



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE GRADUADOS



**“CRITERIOS ESTRUCTURALES PARA LA ENSEÑANZA A LOS ALUMNOS
DE ARQUITECTURA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**

Presentada por

Ing. Natividad Antonieta Sánchez Arévalo

Asesor

Magíster Daniel Quiun Wong

Lima – Perú

Octubre 2006

Dedico esta tesis con mucho amor y cariño:

A mis padres Miguel y Lilia, las dos personas más importantes de mi vida

Y

*A los alumnos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional del
Centro del Perú, a quienes debo esta tesis.*

AGRADECIMIENTOS

Al Magíster Ingeniero Daniel Quiun por su contribución, dedicación y empeño en la asesoría de mi Tesis de Maestría.

Al Doctor Marcial Blondet, por su orientación en los lineamientos básicos, que posibilitó el inicio de la Tesis de Maestría.

Al Ingeniero Cesar Huapaya, por transmitirme sus experiencias y conocimientos, en la aplicación del modelo de enseñanza de estructuras de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, de la PUCP.

A mis profesores de la Maestría de Ingeniería Civil, por sus valiosas enseñanzas y compartir experiencias.

A los magísteres e ingenieros, Antonio Blanco, Angel San Bartolomé, Julia Mendoza, Clady Maraví, Rubén Cortez, Yessenia Tarazona, Rodwer Huancahuari, Amanda Jáuregui, y a los Arquitectos, Clemente Alegre, José Castillo y Betty Sanabria, de quienes recibí sugerencias interesantes.

A mi amiga, la Ingeniera Gladys Villa García, por su apoyo moral y aportes valiosos, durante el tiempo que realicé los estudios y la Tesis de Maestría.

A mi sobrina, la Ingeniera Liliana Sánchez, por brindarme información especializada y tutoría, que facilitaron mis estudios de Maestría.

A la Universidad Nacional del Centro del Perú y a la Facultad de Arquitectura, por otorgarme licencia para mis estudios de Maestría.

A los Ingenieros, Hugo Granados, Martín Malca e Iván Páez, quienes asumieron mi carga académica, mientras duró mi licencia de estudios.

Al Arquitecto Raúl García y a mis alumnos del curso de Seminario de Estructuras-2006.2, por su colaboración en la aplicación inicial de la propuesta de esta Tesis.

A la Asociación de Egresados de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por el apoyo económico, que me permitió culminar los estudios de Maestría.

A los docentes Ingenieros y Arquitectos que me otorgaron las entrevistas que forman parte de esta Tesis.

Y un agradecimiento muy especial a:

A mi padre y mis hermanos/as, Lili, Manuel, Chabuca, Domi, Adita, Angélica y Cesar, quienes con su apoyo hicieron factible la elaboración de esta tesis.

“CRITERIOS ESTRUCTURALES PARA LA ENSEÑANZA A LOS ALUMNOS DE ARQUITECTURA”

Maestría en Ingeniería Civil

Ingeniera Natividad Antonieta Sánchez Arévalo

RESUMEN

En este trabajo se presenta una propuesta para mejorar la enseñanza de estructuras de los alumnos de las facultades de arquitectura del país.

El título abarca un tema muy amplio que no será tratado en toda su extensión en esta tesis, por razones de tiempo y dedicación. Sin embargo, será un punto de partida para seguir trabajando en la implementación de todos los cursos de estructuras, necesarios en la formación de los alumnos de arquitectura, a través de una metodología adecuada al perfil del arquitecto egresado.

El contenido seleccionado y la metodología de enseñanza para el referido trabajo, están enfocados en la configuración arquitectónica-estructural de edificaciones sismorresistentes de concreto armado y de albañilería.

La prioridad que se da al tema, responde a la urgencia de construir edificios sismorresistentes en un país como el nuestro, que se encuentra ubicado en una zona de peligro sísmico. Asimismo, se ha elegido trabajar con edificaciones de concreto armado y albañilería por ser los materiales más utilizados en las zonas urbanas del país y por lo mismo, hay mayor participación profesional, salvo excepciones de las construcciones informales.

La propuesta incluye un esquema curricular para el dictado de cuatro cursos obligatorios de estructuras, dentro de los cuales se incluye el desarrollo de contenidos y metodología del curso propuesto en esta tesis y cuyos contenidos son: conceptos básicos de sismología; historia y actividad sísmica; influencia de las condiciones del suelo en el peligro sísmico; el comportamiento sísmico de las estructuras; vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios; regulaciones sismorresistentes a aplicar en los proyectos de arquitectura; las edificaciones de concreto armado y de albañilería; y las recomendaciones sismorresistentes en edificaciones de concreto armado y de albañilería.

INTRODUCCIÓN

La presente Tesis de Grado tiene como objetivo contribuir con la enseñanza de los cursos de Estructuras que se dictan en las diversas facultades de arquitectura del país, especialmente en las universidades públicas. Ello se realizará a través de la implementación de una metodología adecuada, que permitirá impartir criterios estructurales, enfocados desde el punto de vista de las edificaciones sismorresistentes.

La principal causa de daños ocurridos por sismos en las edificaciones es la inadecuada configuración de las mismas, la cual está directamente relacionada con el tamaño y la forma de la estructura, el tamaño y ubicación de los elementos estructurales y no estructurales y su conexión con la estructura. Esta es una responsabilidad profesional de los arquitectos.

La metodología empleada para la elaboración de esta tesis ha sido la siguiente: observación al dictado de los tres cursos de estructuras dictados en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú (FAU-PUCP); recopilación de información referida a: perfil del arquitecto egresado de las facultades de arquitectura del Perú; planes curriculares de siete facultades de arquitectura de universidades públicas y privadas; sílabos de los cursos de estructuras dictados en cada una de las siete facultades; entrevistas con docentes arquitectos e ingenieros de algunas de las facultades de arquitectura analizadas; revisión bibliográfica de textos, ponencias y artículos orientados a la enseñanza de estructuras a los alumnos de arquitectura; revisión bibliográfica de textos, artículos y ponencias relacionadas al desarrollo de los temas sísmicos y estructuras sismorresistentes.

La presente tesis está dividida en catorce capítulos. Los capítulos 1, 2 y 3 enfocan el problema en la deficiente enseñanza de los cursos de estructuras y la escasa cantidad de textos y cursos especializados para la enseñanza de temas sísmicos a los alumnos de arquitectura.

El capítulo 4, hace un análisis de las desventajas de los modelos clásicos y conceptual aplicados por varias facultades de arquitectura en los cursos de estructuras. También se muestra el método propuesto por Black-Duff, que se viene aplicando en la FAU-PUCP.

Los capítulos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 están referidos a la propuesta de esta tesis; donde se plantean, se seleccionan y se desarrollan los contenidos que deberían ser dictados a los alumnos de arquitectura. En cada uno de los temas desarrollados se propone una metodología de enseñanza.

El capítulo 14, presenta un comentario sobre las primeras experiencias obtenidas de la aplicación de los temas de esta tesis, en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional del Centro del Perú. También se incluyen en este capítulo las conclusiones y recomendaciones.

Se espera que este trabajo pueda contribuir en la implementación de un curso obligatorio orientado a obtener edificaciones sismorresistentes en un país sísmico como el nuestro.

“CRITERIOS ESTRUCTURALES PARA LA ENSEÑANZA A LOS ALUMNOS DE ARQUITECTURA”

CONTENIDO

Introducción

1. PERFIL DEL ARQUITECTO Y DE LAS EDIFICACIONES EN EL PERÚ	1
1.1 PERFIL DEL ARQUITECTO EN EL PERÚ	1
1.2 LAS EDIFICACIONES EN EL PERÚ	2
2. LOS CURSOS DE ESTRUCTURAS EN LOS PLANES DE ESTUDIOS DE LAS FACULTADES DE ARQUITECTURA EN EL PERÚ, ENTREVISTAS Y EXPERIENCIAS.	4
2.1 LOS CURSOS DE ESTRUCTURAS EN LOS PLANES DE ESTUDIOS DE LAS FACULTADES DE ARQUITECTURA DEL PERÚ.	4
2.1.1. Relación de cursos de estructuras y afines	
2.1.2. Algunos syllabus de los cursos de estructuras (PUCP, UPC, URP, UNCP, UFV, UNIFE, UNI)	
2.2 ENTREVISTAS CON DOCENTES	21
2.3 LA EXPERIENCIA DOCENTE DE LA AUTORA	24
3. REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA ORIENTADA A LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS.	26
3.1 LIBROS	26
3.2 ARTÍCULOS Y PONENCIAS	30
4. MODELOS PARA LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS EN LAS FACULTADES DE ARQUITECTURA.	33
4.1 LOS MODELOS DE ENSEÑANZA CLÁSICO Y CONCEPTUAL	33
4.2 EL MODELO DE ENSEÑANZA PROPUESTO POR BLACK - DUFF Y SU APLICACIÓN EN LA FAU-PUCP	34
5. PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS	37
5.1 LA ENSEÑANZA DE LAS ESTRUCTURAS BASADA EN EL DISEÑO SÍSMICO	37
5.1.1 Selección, secuencia y contenidos	
5.1.2 Metodología de enseñanza	
5.2 LOS CONOCIMIENTOS ESTRUCTURALES REQUERIDOS POR LOS ALUMNOS DE ARQUITECTURA	40
5.2.1 Contenido de los cursos propuestos de estructuras	
5.2.2 Definición de un modelo de enseñanza y la disponibilidad de herramientas didácticas	
6. CONCEPTOS BÁSICOS DE SISMOLOGÍA	43
6.1 LOS SISMOS Y SU ORIGEN.	43
6.1.1 Tectónicos	
6.1.2 Volcánicos	
6.1.3 Colapso	
6.2 LOS SISMOS DE ORIGEN TECTÓNICO.	45
6.2.1 Las Capas de la Tierra, agrupadas de acuerdo a su composición química	
6.2.2 Las Capas de la Tierra, agrupadas por el movimiento que se produce en la corteza	
6.2.3 Teoría de la tectónica de placas	
6.2.4 Clasificación de los terremotos tectónicos	
6.3 DEFINICIONES RELACIONADAS: FOCO, EPICENTRO, ONDAS SÍSMICAS.	50
6.3.1 Foco	
6.3.2 Epicentro	
6.3.3 Ondas Sísmicas	

6.4 MEDIDAS DE UN SISMO: INTENSIDAD Y MAGNITUD	52
6.4.1 Intensidad	
6.4.2 magnitud	
6.5 METODOLOGÍA	56
6.5.1 Estrategias de enseñanza	
6.5.2 Medios y materiales	
6.5.3 Evaluación	
7. HISTORIA Y ACTIVIDAD SÍSMICA	57
7.1 SISMICIDAD EN EL MUNDO Y ALGUNOS SISMOS NOTABLES	57
7.1.1 Las principales zonas sísmicas del mundo	
7.2 SISMICIDAD EN EL PERÚ Y ALGUNOS SISMOS NOTABLES	70
7.2.1 Sismicidad	
7.2.2 Algunos sismos notables en el Perú	
7.3 METODOLOGÍA	78
7.3.1 Estrategias de enseñanza	
7.3.2 Medios y materiales	
7.3.3 Evaluación	
8. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL SUELO EN EL PELIGRO SÍSMICO	80
8.1 AMPLIFICACIÓN SÍSMICA	80
8.1.1 Amplificación sísmica en suelos blandos	
8.1.2 Amplificación sísmica en terrenos desfavorables	
8.2 LICUACIÓN DE SUELOS	84
8.3 DESLIZAMIENTOS DE SUELOS	87
8.4 FRACTURAS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES	88
8.5 METODOLOGÍA	89
8.5.1 Estrategias de enseñanza	
8.5.2 Medios y materiales	
8.5.3 Evaluación	
9. EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS ESTRUCTURAS	90
9.1 NOCIONES ESTRUCTURALES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO.	90
9.1.1 Significado de la configuración de un edificio	
9.1.2 Propiedades de una estructura que influyen en su comportamiento sísmico (masa y peso; resistencia y rigidez; período; frecuencia; amortiguamiento; y ductilidad y fragilidad)	
9.1.3 El movimiento sísmico y su influencia en el comportamiento de la estructura (amplitud; resonancia; amplificación del movimiento sísmico; fuerzas de inercia)	
9.2 TIPOS DE SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA UNA EDIFICACIÓN SISMORRESISTENTE	102
9.2.1 Clasificación de las estructuras en función de sus componentes resistentes en el plano vertical (aporticadas, muros portantes y duales o mixtos).	
9.2.2 Clasificación de las estructuras en función de sus componentes horizontales (con diafragma y sin diafragma)	
9.3 METODOLOGÍA	108
9.3.1 Estrategias de enseñanza	
9.3.2 Medios y materiales	
9.3.3 Evaluación	
10 VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS	111
10.1 CAUSAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES SIN DIAFRAGMA	111
10.1.1 Estructuras de adobe	
10.1.2 Estructuras de albañilería	
10.2 CAUSAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES CON DIAFRAGMA	115
10.2.1 Vulnerabilidad por falta de rigidez lateral en una o dos direcciones	
10.2.2 Vulnerabilidad sísmica debido a distribuciones asimétricas.	

10.2.3 Vulnerabilidad sísmica en plantas con encuentros rígidos en esquina de formas L, T, U, H, +.	
10.2.4 Vulnerabilidad sísmica debido a choque entre edificios.	
10.3 METODOLOGÍA	129
10.3.1 Estrategias de enseñanza	
10.3.2 Medios y materiales	
10.3.3 Evaluación	
11. REGULACIONES SISMORRESISTENTES A APLICAR EN LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA	131
11.1 LAS NORMAS SISMORRESISTENTES EN EL PERÚ	131
11.2 PARÁMETROS DE SITIO	
11.2.1 El factor de zona Z	
11.2.2 El factor de amplificación de suelo S	
11.2.3 El factor de amplificación sísmica C en la respuesta de la estructura	
11.3 FACTORES DE REDUCCIÓN	135
11.4 FACTORES DE USO	137
11.5 CÁLCULO DEL ESFUERZO CORTANTE EN LA BASE DEL EDIFICIO	137
11.5.1 Fuerza sísmica en la base	
11.5.2 Efectos de torsión	
11.6 METODOLOGÍA	139
11.6.1 Estrategias de enseñanza	
11.6.2 Medios y materiales	
11.6.3 Evaluación	
12 LAS EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y DE ALBAÑILERÍA	141
12.1 LAS LOSAS DE CONCRETO ARMADO	142
12.1.1 Losas macizas (losas macizas armadas en una dirección, losas macizas armadas en dos direcciones)	
12.1.2 Losas aligeradas	
12.1.3 Losas nervadas	
12.2 LOS SISTEMAS RESISTENTES DE CONCRETO ARMADO	149
12.2.1 Las vigas	
12.2.2 Las columnas	
12.2.3 Las placas ó muros	
12.3 LOS SISTEMAS RESISTENTES DE MUROS DE ALBAÑILERÍA	154
12.3.1 Muros portantes de albañilería confinada	
12.3.2 Muros portantes de albañilería armada	
12.3.3 Comparación de las ventajas y desventajas de las albañilerías confinada y armada	
12.4 METODOLOGÍA	159
12.4.1 Estrategias de enseñanza	
12.4.2 Medios y materiales	
12.4.3 Evaluación	
13. RECOMENDACIONES SISMORRESISTENTES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y DE ALBAÑILERÍA	161
13.1 CONSIDERACIÓN DE LAS CONDICIONES LOCALES DEL SUELO	161
13.2 REQUISITOS GENERALES DE CONFIGURACIÓN	163
13.2.1 Exigencia de contar con diafragmas rígidos	
13.2.2 Rigidez lateral	
13.2.3 Simetría en planta	
13.2.4 Menor peso posible	
13.2.5 Evitar irregularidades en planta	
13.2.6 Evitar aberturas exageradas en planta	
13.2.7 Evitar pisos blandos	
13.2.8 Evitar columnas cortas	
13.2.9 Rigidez torsional	
13.2.10 Inclusión de líneas sucesivas de resistencia	

13.2.11 Evitar cambios bruscos de las dimensiones de planta en elevación	
13.2.12 Juntas de separación sísmica	
13.2.13. Evitar irregularidades de distribución de masa en elevación	
13.3 DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO	172
13.3.1 Dimensionamiento de losas	
13.3.2 Dimensionamiento de vigas	
13.3.3 Dimensionamiento de columnas	
13.3.4 Dimensionamiento de las placas	
13.4 DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ALBAÑILERÍA	183
13.4.1 Configuración y dimensionamiento de muros portantes de albañilería con diafragma	
13.4.2 Configuración y dimensionamiento de muros portantes de albañilería sin diafragma	
13.5 METODOLOGÍA	189
13.5.1 Estrategias de enseñanza	
13.5.2 Medios y materiales	
13.5.3 Evaluación	
14. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
14.1 COMENTARIOS A LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS DE APLICACIÓN DE ESTA TESIS	190
14.1.1 Temas tratados hasta la fecha y resultados obtenidos	
14.1.2 Actitud de los alumnos frente al nuevo enfoque del curso.	
14.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	191
Referencias	



1. PERFIL DEL ARQUITECTO Y LAS EDIFICACIONES EN EL PERÚ

El objetivo de este capítulo es conocer las características que definen al egresado de las Facultades de Arquitectura de las universidades del Perú. Se trata de concentrar la atención en cómo se estudian las tecnologías constructivas más usuales en un país sísmico como el nuestro.

En tal sentido, este capítulo comprenderá los siguientes temas: 1) el perfil del arquitecto en el Perú; y 2) las edificaciones en el Perú.

1.1 EL PERFIL DEL ARQUITECTO EN EL PERÚ

Como muchas especialidades en nuestro país, la arquitectura, viene adecuándose a la cambiante situación de la realidad con el propósito de servir mejor a la comunidad. Esto implica también, reajustar fines y procedimientos que conllevan directamente a dar los lineamientos del perfil del arquitecto egresado de las Facultades de Arquitectura de nuestro país. Por ello, la Dirección General de Investigación y Acreditación Universitaria de la Asamblea Nacional de Rectores (2006) define el perfil profesional del arquitecto egresado de las Facultades de Arquitectura del Perú con las siguientes características:

- Diseñador de proyectos en contextos nuevos y construidos, con arreglo a la normatividad vigente y sostenibles desde el punto de vista ambiental.
- Investigador capaz de investigar problemas y proponer soluciones.
- Gestor con competencias para generar, planificar, administrar, controlar y evaluar proyectos de su especialidad.
- Ejecutor de obras con dominio de tecnologías en sistemas arquitectónicos, ambientales, constructivos, estructurales, urbanos y afines.
- Humanista sensible a las diversas formas de expresión cultural, capaz de entender y adaptarse a las necesidades sociales, espirituales y de identidad de la población con respeto a los valores esenciales del ser humano – lo moralmente bueno y bello – lo cual plasma en su ejercicio profesional en el país y en el mundo.

El perfil descrito, lleva a reflexionar sobre la importancia de incluir en la enseñanza los efectos sísmicos en las edificaciones en cada una de las características mencionadas. El arquitecto debe ser conciente permanentemente de que el Perú se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico. Por tal motivo, es un deber ético, para él, concordar con las exigencias técnicas, para brindar las seguridades pertinentes en salvaguarda de las vidas de las personas y de la economía del país. Así de esta manera, el arquitecto deberá estar capacitado para planificar ciudades bien ubicadas y para diseñar edificios capaces de afrontar las fuerzas sísmicas.

1.2 LAS EDIFICACIONES EN EL PERU

Las edificaciones en el Perú que se tratan en esta tesis se limitan a las de concreto armado y de albañilería. Para desarrollar este tema, las edificaciones serán enfocadas desde dos puntos de vista: el material predominante en las edificaciones y los efectos sísmicos en las mismas.

En las zonas urbanas de nuestro país, hace años se está prefiriendo las edificaciones de concreto armado y de albañilería respecto a otros materiales. Sólo en algunos sectores de las ciudades quedan algunas construcciones antiguas de adobe y quincha. Otros materiales usados son piedra, sillar, madera, estera en menor medida. En las zonas rurales y barrios marginales se utilizan, en gran porcentaje, las construcciones de adobe y de tapial. Para tener una idea de lo expresado, se muestra la tabla 1.2.1 con datos de la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) IV trimestre 2002 y anual 2003/2004.

TABLA 1.2.1. – Material Predominante en las Paredes de las viviendas
(Instituto Nacional de Estadística e Informática- Encuesta Nacional de Hogares, IV trimestre 2002 y anual 2003/ 2004)

material	total área rural	total área urbana
adobe, tapia	72.60	22.10
estera	0.50	1.20
ladrillo o bloque de cemento	5.50	63.90
madera	7.90	6.70
otro material	5.90	2.60
piedra con barro	0.00	0.20
piedra o sillar	0.60	0.90
quincha	3.40	2.10
total	100.00	100.00

TABLA 1.2.2. – Material Predominante en los techos de las viviendas
(Instituto Nacional de Estadística e Informática- Encuesta Nacional de Hogares, IV trimestre 2002 y anual 2003/ 2004)

material	total área rural	total área urbana
Concreto armado	1.9	47.5
Madera	0.5	2.4
Material precario	27.7	12.9
Planchas de calamina	44.9	30.6
teja	25	6.6
total	100.00	100.00

En la tabla 1.2.1, se observa que el material predominante, en las paredes de las viviendas de las zonas rurales es el adobe y de las zonas urbanas es el ladrillo o bloque de cemento. El INEI (anual 2003/2004), también informa que el 48% de los techos de las viviendas de las zonas urbanas, son de concreto armado.

Lo que se acaba de expresar, es sólo referido a viviendas. El concreto armado y la albañilería reforzada con concreto son utilizados en gran porcentaje en otros tipos de edificaciones de las zonas urbanas, tales como: centros educativos, centros de salud, oficinas de instituciones públicas y privadas, hoteles, centros comerciales, etc. Harmsen (2000), manifiesta que el concreto armado es el material más utilizado en la construcción en nuestro país.

Es necesario resaltar que las edificaciones de viviendas de adobe, en su mayoría, son construidas en forma tradicional. Con esto se sobrentiende que no hay participación profesional.

El Perú sufre los efectos de sismos con cierta frecuencia, los cuales han afectado a las edificaciones de manera diversa, como se verá en detalle más adelante. En cuanto al quehacer de los arquitectos, las edificaciones de concreto armado y de albañilería son su campo de acción más frecuente, por lo que esta tesis se centra en estos dos tipos de materiales. Es importante indicar que gran parte de los daños ocurridos ante los sismos, en las estructuras de concreto armado y de albañilería, están relacionados a la configuración de los edificios. Es decir, los daños se deben a la forma y tamaño de la edificación, a la ubicación, forma y tamaño de los elementos estructurales que lo conforman, entre otros.

Como se verá más adelante, en los desarrollos de los contenidos de esta tesis, la configuración es responsabilidad de los arquitectos. Para que ellos puedan desarrollar sus proyectos de arquitectura adecuadamente, deben definir previamente una trama estructural.

Para tener una idea del mal comportamiento sísmico de los edificios mal configurados, se citan algunos de los daños más frecuentes ocurridos en los últimos 25 años de terremotos. Blanco (1993) indica: daños en tabiquería de ladrillo y otros elementos no estructurales, en estructuras con pórticos muy flexibles; colapso de edificios conformados por pórticos, que en una dirección, tienen columnas de poca dimensión y vigas chatas; torsión en edificios con disposición asimétrica en planta de los elementos estructurales o de los pesos; fallas por columnas cortas, en aquellos edificios que tienen ventanas altas (ejemplo, los centros educativos); fallas por piso blando, en aquellos edificios conformados por pórticos que tienen espacios libres en el primer piso y en los pisos superiores, abundancia de muros de relleno o división de ambientes.

Estos daños y su relación con la configuración serán tratados en detalle en esta tesis. Es importante que los estudiantes de arquitectura conozcan estos temas para evitar que estos errores se sigan repitiendo.

2. LOS CURSOS DE ESTRUCTURAS EN LOS PLANES DE ESTUDIOS DE LAS FACULTADES DE ARQUITECTURA DEL PERU, ENTREVISTAS Y EXPERIENCIAS

En este capítulo se hace una revisión de los cursos de Estructuras en los planes de estudios de algunas de las Facultades de Arquitectura de las universidades peruanas. También se ha visto por conveniente, revisar los cursos que son prerrequisitos a los cursos de estructuras (matemáticas, física) y los complementarios y afines (construcciones, topografía).

A esta revisión se acompañan algunas entrevistas a docentes arquitectos e ingenieros civiles. También se exponen las experiencias de la autora como docente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP) y su observación de las clases sobre temas de estructuras en la Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Todo esto se usará para analizar críticamente los contenidos de los cursos de estructuras en algunas facultades.

Los temas tratados se han agrupado en tres secciones: 1) los cursos de estructuras en los planes de estudios de las Facultades de Arquitectura del Perú; 2) entrevistas con docentes; y 3) las experiencias como docente de la autora.

2.1 LOS CURSOS DE ESTRUCTURAS EN LOS PLANES DE ESTUDIOS DE ALGUNAS FACULTADES DE ARQUITECTURA DEL PERU

Se presentan los planes de estudios de siete facultades de arquitectura, de universidades públicas y privadas. El objetivo es analizar la conformación, los contenidos, la metodología y la bibliografía de los cursos de estructuras del plan curricular de cada una de estas siete facultades.

Las siete facultades de arquitectura que han servido para analizar los cursos de estructuras de sus planes curriculares, pertenecen a las siguientes universidades: Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); Universidad Peruana de Ciencias aplicadas (UPC); Universidad Ricardo Palma (URP); Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP); Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV); Universidad Femenina del Sagrado Corazón (UNIFE); Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Los aspectos tratados en esta sección son: 1) relación de cursos de estructuras y afines en los planes curriculares; y 2) algunos sílabos de los cursos de estructuras.

2.1.1. Relación de cursos de estructuras y otros en los planes curriculares

Se ha efectuado una recopilación de los planes de estudios de siete Facultades de Arquitectura del país, tal como se puede observar en la tabla comparativa 2.1.1 En esta tabla, se indica la relación de los cursos de estructuras, matemáticas, física, topografía y construcciones. Adicionalmente se han considerado en la relación los cursos electivos de algunas universidades.

Tabla 2.1.1 – Cuadro comparativo de los cursos de Estructuras y afines en los Planes de Estudios de algunas Facultades de Arquitectura

CICLO	PUCP	UPC	RICARDO PALMA	UNCP	UNFV	UNIFE	UNI
I	Matemáticas 1	Matemáticas Básicas	Matemáticas 1	Matemáticas 1		Matemáticas 1	Matemática1 Matemática3 Física 1
II	Matemáticas 2 Fundamentos de Ingeniería	Calculo diferencial e integral. Tópicos de Física y matemática	Matemáticas 2 Física	Matemáticas 2		Matemáticas 2 Física	Matemática2 Matemática4 Física 2
III	Estructuras 1	Física Modelación Estructural 1	Estructuras para arquitectos 1	Topografía Física	Física 1	Orientación Estructural 1 Materiales y sistema constructivos 1	Construcción 1 Estructuras 1
IV	Construcciones 1	Obras prelimares Mod. Estructural 2	Edificación 1	Construcción1 Estructuras1	Estructuras 1	Materiales y Sistemas Constructivos 2 Orientación Estructural 2	Construcción 2 Estructuras 2
V	Estructuras 2	Albañilería simple y armada, instalaciones eléctricas y sanitarias.	Estructuras para arquitectos 2	Construcción 2 Estructuras 2	Estructuras 2	Orientación Estructural 3 Topografía	Construcción 3 Estructuras 3
VI	Construcciones 2	Techos aligerados y encofrados	Edificación 2 Estructuras para arquitectos 3	Construcción 3 Estructuras 3	Estructuras 3	Materiales y Sistemas Constructivos Orientación Estructural 4	Construcción 4 Estructuras 4
VII	Estructuras 3	Acabados tecnología de la madera	Instalaciones Sanitarias y Eléctricas.	Instalaciones Sanitarias, Eléctricas y Mecánicas			
VIII	Construcciones 3	Equipos e Instalaciones Especiales	Edificación 3 Estructuras especiales (electivo)	Seminario de estructuras (electivo)			
IX	Seminario de estructuras (electivo)		Taller de Ingeniería de proyectos I				
X			Taller de Ingeniería de proyectos II Seminario de estructuras (electivo)				

Se puede observar que en general, las facultades mostradas, tienen en común los cursos de: matemáticas, física, topografía y construcciones. Aunque en algunos casos las nominaciones son diferentes, existen coincidencias en los contenidos. Por ejemplo, en el caso de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la PUCP, el curso de “Fundamentos de Ingeniería”, abarca conceptos básicos de Topografía y de Física.

En el caso del número de cursos obligatorios de Estructuras, también hay coincidencias en la cantidad. En general se llevan tres cursos de estructuras. La excepción son las Facultades de Arquitectura de la UNIFE y la UNI, donde se llevan cuatro cursos de estructuras. En la mayoría de las Facultades mostradas, se llevan los cursos de Estructuras en forma paralela a los cursos de Construcciones. La excepción está en la PUCP, donde el dictado de los cursos de Estructuras y de Construcciones no es llevado en forma paralela; según se puede observar, un ciclo se lleva Estructuras y el siguiente se lleva Construcciones.

Respecto a la secuencia de cursos de estructuras y construcciones en la PUCP, el arquitecto Paulo Dam, manifestó que ésta obedece a una lógica metodológica. Dijo: “La idea es que la construcción involucra a la estructura, acompañando al taller de diseño arquitectónico.”

2.1.2. Algunos sílabos de los cursos de estructuras

Se muestran y se analizan los sílabos de los cursos de estructuras dictados en cada una de las siete facultades seleccionadas. En algunos casos tales como: la UPC y la UNIFE, no se han podido conseguir la totalidad de los sílabos de todos los cursos dictados para la carrera. Los sílabos de cada uno de los cursos de estructuras de las facultades de arquitectura de cada universidad seleccionada, son presentados con un comentario inicial.

a) Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú (FAU-PUCP), vigentes al 2006-1

El objetivo general indicado para los tres cursos de estructuras es que el alumno integre los conceptos de estructuras en el proceso de diseño arquitectónico. La bibliografía utilizada para los tres cursos es especializada para la formación de alumnos de arquitectura, combinada con algunos libros de ingeniería. Ver tablas 2.1.2-a.1, a.2, a.3.

a.1. Estructuras 1

Los contenidos de estática y resistencia de materiales, considerados en el sílabo, han sido debidamente seleccionados. Esto debe permitir a los alumnos, entender el equilibrio de las estructuras ante las fuerzas actuantes; y la resistencia y rigidez de los elementos que componen la estructura. De esta manera, se desarrollará en los alumnos los criterios para lograr proporciones adecuadas de las dimensiones de los elementos estructurales relacionados a las fuerzas y al material. Ver tabla 2.1.2-a.1.

TABLA 2.1.2-a.1- Sílabo de Estructuras 1, FAU-PUCP

Objetivo específico: Que el alumno comprenda los diferentes tipos de comportamiento estructural así como su relación con los materiales y la proporción de sus elementos estructurales.	
Metodología: Clases teóricas y experimentación virtual en el laboratorio informático.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Estructura y espacio. Requisitos de una estructura. Fuerza, momento de una fuerza y equilibrio de un cuerpo. - Comportamiento estructural: tipos de deformación, tipos de comportamiento. Grados de libertad. Condiciones de apoyo. Sistemas simples en equilibrio. - Centros de gravedad. Cargas distribuidas. Resolución de sistemas en equilibrio. - Jerarquía de fuerzas. Análisis de barras: tracción, compresión. Diagramas. Análisis de vigas. Diagrama de momento flector. - Sistemas de marcos. Uniones, fuerzas en uniones. Resolución de sistema de marcos. - Sistema de armaduras. Características. Resolución de sistemas de armaduras. - Propiedades mecánicas de los materiales. Esfuerzo y deformación. Factor de seguridad. - Carga Axial. Propiedades geométricas de sección transversal: área y centroide. Esfuerzos y deformaciones por carga axial. - Flexión. Propiedades geométricas de sección transversal: momento de inercia, superficie neutra. esfuerzos de flexión. Elementos sometidos a flexión. Deflexiones de vigas. - Corte. Elementos sometidos a momento flector y fuerza cortante. Flujo de corte longitudinal. Esfuerzo Cortante. - Pandeo. 	<p>Textos básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estática en arquitectura. Mario de Jesús Carmona y Pardo. - Statics and Strength of materials for architecture and building construction. Barry Onouye- Kevin Kane. <p>Textos complementarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Shaping Structures STATICS- Waclaw Zalewski, Edward Allen. - Ingeniería mecánica: ESTÁTICA. William F. Riley, Leroy D. Sturges. - The art of construction: projects and principles for beginning engineers and architects. Mario Salvadori. Robert Séller. 3era.edición. - Estructuras, o por qué no se caen las cosas. Gordon J.E. - Razón y ser de los tipos estructurales. Eduardo Torroja. - Comprensión de las estructuras en arquitectura. Fuller Moore. McGraw Hill.

a.2. Estructuras 2

El enfoque y los conceptos referidos a los diferentes tipos de cargas actuando en los diferentes sistemas estructurales, permitirán que el alumno pueda comprender el comportamiento estructural de los edificios.

Se tratan diferentes tipos de elementos estructurales, tales como vigas, techos planos, armaduras, vigas quebradas, vigas curvas, arcos, bóvedas, cúpulas, cables, catenarias, columnas y muros. Este contenido se considera adecuado, puesto que da un repertorio de soluciones diversas con las que puede contar el alumno.

Todos los temas indicados en el sílabo están bien seleccionados y correlacionados. Sin embargo, se considera que el tema de los sismos y la configuración arquitectónica, deberían ser tratados en forma más amplia en el siguiente curso, llamado Estructuras 3. Todos los demás contenidos deberían ser profundizados, con la implementación de dimensionamientos a través del cálculo de esfuerzos. Ver tabla 2.1.2-a.2.

TABLA 2.1.2-a.2- Sílabo de Estructuras 2, FAU-PUCP

Objetivo Específico: El conocimiento de los sistemas estructurales resistentes a cargas de gravedad y cargas sísmicas.	
Metodología: Clases expositivas acompañadas de modelos experimentales y experimentación virtual en el laboratorio informático.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Cargas. Caminos de cargas. Metrados de cargas de gravedad. Otros tipos de cargas. - Elementos sometidos a flexión: Techos planos. Vigas. Materiales más usados. Análisis de esfuerzos en vigas. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante. - Elementos sometidos a carga axial: tirantes, columnas, materiales más usados. Análisis de esfuerzos. Fuerza admisible por pandeo. - Elementos sometidos a carga axial y momento flector: Armaduras. Vigas quebradas. Vigas curvas. Análisis de esfuerzos combinados: carga axial más flexión. - Otras estructuras: arcos. Bóvedas y cúpulas. Cables y catenarias. Estructuras espaciales. - Elementos de soporte lateral: estabilidad. Muros de contención. Contrafuertes. Materiales más usados. - Cargas sísmicas: naturaleza de las cargas sísmicas. Respuesta de una edificación ante una carga física. Periodo fundamental de vibración. Las cargas sísmicas y su simplificación como fuerzas laterales. Caminos de las cargas laterales. - Elementos sismorresistentes: muros de corte, arriostres laterales, pórticos dúctiles, diafragmas rígidos. - La configuración arquitectónica en la respuesta de la edificación ante sollicitaciones sísmicas. Irregularidades en la configuración. 	<p>Textos básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Statics and Strength of materials for architecture and building construction. Barry Onouye- Kevin Kane. - Configuración y diseño sísmico de edificios. Christopher Arnold, Robert Reithrman. <p>Textos complementarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniería mecánica: ESTÁTICA. William F. Riley, Leroy D. Sturges. - Reducción de desastres. Julio Kuroiwa. - Developments in structural form. Mainstone, Rowland J. - Tragsysteme = Structure system. Heino Engel. - Razón y ser de los tipos estructurales. Eduardo Torroja. - Architects + engineers = structures. Ivan Morgolius. - Building construction Illustrated. Ching. Francis D.K. Third Edition. - Estática en arquitectura. Mario de Jesús Carmona y Pardo. - Shaping Structures STATICS- Waclaw Zalewski, Edward Allen. - Comprensión de las estructuras en arquitectura. Fuller Moore. Mc Graw Hill. - Estructuras para arquitectos. Mario Salvadori, Robert Séller. 3era.edición. - The art of construction: projects and principles for beginning engineers and architects. Mario Salvadori. - Estructuras, o por qué no se caen las cosas. Gordon J.E.

a.3. Estructuras 3

Los contenidos de este curso son de carácter aplicativo. Abarca importantes temas que pueden ampliar el repertorio de soluciones estructurales en los diferentes proyectos arquitectónicos.

Sin embargo, se considera que los temas son muy extensos para ser tratados en un semestre académico. Debería implementarse un cuarto curso de estructuras con el fin de profundizar mejor en todos los contenidos considerados en los tres cursos de estructuras. Ver tabla 2.1.2-a.2.

TABLA 2.1.2-a.3- Sílabo de Estructuras 3, FAU-PUCP

<p>Objetivo específico: Que el alumno sea capaz de manejar las herramientas que le permitan dimensionar los elementos estructurales que sustentarán su edificio arquitectónico; identificando previamente cargas aplicadas, sistemas estructurales y materiales a utilizar.</p>	
<p>Metodología: Clases expositivas acompañadas de modelos experimentales.</p>	
<p>Contenidos</p> <p>En general los materiales y sistemas estructurales que se estudian en este curso son los siguientes: 1) madera: dimensionamientos de techos, vigas, entramados, columnas y muros de corte; 2) acero: dimensionamiento de vigas y columnas; 3) adobe: dimensionamiento de muros; 4) albañilería: diferencia entre albañilería confinada y armada, dimensionamiento de muros para cargas de gravedad y sismo; 5) concreto armado: dimensionamiento de losas, vigas, columnas y elementos sismorresistentes. Los temas para cada clase son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estructuración de sistemas a cargas verticales y cargas sísmicas. La estructura en el espacio arquitectónico. Sistemas estructurales. Cargas. Materiales. Camino de carga. - Dimensionamiento de techos en un sentido y dos sentidos. Estimación de cargas. Tipo de material. Predimensionamiento con reglas directas. Dimensionamiento a través del cálculo de esfuerzos. - Dimensionamiento de vigas. Estimación de cargas. Predimensionamiento con reglas directas. Dimensionamiento a través del cálculo de esfuerzos. - Dimensionamiento de columnas. Estimación de cargas. Predimensionamiento con reglas directas. La esbeltez en las columnas. Dimensionamiento a través del cálculo de esfuerzos. Pandeo. - Dimensionamiento de muros para carga vertical. Predimensionamiento con reglas directas. La esbeltez de los muros. Dimensionamiento a través del cálculo de esfuerzos. - Dimensionamiento de muros de corte para carga lateral. Estimación de la fuerza sísmica. Distribución de la fuerza sísmica en los muros de corte. El material como muro de corte. Dimensionamiento a través del cálculo de esfuerzos. - Pórticos y muros arriostrados. Uniones entre elementos. Comportamiento estructural de pórticos dúctiles y muros arriostrados para resistir cargas verticales. Uniones entre elementos estructurales. - Suelos y cimentaciones. Naturaleza de los suelos. Comportamiento de los suelos. Cimentaciones. - Dimensionamiento de elementos no estructurales. Diferencia entre tabiques, cercos y muros de fachada. 	<p>Bibliografía</p> <p>Textos básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Statics and Strength of materials for architecture and building construction. Barry Onouye - Kevin Kane. - Configuración y diseño sísmico de edificios. Christopher Arnold, Robert Reitherman. - Acuerdo de Cartagena. Manual de diseño para madera del grupo Andino. 1984 <p>Textos complementarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Normas técnicas de edificación: NTE-020, NTE-030, NTE-050, NTE-060, NTE-070, NTE-080, NTE-090. - Building construction Illustrated. Ching. Francis D.K. Third Edition. - Simplified engineering for architects and builders. James Ambrose - Comprensión de las estructuras en arquitectura. Fuller Moore. Mc Graw Hill. - Estructuras para arquitectos. Mario Salvadori, Robert Séller. 3era.edición. - Razón y ser de los tipos estructurales. Eduardo Torroja. - Estructuras, o por qué no se caen las cosas. Gordon J.E. - Tragsysteme = Structure system. Heino Engel.

b) Facultad de arquitectura y urbanismo de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (FAU-UPC), vigente al 2002-2.

Sólo se pudo conseguir un sílabo del curso de Modelación Estructural 2.

b.1. Modelación estructural 2

Los contenidos son muy diversos con tratamientos poco profundos. Se tratan algunos temas que son propios de la formación del ingeniero civil, tales como: solución de vigas continuas y pórticos con el método de Cross; comportamiento de zapatas, entre otros. La bibliografía combina algunos libros para formación de arquitectos con otros para la formación de ingenieros. Ver tabla 2.1.2-b.1.

TABLA 2.1.2-b.1- Sílabo de Modelación Estructural 2, FAU-UPC

<p>Objetivo general: Presentar y discutir los conceptos fundamentales para el análisis estructural y la configuración, desarrollando los criterios básicos inherentes a su naturaleza e importancia.</p> <p>Objetivos específicos: Dar una visión general del análisis y modelación estructural. Reconocer la naturaleza, la importancia y los reglamentos en la configuración de las edificaciones. Manejar conceptos prácticos de predimensionamiento. Resolver estructuras hiperestáticas empleando métodos iterativos.</p>	
<p>Metodología: Conferencias, talleres, clases practicas y evaluaciones periódicas</p>	
<p>Contenidos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Visión general de la arquitectura dentro del análisis estructural. - Análisis de pórticos planos isostáticos. Diagramas de fuerzas interiores. Esfuerzos normales por carga axial y por flexión. - Resistencia del concreto f'c. - Movimiento del suelo. - La configuración en edificaciones. - Diagramas de cuerpos libres de miembros y nudos. - Hiperestaticidad general para vigas y pórticos planos. - Nociones de concreto armado, concreto pretensado, acero, madera y albañilería. - Predimensionamiento de vigas, losas, columnas, muros, placas y cimentaciones. - Aspectos reglamentarios. - Techos laminares con cables rectos. - Estructuras aporticadas con elementos inclinados - Aspectos preliminares. Factor de transporte, coeficientes de transmisión de momentos. - Solución de vigas continuas, y pórticos sin desplazamiento por el método de Hardy Cross. DMF, DFC y DFN. - Estructuras Aporticadas. - Comportamientos de zapatas, vigas y columnas. - Tabiques de relleno en estructuras aporticadas. - Estructuras de albañilería confinada y armada. - Comportamiento de muros portantes y no portantes. - Diafragma rígido. Losas aligeradas y macizas. Piso blando. Situación del núcleo. Falsa simetría. - Procedimientos constructivos. Lectura de planos estructurales. - Nociones del pretensado. Materiales. Ventajas y desventajas. 	<p>Bibliografía</p> <ul style="list-style-type: none"> - ARNOLD REITHERMAN, Configuración y diseño sísmico de edificios. Editorial Limusa, 1998 - ANTONIO BLANCO BLASCO. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. - INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA. Reglamento Nacional de Estructuras. - EDUARDO TORROJA. Razón y ser de los tipos estructurales. - R.C. HIBBELER. Análisis estructural. Editorial Prentice Hall, 1997. - C. PRENZLOW. Cálculo de estructuras por el método de Cross. Ediciones G. Gili. S.A.

c) Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Ricardo Palma (FAU-URP), vigente a 2001

En general, los sílabos de los tres cursos, entre uno y otro, no tienen una secuencia relacionada de contenidos.

c.1. Estructuras para arquitectos 1

Los contenidos están relacionados a estática y resistencia de materiales, pero tal como se indica en la metodología, los contenidos no serán tratados a profundidad. Es rescatable la integración de los conceptos estructurales a los temas de taller.

La bibliografía tiene varios libros para la formación de alumnos de arquitectura pero adjunta datos incompletos.

Se considera que por ser el primer curso que introduce conocimientos de estática y resistencia de materiales, debería ser tratado con mayor profundidad. Ver tabla 2.1.2-c.1.

TABLA 2.1.2-c.1- Sílabo de Estructuras para Arquitectos 1, FAU-URP

Objetivo: Integrar los conceptos estructurales en el proceso de concepción arquitectónica. Resolver problemas de Estabilidad bidimensional y Tridimensional.	
Metodología: A través del desarrollo teórico se darán las bases mínimas de los componentes, parámetros y fenómenos, que constituyen el mecanismo estructural. Se utilizan maquetas didácticas	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - La estructura y su relación con la Arquitectura. Las fuerzas y su clasificación. Equilibrio. Estabilidad Bidimensional. Estabilidad Tridimensional. Los Vínculos y la Estabilidad: Articulaciones Empotramientos. Deslizantes. - Triangulación estructural en el espacio bidimensional. Tetraedrización de las estructuras tridimensionales. Combinación de las estructuras bidimensionales. Combinaciones de las estructuras tridimensionales. Sistema de estabilización de estructuras bidimensionales en el espacio. - Tracción, compresión, flexión, corte y torsión. - Compresión. Pandeo. Componentes estructurales más importantes. Columnas. Muros, Poligonales, Arcos. - El arco - La bóveda y la cúpula - Esfuerzos-flexión. - Vigas. Crítica del tema de taller. - Esfuerzo : corte y torsión. Crítica del tema de taller. - Sistemas de pórticos. Crítica del tema de taller. - Rigidez. Crítica del tema de taller. - Sistemas con cables. Crítica del tema de taller. - Estructuras anticlásticas. Crítica del tema de taller. 	<ul style="list-style-type: none"> - OSHIRO, Fernando. Libro del arquitecto - ARNOLD, Christopher – REITHERMAN, Robert. Configuración y diseño sísmico de edificios. - BLACKWELL, William. Geometry in architecture. - E. ING. T.Y. LIN S.D. STOTESBURY. Conceptos y sistemas estructurales para arquitectos. - HERZOG, Thomas. Construcciones Neumáticas. - PEDOE, Dan. La geometría en el arte - D'ARCY THOMSON, Sobre el crecimiento y la forma - WOLF, EKI – KUHN, D. Forma y Simetría.

c.2. Estructuras para arquitectos 2

Los contenidos corresponden a resistencia de materiales referente a fuerzas y esfuerzos en vigas, estructuras reticulares, solución de vigas y pórticos estáticamente indeterminados y pandeo. En la parte final se trata la Norma Técnica de edificaciones sismorresistentes y los principales errores de estructuración.

Tal como se observa, los contenidos no están concatenados. Se pasa bruscamente al tema de las regulaciones sismorresistentes sin que previamente se hayan tratado los diferentes tipos de cargas y los sistemas estructurales con que se cuentan.

Por otro lado, se observa que algunos de los contenidos de resistencia de materiales, son enfocados como para ingeniería civil, como es el caso de vigas y pórticos estáticamente indeterminados. Otros temas son tratados en forma superficial, como por ejemplo las estructuras reticulares y la cuantificación sencilla de fuerzas de tracción y de compresión.

La bibliografía tiene varios libros para la formación de alumnos de arquitectura e ingeniería pero adjunta datos incompletos. Ver tabla 2.1.2-c.2.

TABLA 2.1.2-c.2- Sílabo de Estructuras para Arquitectos 2, FAU-URP

Objetivo: Estructurar edificaciones de mediana complejidad con la ubicación y el predimensionamiento de sus componentes básicos.	
Metodología: Por medio de exposiciones teórico-prácticas se materializarán los objetivos de esta asignatura.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Características de los materiales. Concepto de elasticidad, plasticidad y ductilidad - Vigas y fuerzas internas. - Ecuaciones del momento flector y la fuerza cortante. - Inercia. - Esfuerzos en vigas. - Estructuras reticulares - Cuantificación sencilla de fuerzas en tracción y compresión en los elementos de las estructuras reticuladas. - Deformación de vigas. - Vigas estáticamente indeterminadas. - El pórtico. - Distribución de momentos flectores - Pandeo lateral. - Norma sismorresistente - Principales errores de estructuración 	<ul style="list-style-type: none"> - LIN Y STOTESBURY. Conceptos y Sist. Estructurales para Arquitectos e ingenieros. - ARNOLD. REITHERMAN. Configuración y diseño sísmico de edificios. - HARRY PARKER. Ingeniería simplificada para arquitectos, constructores - WINTER, G. y A. NILSON. Proyecto de estructuras de hormigón - ARTEAGA, IBERICO. Resistencia de materiales - BLANCO ANTONIO. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto - COLIN FABER. Las estructuras de candela - TORROJA EDUARDO. Razón y ser de los tipos estructurales - SALVADORI MARIO. Statics and strength of structures - AGUIRRE F. Y BATANERO J. Sistemas de estructuras - N. SANDAKER AND P. EGGEN. The structural basis of architecture - NASH, WILLIAM A. Resistencia de materiales, colección Schaum - SINGER, F. L. Resistencia de materiales. - TIMOSHENKO, GERE. Mecánica de materiales. - SCORE. Mecánica de materiales. - GONZÁLES CUEVAS, OSCAR. Aspectos fundamentales del concreto reforzado - LABARTHE, Carlos. Losas y vigas - CASADO, FERNÁNDEZ. Estructuras reticulares.

c.3. Estructuras para arquitectos 3

Los contenidos abarcan herramientas necesarias para configurar y dimensionar edificaciones sismorresistentes de concreto armado y de albañilería.

Sin embargo, se considera que el presente sílabo debería ser mejorado con conocimientos de: sismología, historia y peligro sísmico, vulnerabilidad de los edificios y propiedades dinámicas relacionadas al movimiento sísmico y la respuesta de la estructura. De esta manera, los alumnos tomarían conciencia de los efectos de los sismos en las estructuras, dándole más espontaneidad y seguridad en el desarrollo arquitectónico de sus proyectos. Se considera además que faltan implementar conocimientos relacionados a los diferentes tipos de cargas y la forma como se transmiten.

La bibliografía tiene varios libros para la formación de alumnos de arquitectura pero adjunta datos incompletos. Ver tabla 2.1.2-c.3.

TABLA 2.1.2-c.3- Sílabo de Estructuras para Arquitectos 3, FAU-URP

Objetivo: Reconocer que la arquitectura tiene un serio compromiso con la estructura planteada y el respeto de las Normas y recomendaciones de diseño Sismo-Resistentes	
Metodología: El profesor en clase magistral, explicará conceptualmente el comportamiento de los diferentes sistemas estructurales que conforman la estructuración de edificios de concreto reforzado y albañilería.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Importancia de una buena estructuración. - Comportamiento del concreto reforzado a flexión, corte y flexo-compresión. Comportamiento del concreto preesforzado - Diafragma - Losa aligerada, losa maciza, losa nervada - Atributos del diafragma. - Pórticos. - Placas - Cimentaciones, función. - El Edificio de Albañilería. - Dimensionamiento de muros para cargas de gravedad - Comportamiento de los muros frente a un sismo. Dimensionamiento de muros para resistir sismos. Juntas de separación sísmica. - Problemas de torsión-asimetría - Problemas de columna corta-impacto. - Falsa simetría - Piso blando. - Resonancia, fragilidad. - Viga fuerte-columna débil. 	<ul style="list-style-type: none"> - ARNOLD, Christopher – REITHERMAN, Robert. Configuración y diseño sísmico de edificios. - BLANCO ANTONIO. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto - FRANCIS, A.J. Introducción a las Estructuras para Arquitectura en Ingeniería. - LIN, T. Y. y S. D. STOFESBORY. Conceptos y Sistemas Estructurales para Arquitectos e Ingenieros.

d) Facultad de arquitectura de la Universidad Nacional del Centro del Perú (FARQ-UNCP), vigentes al 2006 – 2.

Los sílabos presentados están en proceso de actualización. No existe una correlación de temas entre los diferentes sílabos.

d.1. Estructuras 1

Los contenidos incluyen conceptos importantes de estática y resistencia de materiales. Existe buena correlación. Sin embargo, no se considera adecuado el análisis de estructuras con la aplicación del método de Cross, lo cual es de uso de la ingeniería. Toda la bibliografía presentada es para ingenieros. Falta implementar bibliografía de estática y de resistencia de materiales para arquitectos. Ver tabla 2.1.2-d.1.

TABLA 2.1.2-d.1- Sílabo de Estructuras 1, FARQ-UNCP

<p>Objetivo general: Lograr que el alumno tome conciencia, acerca de la importancia de las estructuras y su importancia con respecto a la seguridad y servicio de los espacios.</p> <p>Objetivo específico: Diseñar y proyectar obras de arquitectura y su entorno inmediato de acuerdo a: requerimientos económicos; contexto cultural y social; constructivo.</p>	
<p>Metodología: Método analítico deductivo a través de clases teórico – prácticas con vistas de videos y/o visita a obras y solución de problemas afines.</p>	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia, rigidez y estabilidad. - Cargas: distribución de vargas, combinaciones de cargas, idealización y representación de las cargas. Efectos de las cargas: reacciones, fuerzas internas, esfuerzo y deformación, efectos dinámicos. - Diseño estructural, investigación del comportamiento estructural. - Manifestación de fuerzas internas. - Esfuerzo simple: Concepto, esfuerzo normal directo, esfuerzo cortante directo, esfuerzo de apoyo, esfuerzo de diseño. - Deformación: concepto, diagrama esfuerzo deformación, ley de Hooke, deformación por cortante, módulo de elasticidad. - Esfuerzos por temperatura. - Par de torsión. Esfuerzo cortante torsional en secciones circulares. Deformación torsional. Torsión en secciones no circulares. - Tipos de vigas. Condiciones de carga y apoyo. Acciones en vigas. Reacciones, cortantes, momento flexionante. Esfuerzos en vigas: esfuerzos de flexión y esfuerzo cortante. Rotación y deflexión. Pandeo. - Diseño de vigas de material homogéneo. - Tipos de elementos a comprensión. Carga crítica, esbeltez relativa, fórmula de Euler para columnas largas. Columnas de longitud intermedia. Esfuerzos combinados: comprensión más flexión. - Perfiles eficientes para secciones transversales de columnas. - Armaduras: uso de las armaduras, estabilidad y resolución de armaduras planas, cargas en armaduras, fuerzas para el diseño de los miembros de armaduras. - Generalidades, estructuras continuas, ventaja de las estructuras hiperestáticas, desventajas de las estructuras hiperestáticas, vigas, pórticos. Métodos de análisis, análisis aproximados, método Hardy Cross. 	<ul style="list-style-type: none"> - Robert L. Mott. Resistencia de materiales aplicada, Editorial Prentice Hall – México año 1996. - Singer/ Andrew Pytel. Resistencia de materiales, Editorial Harla – México, año 1992. - Ambrose, Análisis y Diseño de estructuras, Editorial Limusa Noriega editores – México año 1998. - Angel San Bartolomé, Análisis de edificios, editorial PUCP – Perú, año 1998. - Mc Cormac Elling. Análisis de estructuras, editorial Alfa Omega – México 1996. - William A. Nash, Resistencia de materiales, Colección Schaum, 1984. - Timoshenko y Young, Elementos de resistencia de materiales, Editorial Mc. Graw Hill 1986. - V. I. Feodosiev, Resistencia de materiales, Editorial Mir Moscú, 1984. - José Castillo Basurto, Estática para ingenieros y arquitectos, editorial Trillas, 1992. - Norris Wilbur, Análisis elemental de estructuras, editorial Mc Graw Hill, 1986.

d.2. Estructuras 2

Los contenidos permitirán al alumno aprender a configurar y dimensionar estructuras sismorresistentes de albañilería y de concreto armado.

Sin embargo, se considera que previamente a estos contenidos, el alumno debería ampliar sus conocimientos de resistencia de materiales con un mayor repertorio de sistemas estructurales, para que aprenda a dimensionar los elementos estructurales de acuerdo a su capacidad resistente y las cargas actuantes. La bibliografía es adecuada a los requerimientos del alumno de arquitectura. Ver tabla 2.1.2-d.2.

TABLA 2.1.2-d.2- Sílabo de Estructuras 2, FARQ-UNCP

<p>Objetivo general: Al final del curso, el alumno tendrá capacidad técnica de poder intuir el comportamiento de las estructuras, ante los diferentes tipos de cargas que actúan en ella e iniciar la configuración y dimensionamiento de las estructuras.</p> <p>Objetivo específico: Conocer: las componentes de una estructura y su comportamiento ante las cargas que actúan sobre ella; la influencia de los suelos ante las cargas verticales y en la intensidad de propagación de las ondas sísmicas; la importancia de los efectos sísmicos en las edificaciones ubicadas en zona sísmica; y la iniciación en la configuración y dimensionamiento de las estructuras sismorresistentes</p>	
<p>Metodología: Investigación y exposición de los alumnos en grupos de trabajo. La cátedra se encargará de las aclaraciones, reflexiones pertinentes y las visitas de campo. Se utilizará el programa SAP para el entendimiento del comportamiento de las estructuras.</p>	
<p>Contenidos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conceptos de lo que es una estructura. Cargas. Tipos. Caminos de cargas. - Tipos de cargas. Cargas verticales. Cargas sísmicas. Cargas de viento. Cargas de empuje y otros que debe resistir una estructura. - Los sistemas estructurales y sus tipos. - Los suelos como soporte de la estructura. - Vulnerabilidad y riesgo sísmico de los edificios. - Dimensionamiento de estructuras de concreto armado. - Dimensionamiento en albañilería. 	<p>Bibliografía</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arango J. 2002. "Análisis, Diseño y Construcción en Albañilería". Capítulo Peruano ACI. Lima, Perú. - Arnold C. y Reitherman R. 1987. "Configuración y Diseño Sísmico de Edificios". Editorial Limusa. - Bazán E. y Meli R. "Diseño Sísmico de Edificios". Editorial Limusa. México - Blanco A. 1991. "Conceptos Estructurales Aplicados a Edificaciones de Concreto Armado y Albañilería". Lima, Perú. - Gordon J. 1999. "Estructuras o porque las cosas no se caen". Celeste Ediciones, España. - Kuroiwa J. 2002 "Reducción de Desastres (Viviendo en Armonía con la Naturaleza)". Lima, Perú. - Millais M. 1997. "Estructuras de Edificación". Celeste ediciones, Madrid, España. - Moisset D. 1992. "Intuición y Razonamiento en el Diseño". Escala, Bogotá Colombia. - Moore F. 2000. "Comprensión de las Estructuras de Arquitectura". Mc Graw – Hill, México. - PUCP, SENCICO. EERI. 2005. "Construcción y Mantenimiento de Viviendas de Albañilería". Marcial Blondet, Lima Perú. - Salvadori M. 1998. "Estructura para Arquitectos". Kliczkowski Publisher Asppan. - San Bartolomé A. 1998 a. "Construcciones de Albañilería". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima Perú. - San Bartolomé A. 1998 b. "Análisis de Edificios". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima Perú. - Onouye B. y Kane K. 2002. "Statics and Strength Materials for Architecture and Building Construction". Prentice Hall. - Tarbuck E. 2003. "Ciencias de la Tierra". Madrid, España - Torroja E. 1998. "Razón y Ser de los Tipos Estructurales". Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Eduardo Torroja, Madrid. - Sauter F. 1989. "Introducción a la Sismología". Editorial Tecnológica. Costa Rica. - Reglamento Nacional de Construcciones actualizado al 2006

d.3. Estructuras 3

El contenido incluye sólo temas del área de geotecnia propios de la ingeniería civil. Es necesario seleccionar sólo los contenidos que puedan servir a los estudiantes de arquitectura relacionados al suelo donde se ubicarán sus edificaciones en proyecto. Este sílabo debería reemplazarse por otro curso relacionado a los sismos, sus efectos en las estructuras y criterios de configuración y dimensionamiento. En los contenidos no figuran temas referidos al acero y madera. Esto no es concordante con el objetivo general. Ver tabla 2.1.2-d.3.

TABLA 2.1.2-d.3- Sílabo de Estructuras 3, FARQ-UNCP

Objetivo general: Que el alumno adquiriera el criterio bien definido del tipo de suelo y los criterios estructurales para el uso del acero y madera; en sus diseños arquitectónicos.	
Metodología: Ejercicios, maquetas estructurales, visitas a obras, teorías, críticas individuales y calificación.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Mecánica de suelos. - Obtención de muestras. - Perfil estratigráfico - Clasificación de suelos. - Esfuerzo de corte de suelos. - Empuje de tierra. - Estabilidad de taludes - Estudio de cargas de la superestructura. - Determinación de la capacidad de carga del suelo de cimentación - Preparación de varios anteproyectos de los diferentes tipos de cimentación. - Selección del tipo de cimentación en función de: tipo de suelo, adaptabilidad y que sea más económico. - Determinación de las fuerzas de empuje del suelo. - Presiones sobre el suelo. - Planteamiento estructural de diferentes tipos de muros de contención - Estabilidad de un muro de contención. - Dimensionamiento de un muro de contención. - Muro de contención ligados a edificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ing. Carlos Crespo Villalaz - Mecánica de suelos y cimentaciones, Editorial Limusa, México, 4ta Edición (1976-1980). - ACI-UNI; Cimentaciones de Concreto Armado en Edificaciones.-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1ra Edición 1992. - Ing. Luis Zapata Baglieto, Diseño Estructural en acero, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2da Edición – 1997. - Junta del Acuerdo de Cartagena, Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino, Editorial Carbajal S.A. Colombia, 4ta Edición, 1984.

e) Cursos de estructuras en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la Universidad Nacional Federico Villarreal (FAUA-UNFV), vigente al 2004(cursos de frecuencia anual)

e.1. Estructuras 1

Los contenidos corresponden a la estática y resistencia de materiales. Estos son conocimientos básicos para poder comprender los cursos siguientes. La bibliografía no considera libros de estática y de resistencia de materiales para arquitectos. Falta más precisión en algunos puntos. Con excepción de las armaduras, al parecer se está haciendo énfasis sólo en vigas y se omiten otros elementos estructurales. Ver tabla 2.1.2-e.1.

TABLA 2.1.2-e.1- Sílabo de Estructuras 1, FAUA-UNFV

Objetivo general: Dotar al alumno de los conocimientos necesarios para la viabilidad de los sistemas estructurales y sus consiguientes problemas y proposiciones teóricas de solución.	
Objetivos específicos: conocimiento teórico-práctico de la resistencia, rigidez y estabilidad de una estructura y de sus partes.	
Metodología: Exposiciones, desarrollo de ejercicios y trabajos grupales.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Introducción a la estática. Conceptos generales de Sistemas estructurales. - Fuerza y representación de una fuerza. Momento de una fuerza. - Conceptos generales de sobre idealización de estructuras. - Cálculos de reacciones en vigas. Equilibrio de un sistema de fuerzas. - Armaduras- métodos de los nudos y de las secciones. - Centro de gravedad y Momento de inercia de figuras planas. - Introducción a la resistencia de materiales. - Fuerzas internas. - Esfuerzos y deformaciones. - Vigas. Diagrama de Fza., esfuerzos debidos a flexión y momento flector en vigas. Esfuerzos debido a flexión en vigas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Information design Inc., Notas sobre arquitectura, Editorial Trillas S.A. 1990 - W.G. Mc. Lean, Mecánica técnica, Ediciones Mc Graw-Hill 1969. - S. Timoshenko, Resistencia de materiales, Editorial Espasa-Calpe 1956.

e.2. Estructuras 2

De acuerdo al contenido y a los objetivos del curso, estos no serán de utilidad para el arquitecto. Todo el curso es enfocado con el diseño de elementos estructurales, los cuáles corresponden a los ingenieros civiles. La bibliografía sólo incluye libros para ingeniería. Ver tabla 2.1.2 – e.2.

TABLA 2.1.2-e.2 - Sílabo de Estructuras 1, FAUA-UNFV

Objetivo general: Dotar al alumno de criterios estructurales básicos; el manejo del predimensionamiento; y diseño de los principales elementos estructurales de concreto armado.	
Objetivo específico: Desarrollar conceptos estructurales en albañilería y concreto armado, y realizar el análisis y diseño de elementos estructurales de concreto armado.	
Metodología: Exposiciones, desarrollo de ejercicios y trabajos grupales.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Albañilería: definición y tipos. - Albañilería confinada. Conceptos básicos y materiales. Conceptos y criterios estructurales. Diseño. Aplicaciones. - Concreto armado. Generalidades y teoría - Cargas y Metrados de cargas. - Cimentaciones. Teoría y diseño - Losa aligerada. Teoría y diseño - Vigas. Teoría y diseño - Columnas. Teoría y diseño 	<ul style="list-style-type: none"> - Ing. Flavio Abanto Castillo, Análisis y diseño de edificaciones de albañilería, 1993. - Ing. Angel San Bartolomé, Albañilería Confinada.1992 - Edward G. Nawy, Concreto Reforzado, Prentice- Hall Hispanoamericano-1998 - Antonio Blanco Blasco, Diseño de estructuras de Concreto Armado

e.3. Estructuras 3

El curso está orientado al diseño de estructuras de diferentes materiales. Esta función corresponde a los ingenieros civiles. Toda la bibliografía considerada es para ingenieros civiles. Ver tabla 2.1.2 – e.3.

TABLA 2.1.2-e.3- Sílabo de Estructuras 1, FAUA-UNFV

Objetivo: Dotar al alumno de los conocimientos necesarios para el manejo de los distintos sistemas estructurales del medio, así como la investigación de otros sistemas estructurales.	
Metodología:	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Albañilería. Conceptos generales y tipos de albañilería. Albañilería confinada. Criterios estructurales. Diseño. Aplicaciones. - Concreto armado. Aplicaciones - Estructuras postensadas. Diseño y aplicaciones. - Estructuras de madera. Conceptos. Diseño y aplicaciones. - Estructuras de acero. Conceptos. Diseño y aplicaciones. - Estructuras compuestas. Diseño y aplicaciones. - Sismología. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ing. Angel San Bartolomé, Albañilería Confinada.1992 - Edward G. Nawy, Concreto Reforzado, Prentice- Hall Hispanoamericano-1998 - A.C.I. PUCP C.I.P. Concreto pre-esforzado. - Acuerdo de Cartagena. Manual de diseño para madera del grupo Andino. 1984 - Manual de construcción en acero.1987 - Ambrose. Estructuras compuestas. 1997

f) Cursos de estructuras en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Femenina del Sagrado Corazón (FAU-UNIFE), vigente al año 1998.

Sólo se encontró el sílabo del curso de Orientación Estructural 3. Ver tabla 2.1.2-f.1

f.1.Orientación Estructural 3

Existen contenidos adecuados, tales como: los criterios de estructuración y predimensionamiento de los elementos estructurales. También cuenta con temas referidos al análisis sísmico y las regulaciones sismorresistentes. Sin embargo, no es útil para la formación de los arquitectos el método de Cross. La bibliografía no tiene libros orientados a los conocimientos de estructuras para los arquitectos. Ver tabla 2.1.2-f.1.

TABLA 2.1.2-f.1- Sílabo de Orientación Estructural 3, FAU-UNIFE

Objetivo: Proporcionar a la estudiante los conocimientos necesarios para realizar una adecuada estructuración en el desarrollo de un proyecto arquitectónico.	
Metodología: Clases teórico-prácticas y evaluaciones constantes.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Nociones estructurales fundamentales. Clasificación de las estructuras. Idealización y terminología de los elementos estructurales. Criterios generales de estructuración. - Estructura básica de muros portantes. Estructuración de un proyecto de vivienda unifamiliar. - Cargas que actúan sobre una estructura. - Criterios básicos de predimensionamiento. - Estructuración de un edificio. Criterios básicos - Introducción al análisis estructural. Diagrama de fuerzas cortantes y momentos de flexión con vigas continuas. - Análisis de pórticos por el método de CROSS. - Introducción al análisis sísmico. Nociones de sismología. Estudio de la acción en las estructuras. - Determinación de las fuerzas sísmicas. Revisión de las normas de diseño sismo-resistente del Reglamento Nacional de Construcción. - Cálculo de pórticos de varios pisos sometidos a fuerzas horizontales. - Estructuración de las edificaciones para resistir sismos. Muros portantes. Estructuras aporticadas. Placas de refuerzo. Simetría en la distribución de masas y rigideces. - Juntas sísmicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conceptos estructurales. Gallegos - Sistemas de estructuración. Engel - Estructuras. Parker - Métodos de Cross. Charon. - Construcción antisísmica. Oshiro.

g) Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la Universidad Nacional de Ingeniería (FAUA-UNI), vigentes al 2003-1

Los sílabos mostrados están en proceso de actualización, según información de la ingeniera Raquel B. de Machicao. Ver tabla 2.1.2-g.1.

g.1. Estructuras 1

Los contenidos de estática y de resistencia de materiales, son completos. La bibliografía es para ingeniería civil. Ver tabla 2.1.2-g.1.

TABLA 2.1.2-g.1- Sílabo de Estructuras 1, FAUA-UNI

<p>Objetivo general: Estudiar el comportamiento de elementos estructurales que son utilizados en edificación.</p> <p>Objetivos específicos: Entender el comportamiento de las fuerzas o cargas sobre elementos estructurales. Comprender el comportamiento elástico de los materiales de construcción. Interpretar y analizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector. Entender los problemas de flexo compresión en columnas y elementos esbeltos.</p>	
<p>Metodología: Método inductivo –deductivo y de laboratorio</p>	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Cargas Estáticas, Constantes o Permanentes. - Idealización de Cargas, Representación. - Esfuerzos y Deformaciones. Ley de Hooke. - Fuerza cortante para Carga Puntual, Carga Concentrada, otros Estados de Carga. - Momento Flector para diferentes Estados de Carga - Esfuerzos y Deformaciones en Vigas - Diseño de Vigas por Flexión - Diseño de Vigas por Corte. - Diseño de Vigas por Deflexiones. - Estudio de la Flexo-Compresión. Ley de Euler. - Diseño de Columnas de Acero. - Diseño en Madera para Columnas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mecánica y resistencia de materiales. Harry Parker Edit. Limusa 1996 - Mecánica de Materiales. Beer y Johnston. Ed. McGraw Hill. 1996 - Análisis de Estructuras Mc Cormac Elling Ed. Alfa Omega 1996

g.2. Estructuras 2

Los objetivos específicos, contenidos y bibliografía, denotan enseñanza de temas propios de la ingeniería civil. Ver tabla 2.1.2-g.2.

TABLA 2.1.2-g.2- Sílabo de Estructuras 2, FAUA-UNI

<p>Objetivo general: Dotar al alumno de criterios estructurales básicos y lograr que maneje con facilidad el Predimensionamiento y Diseño en general de los principales elementos estructurales de Concreto Armado.</p> <p>Objetivo específico: Diseñar elementos de Concreto Armado para Edificaciones. Esbozar Cimentaciones de acuerdo a los diferentes tipos de suelos. Adquirir el criterio estructural para ser aplicado en el Diseño Arquitectónico</p>	
<p>Metodología: Método inductivo –deductivo y de laboratorio</p>	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Albañilería, definición, tipos. - Conceptos Básicos de Albañilería Confinada, criterios Estructurales. - Teoría del Concreto Armado, Metrado de Cargas, generalidades. - Metrado de Cargas. - Cimentaciones Predimensionamiento - Cimentaciones de Concreto Armado. - Diseño de Losas Aligeradas, Aplicaciones. - Vigas, Tipos, Predimensionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería. Edit UNMSM 1995. Flavio Abanto Castillo. - Concreto Armado Prentice Hall. Hispano Americana 1998. Edward Nawy. - Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado. CIP 1996. Ing. Antonio Blanco Blasco. - Cimentaciones de Concreto Armado, Aplicaciones en Edificaciones. Ed. UNI 1992.

g.3. Estructuras 3

Los contenidos propuestos son adecuados, porque permitirán generar conciencia de los efectos sísmicos en las estructuras. Ver tabla 2.1.2-g.3.

TABLA 2.1.2-g.3- Sílabo de Estructuras 3, FAUA-UNI

Objetivo general: Aprender a analizar y diseñar la estructura bajo la acción de la fuerza sísmica.	
Objetivo específico: Calcular los períodos, modos de vibración y fuerzas cortantes basales.	
Metodología: Técnica Expositiva, diálogo, experimental, tutoría.	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Sismología: Sismo, Hipocentro, Epicentro, Ondas de cuerpo. Reflexión y Refracción de ondas. Origen de los sismos. - Tsunamis, protección de obras civiles ante tsunamis. Sismología instrumental: sismoscopios y sismógrafos. Tipos y partes de un sismógrafo. - Magnitud e Intensidad de un sismo. Desastres naturales. - Vibración de un sistema de un grado de libertad: libre. Vibración de un sistema de un grado de libertad: amortiguado. - Vibración de un sistema de un grado de libertad: forzada, armónica, impulsos y arbitraria. - Espectros. Reducción de un sistema múltiple a uno de un grado de libertad. - Vibración de sistemas de más de un grado de libertad. Modos de vibración. - Configuración y predimensionamiento de Estructuras. - Cálculo de rigideces de los pórticos. - Cálculo de frecuencias y modos de vibración de un edificio aporticado. - Determinación de la fuerza basal. Distribución en altura. - Distribución de la fuerza cortante en pórticos. - Corrección del cortante por torsión en planta. - Diagramas de Momento Flector, Fuerza Cortante y Carga Axial. - Análisis Estático usando el Reglamento Nacional de Construcciones E-030. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aurel A. Beles, Mihail Ifrim y García Yaque, "Elementos de Ingeniería Antisísmica". Ed. Omega, España, 1975 - Gabriel Estrada Uribe, "Estructuras Antisísmicas". Ed. CECSA, México, 1975 - Minoru Wakabayashi, "Diseño de Estructuras Sismorresistentes". Ed. McGraw Hill, México, 1988 - Enrique Bazán Zurita, Roberto Meli, "Manual de Diseño Sísmica de Edificios". Ed. Limusa, México, 1985 - Reglamento Nacional de Construcciones

g.4. Estructuras 4

El contenido se refiere a regulaciones técnicas, pero debería enfocarse de acuerdo a los requerimientos arquitectónicos. Ver tabla 2.1.2-g.4.

TABLA 2.1.2-g.4- Sílabo de Estructuras 4, FAUA-UNI

Objetivo general: Estudiar e interpretar normas técnicas en Diseño estructural y construcciones.	
Objetivo específico: conocimiento de las normas estructurales.	
Metodología: Método inductivo –deductivo y de laboratorio	
Contenidos	Bibliografía
<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de la Normalización en el Perú - Procedimiento para Elaborar Normas Técnicas nacionales - Organismo Responsable para Elaborar Normas para la Construcción en el Perú. Oficina de Normalización del Servicio Nacional para la Industria de la Construcción (SENCICO). - Diseño de una vivienda en madera. Diseño de cimentaciones para viviendas en madera. Diseño de paneles. Diseño de tímpanos y coberturas - Normas de Suelos, Estudio, Interpretación, Aplicación. - Concreto Ciclópeo en Edificaciones. - Normalización. - Estudio de la Normalización en Concreto Armado - Requisitos de Seguridad y Previsión de Siniestros - Diseño Sismo Resistente 	<ul style="list-style-type: none"> - Reglamento Nacional de Construcción - Boletín SENCICO para la elaboración de normas técnicas. - Manual de diseño para maderas del grupo andino PADT-REFORT - Norma Nacional. Estudio de Suelos SENCICO. - Normas ASTM D423-39 D424-39 ASTM D-854-58 - Requisitos de Seguridad. Título V. CAPIT. 1-VI R.N.C.

2.2 ENTREVISTAS CON DOCENTES

Se estimó importante contar con algunas opiniones, sobre los temas de esta tesis, a través de una serie de entrevistas a docentes de algunas Facultades de Arquitectura, las que se resumen a continuación:

2.2.1 Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Pontificia Universidad Católica del Perú

- **Arquitecto Paulo Dam**

Es docente de taller de arquitectura, manifestó que existe buen nivel de preparación de los alumnos en los cursos de estructuras, con respecto a otra facultad de arquitectura, donde enseñó anteriormente. Sin embargo, observó que los alumnos integran las estructuras al espacio arquitectónico, con algunas limitaciones que los restringe en su creatividad. Dijo que esta limitación, podría superarse. Para dicho fin sugiere que las maquetas estructurales experimentadas en clases, sean elaboradas con escalas de 1:50 y de 1:25, expresando el material utilizado.

Con respecto al uso del laboratorio informático de los cursos de Estructuras 1 y 2, en la experimentación de modelos virtuales, manifestó que es una buena herramienta didáctica; pero previamente debe cuidarse de que los alumnos tengan los conceptos claros con respecto al comportamiento de las estructuras.

Finalmente, manifestó que los cursos de estructuras que estudió cuando fue alumno, no le han servido en la aplicación de su profesión. Estos fueron planteados en forma muy teórica y con muchos contenidos que no le han servido en su profesión (métodos numéricos de análisis de estructuras, diseño simplificado de elementos de concreto armado). Apreció que la presente tesis es un buen aporte para los conocimientos del alumno de arquitectura en los aspectos sísmicos y sus efectos en las edificaciones.

- **Ingeniero Antonio Blanco Blasco**

Es docente del curso de Seminario de Estructuras, manifestó estar de acuerdo con los contenidos indicados en esta tesis y recaló su importancia en la formación del arquitecto. Asimismo, manifestó los cambios sustanciales de estos últimos años en el análisis y diseño estructural sismorresistentes; y de la importancia de que estos nuevos conocimientos deben ser entendidos y practicados por los arquitectos.

Su preocupación por la enseñanza de los cursos de Estructuras para los alumnos de arquitectura, data desde el año 1988, cuando inició el dictado de un curso de “Seminario de Estructuras” en la Universidad Nacional de Ingeniería. Este nuevo curso fue concebido, de manera diferente a los cursos existentes de estructuras que se dictaban en ese entonces en la UNI. El nuevo enfoque era de carácter conceptual y de aplicación directa a los proyectos arquitectónicos de concreto armado y de albañilería. Comprendía aspectos de configuración, predimensionamiento y comportamiento estructural.

Posteriormente, el año 1991, este curso fue plasmado en el libro: “Conceptos Estructurales Aplicados a Edificaciones de Concreto Armado y de Albañilería”, el cuál será comentado mas adelante. Por otro lado, manifestó que actualmente, viene dictando el curso electivo de “Seminario de Estructuras”, en la FAU-PUCP, con un enfoque similar al descrito anteriormente. Reconoció el buen nivel de preparación de los alumnos de arquitectura de la PUCP, quienes ya aprobaron los cursos obligatorios de estructuras.

- **Ingeniero Cesar Huapaya**

Es docente y coordinador de los cursos de estructuras. Su participación ha constituido un gran aporte al desarrollo de esta tesis, compartiendo constantemente sus experiencias en la aplicación del modelo de la enseñanza implementado en la FAU-PUCP. Manifestó que hasta ahora se ha logrado el 80% del objetivo principal del modelo de enseñanza: “que el alumno de arquitectura integre los conceptos de estructuras en el proceso de diseño arquitectónico”.

2.2.2 Facultad de arquitectura y urbanismo de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (FAU-UPC)

- **Arquitecto Luis Villacorta**

Es docente del área de historia y restauración, hizo énfasis en la importancia de saber como se construye, para poder lograr diseños arquitectónicos viables. Manifestó que en la UPC, se dictan los cursos de construcciones con la ayuda de talleres de construcción de módulos de diferentes materiales. Mostró cómo tienen instalaciones para estos talleres y cómo es que todos los alumnos participan en la construcción de los módulos, conjuntamente con docentes arquitectos. No le fue posible dar alcances acerca de cómo son llevados los cursos de Estructuras.

2.2.3 Facultad de arquitectura de la Universidad Nacional del Centro del Perú (FARQ-UNCP)

- **Arquitecto Juan José Casas Bartolomé**

Es docente de Taller de diseño Arquitectónico, manifiesta que sus expectativas con respecto a los cursos de estructuras, es que éstos sean aplicados en cada nivel de enseñanza de los “Talleres de Diseño”. Le gustaría un enfoque práctico con criterios de configuración y predimensionamiento. El está de acuerdo con los contenidos incluidos en la propuesta de esta tesis.

- **Arquitecto César Martínez Vítor**

Es docente de taller de diseño arquitectónico, manifiesta que los conceptos de estructuras en la enseñanza de la arquitectura deberían ser ampliados y actualizados. Considera que además de los conocimientos de estructuras de albañilería y concreto, deberían enseñarse otras tecnologías, tales como madera, acero, laminares, pretensado.

También manifestó, que es necesario implementar conocimientos referidos a edificaciones sismorresistentes y dar alcances referentes a las innovaciones de sistemas asísmicos (aisladores sísmicos, disipadores de energía). Sugiere una metodología de enseñanza, basada en la práctica y modelos reales.

Arquitecto Oswaldo Meza, docente de taller de diseño arquitectónico, considera que los cursos de estructuras contribuyen a la organización formal de los espacios arquitectónicos. Por tal motivo, considera que la enseñanza debe ser eminentemente práctica.

2.2.4 Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la Universidad Nacional Federico Villareal (FAUA-UNFV)

- **Arquitecto Marcos Rider Belleza**

Es docente de taller de diseño arquitectónico, manifestó que en sus talleres, siempre busca la integración de los conceptos estructurales sismorresistentes al proceso de diseño arquitectónico, mediante la utilización de la configuración arquitectónica-estructural. Dijo que para él es muy importante, lograr configuraciones con características simétricas, regulares y proporcionales.

2.2.5 Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes de la Universidad Nacional de Ingeniería (FAUA-UNI)

- **Arquitecto Orlando Sánchez Chuquimantari**

Es docente de taller de diseño urbano, manifestó que es necesario ampliar en los alumnos los conocimientos de los sistemas estructurales relacionados a la utilización de los diferentes materiales de construcción. Opinó, que los alumnos deben conocer el tema de los sismos ligado a su efecto en las estructuras. Dijo que es necesario que en todo momento los temas estructurales deben ser integrados al diseño arquitectónico acompañados del equipamiento y tecnologías constructivas.

Reconoció que de los cursos de estructuras llevados en su época de estudiante en la FAUA-UNI, le fue de mayor utilidad el curso de Seminario de Estructuras dictado por el Ingeniero Antonio Blanco, debido a su carácter aplicativo en edificaciones sismorresistentes de concreto armado y albañilería.

- **Ingeniera Raquel Barrionuevo de Machicao**

Es docente del curso de Construcciones I, manifestó que utiliza talleres de construcción de módulos elaborados en escalas 1:5 a 1:1. Mostró talleres con la utilización de materiales tales como adobe, ladrillo, concreto, caña y sistemas de techados con viguetas y domos de concreto simple. Manifestó, que es muy importante resaltar el comportamiento estructural del material.

Con respecto al dictado de los cursos de Estructuras, señaló la necesidad de mejorar la enseñanza, con el objetivo de que los alumnos puedan integrar los conceptos estructurales a sus diseños arquitectónicos.

2.3. LA EXPERIENCIA DOCENTE DE LA AUTORA

En esta sección, realizo una breve descripción de mi experiencia como docente, desde 1984 hasta la actualidad, en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Asimismo explico cómo se fue desarrollando la enseñanza de los cursos de estructuras, a mi cargo.

Referente a las asignaturas a mi cargo, encontré que el plan de estudios tenía como modelo el de la UNI. Los contenidos más saltantes estaban relacionados a: temas de Estática y de Resistencia de Materiales; análisis de estructuras isostáticas e indeterminadas con el método de Cross; diseños simplificados de concreto armado, de acero y de madera. También se les enseñaba criterios de estructuración sismorresistente, pero como un aspecto aislado de sus proyectos. Estos conocimientos eran impartidos, con la metodología utilizada para los ingenieros, en forma menos profunda que para ellos. El resultado era que los alumnos, no sabían cómo aplicar estos conceptos en sus talleres de diseño arquitectónico. Y peor aún, existía una confusión en su perfil de preparación como arquitectos. Persistían en las estructuraciones de pórticos con columnas de 0.25 x 0.25m, con vigas peraltadas en una dirección y vigas chatas en la otra dirección. Utilizaban en general una trama estructural típica modulada con espacios entre pórticos de 4 a 5m.

Ante las circunstancias mencionadas, decidí cambiar la modalidad del dictado de mis cursos, con una metodología conceptual, en forma cualitativa. Suprimí de los sílabos la parte de diseño de elementos estructurales, los análisis de estructuras hiperestáticas (el método de Cross). Los nuevos contenidos propuestos fueron: las cargas y sus tipos, metrados de cargas de gravedad, los sismos y sus efectos en el comportamiento de las estructuras, criterios de estructuración y dimensionamiento para estructuras de concreto armado y de albañilería. Me basé en los enfoques y contenidos de Blanco (1991 b); complementando los conceptos con Gallegos (1987 y 1990). Posteriormente utilicé la bibliografía de San Bartolomé (1998 a y b).

En la metodología utilizada para la enseñanza, traté de integrar los criterios de estructuración y dimensionamiento a los proyectos de arquitectura. Para dicho fin contaba con el apoyo de un jefe de prácticas arquitecto.

La metodología consistía en lo siguiente: 1) revisión de proyectos ya ejecutados, para verificar su estructuración y dimensionamiento; si no estaban correctos, los alumnos, debían elaborar alternativas para corregirlos; 2) ejecución de proyectos arquitectónicos sencillos, con la utilización de criterios de estructuración y predimensionamiento. Los alumnos debían presentar un plano de arquitectura y uno de estructuración, con la ubicación de los elementos resistentes en el plano vertical, con los dimensionamientos y direcciones de armado de las losas utilizadas.

Los resultados fueron mejores, ya que los alumnos recurrían para hacerme consultas referentes a sus talleres arquitectónicos. Los tesisistas generalmente, me solicitaban asesorarles en la estructuración y dimensionamiento de sus proyectos. Se generó la costumbre de presentar un plano de estructuración en las sustentaciones de tesis.

Sin embargo, los proyectos presentados por los arquitectos egresados a las municipalidades de Huancayo para solicitar Licencia de Construcción, aún adolecían de criterios de estructuración sismorresistente. Este problema compete tanto a los arquitectos como a los ingenieros civiles. Sin embargo, en Huancayo, ya se construían algunas edificaciones importantes con criterios sismorresistentes, tales como: el hospital de ESSALUD, construido en la década de los 80; los C.E. INFES, a partir de 1997; pabellones en la ciudad universitaria de la UNCP, construidos con criterios sismorresistentes desde la segunda mitad de la década de los 80; etc.

El año 2002, los alumnos protestaban, pidiendo conocimientos actualizados en todas las áreas. En el área de estructuras, solicitaban laboratorios, utilizar el programa SAP (porque les permitía percibir el comportamiento de la estructura) y replantear la currícula. Manifestaban que las clases eran muy teóricas y que era necesario entender mejor el comportamiento de las estructuras. También pedían conocimientos actualizados y mayores alternativas constructivas, tales como: acero, madera, laminados y pretensado. Atendiendo este reclamo, decidí estudiar la maestría de Ingeniería Civil en la PUCP.

La maestría de Ingeniería Civil en la PUCP, constituyó para mí una gran oportunidad de poder actualizar y ampliar mis conocimientos. Y parte de estos, se han plasmados en esta tesis.

La otra oportunidad que me dio la PUCP, fue la facilidad para asistir a las clases de Estructuras, dictadas por el ingeniero Cesar Huapaya, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Asistí a sus clases, durante dos ciclos consecutivos (2004.2 y 2005.1). Ello me sirvió para poder captar el modelo de enseñanza de estructuras para los alumnos de arquitectura. Observé que los conocimientos impartidos a los alumnos son más profundos, con una adecuada selección de contenidos que interesan en su formación.

Uno de los grandes objetivos es desarrollar la intuición, en base a los conocimientos teóricos y a la experimentación. El programa SAP es una herramienta importante en la experimentación del comportamiento de las estructuras indeterminadas.

La Metodología empleada en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la PUCP, que será explicada más adelante, está basada en el modelo de enseñanza de Stephen Duff. Mi asistencia a estas clases me ha dado mayores luces para poder desarrollar esta tesis y poder realizar mi propuesta.

3. REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA ORIENTADA A LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS

Existen algunas publicaciones referidas a la enseñanza de estructuras para estudiantes de arquitectura. En ellas están plasmadas la preocupación mundial de que el arquitecto pueda entender claramente los comportamientos de las estructuras.

La revisión se limita a los textos, ponencias y artículos relacionados a la enseñanza de estructuras para los alumnos de arquitectura. Por tanto el capítulo se divide en las siguientes secciones: 1) Textos y 2) Ponencias y artículos.

3.1 Textos

a) Arnold Ch. y Reitherman R. 1987. “Configuración y Diseño Sísmico de Edificios”. Editorial Limusa, México.

En este libro se plasma la preocupación de los autores, respecto a la formación de los arquitectos en la configuración sismorresistente de las edificaciones en zonas sísmicas.

En la introducción, presentan una reflexión sobre la responsabilidad del arquitecto en la configuración de los edificios y su interrelación con el ingeniero civil. Resaltan la importancia que debe tener la educación del arquitecto en los aspectos sísmicos, con el fin de concebir edificios sismorresistentes trabajando conjuntamente con el Ingeniero.

El contenido de este libro, está enfocado en forma conceptual, con pocas herramientas matemáticas. Comprende los siguientes temas: aspectos del movimiento del suelo; la respuesta del edificio ante los movimientos sísmicos del suelo, asociado a sus propiedades dinámicas; varios capítulos relacionados a la influencia de la configuración del edificio en su comportamiento sísmico, con ejemplos reales de la respuesta de edificios a sismos pasados; y la aplicación de la configuración sismorresistente en la concepción arquitectónica.

Es un libro de mucha utilidad para los alumnos de arquitectura, ya que está escrito en el lenguaje de los arquitectos y los tres últimos capítulos son de aplicación práctica al desarrollo de los proyectos arquitectónicos.

b) Blanco A. 1991b. “Conceptos Estructurales aplicados a edificaciones de Concreto Armado y de Albañilería”. Lima, Perú.

Este es uno de los primeros libros peruanos que pretende brindar a los estudiantes de arquitectura, conceptos de configuración sismorresistente para estructuras de concreto armado y albañilería. Comienza con una breve descripción de las cargas y sus tipos; continúa con una explicación amplia de los criterios de estructuración y predimensionamiento de los elementos que conforman las estructuras de concreto armado y de albañilería.

Finalmente, presenta y describe varios proyectos reales, en cuanto a las soluciones estructurales, integradas a los respectivos proyectos de arquitectura.

Este libro da herramientas claras y precisas para ser utilizadas por los arquitectos en la configuración de los proyectos arquitectónicos de edificación. Es interesante la presentación de proyectos reales en los cuáles se busca integrar la estructura al espacio arquitectónico.

c) Gordon J. 1999. “Estructuras o por qué las cosas no se caen”. Celeste Ediciones. Madrid, España.

Este libro está dedicado especialmente a los arquitectos, y comienza con una reflexión de lo que son las estructuras. Se hace una relación de las estructuras con todo aquello que existe en la naturaleza. Comprende temas presentados de manera simple sobre la ciencia de la elasticidad, tensión y deformación, energía de deformación, estructuras sometidas a diferentes esfuerzos tales como tracción, compresión, flexión. Todos estos temas, son planteados en relación con la naturaleza; concluye haciendo un análisis sobre la filosofía del proyecto en función de la forma, el peso y el costo; y una reflexión final sobre la eficacia y estética de las estructuras.

d) Millais M. 1997. “Estructuras de Edificación”. Celeste Ediciones, Madrid

Los conocimientos dados en este libro son de carácter conceptual. El comportamiento estructural es ilustrado a través de gráficos que permiten visualizar la transmisión y generación de fuerzas, en los elementos que interactúan en la estructura.

Los temas tratados son referidos a la Resistencia de Materiales, adecuadamente seleccionados con conocimientos básicos para comprender el comportamiento de las estructuras ante los diferentes tipos de cargas.

Comienza con el concepto de lo que son las estructuras, las cargas y su recorrido en las estructuras. Continúa con conceptos referidos a los diferentes tipos de esfuerzos generados en la estructura, los materiales estructurales y finalmente, llega al análisis completo del comportamiento estructural de una edificación sencilla de un solo nivel sometida a diferentes tipos de cargas.

Concluye con el análisis conceptual de seis estructuras reales, muy conocidas en el mundo y posteriormente con una metodología conceptual en el desarrollo del proyecto de una estructura.

Es un libro útil para complementar el desarrollo de la intuición estructural en la enseñanza de los alumnos de arquitectura. También puede ser una buena guía para la preparación de material didáctico.

e) Moisset D. 1992. “Intuición y razonamiento en el diseño”. Ediciones Escala. Bogota, Colombia.

Este libro está dedicado a los arquitectos con una formación básica de estática y resistencia de materiales, debido a que su enfoque es conceptual. Contiene temas relacionados a la intuición estructural, el equilibrio, sollicitación y resistencia; rigidez; estabilidad del equilibrio; pandeo; eficiencia, seguridad. El autor de este libro es un arquitecto, que por la misma razón trata de transmitir sus conocimientos a sus colegas en forma clara y precisa.

El libro puede servir de fuente de inspiración para elaborar modelos estructurales que permitan a los alumnos experimentar los comportamientos estructurales.

f) Moore F. 2000. “Comprensión de las Estructuras de Arquitectura” McGraw – Hill, México

El enfoque y contenidos son similares al libro de Millais. Enfatiza la importancia de integrar la estructura y el diseño arquitectónico. Aún cuando el libro está enfocado en forma conceptual, el autor reconoce, las limitaciones del enfoque cualitativo porque estos conocimientos deben ser aprendidos con las herramientas matemáticas. Trata además temas de estructuras tensionadas, arcos, bóvedas, sistemas de cascarones.

Al igual que el libro de Millais, contribuye en la complementación del desarrollo de la intuición estructural y en la preparación de material didáctico. También da alternativas tecnológicas diferentes a las usuales.

g) Onouye B. y Kane K. 2002. “Statics and Strength of materials for architecture and building construction”. Editorial Prentice Hall. New Jersey, United States.

Es utilizado actualmente en la enseñanza de los primeros cursos de estructuras de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Es un libro que está orientado a la formación de estudiantes de arquitectura.

Sus contenidos están relacionados a temas de estática y resistencia de materiales necesarios en la formación de alumnos de arquitectura. Tiene como objetivo desarrollar la intuición estructural en base a las demostraciones matemáticas planteadas en cálculos prácticos y accesibles.

Los conocimientos están orientados a integrar las herramientas estructurales a la arquitectura a través del planteamiento de casos reales que presentan el comportamiento de las estructuras de los edificios.

Sus contenidos inician con una reflexión sobre las estructuras con lo que existe en la naturaleza, su función de soportar cargas, sus requerimientos funcionales básicos y las estructuras consideradas en el campo de la arquitectura.

Tiene los siguientes temas: estática; análisis de estructurales isostáticas; camino de cargas; resistencia de materiales; propiedades de la sección transversal de los miembros estructurales; flexión y corte en vigas simples; esfuerzos de flexión y corte en vigas; análisis y diseño de columnas; conexiones estructurales. Concluye con una reflexión sobre las relaciones entre la arquitectura, estructura y construcción.

h) Oshiro F. 1979. “Libro del Arquitecto”. Editorial Universo S. A. Lima, Perú.

Este es el primer libro que se publicó en nuestro país, con el propósito de llegar en forma accesible, no sólo a los arquitectos sino también a los ingenieros civiles, técnicos, estudiantes y personas dedicadas a la construcción.

Sus contenidos son: Nociones de sismos y mediciones; historia sísmica en el Perú y en otros países del mundo; enfoque de los diseños antisísmicos; la respuesta de la estructura en relación al suelo, ante los sismos.

Este libro es importante porque muestra casos de diferentes fallas estructurales ocasionadas por mala configuración arquitectónica. Asimismo, resalta las construcciones de concreto y albañilería. Se plasma la preocupación del autor por concienciar a todos los profesionales ligados a las edificaciones en los efectos sísmicos.

i) Salvadori M. y Heller R. 1998. “Estructuras para Arquitectos”. Kliczkowski Publisher. Madrid España

Tiene un enfoque conceptual de los conceptos estructurales, los que fueron desarrollados matemáticamente por los autores entre los años 1955 y 1960.

Fue publicado antes de los libros de Moore (2000) y Millais (1997) y contiene un enfoque similar. El propósito de esta obra, según prólogo de Pier Luigi Nervi es: “Tender un puente entre la intuición más o menos conciente acerca de las estructuras (intuición común a todos los seres humanos) y el conocimiento científico acerca de ellas...”

Los temas tratados son: la estructura en la arquitectura; cargas; materiales estructurales; exigencias estructurales; esfuerzos, sistemas estructurales; estructuras laminares. Cabe resaltar la preocupación de los autores en las relaciones entre el arquitecto y el ingeniero; el desarrollo de la intuición; la integración de la estructura al espacio arquitectónico.

Otro aspecto importante que puede ser aplicado a la metodología de la enseñanza de las estructuras, es la recomendación de qué: “El conocimiento cualitativo debe ser a menudo requisito previo del estudio cuantitativo, pues rara vez se despierta el interés en un campo sin ninguna comprensión previa a este”. Propone el uso de la matemática sencilla, para describir el comportamiento de las estructuras.

3.2. ARTÍCULOS Y PONENCIAS

a) Arnold Ch. 1996. “Aspectos Arquitectónicos del Diseño Sismorresistente”. Conferencia Mundial N° 11, de Ingeniería Sísmica. Acapulco, México.

Arnold, resalta la influencia de la arquitectura en el comportamiento sísmico. Manifiesta que el arquitecto debe tener presente el diseño sísmico en los proyectos y enfatiza la necesidad de la participación conjunta del arquitecto e ingeniero en el proyecto de un edificio, desde su inicio. Para esto, recomienda unas condiciones que ambos deben cumplir:

Debe haber un lenguaje común y entendimiento. El arquitecto debe tener algún entendimiento de ingeniería sísmica, en términos tales como: aceleración, amplificación, cortante basal, falla frágil, amortiguamiento. Al mismo tiempo, el arquitecto debe tener un entendimiento general de las características típicas de las estructuras sismorresistentes: muros de corte, resistencia, pórticos resistentes a momento, diafragmas, aisladores. Los nuevos conceptos de comportamiento deben ser entendidos. En cambio, el ingeniero debe entender las funciones y aspiraciones del arquitecto.

Presenta una breve historia de la aparición de un nuevo estilo arquitectónico creado por Le Corbusier en 1929, en el oeste de Europa (zona no sísmica). Se basa en pórticos de acero y de concreto, se caracteriza por el empleo de: columnas esbeltas, espacios muy grandes, voladizos, asimetría, carencia de redundancia, plantas libres, envidriados continuos (muros cortina), fachadas libres con pocos elementos no estructurales.

Este nuevo estilo, fue copiado por muchos países; lo cuál trajo serios problemas en las regiones sísmicas. Al respecto Arnold dice: “Esta arquitectura de los años 50 a 70, nos ha dejado con un legajo de pobres configuraciones sísmicas, lo que representa un serio problema en la reducción de la amenaza sísmica de nuestras ciudades. Esto aún no se ha superado, pues los arquitectos aún diseñan edificios irregulares y demandan que los ingenieros los hagan seguros sin afectar la arquitectura”.

Concluye, invocando hacia una concepción arquitectónica de edificios simples, económicos, funcionales y con óptimos diseños sísmicos.

Este documento es muy importante, porque hace un diagnóstico realista del problema mundial que existe en los países sísmicos, con respecto a la gran responsabilidad de los arquitectos en las configuraciones de los edificios.

b) Charleson A. y Taylor M. 2004. “Exploraciones en la Arquitectura Sísmica”. Conferencia Mundial N° 13, de Ingeniería Sísmica. Vancouver, Canadá.

Este documento describe y revisa los estudios iniciados por ocho estudiantes del cuarto año de la escuela de arquitectura de la Universidad de Victoria en Wellington. El objetivo fue la exploración de temas de arquitectura sísmica.

Después de una breve investigación bibliográfica, los estudiantes identificaron los fenómenos relacionados a los sismos. Con ello contribuirían a implementar las bases de una arquitectura sísmica. Para el logro de su objetivo, los estudiantes desarrollaron dos proyectos: una biblioteca y un edificio de oficinas de varios pisos.

Los estudiantes llegaron a explorar los siguientes conceptos: 1) movimientos relativos entre edificios; 2) ondas sísmicas; 3) diferencias entre cargas de gravedad y sismo; 4) un sismómetro; 4) Estructuras sismorresistentes; 5) daños sísmicos en los edificios; 6) choque de edificios adyacentes.

Esta ponencia nos lleva a reflexionar sobre la preocupación mundial que existe en los países sísmicos para mejorar la enseñanza de los arquitectos en el logro de configuraciones sismorresistentes en los edificios.

c) Black G. y Duff S. 1994. “Modelo para la Enseñanza de Estructuras: Análisis de los elementos finitos en la Educación de Arquitectura”. Journal of Architectural Education (página 38-55) Universidad de Berkeley, California.

En este documento, se explica un interesante método de enseñanza para los alumnos de arquitectura, a través de la utilización de herramientas didácticas virtuales, basadas en programas computacionales de análisis estructural empleando elementos finitos. Según el autor, estos programas tales como el SAP o el ETABS, constituyen herramientas “didácticas” de uso interactivo.

Su metodología se enfoca en la enseñanza solamente de los conocimientos requeridos por los alumnos de arquitectura, descartando los temas que corresponden netamente a la ingeniería civil. Dichos conocimientos deben ser impartidos en un nivel profundo. Se debe buscar en todo momento, integrar el aprendizaje de las estructuras en la arquitectura y el desarrollo de la intuición estructural basado en la teoría y en la experimentación.

El modelo de enseñanza, planteado en este documento será explicado con más detalles en el capítulo 4.

d) Guevara L. y Paparoni M. 1996. “Tratamiento de los Primeros Pisos Blandos en las Ordenanzas Municipales de un Sector Peligroso en Caracas”. Conferencia Mundial N° 11, de Ingeniería Sísmica. Acapulco, México.

En este documento, se da alternativas para la adecuación de las ordenanzas municipales de edificios con pisos blandos en el primer nivel, en una zona de peligro sísmico en Caracas. Se trata del Distrito de Sucre – Estado de Miranda, donde las Ordenanzas Municipales promueven el uso de edificios con pisos blandos. Las recomendaciones arquitectónicas y estructurales dadas por los autores, permiten mantener las ventajas estéticas y funcionales de los edificios con espacios abiertos en el primer piso. A la vez, permiten dotar a la estructura de adecuada resistencia y rigidez lateral en zonas que no afecten su arquitectura.

Cuando se trata de tener espacios abiertos, recomiendan cualquiera de estas soluciones: usar la resistencia y rigidez completa de los muros en los núcleos de ascensores y escaleras; o usar diagonales en algunos paños de los pórticos del primer piso. Cuando se trata de un determinado estilo arquitectónico en la fachada, recomiendan optar por elementos rígidos sólo en la zona interior del edificio.

Este documento es importante porque expresa el trabajo conjunto de un arquitecto y de un ingeniero en la implementación y adecuación de las ordenanzas municipales en una zona de alto peligro sísmico. Es importante observar cómo se pretende integrar las estructuras a la arquitectura requerida.

e) Giuliani H., Rodríguez V., Yacante M., Campora A. y Giuliani H. L. “Arquitectura Sismorresistente en Edificios” Conferencia Mundial N° 11, de Ingeniería Sísmica. Acapulco, México.

Esta ponencia es importante, porque promueve el desarrollo del diseño arquitectónico de los edificios con una adecuada configuración sismorresistente. El objetivo que se persigue, es compatibilizar el diseño arquitectónico-estructural.

Se refieren a una “Arquitectura Sismorresistente”, como una arquitectura comprometida con la necesidad de optimizar el diseño y el planeamiento de ciudades en zonas de alto riesgo sísmico. En resumen, la arquitectura sismorresistente, representa el rol de la arquitectura en la implementación de una solución global a los problemas sísmicos, desde los siguientes puntos de vista: 1) emergencia sísmica; 2) diseño urbano para zonas sísmicas; 3) arquitectura sismorresistente en los edificios; 4) representación estética o morfológica de la arquitectura sismorresistente.

Presenta los lineamientos que se deben seguir para ajustar la forma final de la arquitectura del edificio, para su adecuado comportamiento sismorresistente. Estos lineamientos están basados en evitar pisos flexibles, choque de edificios; torsión sísmica; pseudo resonancia; cambios de rigidez en planta y elevación; concentración de pesos; columnas cortas; edificios altos; formas en L, T, U.

f) Mezi M., Parducci A., Verducci P. 2004. “Configuraciones Arquitectónicas y Estructurales de Edificios con innovaciones de Sistemas Asísmicos”. Conferencia Mundial N° 13, de Ingeniería Sísmica. Vancouver, Canadá.

Esta ponencia analiza la relación entre la forma arquitectónica, la configuración estructural y el comportamiento sísmico de los edificios equipados con sistemas asísmicos (aisladores, disipadores de energía). Su importancia es que permitirá en el futuro, implementar conocimientos innovadores en el comportamiento sismorresistente de los edificios. En el presente trabajo no se tratará este tema, porque no existen aplicaciones en nuestro medio. Por ahora, interesa generar conciencia en los alumnos de arquitectura, sobre la importancia de considerar los efectos sísmicos en el comportamiento de los edificios.

4. MODELOS PARA LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS EN LAS FACULTADES DE ARQUITECTURA

El objetivo de este capítulo es efectuar una descripción de las metodologías de enseñanza de estructuras a los alumnos de arquitectura. De esta manera el capítulo se divide en: 1) Los modelos de enseñanza clásica y conceptual; y 2) el modelo propuesto por Black-Duff y su aplicación en la FAU-PUCP.

4.1 LOS MODELOS DE ENSEÑANZA CLÁSICO Y CONCEPTUAL

Según lo expuesto en el capítulo 2, se observa la existencia de **un modelo clásico** que se sigue en numerosas facultades de Arquitectura del país, basado en el liderazgo de la Facultad de Arquitectura de la UNI. En este modelo, se incluyen demasiados temas netamente propios de la ingeniería civil, especialmente en el análisis estructural y el diseño del concreto armado y de albañilería. Estos cursos han sido llevados por generaciones de arquitectos que han distraído mucho tiempo en el aprendizaje de temas que casi nunca los aplicaron en sus diseños arquitectónicos.

Con excepción de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se ha podido observar en el acápite 2.1.2, que la mayoría de los sílabos de los cursos de estructuras, tienen una característica común. Todos ellos obedecen a un modelo de enseñanza de tipo cuantitativo. Esto significa que se dan conocimientos de estructuras con una metodología similar a la impartida a los alumnos de ingeniería civil, enfocados superficialmente y en muchos casos, no aplicables a los requerimientos del perfil del arquitecto.

Las entrevistas concedidas por docentes arquitectos confirman este diagnóstico. Todos los entrevistados coinciden en que se debe mejorar la enseñanza de estructuras, con el objetivo principal de integrar las estructuras al proceso de diseño arquitectónico. También coinciden en que se requiere mayor repertorio de soluciones estructurales y mayores conocimientos acerca de los efectos sísmicos en las edificaciones. Reclaman una enseñanza más práctica y menos teórica.

El tema sísmico en la mayoría de las Facultades de Arquitectura, es tratado en forma rápida y superficial, por lo que su aprendizaje es deficiente. Esto ha hecho que aún en zonas de alto peligro sísmico, se repitan los daños sísmicos por malas configuraciones de los edificios.

La bibliografía analizada en el capítulo 3, plasma la preocupación mundial que existe por mejorar la enseñanza de estructuras de los alumnos de arquitectura y más aún en los países sísmicos. Black (1994), dice: “la educación clásica de ingeniería es el fracaso de los estudiantes de arquitectura”.

En conclusión, este modelo de enseñanza no ha contribuido en la adecuada formación de los conocimientos de estructuras de los arquitectos ni en el Perú ni en el mundo.

Una alternativa errónea a superar el problema que se acaba de exponer, ha sido en algunos casos un **modelo de enseñanza conceptual**, es decir aquél que está basado en la enseñanza sin números, enfocada de manera cualitativa. Black (1994) dice al respecto: “Los estudiantes aprenden a hablar conceptos estructurales; pero no pueden aplicarlos”. Un conocimiento puramente conceptual constituye sólo un conjunto de reglas a cumplir. Es necesario demostrar el porqué de las cosas a través de la experimentación y de los fundamentos teóricos.

4.2 EL MODELO DE ENSEÑANZA PROPUESTO POR BLACK - DUFF Y SU APLICACIÓN EN LA FAU-PUCP

Este modelo es diferente a los tratados anteriormente. En éste, Black-Duff (1994), proponen un modelo de enseñanza donde se deben seleccionar, profundizar y experimentar los conocimientos. Para la experimentación, sugieren la utilización de modelos virtuales probados con programas basados en el Método de Análisis Finitos (ejemplo: SAP, ETABS). Los doce principios en los cuales se fundamenta este modelo son:

- 1º) Los conocimientos de temas de ingeniería, deben ajustarse a las necesidades de la arquitectura, y deben impartirse en forma más amplia y profunda de lo que frecuentemente se enseña.
- 2º) La intuición estructural y el criterio de ingeniería debe ser un objetivo concreto.
- 3º) Los cursos de estructuras deben ser enseñados en el contexto de los diseños de arquitectura (en lugar de tratarse por separado).
- 4º) Los estudiantes de arquitectura, necesitan ser entrenados en tres dominios diferentes del conocimiento de la ingeniería, pero interdependientes, los cuáles son: Conocimiento general y aplicación apropiada de los materiales y sistemas estructurales; Conceptos básicos de estática, resistencia de materiales, criterios de cargas, códigos y procesos de diseño; necesidad de experimentar el comportamiento real de las estructuras.
- 5º) Los estudiantes deben entender el comportamiento global de las estructuras, lo cuál les permitirá integrar estructura y espacio.
- 6º) Los alumnos deben estudiar el comportamiento de las estructuras indeterminadas, en las que los cambios de rigidez y geometría alteran la solución de distribución de las cargas.
- 7º) El enfoque para la concepción de las estructuras debería estar basado en la cinemática y la deformación, más que en las fuerzas y el equilibrio.
- 8º) Debe desarrollarse en los estudiantes de arquitectura una actividad mental simultánea para entender el comportamiento local y el comportamiento global.
- 9º) El estudio de los cursos de estructuras debe estar basado la consideración de que las estructuras y el espacio arquitectónico son considerados inseparables.
- 10º) Se debe buscar un diseño integrado de la arquitectura con la estructura. No debe terminarse la concepción arquitectónica para empezar a resolver los problemas de la ingeniería.
- 11º) Los laboratorios deben ser un componente primario de los cursos, alrededor del cuál gira todo lo demás. El principal propósito de las clases teóricas debe ser el soporte y el alimento de las actividades de laboratorio.
- 12º) Los cursos deben aplicarse a casos reales; por ejemplo diseñar un proyecto o ejecutar un análisis completo de un edificio existente.

Es un modelo que resalta la importancia de la construcción y la estructura en el diseño arquitectónico. Está hecho para el temperamento y aptitudes de estudiantes de arquitectura. A decir de los autores: “Los estudiantes típicos de arquitectura, están mucho más cómodos estudiando espacios y composiciones, que estudiando sistemas estructurales y esfuerzos en vigas.

Es común para los estudiantes de arquitectura, temer sus obligaciones técnicas, particularmente, las relacionadas con las matemáticas”. Asimismo, comparan la diferencia que existe entre las actividades de la ingeniería y de la arquitectura: “la ingeniería hace dibujos esquemáticos, escribe ecuaciones, y usa computadoras para el análisis y diseño, mientras que los arquitectos bosquejan, dibujan y construyen modelos”.

Este modelo de enseñanza considera necesario dar énfasis al estudio de las estructuras indeterminadas (la mayoría de las edificaciones), con el empleo de programas de análisis finitos. Afirman que con el método clásico, no han podido ser bien estudiados estos casos debido a la complejidad de los cálculos.

Los autores advierten que la computadora es una herramienta que hace viable la enseñanza, pero su uso requiere que el alumno esté preparado en los conceptos estructurales.

El modelo aplicado en la FAU-PUCP, responde a la metodología propuesta por Black-Duff. Los objetivos principales de esta metodología son: entender las relaciones de la estructura con el material, el espacio y la forma de edificio; integrar los conceptos estructurales al diseño arquitectónico; el desarrollo de la intuición estructural en base a la teoría de la ingeniería; y entender el comportamiento global de las estructuras indeterminadas.

Para la aplicación de este modelo, la FAU-PUCP, ha efectuado una selección de contenidos para ser dictados en tres cursos obligatorios de Estructuras. El contenido y la metodología de estos cursos se describe a continuación.

- **Estructuras 1 (Estática y Resistencia de Materiales)**

En este curso se tratan los conocimientos de estática y resistencia de materiales, en base a lo que significa la estructura en relación al material, a las cargas y a su función arquitectónica.

En todo momento los conocimientos están conectados a una edificación vista en forma global.

En las clases se muestran modelos portátiles, con el fin de que los alumnos puedan percibir el comportamiento de las estructuras a través de las deformaciones y desplazamientos.

Semanalmente, los alumnos tienen laboratorios con la aplicación de programas basados en los métodos de análisis finitos.

- **Estructuras 2 (Sistemas Estructurales y Sismo)**

En este curso continúan los temas de resistencia de materiales, relacionados al análisis de esfuerzos y deformaciones que se producen en diferentes sistemas estructurales (losas, vigas, columnas, armaduras, cables, bóvedas, cúpulas, pórticos, muros de corte, contrafuertes, muros de contención), debido a la acción de cargas con especial énfasis en los sistemas sismorresistentes. Previamente, se analiza las funciones de la estructura y su relación con el espacio. Se estudian las cargas, tipos y caminos seguidos por éstas en la estructura.

Se estudian también los sismos, su naturaleza, la respuesta de la estructura ante los sismos y las recomendaciones para una adecuada configuración arquitectónica como resultado de la filosofía de diseño sismorresistente.

Similarmente al curso de Estructuras 1, en todo momento los conocimientos están relacionados al espacio arquitectónico y a la experimentación con maquetas estructurales. Se refuerzan los conocimientos con prácticas de experimentación virtual en el laboratorio de cómputo. También se utiliza el Laboratorio de Estructuras de ingeniería civil para las simulaciones sísmicas.

- **Estructuras 3 (Configuración y procedimientos de dimensionamientos)**

En este curso se estudian las configuraciones sismorresistentes, las propiedades físicas y mecánicas de diferentes materiales y para cada material procedimientos sencillos de dimensionamiento. Los materiales tratados son: madera, acero, adobe, albañilería y concreto armado. El curso concluye con temas de la mecánica de suelos y su interacción con las edificaciones.

La metodología indica la aplicación de los conocimientos a proyectos reales.

En general, el modelo de enseñanza tiene las siguientes características generales: enseñanza en el contexto del diseño arquitectónico; enlaces frecuentes entre estructura y espacio; enseñanza de la diferencia significativa entre estructura determinada e indeterminada; interrelación entre los cursos de estructuras y los cursos de talleres de diseño arquitectónico; y enseñanza basada en la cinemática y en la deformación, más que las fuerzas y el equilibrio, para permitir a los estudiantes visualizar concretamente el comportamiento real de las estructuras.

5. PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS A ALUMNOS DE ARQUITECTURA

De acuerdo a lo desarrollado en los cuatro primeros capítulos, se considera conveniente hacer una propuesta que tiende a mejorar la enseñanza de estructuras a los alumnos de arquitectura. La propuesta plantea un curso de estructuras cuyos temas ayuden a que los alumnos aprendan a proyectar edificios sismorresistentes en un país de alto riesgo sísmico como el nuestro.

Asimismo, se ha elegido trabajar con edificaciones de concreto armado y de albañilería, por ser los materiales más utilizados en las zonas urbanas de nuestro país, y que son aquellos con los que los arquitectos trabajan mayormente.

Cabe anotar que la propuesta presentada es un punto de partida para seguir trabajando en la implementación de mejorar los cursos de estructuras para los alumnos de arquitectura.

De acuerdo a lo expuesto, este capítulo se divide en dos temas esenciales: 1) la enseñanza de las estructuras basada en el diseño sísmico; y 2) los conocimientos estructurales requeridos por los alumnos de arquitectura.

5.1 LA ENSEÑANZA DE LAS ESTRUCTURAS BASADA EN EL DISEÑO SÍSMICO

En el capítulo 2 se ha podido observar, que los cursos de estructuras dictados en la mayoría de las facultades de arquitectura de las universidades del país, tratan muy superficialmente los temas relacionados a los sismos y sus efectos en las estructuras de los edificios. En unos casos, se tratan los temas de configuración y dimensionamiento, sin que previamente se hayan estudiado temas que se considera básicos. Estos temas fundamentales son: conceptos de sismología, la historia sísmica, los daños más comunes causados por los sismos en las edificaciones, la influencia de los suelos, la vulnerabilidad, las regulaciones y las recomendaciones de configuración y dimensionamiento.

Por otro lado en la revisión bibliográfica, se ha encontrado que existe una gran preocupación en los países sísmicos del mundo, respecto a mejorar el nivel académico de los alumnos de arquitectura en los cursos de estructuras sismorresistentes.

Los fundamentos expuestos llevan a proponer la implementación de un curso obligatorio referido a estos temas, con los contenidos y metodologías desarrolladas en los capítulos comprendidos entre el 6 y el 13.

La elaboración de esta propuesta ha sido llevada a cabo en base a los siguientes lineamientos: 1) selección, secuencia y contenidos; y 2) metodología de enseñanza.

5.1.1 Selección, secuencia y contenidos

La selección, secuencia y contenidos han sido planteados según el perfil del egresado de las facultades de arquitectura del país y por ende de acuerdo a sus requerimientos. Los contenidos del curso propuesto se describen a continuación.

a) Conceptos básicos de sismología

Se tratan conocimientos básicos de lo que son los sismos y su origen con énfasis en los sismos de carácter tectónico. Se dan conocimientos de foco, epicentro, ondas sísmicas, medidas de un sismo. El objetivo es saber cómo y por qué suceden los sismos, conjuntamente con los conocimientos que lleven a la toma de conciencia del peligro que representan.

b) Historia y actividad sísmica

La historia y actividad sísmica del Perú y del mundo permitirá conocer aún más las consecuencias de los sismos. En esta parte, muchas de las consecuencias ocasionadas por los sismos no alcanzarán a ser bien entendidas por los alumnos. El objetivo de esta parte del curso es que el alumno vaya adquiriendo idea de los efectos y daños que los sismos producen en las estructuras.

c) Influencia de las condiciones del suelo en el peligro sísmico

El suelo tiene gran influencia en la intensidad del sismo. Por tanto, siendo la ubicación de la edificación parte importante del desarrollo de un proyecto arquitectónico, es necesario conocer el tipo de suelo en el que se desarrolla un proyecto. Este es un tema de utilidad para los alumnos de arquitectura; porque cualquier esfuerzo que se haga por tener estructuras bien configuradas, será vano si el suelo no es el adecuado para transmitir los movimientos sísmicos.

d) El comportamiento sísmico de las estructuras

En este capítulo se darán nociones esenciales para la comprensión de la naturaleza de los sismos y la respuesta de la estructura ante éstos. También se tratan los diferentes tipos de sistemas estructurales de las edificaciones sismorresistentes y su comportamiento ante los sismos, de acuerdo a la existencia o no de diafragma.

e) Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios

Se tratarán conceptos claros de lo que representan la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo sísmico. En este capítulo se profundizará sobre las causas de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, como por ejemplo, las columnas cortas, los pisos blandos, las irregularidades que producen torsión, etc.

f) Regulaciones sismorresistentes a aplicar en los proyectos de arquitectura

Se han seleccionado los artículos de la Norma de Diseño Sismorresistente que pueden servir a los requerimientos arquitectónicos. El objetivo es evaluar la fuerza sísmica en función de los parámetros sísmicos.

g) Las edificaciones de concreto armado y de albañilería

En este capítulo se describirán los materiales de concreto armado y de albañilería y los elementos estructurales que conforman las edificaciones.

h) Recomendaciones sismorresistentes en edificaciones de concreto armado y de albañilería

En este capítulo se tratarán las recomendaciones referentes a la ubicación de los edificios en función de las condiciones locales del suelo. También se darán recomendaciones generales de configuración y dimensionamiento para las estructuras de concreto y de albañilería.

5.1.2 Metodología de enseñanza

La metodología que se propone a continuación, se basará en el modelo implementado en la FAU-PUCP. Las características que se tomarán en cuenta del modelo son: enseñanza en el contexto del diseño arquitectónico; enlaces frecuentes entre estructura y espacio; interrelación entre los cursos de estructuras y los cursos de talleres de diseño arquitectónico; enseñanza basada en la cinemática y en la deformación.

En base a lo expuesto se han ideado diferentes metodologías adaptadas al contenido de cada uno de los temas. Para los temas de carácter informativo, se ha pensado en una metodología participativa de los alumnos en base a investigaciones bibliográficas, Internet, opiniones de expertos e investigaciones de campo. Las tareas serán expuestas por los mismos alumnos a través de presentaciones con diapositivas.

Los temas que requieren el entendimiento de conceptos referidos al comportamiento sísmico de la estructura serán presentados a través de exposiciones hechas por el docente con la ayuda de diapositivas y de material didáctico (maquetas estructurales) preparado por los alumnos. El objetivo de este material didáctico es realizar ensayos que permitan demostrar los asuntos teóricos en forma experimental. También en la metodología se está utilizando la identificación de los conocimientos con casos reales presentados en el entorno donde se desarrolla profesionalmente.

5.2 LOS CONOCIMIENTOS ESTRUCTURALES REQUERIDOS POR LOS ALUMNOS DE ARQUITECTURA

Tal como se ha manifestado, en esta oportunidad sólo se está tratando la propuesta enfocada al tema sísmico. Sin embargo, con el propósito de lograr que este curso pueda ser bien llevado por los alumnos de arquitectura y de dar continuidad a este trabajo de investigación, es necesario plantear el esquema curricular que deberían tener de los cursos obligatorios de estructuras.

Después de todo lo analizado en los capítulos anteriores, es conveniente que el plan de estudios de una Facultad de Arquitectura contenga el dictado de cuatro cursos obligatorios de estructuras. Estos cuatro cursos de estructuras deberían tener tres horas semanales de teoría y dos horas semanales de prácticas. Cada curso se dictaría en un semestre académico de 17 semanas. Además, se plantea la necesidad de un curso electivo tipo Seminario, que abarcaría temas diversos de estructuras.

Los temas tratados en esta sección son: 1) contenido de los cursos propuestos de estructuras; y 2) definición de un modelo de enseñanza y la disponibilidad de herramientas didácticas.

5.2.1 Contenido de los cursos propuestos de estructuras

El contenido sintético de los cuatro cursos sugeridos y su ubicación en el plan de estudios, es el siguiente:

- Estructuras 1 (4to. ciclo), trataría temas de estática y de resistencia de materiales.
- Estructuras 2 (5to. ciclo), trataría temas de los diferentes sistemas estructurales y su comportamiento ante los diferentes tipos de cargas; también debe tener los temas de suelos y cimentaciones.
- Estructuras 3 (6to. ciclo), sería dedicado a estructuras sismorresistentes de concreto armado y de albañilería (la propuesta de esta tesis).
- Estructuras 4 (7mo. ciclo), debe tratar estructuras sismorresistentes de otros materiales, como madera, acero, y otros; además, estudiarían muros de contención, puentes, etc.

De acuerdo a esto, los contenidos planteados para cada uno de estos cursos son: (varios de los contenidos se están tomando de los sílabos de la FAU-PUCP).

a) Estructuras 1 (se consideran los contenidos de la FAU-PUCP)

- Estructura y espacio. Requisitos de una estructura. Fuerza, momento de una fuerza y equilibrio de un cuerpo.
- Comportamiento estructural: tipos de deformación, tipos de comportamiento. Grados de libertad. Condiciones de apoyo. Sistemas simples en equilibrio.
- Centros de gravedad. Cargas distribuidas. Resolución de sistemas en equilibrio.

- Jerarquía de fuerzas. Análisis de barras: tracción, compresión. Diagramas. Análisis de vigas. Diagrama de momento flector.
- Sistemas de marcos. Uniones, fuerzas en uniones. Resolución de sistema de marcos.
- Sistema de armaduras. Características. Resolución de sistemas de armaduras.
- Propiedades mecánicas de los materiales. Esfuerzo y deformación. Factor de seguridad.
- Carga Axial. Propiedades geométricas de sección transversal: área y centroide. Esfuerzos y deformaciones por carga axial.
- Flexión. Propiedades geométricas de sección transversal: momento de inercia, superficie neutra. esfuerzos de flexión. Elementos sometidos a flexión. Deflexiones de vigas.
- Corte. Elementos sometidos a momento flector y fuerza cortante. Flujo de corte longitudinal. Esfuerzo Cortante.
- Pandeo.

b) Estructuras 2 (se toman varios contenidos de los sílabos de la FAU-PUCP, se omite el tema de los sismos y se adiciona el tema de los suelos)

- Cargas. Caminos de cargas. Metrados de cargas de gravedad. Otros tipos de cargas. Normas técnicas de edificación para cargas.
- Elementos sometidos a flexión: Techos planos. Vigas. Materiales más usados. Análisis de esfuerzos en vigas. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante. Dimensionamientos
- Elementos sometidos a carga axial: tirantes, columnas, materiales más usados. Análisis de esfuerzos. Fuerza admisible por pandeo. Dimensionamientos
- Elementos sometidos a carga axial y momento flector: Armaduras. Vigas quebradas. Vigas curvas. Análisis de esfuerzos combinados: carga axial más flexión. Dimensionamientos
- Otras estructuras: arcos. Bóvedas y cúpulas. Cables y catenarias. Estructuras espaciales. Dimensionamientos.
- Suelos y cimentaciones. Interacción entre suelo y estructura. Norma técnica de edificaciones para suelos y cimentaciones. Clasificación de los suelos de acuerdo a la ingeniería civil. Comportamiento de los suelos de acuerdo a sus características. Capacidad portante. Cimentaciones.
- Elementos de soporte lateral: estabilidad. Muros de contención. Contrafuertes. Materiales más usados.

c) Estructuras 3 (es la propuesta de esta tesis)

- Conceptos básicos de sismología
- Historia y actividad sísmica
- Influencia de las condiciones del suelo en el peligro sísmico
- El comportamiento sísmico de las estructuras
- Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios
- Regulaciones sismorresistentes a aplicar en los proyectos de arquitectura
- Las edificaciones de concreto armado y de albañilería
- Recomendaciones sismorresistentes en edificaciones de concreto armado y de albañilería

d) Estructuras 4 (se incluyen algunos temas considerados en el sílabo de Estructuras 3 de la FAU-PUCP)

- La madera. Estructuración de sistemas a cargas verticales y cargas sísmicas. La estructura de madera en el espacio arquitectónico. Sistemas estructurales de madera. Norma técnica de edificaciones con estructuras de madera. Techos, tipos, cargas y dimensionamientos. Vigas, tipos, cargas y dimensionamientos. Columnas, tipos, esbeltez, cargas verticales y laterales; y dimensionamientos. Muros, tipos, esbeltez, cargas verticales y laterales; y dimensionamientos. Pórticos y muros arriostrados. Uniones entre elementos. Comportamiento estructural de pórticos dúctiles y muros arriostrados para resistir cargas verticales. Uniones entre elementos estructurales.
- El acero. Estructuración de sistemas a cargas verticales y cargas sísmicas. La estructura de acero en el espacio arquitectónico. Sistemas estructurales de acero. Norma técnica de edificaciones de estructuras metálicas. Techos, tipos, cargas y dimensionamientos. Vigas, tipos, cargas y dimensionamientos. Columnas, tipos, esbeltez, cargas verticales y laterales; y dimensionamientos. Muros, tipos, esbeltez, cargas verticales y laterales; y dimensionamientos. Pórticos y muros arriostrados. Uniones entre elementos. Comportamiento estructural de pórticos dúctiles y muros arriostrados para resistir cargas verticales. Uniones entre elementos estructurales.
- Otras estructuras: Puentes, muros de contención, escaleras y estructuras complementarias en arquitectura paisajista y equipamiento urbano.

5.2.2 Definición de un modelo de enseñanza y la disponibilidad de herramientas didácticas

Para todos los cursos se tomará el modelo de enseñanza aplicado en la FAU-PUCP, adaptado a la disponibilidad de las herramientas didácticas con las que se pueden contar en las universidades públicas.

La utilización de modelos virtuales e Internet es factible debido a la disponibilidad de laboratorios de cómputo en la mayoría de las universidades públicas del país.

Debido al gran potencial de creatividad que manifiestan los alumnos de arquitectura, es factible encargarles la elaboración de maquetas estructurales portátiles. Este hecho además es una forma de que el alumno intensifique sus conocimientos.

Es factible dotar de bibliografía actualizada y de videos a las bibliotecas. También existen en el mercado algunos materiales didácticos portátiles. Las universidades públicas cuentan con un presupuesto para ello.

Para un mediano plazo se estudiará la posibilidad de implementar laboratorios especiales adaptados al uso de los alumnos de arquitectura. Este es otro tema que debe seguir investigándose.

6. CONCEPTOS BÁSICOS DE SISMOLOGÍA

Los contenidos considerados en este capítulo, tienen el objetivo de desarrollar el entendimiento acerca de dónde y por qué se originan los sismos. Se pretende que los alumnos de arquitectura tomen conciencia de la importancia de considerar el efecto de los movimientos sísmicos en los proyectos de edificación.

Por tanto, se dará a los alumnos una visión general del origen de los sismos y el conocimiento de los parámetros empleados para medirlos. Específicamente los temas a tratar son: 1) los sismos y su origen; 2) los sismos de origen tectónico; 3) definiciones relacionadas: foco, epicentro, ondas sísmicas; 4) medidas de un sismo: magnitud e intensidad.

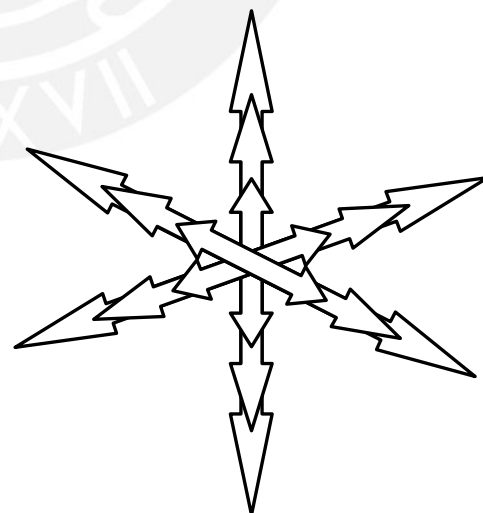
6.1 LOS SISMOS Y SU ORIGEN

Los sismos son movimientos vibratorios que se producen repentinamente en una zona de la superficie terrestre por efecto de fracturas bruscas en el lecho rocoso. Estos movimientos son de traslación y rotación en todas las direcciones, pero se acostumbra representarlos en dos direcciones horizontales (perpendiculares entre sí) y una dirección vertical, figura 6.1.

Se le denomina temblor cuando no causa daño y terremoto cuando la sacudida es violenta, destructiva y causa daños. Al respecto, Silgado (1981) describe a un terremoto como un: “violento columpiarse de la tierra, por un ladeo a la izquierda o a la derecha que marea y que no deja a nadie en pie”.



En pleno sismo



Movimientos del suelo

Figura 6.1 La manifestación de un sismo. La catedral de Arequipa durante el terremoto del 2001- obsérvese la caída de la torre izquierda (www.eeri.org)

Los sismos de acuerdo a su origen se clasifican en: tectónicos, volcánicos y de colapso.

6.1.1 Tectónicos

Son causados por la rotura brusca de las capas rocosas a lo largo de las superficies de fallas producida por los movimientos de la corteza terrestre. Son más frecuentes y más destructivos, figura 6.1.1.

6.1.2 Volcánicos

Son causados por la explosión de gases durante las erupciones volcánicas, son poco intensos y poco frecuentes, figura 6.1.2.

6.1.3 Colapso

Son originados por el colapso de las cavidades subterráneas, son de baja intensidad, figura 6.1.3.



Figura 6.1.1 Falla de San Andrés
(www.muyinteresante.es/.../marzo05/portada1.htm)



Figura 6.1.2 Volcan Ubinas
<http://www.go2peru.com/imagenes2/ScreenSavers>



Figura 6.1.3 Cavidad subterránea
(www.igp.gob.pe)

6.2 LOS SISMOS DE ORIGEN TECTÓNICO

Esta sección está enfocada a los conocimientos básicos de los sismos de origen tectónico, porque constituyen casi la totalidad de los terremotos que ocurren en el mundo y son los más destructivos. Para una mejor comprensión de este tema, los conceptos que serán tratados se han estructurado de la siguiente manera: 1) las capas de la Tierra agrupadas de acuerdo a su composición química; 2) las capas de la Tierra agrupadas de acuerdo al movimiento que se produce en la corteza; 3) la teoría de la tectónica de placas; y 4) la clasificación de los terremotos tectónicos.

6.2.1 Capas de la Tierra, agrupadas de acuerdo a su composición química

Las capas concéntricas de la Tierra, agrupadas de acuerdo a sus composiciones químicas se dividen en tres: corteza, manto y núcleo, ver Figura 6.2.1.

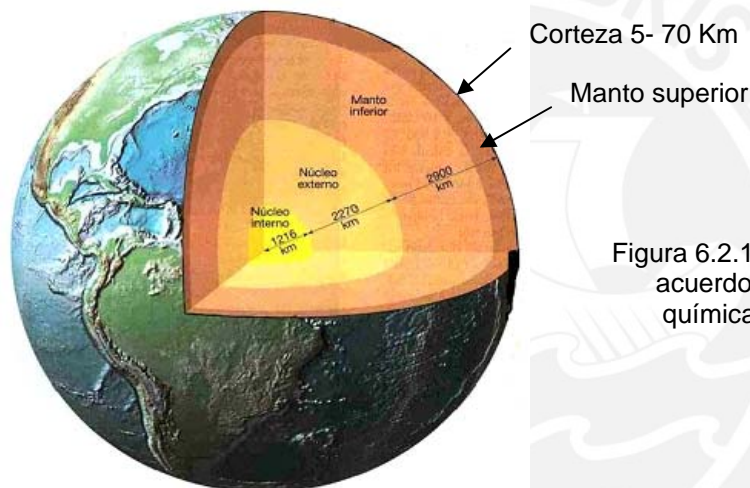


Figura 6.2.1 Capas de la tierra de acuerdo a su composición química. (Tarbuck 2003)

a. Corteza

Es la capa exterior de la Tierra que se caracteriza por tener un grosor muy delgado con relación al radio terrestre (6370 km). Sus medidas son de 7 km promedio debajo de los océanos y de 35 km promedio debajo de los continentes. La corteza es rígida y está constituida por rocas de gran dureza y resistencia.

b. Manto

Es una capa rocosa y sólida, constituye más del 82% del volumen de la Tierra con un grosor aproximado de 2900 km. Está compuesta por dos partes: manto superior y manto inferior.

c. Núcleo

Es la capa que está en el interior de la Tierra, compuesta fundamentalmente de hierro, con cantidades menores de níquel y otros elementos. Es sólido en su interior y líquido en su exterior.

6.2.2 Capas de la Tierra, agrupadas por el movimiento que se produce en la corteza

Esta clasificación de las capas de la tierra, está basada en los movimientos que se producen en la corteza (desplazamientos y deformaciones). Las capas de la Tierra en función a estos movimientos, son: litosfera, astenosfera, manto inferior y núcleo, ver Figura 6.2.2.

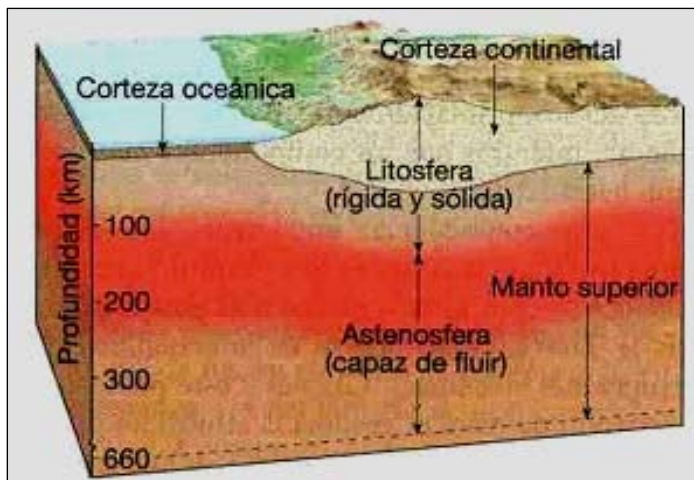


Figura 6.2.2 Capas de la Tierra agrupadas por el movimiento que se produce en la corteza (Tarbuck 2003)

a. Litosfera

Está compuesta por la corteza y una parte exterior del manto superior, conformando una unidad sólida y rígida. Su grosor promedio es de 100 km, pudiendo alcanzar hasta espesores de 250 km. o más debajo de las zonas antiguas de los continentes. La litosfera está partida en numerosos fragmentos denominados placas, ubicadas sobre la astenosfera.

b. Astenosfera

Está ubicada debajo de la litosfera en toda la parte restante del manto superior. Se caracteriza por ser blanda y plástica. Debido a las altas temperaturas en el interior de la Tierra, se encuentra en estado de semifusión. Los movimientos generados en el flujo de esta capa, ocasionados, por la diferencia de temperaturas (corrientes convectivas), hacen que las placas de la litosfera estén en movimiento.

c. Manto inferior y Núcleo

Ambos tienen características que coinciden con la clasificación mostrada en la Fig. 6.2.1.

6.2.3 Teoría de la tectónica de placas

Es la teoría que explica el movimiento de las placas que conforman la litosfera, debido a fuerzas provenientes del interior de la tierra. Estas placas están en continuo movimiento, cambiando de forma y tamaño, como resultado de la distribución desigual del calor en el interior de la Tierra.

La litosfera está dividida en 17 placas que conforman la totalidad de la superficie de la tierra, Sauter (1989). Las principales placas tectónicas de mayor dimensión son: Pacífico, Sudamericana, Norteamericana, Euroasiática, Australia-India, África y Antártica. Para esta tesis debemos mencionar que existen además placas importantes de menor dimensión como la de Nazca y la de Cocos.

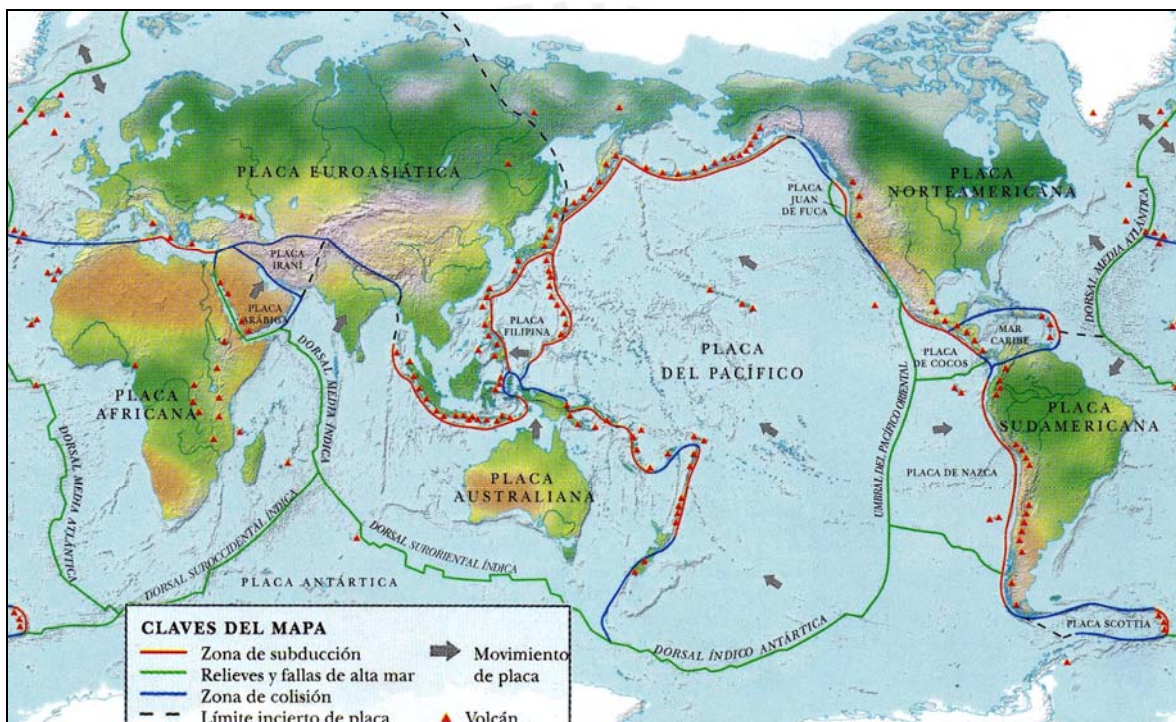


Figura 6.2.3 (a) Placas que conforman la litósfera y los tipos de movimientos producidos en los bordes (El Comercio, 2006).

El origen de la gran mayoría de los terremotos es ocasionado por el movimiento de interacción de las placas con velocidades del orden de varios centímetros por año. El movimiento relativo entre las placas, puede ser de acercamiento, de separación o de deslizamiento entre ellas. En este proceso, las placas interactúan entre sí, deformando las rocas en sus bordes, Tarbuck (2003). Se producen los sismos cuando hay desplazamientos repentinos en los bordes de las placas. De acuerdo a lo expuesto, las placas tienen tres tipos de bordes: divergente, convergente y de transformación. Figura 6.2.3 (b)

a. Borde divergente

Se da cuando las placas se separan y producen ascensión del material del manto para crear nueva corteza oceánica en el lugar dejado por las placas en separación (depresión). Generalmente sucede en suelo oceánico. La actividad sísmica en este borde es generalmente menor. La magnitud de los sismos que se generan son moderados. Los focos son superficiales, Sauter (1989)

b. Bordes convergentes

Se da cuando las placas se aproximan, conformando dos tipos de zonas:

- **Zona de subducción**, cuando una placa oceánica se introduce por debajo de otra placa que puede ser oceánica ó continental. En el caso del Perú, muchos sismos tectónicos ocurren porque la placa de Nazca (oceánica) se introduce (o subduce) bajo la placa Sudamericana (continental). En este proceso las rocas de la corteza se funden y después emergen a la superficie conformando montañas. Ejemplo de esto es la placa de Nazca que subduce debajo de la placa sudamericana, lo cuál ha generado la cordillera de los Andes.

La actividad sísmica, en las zonas de subducción, es mayor. Los sismos son de gran magnitud. Los focos sísmicos son poco profundos cerca de la costa, pero tierra adentro se localizan a profundidades comprendidas entre 50 a 300 km, Sauter (1989).

- **Zona de colisión frontal**, cuando convergen dos placas continentales. Se han dado casos de que cuando las placas chocan, las rocas son empujadas hacia la superficie, formando grandes cadenas montañosas. Ejemplos de esto son: la cadena del Himalaya, originada por el choque de los continentes Índico y el asiático; los Alpes en Europa han surgido por el choque entre las placas continentales de África con Europa, Sauter (1989).

c. Bordes de transformación

Se da cuando los bordes de las placas se constituyen en fallas que se deslizan una con respecto a la otra en forma paralela a la dirección del movimiento. Una **falla** se define como una zona de fractura en la corteza terrestre, en la cual dos bloques adyacentes, están desplazados uno con respecto al otro. En una falla de transformación no se origina ni destruye la corteza. Sin embargo, el movimiento de deslizamiento, genera grietas profundas en la superficie terrestre. Ejemplo de una falla de transformación es la “Falla de San Andrés” en el estado de California, Estados Unidos, figuras 6.2.3 (c) y 6.2.3 (d). Otro ejemplo de esto es la falla de Motagua en Guatemala.

Las fallas de transformación, tienen una actividad sísmica intermedia. La profundidad del foco es superficial, entre 15 a 20 km. Sin embargo, la longitud de falla entre dos placas adyacentes y el desplazamiento, pueden ser muy grandes. En estas zonas se generan sismos de gran magnitud y de poca profundidad. Sauter (1989).

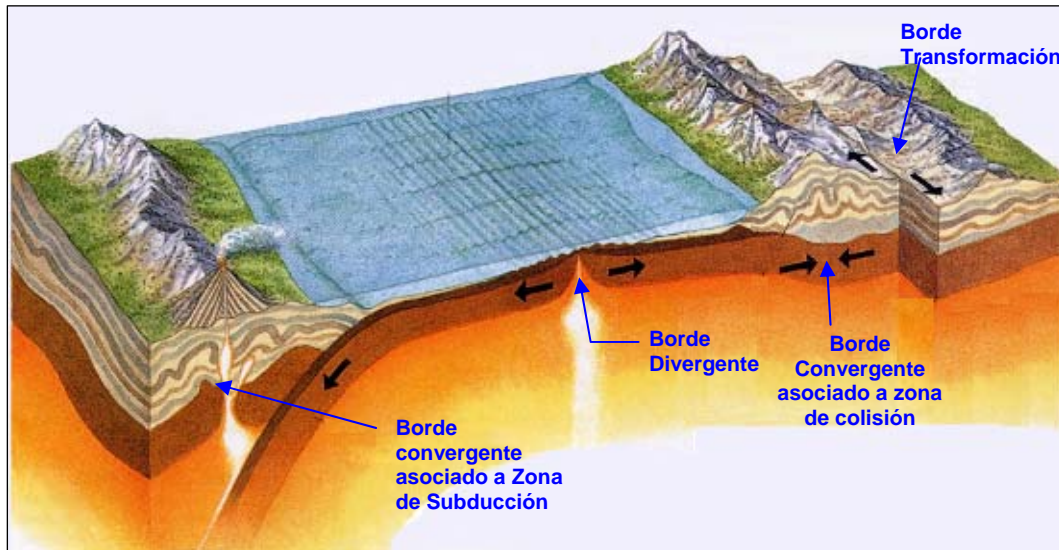


Figura 6.2.3 (b) Bordes entre placas de acuerdo al movimiento que producen (El Comercio, 2006)

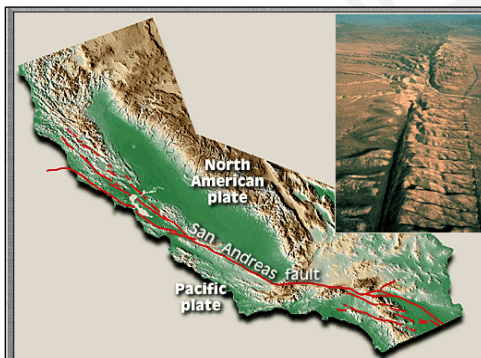


Figura 6.2.3 (c) Falla de San Andrés en California. (Tarbuck 2003)



Figura 6.2.3 (d) Desplazamiento del cerco, durante el terreno de San Francisco 1906 asociado a la Falla de San Andrés (Tarbuck 2003)

6.2.4 Clasificación de los terremotos tectónicos

a. Según la profundidad donde se origina el movimiento sísmico

- Superficiales de 0 a 60 km.
- Intermedios de 60 a 300 km.
- Profundos de 300 a 700 km.

Tavera (1993), señala que los terremotos más profundos se producen entre 500 y 700 km de profundidad. Dice: “los sismólogos, han dividido al manto en dos zonas: manto superior y manto inferior a partir de los 700 km. Solamente la corteza y el manto superior (0 a 700 km) merece toda nuestra atención, debido a que a mayor profundidad nunca se producen terremotos.” (Ver figura 6.2.2)

b. Según la zona donde se generan en las placas de la litósfera

- Sismo ínterplaca

Es el que se genera en los bordes ó limites entre las placas. Ejemplo de este tipo de sismo son todos aquellos que ocurren en la costa del Perú.

- Sismo intraplaca

Es el que se genera en las zonas interiores de las placas. Ejemplos de estos sismos son los generados por las fallas de Moyobamba (San Martín), y Huaytapallana (Junín), entre otros.

Según Muñoz (2001), de los terremotos tectónicos, el 95% se producen en los bordes de las placas (ínterplaca) y el 5% restante se producen en el interior de las placas (intraplaca).

6.3 DEFINICIONES RELACIONADAS: FOCO, EPICENTRO, ONDAS SÍSMICAS

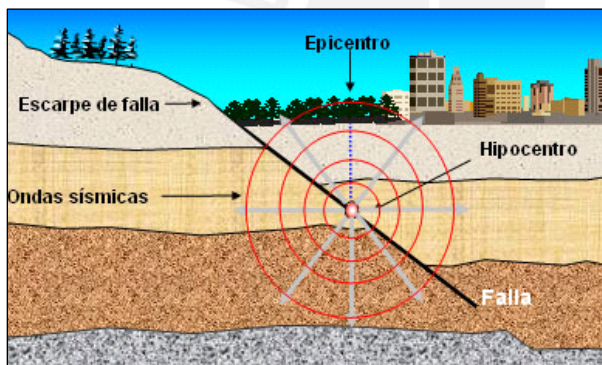


Figura 6.3 Foco, epicentro y ondas de un terremoto (www.fing.ucr.ac.cr)

6.3.1 Foco

Es el punto más débil en el interior de la Tierra donde se origina el movimiento sísmico, el cual propaga energía en todas las direcciones en forma de ondas.

El foco de un sismo puede encontrarse a diferentes profundidades. De acuerdo a ello, los sismos se clasifican en superficiales, intermedios y profundos. La ubicación del foco se expresa por medio de sus coordenadas geográficas: latitud, longitud y profundidad.

6.3.2 Epicentro

Es el lugar ubicado en la superficie de la Tierra ubicado directamente encima del foco. Usualmente la localidad más cercana al epicentro o la localidad importante más cercana se utiliza para darle nombre al sismo ocurrido.

6.3.3 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas, representan una parte de la energía liberada por los movimientos sísmicos que se originan en el interior de la Tierra y se irradian en todas las direcciones desde el foco. Las ondas sísmicas suelen ser más intensas en las zonas cercanas al epicentro; sin embargo, tal como se verá más adelante, su intensidad de propagación dependerá de las condiciones del suelo. Por ejemplo, el sismo de México de 1985, afectó mayormente al distrito federal ubicado a unos 400 km del epicentro. Según el medio donde se propagan se dividen en dos clases: ondas de cuerpo y ondas superficiales, ver figuras 6.3.3 (a) y (b).

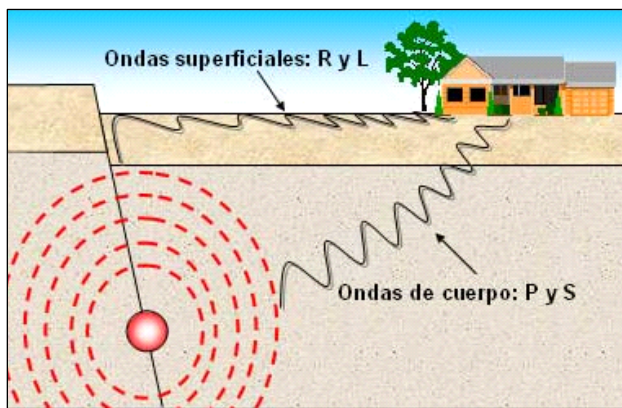


Figura 6.3.3 (a): Recorrido de las ondas de cuerpo y superficiales (www.fing.ucr.ac.cr)

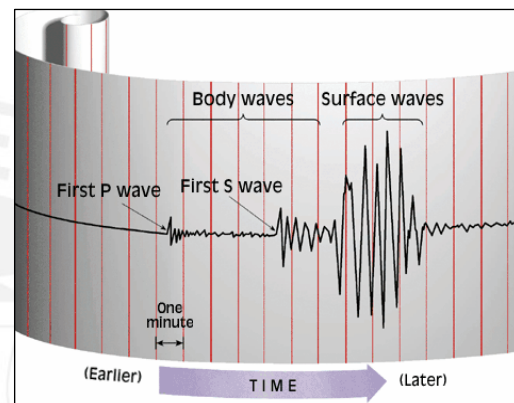


Figura 6.3.3 (b) : Registro de llegada de ondas P, S y superficiales obtenido de un sismógrafo (Tarbuck 2003)

a. Ondas de cuerpo

Son aquellas que se generan en el proceso de ruptura y se propagan a través de la masa de la Tierra. Son de dos tipos: primarias y secundarias.

- **Ondas Primarias o P**, son las primeras en llegar al punto de observación por ser más veloces que las ondas S en 1.7 veces aproximadamente. Estas ondas provocan que las partículas se muevan en la misma dirección de su propagación, causando a su paso compresión y expansión del material. Pueden propagarse a través de medios sólidos, líquidos o gaseosos. Cuando las ondas P emergen desde el interior de la Tierra, una porción pequeña puede ser transmitida a la atmósfera en forma de sonido.

- **Ondas Secundarias o S**, son las que sacuden a las partículas en la dirección perpendicular a la que viajan. Solamente se transmiten en cuerpos sólidos, por lo que no pueden propagarse en los océanos. Las ondas S son más lentas que las ondas P, por eso llegan a la estación de registro después de ellas.

b. Ondas superficiales

Son las que se producen cuando las ondas sísmicas P y S sacuden las capas superficiales de la corteza terrestre. Se manifiestan con más frecuencia en sismos poco profundos y viajan con velocidad aproximada del 90% de las ondas S. Los tipos de ondas superficiales son dos:

- **Ondas Love**, son las que mueven el suelo horizontalmente en dirección perpendicular a la de su propagación y son generalmente las causantes de los daños en las edificaciones.
- **Ondas Rayleigh**, son las que mueven las partículas en un plano vertical y tienen menor velocidad de propagación.

6.4 MEDIDAS DE UN SISMO: INTENSIDAD Y MAGNITUD

6.4.1 Intensidad

La severidad o intensidad del sismo mide sus efectos, a través de cómo las personas perciben las vibraciones, de los daños producidos en las construcciones y los cambios en el paisaje. La intensidad es variable según el lugar. Las escalas mayormente utilizadas para expresar la intensidad de los sismos son: Mercalli Modificada (MM); Medvedet - Sponheuer – Karnik (MSK); y la Escala Macrosísmica Europea (EMS). Los primeros grados de estas escalas están relacionados con el nivel de percepción de las personas y de los efectos ocasionados en los mobiliarios; los grados intermedios están relacionados a los daños producidos en las construcciones; y los grados altos están en relación con los cambios en el terreno y en el paisaje, Muñoz (2001).

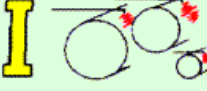






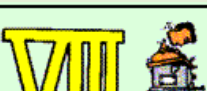




a. Mercalli Modificada - MM

Presentada en 1902 por Mercalli, modificada por Wood y Neuman en 1931 y posteriormente por Richter en 1956, es utilizada en todo el continente americano. Tiene doce niveles denominados en números romanos I hasta XII. Richter identificó cuatro categorías de construcciones, para poder especificar los daños en ellas. Ver tablas 6.4.1(a) y 6.4.1 (b).

Tabla 6.4.1(a)

Categoría de las construcciones (Muñoz 2001)	
Tipo	Descripción
A	Estructuras de acero y concreto armado diseñadas para resistir fuerzas sísmicas y que han sido construidas adecuadamente
B	Estructuras de concreto armado sin diseño sismorresistente detallado, pero con buena calidad de construcción
C	Estructuras sin diseño sismorresistente y con calidad de construcción regular.
D	Estructuras de materiales pobres, como adobe y sin resistencia lateral.

Tabla 6.4.1(b)

Escala de Mercalli Modificada, 1956 (Datos obtenidos, Muñoz 2001)	
Grado	Descripción
I 	Sentido sólo por algunas personas en condiciones sumamente favorables.
II 	Percibido por persona en descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios.
III 	Percibido en el interior de los edificios pero sin reconocerse como sismo.
IV 	Percibido en el interior de edificios y por algunas personas en las calles. Objetos colgantes que oscilan. Vibración perceptible en puertas, ventanas y vajilla. Los vehículos detenidos oscilan.
V 	Percibido por la mayoría de personas. Algunas persona despiertan. Objetos inestables se vuelcan. Es posible estimar la dirección del movimiento.
VI 	Percibido por todos. Personas que huyen hacia exteriores. Caminar inestable. Se rompen vidrios, caen objetos de los armarios y muros. Muebles desplazados. Algunas grietas en revestimientos y construcciones tipo D. Pequeñas campanas que tañen. Árboles sacudidos visiblemente.
VII 	Dificultad para mantenerse en pie. Percibido por conductores de automóviles en marcha. Tañen las campanas. Grietas en edificaciones tipo D. Algunas grietas en edificaciones tipo C. Algunas chimeneas caen. Ondas en los lagos. Pequeños deslizamientos y hundimientos en terraplenes y taludes de arena y grava. Daños en canales de concreto para regadío.
VIII 	Manejo inseguro de vehículos. Daños y hasta colapsos parciales en edificios tipo C. Daños menores en construcciones tipo B. Ningún daño en construcciones tipo A. Caen chimeneas, monumentos, torres y depósitos elevados. Desprendimiento de tabiques. Se quiebran las ramas de los árboles. Cambios en las corrientes de agua. Grietas en suelos húmedos y pendientes escarpadas.
IX 	Pánico general. Destrucción de construcciones tipo D. Daños serios en edificaciones tipo C, inclusive algunos colapsos. Daños importantes en edificaciones tipo B y en depósitos de agua. Ruptura de tuberías subterráneas. Grietas grandes en suelos secos. Pequeñas eyecciones de arena y barro en suelos aluviales.
X 	Gran destrucción de edificaciones. Grandes daños en malecones, represas, diques y terraplenes. Grandes desplazamientos de tierra en taludes y orillas de los ríos. Agua de canales, ríos y lagos salen hacia las playas. Rieles de las vías férreas deformados.
XI 	Pocas edificaciones quedan en pie. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. Puentes destruidos. Grandes grietas en el suelo. Rieles de vías férreas retorcidos. Hundimientos y desplazamientos en suelos blandos.
XII 	Destrucción casi total. Cambios en la topografía. Desplazamiento de grandes masas de roca. Líneas de mira y niveles distrorsionados. Objetos lanzados al aire.

b. Medvedet, Sponhehuer y Karnik - MSK

Propuesta en 1964 por Medvedet, Sponhehuer y Karnik, es utilizada mayormente en Europa. Tiene doce niveles denominados en números romanos I hasta XII.

c. Escala Macrosísmica Europea - EMS

Esta escala tiene también doce grados y es la escala oficial de los países de la comunidad económica europea. (www.proteccioncivil-andalucia.org).

6.4.2 Magnitud

La magnitud, mide la energía liberada durante sismo, mediante el uso de instrumentos. A continuación se detallan las escalas e instrumentos mayormente utilizados.

a. Escalas

Las escalas de magnitud son las siguientes: escala de Richter (M_L), escalas según el tipo de onda sísmica (m_b y M_s) y la escala de Kanamori (M_w).

- **La escala de Richter**

Sólo puede emplearse para terremotos cercanos, es por este motivo que la magnitud en esta escala es local y se le conoce como M_L .

- **Escalas según el tipo de onda**

Se utilizan dos tipos de escalas en función del tipo de onda:

- **m_b** , si se usan las ondas de cuerpo
- **M_s** , si se usan las ondas de superficie.

- **La escala de Kanamori**

La escala de Kanamori (M_w) propuesta en 1977 se utiliza cuando las escalas m_b y M_s se saturan alrededor de valores de 6.5 y 7.5 respectivamente. La escala M_w , no depende del proceso vibratorio, sino del tamaño de la ruptura y de los desplazamientos de los bloques de falla.

Muñoz (1999), ilustra el caso de la saturación de escalas a través del siguiente ejemplo mostrado en la tabla 6.4.2

Tabla 6.4.2

Terremotos y Magnitudes M_s y M_w			
Ubicación	Fecha	M_s	M_w
San Francisco	18 - 04 - 1906	8.25	7.9
Kamchatka	04 - 11 - 1952	8.25	9.0
Chile	22 - 05 - 1960	8.30	9.5

b. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para medir la magnitud de los sismos son el sismógrafo (fig 6.4.2 (a)) y el acelerógrafo (fig. 6.4.2 (b)).

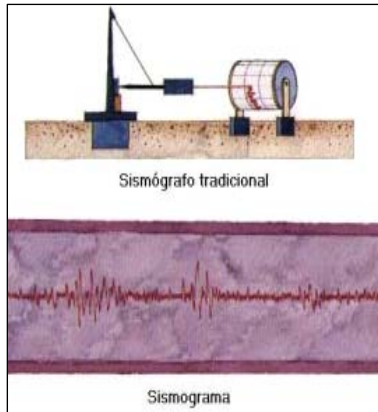


Figura 6.4.2 (a) Sismógrafo



Figura 6.4.2 (b) Acelerógrafo

- **El sismógrafo**

Proporciona registros de desplazamientos, con los cuáles se determinan los parámetros de origen de un sismo: hora, epicentro, profundidad del foco y magnitudes sísmicas.

- **El acelerógrafo**

Proporciona el registro de las aceleraciones sísmicas durante el tiempo que dura el sismo, de lo cuál se obtiene la aceleración máxima y el contenido de frecuencias de un sismo determinado. Estos dos parámetros permiten definir el nivel de severidad del movimiento y su influencia en el comportamiento de las estructuras.

Los acelerógrafos pueden registrar las aceleraciones del terreno en tres direcciones ortogonales: Dos horizontales y una vertical.

6.5 METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

El tema de este capítulo luce muy teórico, por lo que puede generar aburrimiento y falta de concentración en el alumno, si es que la metodología de enseñanza es puramente expositiva. Una posibilidad de metodología de enseñanza, para que el alumno pueda sentir su aprendizaje más activo e interesante, es a través de su participación grupal en la investigación de puntos específicos y elaboración del material que corresponda al contenido de este capítulo. Las estrategias, materiales y procedimientos de evaluación son indicados a continuación.

6.5.1 Estrategias de enseñanza

El conocimiento de los conceptos básicos de sismología será orientado en forma participativa, con trabajos específicos de investigación. Se recomienda que los grupos estén constituidos por dos o tres alumnos, para garantizar mejor la participación de cada uno de ellos. El tema encargado a cada grupo, será uno de los seis que comprenden este capítulo. Se incentivará el intercambio de conocimientos entre los grupos, basado en que los temas siguen una secuencia. También se les motivará para que descubran la importancia de estos temas, en su formación de arquitectos.

La exposición de cada uno de los grupos, se realizará siguiendo la secuencia indicada en los contenidos de este capítulo. Estos grupos expondrán los resultados y generarán el intercambio de pareceres para finalizar con las conclusiones generales. Para lograr esto, después de cada exposición y previo a la siguiente, el docente, debe hacer las aclaraciones y comentarios sobre el tema expuesto, con algunas preguntas al respecto. La participación del docente, será permanente en cuanto a la evaluación de la veracidad de los contenidos y la asimilación de los conceptos. Se programará cada exposición para un tiempo máximo de 10 minutos. El tiempo empleado para esta clase, será de dos horas.

6.5.2 Medios y materiales

Los alumnos pueden recurrir a toda forma de información e investigación: Internet, biblioteca, videos, consultas a expertos, materiales elaborados por ellos mismos y otros.

6.5.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 6, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.

7. HISTORIA Y ACTIVIDAD SÍSMICA

Para el alumno de arquitectura, es importante conocer la historia sísmica de los países afectados por estos fenómenos, porque permite identificar las zonas sísmicas y estudiar el comportamiento de edificaciones ante estas acciones. El identificar las causas que originan los daños, permite establecer el riesgo sísmico que presentan las edificaciones, además de concebir técnicas y normas para el proyecto y construcción de estructuras sismorresistentes.

Sabiendo los defectos y las bondades de las estructuras, se puede lograr la reducción del número de víctimas, así como la disminución de daños en toda la infraestructura urbana, carreteras y otros de importancia en el desarrollo de los países, en eventos futuros. Los temas que se desarrollan en este capítulo son: 1) sismicidad en el mundo y algunos sismos notables; y 2) sismicidad en el Perú y algunos sismos notables.

7.1 SISMICIDAD EN EL MUNDO Y ALGUNOS SISMOS NOTABLES

7.1.1. Las principales zonas sísmicas del mundo

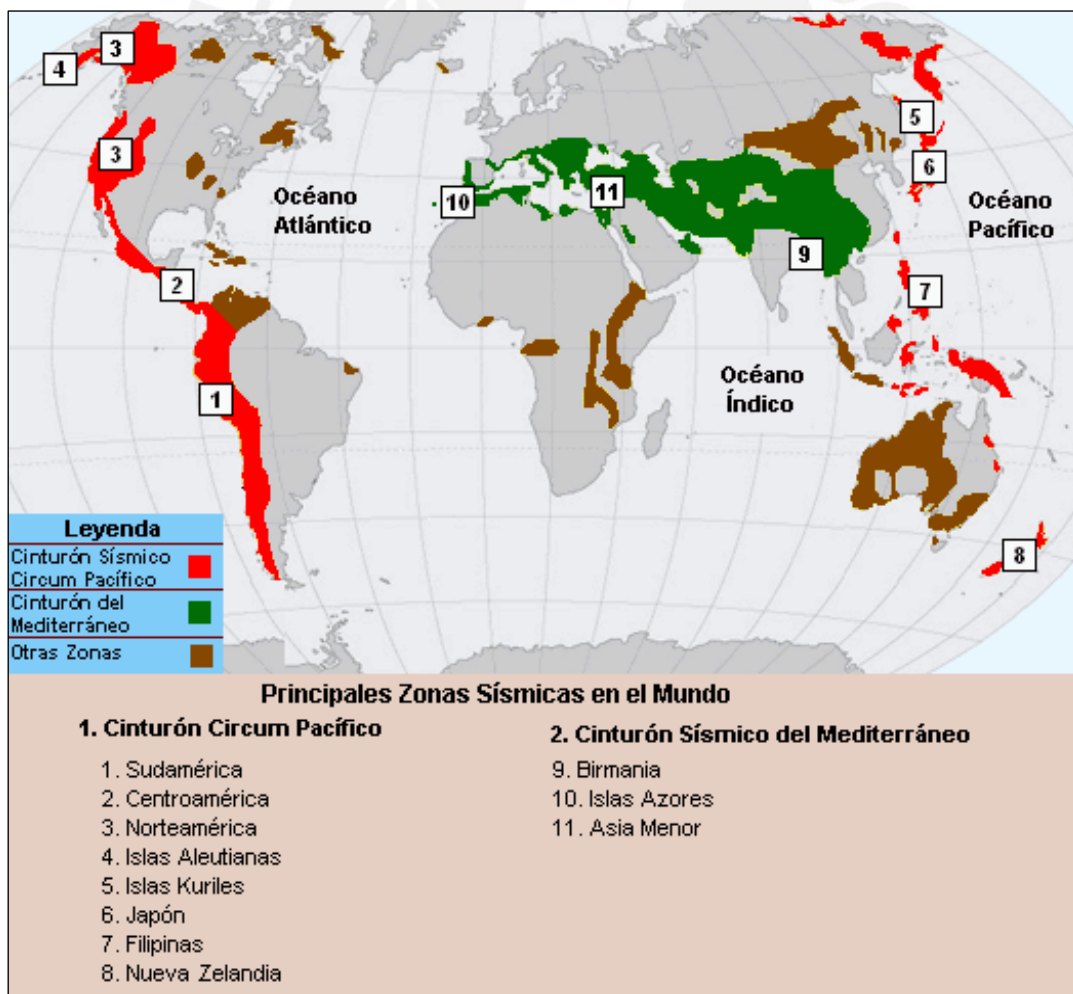
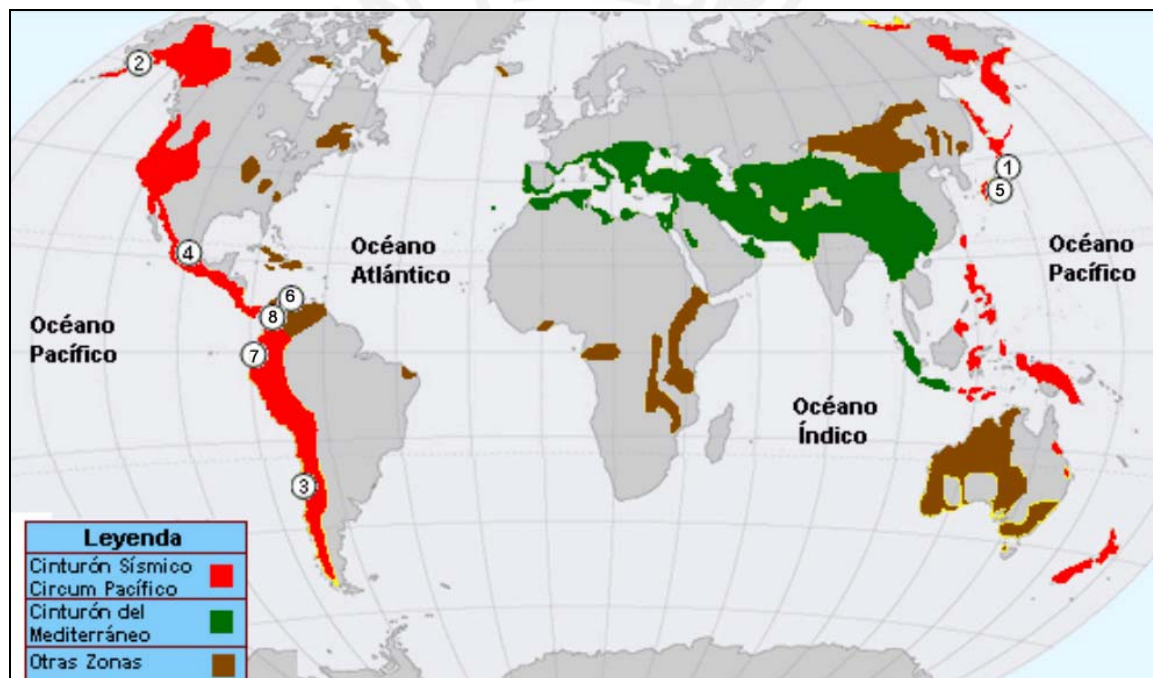


Figura 7.1.1 (a) Mapa de peligro sísmico. (Adaptación de www.eeri.org)

Las más importantes son: El Cinturón Circum-Pacífico, el Cinturón Sísmico Mediterráneo, entre otras, figura 7.1.1 (a). Oshiro (1981), Wakabayashi (1988), Barbat (1994) y Tarbuck (1999)

- El Cinturón Circum-Pacífico donde ocurren el 80% de los sismos en el mundo, comprende: las costas del Océano Pacífico de las tres Américas, las islas Aleutianas, las islas Kuriles, Japón, Filipinas y Nueva Zelanda.
- El Cinturón Sísmico Mediterráneo, que se extiende desde Birmania hasta las islas Azores pasando por Asia Menor y por el mar Mediterráneo. Es menos activo que el Cinturón Circum-Pacífico. Los sismos suelen ser superficiales.
- Otras áreas de actividad sísmica corresponden a la zona comprendida entre las Mesetas de Pamir y el lago Baikal en el Asia Central, entre otras.

7.1.2 Breve descripción de algunos sismos notables en el mundo



Relación de los sismos notables escogidos y sus principales parámetros					
Nº	Lugar	País	Año	Magnitud	Muertos
1	Niigata	Japón	1964	7.5 M _L	26
2	Alaska (Anchorage)	Estados Unidos	1964	8.4 M _L	131
3	Valparaíso, San Antonio, Lloleco	Chile (región central)	1985	7.8 M _L (7.5 M _s)	1 200
4	México	México	1985	8.1 M _s (6.5 M _w)	15 000
5	Kobe	Japón	1995	6.9 M _w	5 472
6	Cariaco	Venezuela	1997	6.9 M _w	80
7	Bahía de Caráquez	Ecuador	1998	7.5 M _w	3
8	Armenia Quindío	Colombia	1999	6.2 M _w	1 230

Nota: M_L = Escala local de Richter
 M_s = Escala medida con las ondas superficiales
 m_b = Escala medida con las ondas de cuerpo P
 M_w = Escala de Kanamori, utilizada cuando las escalas m_b y M_s se saturan en sismos entre 6.5 y 6.7

Figura 7.1.2 (a) Sismos Notables y sus principales parámetros (Adaptación de www.eeri.org)

La relación de sismos “notables” escogidos tiene como objetivos ilustrar los efectos tanto de las condiciones de suelo como las lecciones que los sismos han dejado respecto al comportamiento de las estructuras. Se han seleccionado ocho sismos ocurridos entre los años 1964 y 1999. Ver figura 7.1.2 (a) con la relación de los sismos, sus respectivas ubicaciones en el mapa de sismicidad mundial y sus principales parámetros obtenidos de: Wakabayashi (1988), Sauter (1989), Tarbuck (1999) y Quiun (2004). A continuación se describen cada uno de los sismos seleccionados.

a. Terremoto de Anchorage – Alaska, 1964



Fecha: 27 – 03 – 1964 M_L : 8.4
 Epicentro: 12 km Muertes: 130



Figura 7.1.2 (b) Ubicación de Anchorage. (www.cnn.com)

Figura 7.1.2 (c) Desplazamiento e inclinación de casas debido a deslizamiento de suelos en Turnagain Heights. Terremoto de Anchorage 1964 (www.cee.uiuc)

Ocurrió en la zona comprendida entre las islas Aleutianas y Alaska, en el cinturón Circumpacífico, debido a la subducción de la placa del Pacífico por debajo de la placa Norteamericana (fig. 7.1.2 (b)). Su duración fue de 3 a 4 minutos, considerada como una duración muy grande e inusual. La mayoría de los sismos duran menos de un minuto. Tarbuck (2003)

El terremoto produjo dos efectos importantes, deslizamiento de 9.6 millones de m³ de suelo en Turnagain Heights en la ciudad de Anchorage y tsunami. Hubo 131 muertes, de las cuáles 10 fueron debidas al movimiento sísmico y 121 ahogados por el tsunami. El número de víctimas pudo haber sido mayor, si es que el sismo no hubiera ocurrido un día feriado.

El mayor daño de las estructuras se debió al deslizamiento y asentamiento del suelo generado por el movimiento sísmico. La figura 7.1.2 (c), muestra los efectos de deslizamientos de rocas y avalancha como resultado de la licuefacción del suelo saturado, compuesto por arcilla blanda y arena en Turnagain Heights, donde alrededor de 75 casas fueron destruidas. También las redes de agua y alcantarillado se rompieron y servicios de teléfono y electricidad se interrumpieron

Muchos de los daños ocurridos en algunos edificios de Anchorage fueron también causados por algunos errores técnicos o el conjunto de de ellos, tales como: mala configuración, mal diseño estructural, deficiencias constructivas. Los daños de estos edificios serán tratados con mayor detalle en el capítulo 10. En esta oportunidad sólo se mencionan características generales de los daños ocasionados por este terremoto. Por ejemplo:

- El edificio de la compañía J.C. Penney, de 5 pisos, tuvo severos daños por la torsión generada en la estructura por la distribución asimétrica de sus elementos resistentes. Asimismo, los paneles no estructurales de concreto ubicados en la fachada cayeron a la calle y mataron a dos personas, debido a que estaban mal anclados a la estructura. Arnold (1987). Ver figura 10.2.2 (b)
- El edificio de departamentos Four Seasons, aparentemente de configuración simétrica. Falló por torsión (ocasionada por defectos constructivos) y por falta de amarre de la cimentación. Ver figura 10.2.2 (c)
- La escuela de secundaria de West Anchorage, tenía una configuración en planta, en forma de L, con unión rígida en la esquina. Figura 10.2.3 (b)

(Arnold (1987), Kuroiwa (2002), Oshiro (1980), Tarbuck (2003)
www.vibrationdata.com, <http://cee.uiuc.edu>, www.usgs.gov,
<http://nisee.berkeley.ec>)

b. Terremoto de Niigata, 1964



Figura 7.1.2 (d) Ubicación de Niigata. Adaptación de (www.eeri.org)



Figura 7.1.2 (e) Edificios de apartamentos, asentados e inclinados, por licuefacción del suelo, en Kawagishico (www.nwcreation.net/wiki)

Ocurrió a 60 km al norte de Niigata en el mar de Japón (fig. 7.1.2 (d)), caracterizándose por generar efectos de licuefacción en depósitos de arena altamente saturados, ubicados cerca al río Shinano.

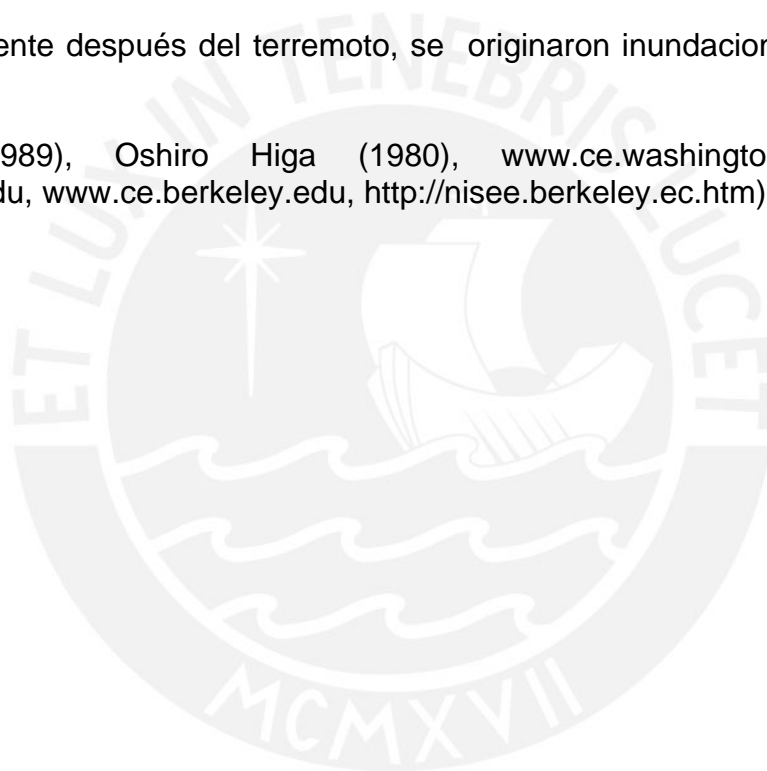
Se presentaron daños severos por asentamientos y hundimiento en: edificios, puentes, autopistas, servicios públicos, muelles, refinerías y ferrocarriles. Mayores detalles, respecto a los daños ocasionados por la licuefacción, se explican en el capítulo 8.

Cuando ocurrió el sismo, habían aproximadamente 1500 edificios de concreto armado en la ciudad de Niigata, resultando dañados alrededor de 310, de los cuáles 200 se asentaron o se inclinaron sin daños apreciables en la superestructura, lo que facilitó la evacuación de sus ocupantes, (figura 7.1.2(e)).

Los daños indicados ocurrieron en los edificios con cimentaciones superficiales, mientras que los edificios cimentados con pilotes apoyados en suelo firme, no sufrieron daño.

Inmediatamente después del terremoto, se originaron inundaciones, tsunamis e incendios.

(Sauter (1989), Oshiro Higa (1980), www.ce.washington.edu, <http://cee.uiuc.edu>, www.ce.berkeley.edu, <http://nisee.berkeley.ec.htm>)



c. Terremoto de Chile, 1985

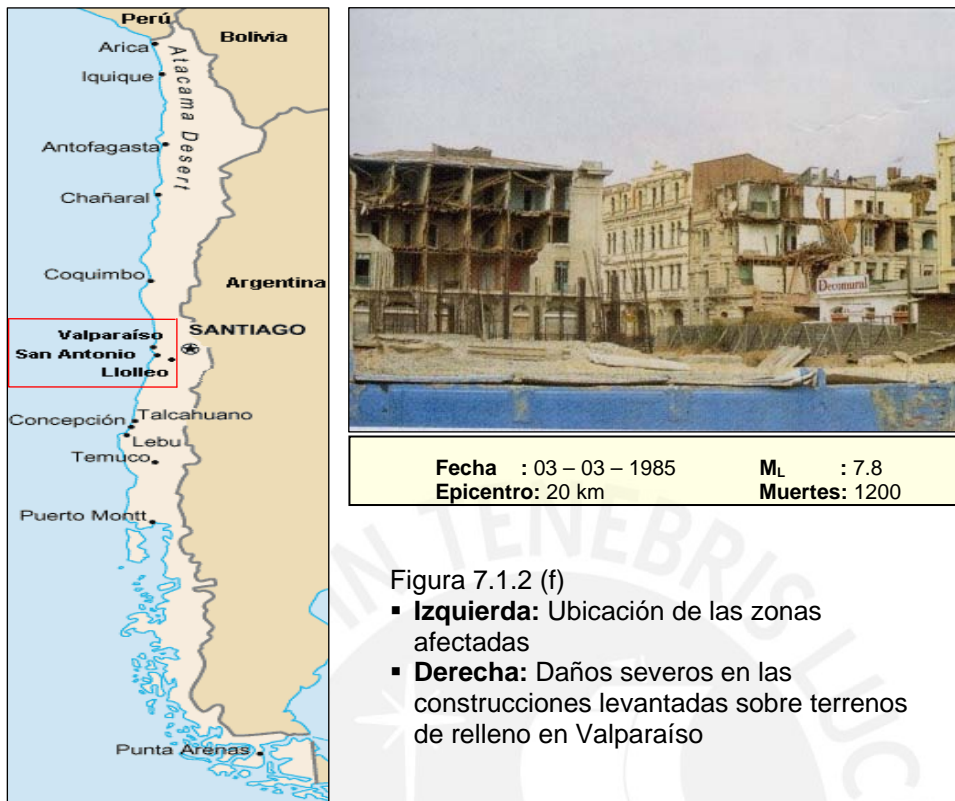


Figura 7.1.2 (f)

- **Izquierda:** Ubicación de las zonas afectadas
- **Derecha:** Daños severos en las construcciones levantadas sobre terrenos de relleno en Valparaíso

Ocurrió en la zona central de Chile, con epicentro en el mar entre Valparaíso y Algarrobo, a unos 20 km de la costa y 15 km de profundidad. Las ciudades más afectadas fueron tres: Valparaíso, San Antonio y Lolleo, figura 7.1.2 (f) - izquierda.

Wakabayashi (1988), señala, que este terremoto aportó información muy importante a través de los registros sísmicos obtenidos de los acelerógrafos que se encontraban instalados en las zonas afectadas, lo cual contribuyó posteriormente a mejorar los diseños sismorresistentes de los edificios. Las mayores aceleraciones máximas verticales se registraron en la estación de Lolleo con 0.85 g. Los daños ocasionados estuvieron relacionados con la topografía y las características del suelo de Valparaíso y de San Antonio.

En Valparaíso, se presentó amplificación sísmica en las zonas del desarrollo habitacional "Canal Beagle" ubicadas en la cima de los cerros de Valparaíso Sauter (1989); y en los terrenos de relleno ganados al mar, figura 7.1.2 (f) - derecha (Kuroiwa 2002). En ambos lugares, hubo edificios severamente dañados, (Sauter 1989).

En San Antonio, hubo licuefacción del suelo, en la zona de las instalaciones portuarias, (Wakabayashi 1988). La mayoría de los daños en viviendas se produjeron en casas de adobe o de albañilería sin reforzar, en los barrios antiguos de las tres ciudades afectadas. Las pérdidas de vidas humanas y pérdidas materiales resultaron muy bajas para una magnitud tan alta, debido a que muchas construcciones cuentan con alta densidad de muros y han utilizado criterios adecuados de diseño sismorresistente, (Wakabayashi 1998).

d. Terremoto de México, 1985

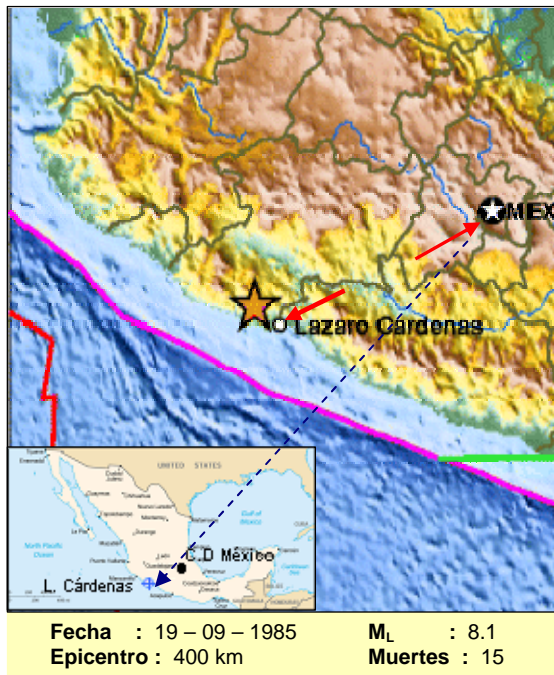


Figura 7.1.2 (g) Ubicación del epicentro y México
(www.eeri.org/lfe.html)



Figura 7.1.2 (h)
Delante: Edificios totalmente colapsados
Atrás: Torre Latinoamericana, sin daños
(www.scieds.com)

El terremoto fue originado por dos fallas producidas en la interacción de las placas de Cocos y la norteamericana. El epicentro estuvo en una zona de silencio sísmico desde el año 1800 y liberó mucha energía acumulada (Ríos 1986). Se produjeron daños severos en la parte central de Ciudad de México, ubicada a una gran distancia del epicentro (400 km aproximadamente), debido a la amplificación del movimiento sísmico en una extensa zona del suelo blando en el que se encuentra. La amplificación fue 5 veces más que la experimentada en las afueras de la ciudad. (Tarbuck 1999).

Wakabayashi (1988), muestra como resultado del estudio de una evaluación de daños, lo siguiente:

- En función del número de pisos de los edificios, los daños menos severos y en menor cantidad se dieron en los de poca o mucha altura, ocurriendo lo contrario en los de mediana altura que resultaron severamente dañados ó colapsados. En las figuras 7.1.2 (h), (i) y (j) se ilustra este comportamiento estructural.
- Desde el punto de vista del sistema estructural, se encontró poco porcentaje de fallas en construcciones de albañilería, que son las más abundantes, y que cuentan con suficiente rigidez lateral. La gran mayoría de fallas ocurrió en estructuras de concreto armado conformadas por pórticos, y en edificios de losas planas (sin vigas), debido a la falta de rigidez lateral.

En conclusión señala Wakabayashi, que las fallas de un gran número de edificios se deben a que el sismo alcanzó una gran intensidad en la zona ubicada sobre arcilla blanda, y que algunas características arquitectónicas-estructurales de los edificios, entre otras de carácter de diseño de ingeniería o constructivas, contribuyeron a agravar los efectos del sismo. Las fallas más notables relacionadas con las características arquitectónicas-estructurales de los edificios fueron: disposiciones asimétricas de muros ó columnas, primer piso con columnas y los superiores con muchos muros (piso blando), columnas cortas, choque entre edificios cercanos, peso excesivo, entre otras. Cada uno de estos tipos de fallas, serán tratados en forma mas detallada en el capítulo 10.

La Torre Latinoamericana, mostrada en la figura 7.1.2 (j), es una estructura de acero de 45 pisos, que fue diseñada con criterios dinámicos en los años 50. Se caracteriza por la distribución simétrica de sus elementos resistentes-verticales y por tener cimentación profunda a través de pilotes que se sustentan en suelo firme. Ha resistido sin daños ni gastos de reparación los sismos de 1957 y de 1985 lo cuál ha hecho que actualmente sea uno de los edificios más seguros de la ciudad a pesar de su ubicación potencialmente peligrosa.



Figura 7.1.2 (i) Edificio bajo y rígido, respondió satisfactoriamente al terremoto 1985. (Kuroiwa, 2002)



Figura 7.1.2 (j) Torre Latinoamericana, resistió los sismos de 1957 y 1985 (www.photo.net)

e. Terremoto de Kobe, 1995 (También conocido como cualquiera de los siguientes: Hashin, Hyogo-Ken-Nanbu, Prefectura del Sur de Hyogo)



Figura 7.1.2 (k) Ubicación de Kobe (www.hewett.norfolk.sch.uk)



Figura 7.1.2 (l) Colapso de entrespacio a mitad de de altura (www.hewett.norfolk.sch.uk)



Figura 7.1.2 (m) Izquierda: Colapso de edificio de concreto bloqueando la calle. Derecha: Destrucción de edificios por incendios que siguieron al sismo (www.hewett.norfolk.sch.uk y www.math.tohoku.ac.jp)

Casabonne (1995), refiere que este terremoto fue provocado por una falla subterránea que atraviesa un área superpoblada de Kobe, originando fuertes movimientos horizontales y verticales. El área comprendida entre la isla de Awaji y Nishi-nimiya, en la bahía de Osaka ((figura 7.1.2 (k)), fue la más afectada, dejando más de 100000 edificios destruidos, daños severos en la infraestructura vial y en los servicios de agua y desagüe por la destrucción de muchas tuberías y la ruptura de líneas de abastecimiento de gas y petróleo. La suma de estos daños influyó en la propagación de extensos incendios, ver figura 7.1.2 (m).

El sismo ocasionó licuefacción en extensas zonas de suelos granulares sueltos y saturados, por lo que muchos edificios con cimentaciones superficiales, se inclinaron y se voltearon, mientras que los que tenían cimentaciones profundas hasta la base sólida, quedaron en su lugar.

Con respecto a los daños producidos en las edificaciones, Casabonne (1995) reporta los siguientes:

- Algunos edificios de 2 a 3 pisos con estructura de pórticos de madera y de acero, con espacios abiertos en el primer piso y muros de relleno en los pisos superiores, fallaron porque el primer piso era más flexible que los pisos superiores (falla por piso blando).
- Algunos edificios de 4 a 10 pisos de concreto armado o de acero, fallaron porque en la arquitectura de estos edificios la configuración del sistema estructural fue deficiente, y los diseños de los elementos estructurales y no estructurales fueron inadecuados. Algunas de las fallas notorias de configuración, fueron: torsión en los edificios ubicados en esquina; choque entre edificaciones adyacentes, por poca junta de separación entre ellas; daños de edificios con vigas fuertes y columnas débiles; daños por reducciones bruscas de plantas en elevación; entre otras.
- Influencia de fuerzas adicionales significativas por efecto de la aceleración vertical, lo cuál ocasionó colapsos a media altura de los edificios por la falla de columnas, ver figura 7.1.2 (l).

Con respecto a los daños producidos en la infraestructura vial, cabe resaltar el volcamiento de la vía expresa elevada, debido a que el tablero de la losa estaba soportado transversalmente en voladizo sobre columnas dispuestas longitudinalmente en una fila, ver figura 7.1.2 (n). En contraste, tuvieron buen comportamiento de los viaductos cuyos tableros estaban soportados transversalmente en pórticos con dos columnas. Casabonne (1995)



Figura 7.1.2 (n): Volcamiento de autopista elevada. Nótese que la autopista se soportaba en voladizo sobre columnas dispuestas en una fila. Terremoto Kobe 1995. (Kuroiwa, 2002)

f. Terremoto de Cariaco 1997, Venezuela



Fecha : 09 – 07 – 1997 M_w : 6.9
 Epicentro : 10 km Muertes : 80

Figura 7.1.2 (ñ) Ubicación de zonas afectadas (Cumana y Cariaco). (Adaptación <http://midas.upr.clu.edu>)

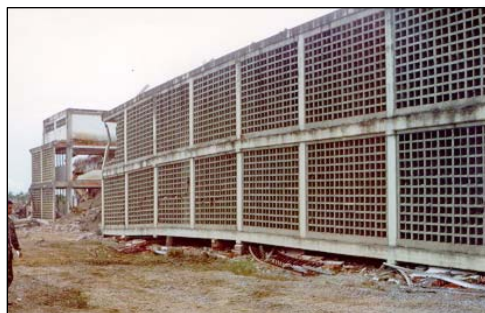


Figura 7.1.2 (o) Colapso del primer piso del Liceo Raymundo Martínez debido a deficiencias constructivas. (<http://midas.upr.clu.edu>)



Figura 7.1.2 (p) Falla debido a estructura de pórticos muy flexibles. Escuela Valentín Valiente. (<http://midas.upr.clu.edu>)

El terremoto ocurrió debido a la ruptura de la falla denominada “El Pilar” en el límite entre la placa del Caribe y la placa de Sur América, ver figura 7.1.2 (ñ).

La ciudad más afectada fue Cariaco, por su cercanía al epicentro. Las edificaciones derrumbadas estaban sólo a unos 600 m de la traza de falla. Colapsaron dos centros educativos: la Escuela Básica Valentín Valiente y el Liceo Raimundo Martínez Centeno. La falla de estos edificios provocó la muerte de 23 personas, entre estudiantes y maestros. Muchas viviendas se destruyeron o tuvieron fuertes daños. También se observaron muchos daños en el suelo, tales como licuefacciones y deslizamientos.

El Liceo Raimundo Martínez de 3 niveles, se caracterizó por las fallas de las columnas del primer nivel. En el primer nivel se generó piso blando, debido a la existencia de pocos muros con respecto a los pisos superiores. El tercero y segundo nivel quedaron en pie con el segundo piso directamente apoyado sobre el terreno, se apreciaron fallas por columna corta, figura 7.1.2 (o).

La escuela Valentín Valiente, constituida por dos pabellones, se desplomó debido a la ausencia de vigas, poco peralte de las columnas en la dirección longitudinal, presencia de columnas cortas. En general poca rigidez y resistencia en la dirección longitudinal hicieron que ambos pabellones fallaran, figura 7.1.2 (p).

La ciudad de Cumaná, ubicada a 70 km del epicentro, también fue afectada con el colapso del edificio de oficinas, “Miramar”, de 6 pisos, con 21 muertos. Los mayores daños detectados se dieron en edificaciones de concreto armado debido a la poca rigidez lateral en una o dos direcciones, columnas cortas, pisos de concreto con grandes aberturas, distribuciones asimétricas de planta. (Quiun (2004), López (2004), www.eeri.org/lfe.html, ww.Funvisis.org.ve).

g. Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador, 1998

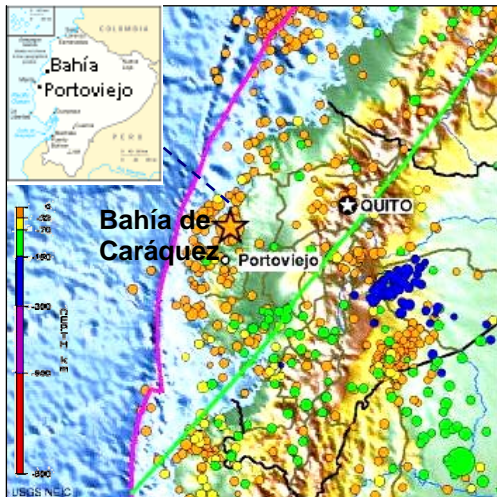


Figura 7.1.2 (q) Ubicación del epicentro.

Fecha : 04 – 08 – 1998 M_w : 7.0
Epicentro : 10 km

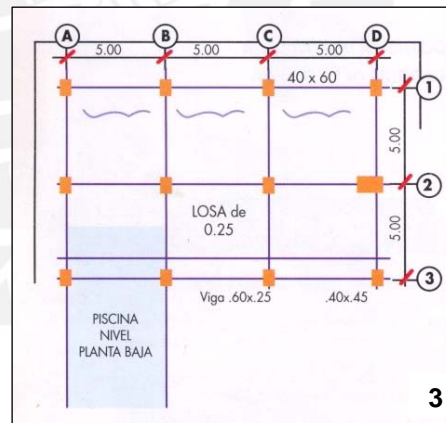


Figura 7.1.2 (r) Edificio Spondilus: Agrietamiento en la losa y desprendimiento de mampostería,

El terremoto se originó por la subducción entre las placas de Nazca y la Sudamericana, en la zona central del Ecuador. El epicentro estuvo ubicado a 10 km del noroeste de la Bahía de Caráquez y a 55 km al norte de Portoviejo. Ver figura 7.1.2 (q). Debido a los grandes daños que ocasionó, alcanzando intensidades de VII a VIII MM. Es considerado como uno de los sismos más importantes ocurridos en el Ecuador, aún cuando en el pasado ocurrieron sismos más severos. La ciudad de Bahía de Caráquez, se asienta sobre depósitos de arena saturada. Muchos edificios nuevos de concreto armado eran de mediana altura (6 a 12 pisos), con las características arquitectónicas-estructurales siguientes:

- Empleo de pórticos de concreto armado, con espacios libres en el primer piso y en los pisos superiores muros de relleno y abundante tabiquería de albañilería.
- Entrepisos muy altos, con muros de relleno y tabiques muy altos.
- Voladizos grandes entre 2 a 3.5 m y luces excesivas entre columnas.
- Uso de vigas chatas en una dirección de los pórticos.
- Falta de arriostramiento en la tabiquería.
- Disposiciones asimétricas en planta.
- Pesos excesivos, por recubrimientos gruesos y otros.

Las características mencionadas, sumadas a las condiciones locales del suelo ocasionaron fallas tales como: piso blando, columna corta, daños en los muros de relleno y tabiquería, desprendimientos en los recubrimientos, daños en las instalaciones eléctricas y sanitarias. La figura 7.1.2 (r), muestra los daños ocasionados en el edificio “Spondilus”. El edificio, tenía 9 niveles más azotea. Correspondía a una estructura aporticada, con vigas chatas, en los tramos delimitados por los ejes 2-3 y B-C. En la vista 1, se muestran agrietamientos y desprendimientos de mampostería de fachada. En las vistas 2 y 3 se muestran el agrietamiento de la losa en la dirección paralela al eje 1. (Jeannette Fernández (1998), Quiun (2004)).

h. Terremoto de Armenia / Quindío – Colombia, 1999.



Figura 7.1.2 (s) Ubicación del área afectada. (<http://maps.expedia.com>)

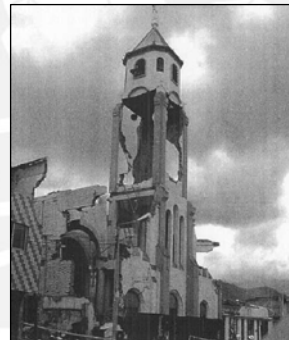


Figura 7.1.2 (t) Colapso de muros de relleno de la torre de una iglesia. Nótese los pórticos de concreto en la torre, sin daños. Armenia 1999. (www.eeri.org/lfe.html)



Figura 7.1.2 (u) Colapso del edificio de la estación de Policía – Armenia 1999. (Quiun 2004)

El epicentro de este sismo se localizó a 16 km de la ciudad de Armenia-Quindío y a 48 km de la ciudad de Pereira-Risaralda, las cuáles fueron afectadas con severos daños. Kuroiwa (1999), señala que aunque la magnitud del sismo fue moderada, la intensidad fue muy alta en las zonas cercanas al epicentro, porque el foco estuvo a menos de 30 km de profundidad, figura 7.1.2 (s).

Los daños se concentraron en la zona de suelos blandos y de relleno, en Armenia y Pereira debido a la amplificación sísmica. Los daños fueron severos en las edificaciones típicas, en ambas ciudades, constituidas por pórticos de concreto armado con tabiques de albañilería de relleno sin refuerzo y conectadas a los pórticos sólo con mortero.

En la mayoría de las estructuras de pórticos, los tabiques de relleno fueron los más dañados, dejando a los edificios afectados sin funcionamiento. Los pórticos no experimentaron mayores daños, con excepción de edificaciones antiguas construidas antes de 1984, ver figura 7.1.2 (t). También se presentaron fallas por torsión y columnas cortas.

En particular, colapsaron la estación de policía (figura 7.1.2 (u)) y de bomberos, que son edificaciones esenciales. La muerte de varios de estos servidores públicos y la destrucción de los carros bomberos, originó gran caos en las horas siguientes al sismo, lo que tomó varios días en controlarse.

En conclusión, los daños se debieron a la mala calidad de los suelos; edificios de pórticos de concreto armado, muy flexibles con tabiques de albañilería de relleno; y construcciones antiguas. (Quiun (2005), Aguiar (1999), www.eeri.org)

7.2 SISMICIDAD EN EL PERÚ Y ALGUNOS SISMOS NOTABLES

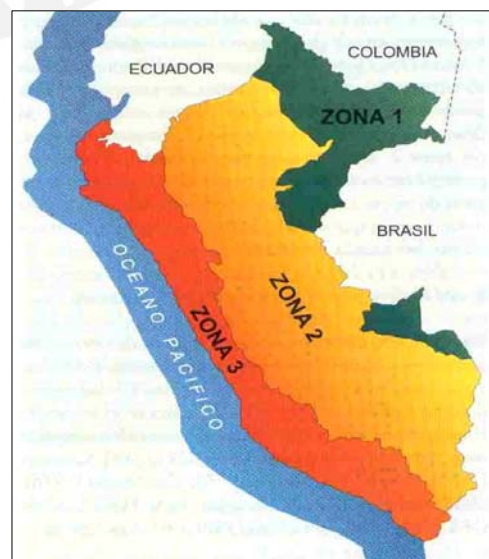
7.2.1 Sismicidad

El Perú está localizado en una zona de alto riesgo sísmico, donde la mayor actividad sísmica (90% aproximadamente) se desarrolla en el Cinturón Circum-Pacífico, en la zona del borde oeste de América del Sur. En esta zona se da la convergencia o subducción, de la placa oceánica de Nazca que se introduce por debajo de la placa Continental Sudamericana, generando terremotos de magnitud elevada, conocidos como **terremotos interplaca** (falla producida entre los bordes de la placa oceánica y la placa continental).



Figura 7.2.1 (a) Subducción de la placa de Nazca debajo de la Placa sudamericana en la costa del Perú (Adaptación, Kuroiwa 2002)

Figura 7.2.1 (b) Zonas Sísmicas del Perú
 Zona 3: Alta Sismicidad
 Zona 2: Mediana Sismicidad
 Zona 1: Baja Sismicidad
 (Kuroiwa 2002)



El 10% restante de actividad sísmica en el Perú, está producida por fallas geológicas activas, distribuidas en la cordillera de los Andes con terremotos menos frecuentes y de menor magnitud, los cuáles son conocidos como **terremotos intraplaca** (la falla se produce en el interior de la placa continental). Tavera (1993), refiere que las principales fallas activas del Perú son: Tambomachay (Cuzco), Cordillera Blanca (Ancash), Huaytapallana (Junín), Quiches (Ancash), Rioja – Moyobamba (San Martín).

7.2.2 Algunos sismos notables en el Perú

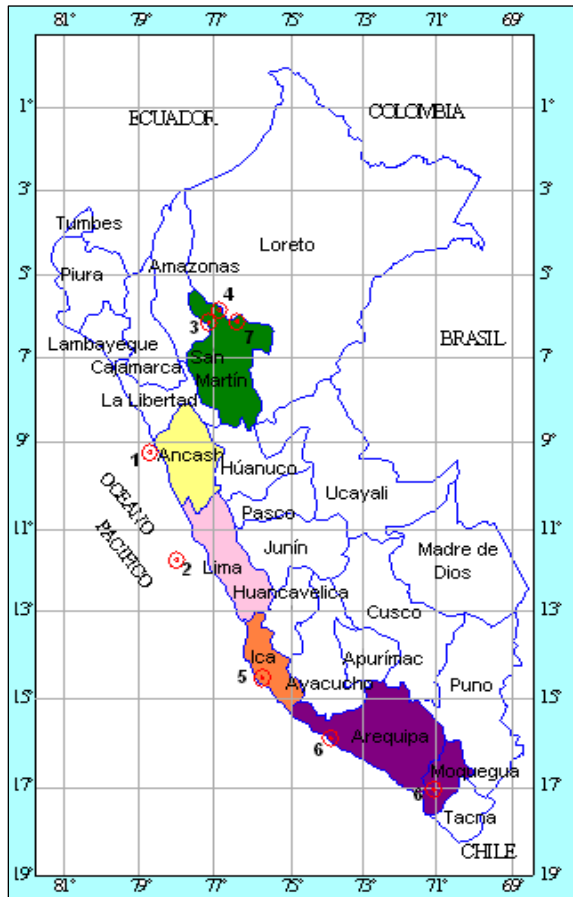


Figura 7.2.2 (a) Ubicación de los sismos escogidos. Datos de parámetros: Silgado 1981; Quiun 1997; CIP 2001; www.igp.gob.pe

N°	Lugar	Año	Magnitud	Muertos
1	Ancash	1970	$M_L = 7.7$	50 000
2	Lima	1974	$M_L = 7.5$	78
3	Rioja	1990	$M_L = 7$	135
4	Moyobamba	1991	$m_b = 6 - 6.5$	53
5	Nazca	1996	$m_b = 6.5$	17
6	Arequipa – Moquegua – Tacna	2001	$M_W = 8.4$	83
7	Lamas	2005	$M_L = 7$	5

Nota: M_L = Escala local de Richter
 M_s = Escala medida con las ondas superficiales
 m_b = Escala medida con las ondas de cuerpo P
 M_w = Escala de Kanamori, utilizada cuando las escalas m_b y M_s se saturan en sismos entre 6.5 y 6.7

Silgado (1978), describe la ocurrencia de los terremotos que se han producido en el Perú entre los años 1582 a 1974, señalando: parámetros sísmicos, pérdidas y daños de vida y materiales, además de otros efectos producidos como consecuencia de cada uno de estos sismos ocurridos en el país. Esto constituye un valioso aporte en el estudio de la sismicidad del país y en la implementación de técnicas y normas para el diseño y construcción de estructuras sismorresistentes.

En base a lo que antecede y con las informaciones de otros autores acerca de los sismos ocurridos después de 1974, se han elegido, algunos sismos ocurridos entre 1970 y 2005, coincidentes con la época de la implementación de los códigos de diseño de edificaciones sismorresistentes en el Perú, para ilustrar la sismicidad del país, los daños sísmicos que se observan y los avances logrados con la implementación de los códigos. Los terremotos escogidos son: Ancash 1970, Lima 1974, San Martín (1990, 1991, 2005), Nazca 1996, Arequipa-Moquegua-Tacna 2001, figura 7.2.2 (a).

a. Terremoto de Ancash, 31 de mayo de 1970



Figura 7.2.2 (b) Terremoto Ancash 1970:
Arriba: Calle y viviendas típicas antes y después del terremoto - Huaraz
Abajo: Colegio en Chimbote con falla de columnas cortas.
(www.huaraz.org y D. Quiun)

El terremoto afectó el departamento de Ancash y parte de los departamentos de La Libertad, Lima y Huánuco. Las localidades más afectadas fueron Yungay, Huaraz, Casma, Chimbote. Posterior al sismo se produjo una avalancha en Yungay, desapareciéndola por completo.

Husid (1976), señala que aunque la magnitud del sismo ocurrido no corresponde a un gran terremoto, éste alcanzó grandes intensidades en zonas donde el material de construcción más generalizado, era el adobe, figura 7.2.2 (b)-arriba. Refiriéndose a los daños producidos en la ciudad de Huaraz, manifiesta textualmente: "Fue la ciudad del Callejón más severamente destruida por las sacudidas del terremoto. Los edificios de adobe al sur del río Santa resultaron completamente destruidos. La catedral, una estructura de albañilería ubicada en la plaza de Armas, sufrió colapso parcial y no hay posibilidades de repararla. Sin embargo, en medio de tanto desastre, hay edificios de concreto armado y edificios de albañilería que resistieron muy bien".

Kuroiwa (2002), reporta que muchos de los daños en edificaciones de concreto armado, con muros de relleno de ladrillo, se debieron a malas configuraciones: columnas cortas, torsión en planta por ubicaciones asimétricas de los elementos resistentes, falta de rigidez lateral en una de las direcciones, poca separación entre edificios, figura 7.2.2 (b)-abajo

b. Terremoto de Lima, 3 de octubre de 1974



Figura 7.2.2 (c) Terremoto de Lima 1974. **1 y 2:** UNALM, fallas de columnas. **3 y 4:** Un centro educativo superior al sur de Lima, con falla de columna corta. (D. Quiun y Kuroiwa, 2002)

El epicentro de este terremoto ocurrió a una distancia de 90 km de la ciudad de Lima. Ocasiónó daños en varias construcciones antiguas de adobe en las zonas de Chorrillos, Barranco, Miraflores, Rímac y Cercado, debido a su mal estado de conservación. En estas zonas las edificaciones de ladrillo y concreto tuvieron pocos daños.

Repetto (1980) indica que en la Campiña, La Molina y El Callao, algunas estructuras modernas sufrieron daños debido a fallas estructurales ocasionadas por la amplificación sísmica de los suelos blandos que conforman estas zonas.

Las estructuras dañadas fueron pórticos flexibles de concreto armado con tabiques de relleno. Se presentaron daños en la tabiquería y en las columnas por efecto de columna corta o porque las columnas en los espacios abiertos carecían de cantidad suficiente de estribos en sus extremos unidos a las vigas o a la cimentación, figura 7.2.2 (c)-vistas 3 y 4.

En la Universidad Agraria La Molina, gran parte de las construcciones de concreto armado sufrieron daños severos. El sistema estructural del aula mostrada en la figura 7.2.2 (c)-vista 1, estaba conformado por pórticos de un solo piso y techo de losa aligerada. La tabiquería estaba independizada de los pórticos. Los pórticos estaban conformados por vigas de gran peralte, y columnas muy flexibles distanciadas a 13 m, lo cuál, ante el terremoto, ocasionó que las columnas fallaran antes que las vigas, figura 7.22 (c)-vista 2, Ottazzi (1978).

c. Terremotos en el departamento de San Martín (Rioja 29 de mayo de 1990, Moyobamba 4 de abril de 1991, Lamas 25 de Setiembre 2005)

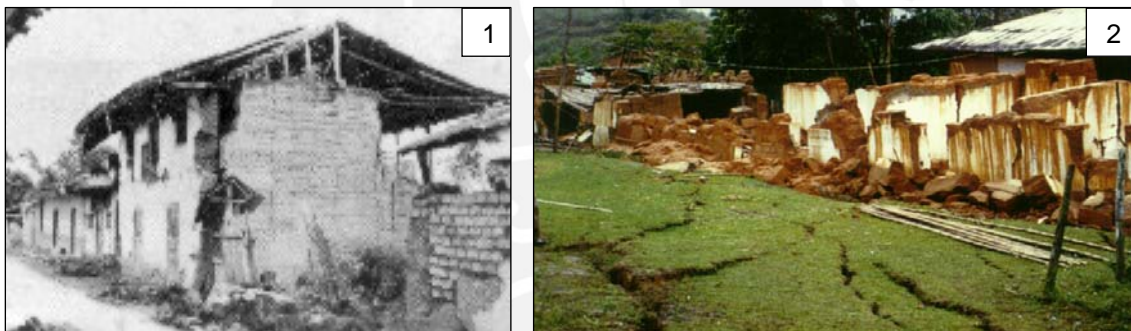


Figura 7.2.2 (d) Terremoto de San Martín 1990 – 1991

1: Daños en vivienda de adobe. (www.predes.org.pe)

2: Colapso de vivienda de tapial, agrietamiento del terreno por licuefacción.(CISMID)



Figura 7.2.2 (e) Terremoto de San Martín 2005, falla típica de esquina en vivienda de adobe, Lamas.

(<http://moyobamba.net/terremoto/index.htm>)

Tavera (2005), informa que los terremotos de Rioja 1990 y Moyobamba 1991 son de tipo intraplaca, originados en el sistema de fallas de Moyobamba, ambos con focos superficiales ubicados a profundidades menores de 30 km. En cambio, el terremoto de Lamas de 1995 ha tenido su origen en la deformación interna de la placa de Nazca, que se moviliza por debajo de la cordillera de los Andes en profundidades de 100 a 120 km.

Muchas viviendas quedaron afectadas por ser predominantemente de adobe y de tapial, figura 7.2.2 (d) y (e). En el terremoto de 1991, 78 viviendas de quincha mejorada, no sufrieron daños (www.infodes.pe) demostrando que las estructuras muy livianas tienen buen comportamiento sísmico.

d. Terremoto de Nazca , 12 de noviembre 1996

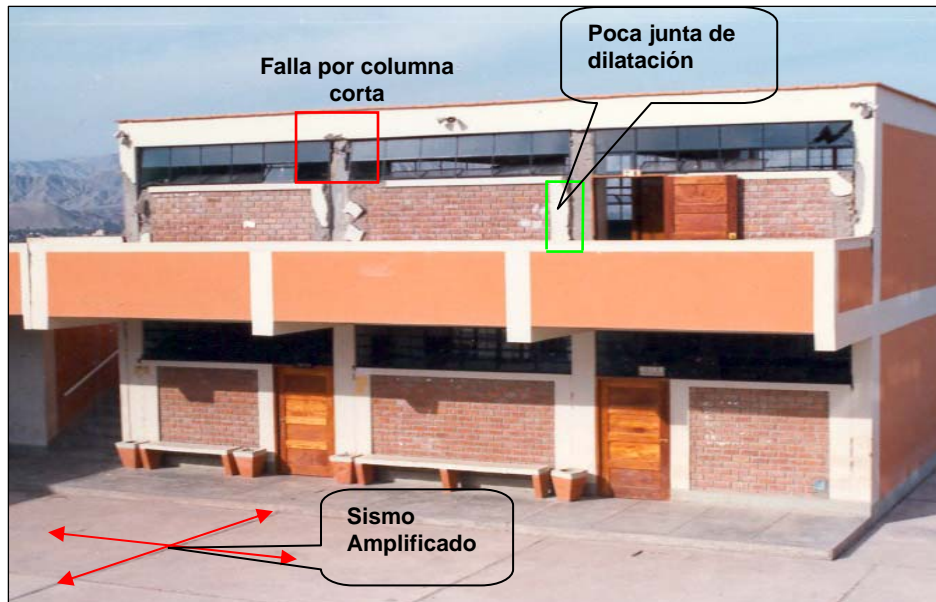


Figura 7.2.2 (f) Falla por columna corta originado por gran desplazamiento lateral, C. E. Fermín del Castillo, ubicado en la zona más alta del distrito de Vista Alegre, Quiun 1997

Este sismo se originó por la subducción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental suramericana, siendo las localidades más afectadas, Marcona, Nazca, Palpa e Ica.

Quiun (1997), señala, que aunque el sismo tuvo intensidad moderada, una gran cantidad de estructuras aporricadas de concreto armado de dos a tres pisos tuvieron daños importantes, especialmente locales escolares, repitiéndose una vez más, los daños por columnas cortas.

La mayoría de los daños ocurrieron en viviendas de adobe antiguas y nuevas, observándose que las estructuras antiguas respondieron mejor que las nuevas, debido a la mejor calidad del adobe, mejor cimentación y a un mayor espesor (0.50m mientras que las nuevas tienen sólo 0.20m).

También refiere que se pudo observar el fenómeno de amplificación sísmica en la zona más alta del distrito de Vista Alegre, donde se ubican los colegios Fermín del Castillo (fig. 7.2.2 (f)) y José C. Mariátegui, que en ese entonces tenían antigüedad de un año. Si bien en apariencia no debía darse el efecto de columna corta, por tener los tabiques de las ventanas aislados de las columnas a través de juntas, al parecer con la amplificación del movimiento del suelo, los desplazamientos originados en los edificios fueron superiores a los considerados en el diseño, formándose columnas cortas en varios casos.

e. Terremoto de Atico, 23 de junio de 2001

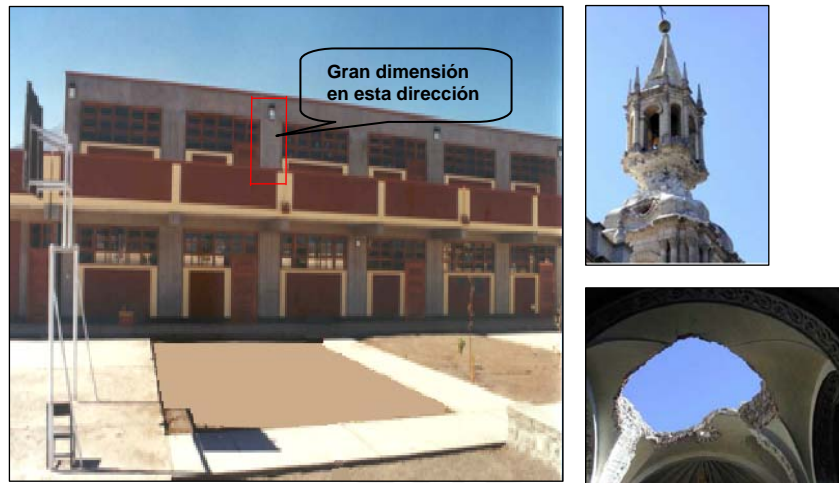


Figura 7.2.2 (g) Terremoto de Atico, 2001, efectos en Arequipa. Izquierda: Colegio Infes sin daños. Tiene columnas rígidas en la dirección del corredor y muros estructurales en la dirección transversal. Derecha: Torre derecha después del terremoto y perforación de la bóveda producida por el colapso de la torre izquierda (www.eeri.org)



Figura 7.2.2 (h) Terremoto de Atico, 2001, efectos en Tacna. Falla de columna corta en una municipalidad distrital de Ciudad Nueva, Tacna (www.eeri.org)



Figura 7.2.2 (i) Terremoto de Atico 2001, efectos en Moquegua. Edificio de una planta en llo, con estructura de pórticos de concreto armado y albañilería de relleno. Nótese daños en la albañilería (www.eeri.org)

El terremoto se originó por la subducción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Suramericana, afectando los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua, Tacna en Perú, y Arica en Chile, con intensidades hasta de VIII MM. Media hora después se generó un tsunami en la costa de Camaná.

CIP (2001), reportó que los daños en las capitales de Arequipa y Tacna no fueron tan graves como en Moquegua y en las provincias de Arequipa.

En la ciudad de Arequipa, hubo daños concentrados en el centro histórico. En la figura 7.2.2 (g)-derecha, se observan el soporte precario de la torre derecha y la perforación de la bóveda de la catedral, originada por la caída de la torre izquierda. También se produjeron daños en otras iglesias y locales antiguos de sillar. Por ejemplo, el colegio La Salle, construido en 1930 con pórticos de concreto armado y muros de sillar, tuvo daños importantes en los muros. El pabellón de 7 pisos del hospital ESSALUD construido entre los años 50 y 60, no tuvo daños en la estructura de concreto pero sí muchos daños en la tabiquería que motivaron su evacuación. En la Universidad de San Agustín, se encontraron daños por excesivos desplazamientos como columnas cortas, entre otros.

Los colegios Infes construidos después de 1997, tuvieron buen comportamiento sísmico, porque las columnas en la dirección del corredor tienen gran dimensión, ver figura 7.2.2 (g)-izquierda.

En Tacna, los daños se concentraron en los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva. Se dañaron estructuras de pórticos de concreto armado en dos y tres pisos, con una dirección flexible, compuesta por columnas poco peraltadas y vigas chatas. En la figura 7.2.2 (h), se muestra un edificio de pórticos flexibles con falla de columna corta.

En Moquegua, se encontraron la mayor cantidad de daños, debido a que existían mayor proporción de viviendas de adobe y edificios flexibles de concreto armado. Las edificaciones de concreto armado dañadas se caracterizaban por tener 2 a 3 pisos con columnas de .25x.25 m y vigas chatas de .25x.20m en la dirección paralela a la fachada. Los locales escolares antiguos de concreto armado, colapsaron porque se dio el efecto de columna corta. La figura 7.2.2 (i), muestra un edificio con daños en la albañilería por efecto de la deformación de los pórticos.

En Ocoña y Camaná los mayores daños ocurrieron en construcciones de adobe, madera y albañilería con concreto, ubicadas frente al mar, por efectos del tsunami.

7.3 METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Se utilizará la metodología participativa a través de la investigación y exposición grupal de cada uno de los temas que contienen este capítulo. Las estrategias de enseñanza; los medios y materiales; y la evaluación se describen a continuación.

7.3.1 Estrategias de enseñanza

Previamente a la repartición de trabajos se dará a conocer a los alumnos, la relación de los temas tratados en este capítulo, resaltando la importancia de cada uno de ellos en su formación profesional. Para lograr cumplir con los objetivos de este capítulo, el desarrollo de cada uno de los temas, deberá basarse en las siguientes recomendaciones:

a. Tema 1: sismicidad en el mundo y en el Perú

El grupo encargado, expondrá la ubicación geográfica de cada una de las zonas sísmicas en el mundo y en el Perú, con la relación de los lugares que conforman cada una de las zonas. El uso de mapas con las señalizaciones respectivas y material visual será obligatorio.

b. Temas referidos a sismos históricos

La cantidad de sismos pasados mundiales y peruanos a tratar, será concordante con la cantidad de grupos de alumnos.

Cada grupo encargado investigará un sismo histórico. Los datos que deben resaltarse son: 1) ubicación geográfica de las zonas afectadas (se recomendará complementar la ilustración con los mapas logrados por el grupo de sismicidad); 2) principales parámetros del sismo (fecha, epicentro, magnitud, número de muertos); 3) tipo de sismo (interplaca, intraplaca); 4) resaltar las consecuencias más importantes del sismo (daños de edificaciones, incendios, deslizamientos, licuación del suelo, etc.); 5) reflexiones acerca de las pérdidas de vida y pérdidas materiales; 6) reflexiones sobre los daños en las edificaciones esenciales (hospitales, centros educativos, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y de policías, subestaciones eléctricas, reservorios de agua); 7) reflexiones sobre los daños en la infraestructura vial y en los servicios básicos de agua, desagüe, electricidad, comunicación, gas, etc.

En este nivel, los alumnos, no tienen todavía una idea clara de los efectos y las consecuencias ocasionadas por los sismos (licuefacción, amplificación, daños en las estructuras por columnas cortas, pisos blandos, torsión, etc.). Sin embargo, por ahora sólo interesa que adquieran conciencia de la existencia de estos efectos, los que serán tratados al detalle en los capítulos 8, 9 y 10.

Se incentivará el intercambio de conocimientos entre los grupos, basado en que los temas siguen una secuencia. También se les motivará para que descubran la importancia de estos temas, en su formación de arquitectos.

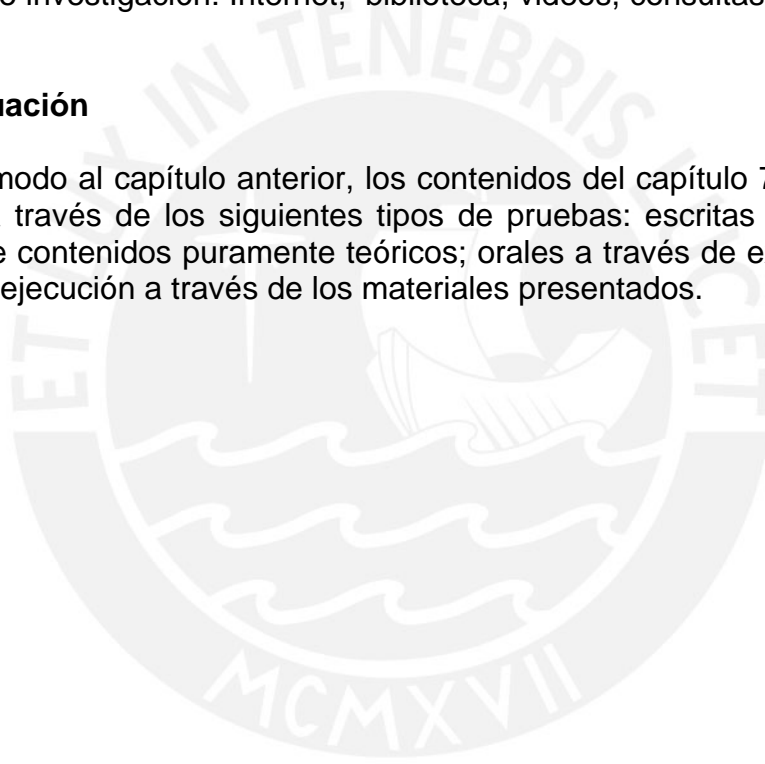
La exposición de cada uno de los grupos, se realizará siguiendo la secuencia indicada en los contenidos de este capítulo. Estos grupos expondrán los resultados y generarán el intercambio de pareceres para finalizar las conclusiones generales. Para lograr esto, después de cada exposición y previo a la siguiente, el docente, debe hacer las aclaraciones y comentarios al tema expuesto, con algunas preguntas al respecto. La participación del docente, será permanente en cuanto a la evaluación de la veracidad de los contenidos y la asimilación de los conceptos. Se programará cada exposición para un tiempo máximo de 10 minutos. El tiempo empleado para esta clase, será de dos horas.

7.3.2 Medios y materiales

Similarmente al capítulo anterior, los alumnos pueden recurrir a toda forma de información e investigación: Internet, biblioteca, videos, consultas a expertos, y otros.

7.3.3 Evaluación

Del mismo modo al capítulo anterior, los contenidos del capítulo 7, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.



8. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL SUELO

El propósito de este capítulo es que el alumno de Arquitectura, conozca cómo es que las condiciones de suelo donde está ubicada la estructura, pueden influir en el grado de severidad de los daños ocasionados en ella. Las condiciones del suelo están directamente relacionadas a sus características, a la presencia o no de agua y a la topografía.

El suelo es el medio a través del cual se propagan las ondas sísmicas. En este proceso de propagación se producen cambios en las características del movimiento sísmico y en la estructura del suelo mismo. Si las condiciones del suelo no son favorables, puede ocurrir la amplificación de las ondas sísmicas, licuación, deslizamientos, fracturas y asentamientos diferenciales.

Según Kuroiwa (2002), como resultado de los estudios relacionados a las condiciones de suelos de los sismos ocurridos en diferentes partes del mundo, está demostrado que los cambios producidos por las condiciones locales del suelo en zonas cercanas entre sí, pueden causar diferencias sustanciales en las intensidades hasta de 3 ó 4 grados en la escala de Mercalli Modificada.

Para cumplir con el objetivo de este capítulo, está desagregado de la siguiente manera: 1) la amplificación de las ondas sísmicas; 2) la licuación; 3) los deslizamientos; y 4) las fracturas y asentamientos diferenciales.

8.1 AMPLIFICACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS.

Este fenómeno se produce cuando el material donde se apoya la edificación tiene un período natural de vibración que coincide con el de las ondas sísmicas emitidas desde el foco, magnificando de esta manera el movimiento sísmico. Ocurre en cualquiera de los siguientes casos: a) terrenos conformados por suelos blandos; b) terrenos ubicados en los bordes de mesetas, cimas y laderas de los cerros.

8.1.1 Amplificación sísmica en suelos blandos

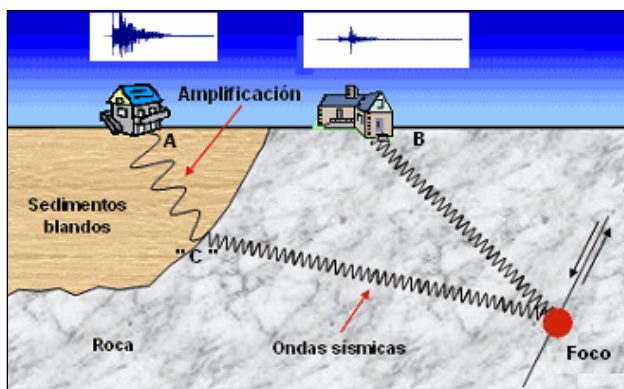


Figura 8.1.1(a) Cuando la onda viaja en roca no hay cambios, cuando llega a "C" y pasa a suelo blando, la onda se amplifica. (Adaptación, www.ineter.gob.ni)

La intensidad del movimiento sísmico del suelo es mayor en suelos blandos que en suelos firmes o rocosos. La figura 8.1.1(a), muestra la amplificación de la onda sísmica al pasar del lecho rocoso a suelo blando.

Algunos ejemplos que ilustran este fenómeno son los siguientes:

a. Terremoto de México 1985

En Ciudad de México los movimientos fueron muy intensos en una zona amplia de suelo blando, aún cuando se encontraba a una distancia aproximada de 430 km del epicentro, debido a la amplificación de las ondas sísmicas. Como consecuencia de ello, los movimientos sísmicos en la superficie tuvieron períodos de 2 segundos (Sauter 1989).

La intensidad en Ciudad de México fue igual al de la zona del epicentro (VIII – IX MM), mientras que en las zonas ubicadas entre ambas (suelos firmes e intermedios), la intensidad se redujo hasta VI MM.

Casos similares ocurrieron en México en los terremotos de 1845, 1911, 1957 y 1979, en los cuáles la propagación de intensidades, mantuvieron un patrón similar, tal como se ilustra en la tabla de Rosenblueth, mostrada por Ríos (1986).

Patrones similares de propagación de intensidades de terremotos ocurridos en México con epicentros en áreas próximas - Rosenblueth

Fecha	Magnitud	Intensidad zona epicentro	Intensidad en suelo blando
1845	7.9	IX	IX
1911	8.0	VII	VIII
1957	7.5	VII	VII
1985	8.1	VIII – IX	VIII - IX

La figura 8.1.1 (b) muestra las isosistas del sismo de México 1845, y la figura 8.1.1 (c) muestra las zonas más afectadas en la Ciudad de México en tres sismos.

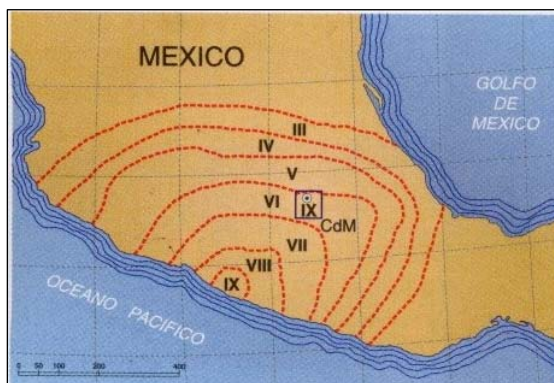


Figura 8.1.1 (b) Isosistas del sismo de 1845 para dar una idea de la variación de intensidades del terremoto 1985 (Kuroiwa 2002)



Figura 8.1.1 (c) Zonificación de suelo mexicano y sectores afectados. Kuroiwa, 2002.

Las intensidades desde la zona epicentral decrecen hasta llegar a Ciudad de México, donde en las zonas de suelo blando se amplifican las ondas y los daños. En 1985, el 95.6% de los daños ocurrieron en la zona C mostrada en el mapa de zonificación de la figura 8.1.1 (c) (Kuroiwa 2002).

b. El terremoto de Ancash de 1970

En el terremoto de Ancash de 1970, en la ciudad de Huaraz se pudo apreciar la influencia de las condiciones locales en los daños observados. La figura 8.1.1 (d) muestra un mapa de distribución de daños en construcciones de adobe de la ciudad de Huaraz, ocasionados por este terremoto. Se produjo amplificación de las ondas sísmicas y mucho daño en el centro de la ciudad de Huaraz, debido a que el material del suelo era blando y con presencia de agua subterránea. Puede apreciarse que en Centenario, donde el suelo es firme, las construcciones de adobe no sufrieron mayores daños.

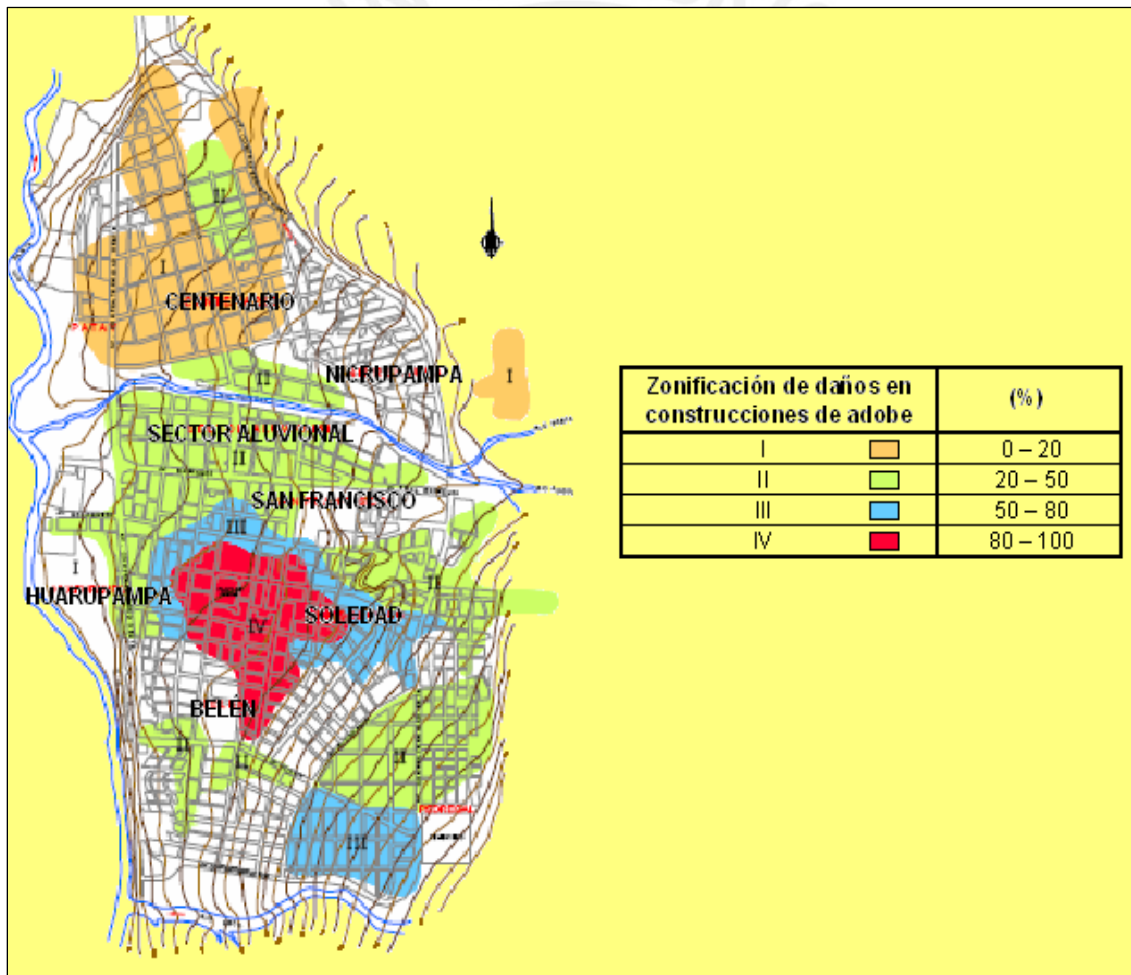


Figura 8.1.1 (d) Mapa de distribución de daños en adobe en Huaraz –Terremoto, Ancash 1970 (Adaptación: www.cismid-uni.org)

c. Los terremotos de Lima en los años 1940, 1966 y 1974

Según Kuroiwa (2002), estos terremotos ocurrieron con magnitudes variables entre 7.0 y 8.2, con mayor intensidad de daños en el Callao y el distrito de La Molina, alcanzando el grado IX MM, por tratarse de suelos blandos. En el resto de Lima, los daños fueron menores con una máxima intensidad de VII MM, debido a que el suelo es de mejor calidad. La figura 8.1.1 (e) ilustra esta idea en base a experimentos reportados por Kuroiwa.

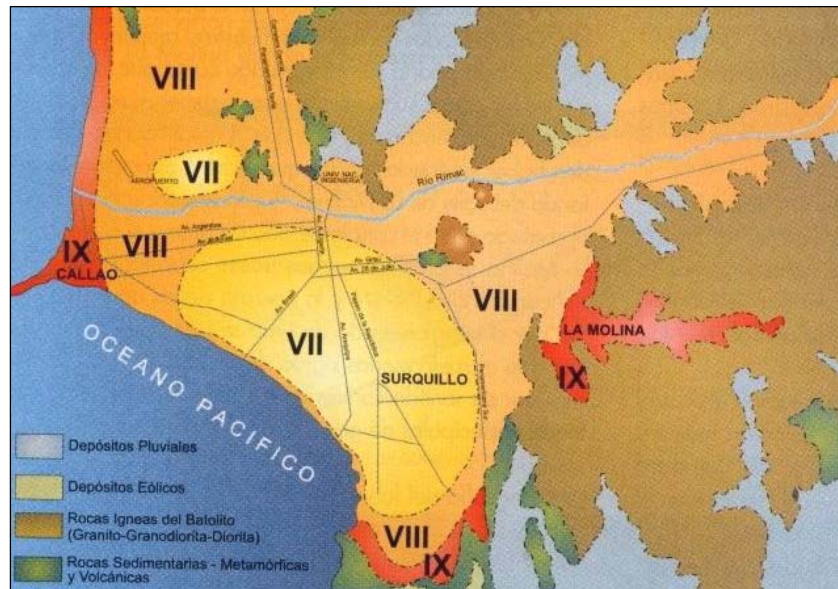


Figura 8.1.1 (e) Mapa de intensidades sísmicas probables en La Molina y otras zonas de Lima. (Kuroiwa 2002)

8.1.2 Amplificación sísmica en terrenos desfavorables

Diversos estudios y observaciones de los efectos de los terremotos han demostrado que la topografía del terreno influye en la amplificación del movimiento sísmico, cuando se trata de ubicaciones desfavorables, tales como los bordes de mesetas, cimas y laderas de los cerros (fig. 8.1.2 (a)).

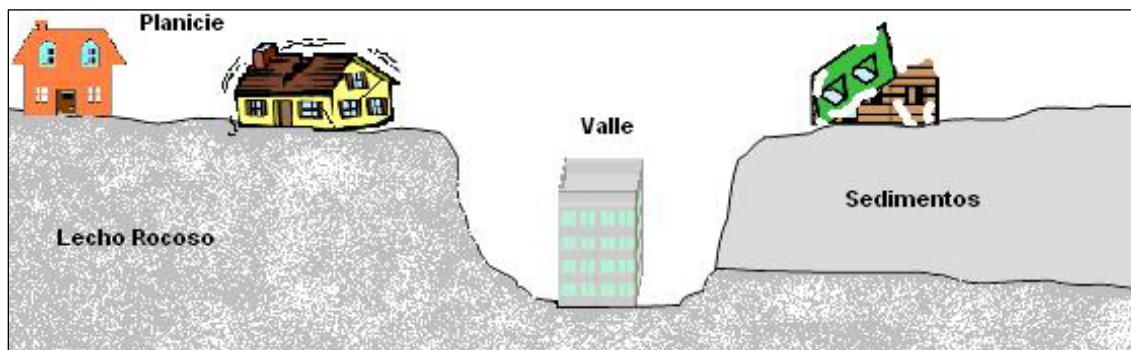


Figura 8.1.2 (a): Influencia de la topografía del terreno en el grado de severidad del movimiento sísmico. (Adaptación Sauter, 1989)

El terremoto de Chile 1985, ilustra este caso, ocurrido en el desarrollo habitacional “Canal de Beagle”, ubicado en los suburbios de Viña del Mar. Allí las edificaciones situadas en las cimas de los cerros, resultaron con daños muy severos debido a la amplificación sísmica que se produjo con respecto al suelo del valle, donde también se había producido amplificación debido a su suelo blando, pero con menor intensidad.

Según Sauter (1989), después del terremoto, se comprobó la influencia de la topografía en la intensidad del movimiento con registros simultáneos de varias réplicas en estaciones ubicadas en tres zonas estratégicas: 1) suelo rocoso de Valparaíso; 2) el valle de “Canal Beagle”; y 3) en la cima y cresta de los cerros de “Canal Beagle”.

Se observó amplificación del movimiento sobre suelo blando del valle con respecto al suelo rocoso de Valparaíso y mayor amplificación en la cima de los cerros, con respecto al valle. También se comprobó que los edificios de 4 y 5 pisos ubicados en la cima, sufrieron mayor daño porque sus períodos coincidían con los del movimiento del suelo.

8.2 LA LICUACIÓN O LICUEFACCIÓN DE SUELOS

Se produce cuando un suelo arenoso y saturado pierde su capacidad para soportar carga y se comporta como si fuera un lodo líquido. Los suelos susceptibles de licuación son los limosos, arenosos y de rellenos.

En la figura 8.2 (a) se ilustran las etapas principales de un proceso de licuefacción.

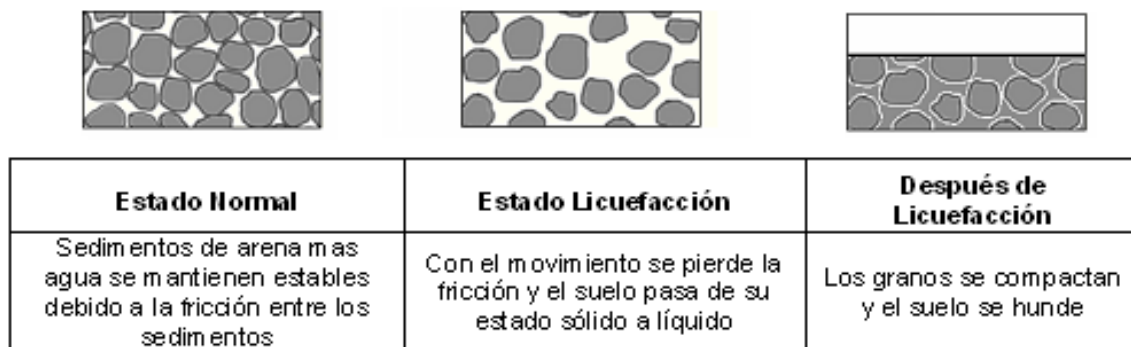


Figura 8.2 (a) Proceso de Licuefacción.
(Adaptación www.showme.net)

En la figura 8.2 (b), se ilustran los efectos de la licuefacción en las estructuras, según se detalla a continuación:

Vista 1, cuando la arena saturada es sometida a vibraciones intensas el flujo de agua asciende hacia la superficie.

Vista 2, restos de arena expulsada por volcanes, mezclada con agua.

Vista 3, muestra uno de los efectos de la licuefacción en un edificio que se ha inclinado.



Figura 8.2 (b) Efectos de Licuefacción.
(Adaptación de <http://maximus.ce.washington.edu>)

Los efectos que produce la licuación en estructuras pesadas (edificios, apoyos de puentes y otros) son: hundimiento, inclinación y volteo de las estructuras.. Cuando las estructuras son livianas, éstas flotan, ejemplo las cajas de desagüe. Algunos ejemplos de licuación de suelos son expuestos a continuación.

a. El sismo de Niigata de 1964

Las figuras 8.2(c), 8.2 (d) y 8.2 (e), muestran los efectos de licuación en estructuras pesadas y livianas.



Figura 8.2 (c) Puente Showa – Niigata 1964.
Colapsó por falla de pilares, recién terminado de construir.
www.cee.uiuc.edu

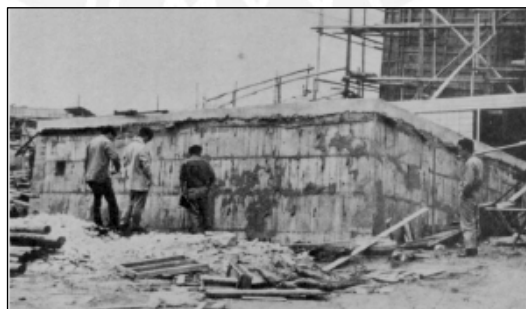


Figura 8.2 (d)
Levantamiento de tanque de tratamiento de aguas servidas
Niigata 1964
(www.ce.berkeley.edu)



8.2 (e) Inclinación y volteo de los edificios de apartamentos en Kawagishico
(www.ce.washington.edu)

b. El sismo de Kobe de 1995

Casabonne (1996), señala que la licuación de suelos ocasionada por este sismo, en extensas áreas de terrenos que contenían suelos granulares saturados, produjo dos efectos opuestos: uno perjudicial por la pérdida de capacidad portante del suelo de cimentación y otro beneficioso, que se presentó en algunos casos, como disipador de energía sísmica.



Figura 8.2 (f) Edificio inclinado en suelo con licuefacción. Kobe 1995.
www.seismo.unr.edu



Figura 8.2 (g) Fenómeno de licuación. Kobe 1995
www.seismo.unr.edu

c. Los sismos del Perú

Por efecto de los sismos en el Perú, el fenómeno de licuación de suelos se ha presentado en la costa, sierra y selva alta, con mayor incidencia en la costa, según los estudios efectuados por Alva (2002).

Algunos casos de licuación son:

- **Los dos sismos que ocurrieron en el valle del Alto Mayo (Rioja y Moyobamba)**, el 29 de mayo de 1990 y el 4 de abril de 1991, ocasionaron licuación de suelos, pese haber tenido magnitudes moderadas. Los suelos de la zona están constituidos por arenas finas saturadas, localizadas en las márgenes de los ríos principales y quebradas. Ver figuras 8.2 (h) y 8.2 (i).



Figura 8.2 (h) Agrietamiento del terreno en Carretera Moyabamba – Puerto Tahuisco. Terremoto 1990. CISMID



Figura 8.2 (i) Daño estación de bombeo y subestación eléctrica debido a licuación del suelo – Terremoto 1991. CISMID

• **El sismo de Ancash de 1970**, produjo licuación de suelos en Casma, Puerto Casma y en zonas cercanas al litoral de Chimbote. Se produjeron grietas en el terreno, afectando a las construcciones que se encontraban en la zona. Ver figura 8.2 (j).



Figura 8.2 (j) Licuefacción de suelo en Chimbote, Terremoto 1970. (Kuroiwa 2002)

8.3 DESLIZAMIENTOS DE SUELOS

Son causados por la violenta sacudida del terreno en ubicaciones al pie de taludes o sobre ellos. Algunos ejemplos de deslizamientos de suelos ocurridos por sismos en el Perú y el mundo se ilustran a continuación.

a. Terremoto de Ancash de 1970

En el terremoto de Ancash de 1970, por efecto del movimiento del terreno, se desprendió una enorme masa de hielo, rocas, y lodo del nevado Huascarán. El aluvión se precipitó a la parte baja con gran velocidad, destruyendo parcialmente la ciudad de Ranrahirca y sepultando el poblado de Yungay. Ver figura 8.3 (a).

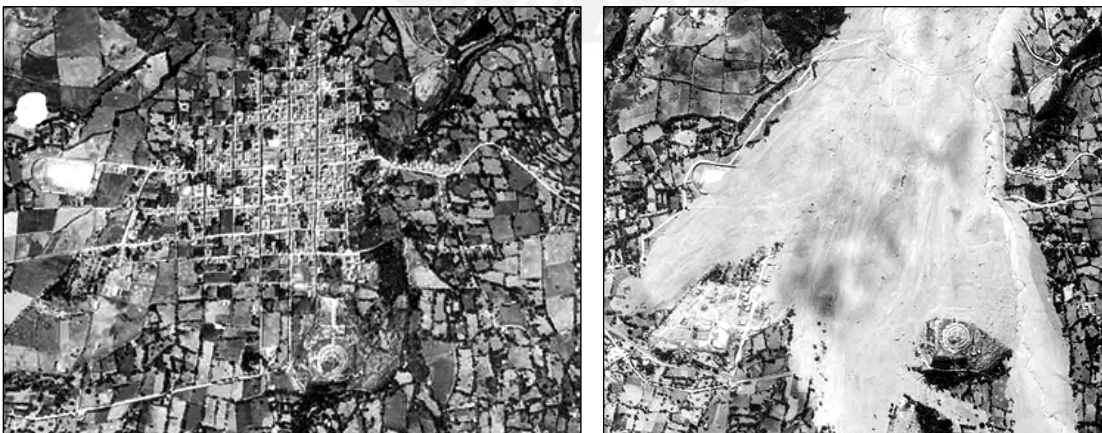


Figura 8.3 (a) Antes y después del aluvión de Yungay. Terremoto Ancash 1970. (www.huaraz.org)

b. Terremoto de Guatemala de 1976 y el terremoto de Anchorage 1964

- El terremoto de Guatemala 1976, afectó a los pobladores que tenían sus viviendas ubicadas en el borde superior de las pendientes o al pie de terrenos abruptos, donde se ocasionaron fuertes deslizamientos. Ver figura 8.3 (b)



Figura 8.3 (b) Deslizamientos producidos por el terremoto de Guatemala 1976. (www.ngdc.noaa.gov)

- Otro caso de deslizamiento es el ocasionado por el terremoto de Anchorage de 1964. Ver Figura 8.4 (b)

8.4 FRACTURAS Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

- Son producidas por la compactación del movimiento sísmico en suelos granulares sin cohesión. Sauter (1989) señala que los asentamientos debidos a compactación conducen a asentamientos diferenciales del terreno y de las construcciones. Otros efectos pueden ser la producción de fracturas en el terreno y el colapso de rellenos de tierra saturados y mal compactados. Ver figuras 8.4 (a) y 8.4 (b).



Figura 8.4 (a) Pared colapsada debido a asentamiento del terreno, Sismo Damas – Costa Rica 2004. (www.fing.ucr.ac.cr)



Figura 8.4 (b) Deslizamientos y depresiones del terreno – Turnagain Heights, causado por el terremoto de Anchorage 1964. (www.showme.net)

8.5 METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Será participativa a través de investigaciones bibliográficas, acompañadas de trabajos de campo y consultas con los expertos de los organismos competentes del entorno (municipalidades, defensa civil, colegio de ingenieros, facultades de ingeniería civil, etc.). Se buscará que en el proceso de investigación, los alumnos vayan descubriendo la importancia del conocimiento de estos contenidos en su formación y su futuro desempeño profesional. A continuación se describen las estrategias de enseñanza; los medios y materiales; y la evaluación.

8.5.1 Estrategias de enseñanza

Los cuatro temas que contiene este capítulo, serán repartidos a cada uno de los grupos de trabajo (en lo posible, integrado por un máximo de dos alumnos). Los temas a investigar serán: amplificación de las ondas sísmicas, licuación, deslizamientos, fracturas y asentamientos diferenciales.

Las recomendaciones generales para investigar cada uno de estos conceptos, serán las siguientes:

- Dar el significado de cada uno de estos conceptos
- Señalar las características de las propiedades de los suelos y de su topografía en la influencia de estos fenómenos.
- Mencionar ejemplos de sismos pasados en el Perú y en el mundo, donde se hayan dado estos fenómenos. Resaltar las consecuencias.
- Averiguar si en la localidad existe un estudio de microzonificación sísmica.
- Identificar en la ciudad y alrededores, zonas susceptibles a estos fenómenos.
- Fundamentar la importancia de estos conocimientos en el desempeño profesional de un arquitecto.

Cada grupo debe exponer los resultados de la exposición, con las aclaraciones pertinentes de la cátedra, cuando sea necesario. Deberá darse lugar a un debate.

8.5.2 Medios y materiales

Los alumnos pueden recurrir a toda forma de información e investigación: Internet, biblioteca, videos, consultas a expertos, visitas obligatorias de campo.

8.5.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 8, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.

9. EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS ESTRUCTURAS

El propósito de este tema, es lograr que el alumno comprenda algunas características del movimiento vibratorio que se transmite al edificio, a través de su cimentación. Las aceleraciones originadas al moverse la masa del edificio, por inercia originan las fuerzas sísmicas. Los elementos resistentes verticales, que resisten las cargas gravitatorias, al tener desplazamientos laterales inducidos por los sismos, deben además trabajar para resistir las fuerzas sísmicas. Estas fuerzas sísmicas no dependen únicamente del grado de severidad del movimiento del suelo, sino también dependen de propiedades de la estructura misma, tales como su masa, sus propiedades dinámicas que definen su forma de vibrar, la capacidad que tienen para deformarse antes de fallar y su resistencia. De ahí la importancia que tiene este capítulo para la formación de los futuros arquitectos.

Los temas tratados en este capítulo son: 1) nociones estructurales que influyen en el comportamiento sísmico; y 2) tipos de sistemas estructurales para una edificación sismorresistente

9.1 NOCIONES ESTRUCTURALES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO

Los conceptos que se desarrollarán son: el significado de la configuración de los edificios; las propiedades de una estructura que influyen en su comportamiento sísmico; y la influencia del movimiento sísmico del suelo en el comportamiento de la estructura. Los dos primeros están relacionados a las características dinámicas, propias de la estructura y el último hace énfasis en el efecto de las condiciones locales en la respuesta.

9.1.1 Significado de la configuración de los edificios

La configuración de los edificios es de responsabilidad del arquitecto, quién estéticamente concibe la forma y el tamaño del edificio concordante al: uso, zona, medio ambiente, condiciones socioeconómicas del usuario y material que se empleará en la estructura.

En el proceso de configuración del edificio en proyecto, el arquitecto debe resolver aspectos arquitectónicos y aspectos estructurales, en forma integrada.

Aspectos arquitectónicos son el tamaño y la forma global de edificio, de acuerdo a la funcionalidad y estética de los ambientes y el aspecto global del edificio. El tamaño y la forma global también influyen directamente en las características estructurales dinámicas, como la distribución de masas y rigideces del edificio, las cuales definen el período y la forma de vibración, así como las fuerzas de inercia que se generan en un movimiento sísmico.

De otro lado, el arquitecto debe plantear y predefinir los elementos que conformarán la estructura, relacionados a su ubicación, material, tamaño, forma y cantidad. También define las características de los elementos no estructurales que son el material, las dimensiones y su ubicación (pisos, tabiques divisorios, parapetos, coberturas, etc.).

En conclusión, la configuración de un edificio, queda definida en el proyecto arquitectónico y consiste en definir su tamaño, su forma, su material, y la ubicación y el tamaño de los elementos estructurales y no estructurales.

Las figuras 9.1.1(a), (b), (c), muestran dos configuraciones diferentes de dos edificios ubicados en la misma calle con comportamientos estructurales diferentes ante el terremoto de Managua, Nicaragua en 1972. El Banco Central tuvo daños severos por la configuración asimétrica de sus elementos resistentes, mientras que el Banco América tuvo buen comportamiento estructural, por la simetría y uniformidad de la estructura.

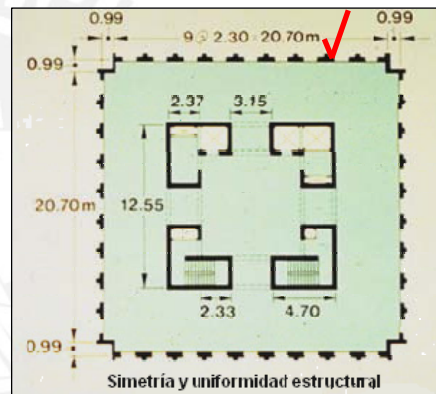
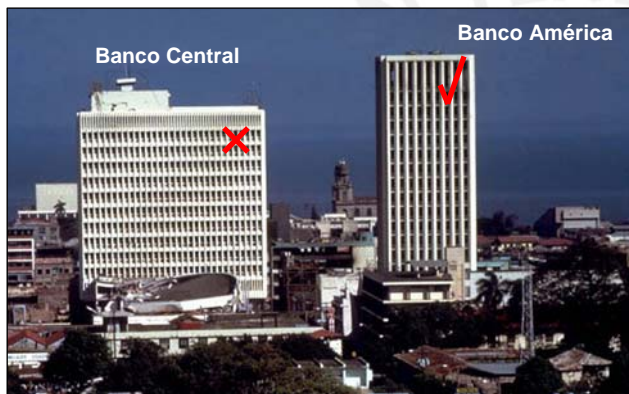


Figura 9.1.1 (a), Terremoto de Managua 1972
Banco Central, 15 pisos + 2 sótanos
Banco América, 17 pisos + 2 sótanos.
www.proteccióncivil.org

Figura 9.1.1 (b) Planta del Banco América, tuvo buen comportamiento.
www.proteccióncivil.org

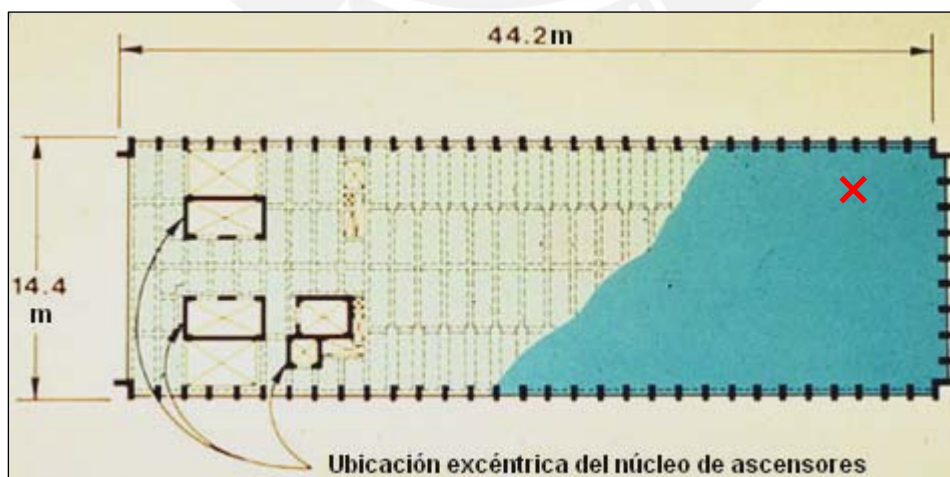


Figura 9.1.1 (c) Planta del Banco Central, sufrió graves daños (los 12 pisos superiores tuvieron que ser demolidos).
www.proteccióncivil.org

9.1.2 Propiedades de una estructura que influyen en su comportamiento sísmico

Las propiedades más importantes que definen las características dinámicas de una estructura son: masa y peso; resistencia y rigidez; período; frecuencia; amortiguamiento; y, ductilidad y fragilidad.

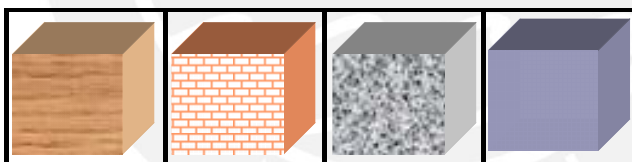
a. Masa y peso

- **La masa (m)** es la cantidad de materia de un cuerpo.
- **El peso (P)**, es la fuerza que ejerce la Tierra sobre la masa de un cuerpo por la aceleración de la gravedad. Su valor es directamente proporcional a la masa, por tanto:

$$P = m \times g \quad (m = \text{masa}, g = \text{aceleración de la gravedad})$$

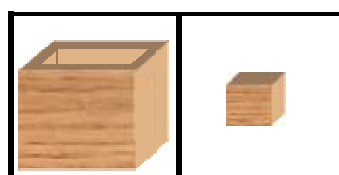
Si bien el valor de g no es absolutamente constante en toda la Tierra, para una edificación dicha variación es totalmente despreciable, y se puede considerar que $g = 9.8 \text{ m / seg}^2$.

La masa es independiente del volumen que ocupa en el espacio, tal como se ilustra en las figuras 9.1.2 (a) y (b). La figura 9.1.2 (a) muestra las masas y pesos de 4 materiales de construcción en macizos con igual volumen de 1 m^3 . La figura 9.1.2 (b) muestra dos masas iguales de madera, ocupando volúmenes diferentes en el espacio: una caja de 1 m^3 , con paredes y fondo de 0.05m de espesor; y un macizo de 0.24 m^3 .



Descripción	Macizo de madera	Macizo de albañilería de ladrillo	Macizo de concreto armado	Macizo de acero
Volumen	1 m^3	1 m^3	1 m^3	1 m^3
Masa	900 kg	1800 kg	2400 kg	7850 kg
Peso	8820 N	17640 N	23520 N	76930 N

Figura 9.1.2 (a) Masas y pesos de algunos materiales de construcción



Descripción	Caja de madera	Macizo de madera
Volumen	1 m^3	0.24 m^3
Masa	216 kg	216 kg
Peso	21170 N	21170 N

Figura 9.1.2 (b) La masa es independiente del volumen que ocupa en el espacio

b. Resistencia y Rigidez

- **La resistencia**, es la capacidad que tiene una estructura para soportar las cargas o fuerzas que actúan en ella, figura 9.1.2 (c)-vista 6.

- **La rigidez**, es la capacidad que tiene una estructura para oponerse a la deformación ante la acción de una fuerza o sistema de fuerzas. En su forma más simple, la rigidez se mide como la relación de la fuerza aplicada a la estructura, entre el desplazamiento producido por causa de ésta. La figura 9.1.2 (c), ilustra dos de los parámetros que influyen en la rigidez:

Vista 1, muestra un pórtico y un muro sujetos a la acción de una misma fuerza sísmica horizontal. Nótese que el desplazamiento del muro es mucho menor que el del pórtico, lo cuál significa que el muro tiene mayor rigidez lateral que el pórtico.

Vista 2, muestra dos muros iguales en dos posiciones distintas, denominadas "A" (paralela a la fuerza horizontal mostrada) y "B" (perpendicular a la fuerza). Para la fuerza mostrada, el muro en la posición "A" es rígido y el muro en la posición "B" es muy flexible.

Vista 3, los edificios bajos son más rígidos que los edificios altos.

Vistas 4 y 5, muestran el caso de un pórtico con columnas de igual sección y de diferentes alturas, una corta y otra larga. La columna corta es más rígida que la columna larga.

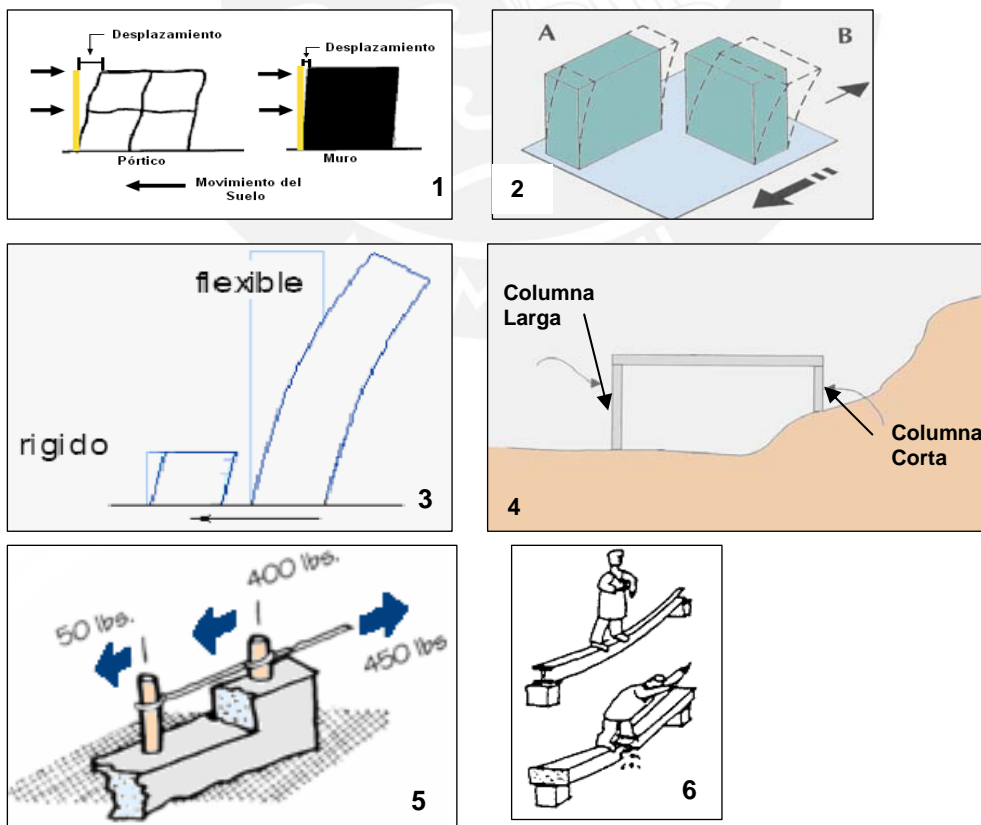


Figura 9.1.2 (c) La rigidez lateral depende de la dimensión del elemento paralela a la dirección de la fuerza y de su altura. (Adaptación de Arnold, 1987; www.training.fema.gov)

c. Período de vibración

Es el tiempo que tarda un elemento que oscila para completar un ciclo completo; depende de la masa y de la rigidez de la estructura. En la figura 9.1.2 (d) - izquierda, el ciclo completo del elemento que oscila está definido por el trayecto de ida y vuelta (A-B y B-A).

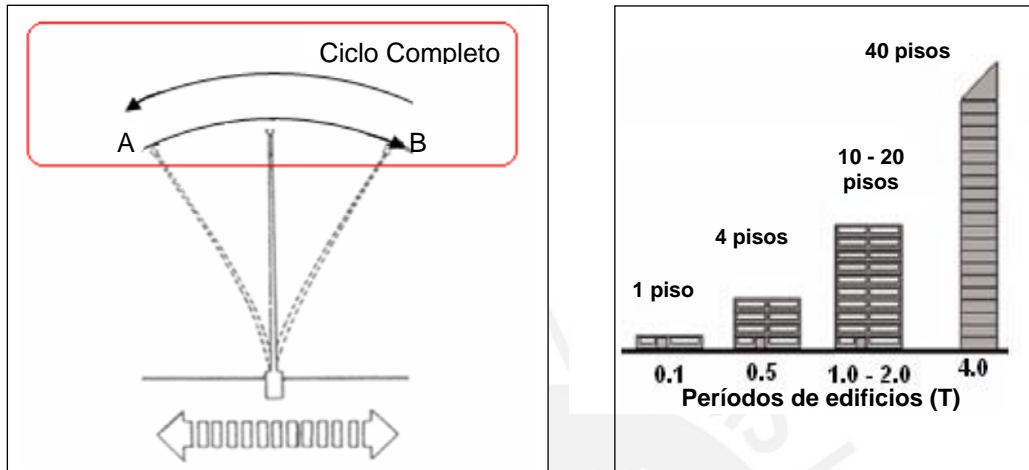


Figura 9.1.2 (d) Período de un elemento que oscila y períodos aproximados de edificios aporticados. (www.training.fema.gov)

La Norma E.030 (2003) incluye la posibilidad de calcular aproximadamente el período del edificio, T , con la fórmula: $T = \frac{hn}{C_T}$. Donde:

hn = altura del edificio en metros; C_T = coeficiente en la tabla 9.1.2 A, según tipo de edificio.

Tabla 9.1.2 A

Valores de C_T (17.2 – Norma E.030)	
Tipo de Edificio	C_T
Edificios con pórticos	35
Edificios de concreto con pórticos y muros	45
Edificios de concreto o albañilería con muros estructurales	60

En la figura 9.1.2 (d) – derecha, se muestran los períodos aproximados de algunos edificios aporticados con, $C_T = 35$. Por ejemplo, para el edificio de un piso de 3.50 m de altura, su período es $\frac{3.5}{35} = 0.1$ s.

d. Frecuencia de vibración

En un elemento que oscila, la frecuencia es el número de ciclos completos en 1 segundo; al igual que el período, depende de la masa y de la rigidez de la estructura. Conociendo el período, se puede encontrar la frecuencia como la inversa de éste. Asimismo, conociendo la frecuencia de una estructura se puede encontrar el período. Por ejemplo, para el edificio de un piso, mostrado en la figura 9.1.2 (d), su frecuencia será de 10 ciclos por segundo ($\frac{1}{0.1}$).

e. Amortiguamiento

Es la propiedad que tiene un edificio para disipar energía, disminuyendo los movimientos sísmicos a los que está siendo sometido. El grado de amortiguamiento en un edificio depende: del material del cuál está hecho, de las conexiones entre sus elementos estructurales, y de los muros estructurales y no estructurales, tal como se puede observar en la figura 9.1.2 (e).

Tipo de construcción	Características de carpintería	Amortiguamiento %
 Pórtico de acero	Toda la tabiquería es drywall o similar (flexible)	2
	Tabiques exteriores son de albañilería de ladrillo y los tabiques interiores son de drywall o similar	5
	Muros de concreto	7
 Pórtico de concreto armado	Toda la tabiquería es drywall o similar (flexible)	5
	Tabiques exteriores son de albañilería de ladrillo y los tabiques interiores son de drywall o similar	7
	Muros de concreto o albañilería	10
 Muros estructurales de concreto	Muros de concreto	10
 Muros estructurales de albañilería	Muros de albañilería	10

Figura 9.1.2 (e) Amortiguamiento típico para estructuras, obsérvese, cómo los muros de albañilería o de concreto elevan el grado de amortiguamiento de las estructuras. (Datos de amortiguamiento de la tabla 5.1 de Dowrick, 1984)

f. Ductilidad y fragilidad

La ductilidad, es la capacidad que tienen unos materiales para seguir deformándose soportando mayor carga, hasta antes de colapsar, después de haber alcanzado la máxima carga que pueden resistir. Casos de materiales dúctiles son el acero, concreto armado, albañilería reforzada, madera. Lo contrario a esta propiedad es **la fragilidad** de aquellos materiales, que ya no pueden seguir deformándose, después de haber alcanzado la máxima fuerza que pueden resistir, porque colapsan intempestivamente con un mínimo de deformación. Ejemplos de materiales frágiles son el adobe, albañilería de ladrillo simple, concreto simple, vidrio.

En conclusión, **los materiales dúctiles** alcanzan su falla con una considerable deformación inelástica (el material no regresa a su forma original después de la deformación), manteniendo su nivel de carga antes de colapsar. De otro lado, los **materiales frágiles** fallan súbitamente. Los materiales dúctiles tienen mayor capacidad de almacenar energía que los materiales frágiles y por lo mismo, contribuyen a mejorar el comportamiento de las estructuras ante los movimientos sísmicos.

La ductilidad de una estructura, depende de la ductilidad de los elementos que la componen y de la ductilidad de las conexiones entre ellos. En la figura 9.1.2 (f), se pueden distinguir los dos tipos de comportamiento (dúctil y frágil) en las columnas de un pabellón del hospital Olive View en el terremoto de San Fernando – California 1971. La columna de la izquierda tuvo comportamiento dúctil, junto a otras con comportamiento similar, se desplazó lateralmente 0.80 m en su extremo superior con respecto al piso, pero el núcleo de concreto confinado por zunchos no colapsó. La columna de la derecha, ubicada en una esquina del pabellón tuvo comportamiento frágil. Se puede observar que el edificio no llegó al colapso total gracias al soporte de las columnas dúctiles. Si todas las columnas hubiesen tenido comportamiento frágil, todo el edificio hubiese colapsado.



Figura 9.1.2 (f) Columnas con comportamientos dúctil (izquierda) y frágil (derecha), en un pabellón del Hospital Olive View, terremoto de San Fernando – California 1971.

(<http://fing.uncu.edu.ar>)

9.1.3 El movimiento sísmico y su influencia en el comportamiento de la estructura

El movimiento sísmico que se presenta en la superficie de la tierra es en todas las direcciones: horizontales y verticales. Sin embargo, el movimiento horizontal, transmitido a la estructura del edificio es el que generalmente le causa daño, ya que el movimiento vertical coincide con sus cargas de gravedad (aumentándola ó disminuyéndola). La estructura generalmente está sobredimensionada para cargas verticales y por tanto, las fuerzas sísmicas verticales pueden ser soportadas. Salvo algunas excepciones que serán comentadas más adelante, el movimiento vibratorio generado en el edificio, será considerado actuando en la dirección horizontal.

La intensidad del movimiento dependerá de dos factores: las características del movimiento del suelo y las propiedades dinámicas de la estructura. Los efectos que se producen en una estructura sometida a un movimiento sísmico que se van a discutir son: la amplitud; la resonancia; la amplificación del movimiento sísmico, las fuerzas de inercia.

a. Amplitud

Es el desplazamiento máximo del movimiento oscilatorio de la estructura, desde su posición neutra (Fig. 9.1.3 (a)). Los desplazamientos laterales de una edificación en cada nivel deben ser limitados por varios motivos: prevenir daño en elementos estructurales y no estructurales, prevenir choques con edificios vecinos, reducir el pánico entre los ocupantes, etc.

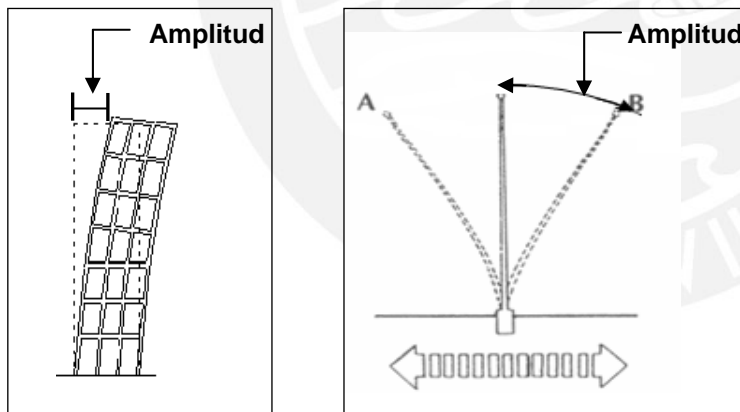


Figura 9.1.3 (a) Amplitud de una estructura sometida a movimiento oscilatorio.
 (Adaptación
www.training.fema.gov y
www.proteccioncivil.org)

b. Resonancia

Es un efecto amplificador del movimiento que se produce en el elemento que oscila, cuando es movido cíclicamente con su mismo período característico de vibración. En la resonancia la amplitud de la oscilación es muy grande. En el sismo de México 1985, se atribuyó que gran cantidad de los daños se debieron a la “doble resonancia” (Rosenblueth 1986), por la cercanía del período de vibración del suelo y del movimiento sísmico y luego, del período del suelo y de la estructura (alrededor de 2 segundos). En el ejemplo de la figura 9.1.3 (b), se ilustran los comportamientos de un edificio que tiene período $T = 2$ s, sometido a dos movimientos sísmicos diferentes, según se detalla a continuación:

Vista 1, muestra las tres fases de un ciclo completo de la oscilación del edificio, ante un movimiento sísmico que tiene período T_{base} de 1 s.

Vista 2, se vuelve a colocar esta ilustración como modelo de lo que significa un ciclo completo, relacionado con las vistas 1 y 3

Vista 3, muestra también un ciclo completo de oscilación del edificio, ante un movimiento sísmico que tiene período T_{base} de 2s. Se puede observar la amplificación del desplazamiento del edificio (amplitud), con respecto al mostrado en la vista 1. El edificio está en resonancia.

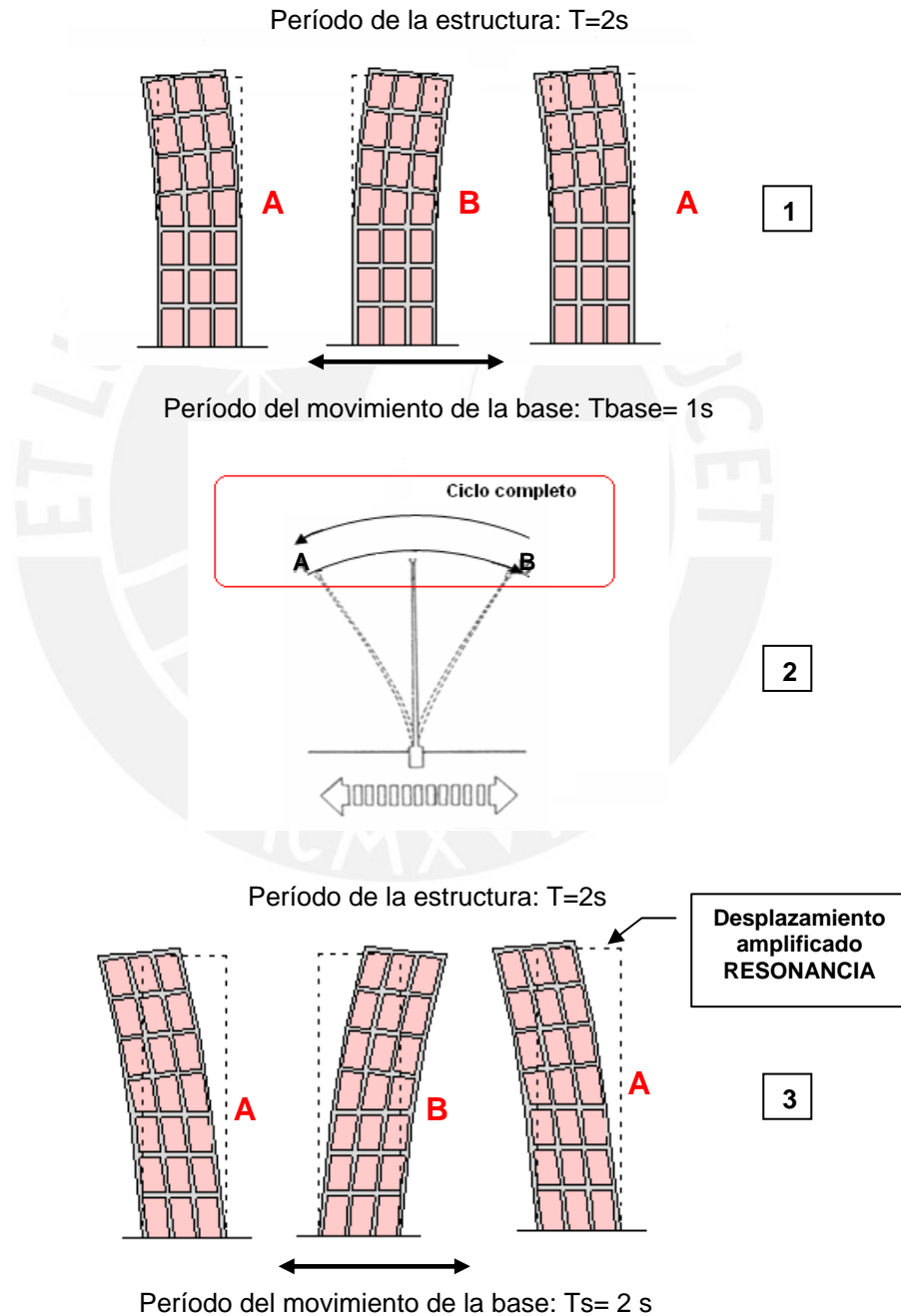


Figura 9.1.3 (b) Amplificación sísmica por el efecto de resonancia (Adaptación www.proteccioncivil.org y www.training.fema.gov)

c. Amplificación del movimiento sísmico en la estructura

Durante un sismo, la masa del edificio adquiere desplazamientos, velocidades y aceleraciones que son originados a través de su cimentación, por el movimiento del suelo en el que se sustenta. Estos efectos pueden ser amplificados o no con respecto al movimiento del suelo, dependiendo de las propiedades dinámicas de la estructura. Un parámetro representativo de cómo medir la amplificación del movimiento, es la relación entre la aceleración que experimenta la masa de la estructura y la aceleración del suelo.

Al respecto, en el caso extremo que la estructura sea rígida (indeformable), su aceleración es igual a la del suelo. En estructuras reales que se deforman, las aceleraciones se amplifican en el edificio. Esta amplificación depende del amortiguamiento de la edificación y de la relación entre el período de la estructura y el período del movimiento sísmico, ver figura 9.1.3 (c).

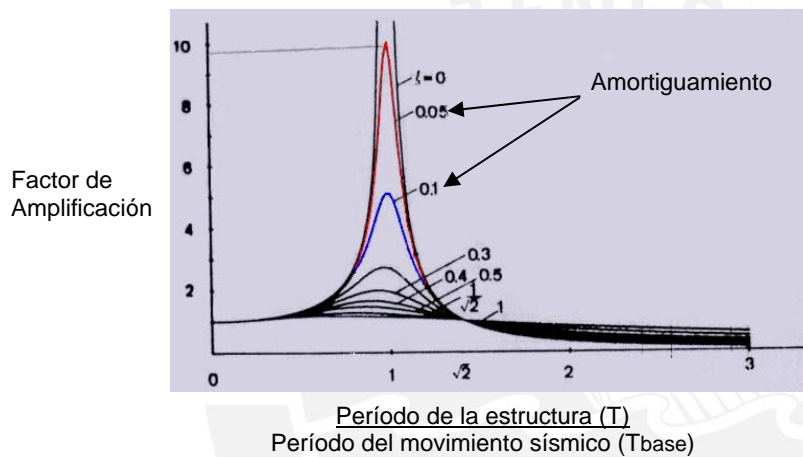


Figura 9.1.3 (c) Curvas para el cálculo del factor de amplificación dinámica de la aceleración. (Wakabayashi, 1988)

El ejemplo mostrado en la figura 9.1.3 (d), ilustra los factores de amplificación, de cinco edificios de concreto armado, de diferentes niveles, sometidos a un movimiento sísmico de condiciones similares al terremoto de México 1985. En esas condiciones, el período del movimiento en la base (T_{base}) es de 2 segundos para todos los edificios.

Sólo con fines demostrativos, para los edificios escogidos los períodos son calculados aproximadamente con la Norma E-030, tal como se indica en la sección 9.1.2, ítem c, utilizando la tabla 9.1.2 A; y el amortiguamiento es de 0.05, valor usado en concreto armado.

Con las relaciones $\frac{T}{T_{base}}$ y el amortiguamiento se ingresa a las curvas mostradas en la figura 9.1.3 (c) y se obtienen los factores de amplificación para cada uno de los edificios considerados.

Los resultados obtenidos en el ejemplo mostrado en la figura 9.1.3 (d) demuestran que los efectos de amplificación son mayores para edificios con períodos T comprendidos entre 1 y 3 segundos (14 a 22 pisos). Los edificios bajos con T menor a 1 seg, y edificios altos con T mayor a 3 seg no tienen amplificación.

Tipo de estructura	Coficiente de periodo predominante de la estructura(ct)	Altura total de los edificios(m)	Periodo predominante de la estructura-t(s)	Relaciones de los periodos (t/t base)	Amplificación
 edificio de un piso con muros estructurales	60.00	3.50	0.06	0.03	1.00
 edificio de 3 pisos con muros estructurales	60.00	10.00	0.17	0.08	1.00
 edificio de 12 pisos	35.00	42.00	1.20	0.60	1.50
 edificio de 15 y 21 pisos	35.00	52.00	1.49	0.74	2.50
	35.00	74.00	2.11	1.06	9.50
 edificio de 45 pisos	45.00	144.00	4.11	2.06	1.00

d. Fuerza de inercia sísmica

El movimiento de la masa de la estructura producida por un sismo genera las llamadas “fuerzas de inercia”. Para este ítem, suponemos que toda la masa del edificio está concentrada en su centro de gravedad y en dicho punto actúa la fuerza resultante que denominamos fuerza de inercia, figura 9.1.3 (e).

Esta fuerza se genera porque la cimentación del edificio se mueve conjuntamente con el suelo; pero la masa del edificio que está por encima del suelo, trata de oponerse a este movimiento y es ahí donde aparece la fuerza de inercia en sentido contrario al movimiento del suelo. En general, las edificaciones sismorresistentes deben estar preparadas para resistir las fuerzas de inercia.

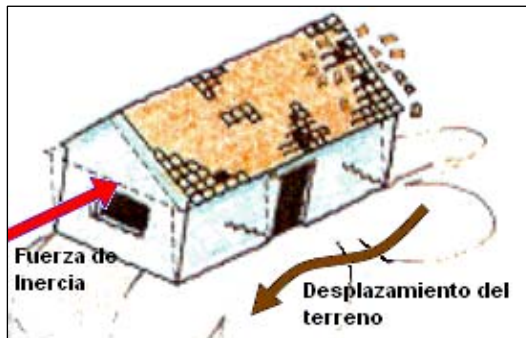


Figura 9.1.3 (e) Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura. (Adaptación de www.senamed.edu.co)

Adicionalmente, para el caso de movimiento sísmico vertical, Blanco (1991 b) indica algunos casos en que debe ser considerado: luces importantes entre columnas superiores a los 7 metros, voladizos, bloques de estructuras con longitudes superiores a los 40 a 50 metros. Una ilustración de estas excepciones se presenta en la figura 9.1.3 (f), en la que se observa el colapso total del alero en voladizo de la tribuna del estadio municipal de Nazca, en el sismo de 1996.



Figura 9.1.3 (f) Influencia del sismo vertical: colapso del techo voladizo del Estadio Municipal de Nazca, Quiun 1997.

La fuerza de inercia sísmica, **F**, se considera actuando en los lugares donde se concentran las masas y es directamente proporcional a la aceleración, **a**, y a la masa, **m**, de la estructura. Es decir, $F = m \times a$.

Además, las fuerzas horizontales producen momentos, **M_r**, respecto al centro de giro, que son directamente proporcionales a la aceleración angular, **ω**, y a la inercia polar centroidal de la masa de la estructura, **J**. Es decir: $M_r = J \times \omega$. Estos momentos producen torsión en la planta del edificio.

9.2 TIPOS DE SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA UNA EDIFICACIÓN SISMORRESISTENTE

Una edificación sismorresistente, es aquella que es capaz de soportar cargas de gravedad y fuerzas de inercia generadas por un movimiento sísmico, por medio de sistemas estructurales, cuyas componentes resistentes están dispuestas en sus planos verticales y horizontales. Para fines de esta tesis, los sistemas estructurales que se tratarán aquí serán los que utilizan como material el concreto armado y la albañilería.

9.2.1 Sistemas estructurales con componentes resistentes en el plano vertical

a. Estructuras de pórticos de concreto armado

Los pórticos están conformados por vigas y columnas. Son flexibles ante la acción de las fuerzas de inercia horizontales generadas por los movimientos sísmicos. Si son bien diseñados y bien construidos pueden alcanzar gran ductilidad. Ejemplo, la estructura de la figura 9.2.1 (a), tiene dos pórticos con columnas de poco peralte en las fachadas frontal y posterior (dirección X); y tres pórticos intermedios con columnas peraltadas en la dirección de las fachadas laterales (Y).

b. Estructuras de muros de concreto armado o de albañilería

Son sistemas resistentes compuestos por muros llenos. Son muy rígidos (poco deformables), ante la acción de las fuerzas de inercia sísmicas horizontales, y por eso su ductilidad es limitada.

La estructura de la figura 9.2.1(a) tiene cuatro muros estructurales de albañilería en la dirección Y que son los elementos sismorresistentes.

La figura 9.2.1(b), muestra un sistema estructural conformado por muros de concreto armado en las dos direcciones X e Y.

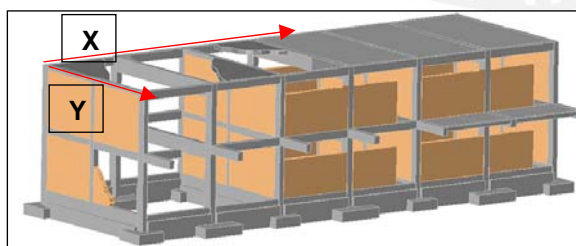


Figura 9.2.1 (a) Estructura aporcionada en la dirección X, centro educativo (www.pucp.edu.pe)



Figura 9.2.1 (b) Estructura de muros de concreto armado, departamentos de viviendas. (www.pucp.edu.pe)

c. Estructuras duales o mixtas

Son sistemas resistentes compuestos por pórticos de concreto armado y muros de concreto armado ó de albañilería. Con esta combinación se logra niveles adecuados de rigidez y de ductilidad.

La figura 9.2.1(a) muestra un sistema combinado de pórticos y muros de albañilería en la dirección de las fachadas laterales (Y).

La figura 9.2.1(c) muestra otros sistemas estructurales mixtos de concreto armado.

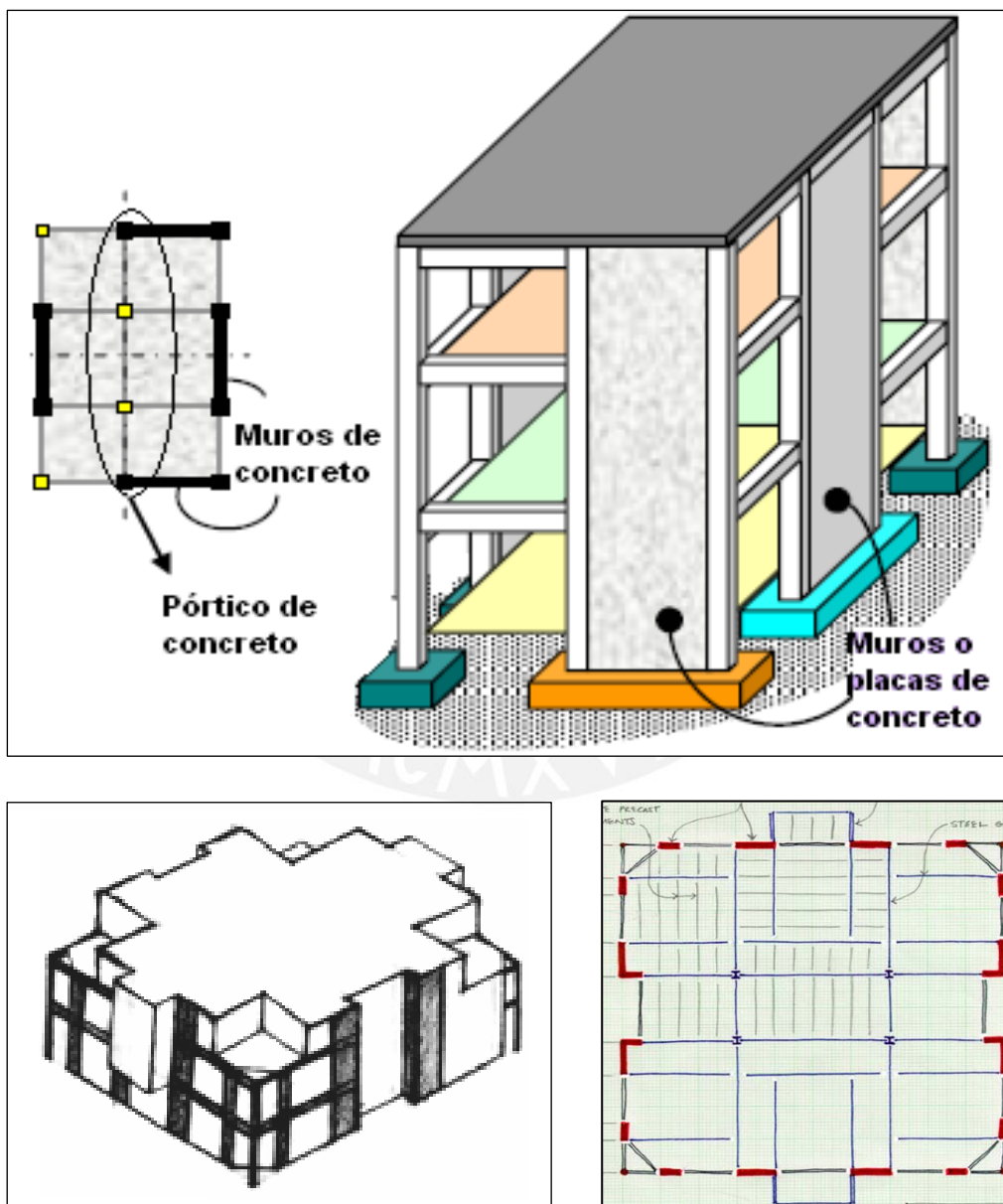


Figura 9.2.1 (c) Estructuras mixtas o duales, ofrecen buen comportamiento sismorresistente. (www.nicee.org y www.stanford.edu)

9.2.2 Sistemas estructurales con componentes resistentes en el plano horizontal

Los entrepisos y techo de un edificio, pueden ser rígidos o flexibles. En base a esto se definen los sistemas estructurales con diafragma y sin diafragma.

a. Estructuras con diafragma

Las estructuras con diafragma están constituidas por entrepisos y techo de losas rígidas de concreto armado (losas macizas, losas aligeradas, losas nervudas), que suelen ser construidas monóticamente con las componentes resistentes en el plano vertical. El diafragma debe tener la capacidad de transmitir las fuerzas horizontales sin deformarse y para ello no sólo basta que sea de concreto armado, sino también debe garantizar: espesores adecuados para evitar el alabeo; aberturas pequeñas; longitudes que eviten formas muy alargadas. Las funciones de los diafragmas son:

- Resistir las cargas de gravedad, para transmitir las a las componentes resistentes verticales, del sistema estructural. Ver figura 9.2.2 (a).

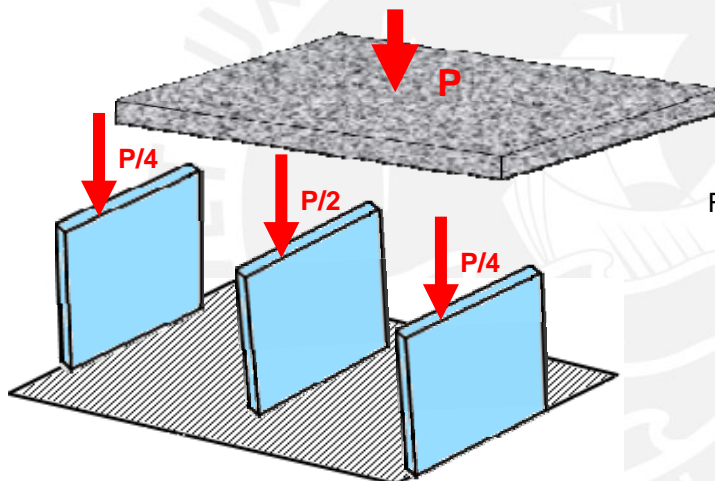
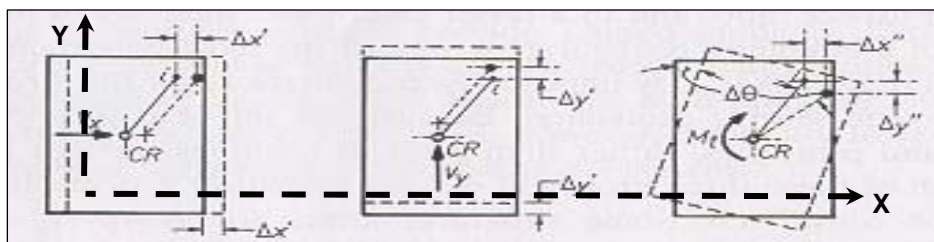


Figura 9.2.2 (a) Distribución de cargas verticales. (Adaptación de Arnold, 1987)

- Unificar los desplazamientos de las componentes resistentes verticales, del sistema estructural. De este modo, el movimiento de cada piso es tratado como una placa plana rígida (indeformable) en el plano horizontal. Este movimiento se puede descomponer en tres componentes independientes: dos traslaciones horizontales y una rotación alrededor de un eje vertical, denominados “grados de libertad”(Fig. 9.2.2 (b)).



Traslación en X

Traslación en Y

Rotación

Figura 9.2.2 (b) Grados de libertad del diafragma (Paulay, 1992)

Si se observa solamente el movimiento sísmico horizontal en una de las direcciones principales de una edificación de varios pisos (es decir no hay giros de las losas), se verá que todos los elementos verticales se desplazan horizontalmente una misma cantidad en cada nivel. Ver figura 9.2.2 (c).

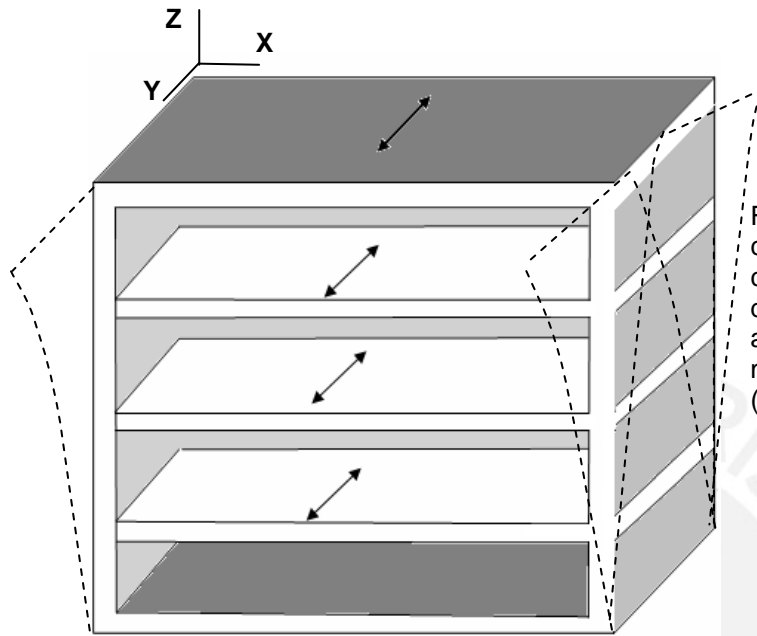


Figura 9.2.2 (c) Estructura de cuatro niveles con diafragma y con muros estructurales en la dirección Y. En cada nivel ambos muros se desplazan una misma cantidad.
 (Adaptación de Arnold, 1987)

- Resistir las fuerzas de inercia generadas en su plano horizontal, para distribuir las a las componentes resistentes verticales del sistema estructural proporcionalmente a sus rigideces laterales. La mayor parte de la masa de una edificación típica suele estar concentrada en las losas de los diferentes pisos; por ello, las fuerzas de inercia se suelen representar actuando en los pisos. En la fig. 9.2.2 (d) se observa que una fuerza "H" que sólo produce movimiento de traslación, se distribuye en los tres muros iguales en la misma proporción.

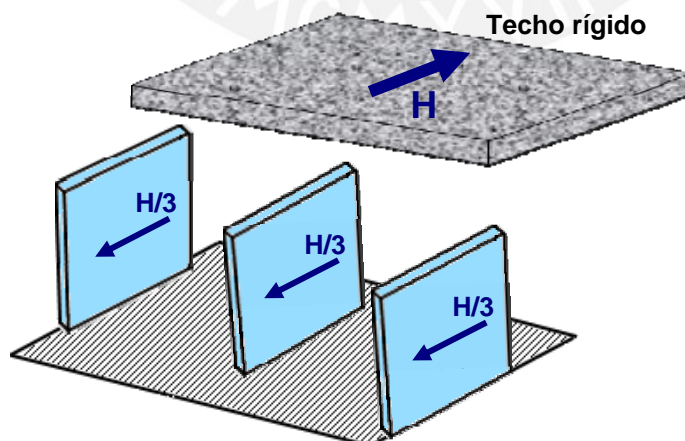


Figura 9.2.2 (d) Estructura con diafragma y tres muros de rigideces iguales – Distribución de fuerza horizontal (H), proporcional a la rigidez de cada muro.
 (Adaptación de Arnold, 1987)

b. Estructuras sin diafragma

Las estructuras sin diafragma están conformadas por: 1) entrepisos y/o techos livianos y flexibles, que pueden ser: de madera o de acero; de concreto armado con poca rigidez en su plano horizontal (espesores muy pequeños, aberturas muy grandes, tramos muy largos); y 2) muros de cerco.

En lo que respecta a las cargas verticales, las estructuras sin diafragma se caracterizan por tener un comportamiento similar al de las estructuras con diafragma. Ante los movimientos sísmicos horizontales, las estructuras sin diafragma (Fig. 9.2.2 (e)) muestran las siguientes características:

- El movimiento generado en la estructura hace que cada una de las componentes resistentes verticales que lo conforman, se muevan de manera diferente, por falta de un diafragma que los obligue a trabajar en conjunto.
- Las fuerzas de inercia en las componentes resistentes verticales son proporcionales al peso que soportan, haciendo que las fuerzas sean mayores en las que cargan más.

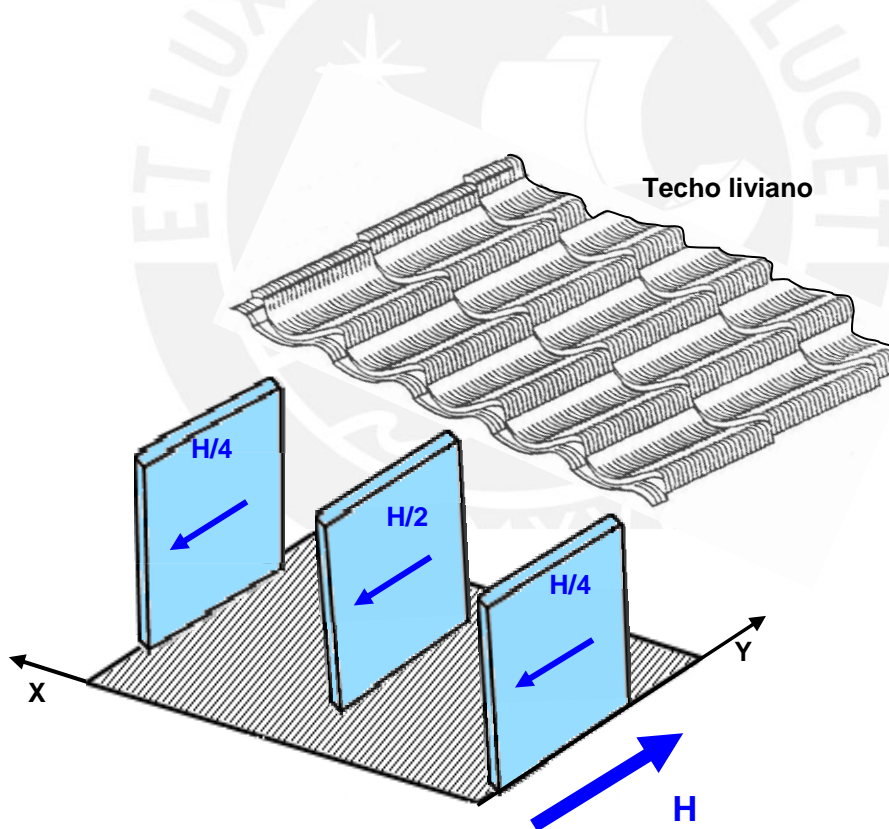


Figura 9.2.2 (e) Estructura sin diafragma, fuerzas de inercia, proporcionales al peso de cada uno de los muros, actuando en la dirección Y (en el plano del muro)
 (Adaptación Arnold, 1987)

- En sistemas estructurales compuestos por muros, las fuerzas horizontales de inercia que pueden causar más daño a la estructura son las que se generan perpendicularmente al plano de los muros, causando flexión y esfuerzos cortantes en ellos (fig. 9.2.2 (f)).

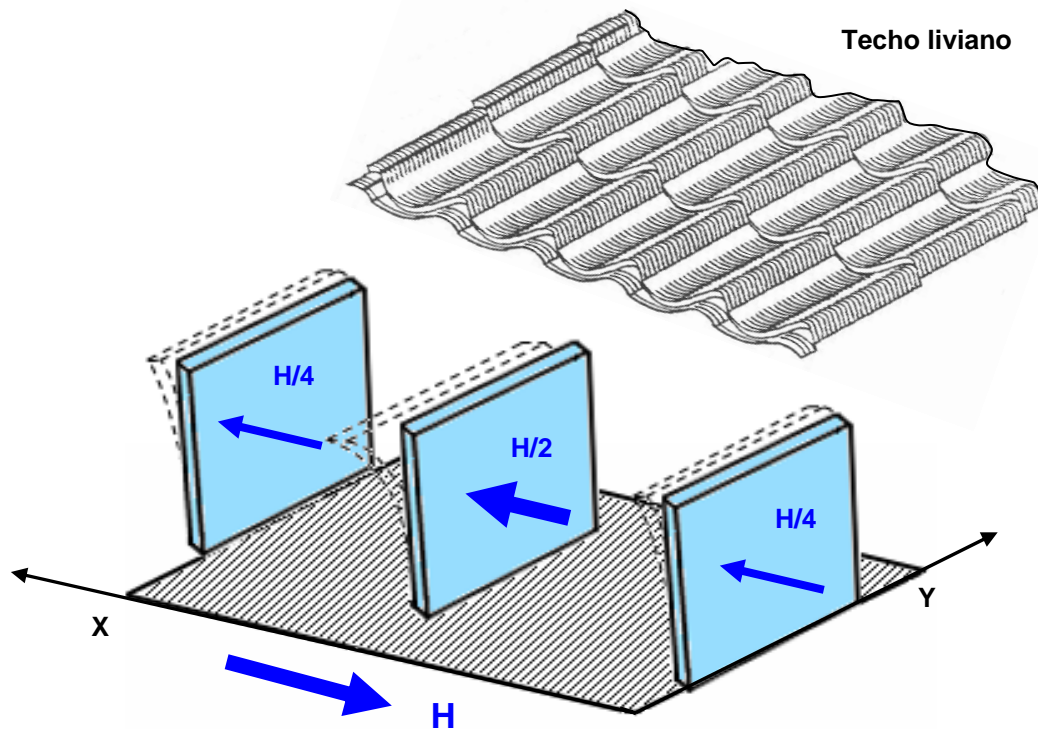


Figura 9.2.2 (f) Estructura sin diafragma, fuerzas de inercia, proporcionales al peso de cada uno de los muros, actuando en la dirección X (perpendicular al plano del muro) (Adaptación Arnold, 1987)

En conclusión:

- **En las estructuras con diafragma**, el comportamiento estructural de un muro resulta crítico para fuerzas de inercia sísmicas horizontales actuando en el plano del muro.
- **En las estructuras sin diafragma**, el comportamiento estructural del muro resulta crítico para las fuerzas sísmicas horizontales actuando perpendicularmente al plano del muro.

9.3 METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

La metodología empleada, será del tipo mixto: expositiva - participativa. Las estrategias de enseñanza; los medios y materiales; y la evaluación, son descritos a continuación.

9.3.1 Estrategias de enseñanza

Considerando que los contenidos de este capítulo, son más complejos y diversos, es preferible que el docente exponga los contenidos de este capítulo a los alumnos, en la secuencia indicada.

La exposición resultará más atractiva con ayudas visuales, material didáctico preparado por los alumnos con el asesoramiento del docente y con algunos datos obtenidos por ellos a través de una investigación previa a la clase.

Los temas y pautas para investigar y preparar material didáctico, son los siguientes:

a) Material didáctico relacionado con resistencia y rigidez

Se encargara a tres grupos de dos alumnos. El grupo 1, deberá explicar resistencia y rigidez ante cargas verticales. El grupo 2, deberá explicar resistencia y rigidez ante cargas laterales variando la dimensión del peralte del elemento. El grupo 3, deberá explicar la resistencia y rigidez ante cargas laterales variando la altura de los elementos. Ambos grupos deberán encargarse de la elaboración del material didáctico según se detalla a continuación:

a.1.El material didáctico para rigidez ante cargas verticales puede consistir en dos soportes, adecuados para colocar elementos de madera que simulen vigas que resisten cargas verticales. Los soportes, deben dar la oportunidad de adaptar elementos de diferente rigidez. Se deben también preparar los pesos.

a.2.El material didáctico para rigidez ante cargas laterales, variando la dimensión del peralte del elemento, consistirá en dos elementos verticales de diferentes peraltes, con el mismo espesor y altura, dispuestos en un soporte. Los elementos, así dispuestos, deberán ser probados bajo tres condiciones.

- Condición 1, para una fuerza dada, encontrar por separado, la deformación lateral de cada elemento. El elemento más rígido se deformará menos. En esta condición, también se puede comprobar la deformación de los elementos, en su dirección más débil.

- Condición 2, unir los dos elementos de rigideces diferentes con un elemento rígido. Con un dinamómetro, aplicar una fuerza a los dos elementos unidos rigidamente y encontrar la deformación lateral del conjunto.

- Condición 3, quitar la unión rígida, para que por separado, aplicando una fuerza (medida con un dinamómetro), se logre la misma deformación que se obtuvo cuando estaba unido. El objetivo es demostrar que el elemento rígido necesita mayor fuerza que el elemento flexible para deformarse, ambos, la misma cantidad.

a.3.El material didáctico para rigidez ante cargas laterales, variando la altura del elemento, consistirá en dos elementos verticales de igual sección pero de diferente altura, dispuestos en un soporte, de modo que sus extremos libres estén al mismo nivel superior. Al igual que el modelo anterior, deberán ser probados para tres condiciones.

- Condición 1, para una fuerza dada, encontrar por separado, la deformación lateral de cada elemento. El elemento más corto se deformará menos, y el elemento más alto se deformará más (se demuestra que el elemento más corto es más rígido).

- Condición 2, unir los dos elementos con un elemento rígido. Con un dinamómetro, aplicar una fuerza a los dos elementos unidos rígidamente y encontrar la deformación lateral del conjunto. Medir el desplazamiento con el que se han movido los dos elementos.

- Condición 3, quitar la unión rígida, para que por separado, aplicando una fuerza (medida con un dinamómetro), se logre el mismo desplazamiento lateral que se obtuvo cuando estaba unido. El objetivo es demostrar que el elemento rígido necesita mayor fuerza que el elemento flexible, para deformarse ambos la misma cantidad.

b) Material didáctico relacionado con Período, frecuencia

Será encargado a dos grupos de dos alumnos cada uno. El grupo 1, deberá explicar los conceptos de periodo y frecuencia, utilizando dos péndulos invertidos de diferentes alturas con masas iguales. El grupo 2, deberá explicar período y frecuencia, utilizando otra serie de dos péndulos invertidos de la misma altura con masas diferentes. Los péndulos deberán ser soportados por una base móvil con ruedas común para los dos grupos. En ambos grupos, al oscilar los elementos, se mide el período y la frecuencia.

Se quiere demostrar en el primer caso, la influencia de la rigidez y en el segundo caso, la influencia de la masa, en la magnitud de los períodos y frecuencias.

c) Temas generales que deberán ser investigados por toda la clase

Estos temas son: configuración, masa y peso; resonancia; ductilidad y fragilidad; fuerzas de inercia.

El docente dictará los contenidos programados utilizando el material didáctico preparado por los alumnos y con preguntas referentes a lo investigado cuando sea conveniente.

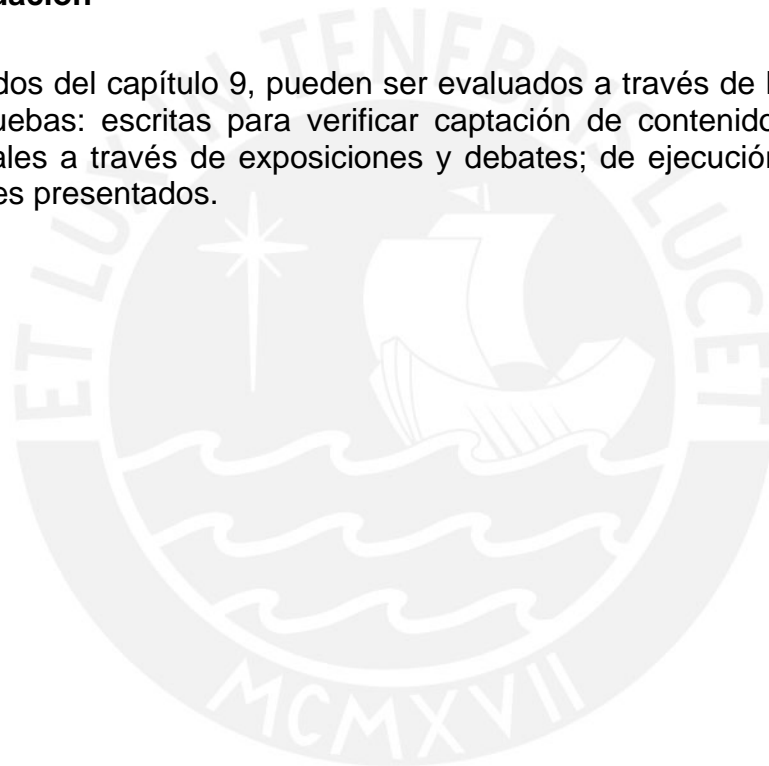
9.3.2 Medios y materiales

La exposición del docente debe ir acompañada de ayudas visuales, a través de presentaciones. Se experimenta cuando sea oportuno con el material preparado por los alumnos. Se efectúan preguntas continuas sobre los temas investigados por ellos. Para sus trabajos de investigación los alumnos recurrirán al Internet, bibliotecas, opiniones de expertos, videos, etc.

Para demostrar la capacidad de las herramientas computacionales que permiten teóricamente evaluar algunas de las cantidades mencionadas (desplazamientos, periodos, etc.), se harán ejemplos de estructuras simples para ser trabajados manualmente y en el programa SAP, en el rango elástico.

9.3.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 9, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.



10. VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS

El objetivo del presente capítulo es concientizar a los futuros arquitectos, en el conocimiento de las malas configuraciones que han sido causantes de los daños y colapsos de las edificaciones ante los sismos. A partir de esto, ellos podrán comprender la necesidad de implementar mejoras en el diseño arquitectónico de acuerdo a los avances de la tecnología sismorresistente, para minimizar los daños en las edificaciones.

El riesgo sísmico representa el grado de destructividad que puede producirse en los edificios que se encuentran ubicados en una zona sísmica. Depende del peligro sísmico del lugar y de su vulnerabilidad sísmica.

El peligro sísmico está directamente relacionado con las características sismológicas, geotécnicas y topográficas del lugar en el que se ubica la edificación. El peligro sísmico de un lugar se establece en base a estudios efectuados por sismólogos e ingenieros civiles especializados en geotecnia. Este concepto ya ha sido tratado en los capítulos 7 y 8. En el capítulo 7 se han dado alcances referentes al peligro sísmico en el mundo y en el Perú, los cuáles pueden ser apreciados en los mapas de sismicidad de las figuras 7.1.1 (a) y 7.2.2 (a). En el capítulo 8 se han desarrollado conceptos relacionados a la influencia de las condiciones locales en la intensidad de la propagación de las ondas sísmicas.

Los parámetros más importantes que influyen en la determinación del peligro sísmico son: origen del sismo, magnitud, ubicación del epicentro, profundidad del foco y las condiciones locales del suelo donde se ubica el edificio. Ver figura 10.0 (a)

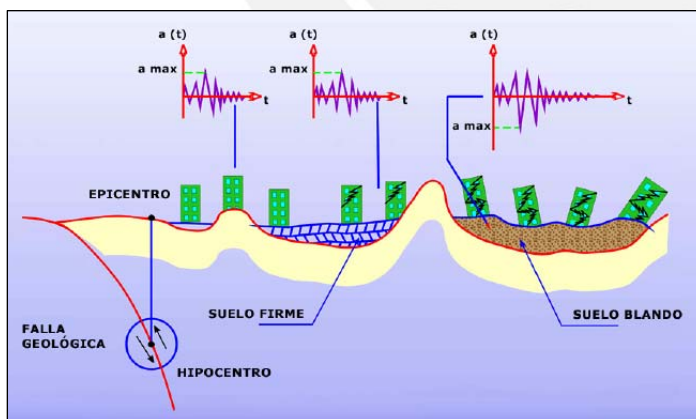


Figura 10.0 (a) Parámetros que influyen en el peligro sísmico de un lugar (<http://202.54.104.236>)

La vulnerabilidad sísmica representa el grado de daños de un edificio cuando es sometido a un movimiento sísmico. Según la historia sísmica de los terremotos que se han producido en el mundo, los factores que influyen en la vulnerabilidad sísmica de un edificio, están relacionados con los daños o colapsos sufridos debido a deficiencias en: la configuración estructural, el material, el diseño estructural y la calidad constructiva.

En las curvas de Sauter, mostradas por Kuroiwa (2002), se pueden apreciar las relaciones promedio de daño para diferentes tipos de construcción en función de las intensidades sísmicas del lugar, ver figura 10.0 (b).

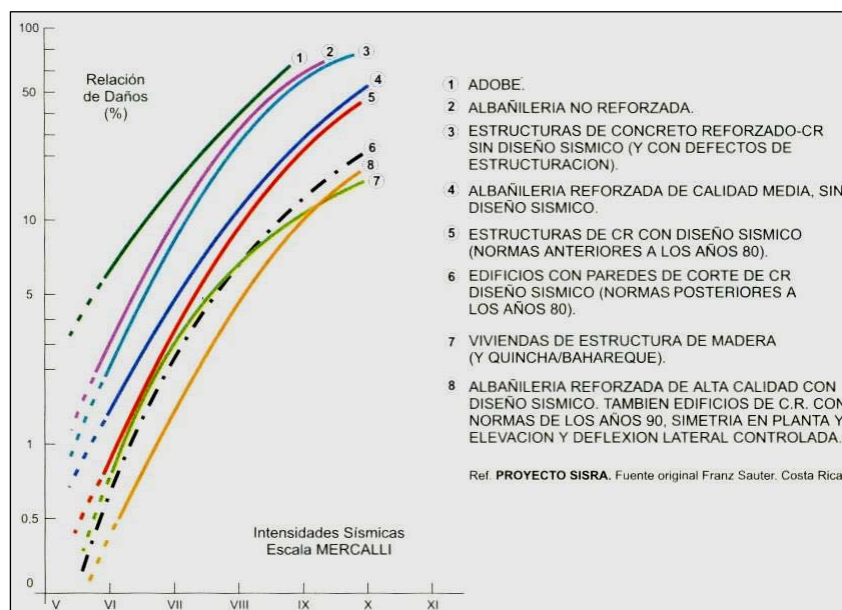


Figura 10.0 (b) Relaciones de daños e intensidades sísmicas para construcciones con diferentes tipos de materiales, (Kuroiwa, 2002)

Las causas más frecuentes que influyen en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones se detallan a continuación en edificaciones sin diafragma y con diafragma.

10.1 CAUSAS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES SIN DIAFRAGMA

Ejemplos típicos de edificaciones sin diafragma, son aquellas con muros de adobe o de albañilería, tales como: viviendas, centros comunales, centros educativos, almacenes, cercos etc. Los daños sísmicos son ocasionados porque el comportamiento estructural del muro resulta crítico para las fuerzas sísmicas actuando perpendicularmente al plano del muro, generando en éste grandes esfuerzos de flexión y corte (ver sección 9.2.2 -b). Algunos ejemplos se ilustran a continuación.

10.1.1 Estructuras de adobe

De la historia sísmica del Perú, tratada en la sección 7.2, se puede deducir que las construcciones de adobe tradicionales son altamente vulnerables a los sismos.

En el Perú, estas estructuras son muy empleadas en los sectores rurales y en los de bajos recursos. La mayoría tiene uno o dos niveles. Generalmente son construidas de manera tradicional en la modalidad de autoconstrucción. Se caracterizan por tener muros ortogonales entre sí, de espesores típicos de 0.40m, aunque en algunas zonas costeras los espesores son menores.

Los techos, según las características climáticas, son livianos y planos en la costa; en la sierra y selva suelen ser inclinados, ya sea pesado o liviano.

En general la estructura de estas construcciones, no cuenta con refuerzos y amarres que le permitan soportar las fuerzas sísmicas horizontales perpendiculares al plano del muro. A esto se suma las características propias del adobe, con muy baja resistencia a los esfuerzos de tracción y comportamiento de falla frágil (Fig. 10.1.1 (a) y (b)).

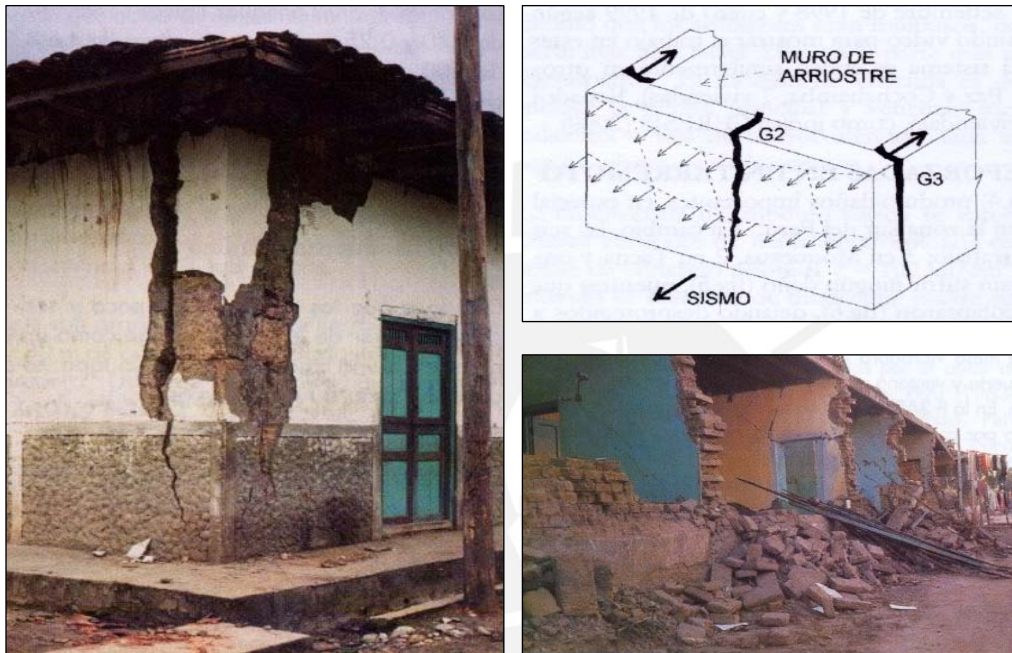


Figura 10.1.1 (a) Fallas típicas en esquinas y fachadas causadas por fuerzas sísmicas perpendiculares al plano de muros (ver 1). (Kuroiwa, 2002 y San Bartolomé)

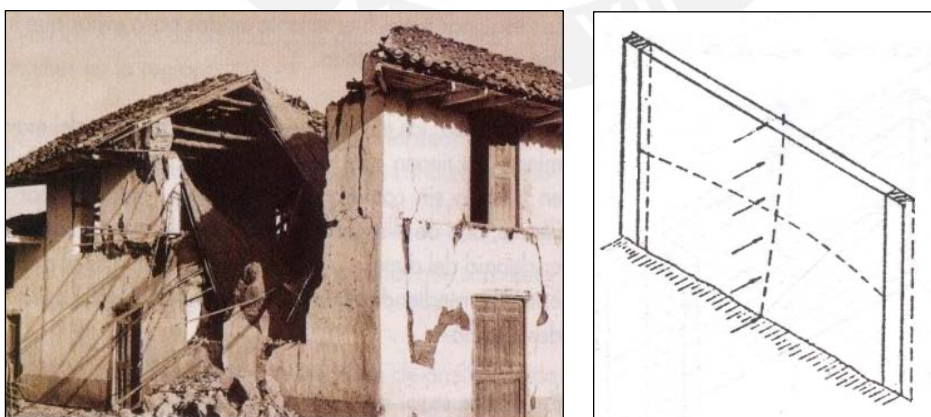


Figura 10.1.1 (b) Falla por flexión de muro largo de adobe, observar comportamiento estructural de las fuerzas de inercia sísmica perpendiculares al muro. (Kuroiwa, 2002 y Blanco 1991)

10.1.2 Estructuras de albañilería

El comportamiento es similar al indicado para las estructuras de adobe, con excepción de que dependiendo de la calidad del ladrillo, suelen ser más resistentes que el adobe, pero igualmente frágiles. Ver figura 10.1.2 (a)



Figura 10.1.2 (a) Terremoto de Bahía de Caráquez 1998 - Estación de bomberos, colapso del segundo piso de albañilería de ladrillo sin reforzar y techo liviano. (Fernández, 1998)

Los cercos también constituyen un tipo de estructura sin diafragma. Se muestran a continuación algunos casos de daños ó colapsos (fig. 10.1.2 (b), (c) y (d)).

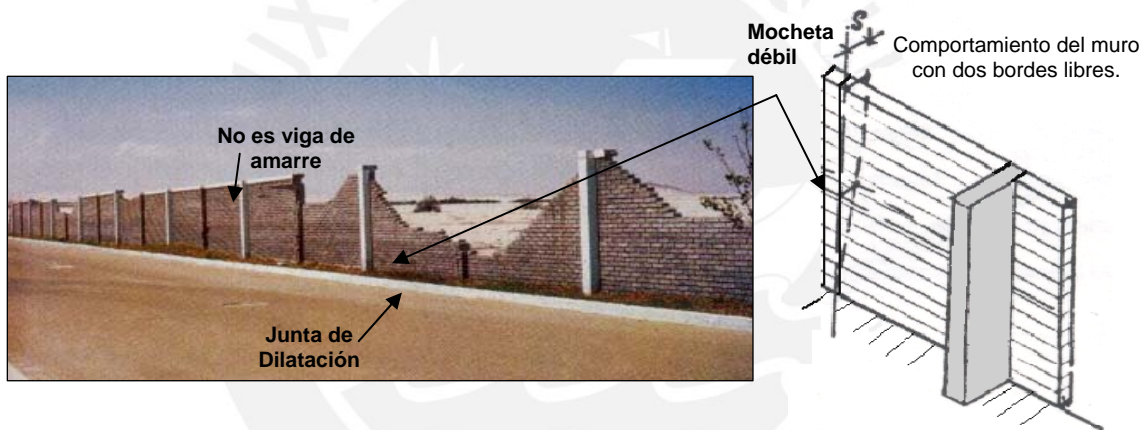


Figura 10.1.2 (b) Cerco de albañilería con columnas salientes de concreto armado cada 6 metros, falló ante las fuerzas sísmicas perpendiculares por tener dos bordes libres. Chimbote 1970. (Kuroiwa, 2002 y adaptación Blanco, 1991)

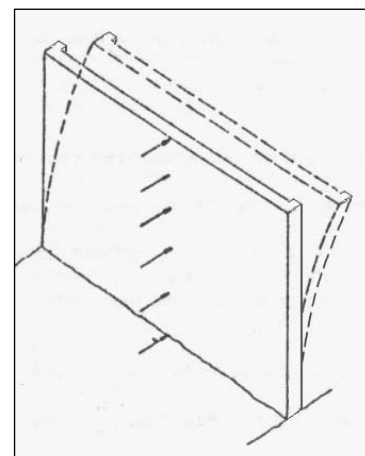
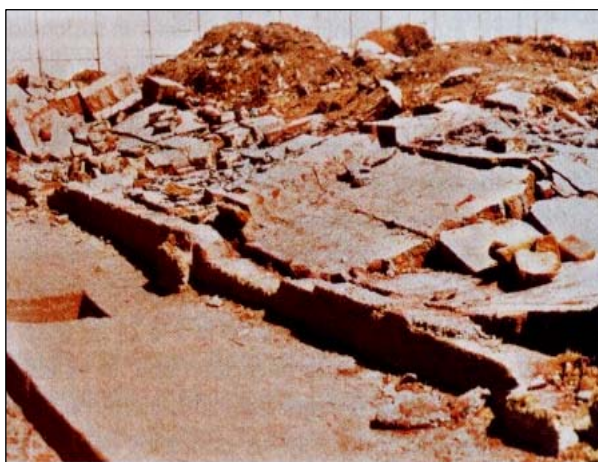


Figura 10.1.2 (c) Colapso de un cerco de albañilería con mochetas pequeñas del mismo material. Melipilla-Chile 1985 (Kuroiwa, 2002 y adaptación Blanco 1991)

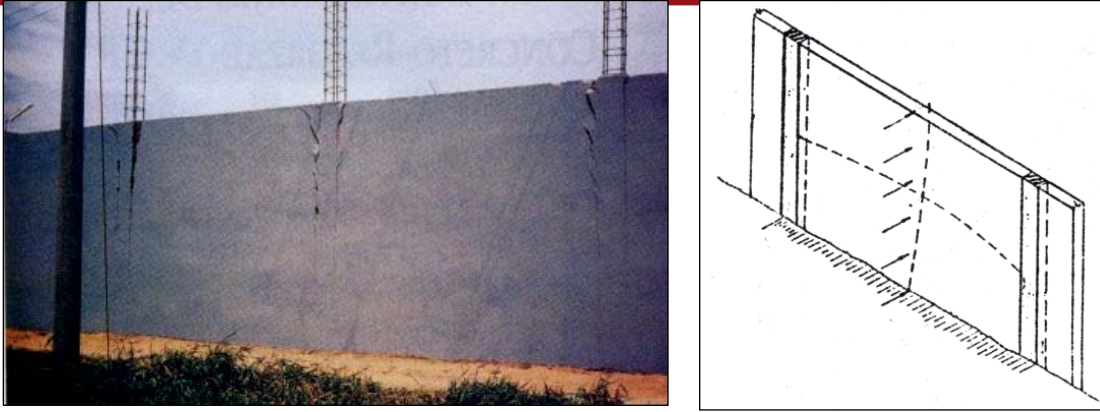


Figura 10.1.2 (d) Cerco con columna de concreto, sin viga de amarre, nótese falla por flexión del muro. Trujillo 1970. (Kuroiwa, 2002 y Blanco, 1991)

10.2 CAUSAS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES CON DIAFRAGMA

Los daños sísmicos ocurridos en edificaciones con diafragmas se encuentran generalmente en las edificaciones de concreto armado y de albañilería, en las cuáles el comportamiento sísmico de las componentes resistentes (muros o pórticos) resulta crítico para las fuerzas de inercia sísmicas coplanares.

Las causas más frecuentes de los daños sísmicos son debidas generalmente a: falta de rigidez lateral en una ó dos direcciones; distribuciones asimétricas en planta; plantas con uniones rígidas en forma de L, T, U; choque entre edificios adyacentes.

10.2.1 Vulnerabilidad por falta de rigidez lateral en una o dos direcciones

La falta de rigidez lateral se presenta en los sistemas estructurales de pórticos, dispuestos en una dirección o en las dos direcciones perpendiculares.

En cualquiera de los casos, estas edificaciones han sufrido daños sísmicos, relacionados a la interacción con los tabiques de albañilería, produciendo dos efectos importantes: a) efecto de los tabiques de albañilería en la respuesta del sistema estructural; y b) efecto de la respuesta del sistema estructural en los tabiques de albañilería.

a) Efecto de los tabiques de albañilería en la respuesta del sistema estructural

Este efecto se produce cuando los tabiques de albañilería no están separados de la estructura aporticada o si lo están, el espesor de las juntas suele ser deficiente. Dos casos típicos de este efecto son: columna corta y piso blando.

a.1. Columna corta

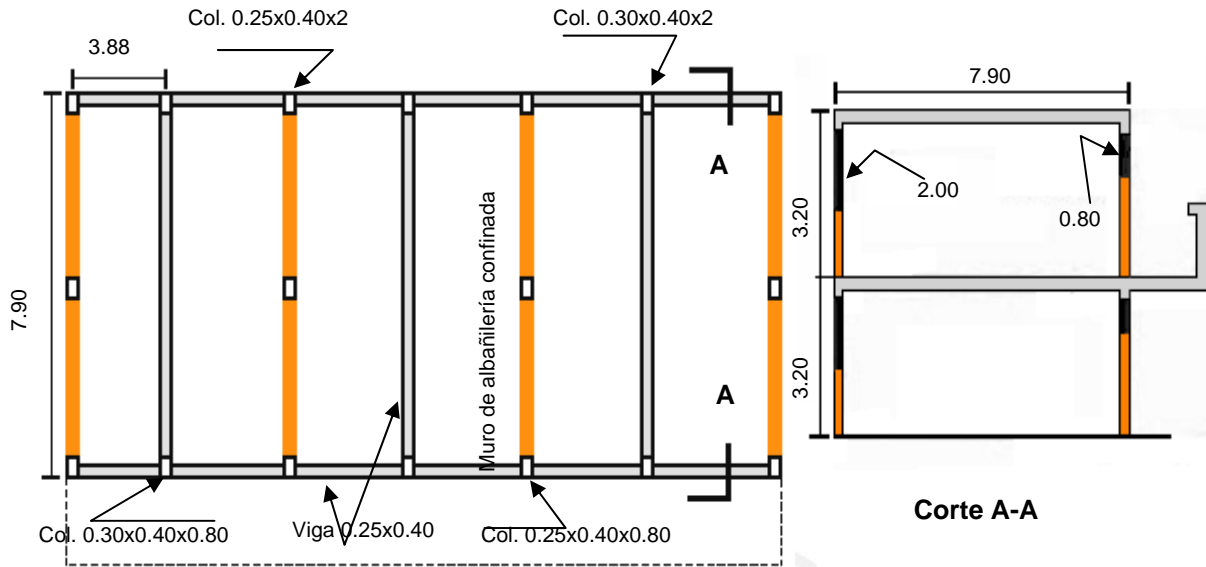
Este efecto se produce en las estructuras de pórticos, que tienen columnas de diferentes alturas.

Un ejemplo típico es el de los centros educativos, conformados estructuralmente en la dirección longitudinal por pórticos con columnas de poco peralte (fachadas frontal y posterior) y por muros en la dirección transversal (fachadas laterales). En la dirección de los pórticos, estos edificios tienen ventanas de poca altura hacia los pasadizos y ventanas de mayor altura hacia la fachada posterior, figura 10.2.1 (a).

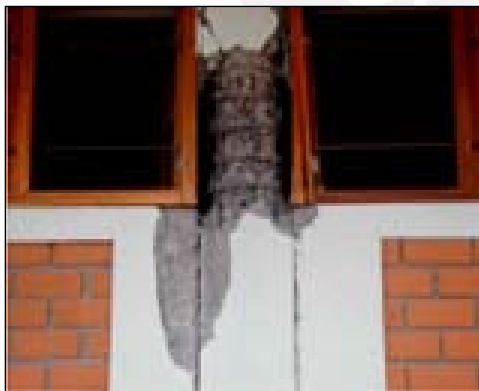
Ante los movimientos sísmicos en esta dirección, los tabiques en las zonas de las ventanas, restringen los movimientos laterales de las columnas, generando así columnas más cortas en los corredores. Al trabajar con una menor longitud, las columnas cortas se vuelven más rígidas y reciben más fuerza. San Bartolomé (1998) ilustra este problema cuantitativamente. Aplicando su procedimiento al ejemplo mostrado, la columna corta del lado del pasadizo queda restringida por el alféizar alto, excepto en una longitud de 0.80 m, y la columna del lado opuesto tiene un alféizar más bajo, quedando una longitud libre de 2.0 m.

Esto significa que, ante una fuerza sísmica en la dirección longitudinal, la columna del lado del pasadizo recibiría 15 veces más fuerza que la otra. Por tanto, las columnas cortas pueden tener daños severos por no poderse diseñar ante fuerzas tan grandes.

Este tipo de falla no se puede evitar colocando más estribos. En la figura 10.2.1 (a), se observan dos casos extremos, en la izquierda una columna corta con adecuado confinamiento de estribos y en la derecha una columna corta sin estribos. Las columnas cortas se dan en ambos casos, con la diferencia de que el efecto en la columna sin estribos es más peligroso por la destrucción del concreto en esa zona.



Planta típica y corte elevación de colegios Infes antiguos - Costa



Falla por columna corta (con estribos) 3/8" a 0.10 m
C.E. Camaná - Terremoto 2001

Falla por columna corta sin estribos
C.E. Fermín del Castillo -T
Terremoto Nazca 1996

Figura 10.2.1 (a) Fallas por columnas cortas. Obsérvese la existencia de juntas entre columnas y tabiques con ancho insuficiente. La presencia de estribos no evita este tipo de falla. (www.eeri.org y Quiun 1997)

a.2. Piso débil o blando

Este efecto se produce en edificios que tienen el primer piso conformado por pórticos sin muros de relleno y pisos superiores con mucha tabiquería de relleno en los pórticos, ver figura 10.2.1 (b). Cabe anotar que también se producen pisos blandos en niveles superiores al primero, siempre que se presenten las mismas características descritas indicadas. Los ejemplos típicos son edificios de viviendas, oficinas o comerciales, que tienen el primer piso destinado a estacionamiento, comercio u otro uso que requiera espacios abiertos.



Figura 10.2.1 (b) Edificios con piso blando
(www.eeri.org y www.iitk.ac.in)

Ante los movimientos sísmicos, los desplazamientos laterales en el primer piso débil son muy grandes y los pisos superiores que tienen mucha rigidez por la presencia de muros, se mueven juntos como si todo fuera un sólo bloque rígido. En la figura 10.2.1 (c), se observa la secuencia del comportamiento del piso blando a través de dos ejemplos.

Vista 1, falla de un edificio con primer piso blando en el terremoto de Managua 1972, obsérvese la formación de rótulas en los extremos superior e inferior de las columnas del primer piso.

Vista 2, comportamiento de edificio con piso blando, comparable con el de un péndulo invertido.

Vistas 3 y 4, uno de los cuatro pabellones del hospital Olive View, que resultó severamente dañado en el terremoto de San Fernando - California 1971. Tenía siete niveles, estructura de pórticos de concreto armado con dos niveles inferiores de espacios abiertos (dos pisos blandos), mientras que los cinco niveles superiores tenían tabiques de relleno.

Vista 5, detalle del comportamiento de una de las columnas del primero y segundo nivel. Nótese la gran distorsión de una de las columnas en el primer piso y en el segundo piso la falla por columna corta debida a su interacción con los tabiques de las ventanas. El mayor desplazamiento lateral en las columnas del primer nivel fue de 0.76m, Arnold (1987)

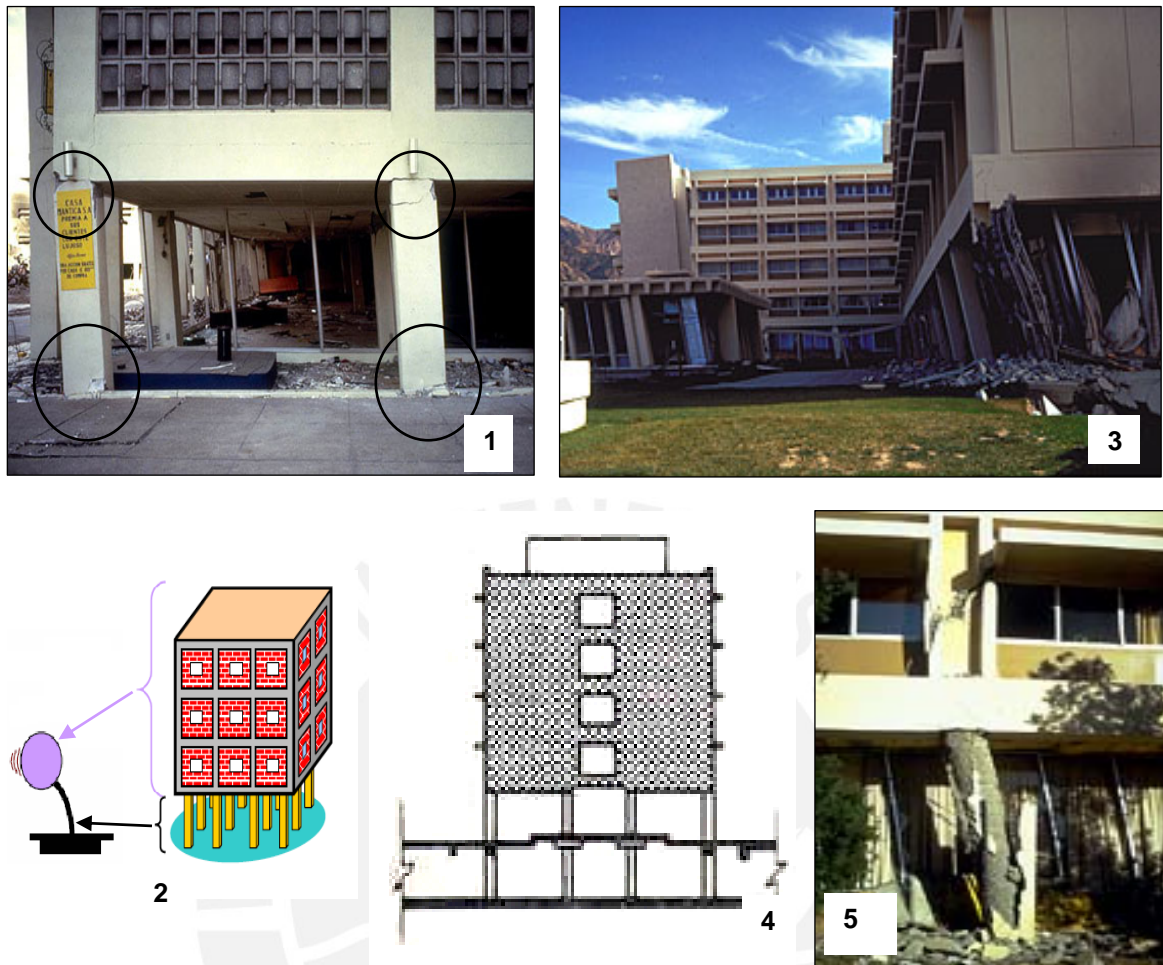


Figura 10.2.1 (c) Daños estructurales por piso blando. **1:** Edificio Comercial con 1º piso blando, terremoto de Managua 1972, nótese la formación de rótulas en las columnas del primer nivel. **2:** Comportamiento estructural de los edificios con piso blando, similar al de un péndulo invertido. **3, 4 y 5:** Hospital Olive View con 1º y 2º pisos blandos, terremoto de San Fernando - California 1971. (www.proteccioncivil.org, www.iitk.ac.in, <http://nisee.berkeley.edu>, Arnold (1987))

Arnold (1987), señala que si las columnas de este hospital hubiesen tenido mayor refuerzo, habrían tardado en fallar, pero de todas maneras, se habría producido la falla por piso blando. Por tanto, este es un problema de mala configuración.

Otro caso de piso blando en pisos superiores sucede cuando en estructuras de pórticos con muros, se tienen niveles intermedios de espacios abiertos. Los dos edificios mostrados en la figura 10.2.1 (d) fallaron en el terremoto de Kobe - Japón 1995, al tener pisos blandos en uno de sus niveles intermedios.

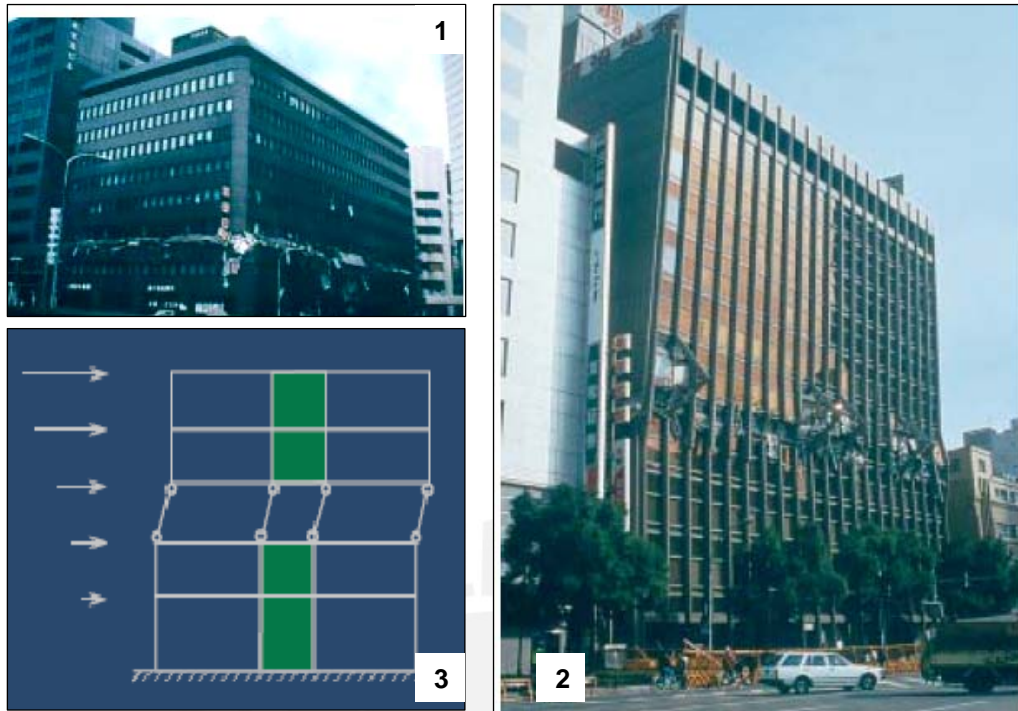


Figura 10.2.1 (d): Pisos blandos intermedios, terremoto Kobe 1995. 1: Un edificio comercial donde el tercer piso ha desaparecido y los pisos que están encima han colapsado sobre él.

2: Un edificio de oficinas donde los pisos superiores han colapsado encima del piso débil. El edificio completo ha rotado y se ha inclinado hacia delante.

3: Comportamiento de piso blando intermedio. (www.bwq.admin.ch)

b) Efecto de la respuesta del sistema estructural en los tabiques de albañilería

La combinación de pórticos con tabiques de relleno, es la de dos sistemas de diferentes características. Los pórticos son flexibles y dúctiles, mientras que los tabiques de albañilería sin reforzar son rígidos y frágiles. Por esta razón, los tabiques de relleno pueden dañarse debido al desplazamiento de los pórticos. La figura 10.2.1 (e) ilustra este efecto.

Vista 1, muestra el efecto del desplazamiento del pórtico en el tabique.

Vistas 2 y 3, muestra los daños producidos por el terremoto de Caracas de 1967, en los tabiques de relleno de un edificio de departamentos con estructura aporticada. Se observa que los daños en la tabiquería de albañilería se acentúan hacia los niveles más bajos, lo cual concuerda con el incremento de las fuerzas cortantes.

Vistas 4 y 5, ilustran el comportamiento de los edificios de Armenia, durante el terremoto de El Quindío de 1999. EERI (2000) informa, que gran parte de los edificios dañados tenían estructuras de pórticos de concreto armado con tabiquería de albañilería. Los daños se concentraron en la tabiquería, mientras que los pórticos de concreto no se dañaron o en todo caso los daños fueron leves, con excepción de los edificios antiguos (construidos antes de 1984) que fueron severamente dañados o colapsaron.

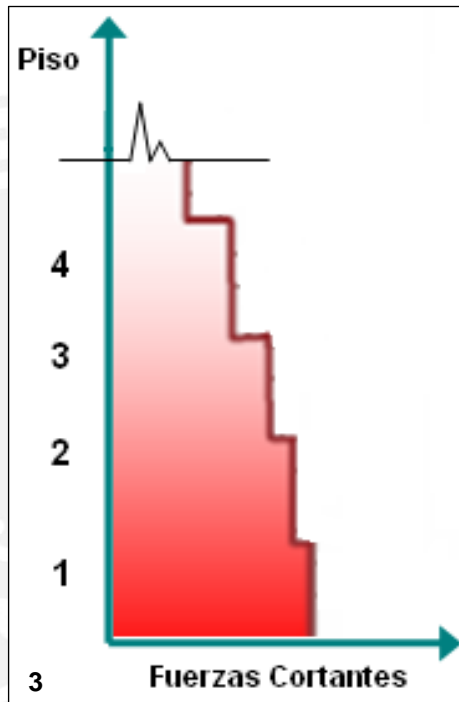
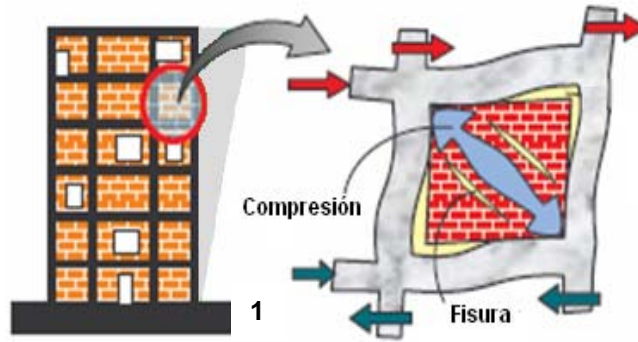


Figura 10.2.1 (e) Daños en edificios con pórticos de concreto y tabiques de albañilería. **1** Comportamiento. **2** Daños en tabiquería de edificio de departamentos, terremoto de Caracas 1967. **3** Diagrama de fuerzas sísmicas en función del nivel. **4 y 5** Terremoto Armenia - Quindío 1999, daños en tabiquería de Edificio Municipal y colapso de Estación de Policía. (www.iitk.ac.in, Kuroiwa (2002) y www.eeri.org)

10.2.2 Vulnerabilidad sísmica debida a distribuciones asimétricas en planta

Las distribuciones asimétricas en planta se presentan con respecto: a los pesos; a los sistemas resistentes (pórticos o muros); y a los tabiques.

La asimetría en planta, conduce a efectos torsionales, debido a la excentricidad que se genera entre el centro de masas (CM) y entre el centro de rigideces (CR), tal como se muestra en la figura 10.2.2 (a). En el plano horizontal, el edificio rota alrededor del centro de rigideces, lo cuál genera desplazamientos relativos grandes entre la parte superior e inferior de las columnas que están más lejos del centro de rigidez CR, haciendo que éstas fallen.

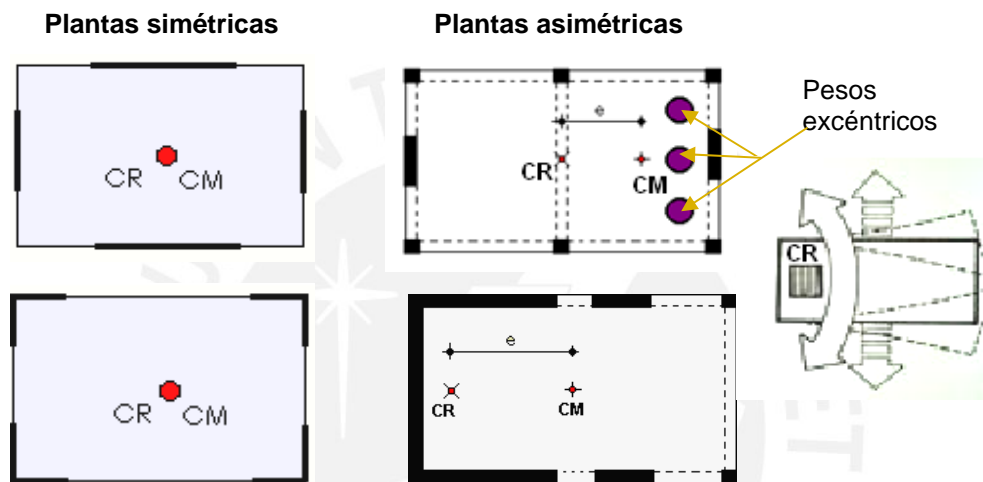


Figura 10.2.2 (a): Ubicaciones de centro de masa (CM) y centro de rigidez (CR). Izquierda: Plantas con distribución simétrica de elementos resistentes. Derecha: Plantas con distribución asimétrica de pesos y de rigideces de los sistemas resistentes. (Adaptación www.lorenzoservidor.com.ar y <http://nisee.berkeley.edu>)

A continuación se muestran algunos ejemplos que ilustran diferentes casos de asimetría y los daños ocasionados por los terremotos a los que han sido sometidos.

- **El edificio comercial J. C. Penney, terremoto de Anchorage – Alaska 1964**

El edificio J.C. Penney, tenía 5 pisos y se encontraba ubicado en una esquina, según se observa en la figura 10.2.2 (b). El sistema estructural del edificio era del tipo mixto o dual, compuesto por muros y pórticos de concreto armado.

La primera planta tenía muy poca excentricidad, mientras que los pisos superiores tenían más excentricidad por la interrupción de los muros estructurales del lado norte del primer piso. Para las plantas de los pisos 4º y 5º, la excentricidad era aún mayor debido a la interrupción de los muros en dos tramos del lado este. Los lados norte y este, conformados por pórticos, estaban cubiertos por paneles pesados de concreto prefabricado de .10 m de espesor.

Los efectos torsionales no fueron significativos en el primer piso debido a la poca excentricidad, pero sí fueron grandes en los pisos superiores como consecuencia de una gran excentricidad entre los centros de masa y de rigideces; y por el gran peso del edificio incrementado por el peso de los paneles no estructurales de concreto en las fachadas norte y este.

Los desplazamientos rotacionales inducidos por el sismo, aparentemente causaron fallas en los elementos resistentes al corte del muro este, con lo cuál el edificio llegó a ser más susceptible a la distorsión rotacional y los muros sur y oeste fallaron. Varios paneles que no estaban bien anclados a la estructura se desprendieron y cayeron a la calle, matando a dos personas y destruyendo varios carros. Arnold (1987), (www.ngdc.noaa.gov) y <http://nisee.berkeley.edu>

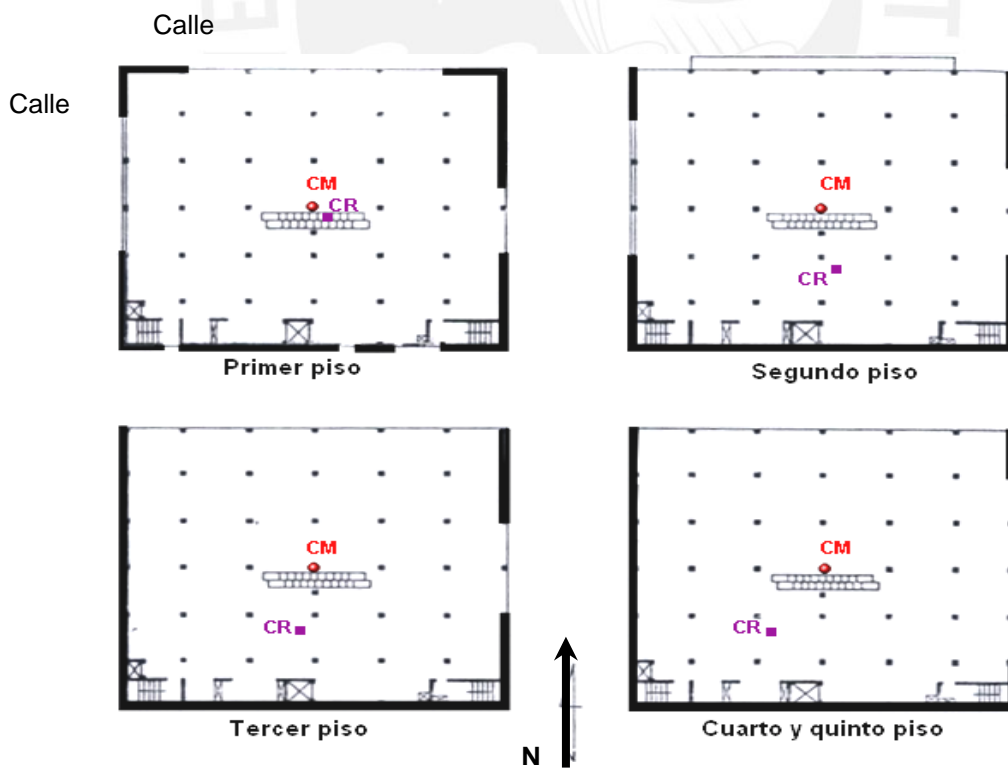


Figura 10.2.2 (b) Colapso por torsión del edificio JC Penney, terremoto Anchorage 1964.
(Adaptación: <http://nisee.berkeley.edu> y Arnold, 1987)

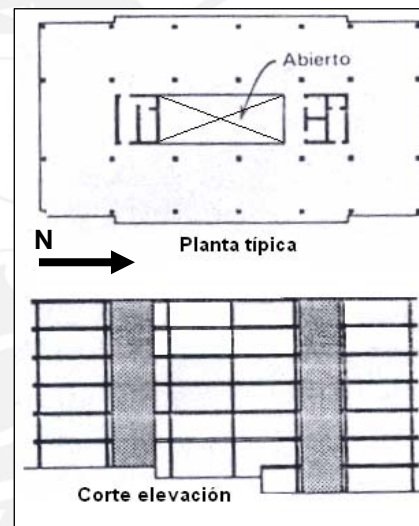
- **El edificio de departamentos Four Seasons, terremoto de Anchorage - Alaska**

El edificio Four Seasons tenía seis pisos, con plantas de pisos aparentemente simétricas tal como se puede observar en la figura 10.2.2 (c). El sistema estructural estaba compuesto por columnas de acero y dos núcleos con escaleras y ascensores de concreto armado, dispuestos simétricamente en los extremos de una abertura central en cada losa. Las losas de los pisos eran prefabricadas de concreto armado.

El edificio colapsó cuando recién se acababa de construir y aún se encontraba desocupado. Arnold (1987), señala que se desconocen las causas precisas del colapso, sin embargo encuentra tres deficiencias en la configuración de este edificio: 1) la cimentación de los núcleos de ascensores y escaleras estaban aisladas entre sí; 2) aunque aparentemente los dos núcleos eran iguales y estaban dispuestos simétricamente, el núcleo norte se comportó como un sistema más rígido que el otro; 3) las aberturas centrales de los pisos, redujeron el contacto con el núcleo.



Figura 10.2.2 (c) Colapso por torsión en plantas aparentemente simétricas del edificio Four Seasons, terremoto Anchorage 1964. (www.dggs.dnr.state.ak.us y Arnold, 1987)



- **El edificio Calipso, terremoto de Bahía de Caráquez 1998**

El edificio Calipso no resistió los efectos del terremoto de Bahía de Caráquez - Ecuador 1998 y colapsó con apenas 5 años de antigüedad. Correspondía a una estructura aporricada de 6 pisos con espacios abiertos en el primer piso y abundantes muros de tabiquería en los 5 pisos superiores, ver figura 10.2.2 (d), según se explica a continuación:

Vistas 1 y 3, muestran la configuración vertical del edificio con primer piso blando, debido a que los pórticos son mucho más altos y libres de tabiquería con respecto a los pisos superiores.

Vista 2, muestra una planta típica del edificio donde se puede observar la distribución de las columnas y las longitudes de las vigas y voladizos. Fernández (1998), señala, vigas chatas en la dirección de los ejes A, B y C, y longitud máxima del volado 2.50 m.

Vista 3, muestra la altura promedio de las columnas en el primer piso igual a 4.20 m con excepción de las columnas 3A y 3B que tenían altura de 2.60 m, debido a que estaban arriostradas por el muro de la piscina hasta 1.20m sobre el nivel del suelo. La mayor rigidez de las columnas 3A y 3B generó el efecto de columna corta y además torsión, debido a la excentricidad (Vista 2).

Vista 4, muestra la falla de las columnas del eje 1, debido a la torsión.

Vista 5, muestra el colapso de la estructura, ocasionando por la rotura de la losa a lo largo del eje 2. La porción de pisos comprendida entre los ejes 2 y 3 quedaron superpuestos.

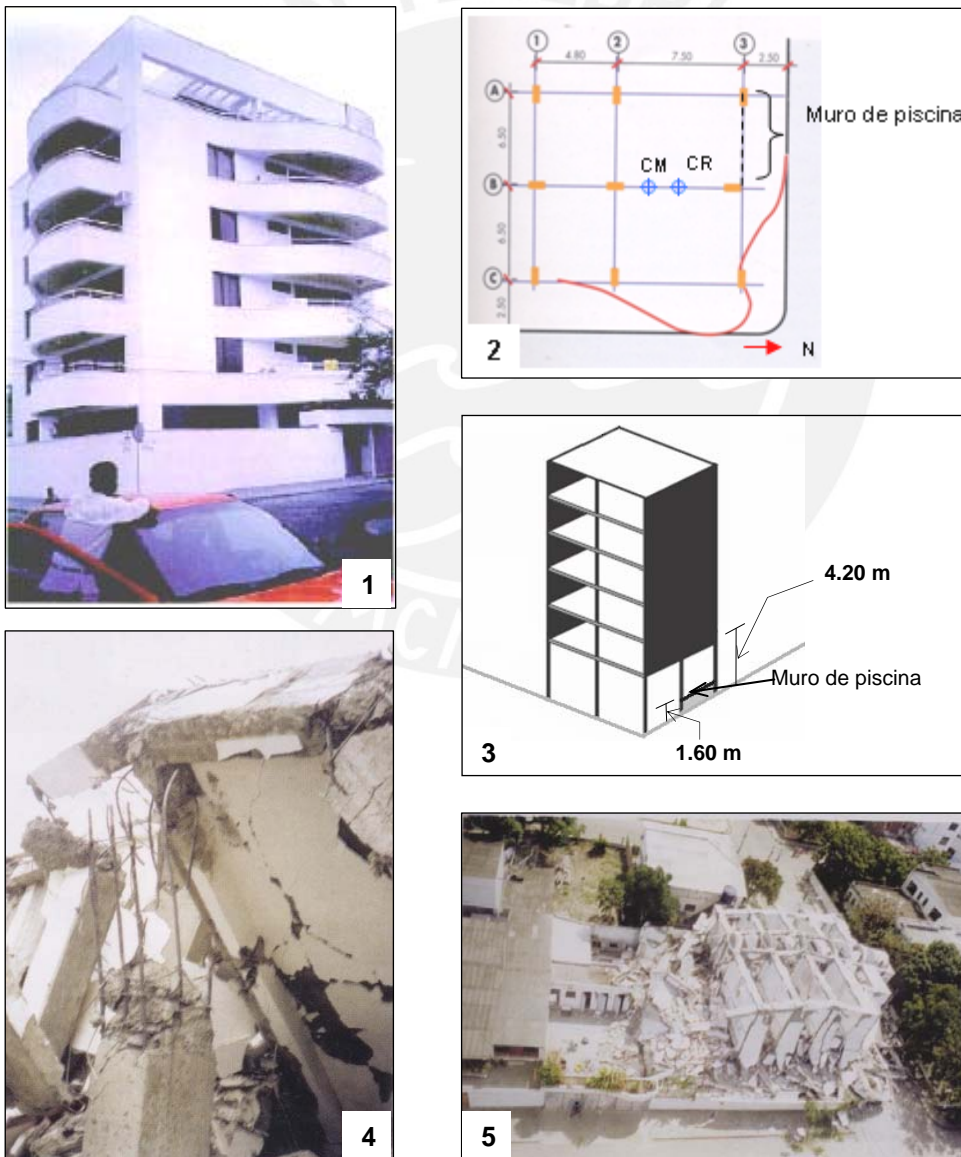


Figura 10.2.2 (d) Edificio Calipso antes y después del terremoto, Bahía de Caráquez 1998. (Fernández, 1998)

10.2.3 Vulnerabilidad sísmica en plantas con encuentros rígidos en esquina de formas L, T, U, H, +

Estas formas son muy preferidas en los planteamientos arquitectónicos debido a que permiten distribuciones agradables y funcionales, con buena iluminación y ventilación. Sin embargo, ante los movimientos sísmicos no tienen buen comportamiento, debido a que sus componentes reaccionan de diferente manera provocando concentración de esfuerzos en el encuentro rígido y efectos de torsión en cada una de las componentes.

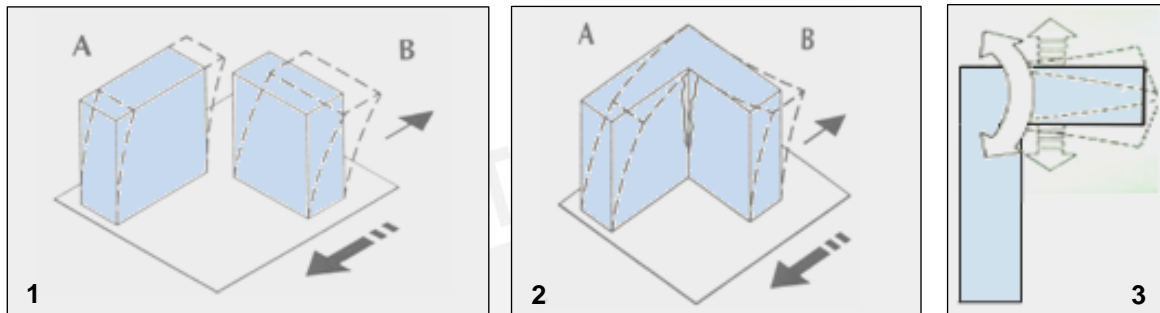


Figura 10.2.3 (a) Comportamiento sísmico de edificios con encuentro rígido en L
(www.trainig.fema.gov y <http://nisee.berkeley.edu>)

Lo expuesto se puede explicar con las vistas 1, 2 y 3 de la figura 10.2.3 (a), de un edificio conformado en **L**, actuando ante la dirección de la fuerza sísmica mostrada (paralela a la mayor dimensión del edificio).

La vista 1, muestra la respuesta sísmica de cada una de las componentes separadas. La componente "A", tiene su mayor rigidez en la dirección de la fuerza mostrada, por lo que sus desplazamientos y esfuerzos son restringidos. La componente "B", recibe la fuerza en la dirección de su menor rigidez y genera mayores esfuerzos y desplazamientos.

La vista 2, muestra la situación real de la forma del edificio con las dos componentes unidas entre sí rígidamente. En esta condición, ambas tratan de moverse en forma diferente, ocasionando daños de las características mostradas en la esquina del encuentro.

La vista 3, muestra cómo las fuerzas perpendiculares a la componente "B", tienden a hacerlo rotar alrededor del centro de rigidez ubicado en la componente "A".

Aplicando el mismo razonamiento para una fuerza sísmica perpendicular a la mostrada, el centro de rigidez se trasladaría a la componente "B" y la componente "A" resultaría con mayores esfuerzos y deformaciones. Un ejemplo de vulnerabilidad sísmica de este tipo de edificaciones es el de la escuela secundaria en West Anchorage, en el terremoto de Alaska 1964.

• Escuela Secundaria de West Anchorage, terremoto de Alaska 1964

La escuela de secundaria de West Anchorage, era una edificación de dos pisos, conformada en L, y con estructura de pórticos y muros de concreto armado, ver figura 10.2.3 (b).

El sismo ocurrió cuando la escuela estaba desocupada. En el segundo piso del pabellón de aulas, los pórticos y muros de concreto sufrieron severos daños estructurales y casi todas las columnas fallaron, produciéndose además la rotura de muchos vidrios. El segundo piso fue demolido, conservando el primer piso, durante la reparación del colegio.

Arnold (1987), expone una apreciación que hizo el ingeniero John Meehan, respecto al comportamiento sísmico de este edificio. En resumen, señala que el daño inicial ocurrió en la fractura del diafragma de la azotea, en el vértice del ángulo formado por las dos componentes en L, debido a efectos torsionales y concentración de esfuerzos. La separación de las dos componentes, produjo falla en los muros de concreto y después fallaron las columnas exteriores del segundo piso, tal como se puede observar en las vistas 1 y 2 de la figura 10.2.3 (b). No se observaron daños en las columnas del corredor interior, mostrado en la planta del edificio.

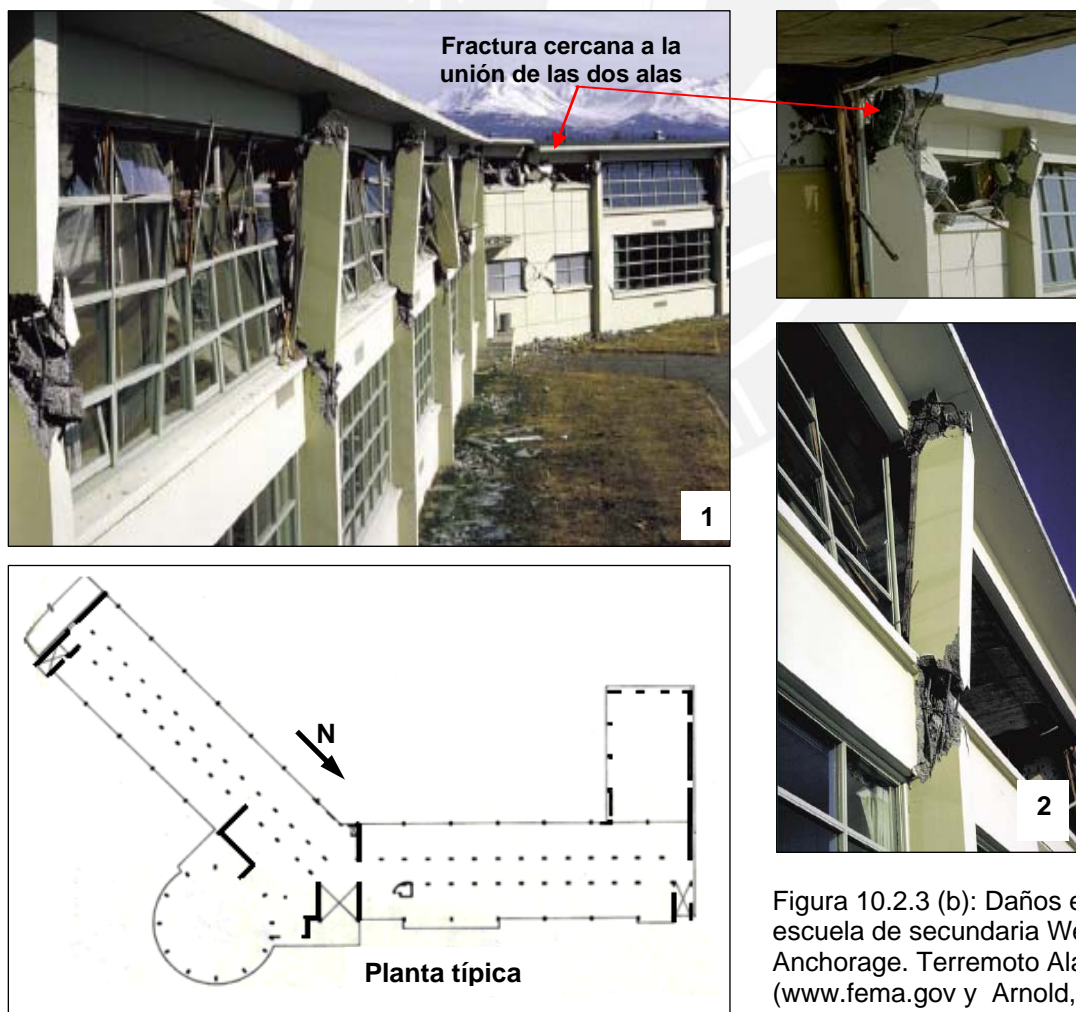


Figura 10.2.3 (b): Daños en la escuela de secundaria West Anchorage. Terremoto Alaska 1964 (www.fema.gov y Arnold, 1987).

10.2.4 Vulnerabilidad sísmica debida a choque entre edificios adyacentes

El choque entre edificios, ante fuerzas sísmicas, sucede cuando la separación de dos o más edificios adyacentes no existe o es insuficiente. La amenaza es grande cuando las losas del piso del edificio adyacente están en niveles diferentes y chocan contra las columnas del edificio vecino.

En el terremoto de México 1985, sucedieron muchos casos de este tipo de daños, debido a la flexibilidad de las edificaciones y a la amplificación sísmica del suelo. Se muestran algunos ejemplos en la figura 10.2.4 (a):

La vista 1, muestra un edificio comercial flexible (losas planas sin vigas), que se encontraba entre dos edificios vecinos de mayor rigidez. El choque con los edificios causó el colapso de los pisos superiores de la estructura en el nivel de los techos de las estructuras vecinas.

La vista 2 muestra el colapso de un edificio moderno de concreto armado (izquierda) por efecto del choque contra un edificio muy rígido y antiguo (derecha).

Las vistas 3 y 4 muestran la falla de un entrepiso superior del edificio de la derecha ocasionado por el choque del edificio de la izquierda. Nótese también la deflexión del edificio de la derecha. La estructura de ambos edificios consistía de pórticos de concreto, de poca rigidez.

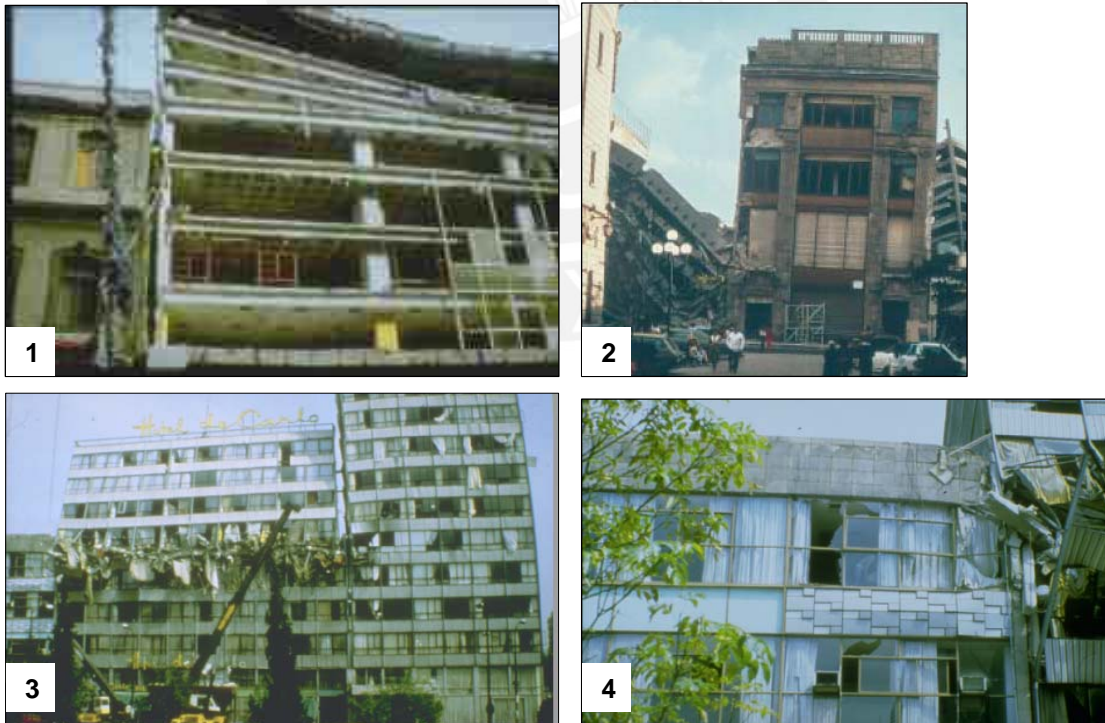


Figura 10.2.4 (a) Daños por choque entre edificios adyacentes, en Ciudad de México. Terremoto México 1985 (www.ngdc.noaa.gov, www.bwg.admin.ch)

10.3 METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA

La metodología, será expositiva-participativa. Las estrategias de enseñanza; los medios y materiales; y la evaluación, son descritos a continuación.

10.3.1 Estrategias de enseñanza

Los puntos a tratar serán expuestos por el docente, a través de diapositivas preparadas en base a los contenidos e ilustraciones de este capítulo. Previamente, se encargará a todos los alumnos que averigüen el significado de: peligro sísmico, vulnerabilidad y riesgo sísmico. El docente debe tratar de que la exposición no se torne aburrida, buscando la participación de los alumnos, de acuerdo a las estrategias mencionadas a continuación:

- Al inicio de la exposición, el docente preguntará indistintamente a los alumnos, sobre los significados de peligro sísmico, vulnerabilidad y riesgo sísmico. El docente irá haciendo las aclaraciones pertinentes hasta asegurarse que los conceptos estén claramente definidos.
- Para el tema referido a “Causas de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones sin diafragma”, es necesario que los alumnos hayan identificado la dirección más crítica del sismo para este tipo de edificaciones, en base a lo aprendido en el capítulo 9. Cada uno de los daños ocurridos pueden sustentarse con maquetas ejecutadas por grupos de alumnos. Las maquetas ejecutadas pueden ser las siguientes: muro en voladizo, sin arriostramiento en los extremos; muro con arriostramiento en la base y con arriostramiento en los extremos; muro con los 4 lados arriostrados. Se trata de percibir el comportamiento ante cargas laterales.
- Para el tema “Causa de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con diafragma” también es necesario que los alumnos identifiquen la dirección más crítica para el sismo en este tipo de edificaciones, en base a lo aprendido en el capítulo 9. Puede hacerse uso nuevamente de las maquetas de rigidez variando la altura y de un péndulo con gran masa.
- Puede utilizarse videos de otros laboratorios con maquetas versátiles que permitan probar diferentes configuraciones: rígidas, flexibles, simétricas y asimétricas.

10.3.2 Medios y materiales

La exposición del docente debe ir acompañada de ayudas visuales; experimentación de laboratorio. Los alumnos deben tratar de identificar en su localidad, edificios que tengan columnas cortas, piso blando, disposiciones asimétricas; edificios adyacentes que no tengan juntas de dilatación; edificios con poca rigidez lateral en una o dos direcciones; edificios que aparentemente no tienen esos problemas. También, deben reconocer edificaciones sin diafragma, y buscar algunos planos de los diferentes casos.

10.3.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 10, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.



11. REGULACIONES SISMORRESISTENTES A APLICAR EN LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA

Las regulaciones sismorresistentes surgen en los países ubicados en zonas sísmicas, como respuesta para “garantizar” el adecuado comportamiento sísmico de las edificaciones. Están basadas en el comportamiento experimentado por estructuras ante los sismos pasados, entre otros aspectos.

El objetivo de este capítulo es familiarizar al alumno de Arquitectura con algunos conceptos contenidos en la Norma Técnica Peruana de Edificación E-030 Diseño Sismorresistente (NTE-030). Específicamente, se discuten los artículos que se necesita conocer para aplicar las recomendaciones sismorresistentes en el desarrollo de los proyectos arquitectónicos.

Teniendo en consideración que estas recomendaciones sismorresistentes, están relacionadas con el suelo, el material y la configuración, se tratarán en este capítulo los temas que se mencionan a continuación: 1) las normas sismorresistentes en el Perú; 2) los parámetros de sitio; 3) los factores de reducción; 4) los factores de uso; 5) el cálculo de la fuerza cortante sísmica en la base del edificio.

11.1 LAS NORMAS SISMORRESISTENTES EN EL PERÚ

La implementación de los códigos de diseño sismorresistente para edificaciones en el Perú, se inició en el año 1964. El primer proyecto de la Norma Peruana, se basó en el código de la Asociación de Ingeniería Estructural de California (SEAOC). El año 1970 se publicó la primera Norma; posteriormente, la segunda y tercera en los años 1977 y 1997 respectivamente. Actualmente está vigente la Norma Técnica de Edificación E-030 (NTE-030), publicada en el año 2003 y reactualizada en el nuevo Reglamento Nacional de Edificaciones publicado en junio del 2006.

La filosofía de diseño sismorresistente de la NTE-030, consiste en: evitar pérdidas de vidas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad. Esto significa que ante un sismo severo, el edificio podría sufrir daños estructurales y no estructurales, pero sin llegar al colapso; y ante un sismo moderado, podría experimentar daños estructurales leves, pero manteniéndose operacional.

11.2 PARÁMETROS DE SITIO

Los parámetros de sitio conforman una parte de los factores que afectan la fuerza sísmica en un edificio. Están relacionados con la aceleración del movimiento sísmico; las condiciones del lugar según el tipo de estrato del suelo y su topografía; y las características de la estructura.

Los parámetros de sitio son tres: factor de zona **Z**, factor de amplificación del suelo **S** y factor de amplificación sísmica **C** en la respuesta de la estructura.

Mapa de Zonificación Sísmica (NTE-030)

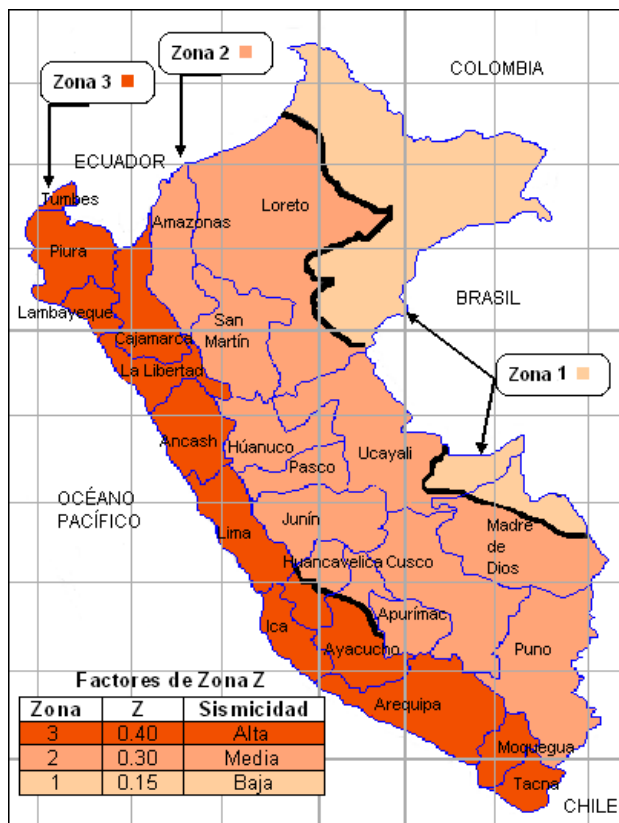


Figura 11.2 **Izquierda:** Mapa de zonificación sísmica y factores de zona **Z**. **Derecha:** Las aceleraciones en la roca, el suelo y el edificio, utilizando los parámetros de sitio. (NTE-030).

11.2.1 El factor de zona Z

La Norma E-030 divide al Perú en tres zonas sísmicas, tal como se puede observar en el mapa de la figura 11.2 - izquierda, donde además se muestran los valores del factor de zona **Z** para cada una de las tres zonas.

El factor de zona **Z** multiplicado por la aceleración de la gravedad, g , representa la aceleración máxima en la base rocosa, figura 11.2 - derecha. En la zona 3 de mayor sismicidad, la aceleración máxima en la roca es 0.4 (g) y para las otras zonas es 0.3 (g) y 0.15 (g).



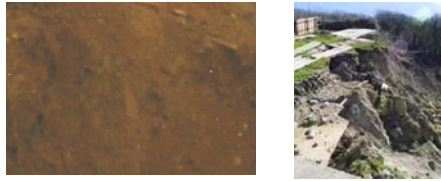

Los valores **Z** indicados han sido obtenidos a través de métodos estadísticos, para una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, en un período de retorno de 500 años.

11.2.2 El factor de amplificación de suelo **S**

Tal como se ha señalado en el capítulo 8, el movimiento sísmico en la roca puede ser amplificado al pasar por los estratos del suelo donde se ubicará el edificio. Si el suelo es firme, no hay amplificación, pero si es blando o el estrato es muy grande, hay amplificación notoria.

La NTE-030, considera el factor de amplificación de suelo **S** con respecto a la aceleración sísmica en el lecho rocoso, con lo que la aceleración máxima en la cimentación del edificio, es **SZ (g)**, figura 11.2-derecha. Los factores de amplificación sísmica **S**, considerados por la Norma, corresponden a 4 tipos de suelos. En la Norma sólo se dan valores de **S** para los tres primeros tipos de suelos, figura 11.2.2. También existe el parámetro T_p (período límite para cada tipo de suelo), el cual será tratado más adelante.

Por ejemplo, en un edificio de 9 pisos, ubicado en la zona 3, sobre suelo de buena calidad (tipo S1, $S=1.0$), la aceleración en su base sería: $1.0 \times 0.4 (g) = 0.4 (g)$. Si el mismo edificio estuviera ubicado sobre un suelo flexible (tipo S3, $S=1.4$), la aceleración máxima en su base sería: $1.4 \times 0.4 (g) = 0.56 (g)$.

Parámetros del suelo (NTE-030)			
Tipo	Descripción	$T_p(s)$	S
S1	 <p>Roca o suelos muy rígidos</p>	0,40	1,0
S2	 <p>Suelos intermedios</p>	0,60	1,2
S3	 <p>Suelos flexibles o con estratos muy altos</p>	0,90	1,4
S4	 <p>Condiciones excepcionales</p>	*	*

((*) Los valores de T_p y S , serán establecidos por especialistas, pero deberán ser mayores o iguales que los especificados para S_3 .

Figura 11.2.2 Parámetros del suelo.

11.2.3 El factor de amplificación sísmica C en la respuesta de la estructura

En el capítulo 9.0, se vio que la aceleración máxima que recibe un edificio en su cimentación puede aumentar o no, de acuerdo a su período de vibración T y su amortiguamiento. La NTE - 030, considera este efecto con el factor de amplificación sísmica C, que se calcula con $C = 2.5\left(\frac{T_p}{T}\right)$; $C \leq 2.5$.

El período del edificio T de acuerdo a la NTE-030 (artículo 17.2), puede ser calculado con el procedimiento ya explicado en el capítulo 9, sección 9.1.2, inciso c. El valor de Tp como se observa en la figura 11.2.2, varía según el tipo de suelo. Representa el máximo período que puede tener un edificio para experimentar la mayor amplificación sísmica considerada por la Norma.

Muñoz (1998) explica que en base a los registros de sismos ocurridos en el pasado, se han obtenido aceleraciones para edificios de diferentes períodos. Estos datos muestran que los edificios con períodos menores o iguales a Tp experimentan la máxima amplificación de la aceleración del suelo y los edificios con períodos mayores a Tp, experimentan menores amplificaciones.

De acuerdo a lo expuesto, la aceleración en el edificio será: ZSC (g). Ver figura 11.2-derecha. Siguiendo con el mismo ejemplo expuesto en la sección 11.2.2, para el edificio en la zona 3 cuyo período es T = 0.9 s, la aceleración de diseño en el edificio para los dos tipos de suelo sería:

Suelo S1: S=1.0; Tp = 0.4s;

$$C = 2.5\left(\frac{0.4}{0.9}\right) = 1.11 < 2.5 ; \text{Aceleración ZSC} = 0.4 \times 1.0 \times 1.11 \text{ (g)} = 0.44 \text{ (g)}$$

Suelo S3: S=1.4; Tp = 0.9s;

$$C = 2.5\left(\frac{0.9}{0.9}\right) = 2.5 ; \text{Aceleración ZSC} = 0.4 \times 1.4 \times 2.5 \text{ (g)} = 1.4 \text{ (g)}$$

En conclusión, el edificio sobre suelo S3 experimentaría una aceleración máxima $\frac{1.4}{0.44} = 3.18$ veces mayor que si estuviera ubicado sobre suelo S1, figura 11.2.3.

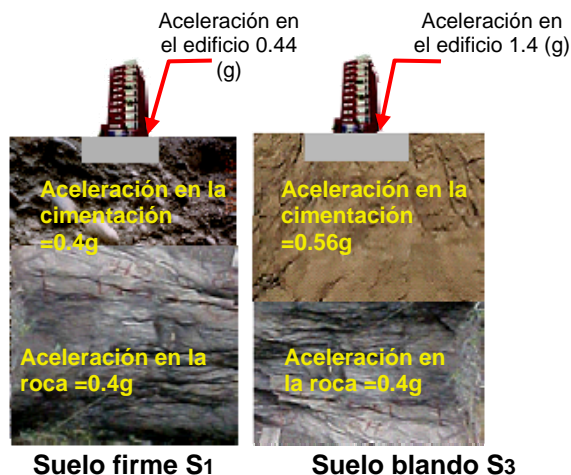


Figura 11.2.3: Ejemplo de amplificación sísmica en dos edificios iguales, ubicados en zona de alta sismicidad, en dos suelos diferentes: suelo firme S1 y suelo blando S3.

11.3. LOS FACTORES DE REDUCCIÓN

Los factores de reducción son valores que permiten reducir las fuerzas sísmicas de una estructura, aceptando deformaciones inelásticas.

Los factores de reducción sólo pueden ser aplicados a las estructuras que tienen comportamiento dúctil. La ductilidad es un requisito esencial en las edificaciones sismorresistentes, porque permite a los ingenieros estructurales diseñar las estructuras con fuerzas sísmicas reducidas.

La filosofía de diseño sismorresistente, indicada en la NTE-030, tiene como objetivo principal proteger y conservar la vida. Para cumplir con esto, deberán evitarse materiales que tengan falla frágil, tales como tierra, ladrillo, piedra y concreto, sin reforzar.

Alternativamente, los muros masivos de piedra o de tierra de construcciones antiguas, han resistido muchos sismos, por su gran tamaño. Como ejemplo, en el Perú se tienen construcciones de tierra como Chan Chan (La Libertad), y el Convento de Ocopa (Junín); y construcciones de piedra como Sacsayhuamán (Cuzco). Estas construcciones no son factibles en los tiempos actuales por la necesidad de optimizar los espacios.

Cualquiera de los materiales frágiles mencionados, debidamente reforzados, puede lograr buena capacidad de deformación antes de colapsar, es decir pueden alcanzar adecuada ductilidad. Sin embargo, la población urbana del Perú prefiere las construcciones de albañilería reforzada y las construcciones de concreto armado, porque brindan la sensación de seguridad y permite optimizar los espacios. Además, pueden contar con techos resistentes al medio ambiente que a su vez constituyen diafragmas rígidos.

Una ductilidad adecuada, puede hacer que durante un sismo severo, la estructura se deforme apreciablemente, dando tiempo a sus ocupantes para evacuar el edificio. En el terremoto de Ancash 1970, hubo muchas víctimas, porque las construcciones de adobe tradicionales (sin ductilidad y de poca resistencia) fallaron intempestivamente sin dar tiempo a sus ocupantes, para evacuar. Otro caso ilustrativo de esto es el comportamiento estructural diferente que tuvieron dos de los pabellones del hospital Olive View, en el terremoto de San Fernando-California 1971. En la figura 11.3 se observa:

Vista 1, muestra un pabellón con falla dúctil que no llegó al colapso total aún cuando las columnas del primer piso experimentaron un desplazamiento lateral de aproximadamente 0.80 m y una de ellas ubicada en una esquina había tenido falla frágil.

Vistas 2 y 3, muestran otro de los pabellones donde el primer piso colapsó totalmente, porque todas las columnas tuvieron falla frágil, como la mostrada en la vista 3.

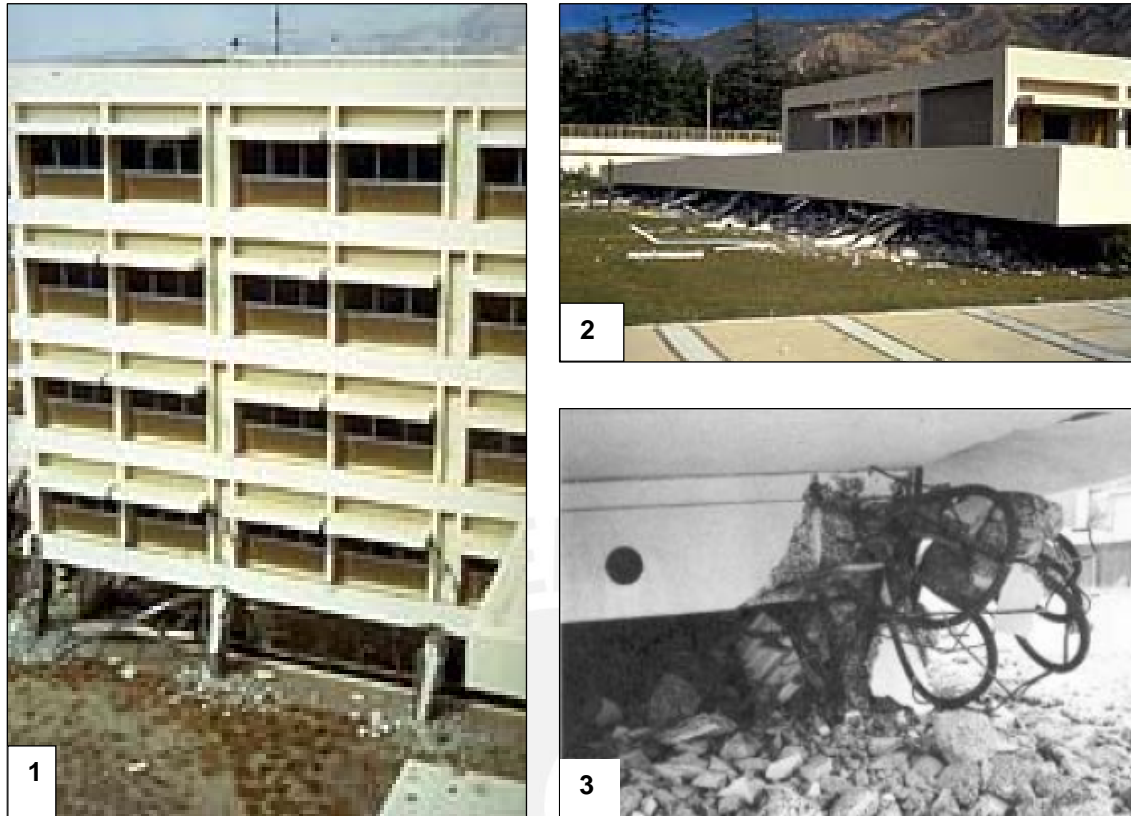


Figura 11.3 Diferencias entre las fallas dúctiles y frágiles de dos pabellones del Hospital Olive View. **1.** Falla dúctil. **2.** Falla frágil. **3.** Columnas con colapso frágil del pabellón mostrado en la vista 2. (<http://nisee.berkeley.edu> y <http://fing.uncu.edu.ar>)

La NTE-030 considera el factor de reducción **R**. En la tabla 11.3, se indican los coeficientes de reducción R para concreto armado y albañilería, según el tipo de material y sistema estructural. Cabe mencionar que la Norma establece situaciones que diferencian las estructuras regulares de las irregulares. Si la estructura es irregular, entonces el factor de reducción R debe ser tomado como $\frac{3}{4}$ del valor R anotado en la Tabla. En consecuencia, una edificación irregular debe ser diseñada para $\frac{4}{3}$ de la fuerza sísmica de una edificación regular.

Tabla 11.3 Coeficientes de reducción R (NTE-030)

Sistemas estructurales	Coeficientes de reducción R
Concreto Armado	
• Pórticos	8
• Dual	7
• Muros estructurales	6
Albañilería Armada o Confinada	3

11.4. FACTORES DE USO

El factor de uso **U** depende del nivel de importancia de la edificación. A mayor importancia de la edificación, mayor será el factor de uso. La NTE-030, considera estos factores de uso, según se indica en la tabla 11.4.

Tabla 11.4 Factor de uso U según categoría de las edificaciones (NTE-030)

Categoría	Descripción	U
A esenciales	Hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policías, subestaciones eléctricas, reservorios de agua, centros educativos y edificios que pueden servir de refugio después de un desastre, edificaciones que pueden representar riesgo adicional.	1.5
B importantes	Teatros, estadios, centros comerciales, instituciones, penales, museos bibliotecas, archivos especiales, depósitos de granos y otros almacenes importantes.	1.3
C comunes	Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales, cuya falla no acarree peligros de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1.0
D menores	Cercos menores a 1.50 m de altura, depósitos temporales. Viviendas pequeñas temporales y similares	(*)

(*) Se puede omitir el análisis de fuerzas sísmicas, pero debe dotarse a la estructura de suficiente resistencia y rigidez lateral.

11.5 CALCULO DE LA FUERZA CORTANTE SÍSMICA EN LA BASE DEL EDIFICIO

El objetivo de esta sección es brindar herramientas y criterios que sirvan para verificar las dimensiones de los elementos sismorresistentes de una edificación. Esto implica ver si se tienen elementos en cantidad suficiente y si el material supuesto es adecuado o no.

Se considera que la aplicación del análisis estático indicado en la NTE-030, permite encontrar de manera rápida la fuerza cortante en la base del edificio. Este método está limitado para ser aplicado en edificios regulares conformados por: pórticos o sistemas duales de 45m de altura como máximo; y edificios de muros portantes de 15 m de altura como máximo.

11.5.1 Fuerza sísmica en la base

La fuerza sísmica horizontal en la base de la edificación, es la suma total de las fuerzas que se consideran actuando en cada uno de los pisos del edificio. Esta fuerza denominada “V”, es la fuerza total que actúa en todo el primer entrepiso del edificio. Equivale a una fracción del peso total del edificio “P”. Ver vistas 1 y 2 de la figura 11.5.1.

En la sección 11.2.3 de este capítulo la aceleración en la base del edificio, quedó definida como: $CSZg$.

La fuerza sísmica en la base “V”, es igual a la masa del edificio “m” ($m = P/g$) por la aceleración sísmica en el edificio. Pero la fuerza sísmica V, calculada de acuerdo a la NTE-030, deberá ser multiplicada por el factor de uso U y dividida entre el factor de reducción R. Los factores U y R, ya fueron tratados en las secciones 11.3 y 11.4. Por tanto:

$$V = m \times a = \left(\frac{P}{g} \right) \times (CSZg) \times \frac{U}{R} = \frac{CSZU}{R} P$$

Una buena aproximación para encontrar el peso “P” del edificio con diafragmas rígidos, es multiplicar el área de la planta del edificio por el valor unitario de 1.0 Ton/m². Es decir:

$$P = \text{Área de la planta} \times \text{número de pisos} \times 1.0 \text{ Ton/m}^2$$

Por ejemplo: un edificio de 9 pisos, con planta típica de dimensiones 15 x 10m, tendrá un peso total aproximado de: $15 \times 10 \times 9 \times 1 = 1350 \text{ ton}$. De acuerdo a los dos tipos de suelo que se están usando como ejemplo en el acápite 11.2.3, el edificio estará sometido a dos fuerzas sísmicas diferentes.

Asumiendo que se trata de un edificio de oficinas, con sistema estructural dual, donde $U = 1$ y $R = 7$ (tablas 11.3 y 11.4), las fuerzas sísmicas en la base del edificio serán:

$$V \text{ suelo S1 (firme)} = \left(\frac{0.44 \times 1}{7} \right) \times P = 0.063P$$

$$V \text{ suelo S1 (firme)} = 0.063 \times 1350 = 85 \text{ ton}$$

$$V \text{ suelo S3 (blando)} = \left(\frac{1.40 \times 1}{7} \right) \times P = 0.20 P$$

$$V \text{ suelo S3 (blando)} = 0.2 \times 1350 = 270 \text{ ton}$$

Nótese el incremento de la fuerza sísmica en el suelo blando en $270/85=3.18$ veces más con respecto a la fuerza sísmica en suelo firme.

Hasta aquí se asume que las fuerzas sísmicas están actuando en las dos direcciones ortogonales, en el centro de masa de cada nivel.

11.5.2 Efectos de torsión

La NTE-030 considera los efectos de torsión a través de una excentricidad de las fuerzas sísmicas de diseño para cada dirección de la planta del edificio. El momento generado (fuerzas horizontales por la excentricidad) es denominado momento torsor por su efecto en la edificación.

La excentricidad puede ocurrir entre otros factores, por variaciones del centro de masas del edificio, por incertidumbre en los valores y posición de las cargas, por la incertidumbre en las propiedades y dimensiones de los elementos estructurales, por cambios de uso, por modificaciones en la distribución de ambientes, etc.

La excentricidad se denomina accidental y se calcula como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la acción de la fuerza. El momento en cada piso es igual a la fuerza actuante en cada piso por la excentricidad. Según el sentido del momento torsor, las fuerzas cortantes se incrementan o disminuyen en los elementos resistentes. Los efectos de torsión en edificios deben ser considerados en el diseño estructural del mismo.

11.6 METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA

Se utilizará la metodología expositiva, participativa. Las motivaciones para entender cada punto serán relacionadas a los temas ya aprendidos en los capítulos anteriores. Se debe partir de la base de la importancia de las normas reguladoras y la obligatoriedad de respetarlas. Los procedimientos seguidos se mencionan a continuación.

11.6.1 Estrategias de enseñanza

Se expondrán los temas, en el orden expuesto en el contenido, resaltando la importancia de las normas y la obligatoriedad de su aplicación en nuestro país.

Previamente a esta clase, se pedirá a los alumnos el repaso de los siguientes temas: aceleración del suelo y cómo se mide; amplificación sísmica de acuerdo a las condiciones del suelo; amplificación sísmica en el suelo.

Se efectuarán ejemplos de aplicación de determinación de la fuerza sísmica V para diferentes casos. Se buscará que los alumnos identifiquen los parámetros que definen el valor de V , con diferentes edificaciones y condiciones del lugar.

11.6.2 Medios y materiales

Los medios y materiales a utilizar, pueden ser:

- Presentaciones con diapositivas.
- Visitas de trabajo a edificios existentes y al campo, complementadas con opiniones de expertos, para obtener los siguientes datos de su entorno: tipos de suelos en el casco urbano y relacionarlos con los factores S de la NTE-030; identificación de edificios en función de su importancia, para relacionarlos con los factores de uso U; identificación de algunos edificios de acuerdo al sistema estructural, para relacionarlos con los factores de reducción R.

11.6.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 11, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates.



12. LAS EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y DE ALBAÑILERÍA

El objetivo de este capítulo, es conocer las características que presentan los edificios de concreto armado y de albañilería, que son los preferidos en el país. De este modo se podrá lograr un mejor entendimiento de las propuestas y recomendaciones que se hacen posteriormente.

El diseño estructural de estas construcciones está regulado por las normas E-060 de Concreto Armado (NTE-060) y E-070 de Albañilería (NTE-070), respectivamente. Ambas normas están orientadas a lograr estructuras sismorresistentes de concreto y de albañilería.

En la formación de los alumnos de arquitectura, los materiales como el concreto y albañilería son introducidos a través de talleres de construcción, usualmente en el segundo año de estudios. Sin embargo, las propiedades estructurales, las ventajas y desventajas para una construcción sismorresistente no son impartidas en tales talleres. Es necesario entonces, darles unas nociones al respecto, como se ofrece a continuación.

El concreto armado, es un material compuesto por concreto y barras de acero corrugado. Es muy utilizado en todo el mundo debido a las grandes ventajas que posee, entre ellas la disponibilidad de sus componentes (piedra, arena, agua, cemento y acero) y de la mano de obra. Las ventajas de este material en las estructuras sismorresistentes son:

- Adaptabilidad para conseguir diversas formas arquitectónicas.
- Posibilidad de conseguir ductilidad, resistencia y rigidez.
- Factibilidad para lograr diafragmas rígidos horizontales.
- Capacidad resistente a los esfuerzos de compresión, flexión, corte y tracción.
- Durabilidad.
- Monolitismo entre losas, vigas y columnas.

Las desventajas de este material están asociadas al peso de los elementos que se requieren en las edificaciones por su gran altura; Por ejemplo, si se tienen luces grandes o volados grandes, las vigas o losas resultan de dimensiones grandes. Asimismo, elementos arquitectónicos (no estructurales) como cornisas, tabiques, o muebles pueden ser cargas gravitatorias importantes y además, aumentan la fuerza sísmica por su gran masa. También, su adaptabilidad al logro de formas diversas ha traído como consecuencia configuraciones arquitectónicas muy modernas e impactantes, pero con deficiente comportamiento sísmico.

Los concretos pueden tener diferentes resistencias a la compresión. La resistencia mínima recomendable por la NTE-060 para estructuras sismorresistentes es de 210 kg/cm^2 .

La albañilería, es un material conformado por ladrillos o bloques de arcilla cocida, concreto o sílice cal, unidos con algún material adhesivo. Los muros de albañilería son capaces de resistir fuerzas sísmicas y cargas verticales, si son reforzados adecuadamente. El refuerzo puede proveerse con elementos de concreto armado (albañilería confinada) y con armadura interna (albañilería armada). Los muros de albañilería reforzada pueden ser bien utilizados en edificaciones que por su función, requieren de muros permanentes, tales como: viviendas, hoteles, centros educativos. Este sistema si es bien configurado, diseñado y construido, resulta más económico con respecto al sistema de pórticos de concreto armado con muros de relleno y tabiques de albañilería. Además, el sistema de muros portantes de albañilería ha exhibido buen comportamiento sismorresistente, mientras que los pórticos con relleno han demostrado ser vulnerables a los sismos, tal como se ha podido observar en el capítulo 10.

De acuerdo a lo expuesto, los temas que se tratarán en este capítulo, son: 1) las losas de concreto armado; 2) los sistemas resistentes de concreto armado; 3) los sistemas resistentes de muros de albañilería. En cada uno de estos temas se discuten los tipos, las funciones que ejercen ante las sollicitaciones sísmicas y algunos alcances de las normas NTE-060 y NTE-070.

12.1 LAS LOSAS DE CONCRETO ARMADO

En las edificaciones de concreto armado y de albañilería, el presente estudio se limita a los casos de losas para techos considerados diafragmas rígidos.

Las losas de concreto armado se emplean comúnmente para los pisos y techos de los edificios. Desde el punto de vista estructural, tal como ya se mencionó en el capítulo 9, cumplen dos funciones principales: 1) resistir las cargas de gravedad que se apoyan en ellas (peso propio, piso terminado, peso de tabiques; sobrecarga de personas, muebles y otros); 2) transmitir las cargas de gravedad y de sismo a los pórticos o muros que la soportan.

Las cargas de gravedad se transmiten desde las losas a los pórticos o muros donde se apoyan, de acuerdo al área de influencia que incide en cada uno de ellos. Las cargas sísmicas laterales se transmiten desde las losas a los pórticos o muros que la soportan, proporcionalmente a sus rigideces.

Las losas que se tratarán en este capítulo serán aquellas que se encuentran apoyadas en vigas o muros. No se tratarán aquí las losas planas, es decir aquellas que se apoyan directamente en las columnas, por no tener adecuado comportamiento sismorresistente, ver figura 12.1 (a). Por ejemplo, en el terremoto de México 1985, muchas edificaciones con este tipo de losas resultaron dañadas, llegando hasta el colapso.

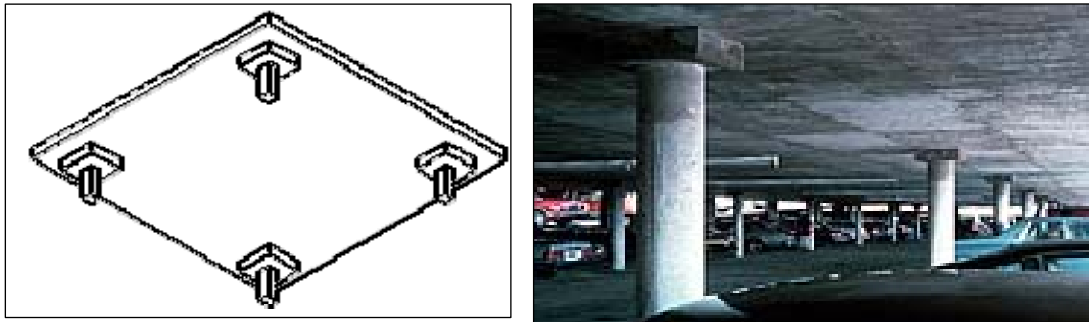


Figura 12.1(a) Losas planas, apoyadas directamente en las columnas. Es un sistema para soportar cargas de gravedad pero su poca rigidez lateral, hace que no sea conveniente en zonas sísmicas (www.ing.unlp.edu.ar, <http://nisee.berkeley.edu>).

Las losas que tienen sus bordes apoyados en vigas o muros, pueden armarse en una o dos direcciones dependiendo del tipo de losa que se trate.

En el caso de las losas armadas en dos direcciones, deben tenerse vigas peraltadas por lo menos en dos bordes perpendiculares. El caso más común en los edificios, presenta sus 4 bordes apoyados en vigas peraltadas, según se observa en la vista 1 de la figura 12.1 (b).

Las losas que tienen dos vigas peraltadas de apoyo en sus bordes extremos paralelos, según la vista 2 de la figura 12.1 (b), sólo pueden ser armadas en una dirección.

Las losas con bordes apoyados en vigas o muros, se clasifican en losas macizas, losas aligeradas y losas nevadas. Cada uno de estos tipos de losas son tratados a continuación.

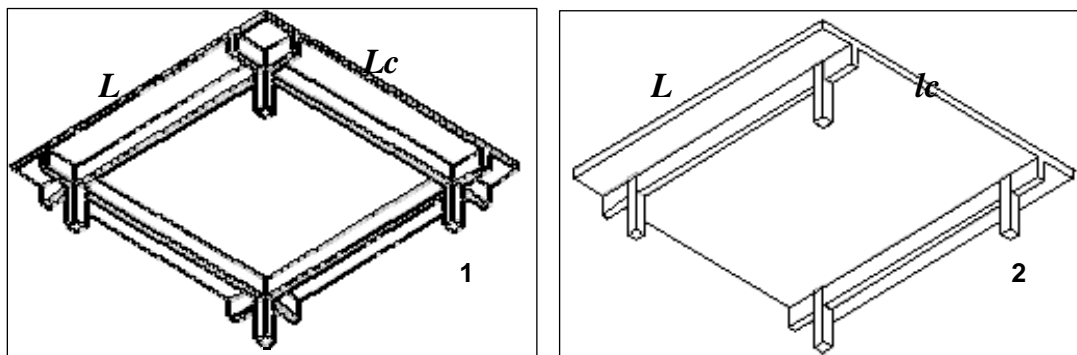


Figura 12.1 (b) Losas apoyadas en vigas. (www.ing.unlp.edu.ar)

12.1.1 Las losas macizas de concreto armado

Las losas macizas están compuestas de concreto armado en todo su espesor y extensión y suelen ser de forma rectangular. Sea L la mayor dimensión (largo), y lc la menor dimensión (ancho).

Cuando las losas macizas están apoyadas, en vigas peraltadas en sus cuatro bordes, tienden a trabajar en dos direcciones, siempre y cuando la relación $\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \left(\frac{L}{lc} \right)$ sea menor o igual a 2. La figura 12.1.1 (a), ilustra los tres tipos de comportamientos estructurales de las losas macizas. En la figura 12.1.1 (a):

Vista 1, si los paños son cuadrados, se deforman con igual curvatura en las dos direcciones.

Vista 2, si los paños son rectangulares con relaciones largo/ancho menor o igual a 2, las losas macizas continúan trabajando en dos direcciones, pero la mayor curvatura es hacia el lado más corto y la menor curvatura es hacia el lado más largo.

Vista 3, si los paños rectangulares tienen la relación largo/ancho mayor que 2, las losas macizas trabajan en la dirección corta lc .

En conclusión, las losas macizas pueden ser armadas en una y dos direcciones en función de la relación entre sus lados largo/ancho. Además, la dirección del armado depende de cuáles bordes cuenten con vigas peraltadas. Así, la losa mostrada en la figura 12.1(b), lado derecho, se debe armar en una sola dirección.

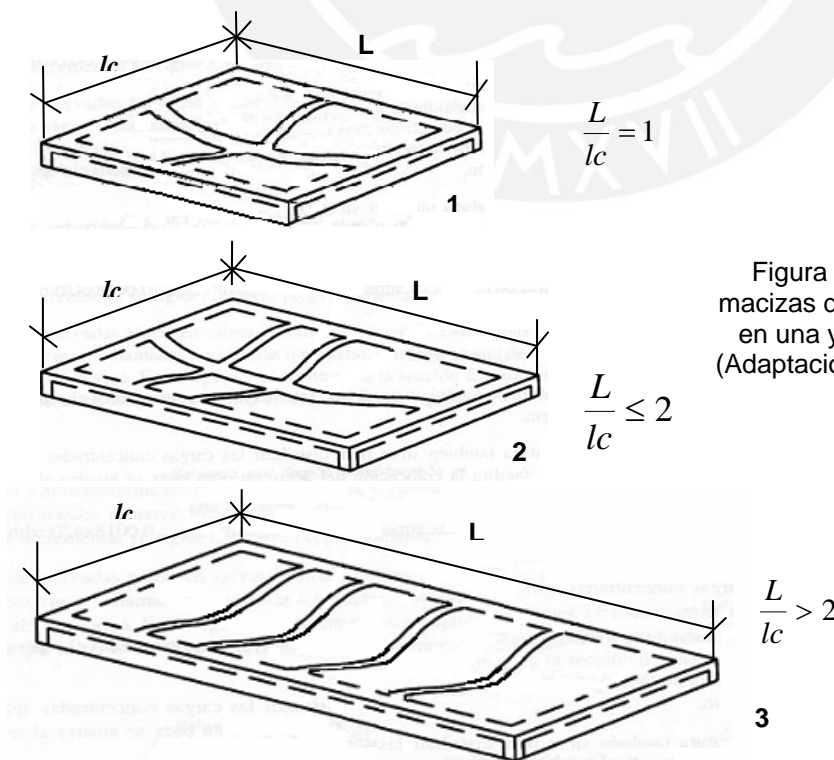


Figura 12.1.1 (a) Losas macizas de concreto armado en una y dos direcciones. (Adaptación: Harmsen, 2000)

a. Losas macizas armadas en una dirección

Las losas macizas con dimensiones $\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} > 2$, se considera que trabajan por flexión y corte en la dirección más corta, por lo que se suele llamar a éstas losas como armadas en una dirección. Si bien existe también flexión y corte en la dirección más larga, el efecto de temperatura es más dominante en dicha dirección. Entonces, la armadura principal se debe ubicar en la dirección corta, mientras que en la dirección larga la armadura se requiere básicamente por efectos de temperatura.

Otro caso de losas armadas en una dirección sucede cuando la losa cuenta sólo en dos de sus bordes extremos paralelos con vigas peraltadas o muros, mientras que en los otros dos bordes extremos no los tiene, ver figura 12.1 (b). La losa debe apoyarse siempre en las vigas peraltadas o muros.

b. Losas macizas armadas en dos direcciones

Se consideran así a las losas macizas que tienen en cuatro de sus bordes, vigas peraltadas o muros (figura 12.1 (b)-vista2), conformando paños con dimensiones que tienen la relación $\frac{\text{largo}(L)}{\text{anch}(lc)} \leq 2$, según se muestra en la figura

12.1.1 (a)-vistas 1 y 2. Las losas macizas armadas en dos direcciones, son recomendables en los pisos o techos de las estructuras cuyos sistemas estructurales están conformados por muros en las dos direcciones como es el caso de las viviendas u hoteles, ver figura 12.1.1 (b). En este caso, las losas suelen resultar económicas, permitiendo adecuada distribución de las cargas verticales en todos los muros y sus respectivas cimentaciones.

En general, las losas macizas armadas en una o dos direcciones no son convenientes para cubrir luces grandes. Resultan muy pesadas y antieconómicas.

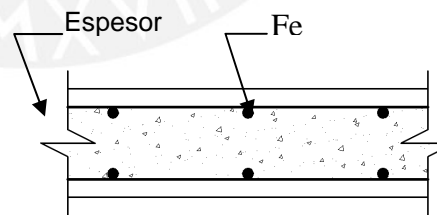


Figura 12.1.1 (b) Losas macizas con muros en sus cuatro bordes (www.pucp.edu.pe y C. Huapaya)

12.1.2. Las losas aligeradas

Las losas aligeradas (o aligerados) son losas conformadas por un sistema de vigas menores paralelas entre sí, llamadas viguetas, separadas por bloquetas huecas de arcilla u otro elemento liviano de ancho y alto. Las bloquetas no tienen ninguna función estructural, son utilizadas con el fin de lograr superficies planas en el techo. En realidad, los aligerados son losas nervadas.

Los aligerados peruanos usuales se caracterizan por estar conformados por viguetas de 0.10 m de ancho, separadas por bloquetas huecas de arcilla de 0.30 m de ancho y unidas por una losa superior de 0.05 m de espesor, figura 12.1.2-derecha. Los aligerados mayormente utilizados son los armados en una dirección con luces libres hasta de 7.50 m. Según las circunstancias, se pueden utilizar aligerados armados en dos direcciones, figura 12.1.2 (a)-izquierda.

Los aligerados armados en dos direcciones son utilizados generalmente en paños aprox. cuadrados con luces superiores a los 6 m. Pueden conseguirse de dos maneras: 1) con la utilización de bloquetas de 0.30m x 0.30m, ver paño derecho del encofrado en la figura 12.1.2 (a)-izquierda; 2) con elementos livianos de poliestireno de 0.60m x 0.60m, ver figura 12.1.2(c).

Los espesores más utilizados en los aligerados peruanos son de 0.17m, 0.20m y 0.25m. También se pueden encontrar bloquetas para aligerados de 0.13m y de 0.30m. En pocos casos se han utilizado aligerados de 0.35m de espesor.

Otros elementos que se pueden emplear en lugar de las bloquetas de arcilla son los bloques huecos de concreto (más pesados) y los bloques de poliestireno expandido (más livianos). Ver figura 12.1.2 (b)

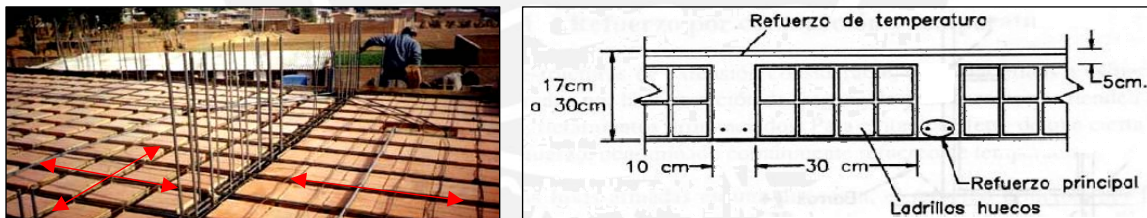


Figura 12.1.2 (a) **Izquierda:** Encofrado de losas aligeradas armadas en dos direcciones (paño izquierdo) y armadas en una dirección (paño derecho.) (Archivo personal) **Derecha:** Detalle típico de aligerado (Harmsen, 2000)



Figura 12.1.2 (b) Otra alternativa de losas aligeradas armadas en dos direcciones con elementos de relleno livianos de 0.60 x 0.60 m (www.geosolmax.es)

12.1.3 Losas nervadas

Las losas nervadas están conformadas, al igual que las losas aligeradas, por una serie de viguetas o nervaduras, unidas por una losa en su parte superior. A diferencia del aligerado, las viguetas están a la vista, su peralte es mayor y los espaciamientos entre ellas también son mayores. Las losas nervadas se utilizan en luces grandes, porque resultan ser más livianas que las otras losas. Pueden también utilizarse en luces cortas, pero resultan antieconómicas.

Por facilidad constructiva, las nervaduras se prefiere que tengan forma trapezoidal, con menor ancho en la base inferior, tal como se observa en la figura 12.1.3 (a), pero también pueden hacerse en forma rectangular.

En paños cuadrados, se suelen usar losas nervadas armadas en dos direcciones, según figura 12.1.3 (b).

Cuando los paños son de forma cuadrada, se pueden utilizar losas nervadas en dos direcciones, figura 12.1.3 (b).

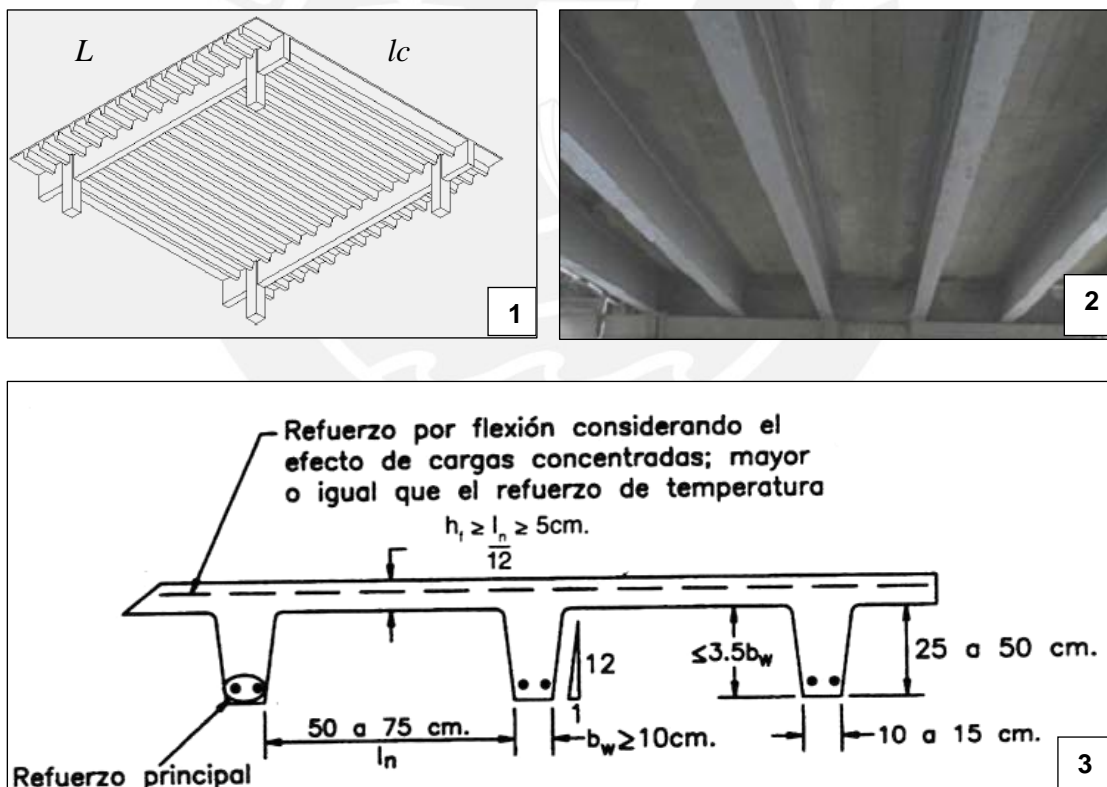


Figura 12.1.3 (a) Losas nervadas en una dirección
(www.ing.unlp.edu.ar y Harmsen 2000)

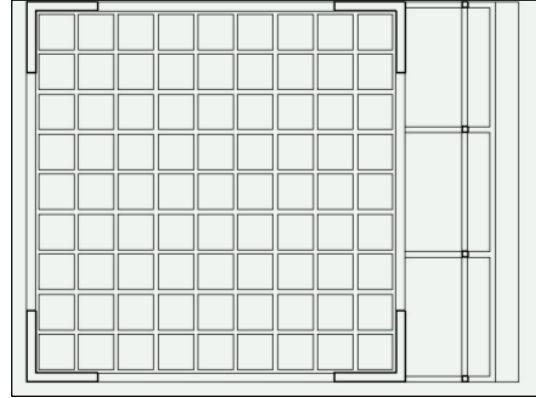


Figura 12.1.3 (b) Losas nervadas en dos direcciones (C. Huapaya)

12.1.4 Las losas aligeradas, apoyadas en vigas sobre vigas

Otra solución para salvar luces grandes en los paños de los techos, son los aligerados apoyados en vigas sobre vigas, tal como se puede observar en la figura 12.1.4.

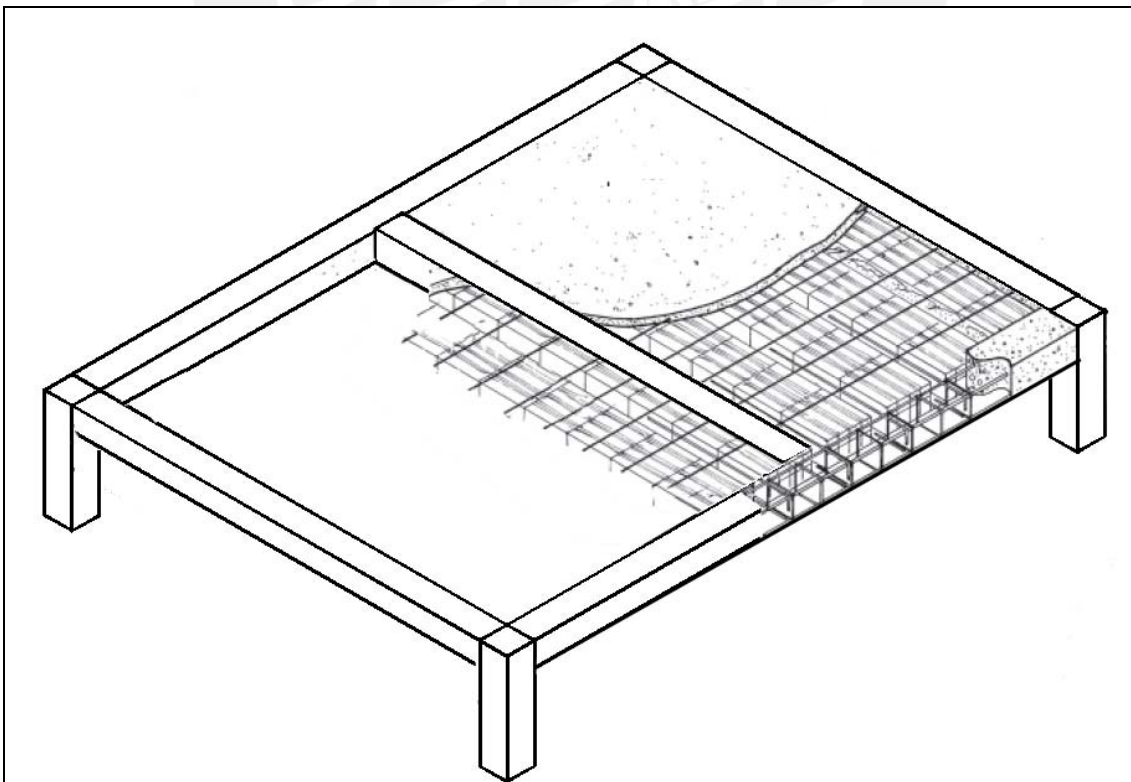


Figura 12.1.4 Losas aligerada apoyada viga sobre viga. (Fuente propia)

12.2. LOS SISTEMAS RESISTENTES DE CONCRETO ARMADO (PÓRTICOS, MUROS, SISTEMAS DUALES O MIXTOS)

Los elementos que conforman los sistemas resistentes de pórticos, muros y sistemas duales son las vigas, columnas, muros o placas. La descripción de cada uno de estos elementos son tratados a continuación.

12.2.1 Las vigas

Las vigas son generalmente de forma rectangular, peraltadas o chatas. Las vigas peraltadas son aquellas que tienen su altura o peralte mayor que el espesor del techo. Las vigas chatas tienen su altura o peralte coincidente con el espesor de la losa. Para ambos casos, ver figuras 12.2.1 (a) y 12.2.1 (b).

Las vigas peraltadas pueden ser peraltadas hacia abajo, o peraltadas hacia arriba, o con el peralte compartido hacia arriba y hacia abajo del techo. En cualquiera de los casos el comportamiento es similar en cuanto a rigidez y resistencia.

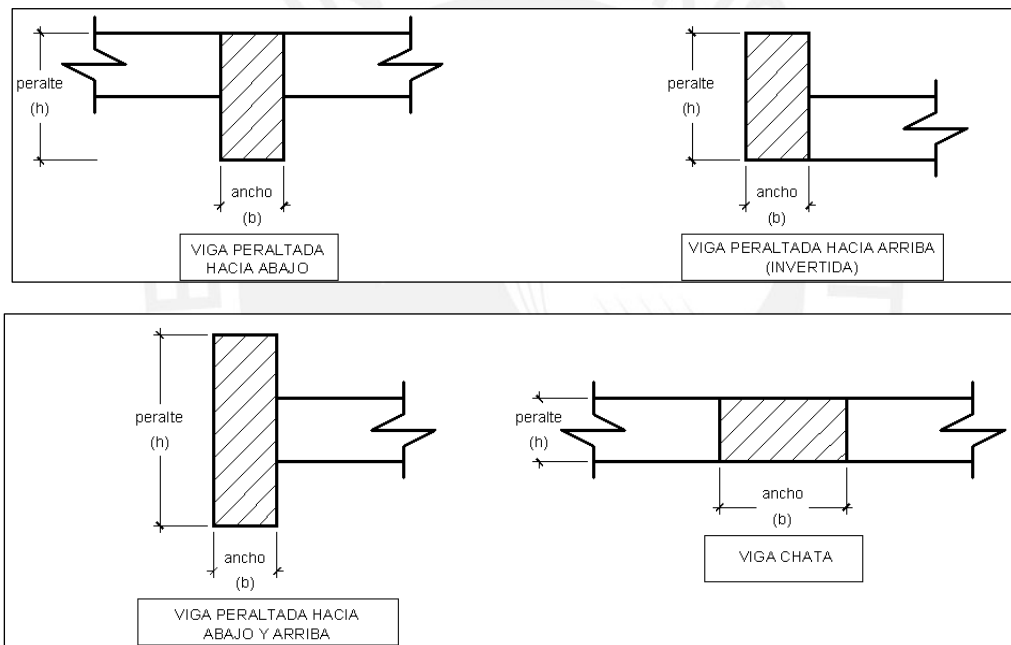


Figura 12.2.1 (a) Tipos de vigas rectangulares

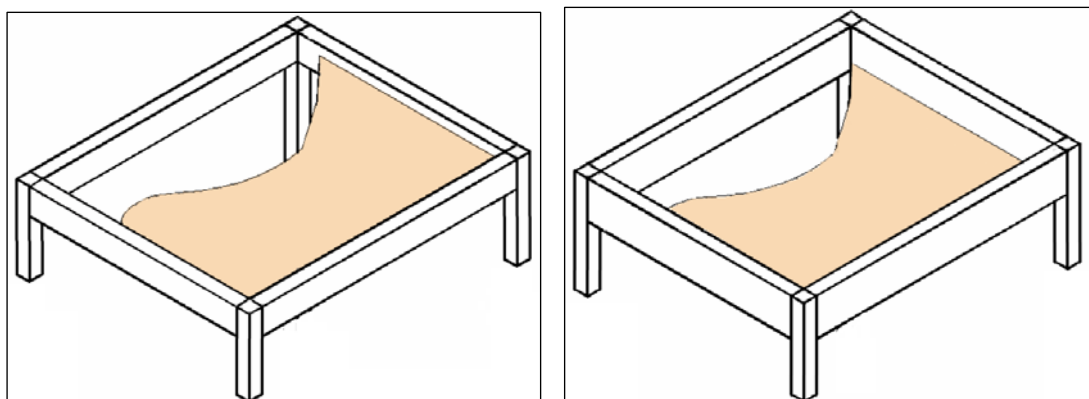


Figura 12.2.1 (b) Vigas peraltadas. Izquierda: Viga peraltada hacia arriba y abajo, derecha: viga peraltada hacia arriba. (Fuente Propia.)

Las dimensiones de una viga de sección rectangular son su ancho y su peralte, figura 12.2.1 (a). Es costumbre dar las dimensiones de la sección de una viga como: ancho x peralte. Por ejemplo si una viga tiene ancho = 0.25 m y peralte = 0.60 m, se dice que la viga es de 0.25 x 0.60 m.

El comportamiento de las vigas chatas y las peraltadas es muy diferente. Una viga peraltada es más rígida y tiene mayor capacidad resistente que una viga chata.

Como ejemplo de capacidad resistente, se compara una viga chata de 0.50x0.20m con una viga peraltada de 0.20x0.50m. La armadura consiste en barras de $\frac{5}{8}$ " dispuestas como se muestra en la figura 12.2.1 (c). La capacidad resistente a momento flector se puede obtener siguiendo las hipótesis indicadas en la Norma E.060. Haciendo los cálculos se obtiene:

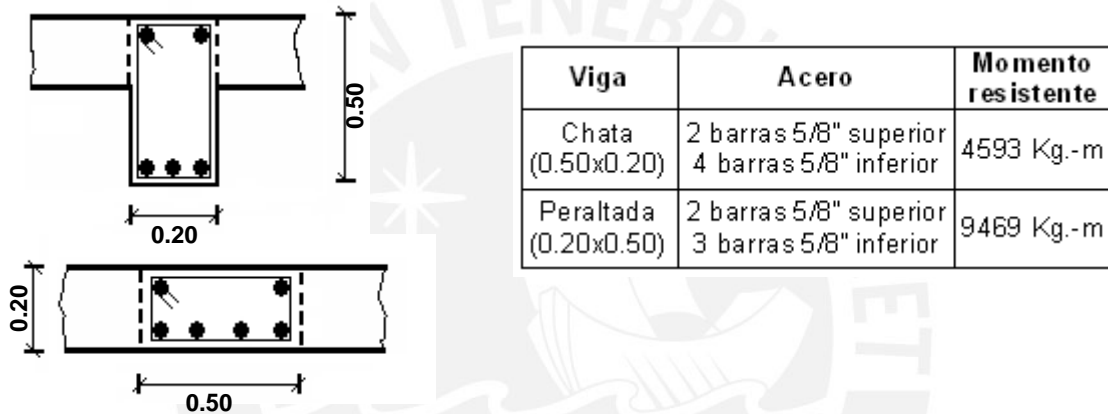


Figura 12.2.1 (c) Comparación de las capacidades resistentes entre una viga chata y una viga peraltada.

En una edificación sismorresistente, el aporte de rigidez de las vigas peraltadas es mucho mayor que el de las vigas chatas. En una edificación conformada por pórticos, ante las fuerzas sísmicas horizontales, esta rigidez es vital para el control de las deformaciones laterales. Además, en las vigas peraltadas, el control de las deformaciones ante cargas verticales es más sencillo de lograr. En forma simplificada, se puede decir que la rigidez depende del momento de inercia de la sección y éste crece más con el peralte que con el ancho. El aporte del refuerzo interior de acero es despreciable en estos casos.

Como ejemplo de rigidez, se compara una viga chata de 0.50x0.20m con una viga peraltada de 0.20x0.50m; es decir, ambas tienen la misma cantidad de concreto. La rigidez de la viga chata es proporcional a $(0.20m)^3 = 0.008 m^3$ mientras que la rigidez de la viga peraltada es proporcional a $(0.50m)^3 = 0.125 m^3$. Por lo tanto, la relación de rigideces es de $\frac{0.125}{0.008} = 15.6$ veces.

En conclusión, se puede lograr mayor capacidad resistente con vigas peraltadas (aún con menos acero de refuerzo) que con vigas chatas con más acero. Asimismo, el aporte de la rigidez es muy superior en vigas peraltadas que en vigas chatas.

Por estas razones, no se recomienda el uso de vigas chatas en los sistemas estructurales sismorresistentes compuestos por pórticos. Sólo pueden usarse vigas chatas cuando el sistema estructural es dual, es decir está conformado por pórticos y muros. Cuando los muros proporcionen adecuada rigidez lateral y sean capaces de absorber la mayor parte de la fuerza sísmica, los pórticos pueden ser conformados por vigas chatas (siempre que la carga vertical lo permita).

En los capítulos 7 y 10 se ha podido observar que en el terremoto de la Bahía de Caráquez (Ecuador) de 1998, gran parte de los edificios que colapsaron tenían sistemas estructurales compuestos sólo por pórticos que en una dirección tenían vigas chatas.

Otro caso similar se pudo observar en algunos edificios colapsados en el terremoto de México de 1985. Gran parte de los edificios colapsados o que chocaron con edificios adyacentes, estaban conformados por losas planas, es decir, carecían de vigas peraltadas.

Las vigas que se analizan en este inciso son aquellas que conforman pórticos o sistemas duales.

Sin embargo, es necesario comentar que existen otras vigas que tienen un trabajo distinto, tales como las vigas apoyadas sobre vigas o las vigas en voladizo.

Las vigas apoyadas sobre vigas se utilizan en las losas para diferentes funciones, tales como, disminuir las luces de los paños de las losas o para soportar directamente cargas que gravitan sobre ellas. Las vigas apoyadas sobre vigas, que se usan para soportar losas, deben ser peraltadas. Las vigas que se usan para soportar cargas directas sobre ellas, como el peso de tabiques o parapetos, pueden ser chatas.

Las vigas en voladizo que cargan techo deben ser peraltadas. Si no cargan techo y sólo son una continuación de los pórticos, pueden ser chatas.

12.2.2 Las columnas

Las columnas de los sistemas aporticados o duales deben ser capaces de resistir las cargas verticales transmitidas por las vigas y las fuerzas internas generadas por los movimientos sísmicos.

Las columnas pueden tener secciones de diferentes formas, siendo las más utilizadas, las columnas de secciones rectangulares, circulares, en L y en T.

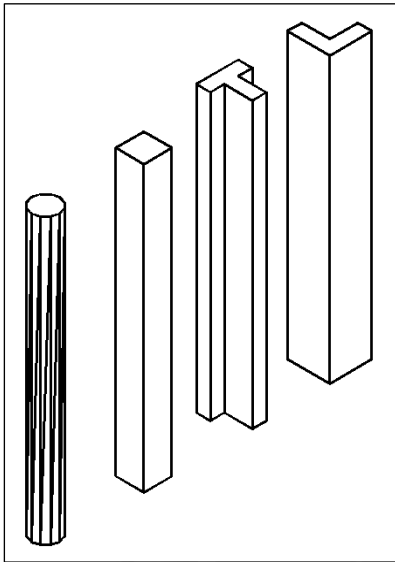


Figura 12.2.2 (a) Columnas de sección circular, rectangular, T y L. (Fuente Propia)

Para que las columnas puedan ser capaces de resistir fuerzas sísmicas horizontales, es necesario que tengan peraltes suficientes en las dos direcciones principales del edificio.

Se llama peralte de la columna a la dimensión orientada en la dirección del análisis ante cargas verticales o sísmicas. Por ejemplo, en el caso de las columnas cortas de los colegios peruanos dañados en sismos pasados, el peralte en la dirección de las ventanas altas, X, correspondía a la menor dimensión de las columnas. En la figura 12.2.2 (b), este peralte es 0.30 m. En la dirección perpendicular Y, el peralte de esa columna es 0.60.

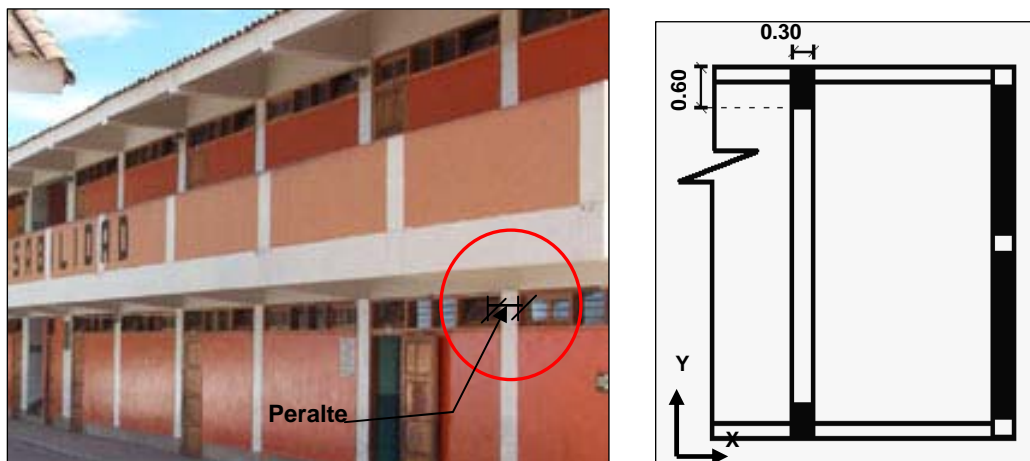


Figura 12.2.2 (b) El peralte de las columnas. Foto y planta de los modelos antiguos de los C. E. INFES. (www.pucp.edu.pe)

12.2.3 Las placas o muros

Los muros o placas son elementos que tienen en su sección transversal, una dimensión más larga que la otra. Esto hace que estos elementos tengan gran rigidez en su dirección más larga.

La rigidez que tienen las placas hacen que sean muy preferidas en las estructuras sismorresistentes, porque son efectivas para limitar los desplazamientos laterales. Las placas son utilizadas en las estructuras de dos formas: 1) en combinación con los pórticos conformando los sistemas estructurales duales o mixtos, figura 12.2.3 (a); 2) conformando un sistema estructural de muros resistentes, figura 12.2.3 (b).

La limitación en los desplazamientos laterales en una edificación es importante, porque evita efectos perjudiciales en las edificaciones sometidas a fuerzas sísmicas. Entre los efectos perjudiciales están: pánico en los ocupantes, choques entre edificaciones vecinas, daños en elementos no estructurales, fallas por excentricidad de las cargas verticales, entre otras.

En un sistema dual, los muros o placas son los que absorben la mayor fuerza sísmica, comparativamente a los pórticos. Por este motivo, es conveniente que la ubicación de las placas sea simétrica, para evitar que en las columnas y las vigas se incrementen los esfuerzos. Ver figura 12.2.3 (a).

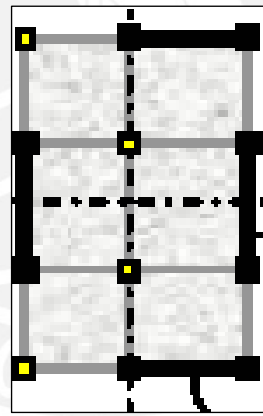
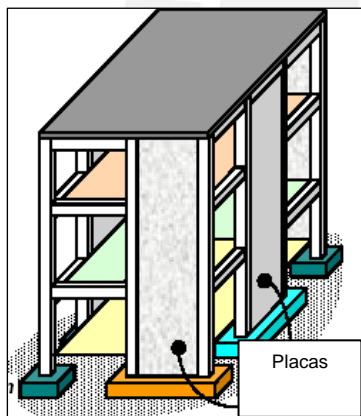


Figura 12.2.3 (a)
Sistemas estructurales
duales de pórticos y
placas de concreto
armado (www.nisee.org)

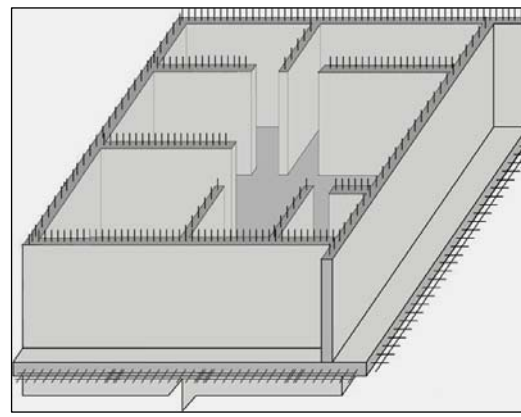


Figura 12.2.3 (b): Sistema estructural de muros resistentes
en un edificio de viviendas (www.pucp.edu.pe)

12.3 SISTEMAS RESISTENTES DE MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA

Los muros portantes de albañilería son elementos estructurales capaces de resistir cargas verticales y horizontales. Se caracterizan porque además de cumplir su función estructural, también sirven de elementos de cierre y separadores de ambiente. El muro de albañilería, está conformado por hiladas de ladrillos o bloques, asentados con mortero y amarradas entre sí.

El ladrillo, es la unidad de albañilería cuya dimensión y peso permite que sea manipulada por una sola mano. **El bloque** es la unidad de albañilería que por su dimensión y su peso requiere de las dos manos para ser manipulado.

Los muros de albañilería de acuerdo a la distribución del refuerzo se clasifican en albañilería no reforzada y albañilería reforzada o estructural.

La albañilería no reforzada o albañilería simple es aquella que no tiene refuerzo, o teniéndolo, no cumple con las condiciones mínimas de la NTE-070. Este tipo de albañilería no será tratado en esta sección, porque no cuenta con la ductilidad requerida por las acciones sísmicas.

La albañilería reforzada o albañilería estructural, de acuerdo a como se dispone el refuerzo, se clasifica en albañilería confinada y albañilería armada.

La Norma Técnica de Edificación E-070 Albañilería (NTE.070 - 2006, SENCICO), establece los requisitos mínimos de la albañilería, en concordancia con la NTE-030 de diseño sismorresistente. Asimismo, los elementos de concreto que son parte del sistema de albañilería, deben cumplir con los requisitos especificados en la NTE-060 de Concreto Armado.

De acuerdo a lo expuesto en esta sección se tratarán los siguientes temas: 1) muros portantes de albañilería confinada; 2) muros portantes de albañilería armada; y 3) ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de albañilería.

12.3.1 Muros portantes de albañilería confinada

La albañilería confinada, está constituida por muros de ladrillos sólidos, enmarcados en sus cuatro lados por columnas y vigas de concreto armado, figura 12.3.1-vista 1. Para los muros ubicados en el primer piso, la cimentación de concreto constituye el elemento de confinamiento horizontal inferior. Las columnas, las vigas y/o cimentación que enmarcan un muro pueden comportarse como elementos de arriostre y de confinamiento vertical y horizontal.

Existe diferencia entre arriostre y confinamiento. El arriostre cumple la función de dar estabilidad y resistencia a los muros sometidos a las cargas sísmicas perpendiculares a su plano. El confinamiento, tiene la función de dar ductilidad a un muro portante, sometido a las cargas sísmicas en la dirección de la longitud del muro.

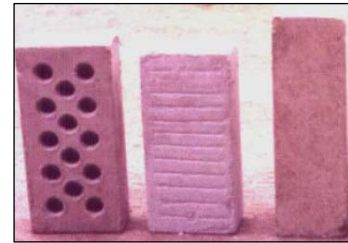
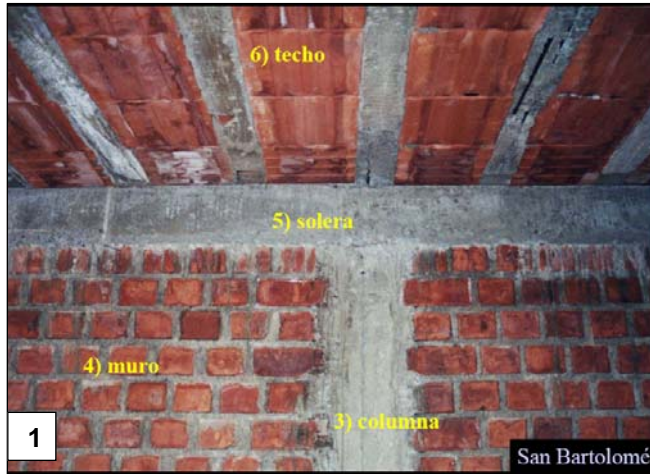
El ladrillo sólido o macizo puede tener un 30% como máximo de perforaciones en la cara de asentado con respecto al área bruta. Pueden ser de arcilla, sílice-cal o concreto, figura 12.3.1-vista 2.

El espesor del muro está definido por el ancho o el largo del ladrillo que lo compone.

Cuando el espesor del ladrillo coincide con el ancho, se dice que está dispuesto en aparejo de **soga** o amarre de soga. Cuando el espesor coincide con el largo está dispuesto en aparejo de **cabeza** o amarre de cabeza, o en **amarre americano**, ver figura 12.3.1-vistas 3, 4, 5 y 6.

Para garantizar la integración monolítica del muro de albañilería, con los elementos de confinamiento, el proceso de ejecución debe ser el siguiente:

- Instalación de las armaduras de las columnas, previo al vaciado de la cimentación.
- Vaciado de la cimentación.
- Encofrado y vaciado del sobrecimiento.
- Ejecución del muro, antes del vaciado de las columnas, dejando hiladas de ladrillos dentados en las zonas de las columnas, figura 12.3.1-vista 1.
- Otra alternativa es la ejecución del muro, después de haber sido vaciadas las columnas, con la previsión de alambres anclados horizontalmente cada cierta cantidad de hiladas de ladrillos, indicadas en el proyecto. Ver vistas 4, 5 y 6 de la figura 12.3.1.
- La viga solera será vaciada junto con el techo, sobre el muro confinado por las columnas, figura 12.3.1-vista 1.



2

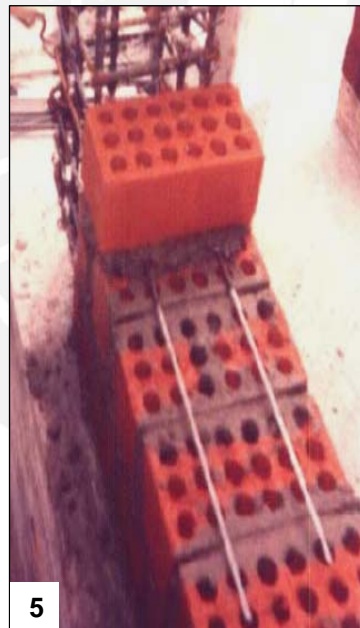
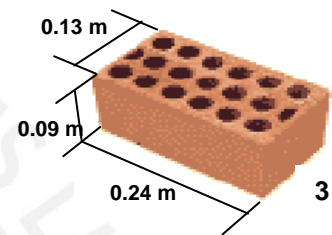


Figura 12.3.1 La albañilería de ladrillo confinada. 1. Elementos que conforman la albañilería confinada. 2. Ladrillos sólidos. 3. Dimensiones del ladrillo. 4. Albañilería asentada de sogá. 5. Albañilería asentada de cabeza. 6. Albañilería asentada con amarre americano. (San Bartolomé, 2002)

12.3.2 Albañilería armada

Las unidades en la albañilería armada son bloques con alvéolos. Dentro de los alvéolos se coloca las barras de acero vertical distribuido; además, en las hiladas se debe colocar barras de acero horizontal distribuido. Todo el sistema se integra con concreto líquido, figura 12.3.2.

Los bloques más utilizados en nuestro medio, para la albañilería armada, son el sílico calcáreo y los de concreto vibrado. La norma considera también los bloques de arcilla, figura 12.3.2.

Los arriostres horizontales están conformados por las losas de los techos y el primer piso; y los arriostres verticales están conformados por los muros transversales. Los arriostres, contribuyen en la estabilidad y resistencia de los muros de albañilería armada.

La ductilidad de este tipo de albañilería se logra a través de los refuerzos de acero horizontal y vertical.



Figura 12.3.2 Albañilería armada: 1. Proceso constructivo. 2. edificios peruanos, con unidades sílico calcáreas. 3. unidad sílico calcárea y unidad de concreto vibrado. (San Bartolomé, 2002)

12.3.3 Comparación de las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de albañilería

San Bartolomé (1998), señala que la albañilería confinada, presenta más ventajas que la albañilería armada. Haciendo un análisis comparativo con la albañilería armada, se exponen a continuación las ventajas y desventajas de la albañilería confinada con respecto a la albañilería armada.

- **Ventajas**

- Es más económica que la albañilería armada.
- Es más fácil de construir y hay disponibilidad de mano de obra calificada.
- Es más factible alcanzar precisión en la colocación del refuerzo, en el asentado de los muros, en el encofrado de los elementos de confinamiento y en el vaciado de concreto.
- El porcentaje de acero que se emplea es menor que el de la albañilería armada.
- Se trabaja con concreto normal, que es más económico que el concreto fluido que se utiliza en la albañilería armada.
- Se puede utilizar concreto ciclópeo en la cimentación, cuando el terreno es de buena calidad.
- Las columnas de confinamiento, colocadas en los extremos de los paños pueden resistir adecuadamente los esfuerzos de flexocompresión.
- Es factible obtener buenos acabados caravista.
- Es factible obtener buena transferencia de esfuerzos entre techo y muro; y entre muro y cimentación.

- **Desventajas**

- Se deben encofrar los elementos de confinamiento.
- Hay mayor dificultad para colocar los conductos de las instalaciones eléctricas.

En conclusión, en el Perú resulta más conveniente la albañilería confinada sobre la armada.

12.4 METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA

Se utilizará la metodología participativa a través de la investigación y exposición grupal de cada uno de los temas que contiene este capítulo. Las estrategias de enseñanza; los medios y materiales; y la evaluación se describen a continuación.

12.4.1 Estrategias de enseñanza

Cada uno de los contenidos indicados en este capítulo será encargado para su investigación y exposición a grupos de alumnos.

Previamente a la repartición de trabajos, se dará a conocer a los alumnos, la relación de los temas tratados en este capítulo, resaltando la importancia de cada uno de ellos en su formación profesional. Para lograr los objetivos de este capítulo, el desarrollo de cada uno de los temas, deberá basarse en las siguientes recomendaciones:

a. Tema 1: Generalidades del concreto armado y de la albañilería

Este tema será encargado a un grupo, para que en forma general expongan con ayudas visuales, en qué consiste el concreto armado, sus ventajas y desventajas. También deben exponer en qué consiste la albañilería, sus ventajas y desventajas. Deben identificar en su entorno las construcciones de concreto y de albañilería, indicando los procesos constructivos más empleados.

b. Tema 2: Las losas de concreto armado

Será encargado a tres grupos, para que cada grupo investigue un tipo de losas, es decir, las losas macizas, las losas aligeradas, las losas nervadas. Ellos deben investigar las losas armadas en una y dos direcciones. Deben ubicar en su entorno los tipos de losas tratados y adjuntar ilustraciones (fotos o planos o croquis). Pueden presentar algunas soluciones arquitectónicas interesantes para los tipos de losas encargados.

c. Tema 3: Los sistemas resistentes de concreto armado

Este tema será encargado a tres grupos, para que cada grupo investigue: las vigas, las columnas y las placas.

- El grupo que investiga las vigas, deberá dar a conocer los tipos de vigas en función de su peralte y en función de su comportamiento estructural. Debe ilustrar la utilización de cualquiera de estos tipos de vigas en edificios existentes en su entorno ó virtualmente.
- El grupo que investiga las columnas, debe identificar los tipos de columnas y aclarar el significado de peralte de las columnas y su aplicación en las estructuras sismorresistentes. También debe identificar en el entorno dos edificaciones con sistemas aporricados y criticar si tienen suficiente rigidez lateral en las dos direcciones.

- El grupo que investiga las construcciones con placas, debe explicar la importancia de este tipo de estructuras en las zonas sísmicas (estructuras de muros y estructuras duales); además, debe identificar en el entorno dos edificaciones como mínimo con estructuras de muros y con estructuras duales y hacer los comentarios respectivos.

d. Tema 4: Los sistemas resistentes de muros de albañilería

El tema será encargado a dos grupos. Un grupo debe investigar los muros portantes de albañilería confinada y el otro, los muros de albañilería armada. Deben explicar las características de cada tipo de albañilería y los procesos constructivos empleados. Deben identificar las componentes de cada una de ellas, las aplicaciones de la albañilería, sus ventajas y desventajas. Además, deberán identificar algunas construcciones de albañilería en la zona.

12.4.2 Medios y materiales

Los alumnos pueden recurrir a toda forma de información e investigación: Internet, biblioteca, videos, visitas de campo, consultas a expertos, y otros.

12.4.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 12, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.

13. RECOMENDACIONES SISMORRESISTENTES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y DE ALBAÑILERÍA

De los capítulos que anteceden, se deduce que gran parte de los daños sísmicos producidos en los edificios, están asociados a tres aspectos importantes: las condiciones locales del suelo; la selección y uso de los materiales de construcción y la configuración.

Se considera importante que los arquitectos responsables de los proyectos de edificación conozcan los aspectos mencionados. Asimismo, los arquitectos deben coordinar con otros profesionales, para lograr que el proyecto de arquitectura tenga características sismorresistentes. En este capítulo se dan recomendaciones que se deben tener en cuenta en las edificaciones de concreto armado y de albañilería.

De acuerdo a lo expuesto, se tratarán los siguientes temas: 1) consideración de las condiciones locales del suelo; 2) requisitos generales de configuración; 3) dimensionamiento de las componentes estructurales de concreto armado; y 4) dimensionamiento de las componentes estructurales de las estructuras de albañilería.

13.1 CONSIDERACIÓN DE LAS CONDICIONES LOCALES DEL SUELO

La Norma E-030, indica que en los suelos blandos la amplificación del movimiento es significativa. Por eso, las edificaciones sobre suelos blandos requieren ser diseñadas para una mayor fuerza sísmica, y necesitan mayor atención en la cantidad y calidad de los elementos sismorresistentes. Además, las cimentaciones requeridas pueden ser de gran tamaño o requerir tecnologías especiales.

En esta sección, se darán algunas recomendaciones generales que deben tenerse en cuenta, en lo que respecta a la ubicación del edificio en función de las características geológicas y topográficas de los suelos. Sin embargo, en casos desfavorables, existen recursos tecnológicos que permiten proteger las edificaciones. Por ejemplo, en el caso de que no se pueda evitar zonas susceptibles a licuación, existen dos alternativas: 1) utilizar cimentaciones profundas, que han demostrado tener buen comportamiento en los lugares que han sido afectados con este fenómeno, como es el caso de Niigata en el terremoto de 1964; 2) mejorar las características de resistencia, densidad y drenaje del suelo. La protección de edificaciones en áreas amenazadas por licuefacciones, deslizamientos y asentamientos, es técnicamente posible; pero las soluciones son costosas y requieren de la participación de especialistas.

Algunas de las recomendaciones generales que se deben tener en cuenta en las zonas sísmicas son:

- Preferir los terrenos firmes, planos y alejados de los cerros, zonas de derrumbes y de las riberas de los ríos, lagos o mares, figura 13.1 (a).



Figura 13.1(a) Terreno ideal para edificar

Evitar construir en laderas, figura 13.1 (b).

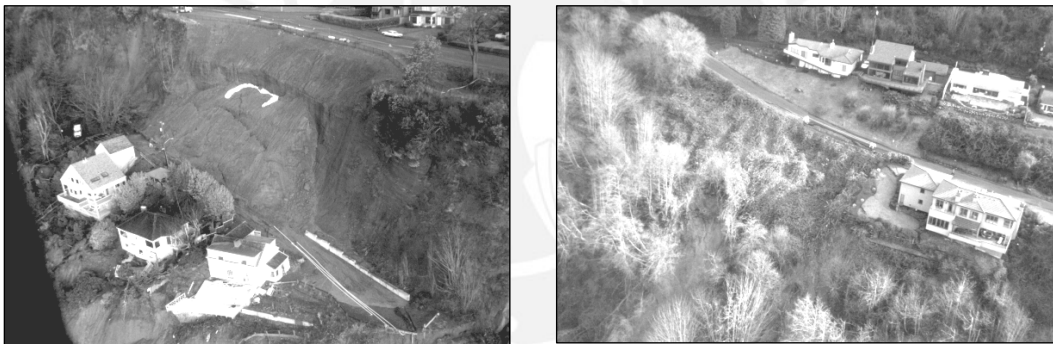


Figura 13.1 (b): Construcciones en laderas, susceptibles de amplificación sísmica, deslizamientos y derrumbes (www.dnr.wa.gov)

- Evitar construir en los bordes y bases de mesetas o cerros, figura 13.1 (c).



Figura 13.1 (c): Construcciones en los bordes y parte baja de mesetas, susceptibles de amplificación sísmica y deslizamientos. (www.concern.net y www.consrv.ca.gov)

- Evitar rellenos mal compactados y suelos blandos porque pueden producir asentamientos, figura 13.1 (d).



Figura 13.1 (d): La parte sin vegetación es un suelo blando arenoso (www.dnr.wa.gov)

- Evitar construir en suelos arenosos, limosos o de relleno ubicados en zonas cercanas a los bordes de ríos, lagos u océanos, porque son susceptibles de licuación, figura 13.1 (e).



Figura 13.1 (e): Suelos susceptibles de licuefacción
www.ce.washington.edu

13.2 REQUISITOS GENERALES DE CONFIGURACIÓN

En esta sección se darán recomendaciones generales para la configuración de edificaciones, con el objetivo de que los alumnos de Arquitectura, puedan aplicarlos en el desarrollo de sus talleres arquitectónicos. Con esto no se pretende restringir la creatividad del alumno de arquitectura. El objetivo es que el alumno tome conciencia de los daños sísmicos que pueden producirse en los edificios mal configurados. Otro objetivo es preparar a los alumnos, para que puedan coordinar adecuadamente con el ingeniero estructural.

Los requisitos generales de configuración de edificaciones, tratados en esta sección, están basados en la norma E-030 de Diseño Sismorresistente, y complementadas con las normas E-060 de Concreto Armado y E-070 de Albañilería.

13.2.1 Exigencia de contar con diafragmas rígidos

Las estructuras sismorresistentes deben contar con diafragmas rígidos horizontales. La NTE-070, considera que un diafragma de concreto armado es rígido cuando la relación de sus dimensiones en planta, longitud/ancho, es menor o igual a 4. Asimismo, especifica que se exceptúa de esta exigencia sólo a las edificaciones de un solo piso y el último piso de los edificios de varios pisos. En la figura 13.2.1 se ilustra este requisito.

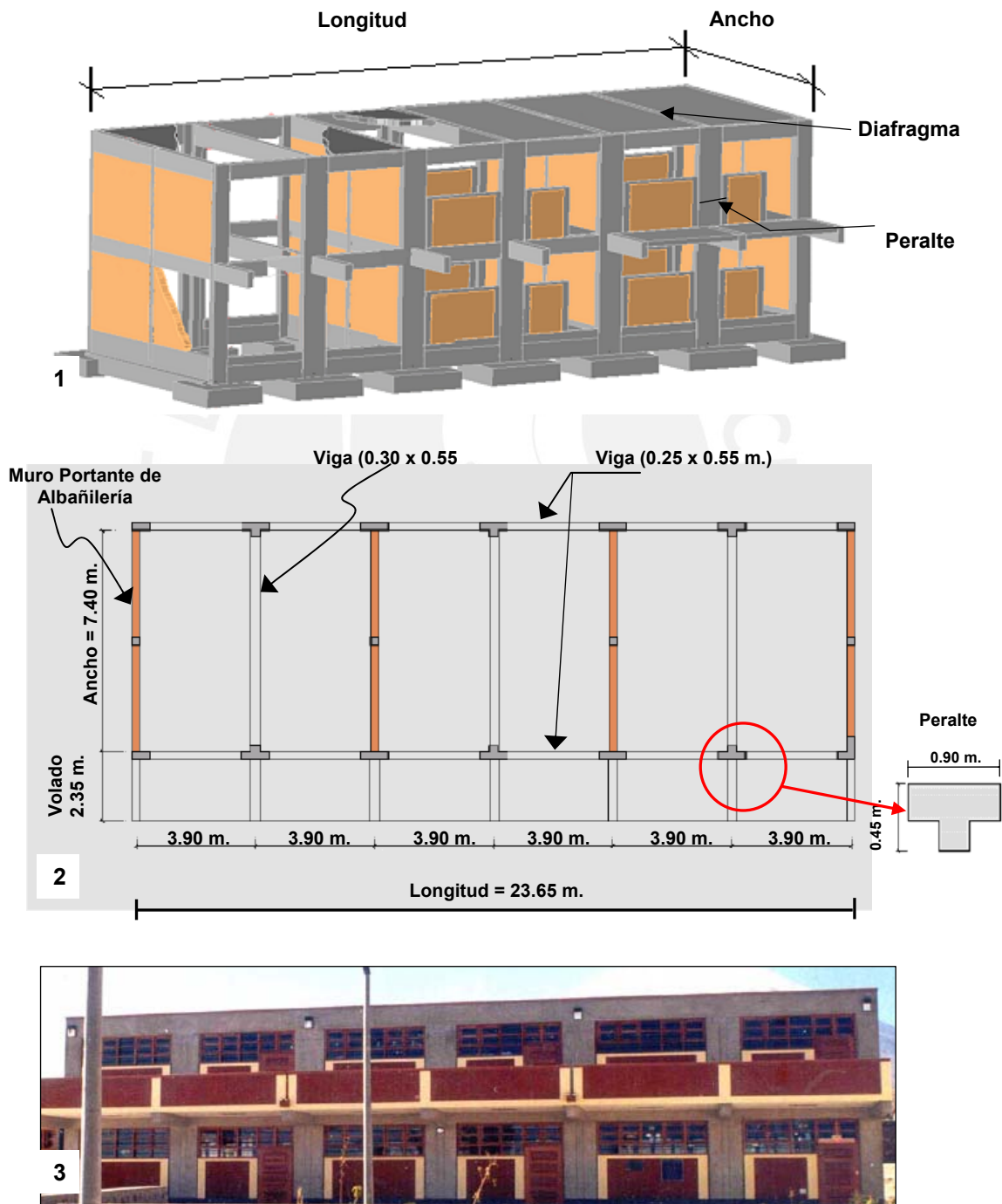


Figura 13.2.1 Estructura con diafragma rígido y con rigidez lateral en las dos direcciones principales. (www.pucp.edu.pe y www.sismología.cl)

- **Vista 1**, muestra parte del diafragma del último nivel de la estructura de un edificio de dos niveles y la identificación de la longitud y ancho de la planta.
- **Vista 2**, muestra una planta acotada de la estructura mostrada en la vista 1.

Nótese que la relación longitud / ancho es menor que 4 ($\frac{23.65}{7.65} = 3$).

- **Vista 3**, muestra una vista panorámica del edificio. Se trata de un Centro Educativo, configurado con criterios sismorresistentes.

13.2.2 Rigidez lateral

La edificación debe tener rigidez lateral adecuada en las dos direcciones principales del edificio. Esto se puede lograr con la utilización de muros de albañilería o de concreto armado y con la combinación de pórticos y muros (sistemas duales). La rigidez lateral en un edificio sismorresistente limita las deformaciones originadas por las fuerzas sísmicas. Cuando las deformaciones son muy grandes en los edificios sometidos a sismos, pueden ocurrir daños en los elementos estructurales y no estructurales del mismo edificio y de los adyacentes; además las deformaciones y vibraciones pueden producir pánico y sensación de inseguridad en sus ocupantes.

En la figura 13.2.1, se puede observar en las vistas 1, 2 y 3 que la estructura mostrada tiene rigidez en las dos direcciones correspondientes a la longitud y al ancho. En la dirección longitudinal, los elementos resistentes lo conforman columnas de concreto armado de secciones rectangulares y forma T, con peraltes de 0.90 m. En la dirección transversal, los elementos resistentes lo conforman muros de albañilería confinada y pórticos con columnas y vigas de concreto armado. En ambas direcciones la estructura tiene buena rigidez lateral. Se ha demostrado el buen comportamiento de este tipo de estructura en el sismo de Atico 2 001.

13.2.3 Simetría en planta

Se debe buscar la simetría en la distribución de la planta del edificio, en la distribución de los pesos y las rigideces de los pórticos y muros, para evitar torsión. La figura 13.2.3, ilustra casos de simetría, ideales, aceptables y no recomendables.

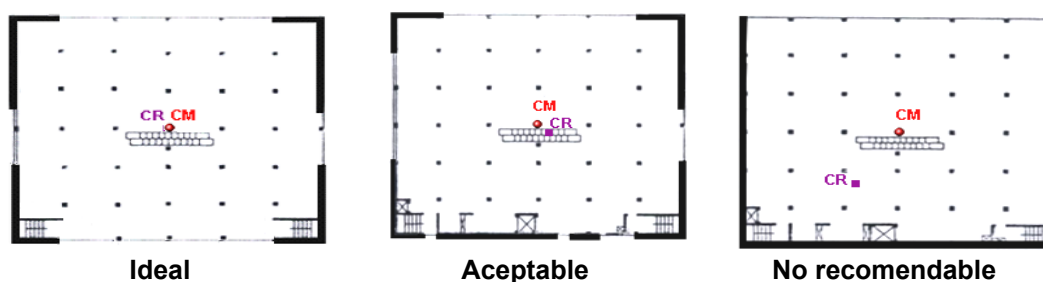


Figura 13.2.3 Plantas con distribuciones de rigideces simétricas y asimétricas.
(Adaptación de la plantas del edificio Penney – Anchorage, 1964)

13.2.4 Menor peso posible

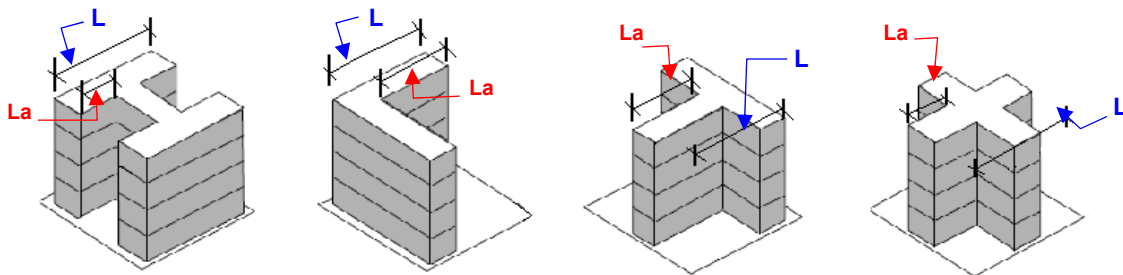
Se debe preferir el menor peso posible, para aliviar las fuerzas sísmicas. La NTE-030 recomienda minimizar los pesos, especialmente en los pisos altos, porque las aceleraciones generadas en el edificio crecen con la altura. Conviene ubicar las concentraciones de mayores pesos en los pisos bajos.

13.2.5 Evitar irregularidades en planta

Se debe evitar las irregularidades en planta, evitando el uso de esquinas entrantes monolíticas en formas tales como: **L**, **T**, **H**. La NTE-030 recomienda que las alas de estas formas sean como máximo el 20% de la dimensión total en cada una de las direcciones. En caso contrario, se pueden mantener las formas, pero separando las alas a través de juntas sísmicas. Cuando se utilicen juntas sísmicas, cada parte del edificio deberá tener características sismorresistentes. Las juntas sísmicas de separación entre edificios son tratadas en el inciso 13.2.12.

En conclusión pueden usarse estas formas, pero cumpliendo las recomendaciones de la NTE-030, según se muestra en la figura 13.2.5.

Si $L_a \leq 0.2 L$¡¡¡¡No hay problema!!!!



Si $L_a > 0.2 L$ La solución es:

L = Longitud total
La = Longitud del ala

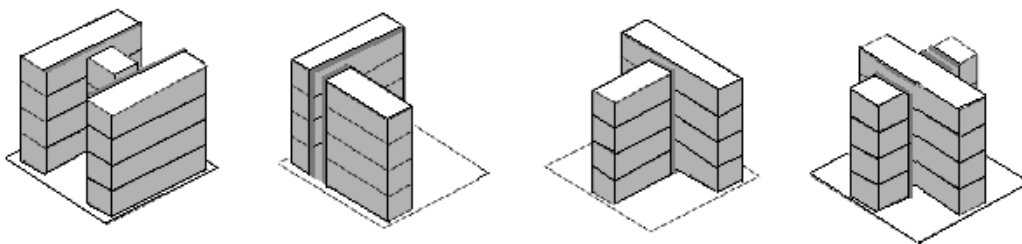


Figura 13.2.5: Soluciones sismorresistentes a las formas **H**, **L**, **T**, **+**.
Adaptación (<http://desastres.cies.edu.ni>)

13.2.6 Evitar aberturas exageradas en planta

Se debe evitar irregularidades en los diafragmas. Las discontinuidades generadas por aberturas mayores al 50% del área total de la planta, atentan contra la hipótesis de diafragma rígido.

13.2.7 Evitar pisos blandos

Se debe evitar irregularidades de rigidez en elevación por el efecto denominado piso blando, que fuera descrito en el capítulo 10.

Arquitectónicamente, un problema usual en un edificio es que se requiera de espacios abiertos en el primer piso y de muros en los pisos superiores. Por ejemplo, edificios multifamiliares u hoteles con estacionamientos o comercios en el primer nivel. Otras veces puede también requerirse espacios abiertos en los pisos superiores de un edificio. En la figura 13.2.7 se muestran dos modelos de edificios susceptibles al efecto de piso blando: 1) un pabellón de 3 pisos con el primer piso libre y espacios abiertos. Los dos pisos restantes están constituidos por ambientes con muros de relleno; 2) un esquema del modelo típico de piso blando.

Las soluciones para estos casos pueden ser:

- Aumentar columnas sólo en el primer piso, cuando se trata de tener espacios abiertos en este piso.
- Plantear un sistema estructural dual desde el primer piso, hasta el último nivel, utilizando en los pisos que requieren de elementos de tabiquería, elementos flexibles o aislados de la estructura.
- En los edificios de ductilidad limitada, el piso blando se trata aumentando en el primer piso, algunos muros de concreto armado. Se cuidará de que el área transversal de los muros en cada dirección no sea menor que el 90% del área correspondiente al piso inmediato superior (NTE-030). El 50% de los muros deberá ser continuo o con un área mayor o igual al 50% del área total de los muros en la dirección considerada. La resistencia y rigidez del entrepiso donde se produce la discontinuidad, deberá estar proporcionada exclusivamente por los muros que son continuos en todos los niveles. Lo mismo debe cumplirse para la resistencia y rigidez de los entrepisos inmediato superior e inmediato inferior.

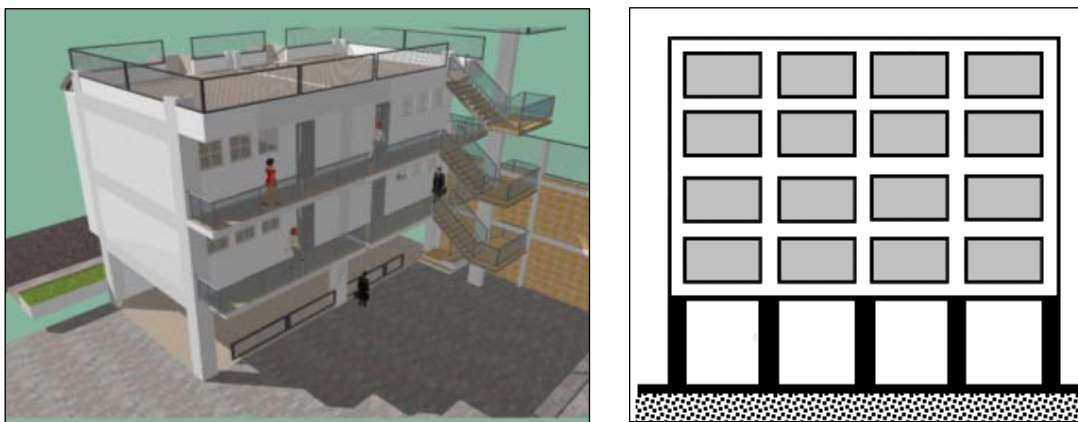


Figura 13.2.7 Algunos casos que producen efecto de piso blando

13.2.8 Evitar columnas cortas

Se debe evitar los efectos de columna corta. También por razones arquitectónicas, existen configuraciones donde las columnas en uno o más niveles de un edificio, deben tener diferentes alturas. Ejemplos de estos casos son: los edificios con pisos inclinados o con desniveles; los edificios con mezanine; los edificios de centros educativos, figura 13.2.8 (a).

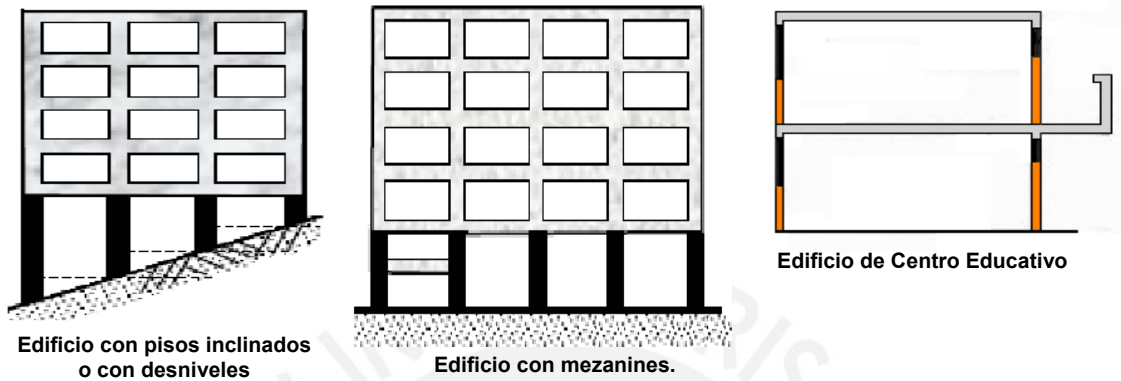


Figura 13.2.8 (a) Algunos casos que originan efectos de columnas cortas ante los sismos. (www.iitk.in.ac)

Algunas de las soluciones para estos casos es incrementar la rigidez lateral en la dirección propensa a columnas cortas, con cualquiera de las alternativas mostradas en la figura 13.2.8 (b):



Figura 13.2.8 (b) Alternativas de solución para evitar columnas cortas (Quiun 2005)

Vista 1 usar mayor dimensión en los peraltes de las columnas.

Vista 2 aumentar el área resistente, con mochetas de albañilería.

Vista 3 colocar muros resistentes

13.2.9 Rigidez torsional

Dotar al edificio de rigidez torsional en planta, colocando los elementos rigidizantes en el perímetro exterior. Esto es para proteger a la estructura de posibles esfuerzos torsionales ocasionados por excentricidad accidental. La figura 13.2.9, ilustra el comportamiento de los edificios cuando hay torsión en planta, para los dos casos extremos, con poca y mucha rigidez torsional en planta.

- **Vista 1**, muestra una planta con escasa rigidez torsional, porque los muros que dan rigidez lateral al edificio, están muy cercanos al centro de rigidez.
- **Vista 2**, muestra el efecto que se genera en el edificio que tiene poca rigidez torsional, cuando es sometido a momentos de torsión.
- **Vista 3**, muestra una planta con buena rigidez torsional.
- **Vista 4**, muestra que una rigidez torsional adecuada, resiste efectos de torsión.

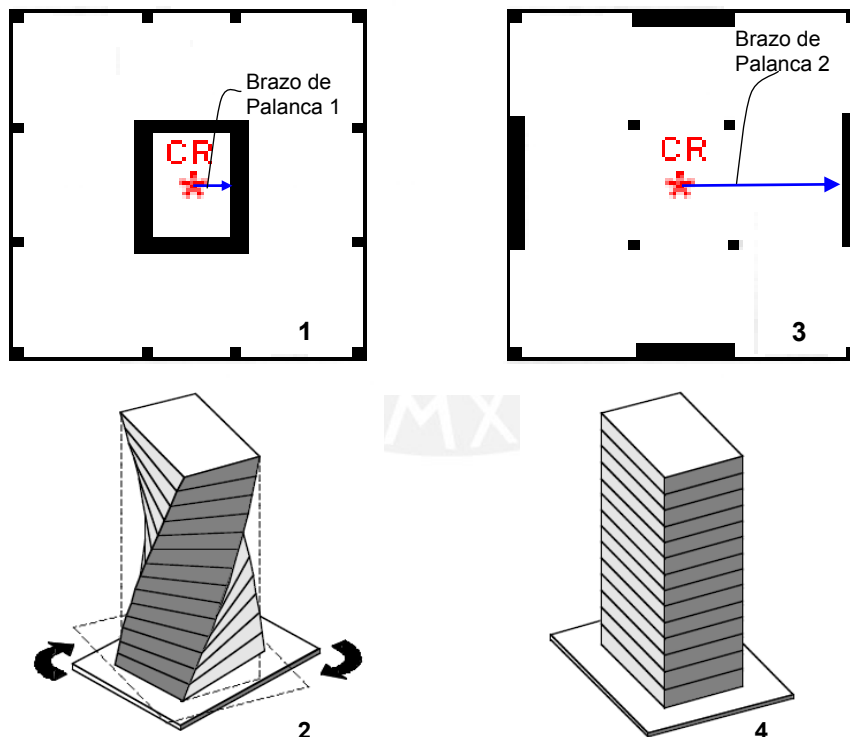


Figura 13.2.9 Distribución en planta de muros resistentes. La distribución 2 es la más recomendable (Arnold, 1987 y <http://desastres.cies.edu.ni>)

13.2.10 Inclusión de líneas sucesivas de resistencia

Se deben preferir estructuras con mayor número de elementos estructurales. En estos casos, si un miembro empieza a fallar, habrá otros elementos que pueden evitar el colapso de la estructura. Por ejemplo, un pabellón del hospital Olive View, mostrado en la figura 11.4, no llegó al colapso total porque casi todas sus columnas, con excepción de una, tuvieron falla dúctil y sólo una tuvo falla frágil. Otro caso es el colapso del viaducto de Kobe en el terremoto de 1995, mostrado en el capítulo 7. Esta estructura volcó, porque en la dirección transversal, cada tramo del viaducto estaba soportado en voladizo, sobre una columna. Se trataba de una estructura isostática en esa dirección. Ver figura 7.1.2 (o).

Las estructuras con mayor número de elementos estructurales, tienen la ventaja de que las fuerzas sobre la estructura son soportadas por varios elementos, y con menor intensidad en cada uno. En una estructura con pocos elementos estructurales, no habrá esta ventaja, porque cada elemento absorbe fuerzas más grandes. En la figura 13.2.10 se muestra:

- **Vista 1**, una planta conformada por 12 columnas en el perímetro
- **Vista 2**, la misma planta reforzada con placas o muros tendrá mayor capacidad resistente.
- **Vista 3**, un techo apoyado en una sola columna, falló en el sismo de Atico 2001, al no tener otros elementos resistentes.

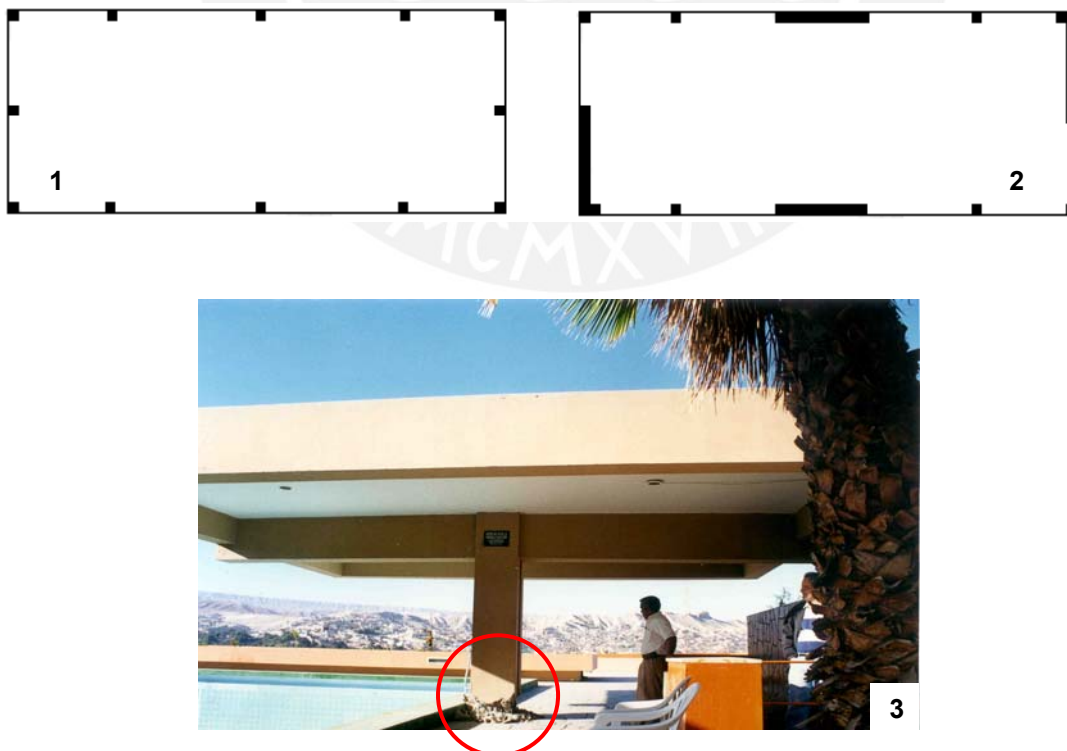


Figura 13.2.10 Importancia de contar con mayor cantidad de elementos resistentes. (Quiun)

13.2.11 Evitar cambios bruscos de las dimensiones de planta en elevación

Se debe evitar que la dimensión en planta de un piso exceda de 1.3 veces la dimensión de un piso adyacente, figura 13.2.11. No se aplica en azoteas ni sótanos.

Las causas más comunes que influyen en los cambios de dimensiones de las plantas en elevación son las siguientes: 1) por requisitos de zonificación, cuando las calles son poco anchas para evitar quitar la luz y ventilación a los lugares adyacentes; 2) en zonas monumentales, donde se requiere mantener un estilo arquitectónico; 3) por requerimientos de diseño arquitectónico.

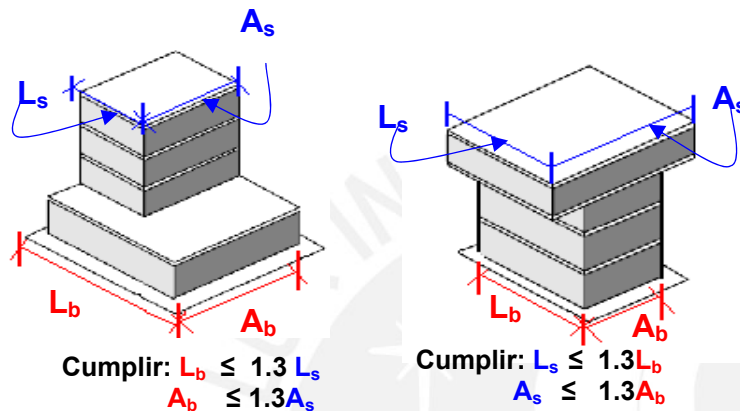


Figura 13.2.11 Cambios adecuados de dimensiones en planta (Adaptación de <http://desastres.cies.edu.ni>)

13.2.12 Juntas de separación sísmica

Se debe considerar juntas de separación sísmica entre edificios adyacentes (figura 13.2.12). El objetivo es evitar choques entre ellos, que pueden producir daños muy fuertes en ambos.

Los daños más graves por choque entre edificios adyacentes, ocurren cuando los pisos de estos edificios no coinciden a la misma altura. En este caso, la losa del último piso del edificio más bajo puede golpear a media altura las columnas o muros del otro. Ver vista 2 de la figura 13.2.12. En el terremoto de México de 1985, se presentaron muchos daños de esta naturaleza, debido al deficiente espesor de las juntas de separación entre edificios.

El cálculo de las juntas de separación sísmica debe ser efectuado por los ingenieros estructurales de acuerdo a lo indicado en la NTE.030. Sin embargo, una sugerencia puede ser considerar el espesor de junta igual a 0.01 de la altura del punto más alto de posible contacto, Bazán (1999).

Por ejemplo, para los edificios de la figura 13.2.12, la separación sísmica entre los edificios indicados en la vista 1, sería igual a 0.07 m considerando una altura, H, aproximada de 7 m. Entre los edificios de la vista 2, la junta sería igual a 0.10 m, para una altura aproximada de 10 m del edificio más bajo.

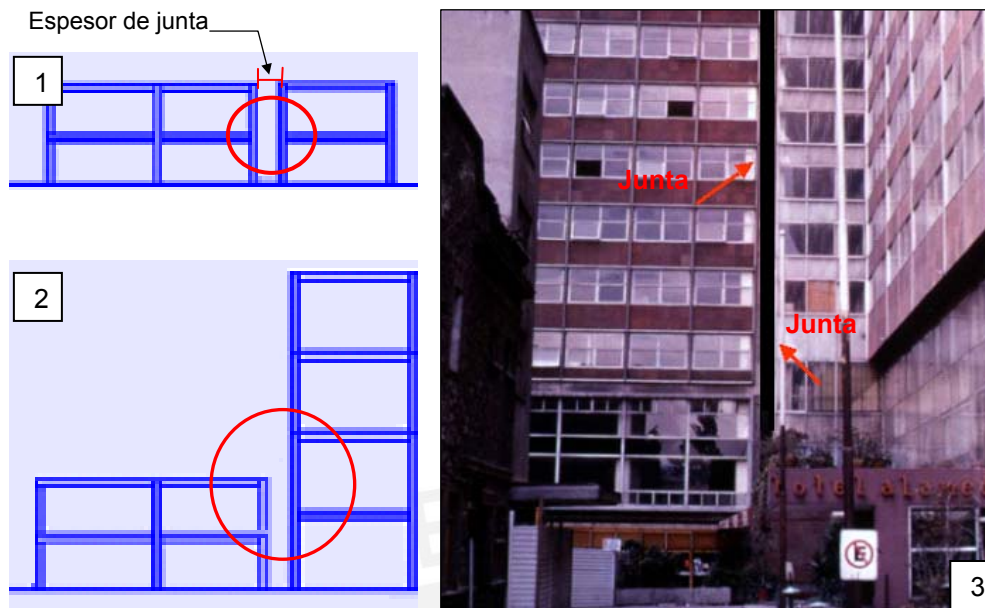


Figura 13.2.12 (a) Juntas de separación sísmica (<http://202.54.104.236>)

13.2.13. Evitar irregularidades de distribución de masa en elevación

Se debe evitar irregularidades de distribución de masa en elevación, controlando que el peso de cada piso no exceda en 1.5 veces el del piso adyacente. Esto no se aplica a las azoteas y sótanos.

13.3 DIMENSIONAMIENTOS DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO

El dimensionamiento de los elementos estructurales de concreto armado, complementa las recomendaciones de configuración enfocadas en forma general, en la sección anterior. El dimensionamiento responde a un enfoque más específico, ya que debe ser concordante con las propiedades del material y con la función de cada elemento estructural.

La secuencia de los temas es: 1) dimensionamiento de losas; 2) dimensionamiento de vigas; 3) dimensionamiento de columnas; 4) dimensionamiento de placas.

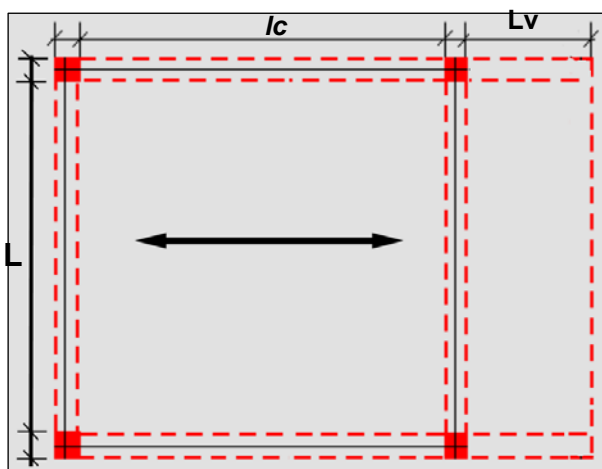
13.3.1 Dimensionamiento de losas

En esta sección se tratarán las reglas prácticas que están contempladas en la NTE-060, para poder encontrar espesores adecuados de cada uno de los tipos de losas tratadas en el capítulo 12, sección 12.1. Al final de esta sección se dan algunas recomendaciones referentes a los espesores estructurales y arquitectónicos de las losas. Para poder ilustrar los dimensionamientos de cada tipo de losa se muestra a continuación la figura 13.3.1, con las plantas de losas para ser armadas en una dirección y en dos direcciones.

a. Dimensionamiento de losas macizas armadas en una dirección

Los espesores de las losas macizas, armadas en una dirección, se pueden predimensionar, como una fracción de la longitud corta entre apoyos (l_c), como $\frac{l_c}{30}$, para no verificar deflexiones. La norma recomienda utilizar este tipo de losas hasta luces máximas de 7.50 m. De acuerdo a este criterio de predimensionamiento, Blanco (1991 b), recomienda emplear los espesores indicados en la figura 13.3.1 (a).

Cuando las losas macizas deben ser armadas en voladizo, el espesor de la losa será igual a la $\frac{\text{longitud del voladizo}(l_v)}{10}$.



Espesor	Condición
0.12 - 0.13 m	para luces menores o iguales a 4 m
0.15 m	para luces entre 4 m y 5.5 m
0.20 m	para luces entre 5.5 m y 6.5 m
0.25 m	para luces entre 6.5 m y 7.5 m

Espesores recomendados para losas macizas armadas en una sola dirección

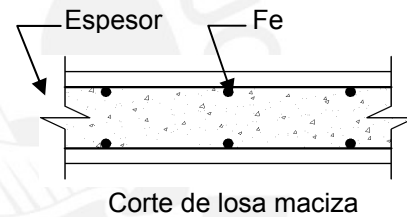


Figura 13.3.1 (a). Losa macizas armadas en una dirección y en voladizo. (Fuente propia)

b. Dimensionamiento de losas macizas armadas en dos direcciones

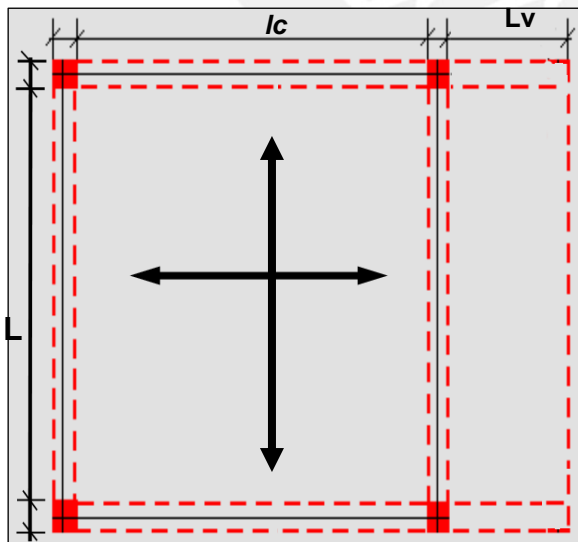


Figura 13.3.1 (b) Losa maciza armada en dos direcciones con voladizo. (Fuente propia)

Los espesores de las losas macizas armadas en dos direcciones se pueden predimensionar, como una fracción de la longitud más corta entre apoyos (l_c) ejemplo de aplicación, si una losa tiene dimensiones: $l_c = 6$ m y $L = 10$ m. Para encontrar espesor de la losa, se verifican las dos condiciones:

Condición 1 : $\frac{lc}{40} = \frac{6}{40} = 0.15 \text{ m}$

Condición 2: $\frac{\text{Perímetro del paño}}{180} = \frac{(6+6+10+10)}{180} = \frac{32}{180} = 0.18 \text{ m}$

Manda la condición más desfavorable y por tanto el espesor requerido será 0.18 m.

c. Dimensionamiento de losas aligeradas armadas en una dirección

Para decidir si se emplea aligerados armados en una dirección, no se utiliza la relación entre el largo y ancho de los paños, como es el caso de las losas macizas. La dirección en que son colocadas las viguetas son las que definen el comportamiento de éstas.

Sin embargo, por razones económicas y de rigidez, debe preferirse armar el aligerado en la dirección más corta, siempre y cuando los apoyos sean vigas peraltadas. El ingeniero estructural puede variar la dirección de armado de las viguetas para darle continuidad a la estructura. Paños cuadrados también pueden tener aligerados armados en una dirección.

Los espesores de los aligerados armados en una dirección, se pueden predimensionar según la NTE-060, como una fracción de la longitud libre (l_c). El espesor requerido es $\frac{l_c}{25}$, para no verificar deflexiones, con sobrecargas máximas de 350 kg/m^2 . Para sobrecargas mayores, puede utilizarse espesores equivalentes a $\frac{l_c}{21}$. En la figura 13.3.1 (c), se muestran luces máximas de aligerados de diferentes espesores para sobrecargas menores a 350 kg/m^2 .

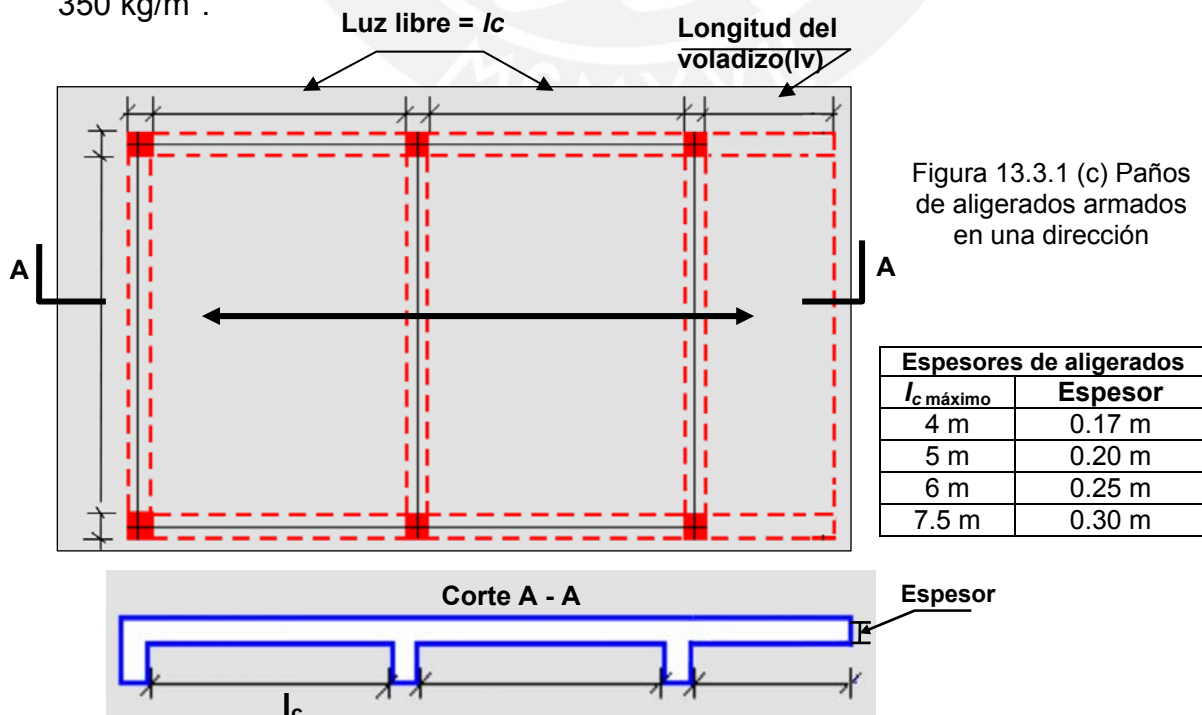


Figura 13.3.1 (c) Paños de aligerados armados en una dirección

Cuando las losas aligeradas deben ser armadas en voladizo, el espesor de la losa será igual a la $\frac{\text{longitud del voladizo}(lv)}{8}$

d. Dimensionamiento de aligerados armados en dos direcciones

Para el dimensionamiento del espesor de estas losas, puede utilizarse la siguiente expresión $\frac{lc}{35}$, lo que será redondeado a un valor inmediatamente superior múltiplo de 5 cm. Por ejemplo, un paño cuadrado de losa aligerada de 8 m x 8 m, con este criterio, puede ser dimensionado como una losa de espesor = $\frac{8}{35} = 0.23$ m; pero redondeado al valor inmediatamente superior múltiplo de 5 cm, el espesor es 0.25 m.

e. Dimensionamiento de losas nervadas

Blanco (1991 b), recomienda utilizarlas en luces mayores de 6 m. Las distancias libres usuales entre las nervaduras, son entre 0.50 m a 0.75 m, unidas por una losa de 0.05 m de espesor. Las dimensiones de las viguetas están entre 0.35 m a 0.60m de peralte y ancho variable entre 0.10 m a 0.15 m. Los peraltes de los nervios, pueden ser estimados como una fracción de la longitud libre, $\frac{lc}{21}$, y también deben ser armadas en la dirección de la luz más corta, Fig. 12.1.3 (a) – vista 1. Cuando se requiera utilizar espaciamientos entre viguetas superiores a 0.75 m, se tiene que usar mayor espesor de losa. En este caso, se puede estimar dicho espesor como un valor equivalente al espacio libre entre apoyos dividido entre doce, pero mayor que 5 cm, según figura 12.1.3 (a)-vista 3. La figura 12.1.3 (a)-vista 2 muestra la forma terminada de una losa nervada.

f. Espesores estructurales y arquitectónicos de las losas

En las secciones que anteceden, los espesores se refieren a la losa estructural. Para los espesores arquitectónicos de las losas, se deben considerar adicionalmente 5 cm en forma típica por los acabados de piso. En la azotea, también es necesario incluirlo, para colocar ladrillo pastelero o algún recubrimiento alterno que controle las fisuras por temperatura, ver figura 13.3.1 (f).

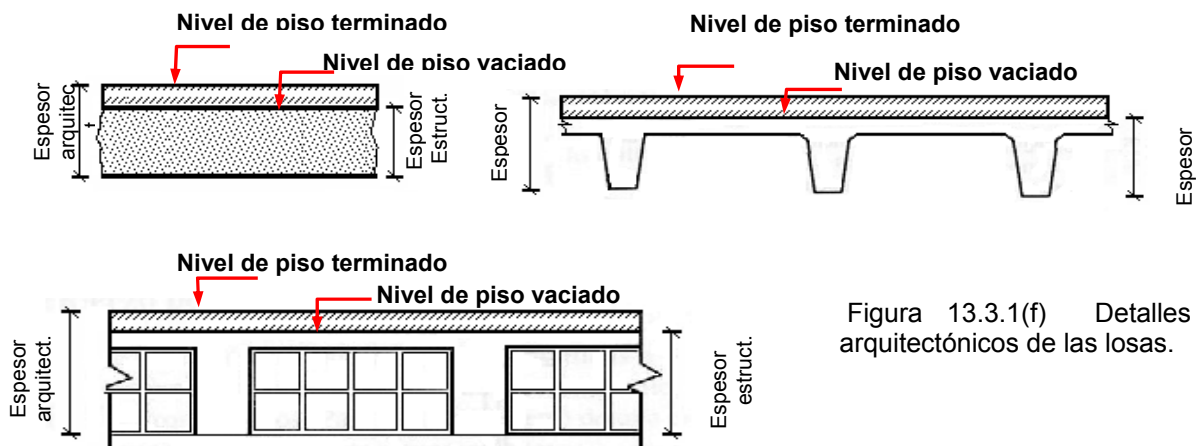


Figura 13.3.1(f) Detalles arquitectónicos de las losas.

13.3.2 Dimensionamiento de vigas

Las reglas que se darán para el dimensionamiento de las vigas, serán en concordancia con su función estructural, de acuerdo a lo tratado en el capítulo 12 (12.2.1) para los siguientes tipos: vigas sismorresistentes, vigas apoyadas sobre vigas y vigas en voladizo. Ver la figura 13.3.2.

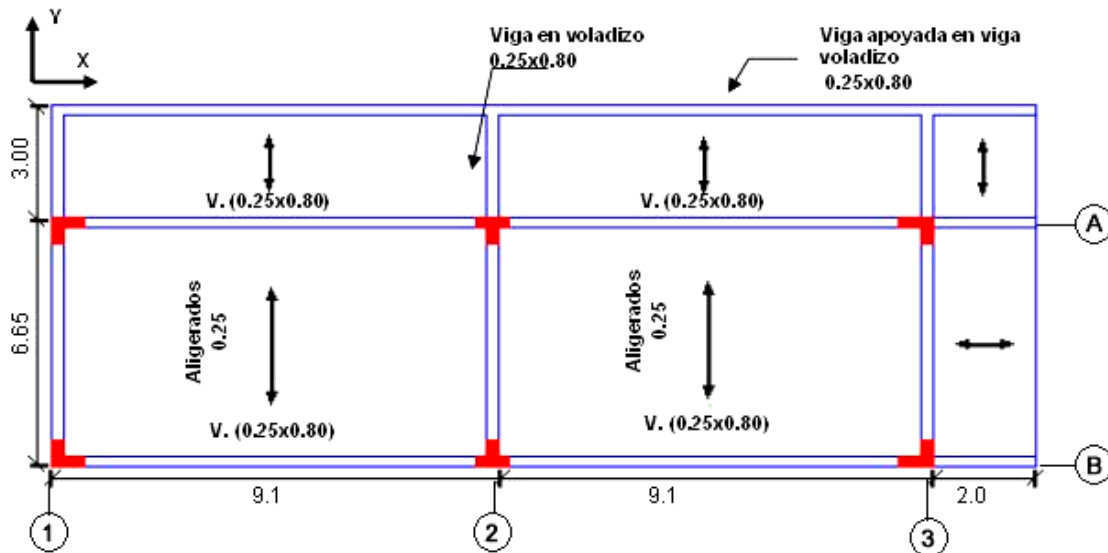


Figura 13.3.2 Configuración y dimensionamiento de una planta estructural típica de 3 pisos.

a. Dimensionamiento de vigas sismorresistentes

El dimensionamiento de vigas sismorresistentes debe garantizar rigidez y resistencia para soportar las cargas de gravedad y las cargas sísmicas. En la figura 13.3.2, estas vigas conforman los pórticos A, B, 1, 2 y 3. Blanco (1991 b), recomienda usar peraltes equivalentes a una fracción de la luz libre L , comprendidos entre $\frac{L}{10}$ a $\frac{L}{12}$. El ancho de las vigas puede ser 0.30 a 0.50 de su peralte. El ancho mínimo debe ser 0.25 m. Tanto el peralte como el ancho de las vigas serán redondeados a valores inmediatamente superiores múltiplos de 5 cm.

Por ejemplo, en la figura 13.3.2, se observa que las vigas de los ejes A y B, cubren luces libres de 7.70 m. Aplicando las reglas de dimensionamiento se tiene:

$$\text{Peralte} = \frac{L}{10} = \frac{7.70}{10} = 0.77 \text{ m, se redondea el valor a } 0.80 \text{ m.}$$

$$\text{Ancho} = 0.30 \text{ del peralte} = 0.30 \times 0.80 = 0.24, \text{ se redondea a } 0.25 \text{ m.}$$

Las vigas de los ejes 1, 2 y 3, pueden tener menor peralte por su menor luz. Sin embargo, puede usarse también el mismo peralte que las vigas de los ejes A y B por diseño arquitectónico.

b. Vigas apoyadas sobre vigas

El dimensionamiento de estas vigas debe garantizar rigidez y resistencia para soportar sólo cargas verticales o de gravedad. Las dimensiones dadas a estas vigas están en función de las cargas de gravedad que van a soportar. Pueden ser para soportar cargas localizadas en la losa del piso o para soportar piso, cuando se trata de disminuir luces. De acuerdo a esto, se toman en cuenta los siguientes criterios de dimensionamiento:

- Si las vigas soportan losa de piso, deben tener peralte mínimo de $\frac{L}{16}$, de acuerdo a la carga que soportan. Sin embargo, generalmente por razones arquitectónicas, se dimensionan con peraltes similares a los de las vigas sismorresistentes que los soportan.
- Si las vigas sólo soportan cargas que actúan directamente sobre ellas, pueden ser consideradas del mismo espesor de la losa.

Por ejemplo, en la figura 13.3.2, la viga de borde del voladizo, está soportando el aligerado comprendido entre los ejes A y A' y cubre una luz libre de 8.80 m.

El mínimo peralte que debería tener esta viga debería ser $\frac{L}{16} = \frac{8.80}{16} = 0.55$ m;

sin embargo, por razones arquitectónicas se ha preferido considerarla con peralte de 0.80 m.

c. Vigas en voladizo

Generalmente estas vigas son dimensionadas para soportar cargas de gravedad y cargas sísmicas verticales. Sin embargo, el dimensionamiento estará en función de la magnitud de las cargas de gravedad que van a soportar.

- Si las vigas en voladizo soportan techo, se pueden usar peraltes comprendidos entre $\frac{1}{6}$ a $\frac{1}{4}$ de la luz del voladizo.
- Si las vigas sólo soportan cargas directamente apoyadas sobre ellas o son continuación de los pórticos, pueden ser consideradas chatas.

Por ejemplo, en la figura 13.3.2, las vigas en voladizo de los ejes 1, 2 y 3, que tienen luces de 3m, soportan indirectamente el aligerado comprendido entre los ejes A y A'. La viga de borde del eje A', transmite el peso del aligerado a cada una de estas vigas en voladizo. Según la regla dada, el peralte que debería tener esta viga es igual a $\frac{L}{4} = \frac{3}{4} = 0.75$ m. También por razones arquitectónicas se las ha considerado con peraltes de 0.80 m.

13.3.3 Dimensionamiento de columnas

Las columnas son utilizadas en los edificios conformando estructuras de sistemas aporticados o sistemas duales. Las formas y dimensiones de las columnas deben satisfacer dos condiciones estructurales importantes: 1) resistir cargas de gravedad; y 2) resistir fuerzas sísmicas laterales. Para ambas condiciones se tomarán en cuenta las recomendaciones dadas por Blanco (1991). Sin embargo, la segunda condición será complementada con alternativas de predimensionamiento, que permitan obtener suficiente rigidez lateral de las columnas en ambas direcciones.

De acuerdo a lo expuesto, se verificarán los dimensionamientos de las columnas para cargas de gravedad y para las cargas sísmicas laterales. El dimensionamiento válido será aquel que satisfaga la condición más desfavorable.

a. Dimensionamiento de las columnas para resistir cargas de gravedad

Para garantizar la resistencia ante las cargas de gravedad para las columnas de un sistema estructural dual o aporticado, las áreas de sus secciones pueden ser dimensionadas en base a la siguiente expresión:

$$\text{Área de la columna} = \frac{P}{0.45 f'c}; \text{ Donde:}$$

- P es la carga que actúa en una columna y
- $f'c$ es la resistencia del concreto a compresión.

La carga P se obtiene como la suma total de las cargas de gravedad que inciden en el área tributaria de la columna en cada uno de los pisos. Una forma simplificada de obtener P es asumir una carga promedio actuante en el piso de 1 ton/m^2 multiplicada por el área tributaria de la columna y luego por el número de pisos. Las áreas tributarias, son aquellas que influyen en el peso de la columna. En la figura 13.3.3, se muestran las diferentes áreas tributarias de cada una de las 6 columnas de la planta estructural, típica, de un edificio de 3 pisos. A manera de ejemplo, se han calculado las áreas tributarias (A_t) de las columnas 4 y 5, por ser las más desfavorables. Por razones técnicas, económicas y arquitectónicas, las columnas suelen tener dimensiones similares entre sí. Por tanto, bastará verificar las secciones sólo para las columnas diferentes y más cargadas.

$$A_{t4} = \left(\frac{9.15}{2} + 2 \right) \times \left(\frac{6.65}{2} + 3 \right) = 41.58 \text{ m}^2; \quad P_4 = 41.58 \text{ m}^2 \times 3 \times 1 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 124.7 \text{ ton}$$

$$A_{t5} = 9.15 \times \left(\frac{6.65}{2} + 3 \right) = 57.87 \text{ m}^2; \quad P_5 = 57.87 \text{ m}^2 \times 3 \times 1 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 173.6 \text{ ton}$$

La resistencia del concreto a compresión, es la resistencia que alcanza una probeta de ensayo a los 28 días y se identifica por $f'c$. La resistencia mínima $f'c$ recomendada por la NTE-060 es de 210 kg/cm^2 . Por tanto, $0.45 f'c$, es el esfuerzo máximo resistente a compresión de la columna.

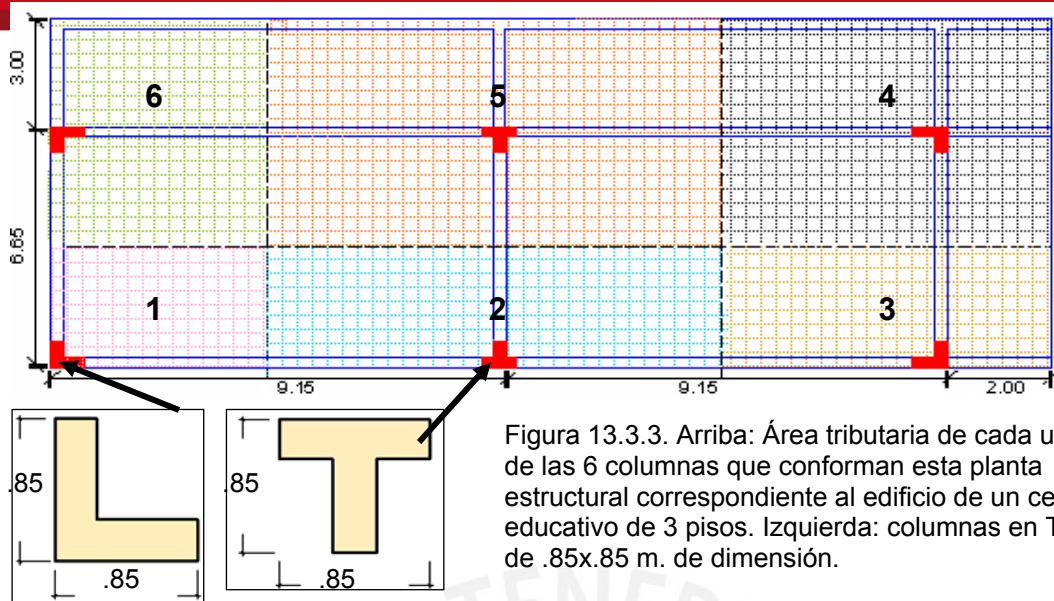


Figura 13.3.3. Arriba: Área tributaria de cada una de las 6 columnas que conforman esta planta estructural correspondiente al edificio de un centro educativo de 3 pisos. Izquierda: columnas en T y L de .85x.85 m. de dimensión.

Aplicando la fórmula de predimensionamiento para cada una de las columnas 4 y 5, encontramos que las áreas requeridas para las secciones de cada columna son:

$$\text{Área requerida columna } 4 = 124.7 \times \frac{1000}{(0.45 \times 210)} = 1320 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área requerida columna } 5 = 173.6 \times \frac{1000}{(0.45 \times 210)} = 1837 \text{ cm}^2$$

Las áreas reales que tienen cada una de las columnas 4 y 5 en la figura 13.3.3 equivalen a 3600 cm². Esta mayor sección que la requerida para cargas de gravedad, se debe a que falta verificar las cargas sísmicas.

b. Dimensionamiento de columnas para resistir fuerzas sísmicas horizontales en sistemas aporticados.

En la planta típica de la estructura mostrada de tres niveles en la figura 13.3.3, las áreas empleadas de sección de columnas son mayores que las requeridas para resistir cargas de gravedad, puesto que falta verificar la sección requerida para resistir fuerzas sísmicas laterales.

Blanco (1991 b), recomienda que las edificaciones de sistemas aporticados sean como máximo de 3 a 4 pisos. Sin embargo, como las normas sismorresistentes de 1997 y 2003 han incorporado exigencias mayores de control de desplazamientos laterales, en edificios de 3 a 4 pisos es importante contar con al menos pequeños muros o sistemas duales. El área de columna calculada para cargas de gravedad, deberá ser verificada para la acción de la fuerza cortante sísmica. Cuando la estructura se considera aporticada, generalmente las áreas de columnas calculadas para cargas de gravedad, deben ser aumentadas. Esta cantidad crece aún más si las luces de los pórticos son grandes.

De acuerdo a lo indicado en el capítulo 11 (11.5.1), es necesario verificar que las columnas sean capaces de resistir en el primer entrepiso la fuerza cortante actuante:

$$V = \frac{ZUSCP}{R}$$

Para un sistema aporticado, se deben emplear los valores de: $C = 2.5$ (en edificios bajos, el período T es corto); y también, $R = 8$.

$$V_{\text{pórticos}} = \frac{2.5}{8} ZUSP = 0.3125 ZUSP$$

Esta fuerza se distribuirá en cada columna del entrepiso de acuerdo a sus rigideces. Si todas las columnas son dimensionadas con peraltes iguales en cada dirección, como es el caso mostrado en la figura 13.3.3, entonces, la fuerza cortante que debe absorber cada columna, V_c , será el cortante $V_{\text{pórticos}}$ dividido entre el número total de columnas ($N^{\circ}_{\text{columnas}}$) en la dirección analizada. Es decir:

$$V_{ac} = \frac{V_{\text{pórticos}}}{N^{\circ}_{\text{columnas}}}$$

La fuerza V_{ac} , debe ser resistida por el área de la sección de la columna (A_c). Para ello, debe encontrarse la fuerza cortante resistente, V_{rc} , de la sección de la columna. Para encontrar V_{rc} , se conoce que un concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ tiene una resistencia al esfuerzo cortante igual a 6 kg/cm^2 . Por tanto, la fuerza cortante resistente será:

$$V_{rc} = 6 \text{ kg/cm}^2 \times A_c \text{ (cm}^2\text{)}$$

La sección será correcta si se satisface que: $V_{ac} \leq V_{rc}$

Se puede entender mejor el proceso de dimensionamiento de las columnas, con el ejemplo mostrado en la figura 13.3.3. Se tienen 6 columnas con peraltes iguales equivalentes a 0.85 m cada una. Por tanto, en cada columna actuará una fuerza cortante, $V_{ac} = \frac{V_{\text{pórticos}}}{6}$

Asumimos que esta edificación corresponde a un centro educativo ($U = 1.5$), ubicado en Huancayo ($Z = 0.3$), sobre un suelo firme ($S = 1$). La carga total P , se calcula según 11.5.1.

$$\begin{aligned} \text{La carga total } P &= \text{área de planta} \times N^{\circ} \text{ pisos} \times 1 \text{ ton/m}^2 \\ &= 9.65 \times 20.3 \times 3 \times 1 = 588 \text{ ton} \end{aligned}$$

La fuerza cortante actuante en el edificio es:

$$V_{\text{pórticos}} = 0.3125 ZUSP = 0.3125 \times 0.3 \times 1.5 \times 1 \times 588 \text{ ton} = 82.7 \text{ ton}$$

Cada una de las seis columnas iguales debe tomar:

$$V_{ac} = \frac{82.7}{6} = 13.8 \text{ ton}$$

Se asume que V_{ac} , será resistida en cada dirección por la sección peraltada de la columna, sin considerar el ala. El área de las secciones peraltadas de cada columna (A_c) en cada dirección son: $25 \times 85 = 2\,125 \text{ cm}^2$.

La fuerza cortante resistente en cada columna es:

$$V_{rc} = 6 \text{ kg/cm}^2 \times A_c (\text{cm}^2) = 6 \times 2\,125 = 12\,750 \text{ kg} = 12.8 \text{ ton}$$

Observamos que la fuerza cortante actuante ($V_{ac} = 13.8 \text{ ton}$) es ligeramente mayor que la fuerza cortante resistente ($V_{rc} = 12.8 \text{ ton}$). Se puede notar que el dimensionamiento propuesto en la figura 13.3.3, no es conforme, aunque la diferencia es menor al 10%. Por ello, si no existen restricciones arquitectónicas, es preferible incrementar en la cantidad necesaria, las dimensiones de las alas de las columnas en cada dirección. Así se garantizaría un mejor comportamiento estructural sin afectación económica.

De lo expuesto, se puede concluir que los sistemas aporticados, deben tener peraltes grandes en ambas direcciones y su uso es recomendable hasta tres pisos.

13.3.4 Dimensionamiento de las placas

De acuerdo a lo tratado en el capítulo 12 (12.2.3), las placas pueden conformar estructuras de muros o sistemas duales. Los sistemas duales son adecuados para lograr rigidez, resistencia y ductilidad en las estructuras. Bien configuradas y bien diseñadas, son más económicas que las estructuras aporticadas. Los dimensionamientos que veremos a continuación serán para los sistemas duales y para los sistemas de muros resistentes.

a. Dimensionamiento de placas en sistemas duales

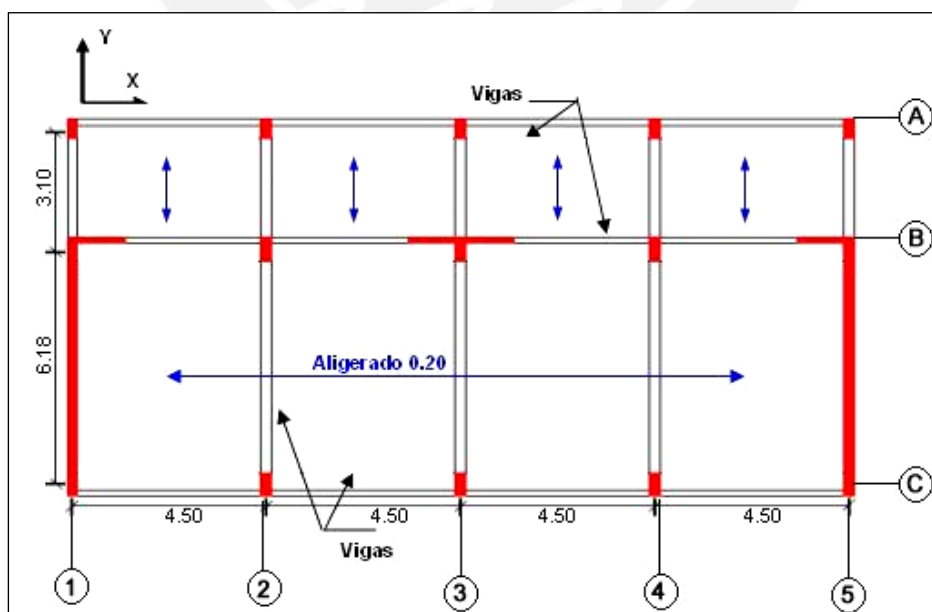


Figura 13.3.4 Configuración y dimensionamiento de una planta estructural, correspondiente a un sistema dual, del edificio de un centro educativo de tres pisos

Para el dimensionamiento de placas en un sistema dual se considerarán sólo las áreas de placa (A_p) de aquellas ubicadas con su mayor dimensión en la dirección analizada. Por ejemplo, en la estructura mostrada en la figura 13.3.4, las placas que absorben la fuerza cortante sísmica en la dirección X son las tres placas ubicadas en el eje B. Las placas que absorben la fuerza cortante sísmica en la dirección Y son las ubicadas en los ejes 1 y 5. El área de cada placa A_p en la dirección analizada está definida por su espesor “e” y su mayor dimensión o longitud “ L_p ”. Entonces el área de la placa queda definida como:

$$A_p = e \times L_p$$

Los espesores “e” de las placas, pueden ser de 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 m, para edificios de poca altura. Blanco (1991 b), señala que en el Perú se han proyectado una serie de edificaciones de hasta 20 pisos con espesores de placas de 0.25 m, pero con longitudes apreciables. Si las placas no son muy abundantes, los espesores pueden ser de 0.30 m o hasta de 0.60 m, en los edificios de mayor altura.

El dimensionamiento de las placas de un sistema dual, se simplifica, asumiendo que absorben el 100% de la fuerza cortante sísmica V actuando en una dirección determinada. Los pórticos que conforman el sistema dual deben ser capaces de absorber como mínimo el 25% de la fuerza cortante sísmica V en cada una de las dos direcciones.

A partir de la expresión para el cálculo de la fuerza cortante sísmica, se explica el procedimiento de dimensionamiento:

$$V = \frac{ZUSCP}{R}$$

Reemplazando los valores correspondientes a sistema dual ($C = 2.5$; $R = 7$), la fuerza sísmica actuante en el edificio V, y por tanto en las placas, V_{ap} es:

$$V = V_{ap} = 0.357 ZUSP$$

La fuerza cortante resistente de la placa, V_{rp} , es:

$$V_{rp} = 6 \text{ kg/cm}^2 \times A_p; \quad (6 \text{ kg/cm}^2, \text{ es la resistencia del concreto al esfuerzo Cortante, tratado en 13.3.3, inciso b)}$$

El procedimiento se resume en lo siguiente:

- Asumir la configuración y dimensiones de las placas
- Calcular la fuerza cortante actuante V_{ap}
- Calcular la fuerza cortante resistente de las placas V_{rp}
- Verificar que $V_{ap} \leq V_{rp}$
- Si la fuerza cortante resistente V_{rp} de la placa elegida es insuficiente, se deben ajustar las dimensiones de la placa.

Todo lo expuesto será ilustrado con la verificación de la configuración estructural del ejemplo de la figura 13.3.4. Se trata de un sistema dual en las dos direcciones X e Y. En la dirección X, el sistema está conformado por dos placas cortas extremas, de 0.25 m x 1.50 m cada una y una placa central de 0.25 x 3.00 m, más 10 columnas de 0.65 x 0.25m. En la dirección Y, el sistema está conformado por dos grandes placas de 0.25 m x 6.83 m, más 10 columnas de 0.25 x 0.65m. Es un centro educativo ($U = 1.5$), ubicado en Huancayo ($Z = 0.3$) sobre suelo firme ($S = 1$).

La fuerza cortante actuante en cada una de las dos direcciones, es:

$$V_{ap} = 0.357 ZUSP = 0.357 \times 0.3 \times 1.5 \times 1.0 \times (9.93 \times 18.25 \times 3 \times 1) = 87.34 \text{ ton}$$

La fuerza resistente de las placas en la dirección X es:

$$V_{rpx} = 6 \text{ kg/cm}^2 \times A_{px} = 6 \times 25 \times (150 \times 2 + 300) = 90\,000 \text{ kg}$$

$$V_{rpx} = 90 \text{ ton} > V_{ap} \text{ (es conforme)}$$

La fuerza resistente de las placas en la dirección Y es:

$$V_{rpy} = 6 \text{ kg/cm}^2 \times A_{py} = 6 \times 25 \times 683 \times 2 = 204\,900 \gg V_{ap}$$

$$V_{rpy} = 204.9 \text{ ton} > V_{ap} \text{ (más que suficiente)}$$

13.4 DIMENSIONAMIENTOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ALBAÑILERÍA

La configuración de las estructuras de albañilería deberá cumplir con las recomendaciones generales tratadas en la sección 13.2. Los elementos de concreto armado, que sirven de refuerzo a la albañilería, cumplirán con las recomendaciones dadas para los dimensionamientos de los elementos de concreto armado en la sección 13.3, con excepción de las vigas y columnas de confinamiento. En esta sección se tratarán las dimensiones requeridas de los muros de albañilería y de sus elementos de arriostre o de confinamiento, según la NTE-070. Estos dimensionamientos, estarán en función de la existencia o no del diafragma rígido horizontal.

En el capítulo 9 se ha visto que el comportamiento estructural de los muros con diafragma rígido horizontal, es diferente a los que no tienen diafragma. Los muros portantes de albañilería con diafragma toman la fuerza sísmica de acuerdo a su rigidez. La dirección más crítica para el diseño de este tipo de muros es la dirección paralela a su plano. Los muros portantes de albañilería sin diafragma, toman la fuerza sísmica de acuerdo al peso que soportan y la dirección más crítica para estos muros es la perpendicular a su plano. De acuerdo a esto, se tratarán los dimensionamientos para los dos tipos de muros portantes de albañilería.

13.4.1 Configuración y dimensionamiento de muros portantes de albañilería con diafragma

a. Criterios específicos de configuración y dimensionamiento, comunes para los muros de albañilería confinada y armada.

Se tratarán las recomendaciones que se consideran necesarias para los planteamientos arquitectónicos de las estructuras de albañilería, según se detalla a continuación:

- Los muros portantes deben tener continuidad vertical desde su ubicación más alta hasta la cimentación.
- Cada muro portante, de un sistema estructural, debe tener una longitud mayor o igual de 1.20 m.
- El espesor mínimo efectivo del muro (espesor sin recubrimiento), denominado “t” se dimensionará como una fracción de la altura libre “h” (ver figura 13.4.1 (a)), según la sismicidad de la zona.

$$\text{Zonas sísmicas 2 y 3: } \frac{h}{20} ; \text{ zona sísmica 1: } \frac{h}{25}$$

- El espesor “t” calculado de acuerdo a la sismicidad de la zona, debe verificarse para que la sección del muro (L x t) pueda soportar el esfuerzo de compresión producido por la carga de gravedad “Pm”, actuando en 1 m de longitud de muro. Debe cumplirse:

$$\frac{P_m}{(100xt)} \leq 0.15 f_m.$$

Donde:

- L es la longitud del muro incluyendo las columnas si es que existen.
- f_m es la resistencia a la compresión de la albañilería. Para ciertos casos típicos de albañilería, la NTE-070, da los valores de resistencias características de la albañilería. En otros casos, se debe obtener este dato a través de ensayos de laboratorio.

Los muros portantes deberán distribuirse en las dos direcciones principales de la planta, en una cantidad mínima de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Área mínima de muros}}{\text{Área en planta}} = \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

- *Área mínima de muros* representa la sumatoria de las áreas de muros en la dirección de sus longitudes “L” (mayor dimensión). Se puede representar como $\sum L \times t$.
- Los parámetros Z, U, y S, son los parámetros que ya fueron tratados en capítulo 11.
- N, denota el número de pisos de la edificación.

Esta expresión ha sido obtenida en base a la expresión calculada para la fuerza cortante sísmica en la base, “V”, según se indica en la sección 11.5. El procedimiento para obtener esta expresión ha sido similar al que se ha utilizado en el dimensionamiento de placas. La diferencia está en que la resistencia considerada para el esfuerzo cortante de la albañilería, es equivalente a 1.8 kg/cm².

Se debe buscar que la suma mínima de las áreas de muros en las dos direcciones principales de la edificación de albañilería, cumpla que:

$$\Sigma L \times t \geq ZUSN \times \frac{\text{Area de la planta típica}}{56}$$

Si no se cumpliera en una dirección, por razones de carácter arquitectónico, es posible solucionar con las siguientes alternativas: 1) aumentar el espesor de los muros; o 2) reemplazar la longitud de los muros que faltan por placas de concreto armado. Para aplicar la expresión de densidad mínima se puede estimar un espesor hipotético de la placa equivalente al espesor real que se está considerando multiplicado por la relación $\frac{E_c}{E_m}$ y con ello se puede obtener la longitud necesaria.

- **Ec**, es el módulo de elasticidad del concreto = 15000 √f’c, por ejemplo: 200 000 kg/cm² (para f’c = 175 kg/cm²).

- **Em**, es el módulo de elasticidad de la albañilería = 500 f’m. Para un muro de ladrillo artesanal promedio, f’m = 35 kg/cm² (NTE-070). Em = 17 500 kg/cm². Para un muro de ladrillo industrial, f’m = 65 kg/cm². Em = 32 500 kg/cm².

Las limitaciones en las características resistentes para el uso de las unidades de albañilería en los muros portantes sismorresistentes, se muestran en la tabla 13.4.1. De acuerdo a ello se destaca que los ladrillos sólidos artesanales, sólo pueden ser utilizados en edificaciones de albañilería confinada que tengan como máximo dos pisos, en las zonas sísmicas 2 y 3.

TABLA 13.4.1 (NTE-070) LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES			
TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

b. Requisitos adicionales de configuración para muros portantes de albañilería confinada

- La distancia máxima centro a centro entre las columnas de confinamiento, debe ser como máximo igual a dos veces la altura libre “h”, entre vigas soleras o entre viga solera y el piso del primer nivel, pero no mayor de 5 m, ver figura 13.4.1 (a).
- El espesor mínimo de las columnas y vigas de confinamiento, será igual al espesor efectivo del muro.
- El peralte mínimo de la viga solera será igual al espesor de la losa del techo.

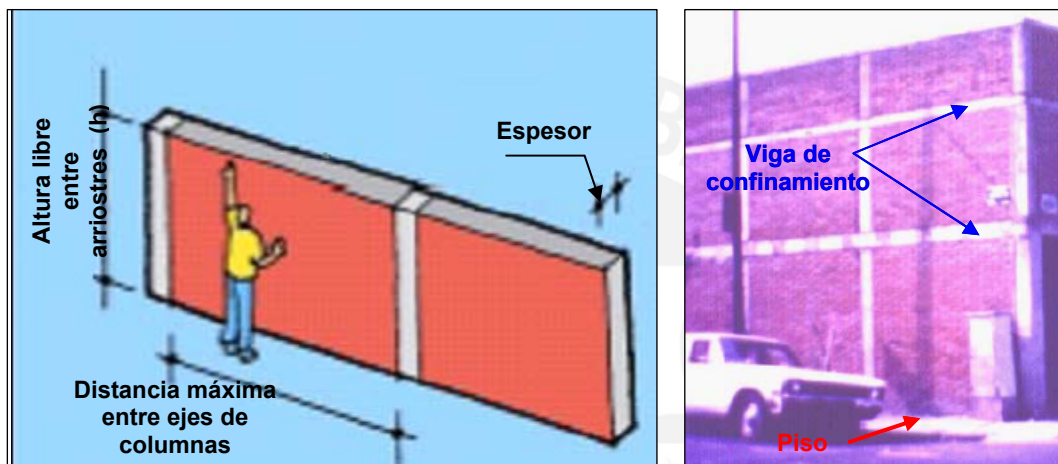


Figura 13.4.1 (a) Ilustración de parámetros y elementos de la albañilería confinada. **Izquierda:** Altura libre entre arriostres horizontales; distancia entre ejes de columnas y espesor de muro. **Derecha:** Arriostres horizontales (vigas de confinamiento y piso). (Adaptación www.desenredando.org y San Bartolomé, 2002)

c. Ejemplo de configuración y dimensionamiento de albañilería confinada

En la figura 13.4.1 (b), se muestra una distribución espacial y una planta típica de una edificación de albañilería confinada de dos pisos con diafragmas rígidos en cada nivel. La edificación corresponde a una posta médica de salud, ubicada en un distrito de la costa peruana, cimentada en suelo intermedio. La unidad de albañilería que se empleará corresponde a un ladrillo macizo artesanal compatible con las características mínimas de la NTE-070. La escalera de acceso al segundo nivel se asume que está en una estructura aparte.

Se analizará la configuración y el dimensionamiento de la albañilería de esta edificación, con el procedimiento siguiente:

- La configuración de la estructura es conforme porque tiene diafragmas rígidos horizontales y la distribución de sus componentes resistentes es simétrica. El diafragma rígido consiste en una losa aligerada unidireccional de 0.25 m de espesor armada en la dirección mas corta de 6.25 m.

- Los parámetros del muro de albañilería confinada son: $f'm = 35 \text{ kg/cm}^2$ (NTE-070); $E_m = 17\,500 \text{ kg/cm}^2$; altura libre h (entre arriostres) = 3m; $E_c = 200\,000 \text{ kg/cm}^2$.
- Los parámetros sísmicos para esta edificación son: $Z = 0.4$; $U = 1.5$; $S = 1.2$; $N = 2$; Área de planta = $10 \times 13.25 = 132.5 \text{ m}^2$.
- El espesor mínimo efectivo “t” que debe tener este muro en zona sísmica 3 es: $\frac{h}{20} = \frac{3.00}{20} = 0.15 \text{ m}$. Pero los muros dispuestos de soga suelen tener espesores de 0.13 a 0.14 m. Por tanto, será conveniente considerar muros dispuestos de cabeza con espesor efectivo de 0.24 m.
- Se verifica el espesor de los muros para el esfuerzo de compresión más desfavorable. Se calcula la carga que debe soportar el muro central en 1 m de longitud de muro (peso de las 2 losas aligeradas de 0.25 m + peso de dos pisos terminados + sobrecargas correspondientes a ambos pisos + peso del muro). Con lo que se obtiene el peso del muro $P_m = 11870 \text{ Kg./m}$. El esfuerzo de compresión que produce esta carga por metro de muro es:

$$\frac{P_m}{100} \times t = \frac{11870}{100} \times 24 = 4.94 \text{ kg/cm}^2$$

El máximo esfuerzo que debe resistir el muro a la compresión, es:

$$0.15 f'm = 0.15 \times 35 \text{ kg/cm}^2 = 5.25 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo actuante de compresión es menor que el resistente. Por tanto el espesor del muro es conforme para resistir carga vertical.

- Queda definido, que el espesor del muro de albañilería es de 0.24 m.
- Se verificará la densidad mínima de los muros en ambas direcciones, para un espesor efectivo $t = 0.24 \text{ m}$. Debe cumplirse:

$$\Sigma L \times t \geq ZUSN \times \frac{\text{Área de la planta típica}}{56}$$

$$ZUSN \times \frac{\text{Área de la planta típica}}{56} = 0.4 \times 1.5 \times 1.2 \times 2 \times \frac{132.5}{56} = 3.41 \text{ m}^2$$

- Dirección x: $\Sigma L \times t = (2.25 + 2.75 + 2.25) \times 2 \times 0.24 = 3.48 \text{ m}^2$

- Dirección y: $\Sigma L \times t = (10 \times 2 + 3.75 \times 2) \times 0.24 = 6.6 \text{ m}^2$

Por tanto, la densidad real de muros en ambas direcciones cumple con el requerimiento mínimo. En conclusión, la configuración y dimensionamiento de los muros de albañilería son adecuados.

- Si en la dirección x se dispusiera sin muchos muros, por razones arquitectónicas, se podría pensar en colocar placas de concreto en esta dirección. El espesor de 0.24m, habría que multiplicarlo por la relación $\frac{E_c}{E_m} = 11.4$. Con ello se obtiene un espesor equivalente de $0.24 \times 11.4 = 2.74$ m. Por tanto, se requiere una longitud de placa de concreto, mínima en la dirección x, equivalente a $\frac{3.41 \text{m}^2}{2.74 \text{m}} = 1.24$ m. Debemos recapitular que cada muro portante, de un sistema estructural de albañilería, debe tener una longitud mayor o igual de 1.20 m. Entonces, se podría solucionar el supuesto problema, con la inclusión de dos placas de 1.20 m de longitud, pero dispuestas de tal manera que una quede en la fachada frontal y otra en la fachada posterior.

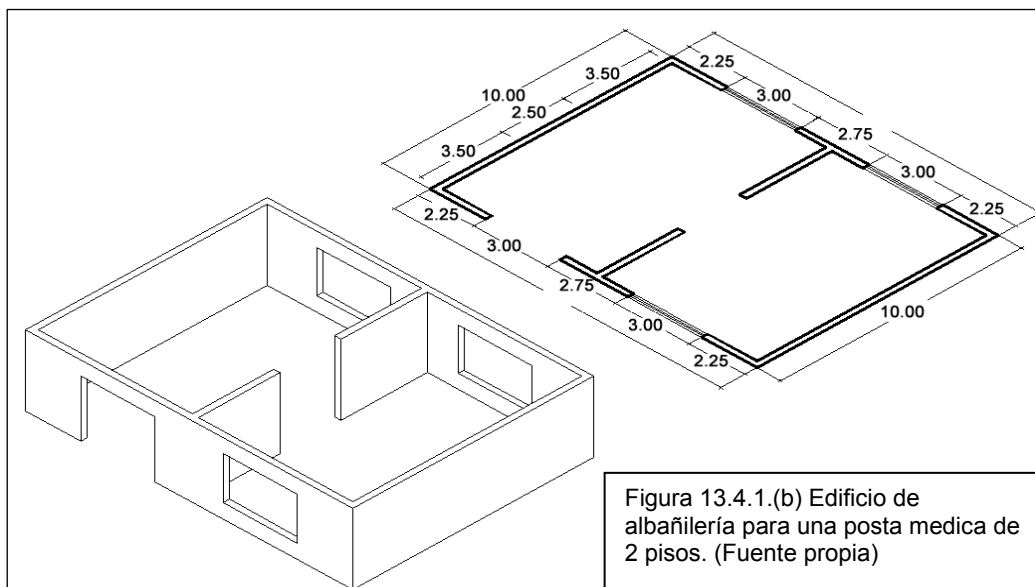


Figura 13.4.1.(b) Edificio de albañilería para una posta medica de 2 pisos. (Fuente propia)

13.4.2 Configuración y dimensionamiento de muros portantes de albañilería sin diafragma

La Norma E-070, recomienda que las edificaciones de albañilería sin diafragma, sean utilizadas solamente en construcciones de un solo piso o en el último piso de las edificaciones de varios niveles.

De acuerdo a lo tratado en el capítulo 9, se vió que este tipo de edificaciones de albañilería sin diafragma suelen ser críticas para la fuerza sísmica actuante en la dirección perpendicular al plano del muro.

Este es un caso que debe ser analizado por un ingeniero estructural, para la distribución y dimensionamiento de las vigas y columnas. Es necesario garantizar que los esfuerzos de flexión y corte en los paños de la albañilería, no excedan los valores máximos que pueden resistir. Asimismo, el dimensionamiento de las columnas y vigas de arriostramiento deben garantizar la estabilidad de la albañilería. En general, se debe preferir en este caso, arriostrar los cuatro lados de cada uno de los paños que conforman la albañilería. En algunos casos es posible que las columnas y vigas, tengan que ser mas anchas que el espesor de las columnas.

13.5 METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA

La metodología empleada, será expositiva - participativa. Las estrategias de enseñanza; los medios y materiales; y la evaluación, son descritos a continuación.

13.5.1 Estrategias de enseñanza

Los puntos a tratar serán expuestos por el docente, a través de diapositivas, en base a los contenidos e ilustraciones de este capítulo. Como este es un tema derivado de todos los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores, el docente debe buscar la participación de los alumnos, con preguntas que lleven a la reflexión de cada una de las recomendaciones dadas.

Los alumnos repartidos en grupos medianos (4 como máximo) deben traer algunos proyectos que hayan sido ejecutados, para evaluarlos en clase desde el punto de vista de la configuración y del dimensionamiento. Aquellos que se consideren que están mal, deberán ser replanteados.

13.5.2 Medios y materiales

La exposición del docente debe ir acompañada de ayudas visuales. Los alumnos identificarán en el entorno, edificios que estén mal y bien configurados, para que sean evaluados.

13.5.3 Evaluación

Los contenidos del capítulo 13, pueden ser evaluados a través de los siguientes tipos de pruebas: escritas para verificar captación de contenidos puramente teóricos; orales a través de exposiciones y debates; de ejecución a través de los materiales presentados.

14. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 COMENTARIOS A LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS DE APLICACIÓN DE ESTA TESIS

Antes de la finalización de esta tesis, la autora tuvo la oportunidad de aplicar lo indicado en los capítulos 6 al 9, a través del dictado del curso electivo de Seminario de Estructuras, correspondiente al 8vo.ciclo de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

El curso se inició el 4 de septiembre del presente año con la participación de 20 alumnos y un docente arquitecto, para apoyar en las labores de asistencia del curso. Esta experiencia es presentada de la siguiente manera: 1) temas tratados hasta la fecha y resultados obtenidos; 2) actitud de los alumnos frente al nuevo enfoque del curso.

14.1.1 Temas tratados hasta la fecha y resultados obtenidos

a) Conceptos básicos de sismología

Los contenidos han sido desarrollados con la participación de los alumnos dispuestos en grupos de a dos. Cada grupo ha investigado y expuesto a través de diapositivas el tema que le ha sido encargado. Las exposiciones se caracterizaron por el empeño y entusiasmo puesto por cada expositor, contribuyendo con mucha información bibliográfica y audiovisual (videos y fotos). Los temas han sido bien asimilados, los cuales han sido demostrados en la evaluación.

b) Historia y actividad sísmica

Se ha utilizado la misma metodología del tema anterior, con resultados también satisfactorios.

c) Influencia de las condiciones del suelo en el peligro sísmico

Se ha utilizado una metodología similar a la anterior. Adicionalmente, los alumnos han recurrido a opiniones de expertos y a las instituciones competentes (Municipalidades, INDECI, Gobierno Regional). Los documentos que han conseguido, permiten identificar las condiciones de algunos suelos propensos a mal comportamiento sísmico en el casco urbano de Huancayo. Los alumnos han demostrado el aprendizaje de este tema a través de las reflexiones de la influencia del suelo en el desarrollo urbano de la ciudad.

d) El comportamiento sísmico de las estructuras

Esta clase ha sido dictada por la autora a través de exposiciones con diapositivas y material didáctico preparado por grupos de alumnos. Estos son referidos a conceptos de: rigidez y resistencia; periodo; frecuencia y resonancia; estructuras con diafragma y sin diafragma. A pesar de algunas

limitaciones, los alumnos han logrado comprender los conceptos, los que además han sido verificados con cálculos simples.

14.1.2 Actitud de los alumnos frente al nuevo enfoque del curso.

Los alumnos vienen demostrando mucho interés, lo cual se manifiesta en la asistencia mayoritaria a clases; en el empeño puesto en los trabajos que se les encomienda; en un adecuado rendimiento académico.

Con la ayuda del docente arquitecto, vienen desarrollando los diferentes materiales didácticos en forma creativa. Sus opiniones a la forma del dictado del curso suelen ser favorables y siempre encuentran que los conocimientos vienen siendo de utilidad para ellos.

14.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es conveniente que en futuras actualizaciones de los planes de estudio de las facultades de arquitectura, se mejore el modelo para mejorar la enseñanza de estructuras a los alumnos de arquitectura. El modelo actualmente utilizado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica del Perú destaca como el más conveniente, puesto que está pensado en los alumnos de arquitectura.
- Es urgente implementar un curso basado en la propuesta de esta tesis, orientado a las edificaciones sismorresistentes de concreto armado y de albañilería. La experiencia reciente en la Universidad Nacional del Centro del Perú es muy favorable y satisfactoria.
- Los docentes de estructuras de las facultades de arquitectura del país, deben asimilar la importancia que tiene la adecuada enseñanza de las estructuras sismorresistentes dentro de sus cursos.
- Deberían implementarse las experimentaciones virtuales a través de los programas SAP o ETABS. Todas las universidades públicas y privadas cuentan con la infraestructura para esto.
- Debería dotarse a las bibliotecas de bibliografía especializada con temas de estructuras para los alumnos de arquitectura.
- La enseñanza de estructuras a los alumnos de las facultades de arquitectura debe incluir cuatro cursos obligatorios, además de cursos electivos. Se recomienda que el primer curso debe tratar de estática y resistencia de materiales; el segundo curso debe tratar las cargas, los sistemas estructurales y los suelos; el tercer curso debe ser el propuesto en esta tesis; y el cuarto debe abarcar sistemas estructurales de madera, acero y otros.
- En estos cursos debe implementarse la experimentación del comportamiento de estructuras a través de modelos simples, portátiles, en lo posible elaborados por los alumnos.

REFERENCIAS

- ACI Capítulo Peruano 2002a. "Normas Peruanas de Estructuras". Lima.
- Aguiar R. 1999. "Factores que influyeron en el daño en el sismo de Colombia de Enero de 1999". <http://bvirtual.espe.edu.ec>
- Asamblea Nacional de Rectores 2006. "Seminario de Autoevaluación y Acreditación de Facultades de Arquitectura". Lima, Perú.
- Alva J. 2002. "Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Alva J. 2003. "Efectos en el Terreno Ocasionados por los Sismos de Alto Mayo en el Perú". El Ingeniero Civil N° 127. Lima, Perú.
- Ambrose J. y Vergun D. 1986. "Diseño Simplificado de edificios para cargas de viento y sismo". Editorial Limusa. México.
- Arango J. 2002. "Análisis Diseño y Construcción en Albañilería". ACI Perú, Lima.
- Arnold Ch. y Reitherman R. 1987. "Configuración y Diseño Sísmico de Edificios". Editorial Limusa. México.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica 2001. "Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería". AIS-AID, Bogotá.
- Barbat A. 1994. "Estructuras Sometidas a Acciones Sísmicas". Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona, España.
- Bazán E. "Diseño Sísmico de Edificios". Limusa. México.
- Bertero V. 1999. "Novenas Tecnologías en la Construcción y el Diseño de Estructuras Antisísmicas". Centro Peruano japonés de Mitigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Lima, Perú.
- Blanco A. 1991a. "Estructuración y Diseño en Concreto Armado". Colección del Ingeniero Civil, Colegio de Ingenieros del Perú. Lima, Perú.
- Blanco A. 1991b. "Conceptos Estructurales aplicados a edificaciones de Concreto Armado y de Albañilería". Lima, Perú.
- Blanco A. 1993. "Evolución del Diseño de Estructuras de Concreto Armado". Concreto al Día N° 20. [www. Asocem.org.pe](http://www.Asocem.org.pe)
- Bozzo M. 2002. "Diseño Sismorresistente de las Estructuras ". Instituto de La Construcción y Gerencia, Lima, Perú.

- Cardona O. 1999. "Terremoto en Colombia, enero 25 de 1999". www.crid.or.cr
- Casabonne C. 1995. "El terremoto de Kobe". Revista El Ingeniero Civil N° 98 (setiembre-octubre). Lima, Perú.
- CISMID 2005. Terremoto de Lamas 2005. Lima, Perú.
- Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional. 2001. "Informe sobre el terremoto del sur del Perú del 23 de junio del 2001". Lima, Perú.
- Dowrick D. 1984. "Diseño de estructuras resistentes a sismos". LIMUSA. México.
- Duff S. 1994. "Modelo para la enseñanza de estructuras: Análisis de los elementos Finitos en la Educación de Arquitectura ". Universidad de Berkeley, California
- Fernández J. 1998. "El Terremoto de la Bahía de Caráquez". Publiasesores. Quito, Ecuador.
- Gallegos H. 1987. "Diseñando y Construyendo con Albañilería". LACASA. Lima, Perú.
- Gallegos H. 1990. "Albañilería Estructural". Colección del Ingeniero Civil, Colegio de Ingenieros del Perú, Lima.
- Giesecke A. 1981. "Terremotos en el Perú". Ediciones Rikchay Perú. Lima, Perú.
- Harmesen T. 2000. "Diseño de Estructuras de Concreto Armado". Pontificia Universidad Católica Del Perú. Lima, Perú
- Holger Ch. 1996. "El Terremoto de Hashin: Una lección que debemos aprender". Revista El Ingeniero Civil N° 103 (julio-agosto). Lima. Perú
- Husid R. 1976. "Análisis de los Terremotos Peruanos". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Kuroiwa J. 1999. "El sismo superficial de Armenia y sus efectos". www.caretas.com.pe
- Kuroiwa J. 2002. "Reducción de Desastres". Lima, Perú.
- López O. 2004. "Reducción del riesgo sísmico en escuelas de Venezuela". Boletín Técnico, [http:// www2.bvs.org.ve](http://www2.bvs.org.ve)
- Millais M. 1997. "Estructuras de Edificación". Celeste Ediciones, Madrid
- Montalbetti A., Muñoz A, Torrealva D. 1998. "Resistencia de Materiales". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú

Moore F. 2000. "Comprensión de las Estructuras de Arquitectura". McGraw – Hill, Méjico

Muñoz A. Montalbetti A., Tinman M., 1997. "Daños en estructuras de concreto armado ocasionados por el sismo de Nazca en noviembre de 1996". Pontificia Universidad Católica del Perú. Publicación DI-SIC-97-02, Lima, Perú

Muñoz A. 1998. "Fuerzas de diseño y control de desplazamientos en la norma peruana de diseño sismorresistente". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Muñoz A. 2001 "Ingeniería Sismorresistente". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Muñoz A. Tinman M. 2001. "El Sismo de Arequipa del 2001 y la Vulnerabilidad de las Edificaciones peruanas". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Oshiro F. 1979. "Libro del Arquitecto". Editorial Universo S. A. Lima, Perú.

Oshiro F. 1981. "Terremotos". EL SOL Compañía de Seguros Generales. Lima, Perú.

Ottazi G. Bartola J.1978. "Respuesta Inelástica de una Estructura de un Piso Durante el Sismo del 3 de Octubre de 1974 en Lima". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Ottazi G. 2004. "Apuntes del Curso Concreto Armado 1 ". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Paulay T. 1992. "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings". John Wiley & Sons, Inc. United States of America.

Pomachagua O. 2000. Características Generales de la Tectónica y Sismicidad del Perú. Revista de trabajo de Investigación, Centro Nacional de datos Geofísicos-Biblioteca IGP. Lima Perú

Quiun D., San Bartolomé, Torrealva y Zegarra 1997. "El Terremoto de Nazca del 12 de Noviembre de 1996". Pontificia Universidad Católica del Perú. Publicación DI-SIC-97-01, Lima, Perú.

Quiun D. 2004. "Proyecto de Diagnóstico Antisísmico de Edificaciones". JICA, Perú.

Repetto P., Zegarra L.1980. "Evaluación de Edificaciones Dañadas en Lima Metropolitana, en el Sismo de Octubre de 1974". Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Rivera J. 2002. "Diseño estructural Sismorresistente". Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.

- Rios R., Zegarra L., Alva J., Pfeiffer E. 1986 “Informe del sismo de México del 19 de setiembre de 1985”. Revista, El Ingeniero Civil N° 40 (enero-febrero). Lima, Perú.
- Rosenblueth E., Meli R. 1986. “The 1985 earthquake: causes and effects in Mexico City”. Revista, Concrete Internacional (mayo).México.
- Salvadori M. 1998. “Estructuras para Arquitectos”. Kliczkowski Publisher Asppan Cp67
- San Bartolomé, A. 1998a. “Construcciones de Albañilería”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- San Bartolomé A. 1998b. “Análisis de Edificios”. Fondo editorial PUCP, Lima.
- San Bartolomé, A. 1999. “Propuesta de Norma Técnica E.070- Albañilería”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Sauter F. 1989. “Introducción a la Sismología”. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Sencico. 2003. “Normas de Diseño Sismorresistente E.030”. Lima.
- Silgado 1978. “Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú(1513-1974)”. INGEMMET, Lima, Perú.
- Singer F. 1982. “Resistencia de Materiales”. Harla, S.A. de C.V., México D. F.
- Tarback E. 2003. “Ciencias de la Tierra”. Prentice Hall, España.
- Tavera H. 1990. Terremoto de Moyobamba-San Martín del 30 de Mayo de 1990. www.igp.gob.pe
- Tavera H. 1993. “La Tierra, Tectónica y Sismicidad”. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- Tavera H. 2005 “El sismo intermedio del 25 de setiembre de 2005”. Centro Nacional de Datos Geofísicos del IGP. Lima, Perú.
- Tejada U. 2001. “Buena Tierra – Apuntes para el Diseño y Construcción con adobe”. Ed. CIDAP, Lima.
- Torroja E. 1998. “Razón y Ser de los Tipos Estructurales”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Eduardo Torroja, Madrid.
- Wakabayashi M. 1988. “Diseño de Estructuras Sismorresistentes”. Mc Graw-Hill. México.