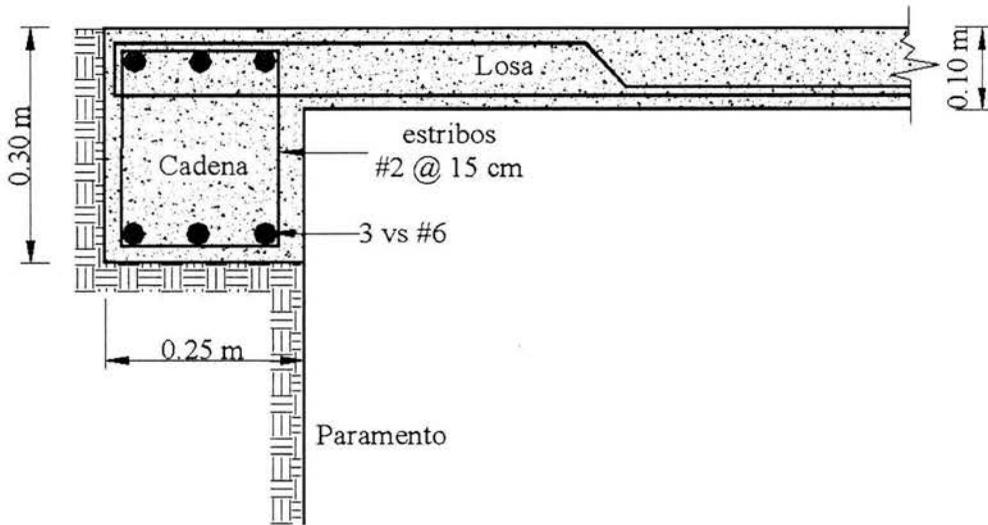


Figura 3.8 Esquema del sistema de piso de concreto armado

3.4 ESCALERAS

En este capítulo se han incluido las escaleras, pues se considera como un elemento de comunicación entre los diferentes niveles de las casas. La escalera es uno de los elementos constructivos más antiguos de la historia de la arquitectura, aunque resulta complicado establecer con precisión su origen. El motivo fundamental y determinante para la evolución de la escalera ha sido la necesidad de salvar desniveles de la manera más cómoda posible.

Durante la época de la Colonia las primeras escaleras de los conventos y templos se hacían con base en un terraplén al que se le colocaban los escalones con piedras labradas en forma rectangular y sus paramentos se cubrían también con piedras (figura 3.8), este tipo de escaleras ocupaban mucho espacio y no se podían emplear en el interior de las edificaciones, por lo que eran poco útiles. Algunas escaleras que se colocaban en el interior de los edificios se construían con madera, este tipo

de escaleras eran muy empleadas en los coros de las iglesias o templos debido a que el espacio que ocupaban era considerablemente más reducido que las mencionadas anteriormente. Con el tiempo, la manera de construir las escaleras fue cambiando. Poco a poco se dejó de utilizar el basalto y se comenzaron a emplear los sillares de cantera y los terraplenes se sustituyeron por arcos o bóvedas que les servían de apoyo (figura 3.9).

Un ejemplo de esto es la escalera de la casa del conde de San Bartolomé de Xala “...la escalera principal esta sobre bóveda, con pasos o escalones de chiluca, guarnecidos al rodapié o huella con azulejos ... La escalera principal tiene pasamano de fierro... ” (IIE, 1957). En las casas grandes se usaba más de una escalera, la principal y otra de servicio “..junto a la puerta de la bodega grande, se encuentra otra escalera chica, sobre bóveda con pasos de tenayuca y azulejos en las huellas de sus escalones, que es subida de los entresuelos principales” (IIE, 1957). Esto debido a que las casas señoriales contaban con más de un patio alrededor del cual se encontraban las habitaciones.

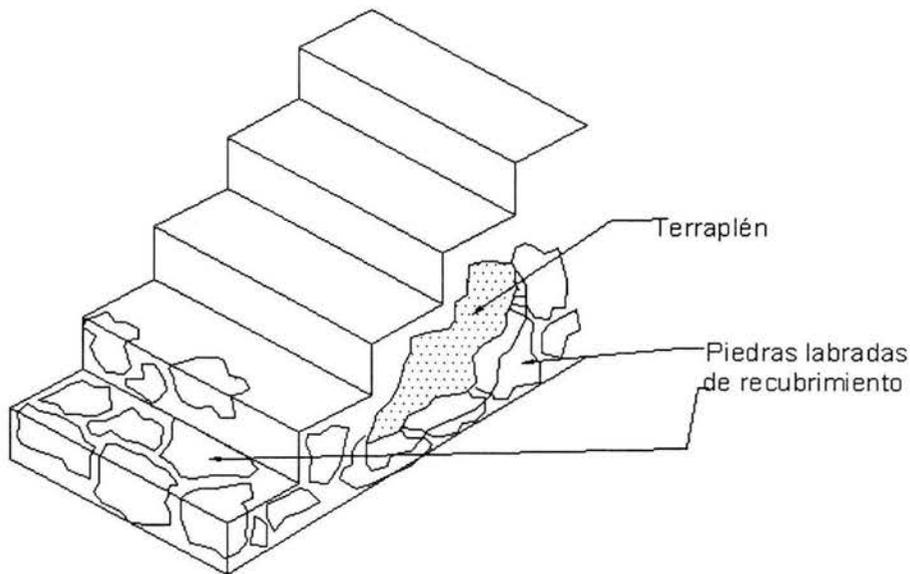


Figura 3.8 Primeras escaleras usadas en la colonia

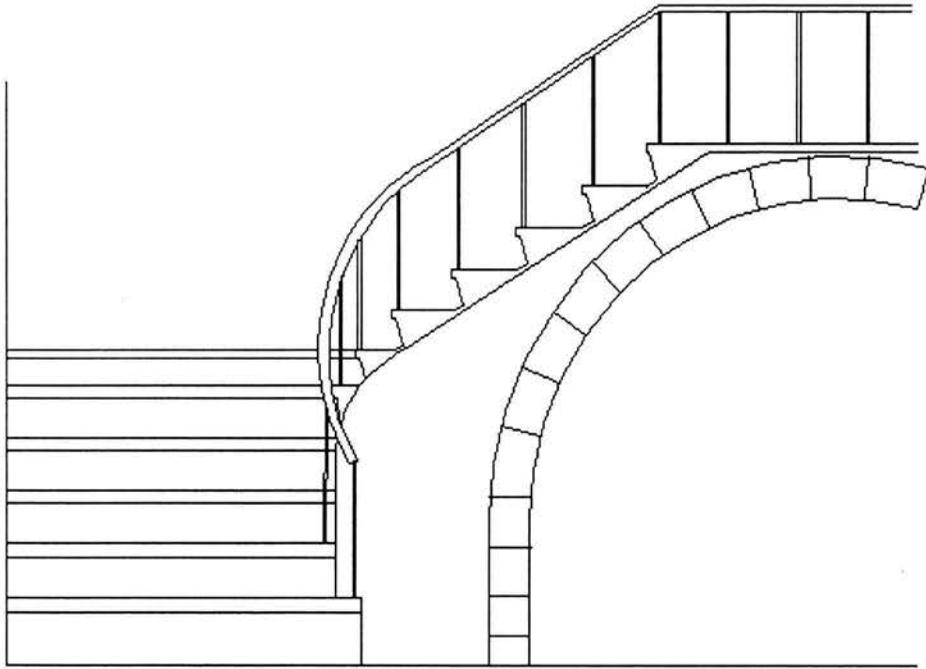


Figura 3.9 Escalera sobre bóveda

4 SISTEMA DE SOPORTE

4.1 GENERALIDADES

Los muros son construcciones macizas cuya resistencia es vertical y están destinados a cerrar un espacio o sostener otras obras resistiendo su peso o sus esfuerzos. Los muros como las columnas, cumplen con otras funciones estructurales, como las de absorber los empujes laterales debidos al coceo de arcos y bóvedas y al efecto de viento y sismo.

Los Moros y moriscos, así como los godos, fabricaban disformes paredes en su grueso, práctica que heredaron los españoles y que fue continuada aún por mucho tiempo durante la época de la Colonia. Posteriormente el grueso de los muros fue disminuyendo y después se buscó guardar la proporción con los destinos, menesteres y aplicaciones de lo que se construía (González,1984).

En los primeros años de la Colonia los nuevos edificios se caracterizaban por su impresionante solidez, reflejo de la inseguridad que los españoles sentían al verse rodeados por la población mayoritariamente indígena. En los Diálogos de Cervantes de Salazar en 1554, Alfaro, uno de los personajes, comenta: “ *todas (las casas)... son magníficas y hechas a gran costa, cual corresponde a vecinos tan nobles y opulentos. Según su solidez, cualquiera diría que no son casas si no fortalezas.*” A lo que Zuazo, otro de los personajes de los Diálogos, respondió:” *así convino hacerlas al principio cuando eran muchos los enemigos ya que no se podía resguardar la ciudad ciñéndola de torres y murallas.*”(Cervantes de Salazar, 1963).

Los muros exteriores de casas, conventos e iglesias tenían escasas ventanas, muchas veces de proporciones reducidas, por la propensión natural de achicar los vanos en regiones de mucho calor (De Gante,1954) además del temor que los españoles tenían de los indígenas.

En una primera etapa, unos años después de la conquista, la construcción se realizó con sillares y hasta con piezas de piedra esculpidas

procedentes de los edificios prehispánicos y de edificios coloniales en demolición. Los materiales de construcción se incorporaban con morteros de cal, sin embargo en muchas ocasiones se emplearon los morteros fabricados de lodo. Esto se debía al alto costo de la cal, como consecuencia del sistema de transporte que se encontraba sobresaturado y atrasado, otro factor que influyó en los altos costos fue la falta de trabajadores calificados.

La cal necesaria para la argamasa era el material más caro en el siglo XVI, "en 1531 la construcción de un muro de mampostería de 2m de ancho requería de un cesto de cal con un costo de \$1" (Kubler, 1948). Luego se recurrió a los ladrillos de barro cocido y a los recubrimientos de tezontle; más tarde a esos materiales se unió la cantera de colores claros que cuidadosamente se procesó para conseguir marcos de puertas y ventanas, apoyos, molduras y cornisas.

En los métodos constructivos de aquella época se hacía la diferencia entre cal y canto y cantería, el primero denotaba construcciones de mampostería y el segundo la cantera bien tallada.

Las fachadas de los edificios se hacían de paramentos verticales por el interior, aunque dejando en cada piso un retallo para disminuir su espesor a medida que se levantaba la fábrica. Las fachadas se construían con cierta inclinación por el exterior comprendida entre el 1/100 y 1/500 para resistir mejor el empuje que les comunicaban los tejados, suelos y bóvedas (Espinosa, 1859). Las demás paredes de los edificios se construían verticales por ambos paramentos aunque disminuyendo de espesor en cada piso.

El espesor de los muros en los edificios coloniales varía entre 0.60 m y 1.00 m (INAH, 2004). En ocasiones el cimiento era de espesor ligeramente mayor que el muro que soportaba, pero es muy frecuente que ambos (muro y cimentación) fueran de la misma sección. Los espesores variables de la cimentación eran de un metro, llegando algunos a tener casi tres metros de grueso. Los muros exteriores y superiores eran de cal y canto,

“... de arriba abajo (las casas) son todas de cal y canto, con viguería de cedro...” (Cervantes, 1963) con un mortero similar al de la cimentación, pero a diferencia, de la cimentación se empleaban en ellos piedras porosas (tezontle) de varios tamaños, adecuadamente colocadas, de manera que quedaran totalmente cubiertas con el mortero. Por lo general las alturas de entrepiso eran diferentes, pues la planta baja era de doble altura. En algunas estructuras coloniales que se encuentran en el centro de la ciudad, se han encontrado alturas de entrepiso que varían entre cinco metros y medio en viviendas, hasta doce metros de altura en edificios monumentales.

“En la fabricación del cimiento y del muro soportado la técnica constructiva empleada era la misma, difiriendo únicamente en el tipo de piedra, en la cimentación se utilizaba piedra densa con el propósito de impedir el paso y ascenso de las aguas subterráneas, en cambio, en el muro superior se usaba piedra porosa de poco peso para reducir los asentamientos y los efectos sísmicos. Se obtuvo así la mampostería ligera, el antecedente histórico del concreto ligero actual”(SEFI, 1977).

4.2 MUROS

4.2.1 Métodos constructivos

Cuando los muros eran muy gruesos se formaban de varios sillares. Los cuales si era posible debían estar en contacto unos con otros sin dejar más espacio que el de sus juntas. Generalmente la parte de los sillares que da al centro del muro se dejaba con las irregularidades con las que había salido de la cantera, cuidando solamente que los paramentos y juntas estuvieran labrados. Se hacía entonces la fábrica de sillería a dos haces, rellenando el espacio intermedio entre los sillares de uno y otro frente con piedras que no tuvieran labrados mas que sus lechos (figura 4 1).

La piedra se sentaba en la obra sobre su lecho de cantera o a hoja, es decir en la misma situación que tenía en la cantera, esto debido a que las piedras al ser depositadas en capas sucesivas son más débiles en la dirección perpendicular a la del lecho del depósito (los canteros aprovechaban también esta situación para cortarlas de manera más fácil), ya fueran las hiladas horizontales inclinadas de modo que fueran normales a las presiones que debían soportar.

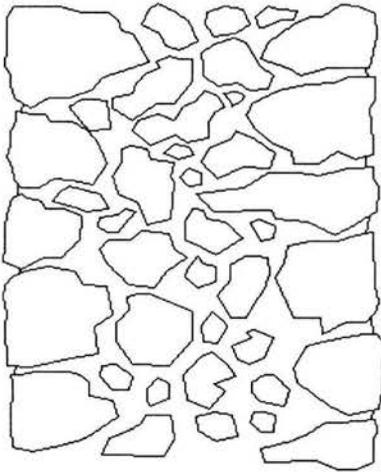


Figura 4.1 Mampostería de sillería a dos haces

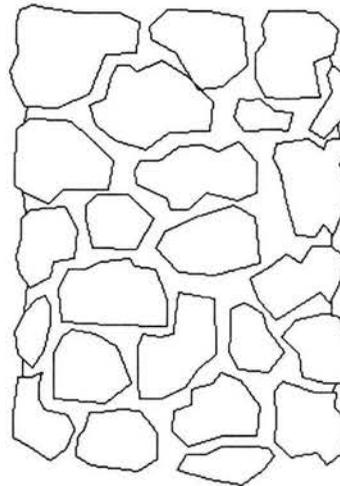


Figura 4.2 Mampostería irregular

Hay dos tipos de mampostería dependiendo del proceso constructivo, la mampostería organizada o con aparejo (cantería) y la mampostería irregular (cal y canto), en la que las piedras se colocan sin labrar o casi, distribuidas en forma irregular en una matriz de mortero (*figura 4.2*). Son también comunes los elementos en que las caras aparentes tienen un aparejo regular y el interior es de tipo ciclópeo, para el cual la mampostería exterior sirve de cimbra.

4.2.2 Materiales de construcción

Rocas

El componente natural más común en las construcciones coloniales es la piedra pues se empleaba en la elaboración de las mamposterías para los muros y las columnas. Los obreros de esa época escogían el tipo de roca empleado en la construcción de estos edificios tomando en cuenta dos propiedades la trabajabilidad y la durabilidad.

De los tres tipos geológicos de rocas existentes las más empleadas en la edificación eran: el basalto y el tezontle, cuando nos referimos a las ígneas, usadas en las mamposterías; las areniscas y las calizas, hablando de rocas sedimentarias y, finalmente los mármoles que pertenecen a las metamórficas, estos dos últimos tipos se empleaban en los acabados y los ornamentos.

La arquitectura del siglo XVI se distingue por dos clases de piedra empleadas principalmente: el tezontle (roca porosa ígnea) y el tecalli (también llamado ónix mexicano). Con respecto al tecalli solo se puede decir que era usado con fines ornamentales en las ventanas, este material era empleado como vidrio (Kubler, 1948).

Las casas viejas mexicanas se construyeron casi en su totalidad de tezontle, “...aproximadamente 70 mil metros cuadrados de muros se registran en un cálculo de 1531...”, (Kubler, 1948) por ser el material más común y más fácil de obtener, pues los templos de los aztecas estaban contruidos con este material y, después de la destrucción de la ciudad, los españoles en sus primeras casas, usaron los bloques de las pirámides en sus construcciones.

Los aztecas comenzaron a extraer el tezontle, en 1449 en los alrededores de Tenochtitlán, para la construcción de sus templos (Kubler, 1948). A la llegada de los españoles, este mismo material fue empleado en la construcción de las nuevas casas, conventos e iglesias. Su porosidad y

fragilidad la hacían inapropiada para la talla elaborada, para la unión de grandes arcos y para las esquinas expuestas a uso constante o erosión, elementos comunes en las casas de la Nueva España; aún cuando su atractivo color la hacía apropiada para la decoración o recubrimiento de muros. Por otro lado su ligereza y la facilidad de extracción la hacía apropiada para la construcción de los muros.

Morteros

El uso de los morteros se hizo necesario con el tiempo pues se requería de un material para el relleno de las juntas de las piedras o los sillares, al principio el mortero usado era simplemente lodo de barro; sin embargo, era poco resistente a la intemperie. Posteriormente, y durante el resto de la Colonia, el mortero que se usó comúnmente fue el que se elaboraba con cal y arena. Éste permitió la construcción de elementos más resistentes y más durables debido a su capacidad cementante y durabilidad. Los indígenas muchas veces cambiaban la cal por cenizas, aún no se sabe el propósito que esto tenía pero muchas construcciones se remodelaron debido a esto (Kubler, 1948).

El mortero de cal y arena da a las mamposterías ciertas características de deformabilidad, debido a que la cal adquiere resistencia por medio de un proceso de carbonatación al contacto con el aire. Este proceso es lento y va de las caras externas hacia el interior del elemento estructural. Debido a este fenómeno los muros de las estructuras construidas con morteros que contienen cal resisten deformaciones muy grandes debidas a asentamientos diferenciales, pues se requiere de muchos años para que el mortero termine su proceso de secado y carbonatado. Este proceso define el comportamiento plástico del material.

La mampostería sufre cambios volumétricos importantes debido a la contracción que el mortero sufre al secarse, como resultado de estas contracciones y al secado del material las juntas de mortero suelen

agrietarse, condición que debe ser considerada al sustituir los materiales de construcción originales en una edificación de este tipo.

4.2.3 Características de los materiales de construcción

Resistencias de los materiales

La resistencia a compresión de las piedras de construcción varía entre 100 y 1000 kg/cm², algunos autores consideran la resistencia a tensión del orden de una décima parte de la de compresión, y el módulo de elasticidad cercano a 1000 veces la resistencia a compresión (Meli, 1998). Estos valores fueron obtenidos de ensayos realizados con probetas de materiales extraídos de edificios monumentales; sin embargo, cabe aclarar que se considera que las resistencias mencionadas anteriormente disminuyen entre 10 y 20% estando en el edificio pues las condiciones del material no son las mismas. Esta disminución también depende del tipo de piedra y las características de la probeta, pues cuando la probeta es ensayada existe fricción entre las placas de la máquina de prueba y el espécimen que restringe la expansión lateral y por tanto limita el microagrietamiento del material, condiciones que no se dan en la realidad.

Con respecto a los morteros, los de cal y arena alcanzan típicamente resistencias en compresión entre 5 y 20 kg/cm², aunque más durables que los morteros de barro también son afectados por el intemperismo a causa de la porosidad del material que permite el paso de la humedad que contiene sales que atacan la cal (Meli, 1998).

Aditivos empleados en los morteros

Se usaban diversos tipos de aditivos (tabla 4.1), cuya finalidad era la de mejorar las características de los morteros como son la

impermeabilidad pero sobre todo se buscaba aumentar la adherencia con las piedras y los ladrillos. Estos morteros eran muy costosos y se empleaban solamente en edificios importantes.

En la actualidad no se puede garantizar que las características adquiridas por los morteros debido a estos aditivos se conserven, pues las sustancias orgánicas se degradan con el tiempo.

Tabla 4.1. Aditivos usados para mejorar las características de los morteros (*Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas*)

TIPO DE ADITIVO	PROPÓSITO	SUSTANCIA
Plastificantes	Hacer más manejable el mortero y, al reducir la cantidad de agua mejoran su resistencia y durabilidad.	Clara de huevo, cola animal, leche, aceite vegetal, resina, pasta de estiércol, baba de nopal.
Estabilizadores de Volumen	Reducir la contracción por fraguado del mortero.	Yema de huevo, aceites, grasas y ceras.
Impermeabilizantes	Reducir la absorción de agua del mortero.	Cola animal con ácido tánico, betún, emulsión de ceras, aceite mineral y cera de abeja.
Adhesivos	Aumentan el amarre del mortero con la piedra.	Gelatina, colas animales y vegetales, gluten, caseína, resinas.
Inclusores de aire	Aumentan la durabilidad del mortero.	Cerveza, orina, pellejo animal.
Refuerzos	Dan unión a la mezcla y mejoran la durabilidad del mortero.	Pelo animal, paja, arroz.
Retardadores de fraguado	Aumentan el tiempo que se puede trabajar la mezcla.	Azúcar, sangre, clara de huevo.

Mamposterías

Para poder hablar de la resistencia de los muros se tiene que considerar la mampostería como un solo elemento por lo que es importante señalar que las características estructurales dependen fuertemente del arreglo de los materiales componentes, mas que de las características mecánicas de los mismos.

En elementos de mampostería irregular, el mortero llega a constituir hasta el 60% del volumen total, mientras que en elementos de bloques o sillares de cantera, apenas alcanza el 2 o el 3% del total. Debido a esto la resistencia que alcanza una mampostería es mucho menor que la resistencia de la roca y mayor que la del mortero en proporciones que dependen de los porcentajes de material que la constituye.

Las propiedades mecánicas de la mampostería varían en muy amplios intervalos y dependen de la calidad de la piedra y del mortero; sin embargo la interacción entre ambos materiales depende en forma importante del aparejo, o en general de la distribución interna de los mismos, además las propiedades pueden verse afectadas por el deterioro.

La baja resistencia a tensión de la roca produce grietas crecientes a medida que la carga aumenta y que gobierna la capacidad del conjunto para resistir cargas axiales. La capacidad en compresión del mortero no es crítica debido a que queda confinado entre las piedras a causa de que su espesor es muy pequeño. Estas dos características tanto del motero como de la roca hacen que en conjunto la resistencia sea mayor que la primera y menor que la de la segunda.

No se puede hablar de valores típicos de resistencia de las mamposterías pues los resultados experimentales son muy escasos por la dificultad de representar las condiciones reales de la obra en el laboratorio y por la gran variedad de situaciones que se pueden presentar. Otros autores consideran la resistencia a tensión de las mamposterías

prácticamente nula, aunque estos especifican que suele presentar valores entre 1 y 2 kg/cm²

Las propiedades de algunos tipos de mampostería encontrados en edificios históricos se presentan en la *tabla 4.2*.

Tabla 4.2. Propiedades de algunos tipos de mamposterías

(Meli, 1998)

PROPIEDADES DE ALGUNOS TIPOS DE MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

Material	Peso volumétrico t/m ³	Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Resistencia a cortante Kg/cm ²	Módulo de elasticidad Kg/cm ²
Adobe	1.8	2 – 5	0.5	3000
Bloques de tepetate con mortero de cal	1.8	5 – 10	0.5	5000
Ladrillo con mortero de lodo	1.6	5 – 10	1.0	5000
Ladrillo con mortero de cal	1.6	15 – 20	2.0	10 000
Mampostería de piedra irregular con mortero de cal	2.0	10 – 15	0.5	5000
Mampostería de piedra de buena calidad	2.0	30	2.0	20 000

Las propiedades indicadas representan valores conservadores entre los encontrados en la literatura.

Para fines de cálculo de las deformaciones de las estructuras, así como para el análisis estructural, es importante conocer el módulo de elasticidad del material que varía en rangos que van de 5,000 kg/cm² para la mampostería irregular con altos contenidos de mortero, hasta de

200,000 kg/cm² en mampostería de bloques de piedra de buena calidad con juntas de mortero muy delgadas.

Aún en una misma construcción los módulos de elasticidad de los materiales de diferentes elementos estructurales pueden presentar variaciones, estas variaciones influyen en la distribución de cargas entre los elementos.

4.2.4 Funcionamiento estructural

Para arreglos irregulares de piedras, los mecanismos de falla son diferentes. Estos no implican el agrietamiento de ellas si no su separación, el abultamiento de un tramo de muro y la separación de franjas verticales, independientes, lo que conduce al pandeo y al colapso.

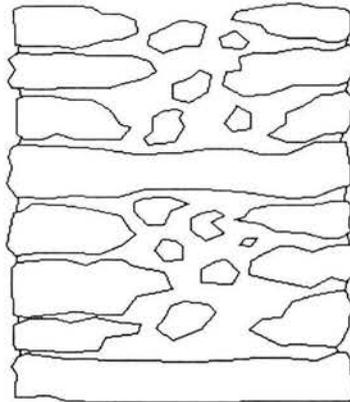


Figura 4.4 Mampostería con piedras de amarre

En la mampostería de piedra se presentan elementos colocados transversalmente que abarcan el grueso del muro (*figura 4.4*), su función es amarrar la mampostería. Por esto se puede decir que la resistencia de los muros de mampostería depende, más que de la resistencia de las piedras, del arreglo de las mismas y de la calidad del mortero.

El comportamiento estructural de la mampostería ante los diferentes tipos de esfuerzos es esencialmente frágil, es decir que el material falla de

forma brusca al alcanzarse su capacidad de carga. Las fallas de tipo frágil no son visibles hasta que el material se rompe ocasionando colapsos súbitos con pocas señales de daño previo. El carácter frágil se acentúa para las mamposterías de mayor resistencia.

Un fenómeno que genera cambios volumétricos importantes es el flujo plástico, que son las lentas deformaciones sufridas por la mampostería debido al proceso de carbonatación del mortero; por el cual un material sometido a carga de compresión, después de un acortamiento inicial elástico, continúa deformándose en el tiempo mientras la carga permanezca. Este fenómeno es importante en los morteros de cal para los cuales la deformación final llega a ser incluso de la misma magnitud que la inicial.

El fenómeno también es importante para definir la distribución de cargas en estructuras compuestas de materiales diferentes. Debido al flujo plástico puede haber transferencia de carga de elementos inicialmente muy rígidos, pero que al continuar deformándose, ceden parte de su carga a otros menos sensibles a este fenómeno.

Las deformaciones debidas al flujo plástico son proporcionales al volumen de mortero contenido en la mampostería pues es este el que le da esa característica a la mampostería. Los elementos de mampostería irregular experimentan deformaciones diferidas mucho mayores que los elementos de bloques o sillares de cantera al contener los primeros un porcentaje mayor de mortero que los segundos.

Cabe resaltar que el flujo plástico permite la deformación de las estructuras debido a los asentamientos diferenciales que crecen muy lentamente en el tiempo, esto se puede observar claramente en los edificios que se encuentran en el centro histórico de la Ciudad de México, pues las distorsiones en muros de mampostería y techos de los edificios son muy importantes como consecuencia de la consolidación de los estratos del subsuelo del centro.

En la *tabla 4.3* se presentan algunos daños que se presentan en las mamposterías y las causas por las que estas los sufren.

Tabla 4.3 Daños en las mamposterías y sus causas

DAÑOS	CAUSAS
Grietas	<p>Fallas de cimentación.</p> <p>Movimiento sísmico o empujes horizontales: son fuerzas laterales producidas por construcciones adyacentes, desplomadas o por movimientos sísmicos.</p> <p>Cargas concentradas: son sobrepesos en un punto determinado del edificio.</p> <p>Falla de material: causada por la deficiencia o heterogeneidad de los materiales constructivos de los muros.</p> <p>Falla de amarres: ausencia de traslape en los elementos del muro o en sus intersecciones.</p> <p>Alteración estructural (en muros y entrepisos): abertura de vanos agregados y retiro total o parcial de elementos estructurales (mutilaciones).</p>
Humedades	<p>Nivel freático: nivel del agua en el subsuelo que se trasmite a la estructura por capilaridad.</p> <p>Medio ambiente: alto porcentaje de humedad en locales internos.</p> <p>Escurrimientos: inadecuada conducción de líquidos debido a la falta de pendientes adecuadas, azolves y elementos deteriorados.</p> <p>Fracturas en cubiertas: producidas por asentamiento. Fallas de los soportes, sobrecargas, etc.</p> <p>Instalaciones defectuosas: aquellas que no cumplen adecuadamente la función para la cual fueron diseñadas.</p> <p>Pérdida de recubrimientos: falta de las protecciones en muros debido a la disgregación de los morteros, permitiendo la filtración de la humedad en los paramentos.</p>
Alabeos, flanbeo o desplomes.	<p>Sobrecarga: pesos ajenos a la estructura original que ejercen una presión adicional en ésta, causando deterioros.</p> <p>Alteración estructural: causada por el retiro de elementos de liga (entrepisos y muros) o apertura de vanos que debilitan la estructura, así como el retiro de elementos de refuerzo.</p> <p>Empujes horizontales: son los esfuerzos horizontales que sufre el inmueble ocasionándole daños en su estructura.</p>

4.3 COLUMNAS

La columna es el elemento empleado para el soporte de los pasillos alrededor de los patios y se compone de basamento, fuste y capitel. El basamento es el pie sobre el que se asienta la columna y sirve para darle fuerza y solidez para resistir las cargas sobre la columna. El fuste es el cuerpo de la columna, puede tener forma circular o cuadrada y en algunos casos es de mayor sección en la parte inferior que en la superior. Finalmente el capitel es la parte superior de la columna en la que se denota el estilo de la misma, estructuralmente el capitel da firmeza para que la columna sostenga mejor el entablamiento. Este entablamiento se compone de arquitrabe, friso y cornisa.

Las columnas en su mayoría estaban labradas con aparejos de sillares. Las columnas eran uno de los elementos estructurales que se hacían con bloques de cantera pues eran fáciles de labrar los bloques que las conformaban.

Las columnas se empleaban como elementos de soporte para las arcadas que sostenían a los pasillos de las plantas superiores. Este sistema permite cubrir claros mayores entre las columnas, un mejor reparto del peso del muro sobre las columnas al eliminar las cargas inertes existentes sobre los vanos de los arquitrabes transformándolos en activas a través de los arcos. Como consecuencia hay una mayor integración del sistema en el conjunto desde el punto de vista estructural.

Las columnas de las casas coloniales funcionan con carga axial solamente, esta carga es la que los arcos reciben de los pasillos, pues las columnas solo se empleaban para el apoyo de los pasillos, y la distribuyen por igual en sus dos apoyos.

5 CARGAS GRAVITACIONALES UNITARIAS

Uno de los problemas principales a los que se enfrentan las estructuras históricas situadas en el centro de la Ciudad de México son los hundimientos diferenciales. La necesidad de reestructurar el patrimonio cultural, implica el desarrollo de un proyecto de intervención que hace necesario realizar una bajada de cargas para conocer las descargas en la cimentación y prever, los asentamientos que pueda tener la estructura. Sin embargo no siempre se dispone de toda la información necesaria para llevar a cabo una bajada de cargas. En este capítulo se proponen cargas medias por metro cuadrado para realizar en forma simplificada la bajada de cargas de casas coloniales de la ciudad de México.

Es de suma importancia aclarar que si se requiere hacer una bajada de cargas más detallada y con valores más precisos, se deben hacer estudios directamente sobre la estructuración y los materiales que conforman el edificio que se desee analizar.

Para el cálculo general del peso de cada uno de los elementos estructurales, de un edificio colonial, se deberán de tomar en cuenta algunas consideraciones preliminares.

En la selección de las dimensiones tomadas para los cálculos se emplearon dos criterios diferentes: el primero fue tomar las más comunes de una serie de construcciones de las cuales se tenían sus dimensiones; y el segundo, cuando no existía suficiente información para seguir el primer criterio, se eligió la media de un rango de valores encontrados en la literatura.

Los pesos volumétricos de los diferentes materiales que se emplearon para la construcción se presentan en la *Tabla 5.1*. Los pesos se calcularon de acuerdo al sistema tradicional que se emplea para el diseño de los edificios en la actualidad.

Tabla 5.1 Pesos Volumétricos de los materiales de construcción (Luna, 1995)

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	PESO VOLUMÉTRICO T/m³
Mampostería de piedra de buena calidad	1.6
Chiluca	1.8
Tierra apretada y húmeda	1.6
Pino	0.7
Entortado	1.5
Piso terminado	1.8
Concreto	2.4

5.1 CIMENTACIÓN

Se consideró una cimentación de las dimensiones que se presentan en la *figura 5.1*. Tomando en cuenta que los estacones de madera se encuentran inmersos directamente en el suelo y que las capas de madera y de lajas de piedra que se colocaban ocasionalmente sobre el terreno, por lo general no tenían un espesor significativo, para el cálculo del peso de la cimentación no se tomaron en cuenta estos tres elementos.

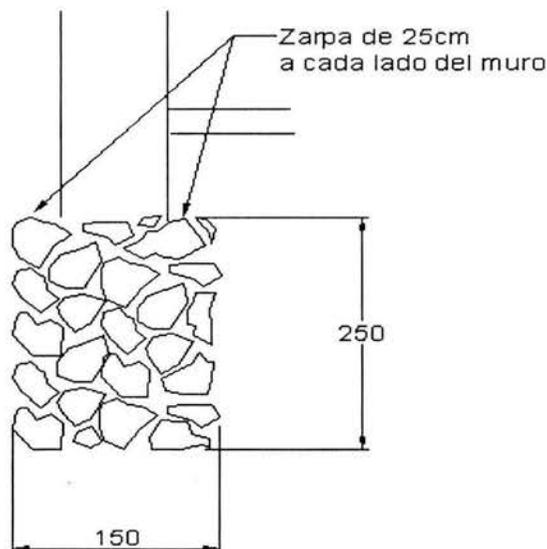


Figura 5.1 Dimensiones de la cimentación (acotaciones en cm)

Con la siguiente expresión se obtuvo el peso de la cimentación por metro lineal:

$$W_c = e_c \times h_c \times \gamma_m \quad (5.1)$$

en dónde:

W_c peso de la cimentación por metro lineal,

e_c espesor de la cimentación incluyendo la zarpa,

h_c profundidad de desplante, y

γ_m peso volumétrico del material de construcción de la cimentación

Para obtener el espesor de la cimentación se consideró una zarpa de 25 cm a cada lado del muro, por lo que al sumarla al espesor del muro nos da el valor considerado de 1.50m

Para las cimentaciones se eligieron los valores más frecuentes en los edificios construidos en la época de la colonia, teniendo las siguientes dimensiones:

$$e_c = 1.50 \text{ m}$$

$$h_c = 2.5 \text{ m}$$

$$\gamma_m = 1.6 \text{ T/m}^3$$

Sustituyendo los valores en la expresión (5.1) obtenemos W_c :

$$W_c = 6 \frac{\text{T}}{\text{m}}$$

5.2 SISTEMA DE PISO Y CUBIERTA

Como ya se mencionó en el capítulo correspondiente al sistema de piso y cubierta, se han encontrado diferentes sistemas. Para cada tipo de sistema de piso se realizó el cálculo de su peso por metro cuadrado.

5.2.1 Terrado

Para el terrado, que está formado de madera con relleno de tierra, los valores considerados fueron de la tierra apretada y húmeda, pues se tomó en cuenta que al secarse la madera y separarse permite el paso del agua a través de ella manteniendo húmeda la tierra de relleno; y por esta misma razón la madera se consideró húmeda. En los terrados se empleaba madera de pino o de cedro, siendo sus pesos volumétricos muy semejantes se tomó en cuenta el peso del pino.

Para algunos elementos que componen el sistema de piso, se tomaron dimensiones actuales encontradas en manuales. Por ejemplo, las dimensiones de las vigas de madera, se tomaron de escuadrías actuales dadas en pulgadas. De la *figura 5.2* podemos obtener las siguientes medidas:

$$e_v = 4" \times 9" = 0.1016\text{m} \times 0.229\text{m}$$

$$e_r = 0.25\text{m}$$

$$e_{ent} = 0.05\text{m}$$

$$e_e = 1" = 0.0254\text{m}$$

$$e_{term} = 0.025\text{m}$$

en dónde:

e_v *dimensiones de las vigas de madera,*

e_r *espesor del relleno de tierra,*

e_{ent} *espesor del entortado,*

e_e *grosor de los tablones de madera y*

e_{term} *espesor del piso terminado*

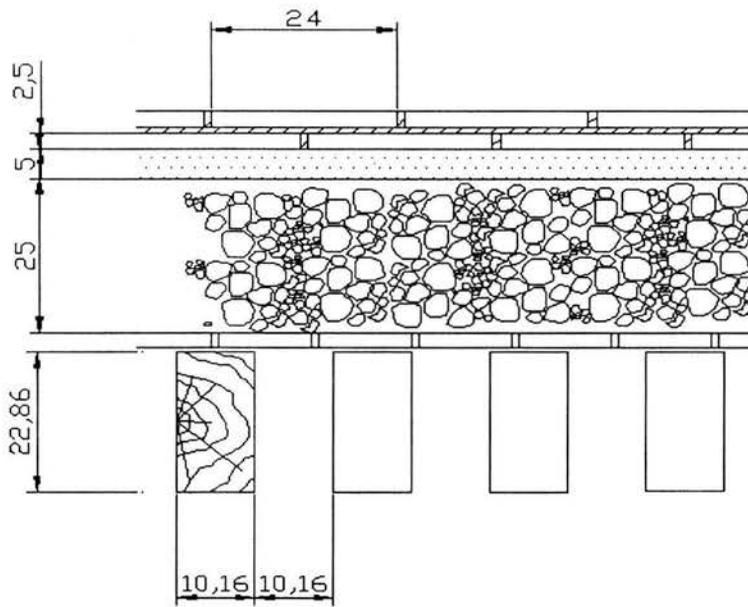


Figura 5. 2 Dimensiones del sistema de piso de terrado (acotaciones en cm)

Haciendo el cálculo del sistema de piso por partes tenemos primero el peso de las vigas de madera que sostienen al piso:

Para una viga tenemos que su volumen es:

$$V = b \times h \times lm \text{ para una viga} \quad (5.2)$$

sustituyendo los valores:

$$V = 0.023 \text{ m}^3$$

Si consideramos que el sistema constructivo es entre viga y viga, otra viga podemos concluir que se tienen cinco vigas en un metro de longitud, multiplicando el valor obtenido para una viga por cinco, obtenemos el volumen de las vigas:

$$V_t = 0.116 \text{ m}^3$$

Para obtener el peso total en toneladas:

$$W = V_t \times \gamma_{pino} \quad (5.3)$$

en dónde $\gamma_{pino} = 0.7 \text{ T/m}^3$; sustituyendo los valores en la expresión (5.3):

$$W = 0.081T$$

Calculando el valor por metro cuadrado:

$$W_{vigas} = \frac{W}{lm^2}$$

$$W_{vigas} = 0.081 \frac{T}{m^2}$$

para los demás elementos que conforman el sistema de piso se tomó en cuenta el espesor y el peso volumétrico de los materiales que lo conforman, la expresión utilizada en todos los casos es la siguiente:

$$W = e \times \gamma \tag{5.4}$$

en donde:

- W *peso del elemento,*
- e *espesor del material y*
- γ *peso volumétrico del material empleado*

Para el relleno tenemos:

$$W_r = e_r \times \gamma_{tierra}$$

$$W_r = 0.4 \frac{T}{m^2}$$

Para el entortado:

$$W_{ent} = e_{ent} \times \gamma_{ent}$$

$$W_{ent} = 0.075 \frac{T}{m^2}$$

Para el piso terminado:

$$W_{term} = e_{term} \times \gamma_{term}$$

$$W_{term} = 0.045 \frac{T}{m^2}$$

En todos los casos, para obtener el total de cargas muertas debemos considerar las cargas adicionales que determina el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF, 1992), que dice que si se tiene un entortado construido en el lugar se deben de considerar 0.020 T/m², adicionales. El peso total del terrado, por metro cuadrado es:

$$W_{mtot} = 0.639 \frac{T}{m^2}$$

5.2.2 Lámina acanalada

Para este sistema de piso también se consideró la tierra de relleno apretada y húmeda. Como la lámina acanalada colocada en la parte inferior del sistema de piso, tenía una curvatura, para el cálculo del relleno esa curvatura se tomó en cuenta aproximándola con dos trapecios. El volumen de los trapecios se calculó con la siguiente expresión:

$$V = \frac{(h_1 + h_2) \times b}{2} \times 1m \quad (5.5)$$

en dónde:

$$h_1 = 0.27 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.11 \text{ m}$$

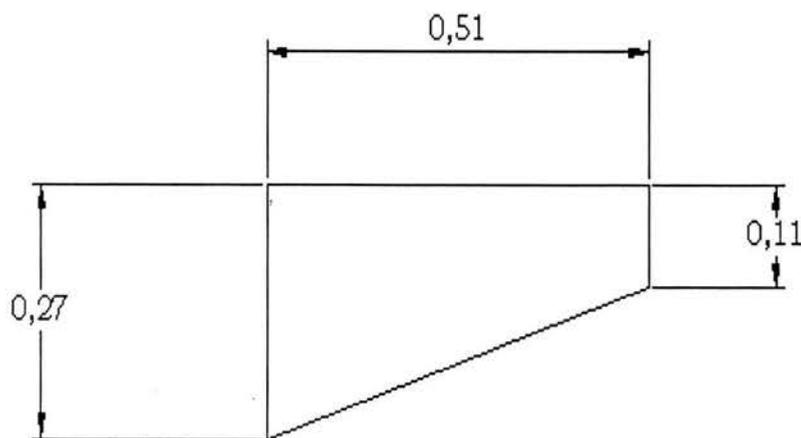
$$b = 0.51 \text{ m}$$

Sustituyendo las variables por los valores, obtenemos:

$$V = 0.097m^3$$

Para el volumen del relleno debemos multiplicar por dos el valor anterior, por lo que para el relleno tenemos:

$$V_r = 0.195m^3$$



Unidades en m

Figura 5. 3 Volumen aproximado de relleno en el sistema de piso con lámina acanalada.

Para los demás elementos que conforman el sistema de piso los cálculos se hicieron con las siguientes dimensiones:

$$\begin{aligned} e_{ent} &= 0.05m \\ e_{term} &= 0.025m \\ e_{lámina} &= 0.005m \end{aligned}$$

De los manuales de perfiles de acero y de acuerdo a las dimensiones encontradas en los sistemas de piso, seleccionamos un perfil de acero IE 160×17.9

Los pesos del perfil y de la lámina acanalada se presentan a continuación:

$$\begin{aligned} W_{perfil} &= 0.0179 \frac{T}{m} \\ W_{lámina} &= 7.2 \frac{T}{m^3} \end{aligned}$$

Usando la expresión (5.3) obtenemos el peso del relleno, en toneladas. Para obtener el peso por metro cuadrado dividimos entre 1.025m, que es el claro entre perfil y perfil, multiplicado por un ancho unitario:

$$\begin{aligned} W_r &= \frac{V_r \times \gamma_{tierra}}{1.025m^2} \\ W_r &= 0.304 \frac{T}{m^2} \end{aligned}$$

Para el resto de los elementos del sistema de piso usamos la expresión (5. 4):

Peso del entortado:

$$\begin{aligned} W_{ent} &= e_{ent} \times \gamma_{ent} \\ W_{ent} &= 0.075 \frac{T}{m^2} \end{aligned}$$

Peso del piso terminado:

$$\begin{aligned} W_{term} &= e_{term} \times \gamma_{term} \\ W_{term} &= 0.045 \frac{T}{m^2} \end{aligned}$$

El peso del perfil lo obtenemos dividiendo entre una longitud unitaria:

$$W_{\text{perfil}} = 0.0179 \frac{T}{m^2}$$

Para el peso de la lámina acanalada usamos la siguiente expresión:

$$W_{\text{lámina}} = e_{\text{lámina}} \times \gamma_{\text{lámina}}$$

$$W_{\text{lámina}} = 0.036 \frac{T}{m^2}$$

De la misma manera que en el caso anterior agregamos los 0.020 T/m² especificadas en el RCDF y obtenemos el total de las cargas muertas:

$$W_{\text{tot}} = 0.498 \frac{T}{m^2}$$

5.2.3 Bóveda catalana

Para este caso las dimensiones del relleno consideradas son las que se presentan en la figura 5.4 que es una simplificación de la curvatura de la bóveda.

Para el volumen del relleno usamos la expresión (5.5) y las dimensiones de la figura anterior:

$$V_{\text{trapecio}} = 0.154 m^3$$

El volumen del relleno es dos veces el del trapecio:

$$V_{\text{rell}} = 0.307 m^3$$

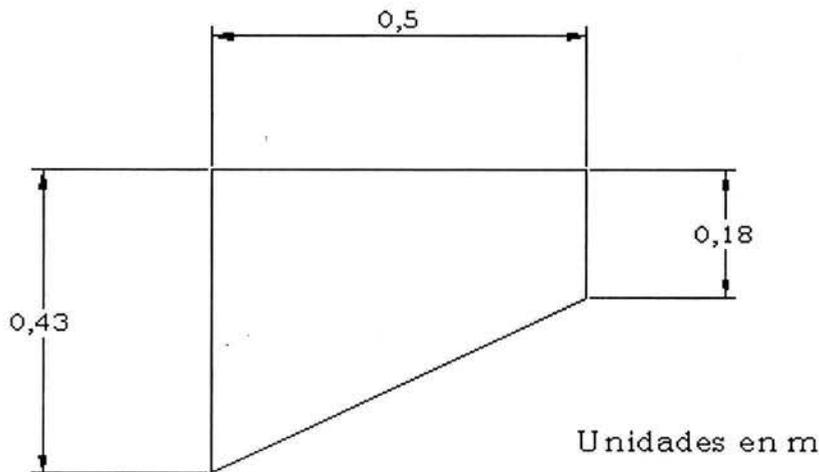


Figura 5. 4 Volumen aproximado de relleno en el sistema de piso con bóveda catalana.

Para el resto de los elementos del sistema de piso consideramos las siguientes dimensiones:

$$e_{ent} = 0.05m$$

$$e_{term} = 0.025m$$

$$e_{ladrillo} = 0.04m$$

para el espesor de la bóveda se consideraron tres capas de ladrillo por lo que:

$$e_{bóveda} = 0.12m$$

En este caso las dimensiones del perfil son mayores por lo que se tomó un perfil IE 254×52.1 con un peso por metro lineal de:

$$W_{perfil} = 0.0521 \frac{T}{m}$$

El procedimiento de cálculo de los pesos es el mismo que se empleó para la lámina acanalada, finalmente se obtuvieron los resultados listados a continuación:

$$W_{rell} = 0.491 \frac{T}{m^2}$$

$$W_{ent} = 0.075 \frac{T}{m^2}$$

$$W_{term} = 0.045 \frac{T}{m^2}$$

$$W_{bóveda} = 0.18 \frac{T}{m^2}$$

El peso del perfil es:

$$W_{perfil} = 0.0521 \frac{T}{m^2}$$

El aumento especificado en el RCDF es de 0.020 T/m², haciendo la suma de todas las cargas muertas obtenemos el total:

$$W_{mtot} = 0.863 \frac{T}{m^2}$$

5.2.4 Losa de concreto armado

Se consideró una losa de 0.10m de espesor, con un peso volumétrico de $2.4T/m^3$. Es importante señalar que se conservan las tablas de madera con vigas de pino para dar la apariencia del sistema de piso original.

Las vigas se conservaron de la misma escuadría que las empleadas en el terrado y en la parte superior se mantiene el entortado y el piso terminado de mosaico o de ladrillo. Las dimensiones consideradas son las siguientes:

$$e_{losa} = 0.1m$$

$$e_{ent} = 0.05m$$

$$e_{term} = 0.025m$$

$$e_{vigas} = 4" \times 9" = 0.1016m \times 0.229m$$

$$e_{entablado} = 1" = 0.254m$$

Para el cálculo del peso muerto del sistema usamos la expresión (5.4)

Para la losa de concreto armado:

$$W_{losa} = 0.24T / m^2$$

Peso del entortado:

$$W_{ent} = 0.08 \frac{T}{m^2}$$

Los pesos del entablado y las vigas de madera son los mismos que los calculados para el terrado:

$$W_{vigas} = 0.081 \frac{T}{m^2}$$

$$W_{entablado} = 0.018 \frac{T}{m^2}$$

Peso del piso terminado:

$$W_{term} = 0.045 \frac{T}{m^2}$$

En este caso el RCDF especifica que se deben considerar 0.020 T/m² más por que la losa se construyó en el lugar, además de las 0.020 T/m² que hemos venido considerando por el entortado, así se agregan en total 0.040 T/m², obteniendo como peso total del sistema:

$$W_{mot} = 0.504 \frac{T}{m^2}$$

5.3 ESCALERAS

En la *figura 5.5* se presenta el corte de una escalera como las que podemos encontrar en los edificios coloniales. De acuerdo con estas dimensiones se hará el cálculo del peso aproximado de las escaleras.

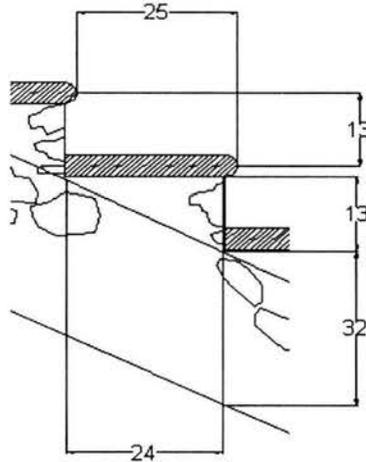


Figura 5.5 Corte de escaleras coloniales (acotaciones en cm)

Se considera que el pie está hecho de chiluca, y que las dimensiones son las que se muestran en la figura 5.6:

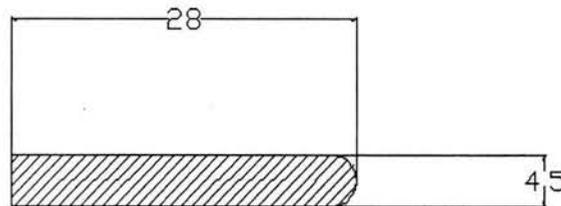


Figura 5.6 Dimensiones del pie de cantera (acotaciones en cm)

Se obtiene el peso del pie con la siguiente expresión:

$$W = h \times \gamma_m$$

en donde:

W es el peso del pie por m^2

h es el espesor de la placa de chiluca

γ_m es el peso volumétrico del material de construcción

sustituyendo los valores correspondientes en la expresión anterior y se obtiene el peso del pie:

$$W = 0.081T / m^2$$

En el cálculo del peso del relleno, las dimensiones por debajo del pie de chiluca se representan en la *figura 5.5* Con estas dimensiones y considerando un espesor de un metro se obtiene el peso total:

$$W = 0.025T$$

que es el peso total del relleno de tierra, para obtenerlo por metro cuadrado, se divide entre el área de la superficie del escalón, que es de $0.20 \times 1.00 m^2$:

$$W_f = 0.104 \frac{T}{m^2}$$

Para la mampostería de piedra en la que se apoya el resto de la escalera, el cálculo se hizo con la expresión del volumen de un rombo con las dimensiones que aparecen en la *figura 5.8* y un espesor de 1m, así se obtuvo:

$$W = 0.126T$$

Obteniendo el valor por metro cuadrado, se divide entre el área del escalón:

$$W_F = 0.632 \frac{T}{m^2}$$

Las cargas muertas totales de la escalera por metro cuadrado se obtiene sumando los pesos anteriores:

$$W_T = 0.817 \frac{T}{m^2}$$

5.4 SISTEMA DE SOPORTE

El sistema de soporte está conformado por todos los elementos que transmiten las cargas a la cimentación, estos elementos son los muros y las columnas. El cálculo se hizo por separado.

5.4.1 Muros

Para el cálculo del peso de los muros se consideró la altura de entrepiso más común que se observó en diversos edificios coloniales del centro histórico de la Ciudad de México. Se debe considerar que las alturas de los entrepisos son diferentes, en este caso se consideró que la altura de la planta baja es de 7.5m y la del resto es de dos terceras partes de esta altura. El espesor también se tomó de los valores que se tienen de diversas casas de la ciudad de México, siendo 1m el más común en su construcción.

Los datos son los siguientes:

$$e_{muros} = 1\text{m}$$

$$h_{muros} = 7.5\text{m para la planta baja}$$

$$h_{muros} = 5\text{m para el resto de los niveles}$$

$$\gamma_{mamp} = 1.6\text{T/m}^3$$

Para obtener el peso del muro por metro lineal empleamos la siguiente expresión:

$$W_{muro} = e_{muros} \times h_{muros} \times \gamma_{mamp} \quad (5.6)$$

al sustituir los valores de cada una de las variables obtenemos el siguiente peso por metro lineal:

$$W_{muro} = 12 \frac{\text{T}}{\text{m}}$$

Para los muros de los niveles superiores, se consideró una altura de entrepiso de 5m, empleando la misma expresión y los valores de espesor y peso volumétrico anteriores, se obtuvo el siguiente peso:

$$W_{muro} = 8 \frac{T}{m^2}$$

5.4.2 Columnas

Para el cálculo del peso de las columnas se tomó en cuenta que la altura de entrepiso es diferente de acuerdo con el nivel y que la distancia entre el arranque de los arcos al sistema de piso es de 2.5m, se consideraron dos tipos de columnas, cuadradas y redondas, con 0.40m de lado y de diámetro respectivamente.

Para las columnas redondas se empleó la expresión que se enuncia a continuación:

$$A_{col} = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (5.7)$$

en donde:

D es el diámetro de la columna, 0.40m

$$A_{col} = 0.126m^2$$

Para calcular el peso usamos la expresión:

$$W_{col} = A_{col} \times \gamma_{chiluca} \quad (5.8)$$

$$W_{col} = 0.226 \frac{T}{m}$$

si se calcula el peso por columna, el resultado anterior se debe multiplicar por la longitud de la columna considerado, que para la planta baja es de 5m debido a que se consideró la altura de las arcadas de 2.5m:

$$W_{totc} = 1.13T$$

para los demás niveles:

$$W_{totc} = 0.565T$$

Para el cálculo del peso de las columnas cuadradas se empleó la siguiente expresión para obtener el área:

$$A_{col} = L^2 \quad (5.9)$$

en donde:

L es la longitud del lado de la columna, 0.40m

Sustituyendo los valores, tenemos:

$$A_{col} = 0.16m^2$$

Para el peso usamos la expresión (5. 6)

$$W_{col} = 0.288 \frac{T}{m}$$

de la misma manera que para las columnas redondas para la planta baja:

$$W_{totc} = 1.44T$$

para las restantes:

$$W_{totc} = 0.720T$$

5.4.3 Arcos

El sistema de piso que soporta a los pasillos por lo general se apoyaba sobre arcadas, que son las que se pueden observar en los patios de las casas coloniales. Para el cálculo del peso por metro lineal de las arcadas se consideraron las siguientes dimensiones (figura 5.9):

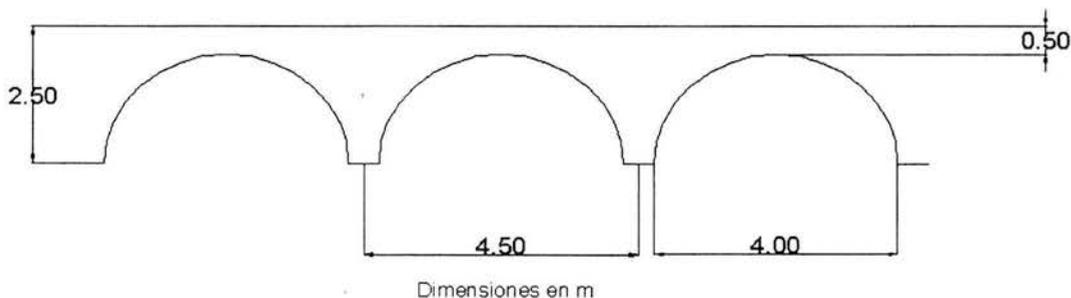


Figura 5.9 Dimensiones de las arcadas consideradas para la carga gravitacional unitaria

Para calcular el peso del arco, primero se calculó el volumen del mismo con la expresión:

$$V_{arco} = d \times (a \times b - 1.5708r^2) \quad (5.10)$$

en donde:

- a* distancia entre ejes de columnas
b distancia del arranque del arco al sistema de piso
r radio del arco (considerando un arco de medio punto)
d espesor del arco

Sustituyendo los valores se obtiene el volumen:

$$V_{arco} = 1.987 \text{ m}^3$$

Para obtener el peso total de los arcos, en toneladas, se multiplica el volumen anterior por el peso volumétrico de la chiluca. Este resultado se divide entre el claro del arco para obtener el peso por metro lineal.

$$W_{arco} = V_{arco} \times \gamma_{chiluca} \quad (5.11)$$

$$W_{arco} = 3.576 \text{ T}$$

Por metro lineal:

$$W_{arc} = \frac{W_{arco}}{a} \quad (5.12)$$

$$W_{arc} = 0.795 \text{ T/m}$$

5.5 CARGAS GRAVITACIONALES UNITARIAS

A manera de resumen de este capítulo, la *tabla 5.2* muestra los pesos unitarios para los diferentes sistemas estructurales considerados en esta parte. Se puede observar que los pesos de los sistemas de piso varían. Siendo los más ligeros el de lámina acanalada y las losas de concreto, que representan el 78% del peso del terrado. Sin embargo, el más adecuado en una reestructuración es el de concreto armado, por que además de ser ligero ofrece la ventaja de trabajar como un diafragma rígido a diferencia de los demás sistemas de piso. Si comparamos los pesos de los sistemas empleados en las reestructuraciones durante el siglo XIX, se puede concluir que al sustituir el terrado por la bóveda catalana, 35% más

pesado que el terrado, se aumentaron las cargas muertas en los edificios lo que ocasionó que los hundimientos diferenciales aumentaran.

De acuerdo con los valores de las cargas gravitacionales unitarias, se puede decir que las cargas se concentran en donde se encuentran ubicadas las escaleras. Para los muros, la cimentación y los arcos se dan cargas por metro lineal por que a veces no se conocen las alturas de entrepiso o la profundidad de desplante de la cimentación. El peso de las columnas alrededor de los patios no se puede dar por metro lineal debido a que depende del número de columnas, el espaciamiento entre ellas en los patios y de su altura. Por esta razón el peso de las columnas está propuesto por pieza y por nivel.

Tabla 5.2 Resumen de cargas Gravitacionales unitarias

ELEMENTO ESTRUCTURAL	PESO T/m
Muros (planta baja)	12
Muros (planta alta)	8
Cimentación	6
Arcos	0.795
TIPO DE COLUMNA	PESO T
Columnas redondas, planta baja	1.13
Columnas redondas, resto de los niveles	0.565
Columnas cuadradas, planta baja	1.44
Columnas cuadradas, resto de los niveles	0.720
SISTEMA DE PISO	PESO T/M²
Terrado	0.639
Lámina acanalada	0.498
Bóveda Catalana	0.863
Concreto armado	0.504
Escaleras	0.817

5.6 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Se calculó la bajada de cargas de las estructuras de dos edificios monumentales construidos durante la época de la Colonia. De estos dos edificios se tenían los valores de los pesos totales y por metro cuadrado de sus bajadas de cargas. De este modo, es posible tener una idea de la aproximación que se tendrá al utilizar las cargas propuestas. Estos edificios son la Antigua Escuela de Medicina y el Palacio de Minería.

5.6.1 Antigua Escuela de Medicina

En el cálculo de la descarga total se aplicaron las cargas muertas calculadas en la sección anterior de este capítulo. Se obtuvieron las cargas vivas y el factor de carga actuales del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. A continuación se presentan los cálculos de las cargas totales de los diferentes sistemas de piso, incluyendo las cargas vivas. Este inmueble presenta diferentes usos: museo, biblioteca, oficinas y salones de clases, auditorio, etc. Como una forma de simplificar la bajada de carga, se consideró la carga viva máxima que propone el RCDF, de acuerdo con estos usos. Esta carga es de 0.350 T/m^2 . Para el caso de la azotea, que tiene una pendiente menor al 5%, la carga viva es de 0.100 T/m^2 .

En 1969 y en 1979 se realizaron reestructuraciones al inmueble, cambiando el sistema de piso que se tenía por losa de concreto. Por este motivo, en esta bajada de cargas se utilizará el peso de la losa de concreto. Para obtener las cargas totales, sumamos las cargas vivas con las muertas. De acuerdo con el RCDF y por tratarse de estructuras del grupo A, clasificadas en el tipo I, debemos considerar un factor de carga de 1.5 que se multiplica por el valor de los pesos totales. En la siguiente tabla se presentan las cargas totales de acuerdo al sistema de piso encontrado en el edificio:

Tabla 5.3 Cargas muertas y vivas considerando el factor de carga de 1.5 del RCDF, en T/m²

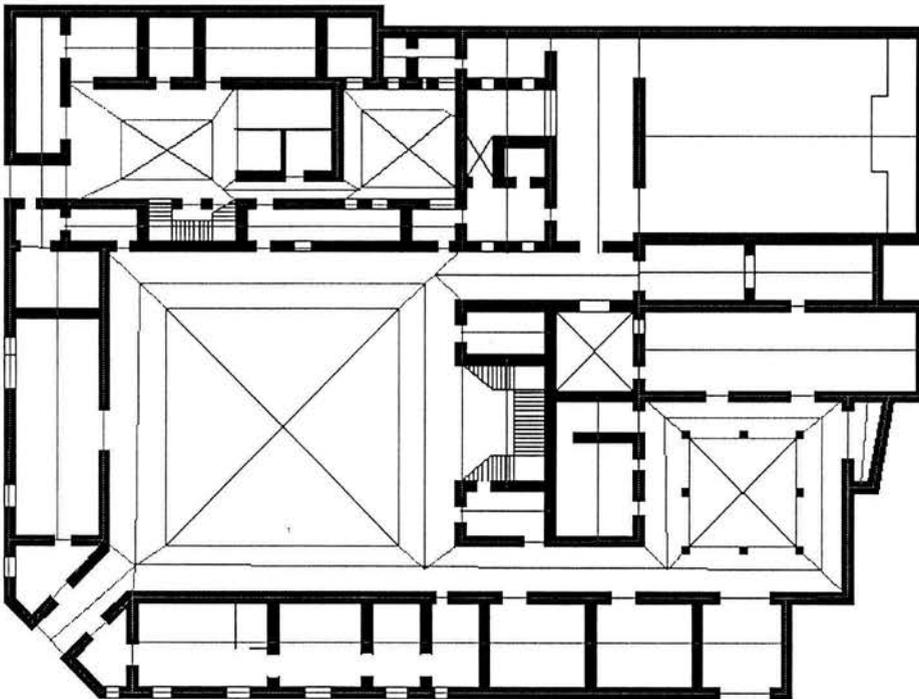
USO	CONCRETO ARMADO
Museos y Salas de Reunión	1.28
Azotea	0.91

Para las escaleras se tomó en cuenta la carga viva especificada en el RCDF de 0.350 T/m², por lo que se tiene:

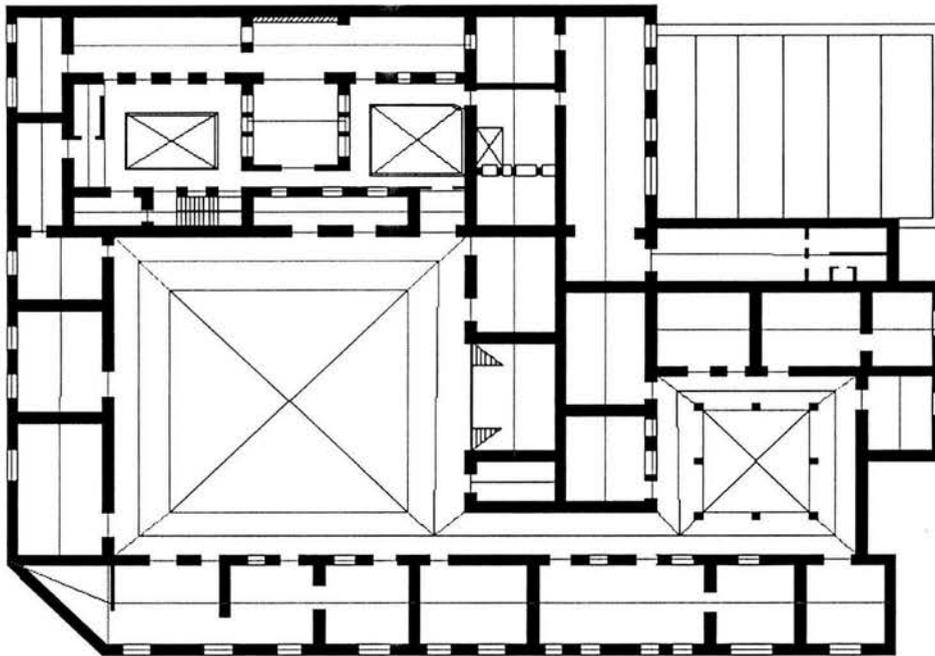
$$W_t = 1.167 \frac{T}{m^2}$$

Considerando el factor de carga especificado en el RCDF, de 1.5, obtenemos:

$$W_{esc} = 1.75 \frac{T}{m^2}$$



a) Planta Baja



b) Planta Primer Nivel

Figura 5.10 Distribución de las áreas tributarias en las diferentes plantas del Antigua Escuela de Medicina

Para el cálculo del peso total de la estructura se obtuvieron las áreas tributarias (*figura 5.10*). Como se mencionó en el capítulo 3, las losas de estos inmuebles trabajan en una sola dirección. Por lo tanto, las áreas tributarias se calcularon de este modo.

Después del cálculo de las áreas tributarias, se obtuvieron los pesos de cada uno de los sistemas estructurales. Para el sistema de piso y cubierta se obtuvo el peso que descarga sobre los muros, este peso se calculó por ejes con ayuda de las áreas tributarias.

Para el sistema de soporte se multiplicaron los pesos por metro lineal, calculados en el punto correspondiente a este sistema estructural, por las longitudes de los muros correspondientes. Con este mismo método se obtuvieron los pesos de la cimentación y de las arcadas. Para las columnas se consideró su peso total, por lo que se multiplicó por el número de columnas en cada patio.

Todos los pesos calculados se sumaron para obtener la descarga total del edificio al suelo que dio como resultado 25,712.68 T. Finalmente se obtuvo la descarga total de la estructura por metro cuadrado: 5.83 T/m², en la que se consideró un área total del inmueble de 4411m².

Estos dos valores se pueden comparar con los obtenidos de la bibliografía, en la que el peso total de la estructura es de 26, 293.1 T y la descarga por metro cuadrado es de 5.96 T/m² (Peña, 2004).

5.6.2 Palacio de Minería

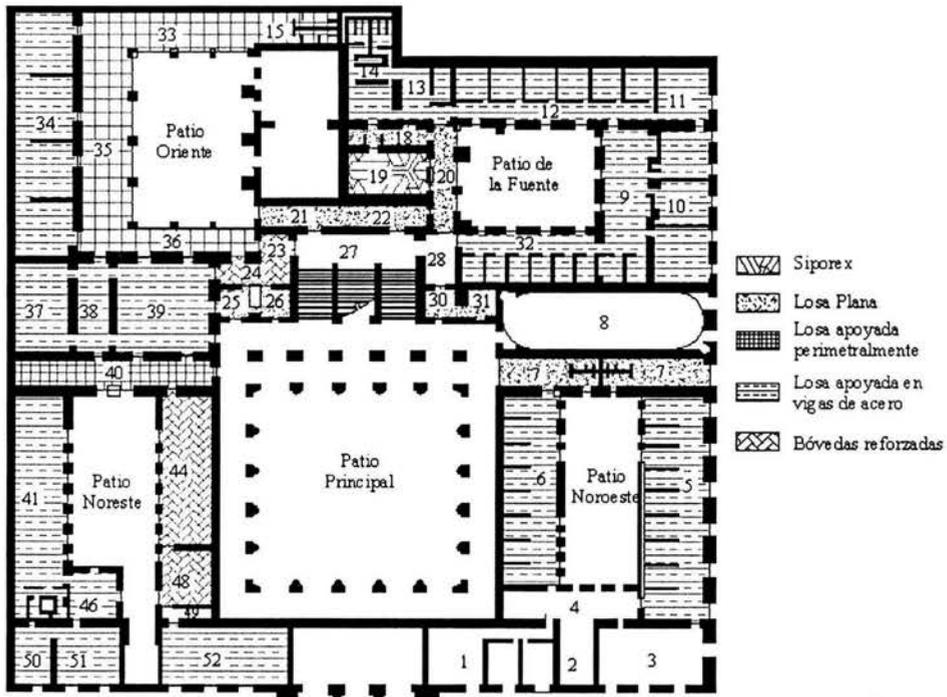
Las cargas vivas consideradas en el cálculo del peso para el Palacio de Minería fue de 0.350 T/m², además del factor de carga de 1.5 por tratarse de edificaciones del grupo A. La carga viva considerada en las escaleras fue de 0.350 T/m², que está especificada en el RCDF, por lo que se tiene:

$$W_t = 1.167 \frac{T}{m^2}$$

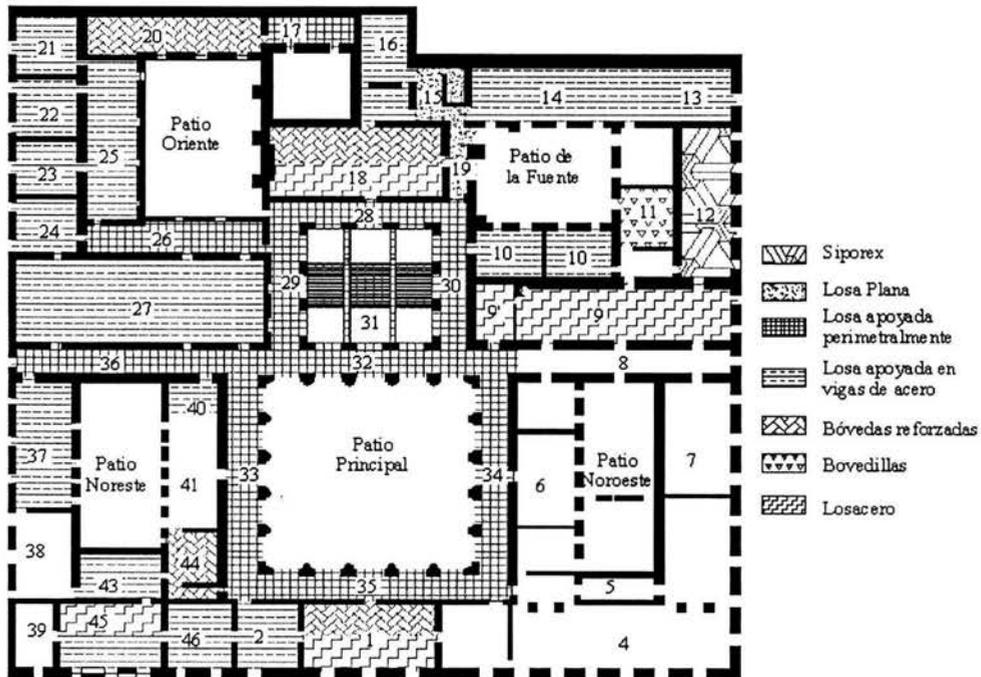
Con el factor de carga de 1.5, obtenemos:

$$W_{esc} = 1.75 \frac{T}{m^2}$$

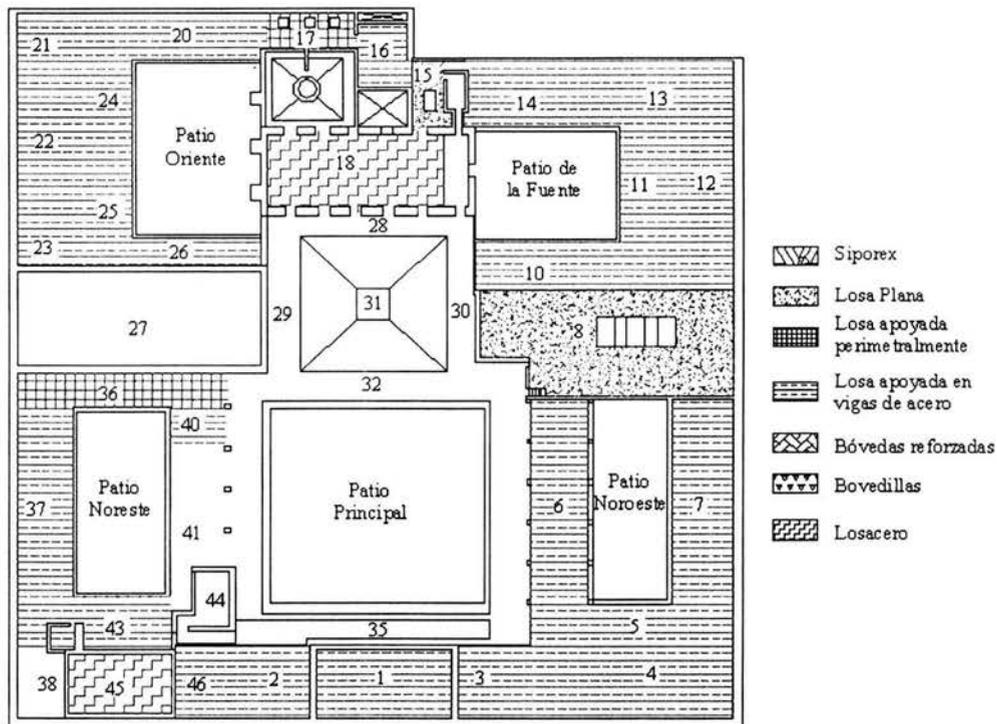
El método de cálculo de la bajada de cargas fue el mismo que se empleó en el cálculo del peso total de la Antigua Escuela de Medicina. Para Minería se tienen los planos de los diferentes sistemas de piso con que sustituyó el terrado original en la reestructuración de 1971. Con estos datos se obtuvieron las cargas y los pesos totales. En la *figura 5.12* se muestra la distribución de los diferentes sistemas de piso, empleados en las reestructuraciones, que se tomaron en cuenta para el cálculo de la descarga del sistema de piso.



a) Techos Mezanine



b) Techos Planta alta



c)Techos Planta de Azotea

Figura 5.12 Tipos de sistemas de piso empleados en la reestructuración del Palacio de Minería

Los planos muestran losas en que se representan dos tipos de entrepiso, estas son bóvedas que se reforzaron. Por encima de ellas se puso losacero de manera que las cargas vivas no se apoyaran directamente en la bóveda original. La *figura 5.13* muestra este sistema. Para su cálculo se emplearon los dos tipos de entrepiso juntos. En las partes en que los planos se encuentran sin achurado se conservó el sistema de piso original, por lo que la descarga se calculó con el terrado. Por simplificación las losas planas, losacero, apoyadas perimetralmente y apoyadas en vigas de acero se calcularon con el peso por metro cuadrado de la losa de concreto. El peso del siporex y las bovedillas, por ser losas aligeradas, se calcularon con el peso de la lámina acanalada que es la más ligera.

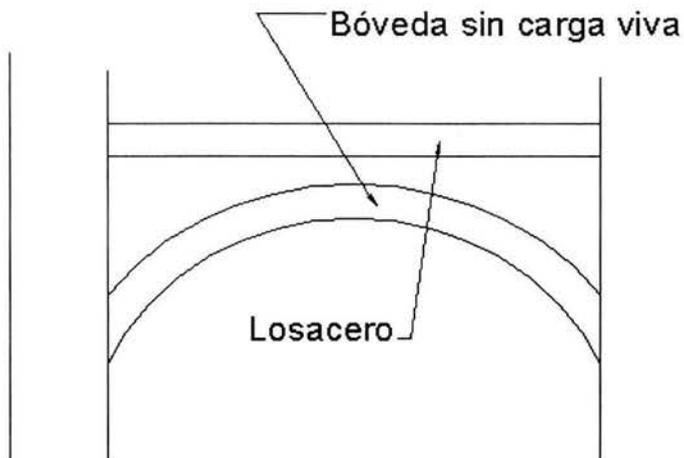


Figura 5.13 Bóvedas Reforzadas empleadas en el Palacio de Minería

Para el cálculo del peso de los sistemas de piso se definieron las áreas tributarias pertinentes, hay que recordar que se considera que las losas trabajan en una dirección. Después de definidas las áreas tributarias para cada uno de los niveles del Palacio de Minería se obtuvieron las descargas del sistema de piso hacia los muros de acuerdo con el tipo de material de construcción. A este resultado se le sumaron los pesos de los muros, la cimentación, las arcadas y las columnas.

Después de sumar las cargas vivas con las cargas muertas obtenidas al principio del capítulo, se obtuvieron los siguientes valores para los sistemas de piso (tabla 5.6).

Tabla 5.6 Cargas muertas y vivas de los sistemas de piso

SISTEMA DE PISO	PESO DE ACUERDO CON EL NIVEL (T/M^2)	
	Niveles intermedios	Azotea
Terrado	1.48	1.11
Lámina acanalada	1.27	0.90
Bóveda Catalana	1.82	1.45
Concreto Armado	1.28	0.91

El peso de los muros, de la cimentación y de los arcos se obtuvo con los valores calculados en el presente capítulo multiplicándolos por sus respectivas longitudes. El de las columnas se obtuvo con el peso por columna, multiplicando por el número de columnas en cada patio. El peso total de la estructura que se obtuvo, con los valores propuestos en este capítulo, fue de 50,374.66 T, que comparado con el calculado por Lepiarka et al. de 49,000 T (Peña, 2004) representa una variación de 3%, lo que es una buena aproximación. El peso de la estructura por metro cuadrado, considerando un área del inmueble de 7538.5 m², es de 6.68 T/m², resultando muy parecida a las 6.5 T/m² calculadas por el mismo autor anterior (Peña, 2004).

Según el Ing. Manuel Álvarez (Peña, 2004), con un cimiento de 1.26 m de ancho la descarga por eje del Palacio de Minería está entre 3.5 y 4 kg/cm². De acuerdo con los valores calculados en este trabajo, la descarga de un eje es de 3.22 kg/cm², considerando un cimiento de 1.5 metros de ancho, como se ha propuesto en el capítulo dos. Este valor es 7% menor. Para este caso en particular, en que el espesor del cimiento es de 1.26, la descarga del eje por metro cuadrado sería de 3.84 kg/cm². Valor que se ajusta a lo calculado por el Ing. Álvarez.

CONCLUSIONES

De la investigación realizada en este trabajo se puede concluir que:

1. Las dimensiones de los elementos estructurales varían de edificio en edificio. A pesar de esto, fue posible obtener dimensiones frecuentes en los diferentes elementos estructurales.
2. Los materiales comúnmente usados en la construcción de las casas coloniales fueron el tezontle, los morteros de cal y arena, la madera y la cantera o la chiluca. Esto se debió a que estos materiales se encontraban con abundancia en la zona
3. Los grandes espesores de los muros se debieron a las medidas tomadas por los españoles en contra de los sismos
4. Las construcciones de la época eran muy pesadas, con una mala cimentación, esto aunado a un suelo muy compresible, ocasionó los hundimientos diferenciales
5. Las características mecánicas de la mampostería dependen no solo de las características de los materiales que la conforman, sino también del tipo de arreglo interno (aparejo) de los materiales que la conforman
6. Las cimentaciones con estacones, empleadas por los aztecas y posteriormente por los españoles, no brindaban suficiente soporte debido a que su longitud era muy pequeña para funcionar por fricción.
7. La estructuración de los edificios coloniales es muy diferente de los edificios actuales, por esta razón su comportamiento estructural es diferente. Estas estructuras solo transmiten esfuerzos de compresión axial y el sistema de piso no funciona como un diafragma rígido.
8. El sistema de piso que más conviene emplear en una reestructuración, son las losas de concreto armado pues, a pesar de que la lámina acanalada pesa casi lo mismo, éste ofrece la ventaja de tener un funcionamiento estructural mejor. El resto de los sistemas de piso aumentan en forma considerable las descargas de la construcción sobre

el suelo influyendo en posibles asentamientos futuros, además de que tampoco funcionan como diafragma rígido.

9. Al considerar el peso de las escaleras dentro del peso total de las construcciones coloniales se observó que las cargas se concentran en donde éstas se localizan. Esto es importante al plantear una reestructuración en un edificio de este tipo.
10. Los valores propuestos de cargas gravitacionales unitarias son una buena aproximación para conocer la descarga a la cimentación rápidamente.
11. Los pesos aquí propuestos son aproximados. Si se requiere hacer un estudio detallado sobre una estructura específica, se recomienda hacer un levantamiento de las dimensiones exactas del edificio a tratar.

REFERENCIAS

1. **ÁLVAREZ, J. R.** (1922), ***“ENCICLOPEDIA DE MÉXICO”***, Volumen I. Diccionarios y Enciclopedias. México.
2. **BRAVO, J. R.** (1976), ***“OBRAS DE REPARACIÓN DEL PALACIO DE MINERÍA DE LA UNAM”***, Tesis para obtener el grado de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
3. **CASTILLO, R.** (1978), ***“CIUDAD DE MÉXICO”*** en: ***“El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana de la ciudad de México”***, Simposio 10 de marzo de 1978. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
4. **CASTRO, A.** (1995), ***“HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA”***. Ediciones UPC. Barcelona, España.
5. **CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS, “RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS MONUMENTALES”**., Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
6. **CERVANTES DE SALAZAR, F.** (1963), ***“MÉXICO EN 1554 Y TÚMULO IMPERIAL”***, Colección Sepan Cuantos, ed. Porrúa. México
7. **CICM**, (1994), ***“LA INGENIERÍA CIVIL MEXICANA, Un Encuentro con su Historia”***, Colegio de Ingenieros Civiles de México, México.

8. **DE BUEN, O. y DE PABLO, F. (2003), "APUNTES DE LA MATERIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL",** Facultad de Ingeniería. UNAM
9. **DE LA TORRE, O. (2003), "REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CATEDRAL METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE PUEBLA",** *Revista Ingeniería Civil*, Número 412, año LIII. México.
10. **DELGADO, M. (1999), "INGENIERÍA DE CIMENTACIONES. Fundamentos e Introducción al Análisis Geotécnico".** Ed. Alfaomega, Colombia.
11. **DE GANTE, P. C. (1954), "LA ARQUITECTURA DE MÉXICO EN EL SIGLO XVI",** Editorial Porrúa, México D. F.
12. **DE INCLÁN VALDES, J. M. (1847), "LECCIONES DE ARQUITECTURA CIVIL, Leídas a los Alumnos de su escuela especial, en el presente año académico del 46 al 47",** Madrid, España.
13. **ESPINOSA, P. C. (1859), "MANUAL DE CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERÍA",** Plowes. Madrid, España.
14. **FACULTAD DE ARQUITECTURA, (1977), "HISTORIA DE LA ARQUITECTURA Y EL URBANISMO MEXICANOS",** Vol. II, "El Periodo Virreinal", Tomo I, "El Encuentro de dos Universos Culturales", División de Estudios de Posgrado UNAM, Fondo de Cultura Económica, México.
15. **FEILDEN, B. M. (1982), "CONSERVATION OF HISTORIC BUILDINGS"** Butterworth-Heinemann, Oxford.
16. **FERNANDEZ, M. (1990), "CIUDAD ROTA. LA CIUDAD DE MÉXICO DESPUÉS DEL SISMO",** UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas.

-
17. **FUNDACIÓN CULTURAL TELEVISA** (1981), **“DICCIONARIO ANAYA DE LA LENGUA”**, Ediciones Generales Anaya, México.
 18. **GONZÁLEZ, A. y PEREZ, B.** (1988), **“MANUAL TÉCNICO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA REHABILITACIÓN DE MONUMENTOS HISTÓRICOS EN EL DISTRITO FEDERAL”**. Departamento del Distrito Federal, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
 19. **GONZÁLEZ, I.** (1984), **“REFLEXIONES Y APUNTES SOBRE LA CIUDAD DE MÉXICO, Fines de la Colonia”**, Colección Distrito Federal.
 20. **INAH** (2004), <http://www.cnca.gob.mx>
 21. **IIE** (1957), , **“UNA CASA DEL SIGLO XVIII EN MÉXICO. La del Conde de San Bartolomé de Xala”**, Estudios y Fuentes del Arte en México VIII, Reseña, Selección de Documentos y Notas de Miguel Romero de Terreros. Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM. México.
 22. **IMCA**, (1992), **“MANUAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO”**, Volumen I, Limusa-Noriega, 2ª edición. México.
 23. **IÑIGUEZ, M.**, **“LA COLUMNA Y EL MURO, Fragmentos de un Diálogo”**, Ed. Arquithesis.
 24. **JIRICNA, E.** (2002), **“ESCALERAS”**, H. Kliczkowski, Singapur.
 25. **KATZMAN.** (1973), **“ARQUITECTURA DEL SIGLO XIX EN MÉXICO”**, Tomo I, Primera edición, UNAM, Dirección general de Publicaciones, México.

26. **KUBLER, G.** (1983), "**ARQUITECTURA MEXICANA DEL SIGLO XVI**", Fondo de Cultura Económica.
27. **LUNA, J. L.** (1995), "**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CANTERA UTILIZADA EN CONSTRUCCIONES DE LA ÉPOCA COLONIAL**", Tesis para obtener el Grado de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
28. **MANÁ, F.** (1978), "**PATOLOGÍA DE LAS CIMENTACIONES**", Ed. Blume, Biblioteca Básica de la Construcción. Barcelona, España.
29. **MARSHAL, R. J.**, "**NOTAS SOBRE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES EN EL DISTRITO FEDERAL**". Comisión Federal de Electricidad.
30. **MELI, R.** (1998), "**INGENIERÍA ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS HISTÓRICOS**". Fundación ICA, México.
31. **PEÑA, F.** (2004), "**ESTUDIO HISTÓRICO DE DOS PALACIOS PROPIEDAD DE LA UNAM: El Palacio de la Inquisición y el Palacio de Minería**" Informe para la Dirección general del Patrimonio Universitario. Instituto de Ingeniería. UNAM.
32. **RAFOLS, J. F.** (1945), "**TECHUMBRES Y ARTESONADOS ESPAÑOLES**", Colección Labor, Sección IV., Artes Plásticas Número 86. Biblioteca de Iniciación Cultural. Editorial Labor S. A., Barcelona-Buenos Aires.
33. **RCDF** (1992), "**REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL**", Editorial SISTA, México.

-
34. RIVA, V., VIGIL, J. M., CHAVERO, A. y ARIAS, J. (1982), "**MÉXICO A TRAVÉS DE LOS SIGLOS**", Tomo Segundo, Editorial Cumbre. México.
 35. ROJAS, J. A. (2002), "**CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LA ARQUITECTURA DEL SIGLO XIX, CIUDAD DE MÉXICO. Un camino a su restauración**"., Colección científica. Serie arqueología, INAH. México.
 36. SAHOP, (1982), "**Desarrollo urbano en México, RESTAURACIÓN. Monumentos nacionales**"., Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, México.
 37. SEDESOL (1992), "**LA CATEDRAL METROPOLITANA Y EL SAGRARIO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. Corrección del comportamiento de sus cimentaciones**", SEDESOL, México.
 38. SEFI (1977), "**EL PALACIO DE MINERÍA**", Nueva dimensión Arte Editorial, México.
 39. SHELLEY, O y FLORES, T. (1998), "**CAMBIOS Y EVOLUCIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**", *Implicaciones en la preservación de su patrimonio arquitectónico. Revista INGENIERÍA CIVIL, Órgano oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C.*, N° 348, pp 39-47
 40. SMMS, (1990), "**RECIMENTACIONES**", Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A. C., México.
 41. SOLÍS, F. (1999), "**TECNOLOGÍA Y OBRAS PÚBLICAS EN EL MÉXICO PREHISPÁNICO**", *Revista de Historia y Conservación. MÉXICO EN EL TIEMPO* N°30, México, pp 18-23

42. **SOWERS, G. F.** (1986), **"INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES"**, Editorial LIMUSA

43. **TOUSSAINT, M.** (1924), **"IGLESIAS DE MÉXICO. La Catedral de México"**, Vol II. Tipos Ultrabarrocos del Valle de México., Publicaciones de la Secretaría de Hacienda, México.

44. **UNAM** (1991), **"CUADERNOS DE ARQUITECTURA VIRREINAL"** Número 10, México.

45. **VARGAS, E. y ALVAREZ, J. R.** (1999), **"ANTIGUO COLEGIO DE SAN ILDEFONSO"**. Segunda edición, Patronato del antiguo Colegio de San Ildefonso, México.

46. **WEAVER, E.** (1992), **"CONSERVING BUILDINGS. Guide to techniques and materials"**, John Wiley and sons Inc. USA.

47. **ZERECERO, M.** (2004), <http://mywebpage.netscape.com>

ANEXO: GLOSARIO

- Ábaco:** Plancha o tablilla cuadrada que forma parte superior de un capitel de una columna.
- Alabeo:** Deformación que experimenta una tabla u otra pieza de madera al combarse. Comba de la cara de una piedra o de otra superficie.
- Alfarje:** Techo de maderas entrelazadas y labradas. Este mismo techo dispuesto para pisar encima.
- Alféizar:** Marco del vano de una puerta o ventana donde encajan las hojas de carpintería con que se cierra. Hueco de la ventana.
- Almena:** Pilares colocados de trecho en trecho sobre el pretil de la azotea. Elemento cuya función original fue defensiva y llega a convertirse con el tiempo en motivo ornamental.
- Aparejo:** Disposición de los enlaces entre los ladrillos y piedras en los muros de las construcciones.
- Arcada:** Fila de columnas que soportan una serie de arcos.
- Arco:** Elemento de construcción cuyo perfil es el de una curva que sostiene un muro o bóveda por encima de un hueco. Hay distintos tipos de arcos y sus nombres varían de acuerdo con sus formas o con la posición que ocupan dentro del edificio.
- Artesón:** Adorno rehundido, tronco piramidal que se pone en los techos y bóvedas o en la parte cóncava de los arcos.
- Arquitrabe:** Es la representación de las carreras que inmediatamente sientan sobre las columnas.

Balaustrada:	Serie de balaustres alineados que soportan un pasamanos.
Balaustre:	Columna o pilastra que sirve como barrote en un antepecho o pretil calado.
Basamento:	Especie de gran zócalo largo y continuo que sirve de base a una construcción. Cualquier cuerpo que se pone debajo de la caña de la columna y que comprende la basa y el pedestal.
Botarel:	Mamposería en forma de arco que se sobresale de un muro para aumentar la resistencia del mismo contra el empuje de un tejado o de una bóveda. Sinónimo de contrafuerte.
Bóveda:	Cubierta de un edificio de generatriz curva, puede estar construida con piedra cortada, o piezas de ladrillo o con materiales concrecionados. Se distinguen varias de acuerdo al arco que forma su pretil.
Bruñido:	Textura brillante de un enlucido, se aplica también a los barnices o al oro.
Bruñir:	Pulir, sacar brillo o lustre a un metal, piedra o enlucido.
Capitel:	Pieza que corona el fuste de una columna, de una pilastra o de un pilar, que expresa su función estructural de transmitir la carga del entablamiento sobre el apoyo aislado del cual forma parte.
Cerramiento:	Dintel, división que se hace con tabique y no con pared gruesa en un local.
Clave:	Pieza o dovela central con que se cierra un arco, bóveda en su cúspide.

Contraclave:	Cada una de las dovelas inmediatas a la clave de un arco o bóveda.
Contrafuerte:	Elemento de albañilería levantado perpendicularmente a un muro para apuntalarlo o para neutralizar los empujes de arcos y bóvedas.
Contratrabe:	Viga de cimentación.
Cornisa:	Parte superior del entablamiento. Saliente en la arquitectura que sirve para coronar la fachada o lo alto de un muro y evitar la entrada del agua. Impropiamente se da el nombre de cornisa a toda ornamentación en saliente, compuesta de molduras, cualquiera que sea el lugar en que vaya colocada.
Corredor:	Cada una de las galerías dispuestas alrededor de un patio.
Coseo:	Empuje ocasionado por los arcos o bóvedas sobre sus apoyos.
Crucero:	Nave transversal que corta la nave principal y da a la iglesia la forma de cruz.
Crujía:	Espacio entre dos muros de carga. Una división cualquiera o compartimiento de una arcada, tejado, etc., así cada espacio comprendido entre las columnas, verjas o barandillas de una cátedra. Tránsito largo de algunos edificios que dan acceso a las piezas que se encuentran a los lados.
Dala perimetral:	Solera o cadena de orilla construida durante el virreinato con madera o con losas.
Desplome:	Inclinación. Medida de la separación de un paño con respecto de la vertical. Se aplica a elementos arquitectónicos que por diversas causas han perdido su verticalidad.

Dovela:	Piedra tallada en forma de cuña que entra en la composición de un arco, una bóveda o un dintel.
Enlucido:	Revestimiento de una pared con mortero de cal o yeso. Sinónimo: repellado o aplanado.
Entablamiento:	Coronamiento de un orden arquitectónico. Se compone de tres partes: arquitrabe o parte inferior, friso o parte intermedia y cornisa o parte superior.
Entrepiso:	Espacio entre piso y piso.
Escarpio:	Saliente en punta, pico.
Estípite:	Pilastra o balaustre, cuyo elemento característico lo constituye una pirámide truncada con la base menor hacia abajo. Su uso se generalizó en México en la época barroca.
Extradós:	Superficie convexa y exterior de una bóveda o de un arco opuesta a la interior y cóncava nombrada intradós. Superficie de la parte alta de una dovela.
Friso:	Son las carreras transversales sobre las que se formaba el techo.
Fuste:	Cuerpo principal de la columna, o sea, lo comprendido entre la base y el capitel.
Imposta:	Hilada de sillería algo voladiza y en ocasiones con molduras sobre las que se apoya un arco o bóveda. Faja que corre horizontalmente en la fachada de los edificios a la altura de diversos pisos.
Jamba:	Cada uno de los elementos verticales que sostienen un arco o platabanda de puerta o ventana.
Junta:	Espacio que queda entre las caras de las piedras o ladrillos contiguos.
Lambrin:	Arrimadero. Recubrimiento hecho con un material que ofrece más resistencia al desgaste que el de

	construcción del muro, o cuya limpieza es más fácil que el de un repellado, generalmente su altura no sobrepasa la de un hombre.
Luneto:	Bóveda que se intercepta perpendicularmente a la principal pero con generatriz menor a la de esta.
Machón:	Pilar que sostiene un techo o un arco. Contrafuerte.
Mechinal:	Agujero hecho en las paredes para colocar un andamio, o las vigas del sistema de piso.
Moldura:	Ornamentaciones que se desarrollan longitudinalmente sobre un perfil que no cambia y que quedan acopladas las unas a las otras.
Paramento:	Superficie visible exterior de los materiales empleados en la construcción.
Rodapié:	Faja de azulejos, madera, etc., que protege la parte inferior de las paredes.
Sillar:	Pieza prismática pétreo con que se forman los muros.
Tejamanil:	Es la tabla delgada de madera que se coloca como teja en los techos de las casas.
Terrado:	Sistema constructivo que consiste en colocar sobre la viguería una cama de tabla o tejamanil, encima de esta una capa de tierra, cal y un recubrimiento superior de ladrillo o simplemente de cal, ya sea para formar piso o azotea.
Vano:	Hueco en ventana o puerta.
Vara:	Medida de longitud usada durante la época de la colonia por los españoles, una vara equivale a 0.84m aproximadamente.
Zarpa:	Exceso de ancho de los cimientos sobre los muros.