



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**EDIFICIOS PERUANOS CON MUROS DE CONCRETO DE
DUCTILIDAD LIMITADA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

RAÚL JAVIER DELGADO EHNI

CATALINA PEÑA RODRÍGUEZ-LARRAÍN

LIMA – PERÚ

2006

EDIFICIOS PERUANOS CON MUROS DE CONCRETO DE DUCTILIDAD LIMITADA

RESUMEN

En este trabajo se desarrollaron herramientas para estimar el desempeño sismorresistente y para cuantificar las posibles pérdidas materiales (daño) en los edificios de muros de ductilidad limitada (EMDL), que se están convirtiendo en una alternativa viable para la vivienda económica en el Perú. Para estimar las pérdidas se construyeron funciones de distribución de daño para diferentes escenarios de sismicidad en base a las cuales se obtuvieron curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño.

Debido a su reciente aparición, en el Perú no existe información acerca del comportamiento sísmico de los EMDL, ni tampoco información estadística sobre sus características estructurales. Por este motivo, se recurrió a la opinión de expertos en ingeniería estructural para estimar el comportamiento esperado. Para la presentación del tema y la recolección de información se empleó el método Delphi.

Se estudió el desempeño de los edificios ubicados en las zonas de mayor sismicidad en sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno y 0.2g de aceleración máxima del suelo) y en eventos mayores (500 años de periodo de retorno y 0.4g de aceleración máxima del suelo). Los resultados indican que en sismos frecuentes estos edificios, tendrían daños del orden del 15% sobre el valor construcción del edificio y en sismos severos el daño alcanzaría el 50%.

Los resultados indican también que los EMDL de entre 5 y 7 pisos quedarían irreparables (daño mayor a 60%) para eventos con intensidades de IX MM o más.

Aunque según la opinión de expertos el daño en estos edificios sería menor que en otras edificaciones, el costo de reparación podría ser difícil de manejar para familias de escasos recursos económicos y con hipotecas a largo plazo. En el caso de conjuntos habitacionales, el problema del financiamiento del costo de reparación puede ser mayor.



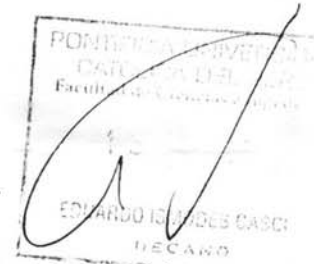
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

- Área de Estructuras -
 Investigación

ALUMNO: RAÚL JAVIER DELGADO EHNI
 CÓDIGO: 1999.0211.N.412
 ALUMNA: CATALINA PEÑA RODRÍGUEZ-LARRAÍN
 CÓDIGO: 1999.9014.4.412
 ASESOR: Ing. Alejandro Muñoz
 TEMA N°: 82



TÍTULO

“Edificios Peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada”.

ANTECEDENTES

Gran parte de los edificios que se construyen hoy en Lima tienen como sistema estructural losas y muros delgados de concreto armado. Estos edificios tienen algunas características especiales que hacen que su diseño y construcción pudiera no estar completamente contemplado en nuestras normas para edificaciones.

Al parecer, este sistema estructural constituye una buena alternativa para las edificaciones destinadas a vivienda, desde el punto de vista económico y de rapidez constructiva, y es probable que a futuro se constituya en el sistema preferido para los edificios de vivienda de mediana altura en el Perú. En este trabajo se pretende contribuir al estudio de este sistema estructural desde la perspectiva de nuestras normas para edificaciones.

OBJETIVOS

- Estudiar las características de los edificios de ductilidad limitada que se construyen hoy en el Perú, desde el punto de vista de las normas peruanas de edificaciones.
- Recoger la opinión de los ingenieros estructurales de la región respecto al desempeño esperado para estos edificios y a su relación con los códigos de diseño.
- Identificar los problemas potenciales en estas edificaciones, definir algunas líneas futuras de estudio y proponer ajustes en las normas peruanas de edificaciones.

METODOLOGÍA

El trabajo se iniciará visitando las principales edificaciones que se construyen en nuestro medio con el sistema de muros de ductilidad limitada. Se identificarán tipologías estructurales y se anotarán algunas características del proceso constructivo. Se estudiará el sistema estructural de estas edificaciones desde el punto de vista de las actuales normas de diseño de edificaciones y se desarrollará una presentación técnica conteniendo esta información.

Luego, se preparará una encuesta destinada a recoger la opinión de los ingenieros estructurales; los resultados se organizarán y sintetizarán con el fin de estudiar la posibilidad de hacer cambios en los códigos peruanos, y de identificar futuras líneas de trabajo para el mejoramiento del desempeño de este tipo de edificios.






PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

Finalmente, se preparará un informe para su difusión en la comunidad de ingenieros y autoridades involucradas en el problema de vivienda en el país.

Lima, 18 de Junio del 2004.

V°B°
Dr. Marcial Blondet



NOTA
Extensión máxima: 100 páginas.





A nuestros padres, fuentes de inspiración y motivación, sin cuyo apoyo y amor incondicional difícilmente hubiésemos llegado a donde estamos hoy.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos dedicar estas primeras paginas a todos aquellos que de una u otra manera han hecho posible la presente investigación puesto que nos han acompañado a lo largo de la misma brindándonos su completo apoyo, orientación y comprensión.

En primer lugar quisiéramos agradecer al Ingeniero Alejandro Muñoz quien estimuló y facilitó la elaboración de este trabajo. Su consejo y orientación fueron un apoyo fundamental y le estaremos siempre muy agradecidos.

A todos los ingenieros integrantes del Panel de Expertos, quienes con gran entusiasmo colaboraron a la realización de este proyecto, brindándonos su experiencia y conocimiento, y sin los cuales éste no hubiera sido posible.

A las instituciones que nos abrieron sus puertas y nos brindaron su ayuda: SENCICO, Colegio de Ingenieros del Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, UNICON, MIXERCON, FIRTH, PRODAC, CESEL, Gallegos Casabonne Arango, Zegarra & Yeckle, Schmidt & Chavez Tafur y PRISMA.

Por último quisiéramos agradecer a todos los ingenieros que nos permitieron visitar sus obras y oficinas, y que contestaron sin reparo nuestras incesantes preguntas.

INDICE

	<u>PAG.</u>	
1	Introducción	01
1.1	Antecedentes	01
1.2	Objetivos	02
1.3	Metodología	02
1.4	Organización del Documento	03
2	Los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú	04
2.1	Historia	04
2.2	Arquitectura de los Edificios	06
2.2.1	Normas Arquitectónicas y Urbanísticas	06
2.2.2	La Arquitectura de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada	09
2.2.3	Problemas Arquitectónicos y de Funcionalidad	11
2.3	Sistema Estructural	13
2.3.1	Características del Concreto	14
2.3.2	Características del Acero de Refuerzo	19
2.3.2.1	<i>Acero Corrugado</i>	19
2.3.2.2	<i>Malla Electrosoldada</i>	24
2.3.2.3	<i>Comparación entre la Malla Electrosoldada y el Acero Corrugado</i>	27
2.3.3	Cimentación	29
2.3.3.1	<i>Tipos de Cimentación Encontrados en Obra</i>	29
2.3.3.2	<i>Espesor de Losa y Dientes de Cimentación</i>	29
2.3.3.3	<i>Refuerzo</i>	30
2.3.3.4	<i>Recubrimientos</i>	32
2.3.3.5	<i>Tuberías</i>	33
2.3.3.6	<i>Juntas</i>	34
2.3.3.7	<i>Otros Sistemas de Cimentación</i>	34
2.3.4	Muros	35
2.3.4.1	<i>Tipos de Muros Encontrados en Obra</i>	35
2.3.4.2	<i>Densidad de Muros</i>	36
2.3.4.3	<i>Refuerzo</i>	36
2.3.4.4	<i>Tratamiento Superficial de las Juntas de Construcción en la Base de los Muros</i>	41
2.3.4.5	<i>Tuberías</i>	41
2.3.4.6	<i>Encofrados</i>	43
2.3.4.7	<i>Tipo de Vaciado</i>	44
2.3.4.8	<i>Resanes</i>	45
2.3.5	Losas	47
2.3.5.1	<i>Tipos de Losas Encontrados en Obra</i>	47
2.3.5.2	<i>Espesores de Losa</i>	48
2.3.5.3	<i>Refuerzo</i>	49
2.3.5.4	<i>Recubrimientos</i>	50
2.3.5.5	<i>Tuberías</i>	50
2.3.5.6	<i>Juntas</i>	53
2.3.5.7	<i>Resanes</i>	53
2.4	Procedimiento Constructivo	54
2.4.1	Cimentación	54

	<u>PAG.</u>
2.4.1.1 <i>Relleno Compactado</i>	54
2.4.1.2 <i>Encofrado</i>	54
2.4.1.3 <i>Armado</i>	55
2.4.1.4 <i>Método de Llenado</i>	55
2.4.1.5 <i>Curado</i>	56
2.4.1.6 <i>Acabados</i>	56
2.4.2 Muros	56
2.4.2.1 <i>Encofrado</i>	56
2.4.2.2 <i>Armado</i>	58
2.4.2.3 <i>Método de Llenado</i>	58
2.4.2.4 <i>Desencofrado</i>	59
2.4.2.5 <i>Curado</i>	59
2.4.2.6 <i>Resane de Muros</i>	60
2.4.3 Losas	60
2.4.3.1 <i>Encofrado</i>	60
2.4.3.2 <i>Armado</i>	61
2.4.3.3 <i>Método de Llenado</i>	61
2.4.3.4 <i>Desencofrado</i>	62
2.4.3.5 <i>Curado</i>	62
2.4.4 Problemas Potenciales Vistos en Obra	63
2.4.4.1 <i>Problemas de Vaciado</i>	63
2.4.4.2 <i>Juntas Frias</i>	63
2.4.4.3 <i>Grietas y fisuras</i>	64
2.4.4.4 <i>Punzonamiento de losas</i>	65
2.4.4.5 <i>Grifado del Acero</i>	66
2.5 Edificio Típico de 5 y 7 pisos	67
2.5.1 <i>Cimentación Representativa</i>	68
2.5.2 <i>Muros Representativos</i>	69
2.5.3 <i>Losa Representativa</i>	70
3 Normas para la Construcción de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú	71
3.1 Norma de Suelos E-050	71
3.2 Norma de Diseño Sismorresistente E-030	72
3.3 Norma de Diseño en Concreto E-060	73
4 Estimación de Pérdidas por Sismo en Edificaciones	78
4.1 Daño e Intensidad	78
4.2 Representación de la Relación Intensidad – Daño	81
4.3 Obtención de las Relaciones Intensidad – Daño	83
4.4 Estimación de Pérdidas por Sismo	87
4.5 Metodologías para Obtener Relaciones Intensidad – Daño	91
5 Método Delphi	93
5.1 Historia del Método Delphi	94
5.2 Características Generales	96
5.3 Recolección y Síntesis de Información en el Método Delphi	98
5.3.1 <i>Grupo Monitor</i>	98

	<u>PAG.</u>
5.3.2 Formación del Panel de Expertos	99
5.3.3 Preparación del Cuestionario	99
5.3.4 Envío de la Información al Panel de Expertos	101
5.3.5 Análisis de las Respuestas al Cuestionario	101
5.3.6 Publicación de la Información Recolectada	102
6 Pérdidas por Sismo en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada	103
6.1 El Método Delphi para Obtener la Opinión de Expertos sobre los EMDL	103
6.1.1 La Encuesta	103
6.1.2 Grupo de Expertos	106
6.2 Desarrollo del Modelo para la Estimación de Pérdidas	109
6.2.1 Modelo de distribución de Probabilidades	109
6.2.2 Obtención de la función de distribución de probabilidades	110
6.2.3 Obtención de curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño	113
6.3 Relación Intensidad-Daño y Cálculo de Pérdidas	114
6.3.1 Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño	114
6.3.2 Daño irreparable y pérdidas en sismos raros y frecuentes	117
6.3.3 Pérdidas en sismos	119
7 Conclusiones y Recomendaciones	122
7.1 Arquitectura y Desarrollo Urbano	122
7.2 Estructura y Construcción	122
7.3 Defectos en la Construcción de los EMDL	123
7.4 Normas	124
7.5 Relación Intensidad – Daño para los EMDL	125
7.6 Resultados Obtenidos	125
Referencias	127

Capítulo 1: Introducción

Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros delgados de concreto armado (10 y 12 cm). Debido a que estos edificios carecen de confinamiento en los extremos de sus muros y a que por lo general, emplean mallas electrosoldadas como refuerzo, estos no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes, por lo que se les denomina Edificios de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL).

Dentro de las principales características de los EMDL podríamos mencionar que son edificios utilizados para conjuntos residenciales de alta densidad habitacional, en los cuales las áreas y dimensiones de los ambientes de los departamentos generalmente corresponden a los valores mínimos establecidos por los reglamentos vigentes.

Debido a la rapidez con que se construyen y a su bajo costo, este sistema estructural se está convirtiendo en el preferido para los edificios de vivienda económica en el Perú.

1.1 Antecedentes

El Perú es un país sísmico, y dentro de su larga historia sísmica los terremotos de 1746 y 1868 sacudieron nuestro territorio con intensidades de hasta XI MM, sin embargo, en los últimos 130 años sólo hemos tenido intensidades máximas de IX MM (Tabla 1.1).

Tabla 1.1: Sismos importantes en el Perú

	Lima 1746	Arica 1868	Lima 1974	Arequipa 2001
Magnitud M_s	8,1	8,2	7,9	8,2
Intensidad Máxima (MM)	X - XI	XI	VIII - IX	VIII
Altura de Ola Tsunami (m)	15 - 20	20	1,6	-

Por estas razones nuestras edificaciones de concreto y albañilería construidas en los últimos 100 años no han sido sometidas a sismos severos, y respecto a nuestros recientes



EMDL no es posible aún conocer el desempeño que tendrán estos edificios en condiciones sísmicas medias y severas.

A la comunidad de ingenieros e investigadores universitarios le corresponde la tarea de identificar este sistema estructural y desarrollar las herramientas para estimar el desempeño sismorresistente de estos edificios.

1.2 Objetivos

El fin principal del presente proyecto fue el de identificar las características principales y el sistema estructural utilizado en los edificios de muros de ductilidad limitada peruanos para realizar una primera aproximación al comportamiento sismorresistente esperado.

Las características estructurales de estos edificios se materializaron en una página web y la estimación del comportamiento se presentó mediante curvas de fragilidad obtenidas de la opinión de expertos.

1.3 Metodología

Inicialmente se procedió a recopilar, mediante una ficha de campo elaborada para el proyecto, información de la arquitectura y el sistema estructural de estos edificios. Con esta información se buscó luego plantear un edificio típico representativo de los EMDL y se definieron las características de los edificios representativos de 5 y 7 pisos. Con la ayuda de la dirección de informática de la Pontificia Universidad Católica del Perú se construyó una página web, mostrando esta información.

Se formó un panel de expertos para opinar sobre la seguridad sísmica y para lograr estimaciones de las posibles pérdidas materiales por sismo. Se incorporó a la página web una sucinta descripción de la sismicidad peruana junto a algunas definiciones generales para uniformizar la recolección de opinión de los expertos con respecto a la estimación del desempeño sismorresistente de los EMDL típicos. Se editó un CD con la información contenida en la página web, el cual fue enviado al panel de expertos.

Recopilada la opinión de expertos se obtuvieron las curvas de fragilidad y matrices de daño que pasaron a formar parte de la página web producto de este trabajo.

1.4 Organización del Documento

En el segundo capítulo se revisa la historia, arquitectura, sistema estructural y procedimiento constructivo utilizado para los EMDL y se define el edificio típico representativo.

En el tercer capítulo se presentan las distintas Normas para la Construcción de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú.

En el cuarto, quinto y sexto capítulo se describe la metodología empleada para recolectar la opinión de algunos de los expertos peruanos en ingeniería estructural y la metodología de curvas de fragilidad para la estimación de pérdidas por sismos en edificaciones.

Finalmente en el séptimo capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

Se incluyen además anexos con la información entregada al panel de expertos (Anexo 1), la ficha de campo elaborada para la recolección de información (Anexo 2), la página web creada para el proyecto (Anexo 3), los parámetros de la función beta para la función de distribución de daño (Anexo 4), los valores min., máx. y VMP para la relación Intensidad – Daño (Anexo 5), el informe final de resultados (Anexo 6), la lista de personas que conformaron el panel de expertos y el grupo monitor (Anexo 7) y la lista de personas que colaboraron con el proyecto (Anexo 8).

Capítulo 2: Los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

2.1 Historia

Desde la década del 40 se construyen en el Perú edificios de muros portantes de albañilería, sobre cimientos corridos o sobre plateas superficiales de cimentación (San Bartolomé, 2006). Estos edificios se pueden reconocer como los antecesores directos de los actuales Edificios de Muros de Ductilidad Limitada.

Los EMDL son edificaciones de muros portantes de concreto armado cuyo sistema de piso son losas macizas o losas aligeradas prefabricadas.

En la década del 80 se hicieron algunos edificios con muros portantes de concreto armado que resultaron económicos por razones coyunturales en el precio del acero y del concreto. Estos edificios tenían muros de 15 cm de espesor, con una malla central y núcleos confinados en los extremos. En la década del 90, debido al incremento en el costo del acero y la mano de obra, se dejaron de construir edificios de muros de concreto (Blanco, 2006).

Desde el 2001 los costos relativos del acero, concreto, mano de obra y financiamiento permitieron a la comunidad de ingenieros peruanos retomar la construcción de edificios de muros de concreto. Las empresas concreteras y las productoras de acero habilitado, en coordinación con ingenieros proyectistas y constructores, lograron un edificio de muros de concreto armado de construcción muy rápida y bien planificada. El resultado fue un edificio económico apropiado para cubrir el déficit habitacional en el sector medio y medio-bajo. Por otro lado, el gobierno peruano contribuyó creando programas de ayuda para financiar departamentos con precios entre \$15'000 y \$30'000 aproximadamente.

En el 2003, ya se habían construido muchos edificios sin contar con normas específicas. El entusiasmo que generó este nuevo sistema condujo en algunos casos a soluciones estructurales con matices de osadía para enfrentar planteamientos arquitectónicos muy exigentes. Se hicieron algunos edificios de mediana altura (8, 10 pisos) con muros delgados y edificios con losas de transferencia para salvar la discontinuidad de muros entre el nivel de estacionamiento y los niveles de departamentos.



A raíz de esta carencia de normas el Colegio de Ingenieros del Perú forma una comisión para tratar el tema y desarrollar normas específicas. En diciembre del 2004 el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) incorporó las disposiciones específicas para EMDL a las Normas de Diseño Sismorresistente y Concreto Armado.

Se estima que mensualmente se vacían alrededor de 16'000 m³ de concreto premezclado para EMDL con lo cual se puede estimar que mensualmente se construyen entre 20 y 30 edificios. El promedio del incremento anual en la demanda de concreto premezclado para estos edificios ha sido aproximadamente 50% en los últimos tres años (Pasquel, 2006).

Existen edificios de características similares en otros países de la región como México, Colombia y Chile. Las diferencias son importantes, en el caso de Chile los edificios son mucho más robustos, no encontrándose prácticamente edificios con muros de 10 cm de espesor (Gálvez, 2005).

2.2 Arquitectura de los Edificios

Los edificios que se construyen en el Perú utilizando muros delgados de concreto armado corresponden generalmente a edificios multifamiliares, en los cuales se busca fundamentalmente la economía del proyecto para poner en el mercado departamentos de mediano y bajo costo.

A continuación se presentan las disposiciones legales para el proyecto arquitectónico de estos edificios, se describe su arquitectura típica y se comentan algunos inconvenientes funcionales.

2.2.1 Normas Arquitectónicas y Urbanísticas

El RNC

La norma que rige la construcción de edificaciones en el país es el Reglamento Nacional de Construcción (RNC). Éste contiene todas las normas técnicas referentes a las distintas obras complementarias de las edificaciones.

Aparte del RNC se publican normas complementarias o modificaciones (mediante Decretos Supremos), las cuales luego son anexadas a futuras ediciones de este reglamento.

Para el caso de viviendas económicas, los Decretos Supremos DS N° 030-2002 y DS N° 011-2003 complementan y modifican algunos aspectos del RNC como se detalla a continuación.

Los Decretos Supremos para Viviendas Multifamiliares

En el 2002 y el 2003 se publicaron dos Decretos Supremos (N° 030-2002-MTC (DS N° 030) y N° 011-2003-VIVIENDA (DS N° 011)) para regular las características arquitectónicas y habitacionales de los edificios de vivienda económica, dentro de los cuales están incluidos los EMDL.

Los decretos supremos muestran una reducción en las áreas mínimas de los ambientes y un incremento considerable en la densidad permitida en un edificio de vivienda económica en comparación a un edificio multifamiliar tradicional (artículo 9 del DS N°011). La tabla 2.2.1 compara la densidad habitacional establecida en el RNC con las modificaciones presentadas en los decretos supremos.

Tabla 2.2.1: Densidades Habitacionales Máximas

Zonificación	RNC (I-III-15 y 16)	DS N°030 y DS N°011
Residencial	200 Hab/Ha. Bruta (R-3)	1,300 Hab/Ha. Neta
Densidad	240 Hab/Ha. Bruta (R-4 Bi)	
Media	330 Hab/Ha. Bruta (R-4 Uni)	
Residencial	530 Hab/Ha. Bruta (R-5)	2,250 Hab/Ha. Neta
Densidad Alta	810 Hab/Ha. Bruta (R-6)	
	1,080 Hab/Ha. Bruta (R-7)	
	1,350 Hab/Ha. Bruta (R-8)	

Anteriormente el RNC utilizaba la Densidad Habitacional Bruta, la cual consideraba la relación entre el número de habitantes y la superficie total comprendida en una demarcación territorial. Con la modificación de los Decretos Supremos se opta por cambiar por el índice de Densidad Habitacional Neta, el cual es aplicable exclusivamente a zonas residenciales y se adecua mejor para este tipo de edificios.

El índice de Densidad Habitacional Neta considera la relación entre el número de habitantes de una determinada área urbana y la superficie destinada a los edificios de vivienda y sus anexos directos de uso privado (patio, jardines, etc.) excluyendo la ocupada por vías, parques, áreas del Estado, etc.

A pesar de que estos índices no pueden ser comparados directamente, se puede apreciar un incremento considerable en las densidades habitacionales permitiendo así un mayor número de unidades de vivienda en una menor área.

Respecto a los valores mínimos de áreas y dimensiones de los ambientes, la tabla 2.2.2 compara los presentados en el RNC con las modificaciones presentadas en los decretos supremos.

Tabla 2.2.2: Dimensionamiento (Áreas y Luces)

Dimensión	RNC (III-X-3)	DS N°030 y DS N°011
Área Mínima Techada.	40 m ² excluyendo pasajes y áreas exteriores. (Tolerancia 10%)	Deberán contar con ambientes de estar, comedor, cocina, dormitorio, baño y lavandería, sin limitación de área mínima total
Dimensión Mínima	Baño, Cocina, Dorm. = 1.80 m. Resto de Ambientes = 2.40 m.	Sin limitación para cocina, baño y lavandería, resultantes del diseño mobiliario y equipamiento que se proponga.
Áreas Mínima de Ambientes	Dorm Princ = 9m ² + 10% ^(*) Dorm 2 camas = 7.5m ² + 10% ^(*) Dorm Indiv. = 5 m ² + 10% ^(*) Estar Comedor = 15 m ² Cocina = 4.5 m ² Servicio = 4.5 m ² Baños = la necesaria. (*) 10% del área, para armarios	Los ambientes de estar, comedor y dormitorio estarán regidos por el RNC con una tolerancia del 10% sustentando su funcionalidad.

El RNC al igual que el DS N° 030 establece que las áreas libres mínimas dentro de un lote, señaladas por el plan regulador o estudio de zonificación, no deberán ser menores al 30% en el caso del primer nivel. La única modificación radica en que ahora en el caso de edificios que estén ubicados en esquinas o con dos frentes, el área mínima libre deberá ser 25%.

El RNC detalla por separado los requisitos de dimensionamiento de los ambientes estar-comedor y cocina, en cambio el DS N° 030 permite la integración de los ambientes de sala-comedor-cocina, siempre y cuando la superficie total sea equivalente a la sumatoria de las áreas mínimas establecidas para estos ambientes.

El RNC especifica que los servicios higiénicos no podrán dar directamente a las salas de estar, comedor, reposteros o cocinas, sin embargo, el DS N° 030 y el DS N° 011 permiten que los baños presten servicio desde cualquier ambiente de la vivienda.

Según el artículo N° III-X-14 del RNC y los Decretos Supremos N° 030 y N° 011 los edificios de 5 pisos o menores, sin considerar sótano, no requieren ascensores.

Anteriormente el RNC establecía que la asignación del número de estacionamientos exigibles debía ser fijado por las respectivas municipalidades en función del nivel económico y de la actividad laboral de la población. En el caso de los edificios multifamiliares de vivienda económica las municipalidades solían exigir un estacionamiento por cada dos unidades de vivienda.

Actualmente con la modificación del DS N° 030 se establece que las edificaciones deberán contar como mínimo con un estacionamiento por cada tres unidades de vivienda. Esto representa una reducción en la cantidad de estacionamientos en comparación con lo que se solicitaba anteriormente por las municipalidades.

2.2.2 La Arquitectura de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Número de Pisos

El número de pisos de los EMDL varía entre 5 y 10, siendo más frecuentes los de 5 y 7 pisos. En el caso de edificios altos de 8 a 10 pisos se logra aplicar este sistema manteniendo la misma distribución arquitectónica, pero con ligeras modificaciones, como mayores cuantías de refuerzo, mayores espesores de muros, entre otros.

Se pudieron apreciar casos en los cuales se ha empleado este sistema para edificios residenciales más altos y menos económicos que ya no apuntan a un sector de economía limitada, llegando a tener hasta 17 pisos.

En el caso de edificios con más de 5 pisos se puede apreciar la instalación de por lo menos un ascensor ya que la Norma obliga a esto, mientras que en los edificios de 5 pisos o menos difícilmente se encontrará alguno, ya que esto atentaría contra la economía del edificio.

No se cuenta con muchos estacionamientos debido al sobre costo que estos generarían al construir estacionamientos subterráneos.

Planta Típica

Estos edificios suelen tener plantas con dos, tres o cuatro departamentos según sea el caso. Estas plantas están comúnmente compuestas por departamentos típicos modulares que facilitan la simetría de ésta (Figura 2.2.1).

Por lo general cada planta cuenta con cuatro departamentos, dando un área total construida por piso de aproximadamente 320 m².

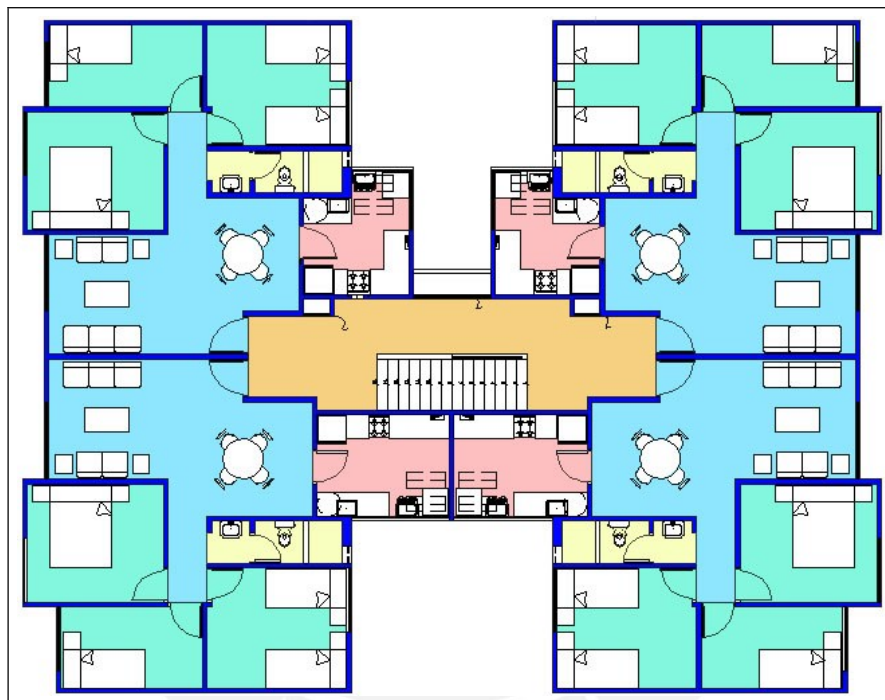


Figura 2.2.1: Distribución en Planta de un edificio Típico

Departamento Típico

Debido a que estos departamentos tienen como principal propósito la economía, se busca una reducción en las áreas para lograr este fin.

Los edificios de vivienda en base a muros de ductilidad limitada, tienen generalmente departamentos con áreas entre 50 y 90 m², siendo el caso más común los departamentos de aproximadamente 80 m² (según el RNC el área mínima es 40m²). Presentan una distribución muy compacta, similar a la de los edificios de albañilería.

La figura 2.2.2 mostrada a continuación ilustra la distribución arquitectónica de un departamento típico.

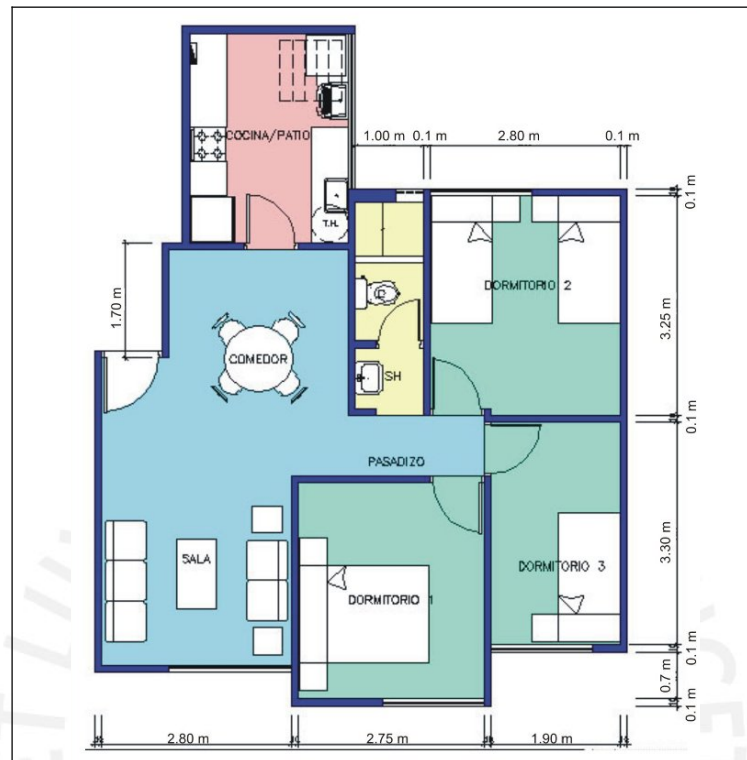


Figura 2.2.2: Distribución en Ambientes de un Departamento Típico

La distribución arquitectónica de estos edificios cuenta por lo general con los siguientes elementos: un dormitorio principal, uno o dos dormitorios típicos, un baño principal y en algunos casos uno de invitados, una cocina-lavandería y una sala-comedor.

2.2.3 Problemas Arquitectónicos y de Funcionalidad

Problemas Acústicos.

El concreto es un material que por su rigidez contribuye a la propagación de vibraciones mecánicas inducidas a grandes distancias permitiendo que las personas que viven en estos edificios sientan a cada instante los pasos y movimientos del resto de los habitantes.

Debido al delgado espesor de las losas, existe la posibilidad de que al inducirse vibraciones éstas entren en alguna de sus resonancias, convirtiéndose así en una especie de

amplificador natural. Un problema que se puede generar es la aparición de vibraciones al realizar una incorrecta implementación de las instalaciones electro-mecánicas tanto durante la construcción del edificio como las que realizarían los mismos usuarios en sus respectivos departamentos. Debido a que el edificio favorece la propagación de estas vibraciones es necesario un correcto aislamiento de estos equipos (Moreno, 2005).

Un último problema es que en algunos casos se logra percibir el sonido del paso de fluidos por las tuberías, las cuales no se encuentran lo suficientemente embebidas en los muros debido a su pequeño espesor.

Problemas Térmicos

Debido a la poca capacidad aislante del concreto, estas edificaciones son calurosas en verano y frías en invierno.

Los problemas térmicos se ven incrementados en el último piso en el cual las temperaturas en el verano llegan a ser altas.

Para tratar de disminuir este problema, es común el uso de coberturas de ladrillos pasteleros en la azotea. Estos ladrillos unidos con juntas de asfalto ayudan a disminuir la temperatura en el último piso.

Construcciones No Remodelables

Ya que todos los muros tienen una función estructural no es posible cambiar o quitar muros a criterio de los usuarios para rediseñar la distribución de ambientes o realizar cambios en las instalaciones.

Estacionamientos

Generalmente no hay estacionamientos en niveles inferiores, siendo estos casi siempre exteriores al edificio.

2.3 Sistema Estructural

En este capítulo se presentan las principales características estructurales de los edificios visitados. Se preparó una ficha de campo para facilitar la recolección de datos de las distintas obras visitadas (Anexo 2).

Los edificios de muros de ductilidad limitada se caracterizan por tener muros delgados de concreto armado que reciben las cargas de gravedad y resisten las fuerzas horizontales de sismo. En estos edificios las losas se apoyan directamente sobre los muros delgados (Foto 2.3.1).



Foto 2.3.1: Vista de Muro Típico

Para facilitar la descripción de los elementos del edificio partimos por describir las características de los principales materiales que se utilizan en su construcción (concreto y acero), para posteriormente describir las principales características estructurales de estos edificios, que para fines didácticos han sido divididas en tres conjuntos estructurales: cimentación, muros y losas (Foto 2.3.2).

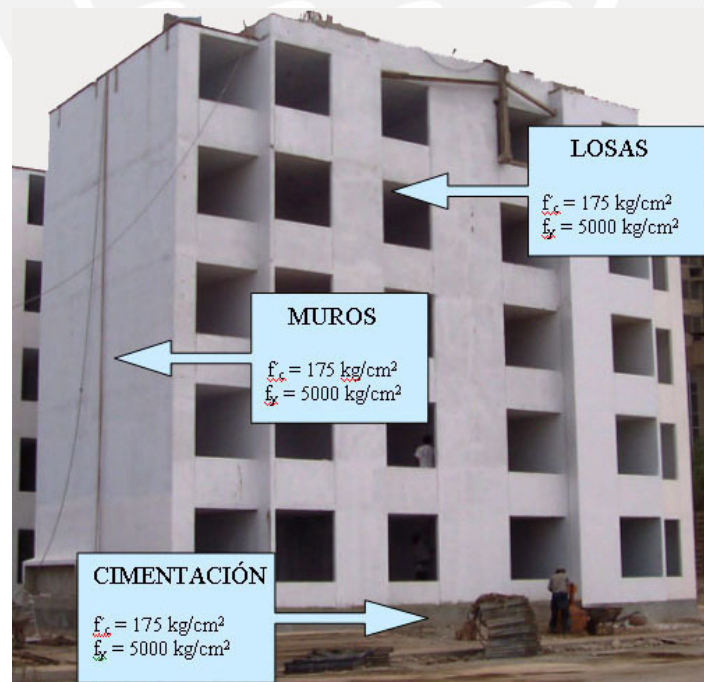


Foto 2.3.2: Conjuntos Estructurales del EMDL Típico

2.3.1 Características del Concreto

Generalidades

Existen en el mercado local concretos plastificados, súper plastificados, rheoplásticos, reforzados con fibra de polipropileno, con inhibidores de corrosión y concretos de resistencia acelerada a diversas edades de desencofrado que oscilan entre 24 a 72 horas dependiendo de los requerimientos del proyecto.

En el Perú las principales empresas de concreto premezclado son UNICON, FIRTH y MIXERCON (Figura 2.3.1).



Figura 2.3.1: Empresas de Concreto Premezclado

Para los muros de los EMDL (10 a 12 cm) se necesitan mezclas de concreto con características especiales de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Para lograr esto, se emplean concretos con un asentamiento mayor a 6" (Foto 2.3.1) que requieren aditivos superplastificantes tipo F o G (ASTM C 94), como el POLYHEED RI. Este aditivo es un retardador de fragua y plastificante de mediano rango que permite alcanzar un slump de 6" a 8", además de reducir el contenido de agua, reducir la segregación y mejorar la trabajabilidad y fluidez de la mezcla en climas calurosos.



Foto 2.3.1: Slump mayor a 6"

El concreto es un material que por naturaleza se agrieta debido a su baja resistencia a la tracción, a la contracción de fragua, efectos de temperatura y esfuerzos de tracción ocasionados por las cargas externas. Este tipo de grietas generalmente no constituyen un problema estructural, sino principalmente uno estético. Sin embargo, se desconoce si a largo plazo estas fisuras pueden producir problemas de corrosión o la formación de potenciales planos de falla cuando la estructura se vea sujeta a sismos. En el Perú se suele emplear fibras de propileno como la Fibermesh de 19mm (3/4") para controlar el problema de fisuración por contracción plástica (Fotos 2.3.2 y 2.3.3). Estas fibras pueden ser añadidas a la mezcla tanto en obra o bajo pedido al proveedor de premezclado, en una proporción de aproximadamente 0.6 kg/m^3 .



Foto 2.3.2: Fibras de Polipropileno para el Concreto



Foto 2.3.3: Fibras de Polipropileno en el Concreto

Para ocultar las grietas, en Chile se suele empapelar las paredes de estos edificios y en Colombia y Perú se utilizan pinturas elastoméricas.

Normas

El control y ensayo de los materiales así como el producto final del concreto premezclado están normados por el Reglamento Nacional de Construcciones. El capítulo 3 de la Norma Peruana de Concreto Armado E-060, especifica los requerimientos que deben cumplir los materiales que componen el concreto: cemento, agregados y agua. Esta norma hace referencia a las normas ITINTEC y ASTM.

Otras normas que regulan los materiales y el producto final del concreto premezclado son la norma ASTM C94 (premezclado) y la norma ACI – 318.

Ensayos

A continuación se presentaran los resultados de los ensayos a compresión realizados en agosto de 2004 en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP para un juego de 9 probetas correspondientes a 3 placas (Foto 2.3.4). El concreto premezclado fue suministrado por la empresa UNION DE CONCRETERAS S.A. – UNICON, con una resistencia especificada a la compresión de $f'_c=175 \text{ Kg/cm}^2$.



Foto 2.3.4: Ensayo de Compresión

Se llenaron probetas cilíndricas de 6" x 12" para su ensayo a los 28 días del vaciado (Foto 2.3.5). Las probetas fueron sumergidas en la poza de curado a partir del día siguiente de la fecha de vaciado hasta un día antes de la fecha del ensayo.



Foto 2.3.5: Probetas

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2.3.1.

Tabla 2.3.1: Resultados Obtenidos

Placa	ϕ Prom. (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resist. Prom. (Kg/cm ²)
P1	15.37	185.54	428	43,629	235	236
	15.18	180.98	422	43,017	238	
	15.51	188.94	436	44,444	235	
P2	15.57	190.40	436	44,444	233	235
	15.33	184.58	424	43,221	234	
	15.34	184.82	428	43,629	236	
P3	15.27	183.13	408	41,590	227	222
	15.15	180.27	396	40,367	224	
	15.76	195.08	410	41,794	214	

La resistencia a compresión ($f'c$) de todas las probetas ensayadas supera al valor especificado de diseño en aproximadamente 30%. Según consultas con ingenieros constructores y diseñadores se obtienen resultados similares en la mayoría de las obras. Sin embargo, no se conoce cuanto puede disminuir el $f'c$ en un concreto que presenta segregación, fenómeno que ocurre muchas veces en la base de los muros.

Presentación y Transporte

El transporte del concreto se hace por medio de camiones concreteros hasta la obra, para luego ser vaciado por medio de una bomba o con carretillas dependiendo del proyecto y del elemento que se este vaciando (Foto 2.3.6 y 2.3.7).



Foto 2.3.6: Camión Concretero



Foto 2.3.7: Camión Bomba

El concreto premezclado tiene distintos diseños de mezcla dependiendo de su uso. Estos se detallan en la tabla 2.3.2.

Tabla 2.3.2: Tipos de Mezclas de Concreto

	Losas de Cimentación	Muros	Losas de Techo
Resistencia nominal a la compresión	Se especifican concretos de 175 o 210 kg/cm ² , sin embargo, es más común el uso de concretos de 175 kg/cm ²		
Resistencia de probetas a los 28 días	30% más de la resistencia especificada		
Slump	3" a 4"	6" a 8"	3" a 4"
Tamaño máximo de partículas	HUSO N°57 de la norma ASTM (1")	HUSO N° 67 de la norma ASTM (3/4")	HUSO N° 57 de la norma ASTM (1")
Aditivos	Se emplean aditivos plastificantes y en algunos casos fibras de polipropileno para disminuir la aparición de fisuras.	Se emplean aditivos plastificantes de rango medio y a veces se emplean aditivos superplastificantes. En algunos casos se añaden fibras de polipropileno para minimizar fisuras, generalmente en el primer y último piso.	Se suelen emplear aditivos plastificantes y súper plastificantes. En algunos casos se añaden fibras de polipropileno para controlar la aparición de fisuras, generalmente en el último techo.

2.3.2 Características del Acero de Refuerzo

2.3.2.1 Acero Corrugado

Los aceros corrugados que se producen en el Perú son aceros de grado 60, fabricados por las empresas Aceros Arequipa y SiderPerú (Foto 2.3.8).



Foto 2.3.8: Acero Corrugado de Grado 60

Normas

Las principales características que deben tener los aceros de refuerzo, están descritas en el artículo 3.4 de la Norma Peruana de Concreto Armado E-060 y en el artículo 3.5 del ACI-02. De acuerdo a la norma E-060, los aceros de refuerzo que se producen en el Perú deben cumplir con algunas de las siguientes normas:

Tabla 2.3.3: Normas que se deben cumplir los Aceros Peruanos según la norma E-060

Especificación	Norma
Acero Grado 60 convencional	ITINTEC 341.031
Acero Grado 60 convencional (EMDL)	ASTM A615
Acero de baja aleación, soldable de Grado 60	ASTM A706

El acero que se emplea como refuerzo en los edificios de muros de ductilidad limitada es el acero de grado 60 ASTM A615, que cuenta con las siguientes características:

Tabla 2.3.4: Características Generales del Acero ASTM A615 fabricado en el Perú

Característica	Valor	ASTM A615	
Límite de Fluencia mínimo (f_y)	4,200 kg/cm ²	Cumple	
Resistencia a la Tracción mínima (f_u)	6300 kg/cm ²	Cumple	
Módulo de Elasticidad (E_s)	2,000,000 kg/cm ²	No Especifica	
Deformación en el inicio de la fluencia (ϵ_y)	0.0021	No Especifica	
Longitud de la plataforma de fluencia	Variable	No Especifica	
Relación entre deformación de rotura (ϵ_R) y deformación de fluencia (ϵ_F)	$\epsilon_R \gg \epsilon_F$ (30 a 40 veces)	No Especifica	
Coefficiente de dilatación	$11 \times 10^{-6} 1/C^\circ$	No Especifica	
Alargamiento de rotura mínimo:	Diámetro	Elongación mínima de Rotura	Cumple
	3/8", 1/2", 5/8" y 3/4"	9%	
	1"	8%	
	1 3/8"	7%	
Sobre-resistencia (f_u/f_y)	No indica valor mínimo, pero el ACI infiere un valor mínimo de 1.25	No Especifica	

Los fabricantes de acero peruanos, SiderPerú y Aceros Arequipa, aseguran que sus varillas se ajustan a la norma ASTM A615.

Ensayos

En este acápite se presentan algunos resultados de ensayos de tracción realizados a varillas de acero fabricadas en el Perú (Tablas 2.3.5 y 2.3.6). Se indican los valores de esfuerzo de fluencia, esfuerzo de rotura y elongación.

La figura 2.3.2 muestra el diagrama esfuerzo-desplazamiento obtenido de los resultados del ensayo de tracción a segmentos de barras de SiderPeru corrugadas de 1/2" de diámetro (18 de agosto de 2004-PUCP).

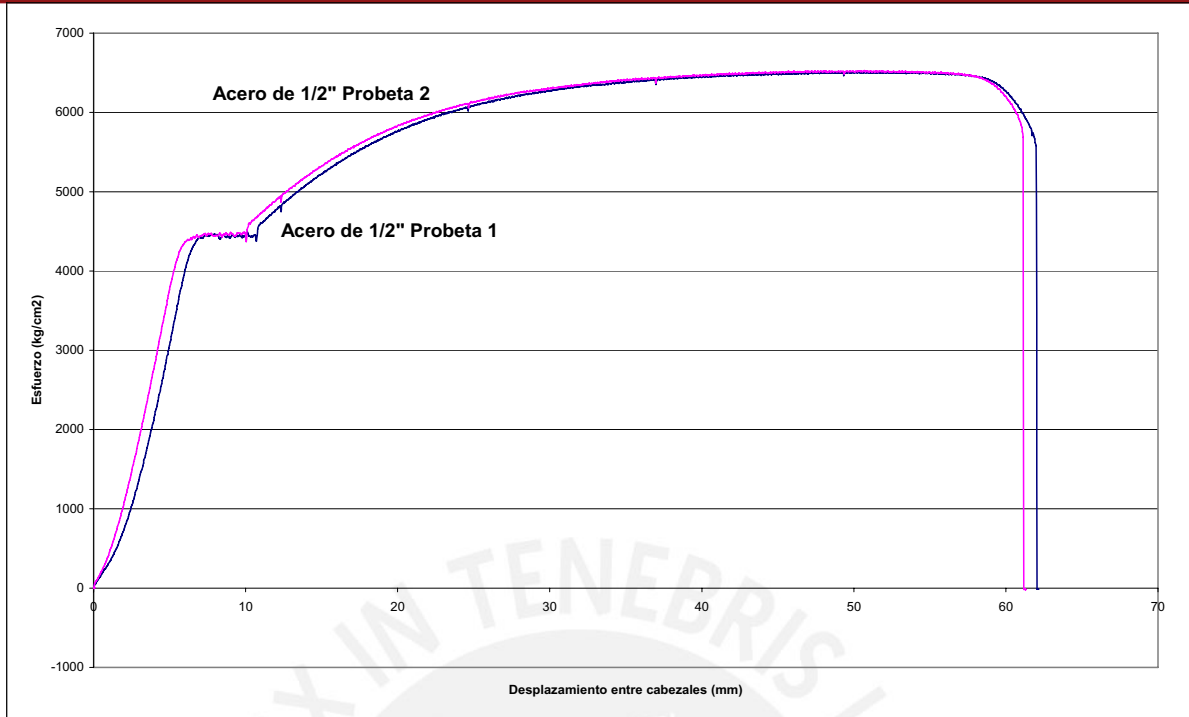


Figura 2.3.2: Diagrama Esfuerzo – Desplazamiento de Barras de 1/2” de Diámetro

Tabla 2.3.5: Resultados del Ensayo de Tracción de las Barras de 1/2” de Diámetro

Acero de 1/2”	σ_{rotura} (kg/cm ²)	$\sigma_{fluencia}$ (kg/cm ²)	f_u/f_y	Elongación (%)
Muestra 1	6533	4498	1.45	19
Muestra 2	6552	4498	1.46	18
Promedio	6543	4498	1.45	18.5

La figura 2.3.3 muestra el diagrama esfuerzo-desplazamiento obtenido de los resultados del ensayo de tracción realizado con barras de Aceros Arequipa corrugadas de 8mm de diámetro (18 de agosto de 2004-PUCP).

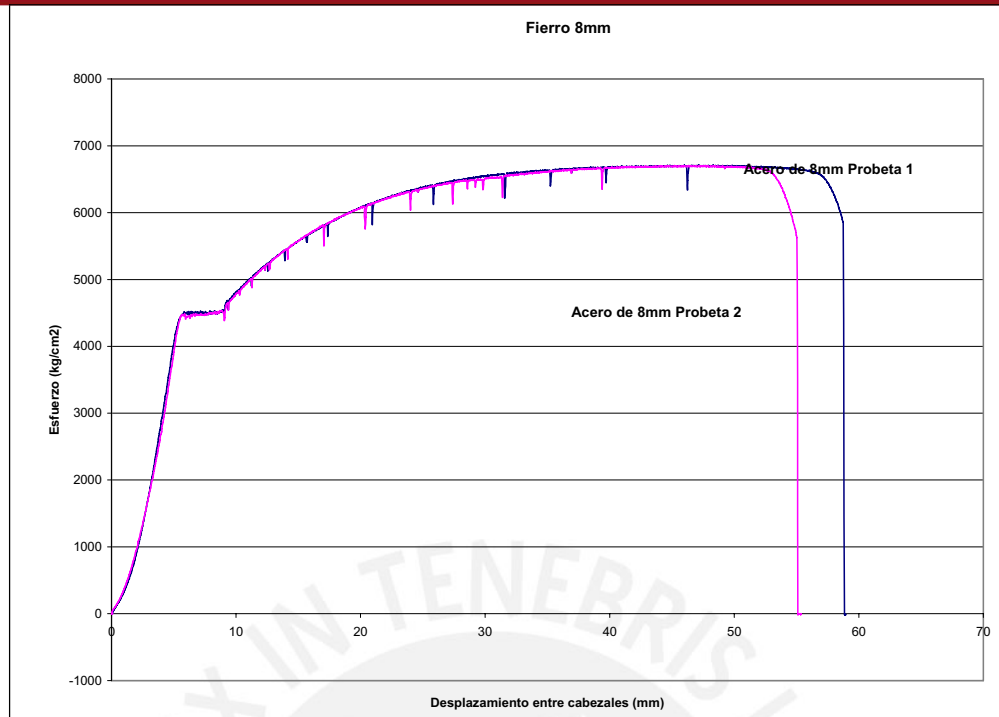


Figura 2.3.3: Diagrama Esfuerzo – Desplazamiento de Barras de 8mm de Diámetro

Tabla 2.3.6: Resultados del Ensayo de Tracción de las Barras de 8mm de Diámetro

Acero de 8 mm	σ_{rotura} (kg/cm ²)	$\sigma_{fluencia}$ (kg/cm ²)	f_u/f_y	Elongación (%)
Muestra 1	6883	4587	1.50	20
Muestra 2	6877	4587	1.50	17.5
Promedio	6880	4587	1.50	18.8

Los resultados de los ensayos del acero convencional corrugado ($\phi 1/2''$ y 8 mm) tuvieron un valor de esfuerzo de fluencia (f_y) mayor a 4200 kg/cm² y un valor de esfuerzo de rotura (f_u) mayor a 6,300 kg/cm², lo cual cumple con lo especificado en la Norma ASTM A615 Grado 60. Asimismo, los ensayos de laboratorio indican que el valor de f_y real puede ser mayor que el nominal en aproximadamente 10%.

Las tablas 2.3.5 y 2.3.6 muestran un valor de sobre-resistencia (f_u/f_y) de aproximadamente 1.33 veces mayor al mínimo especificado por la norma ACI-02. También se puede apreciar que el valor de elongación de las varillas de acero corrugado es aproximadamente el doble del valor mínimo especificado por la Norma ASTM A615.

Presentación y Transporte

Las barras son identificadas por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro y el grado del acero (Figura 2.3.4).

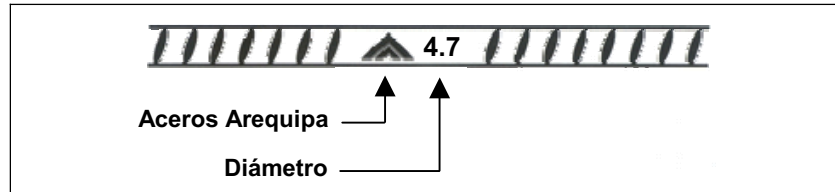


Figura 2.3.4: Identificación de Barras de Acero Corrugado

SiderPerú y Aceros Arequipa ofrecen al mercado las siguientes presentaciones:

Tabla 2.3.7: Presentación de Barras de Acero Corrugado en el Perú

DIAMETRO DE BARRA		PERIMETRO (mm)	PESO (kg/m)	FABRICANTE	LONGITUD (m)
mm	Pulg.				
6	-	18.8	0.222	Aceros Arequipa	9
8	-	25.1	0.395	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
8.5	3/8"	29.9	0.560	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
12	-	37.7	0.888	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
12.7	1/2"	39.9	0.994	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
15.9	5/8"	49.9	1.552	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
19.1	3/4"	59.8	2.235	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
25.4	1"	79.8	3.973	SiderPerú y Aceros Arequipa	9
35.8	1 3/8"	112.5	7.907	SiderPerú y Aceros Arequipa	12

Las barras de SiderPeru y Aceros Arequipa se suministran en paquetes de 2 TM. Por otro lado, Aceros Arequipa también comercializa barras de 6 mm de acero corrugado en rollos de 440 Kg.

2.3.2.2 Malla Electrosoldada

Generalidades

Las varillas que forman las mallas electrosoldadas son de acero trefilado en frío y pueden ser lisas o corrugadas. En el Perú las mallas electrosoldadas son producidas por la empresa PRODAC (Foto 2.3.9).



Foto 2.3.9: Malla Electrosoldada

Normas

Las características que deben tener los aceros de las mallas electrosoldadas están detalladas en las siguientes normas ASTM: A82, A184, A185, A496 y A497. Al igual que en el caso del acero de refuerzo, sus principales características están descritas en el artículo 3.4 de la Norma Peruana de Concreto Armado E-060 y en el artículo 3.5 del ACI-02.

La norma ASTM A496 establece las características que debe tener el alambre corrugado trefilado utilizado para la fabricación de las mallas electrosoldadas (Tabla 2.3.8).

Tabla 2.3.8: Características de la Norma ASTM A496

Característica	Valor
Límite de Fluencia mínimo (f_y)	4,900 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción mínima (f_u)	5,600 kg/cm ²
Elongación a la Rotura	Valor no especificado

De acuerdo a las especificaciones del fabricante, las mallas electrosoldadas hechas en el Perú están fabricadas bajo las siguientes normas:

Tabla 2.3.9: Especificaciones del Fabricante (PRODAC)

Especificación	Norma	Incisos
Alambre Liso		
Acero Trefilado Liso	ASTM A82	5, 6.1.2, 6.1.3, 6.2, 7 y 8
Malla electrosoldada lisa	ASTM A 185	6, 7.4, 9 y 10
Alambre Corrugado		
Acero Trefilado Corrugado	ASTM A 496	6, 8, 9 y 10
Malla electrosoldada Corrugada	ASTM A 497	6, 7.3 y 9
Soldadura		
Malla electrosoldada lisa	ASTM A185	
Malla electrosoldada Corrugada	ASTM 497	

Ensayos

En este acápite se presentan algunos resultados de ensayos de tracción realizados a los aceros de las mallas electrosoldadas peruanas. Se indican los valores de esfuerzo de fluencia, esfuerzo de rotura, y elongación.

La figura 2.3.5 muestra el diagrama esfuerzo-desplazamiento, obtenido de los resultados del ensayo de tracción realizado con una muestra de malla electrosoldada de PRODAC QE 257 de 7mm de diámetro (18 de agosto de 2004-PUCP). Este ensayo se realizó empleando porciones que incluyen un punto de soldadura. Los valores de esfuerzo de fluencia calculados en estos ensayos son meramente referenciales, debido a que en este tipo de ensayo existen una serie de factores (resbalamiento y acomodamiento de la muestra) y métodos de estimación que impiden determinar con certeza este valor.

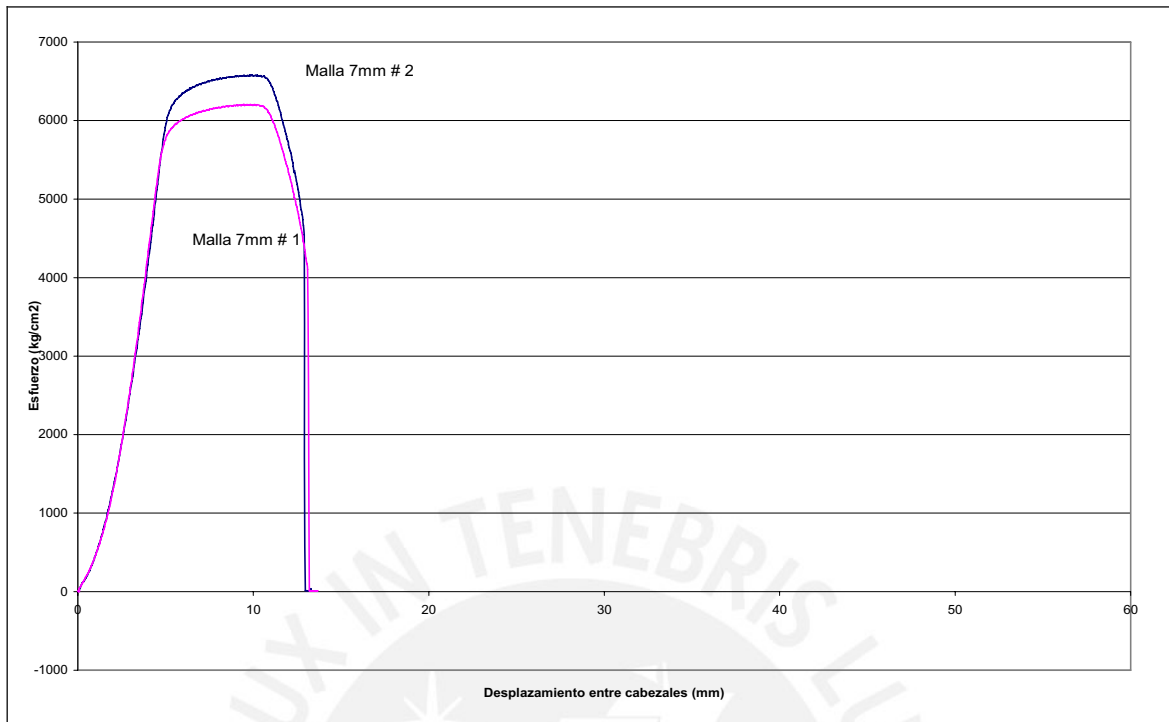


Figura 2.3.5: Diagrama Esfuerzo – Desplazamiento de Mallas Electrosoldadas de 7 mm de Diámetro

Tabla 2.3.10: Resultados del Ensayo de Tracción de Mallas Electrosoldadas de 7mm de Diámetro

Malla de 7mm	σ_{rotura} (kg/cm ²)	$\sigma_{fluencia}$ (kg/cm ²)	Elongación (%)
Muestra 1	6411	5982	4.5
Muestra 2	6798	6349	4.0
Promedio	6604	6166	4.3

En otros ensayos de tracción realizados a las muestras de mallas electrosoldadas en la PUCP y la UNI se obtuvieron los siguientes valores de esfuerzo de rotura, esfuerzo de fluencia y elongación (Tabla 2.3.11).

Tabla 2.3.11: Resultados de Ensayos de Tracción de Mallas Electrosoldadas

Ensayo	Fecha	σ_{rotura} (kg/cm ²)	$\sigma_{fluencia}$ (kg/cm ²)	Elongación (%)
Varillas de acero corrugado de calidad SAE 1008 de una malla electrosoldada, sin punto de soldadura (PUCP)	16/05/2003	5900	5650	4.83%
Acero liso de una malla electrosoldada conteniendo 3 puntos de soldadura (UNI)	27/07/1997	5650	5250	---

De los resultados de los ensayos se puede apreciar que el alambre con el que se fabrican las mallas suele ser frágil, con una elongación a la rotura entre 4% y 5%, valores menores a lo exigido para el acero corrugado de refuerzo (9%). Por otro lado, se puede observar que los valores del esfuerzo de rotura y esfuerzo de fluencia (estimado) son mayores a los límites especificados por la Norma y por el fabricante.

Presentación y Transporte

Las mallas electrosoldadas se distribuyen en tres presentaciones: planchas para plateas de cimentación y losas, planchas para muros y planchas para dowels o suples (Tabla 2.3.12). Los dowels y suples se emplean para simplificar la disposición de las mallas en los muros, en el arranque (dowels) y en encuentros (suples).

Tabla 2.3.12: Presentación Mallas Electrosoldadas en el Perú

Tipo	Tamaño Estándar (m)	Presentación
Mallas para Losas	2.40 x 6.00	---
Mallas para Muros	2.40 x 3.05	---
Dowels y Suples	0.80 x 2.40	Planchas de 2.40 x 2.40 m las cuales se cortan en tres tramos

El transporte de las mallas electrosoldadas se hace en planchas, amarradas en paquetes con la debida identificación.

2.3.2.3 Comparación entre la Malla Electrosoldada y el Acero Corrugado

La figura 2.3.6 muestra el diagrama esfuerzo-desplazamiento obtenido de los resultados de ensayos de tracción realizados a las varillas de acero corrugado y a las varillas que forman la malla electrosoldada (18 de agosto de 2004-PUCP).

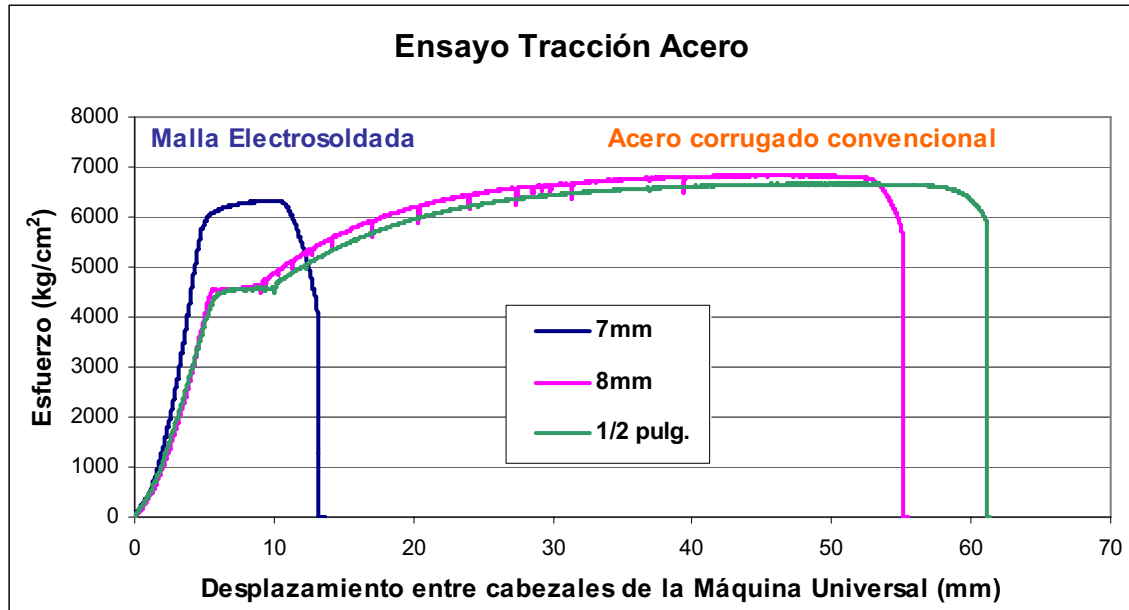


Figura 2.3.6: Diagrama Esfuerzo – Desplazamiento de Malla Electrosoldada de 7mm de Diámetro y Barras Corrugadas de 8mm y 1/2” de Diámetro.

Se observa que los aceros peruanos de grado 60 tienen un claro escalón de fluencia, mientras que las mallas electrosoldadas no exhiben tal plataforma. Los ensayos de tracción muestran que la elongación de las mallas electrosoldadas es aproximadamente 4.5 veces menor que la del refuerzo convencional.

2.3.3 Cimentación

2.3.3.1 Tipos de Cimentación Encontrados en Obra

La cimentación de los edificios de muros de ductilidad limitada es por lo general una platea de cimentación superficial que sirve además como contrapiso y que suele tener nervaduras denominadas dientes de cimentación. La foto 2.3.10 muestra la vista panorámica de una platea de



Foto 2.3.10: Platea de Cimentación

cimentación para un edificio de cinco pisos y cuatro departamentos por piso. Las principales características de la platea de cimentación son el espesor de la losa, las dimensiones de los dientes (Figura 2.3.7), el refuerzo empleado, y las espigas para el traslape del refuerzo vertical en los muros.

Antes de construir la cimentación se retira una profundidad determinada del suelo y se procede a colocar el relleno compactado sobre el cual va la platea. La profundidad de la capa de suelo por debajo de la losa que es tratada depende de la profundidad a la cual se encuentra el suelo competente. Por lo general se utiliza afirmado granulado, denominado en nuestro medio “carapongo”, el cual es compactado con rodillo.

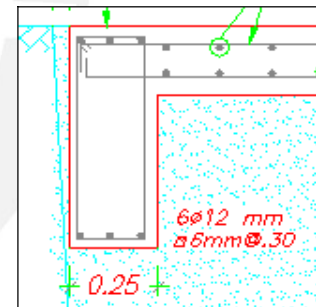


Figura 2.3.7: Diente de Cimentación

2.3.3.2 Espesor de Losa y Dientes de Cimentación

En obra se encontraron losas y dientes con diferentes tamaños, inclusive en suelos con las mismas características. Los espesores de losas varían entre 20 a 25 cm.

Los dientes de cimentación de la platea, que ayudan a confinar el suelo debajo de ésta, están ubicados en los bordes de la platea y en las zonas interiores por debajo de los muros principales. Se encontraron dimensiones de estos dientes que van desde 25 x 65 cm hasta

35 x 150 cm. Las Fotos 2.3.11 y 2.3.12 muestran la distribución global de los dientes en la cimentación.



Fotos 2.3.11 y 2.3.12: Distribución de Dientes en la Cimentación

En las figuras 2.3.8 y 2.3.9 se aprecia como dos edificios con características diferentes en cuanto al número de pisos y suelo de cimentación se refiere, resultan tener similares valores para las dimensiones de losa y dientes.

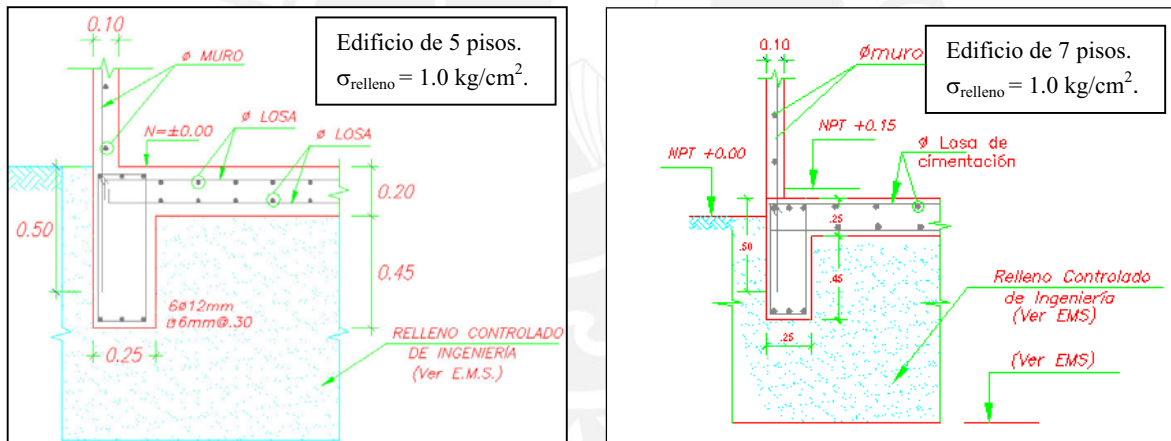


Figura 2.3.8 y 2.3.9: Dimensiones de Losa y Dientes de Cimentación para dos edificios.

2.3.3.3 Refuerzo

Refuerzo de Losa

El refuerzo de la cimentación puede ser de acero corrugado o de malla electrosoldada, siendo más común el uso de malla electrosoldada debido a que se evita el habilitado en obra del refuerzo y presenta una reducción en los tiempos de armado.

El refuerzo de las plateas de cimentación consta de una malla superior y una inferior. La cuantía del refuerzo superior varía entre $3.30 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($8 \text{ mm} @ 15 \text{ cm}$) y $6.40 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($1/2'' @ 20 \text{ cm}$), mientras que la cuantía para el refuerzo inferior varía entre $1.68 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($8 \text{ mm} @ 30 \text{ cm}$) y $6.40 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($1/2'' @ 20 \text{ cm}$).

Se visitaron dos edificios de 5 pisos, que a pesar de tener similar arquitectura y suelo de cimentación tenían diferencias importantes en las cuantías.

Aparte de las dos mallas de refuerzo distribuido se utilizan bastones de acero corrugado en la capa inferior en las zonas bajo los muros (donde se generan momentos negativos considerables). Los bastones son barras de acero corrugado de por lo general de 8 mm de diámetro con una longitud aproximada de 1.30 m , teniendo una cuantía entre 2 a $2.5 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($8 \text{ mm} @ 20 \text{ cm}$).

Los bastones se colocan perpendicularmente a la ubicación de los muros, pudiendo estar centrados con respecto al eje de estos o con un lado más largo en el lado del paño de mayor luz (Figura 2.3.10).

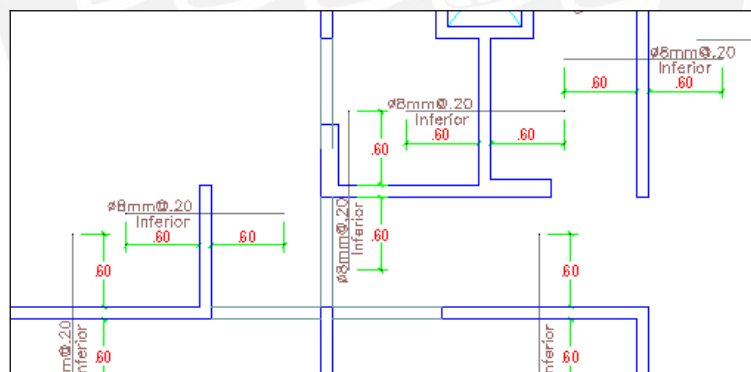


Figura 2.3.10: Distribución de bastones en un edificio

En los encuentros de las mallas con los dientes perimetrales comúnmente no suelen existir ganchos. La foto 2.3.13 muestra un caso de excepción.

En las visitas realizadas a obras se pudo apreciar que las características de la platea no están necesariamente relacionadas con la altura del



Foto 2.3.13: Anclaje de Malla

edificio ni con el tipo de suelo, siendo esto un indicador de lo subjetivo que puede ser el diseño de estos elementos.

Espigas

En la foto 2.3.14, se aprecia la distribución de las espigas, de malla electrosoldada, que se dejan para el posterior traslape con el refuerzo vertical de los muros.



Foto 2.3.14: Distribución de Espigas en una Obra

En obra se encontraron longitudes libres de espigas que varían entre 30 y 85 cm, medidos desde la cara superior de la losa. Se aprecia que todas las espigas han sido cortadas a la misma altura.

La longitud de anclaje de las espigas varía según su ubicación en la cimentación. En el caso de los anclajes rectos en los dientes de cimentación, la longitud varía entre 15 y 50 cm. Por otro lado, las espigas ancladas a 90° en las plateas tienen un tramo recto que varía entre 10 y 15 cm y un gancho a 90° de 15 a 25 cm de longitud (Figuras 2.3.11 y 2.3.12).

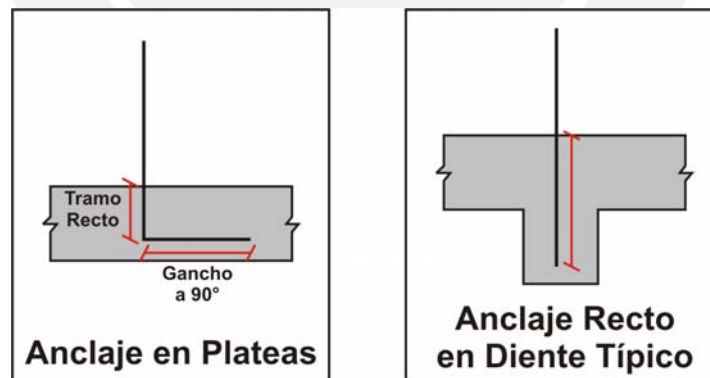


Figura 2.3.11 y 2.3.12: Tipos de Anclaje de Espigas.

2.3.3.4 Recubrimientos

El recubrimiento entre la malla superior y la cara superior de la losa suele ser de 5 cm, mientras que el recubrimiento que se suele dejar entre la malla inferior y la última capa de relleno varía entre 3 a 7 cm. Este recubrimiento inferior puede ser menor debido a la

buena compactación de la última capa del suelo de cimentación. Para dejar un recubrimiento inferior adecuado en muchos casos se emplean dados de concreto (Foto 2.3.15).

El espaciamiento que se deja entre la malla superior y la inferior varía entre 10 y 15cm. Para asegurar un espaciamiento adecuado entre mallas se suelen colocar arcos de acero de separación también conocidos como “burritos” (Foto 2.3.16).



Foto 2.3.15: Fabricación de dados de concreto.

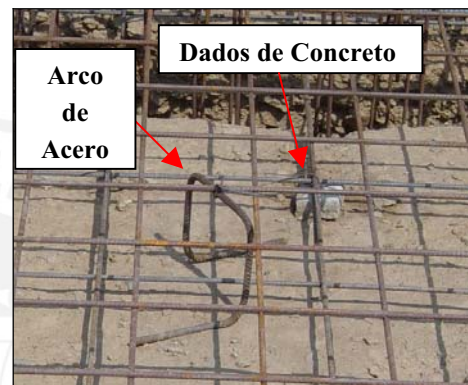


Foto 2.3.16: Elementos para asegurar el recubrimiento

2.3.3.5 Tuberías

En la zona de los servicios higiénicos existe congestión de tuberías, al igual que en las bajadas de los tableros eléctricos. Las fotos 2.3.17 y 2.3.18 muestran la distribución de tuberías en el baño.



Fotos 2.3.17 y 2.3.18: Distribución de Tuberías en Baño Típico

Tal como se puede apreciar en la foto 2.3.19, muchas veces se opta por pasar las tuberías eléctricas a través de los dientes u otros elementos estructurales.



Foto 2.3.19: Congestión de Tuberías

2.3.3.6 Juntas

En la cimentación existen juntas de construcción, que suelen ser rugosas y sin forma establecida para poder conseguir una buena adherencia y trabazón entre los distintos vaciados de la platea de cimentación (Foto 2.3.20).



Foto 2.3.20: Junta de llenado

2.3.3.7 Otros Sistemas de Cimentación

En algunos casos la cimentación consta de zapatas corridas y zapatas aisladas o también de cimientos corridos de 1.0 a 1.5 m de profundidad de concreto ciclópeo, esto ocurre por lo general en edificios altos (entre 8 y 12 pisos). En los casos en los cuales existe un semisótano y losa de transferencia se emplean zapatas corridas y zapatas aisladas.

De la muestra de edificios se observó, que las dimensiones de las zapatas corridas al igual que en el caso de la platea de cimentación parecen no estar necesariamente relacionadas con la altura del edificio ni con el tipo de suelo. El peralte (h) de las zapatas corridas varía entre 60 y 80 cm, el ancho (B) varía entre 40 y 190 cm y la profundidad de cimentación (D_f) varía entre 50 y 250 cm.

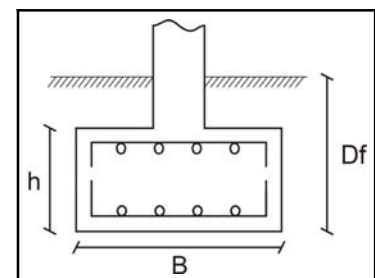


Figura 2.3.13: Zapata Corrida

2.3.4 Muros

2.3.4.1 Tipos de Muros Encontrados en Obra

A continuación se anotan las principales características de los Muros de Ductilidad Limitada (MDL) encontrados en obra como el espesor, la altura de piso a techo, la densidad de muros, el refuerzo de acero, el detalle de los núcleos y los traslapes.

La altura de piso a techo varía entre 2.40 m y 2.45 m. (Figura 2.3.14) y los espesores de muros entre 10, 12 y 15 cm, siendo más comunes los de 10 y 12 cm. En algunos edificios de mayor altura (8 o más pisos) se emplean muros de 15 cm o más. Así mismo, en los edificios que tienen losa de transferencia se utilizan muros con espesores mayores bajo ésta (20, 25 cm o más).

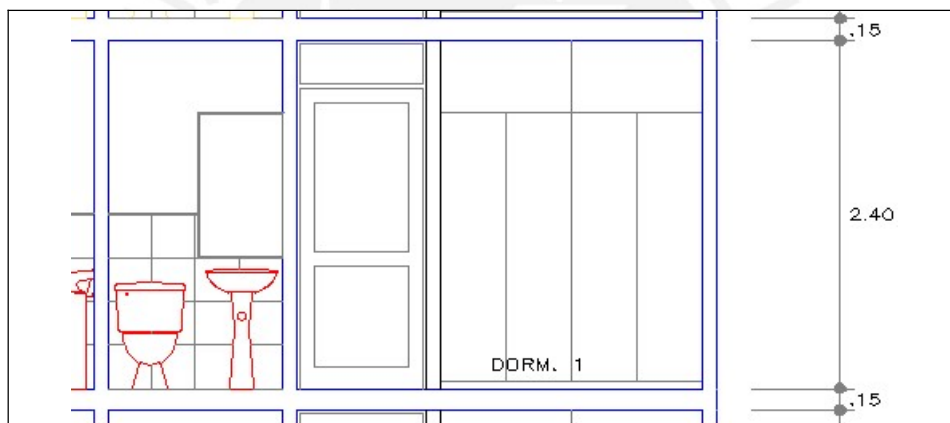


Figura 2.3.14: Altura de Piso a Techo en Edificios de hasta 7 Pisos.

En las zonas de los baños se emplean ensanches que varían entre 15 cm a 20 cm para el paso de montantes (Foto 2.3.21).



Foto 2.3.21: Detalle de Ensanche de 20cm.

2.3.4.2 Densidad de Muros

El área transversal de los muros del primer entreciso (a_m) se suele expresar como la densidad de muros (d_m) en función del área de la planta del edificio (a_p), o el área techada total del edificio (a_{te}), usando las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \blacksquare d_{mt} &= \frac{a_m}{a_{te}} \times 100(\%) \\ \blacksquare d_{mp} &= \frac{a_m}{a_p} \times 100(\%) \end{aligned}$$

La densidad de muros se evalúa de manera independiente en cada dirección usando el área de los muros en la dirección en análisis.

Los edificios de ductilidad limitada poseen una alta densidad de muros en ambas direcciones, (debido a las reducidas luces y áreas de sus ambientes). Las densidades varían entre 0.29% a 0.90% para d_{mt} y entre 2.14% a 4.75% para d_{mp} , llegándose a encontrar valores de d_{mp} similares para edificios de 5 y 9 pisos. La tabla 2.3.13 muestra los valores de d_{mt} y d_{mp} para las direcciones x e y de 7 edificios visitados.

Tabla 2.3.13: Densidad de Muros en Edificios Visitados

Obra	Pisos	Sot	Dep x Piso	Área planta (m ²)	Densidad de Muros (%)			
					d_{mp} X	d_{mt} X	d_{mp} Y	d_{mt} Y
1	5	0	4	150.0	2.45	0.489	2.45	0.49
2	5	0	4	261.0	2.14	0.428	4.31	0.86
3	9	1	4	376.4	2.56	0.285	4.48	0.50
4	5	1	4	393.6	2.88	0.575	4.49	0.90
5	7	0	3	305.0	3.54	0.506	3.09	0.44
6	5	0	6	522.0	3.08	0.615	2.56	0.51

2.3.4.3 Refuerzo

El refuerzo en los muros de ductilidad limitada se puede clasificar en dos; el refuerzo distribuido que se encuentra a lo largo del muro en la parte central y el refuerzo concentrado vertical ubicado en los extremos y en los encuentros de muros (Foto 2.3.22).

Refuerzo Distribuido

Para el refuerzo distribuido de los muros se emplea acero corrugado convencional o malla electrosoldada. Es más común el uso de mallas electrosoldadas aunque el uso del acero convencional distribuido se está incrementando. Es importante mencionar que la nueva norma indica que sólo se puede emplear malla electrosoldada como refuerzo de muros de los edificios de hasta 3 pisos, o en los 2/3 superiores de los edificios de mayor altura.

El refuerzo distribuido en los muros de 10 y 12 cm es una malla centrada mientras que los muros de mayores espesores (15 cm o 20 cm) emplean doble malla.

La tabla 2.3.14 muestra el rango de las cuantías del refuerzo para los distintos espesores de muros:

Tabla 2.3.14: Rango de Cuantías para el Refuerzo Distribuido

Espesor	Cuantía Aprox. (cm ² /ml)	Mallas equivalentes
10 cm	2 a 2.5	(8 mm @ 25 cm), (3/8" @ 30 cm) ó (8 mm @ 20 cm)
12 cm	2.5 a 3.5	(8 mm @ 20 cm) ó (8 mm @ 15 cm)
15 cm	3.4 a 5	(8 mm @ 15 cm) ó (8 mm @ 10 cm)



Foto 2.3.22: Refuerzo Distribuido y Concentrado en Muros



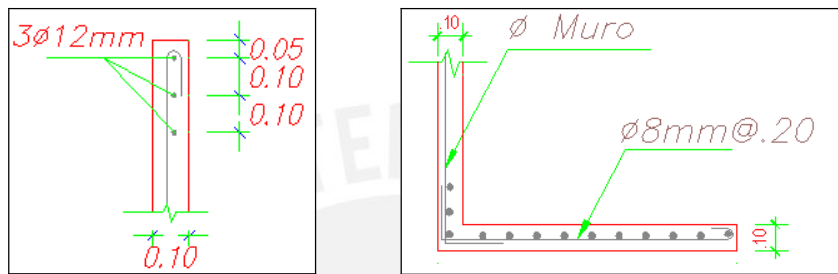
Foto 2.3.23: Uso de Acero Corrugado como Refuerzo de los Muros



Foto 2.3.24: Uso de Malla Electrosoldada como Refuerzo de los Muros

Refuerzo Concentrado

En el refuerzo concentrado, en el que se emplean únicamente varillas de acero corrugado, la cantidad y diámetro de las varillas varía dependiendo de la importancia del muro así como del piso en el que se encuentre. En los muros de 10 y 12 cm, que cuentan sólo con una capa, las varillas del refuerzo concentrado no se encuentran en un núcleo confinado por estribos (Figuras 2.3.15 y 2.3.16).



Figuras 2.3.15 y 2.3.16: Refuerzo Concentrado

En los extremos libres de muros se trata de “amarrar” el refuerzo vertical concentrado con un gancho que se hace en el extremo del refuerzo horizontal distribuido (Fotos 2.3.25 y 2.3.26).

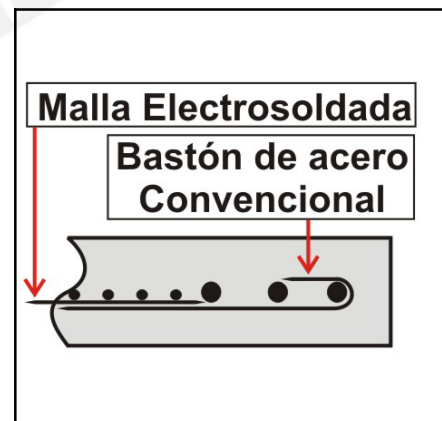
Cuando el refuerzo horizontal es de acero convencional, éste se dobla en forma de gancho en el extremo, mientras que en el caso de las mallas electrosoldadas se añaden bastones de acero convencional en la ubicación del refuerzo horizontal en la malla (Figura 2.3.17).



**Foto 2.3.25:
Detalle del
Gancho Típico**



**Foto 2.3.26: Extremos de
Muros Libres
‘Amarrados’**



**Figura 2.3.17: Gancho en
Muros de Malla
Electrosoldada**

Traslape Horizontal Intermedio y en Extremos

De lo encontrado en obra podemos diferenciar tres tipos principales de traslapes del refuerzo horizontal de los muros: traslape horizontal recto en el refuerzo distribuido, traslape en encuentro de muros de malla electrosoldada y traslape en encuentro de muros de acero convencional (Figuras 2.3.18, 2.3.19 y 2.3.20).



Figuras 2.3.18, 2.3.19 y 2.3.20: Tipos de Traslape Horizontal

En obra el valor del traslape horizontal recto en el refuerzo interno distribuido varía entre 27 y 35 cm. (Foto 2.3.27).

En el encuentro de muros en esquina el traslape dependerá del tipo de refuerzo distribuido que se utilice. Cuando se utiliza acero corrugado en el refuerzo distribuido, éste es doblado en L con una longitud que varía entre 24 y 45 cm. (Foto 2.3.28).

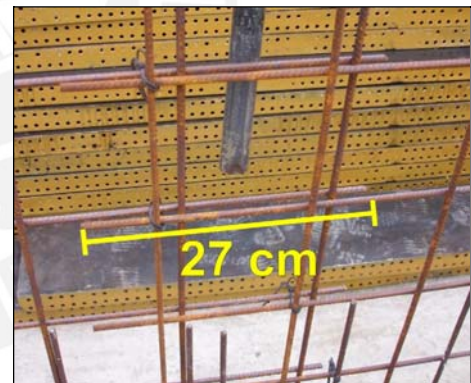


Foto 2.3.27: Traslape Horizontal

Por otro lado, cuando se emplean mallas electrosoldadas se pueden utilizar bastones de acero corrugado doblados en L con longitudes que varían entre 24 y 45 cm para cada dirección. Otra opción es la utilización de elementos prefabricados de malla electrosoldada (Foto 2.3.29).



Fotos 2.3.28: Encuentro de Muros con Acero Convencional.



Fotos 2.3.29: Elementos Prefabricados para Esquinas de Muros con Malla Electrosoldada

Traslape Vertical

Los traslapes verticales se suelen dar en la parte inferior del nuevo muro y justo sobre a la losa inferior (Foto 2.3.30).

La longitud de traslape varía dependiendo de si se trata del acero distribuido o concentrado, siendo mayor en estos últimos. Como mínimo se encontró un traslape vertical de 40 cm en el refuerzo distribuido y un traslape de 50 cm en el refuerzo concentrado.



Foto 2.3.30: Detalle del Traslape Vertical

Cuando se utiliza malla electrosoldada para el refuerzo distribuido, la longitud libre de las espigas embebidas en la losa es uniforme, debido a que el refuerzo vertical es de la misma altura y descansa directamente sobre la losa (Figura 2.3.21).

En algunos casos, en obra se trata de alternar la ubicación del traslape del refuerzo vertical para así evitar la aparición de planos de falla horizontales. Se observó un caso en el que se trataba de evitar este problema alternando la longitud del traslape mas no la ubicación de éste (Foto 2.3.31 y Figura 2.3.22).

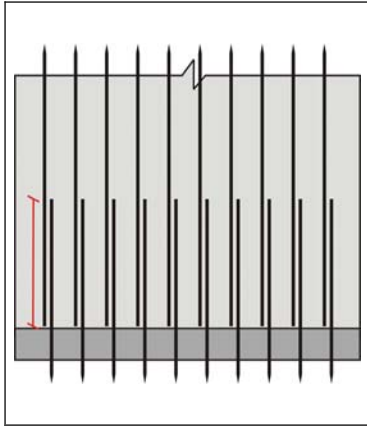


Figura 2.3.21: Caso Típico de Traslape Visto en Obra

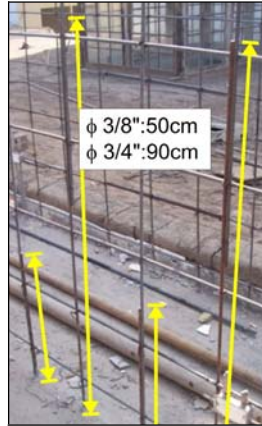


Foto 2.3.31: Traslape Alternado

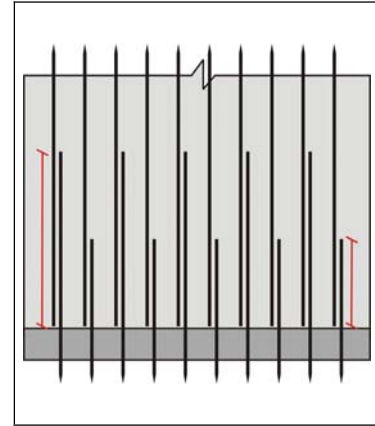


Figura 2.3.22: Caso Particular de Traslape Alternado Visto en Obra

2.3.4.4 Tratamiento Superficial de las Juntas de Construcción en la Base de los Muros

En la construcción de estos muros comúnmente el concreto se vacía sobre la superficie de la losa, a la cual no se le suele dar ningún tratamiento en especial (Foto 2.3.32). No se observó ningún caso en el que esta superficie se escarifique o raye con el fin de generar una zona de mayor adherencia y trabazón. En algunos casos incluso se alisa la superficie de la losa en la zona de muros, empeorando así la situación (Foto 2.3.33).



Foto 2.3.32: Base sin tratamiento

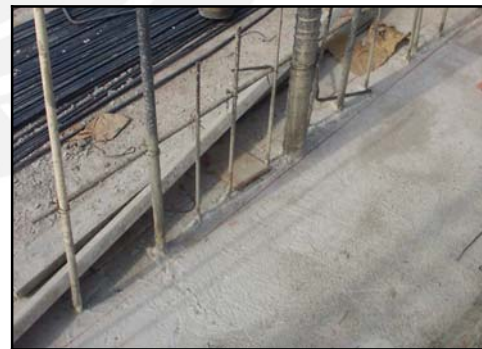


Foto 2.3.33: Base alisada

2.3.4.5 Tuberías

Casi la totalidad de las tuberías eléctricas van embebidas en los muros, al igual que las tuberías sanitarias de diámetros menores a 2". La tabla 2.3.15 muestra un estimado de rangos de tuberías respecto al total.

Tabla 2.3.15: Porcentaje de Tuberías que Pasan por Muros

Muestra	Tuberías de Instalaciones Sanitarias			Tuberías de Instalaciones Eléctricas		
	Menos de 30%	30% - 70%	Más de 70%	Menos de 30%	30% - 70%	Más de 70%
1			X			X
2		X				X
3		X				X
4		X				X
5			X			X
6		X			X	
7		X				X

Las tuberías de diámetros mayores (2” a 4”), como es el caso de las montantes, pasan por ductos (exteriores o interiores) o por ensanches de los muros generalmente de hasta 20 cm de espesor (Fotos 2.3.34, 2.3.35 y 2.3.36).



**Foto 2.3.34:
Ducto Exterior**



**Foto 2.3.35:
Ducto Interior**



**Foto 2.3.36:
Ensanches**

En las zonas de congestión de tuberías y refuerzo (Fotos 2.3.37 y 2.3.38) se suelen formar grietas y cangrejeras, debido a las dificultades que estas zonas presentan para el paso del concreto



**Foto 2.3.37: Congestión de
Tuberías**



**Foto 2.3.38: Congestión
de Tuberías y Cajas.**

Se suelen presentar problemas de recubrimiento en la zona de las cajas eléctricas (Fotos 2.3.39 y 2.3.40) ya que éstas tienen un espesor de 8 cm y al colocarlas en muros de 10 cm, el espesor del recubrimiento de concreto resulta muy escaso.



Foto 2.3.39: Falta de Recubrimiento y Detalle de Caja Eléctrica



Foto 2.3.40: Congestión de Tuberías y Refuerzo

Otro problema ocurre cuando la tubería no está completamente centrada o amarrada (Foto 2.3.41) moviéndose durante el vaciado ocasionando así que exista poco o ningún recubrimiento, el cual luego se fisura.



Foto 2.3.41: Falta de Recubrimiento

Por lo general, las tuberías que se ubican dentro de los muros son amarradas al refuerzo, sin embargo, en algunos casos excepcionales, se apreció que el refuerzo horizontal de la malla electrosoldada es cortado en la zona donde se intercepta con un tubo vertical tal como se aprecia en la foto 2.3.41.

2.3.4.6 Encofrados

Para el vaciado de los muros generalmente se emplean encofrados metálicos, sin embargo también se usan encofrados de planchas de madera prensada. Los encofrados metálicos se emplean con el fin de mejorar la superficie del muro desencofrado y ganar en velocidad constructiva. Aunque los encofrados metálicos disminuyen las operaciones de resanes, no las eliminan completamente.



Foto 2.3.42 y 2.3.43: Encofrados metálicos



Foto 2.3.44 y 2.3.45: Encofrados de aluminio



Foto 2.3.46 y 2.3.47: Encofrados de madera prensada

2.3.4.7 Tipo de Vaciado

Existen dos métodos usuales de vaciado de muros. El primer método y el más común, consiste en vaciar en conjunto los muros y la losa en la misma operación empleando encofrados metálicos (Fotos 2.3.48 y 2.3.49). El código 6.4.6 de los requerimientos del

ACI-318 prohíbe esta práctica, detallando que tanto vigas como losas no deberán ser vaciadas antes de que el concreto de los elementos verticales que las soportan (columnas o muros) ya no se encuentre en estado plástico.



Foto 2.3.48 y 2.3.49: Vaciado Conjunto Muro y Losa

El segundo método consiste en primero vaciar los muros y luego al día siguiente la losa. Para este método generalmente se utilizan encofrados de madera prensada. Antes de vaciar la losa se suele colocar una capa de lechada de cemento o de epóxico a la parte superior de los muros para lograr una adecuada adherencia entre el muro y la losa (Foto 2.3.50).



Foto 2.3.50: Vaciado Muro y Losa por Separado

Luego de desencofrar los muros se procede a aplicar una capa de curador químico para evitar que el concreto fresco pierda el agua necesaria para una correcta fragua.

2.3.4.8 Resanes

En este tipo de edificios, luego de desencofrar los muros, se aprecian diferentes defectos como fisuras, cangrejeras y zonas de segregación que son zonas débiles y de posible falla

en los muros. Con el fin de mejorar el aspecto estético de los muros, se realizan resanes en sus superficies. Se llegó a determinarse que en promedio se hacen resanes en más del 50% de los muros.



Foto 2.3.51 y 2.3.52: Segregación en la Base de Muros



Foto 2.3.53 y 2.3.54: Resanes en Muros



Foto 2.3.55 y 2.3.56: Fisuras en Muros

2.3.5 Losas

2.3.5.1 Tipos de Losas Encontradas en Obra

Los sistemas de losa empleados en los EMDL son por lo general losas macizas o aligeradas que actúan como diafragmas rígidos. Las principales características de las losas de techo son el espesor de la losa, las dimensiones de los ensanches, el refuerzo empleado y las juntas. La foto 2.3.57 muestra una vista panorámica del armado de una losa maciza de techo para un edificio de cinco pisos.



Foto 2.3.57: Vista Panorámica de la Losa de Techo

En la mayoría de las obras visitadas se observó el uso de losas macizas, sin embargo, cada vez es más común el uso de losas aligeradas pre-fabricadas. La foto 2.3.58 muestra una losa maciza y en la figura 2.3.23 se aprecia un esquema de una losa aligerada pre-fabricada.



Foto 2.3.58: Detalle de Losa Maciza

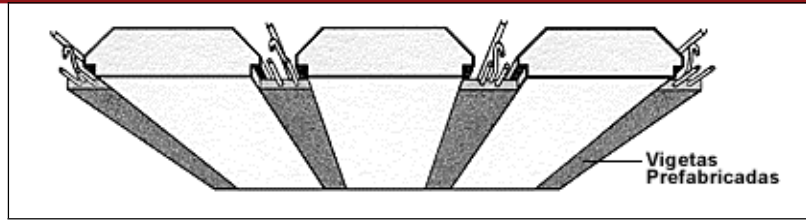
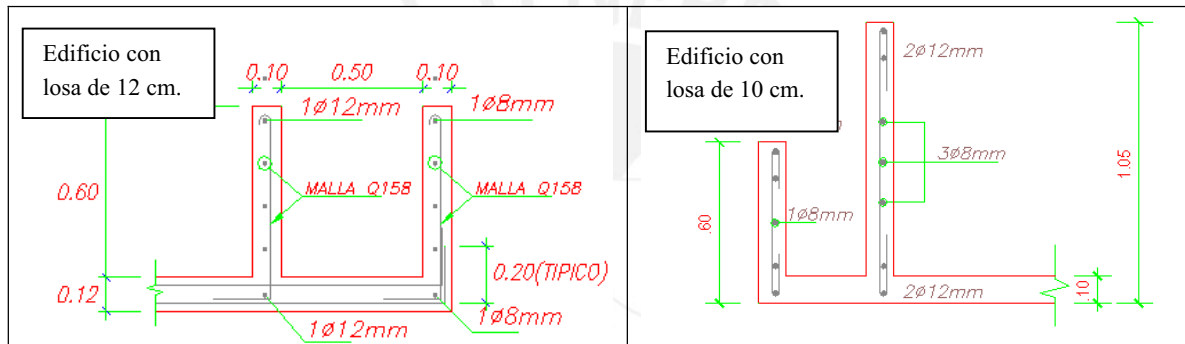


Figura 2.3.23: Losa Aligerada Pre-Fabricada

2.3.5.2 Espesores de Losa

Las losas macizas presentan diferentes espesores que varían entre 10 y 12 cm, siendo más común las de 12 cm (Figuras 2.3.24 y 2.3.25).



Figuras 2.3.24 y 2.3.25: Dimensiones de Losa.

Ensanches

En estos edificios se emplean ensanches en la zona de baños para permitir el paso adecuado de las tuberías. Los ensanches vistos en obra tienen dimensiones que varían entre 17 y 25 cm, siendo más común los de 20 cm. En la figura 2.3.26 y en la foto 2.3.59 se aprecia el ensanche típico empleado.

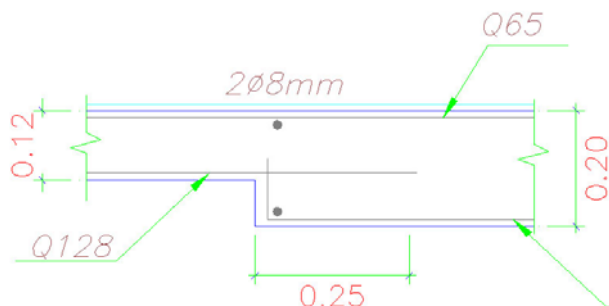


Figura 2.3.26 y Foto 2.3.59: Dimensiones de Ensanches de Losa en Zona de Baños.

2.3.5.3 Refuerzo

El acero que se emplea para el refuerzo de la losa puede ser acero corrugado convencional (Foto 2.3.60) o malla electrosoldada (Foto 2.3.61), sin embargo es más común el uso de malla electrosoldada. En las siguientes imágenes se puede apreciar el uso de acero corrugado y malla electrosoldada como refuerzo de losas.

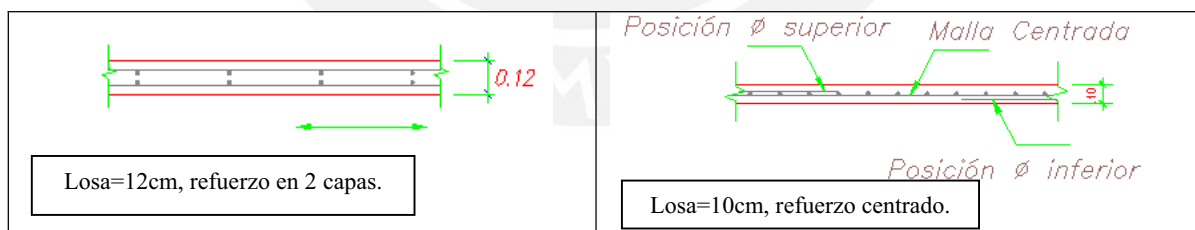


Foto 2.3.60: Empleo de Acero Corrugado como Refuerzo de Losa



Foto 2.3.61: Empleo de Malla Electrosoldada como Refuerzo de Losa

El refuerzo puede encontrarse centrado o en dos capas. Por lo general cuando se emplea una losa de 10 cm el refuerzo es una sola capa centrada, mientras que cuando se usan losas con mayores espesores como es el caso de las losas de 12 cm, el refuerzo se coloca en dos capas (Figuras 2.3.27 y 2.3.28).



Figuras 2.3.27 y 2.3.28: Posición del Refuerzo en las Losas.

Según lo observado, la malla centrada tiene una cuantía de aproximadamente $2.00 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($8 \text{ mm @ } 25 \text{ cm}$). Por otro lado las losas con espesor de 12 cm o más cuentan con dos capas de refuerzo. La cuantía del refuerzo superior varía entre $0.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($6 \text{ mm @ } 30 \text{ cm}$) y $2.51 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($8 \text{ mm @ } 20 \text{ cm}$), mientras que el refuerzo inferior tiene una cuantía que varía entre $1.62 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($6 \text{ mm @ } 17.5 \text{ cm}$) y $2.85 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ($3/8'' @ 25 \text{ cm}$).

Anclajes

El anclaje del refuerzo de la losa en los muros varía dependiendo de si se emplea acero corrugado convencional o malla electrosoldada. En el caso del vaciado conjunto de muro y losa, cuando se emplea acero corrugado éste se dobla formando un gancho estándar con una longitud de 20 cm. Por otro lado, en los casos en los que se emplea malla electrosoldada, ésta no se dobla como en el caso del acero corrugado, debido a la poca ductilidad del acero electrosoldado. La figura 2.3.29 muestra el detalle del anclaje de la malla de losa en los muros perimetrales y la figura 2.3.30 muestra el caso del refuerzo con acero corrugado.

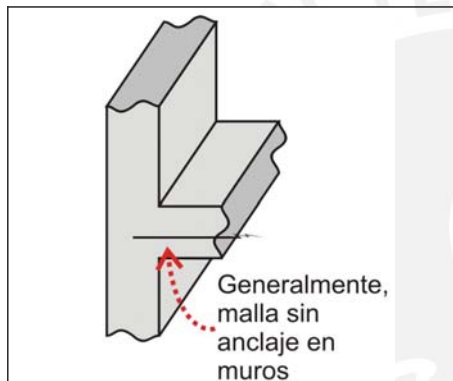


Figura 2.3.29: Anclaje de Malla de Losas en Muros

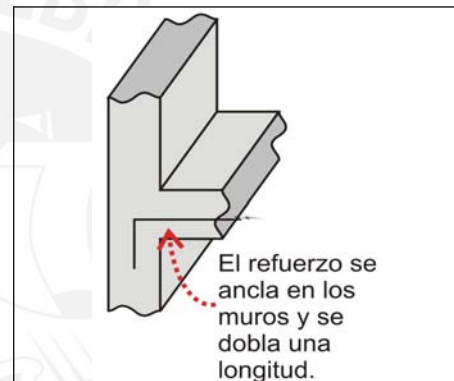


Figura 2.3.30: Anclaje de Acero Corrugado de Losas en Muros

Bastones

Ambos tipos de losas, tanto la de una como la de dos capas de refuerzo, emplean bastones positivos y negativos para aumentar la cuantía del refuerzo en las zonas donde se generan mayores momentos. Estos bastones consisten de varillas de acero corrugado colocadas en las zonas críticas.

Espigas

A diferencia de la cimentación, en las losas no es necesario anclar espigas para los muros que irán sobre la losa ya que se utilizará el traslape del refuerzo de los muros del piso inferior.

2.3.5.4 Recubrimientos

En todas las obras que fueron visitadas se pudo observar que para las losas se tiene un recubrimiento mínimo de 2 cm. Muchas veces se utilizan dados de concreto o separadores plásticos para lograr dejar el recubrimiento adecuado. La foto 2.3.62 muestra la utilización de separadores plásticos para dejar el recubrimiento adecuado en losas.



Foto 2.3.62:
Separadores Plásticos

2.3.5.5 Tuberías

Por las losas se pasan tanto tuberías sanitarias como tuberías de instalaciones eléctricas. La foto 2.3.63 muestra una distribución típica de tuberías en una losa. La saturación de tuberías representa un problema, al dificultar el paso adecuado del concreto.



Foto 2.3.63: Distribución de Tuberías

Las principales complicaciones debidas a la congestión de tuberías incluyen dificultades en el vaciado, la formación de cangrejeras, formación de grietas y pérdida de resistencia de la losa debido a la cantidad de vacíos (Fotos 2.3.64 y 2.3.65).



Fotos 2.3.64 y 2.3.65: Congestión de Tuberías Eléctricas

El principal problema de congestión de tuberías en las losas ocurre en la zona de baños. Para disminuir este problema se emplean ensanches de losa, los cuales son por lo general de 20 cm (Foto 2.3.66).



Foto 2.3.66: Ensanches de Losa de Baño

Un problema común que ocurre con las tuberías de instalaciones eléctricas es la falta de recubrimiento entre ellas y la losa. Esto se debe a que por lo general la salida de tuberías se realiza por las salidas laterales de los puntos de luz, en lugar de las salidas superiores. Al pasar las tuberías por las salidas laterales, éstas quedan muy cerca al encofrado no permitiendo un adecuado recubrimiento; generando de esta manera grietas (Foto 2.3.67). Para evitar este problema cada vez más se utilizan las salidas superiores de los puntos de luz (Foto 2.3.68).

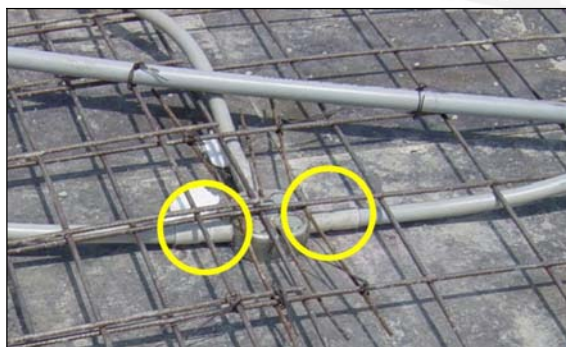


Foto 2.3.67: Poco Recubrimiento entre la Tubería y el Fondo de Losa

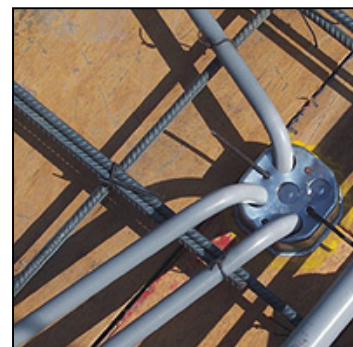


Foto 2.3.68: Adecuado Recubrimiento entre la Tubería y el Fondo de Losa

2.3.5.6 Juntas

Las juntas en losas se presentan debido al sistema de vaciado conjunto de muro y losa que se emplea en este tipo de edificios. Se vacía un departamento completo un día y al día siguiente el departamento colindante a éste.

De lo observado en obra se aprecia que se deja la losa prácticamente como quedó al finalizar el vaciado, dejando el extremo de ésta rugoso y sin forma determinada lo cual genera mayor trabazón y adherencia del concreto (Fotos 2.3.69 y 2.3.70).



Fotos 2.3.69 y 2.3.70: Junta de Losa Rugosa y sin forma definida

2.3.5.7 Resanes

En este tipo de edificios, luego de desencofradas las losas, se pueden apreciar en algunos casos fisuras por contracción que luego deberán ser cuidadosamente resanadas para evitar potenciales problemas (Fotos 2.3.69 y 2.3.70).



Fotos 2.3.71 y 2.3.70: Fisuras en Losas

2.4 Procedimiento Constructivo

2.4.1 Cimentación

2.4.1.1 Relleno Compactado

Antes de construir la platea de cimentación se realiza el trazado perimetral y replanteo topográfico de la misma. Luego se retira una profundidad determinada del suelo y se procede a colocar el relleno compactado (Foto 2.4.1).

El relleno por lo general se compacta en capas de 15 o 20 cm, siendo las primeras capas compactadas al 95% del proctor modificado y la última capa al 99% del proctor modificado. Por lo general se utiliza afirmado granulado, denominado en nuestro medio “carapongo”, y es compactado con rodillo.

Una vez colocado el relleno compactado se realiza la excavación de los dientes de la platea de cimentación (Foto 2.4.2).



Foto 2.4.1: Capas del Relleno Compactado



Foto 2.4.2: Excavación de los dientes de la Platea de Cimentación

2.4.1.2 Encofrado

Para los límites de la cimentación se utiliza encofrado tradicional de madera y no se emplea desmoldante (Foto 2.4.3).



Foto 2.4.3: Encofrado

2.4.1.3 Armado

Primero se procede a armar y colocar los refuerzos de los dientes en su posición (Foto 2.4.4) para luego colocar el refuerzo de la cimentación (mallas y bastones) y las tuberías.



Foto 2.4.4: Colocación del refuerzo de los dientes de cimentación

El refuerzo consta de dos capas (superior e inferior), y bastones generalmente por debajo de los muros principales. Para dejar una adecuada separación entre las capas de acero y el suelo se emplean burritos de acero y dados de concreto (Foto 2.4.5). Durante el armado del refuerzo distribuido se colocan las tuberías en posición. Como paso final, se colocan las espigas en las zonas de los muros (Foto 2.4.6).



Foto 2.4.5: Burritos de acero y dados de concreto



Foto 2.4.6: Espigas ancladas al diente de cimentación

2.4.1.4 Método de Llenado

Previo al vaciado se humedece el suelo para evitar que éste absorba agua de la mezcla de concreto.

Por lo general se utiliza concreto premezclado para la construcción de la cimentación y el llenado se realiza mediante una bomba (Foto 2.4.7). Cuando se vacían volúmenes no muy grandes, éste es realizado con la ayuda de boggies (carretillas).



Foto 2.4.7: Vaciado de Cimentación

Una cuadrilla de vaciado para el edificio típico podría estar conformada por cinco obreros, dos encargados de maniobrar la manguera de la bomba, dos encargados de vibrar el concreto y uno encargado de alisar la superficie con una regla.

2.4.1.5 Curado

El curado de la platea de cimentación por lo general se realiza empleando agua y cobertores de yute (Foto 2.4.8). Se rocía agua en abundante cantidad sobre la platea, luego se colocan las cubiertas de yute, y por último, se vuelve a rociar agua sobre ellas. Se realiza un regado constante por un periodo de 7 días.



Foto 2.4.8: Curado de Cimentación

En pocos casos se emplean curadores químicos, los cuales se rocían sobre la cimentación por un periodo de 3 días, pero el tránsito de personas por encima de la cimentación en este periodo puede desgastarlo, impidiendo que este cumpla su función.

2.4.1.6 Acabados

En algunos casos se le suele dar un tratamiento de rayado a la platea en la zona de los muros, sin embargo, este procedimiento, a pesar de ser conveniente, es poco común.

2.4.2 Muros

2.4.2.1 Encofrado

El encofrado se realiza empleando planchas y armazones metálicas (EFCO, FORZA o UNISPAN, Foto 2.4.9). También se emplean encofrados de planchas de madera prensada con armazones metálicas (ULMA, Foto 2.4.10). El más común es el uso de los encofrados metálicos ligeros que permiten el vaciado conjunto de los muro y la losa (FORZA).



Foto 2.4.9: Encofrados Metálicos

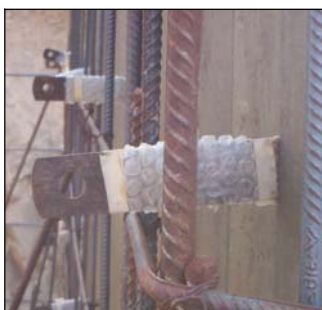


Foto 2.4.10: Encofrados de Madera Prensada

El procedimiento constructivo que se suele seguir para el encofrado de muros incluye los siguientes pasos: trazado de la zona a encofrar, colocación de los escantillones, colocación de las instalaciones sanitarias y eléctricas, aplicación del desmoldante a los paneles y colocación del encofrado nivelado y aplomado.

La aplicación de la capa de desmoldante al encofrado permite un adecuado desencofrado y mejora el acabado del concreto.

Para evitar que los paneles de encofrado se junten se utilizan separadores también llamados corbatas de 10 cm a cada 1.5 m (Foto 2.4.11). Así mismo con el fin de facilitar la colocación del encofrado se emplean topes, que son muretes de un espesor igual al del muro y de aproximadamente 5 cm de altura (Foto 2.4.12). Otra técnica usual es la construcción de dados de concreto como topes para los encofrados (Foto 2.4.13). Tanto los topes como los dados, son hechos con una mezcla de concreto simple, sin especificaciones técnicas o diseño de mezcla.

Foto 2.4.11:
Corbatas de 10cmFoto 2.4.12: Muretes de
concreto para encofradosFoto 2.4.13: Dados
de Concreto

Una cuadrilla típica de encofrado podría consistir de un capataz, 2 operarios y 3 peones.

2.4.2.2 Armado

El acero es habilitado previo a su colocación (cortado y doblado de ganchos). Durante la colocación del acero se verifica la concordancia del acero colocado (números y diámetros) respecto a lo especificado en el plano estructural.

En el primer piso, el refuerzo vertical es amarrado a las espigas de la cimentación y en el resto de niveles al acero de los muros del piso inferior. Primero se coloca el acero distribuido y luego el acero concentrado. Cuando se emplea acero corrugado para el refuerzo distribuido se atortolan los empalmes con alambre # 8.



Foto 2.4.14:
Separadores

Se utilizan separadores para asegurar que el refuerzo esté centrado y cuente con el recubrimiento necesario (Foto 2.4.14).

2.4.2.3 Método de Llenado

Existen dos métodos usuales para el llenado de muros. El primero y más común, consiste en vaciar conjuntamente los muros y la losa para una zona o sección del edificio en construcción (Foto 2.4.15). En este método se encofran conjuntamente los muros y las losas de un departamento o un sector del edificio. Se realiza primero el vaciado de los muros y luego el de la losa inmediatamente en la misma operación. Es muy común en este método la utilización de encofrados metálicos ligeros FORZA. Esta práctica se realiza a pesar de ser prohibida por los requerimientos del ACI-318.



Foto 2.4.15: Vaciado conjunto de muros y losa

El segundo método consiste en primero vaciar los muros y luego, el día siguiente, vaciar la losa (Foto 2.4.16). Para lograr una buena adherencia entre ambos elementos la superficie del muro se deja sin alisar. Antes de vaciar la losa se coloca una capa de lechada de cemento o de epóxico a la parte superior de los muros para lograr una adecuada adherencia en la unión muro – losa. Por lo general, se emplean los encofrados ULMA o EFCO.

El vaciado de los muros se realiza empleando concreto premezclado y el llenado se ejecuta mediante la utilización de una bomba. Una cuadrilla típica podría estar compuesta de seis obreros, dos encargados de maniobrar la manguera de la bomba, dos encargados de vibrar el concreto con vibradores aguja y dos encargados de golpear el encofrado con una comba de goma para asegurar que no se formen burbujas de aire y evitar cangrejas. Se verifica que la mezcla de concreto tenga el slump especificado en el diseño, el cual suele variar entre 6” y 8” para los muros.



Foto 2.4.16: Vaciado separado de muros y losa

El procedimiento de vaciado se realiza en tres capas a tercios del encofrado, vibrando la mezcla durante 3 segundos como mínimo cada 40 cm y asegurando un vaciado homogéneo entre el vaciado de cada capa. En algunos casos se opta por realizar el vaciado de los muros desde el centro de estos, para que así, el concreto vaya escurriendo hacia los costados de manera homogénea, con el fin de disminuir las cangrejas.

El vaciado de los muros se realiza de forma modular. Cada departamento es vaciado por separado repitiendo la misma forma en todos los departamentos y pisos llegando así al famoso método de construcción de estos edificios que es conocido como “un departamento por día”. Es por esto que las juntas se realizan en la unión entre departamentos. Para asegurar un espaciamiento adecuado entre bloques estructurales por lo general se emplean planchas de tecnopor como separador de junta.

2.4.2.4 Desencofrado

Los muros son desencofrados al día siguiente del vaciado, por lo menos doce horas después.

2.4.2.5 Curado

El curado por lo general se hace con un curador químico el cual es rociado sobre el muro por ambos lados hasta dejar una capa delgada. Este proceso se realiza por 3 días, y

dependiendo del clima el curador se puede rociar más de una vez al día. En algunos casos el curado se realiza con agua que es rociada sobre los muros por un periodo de 3 días.

2.4.2.6 Resane de muros

Luego de realizar el desencofrado se debe verificar que los muros no tengan imperfecciones superficiales, las cuales necesitan ser resanadas (Fotos 2.4.17 y 2.4.18).



Foto 2.4.17: Imperfecciones previas al resane



Foto 2.4.18: Muros luego del resane correspondiente

2.4.3 Losas

2.4.3.1 Encofrado

Para el vaciado de las losas por lo general se emplean encofrados metálicos (Foto 2.4.19), sin embargo también se pueden emplear encofrados de triplay o planchas de madera prensada. Los más comunes en el mercado son los encofrados metálicos EFCO, los encofrados de aluminio FORZA y los encofrados de madera prensada ULMA.



Foto 2.4.19: Encofrado Metálico de Losa

El encofrado de las losas incluye los siguientes pasos: se coloca el desmoldante a los paneles, se verifica la modulación, se controlan los niveles y se colocan y apuntalan los paneles.

Una cuadrilla típica de encofrado podría constar de un capataz, 2 operarios y 3 peones.

2.4.3.2 Armado

Se debe verificar que los refuerzos se coloquen según las especificaciones de los planos. Primero se coloca la malla o acero corrugado y después los bastones. En caso de emplear acero corrugado se procede a doblar ganchos en la salida de muros.



Foto 2.4.20: Separadores Plásticos

Cuando se usa doble malla se colocan separadores entre el refuerzo inferior y el encofrado de cómo mínimo 2 cm, mientras que la malla superior se separa con burritos de acero. Para el caso de una sola malla (losa de 10cm) se usan separadores de aproximadamente 4 a 4.5 cm (Foto 2.4.20).

2.4.3.3 Método de Llenado

El vaciado de la losa es similar al vaciado de la cimentación. Una cuadrilla típica podría constar de seis obreros, dos encargados de maniobrar la manguera de la bomba, dos encargados de vibrar el concreto con vibradores aguja, uno encargado de alisar la superficie con una regla y un ayudante encargado de acomodar el concreto con una pala.

Tal como se explicó en el capítulo de Muros, existen dos métodos usuales de vaciado de losas. El primer método y el más común, consiste en vaciar en conjunto el muro y la losa, mientras que el segundo método consiste en primero vaciar los muros y luego el día siguiente vaciar la losa.

El vaciado de la losa, al igual que el de los muros se realiza de forma modular, es decir se realiza el vaciado de cada departamento por separado. Es por esto que la planificación adecuada de juntas de construcción resulta muy importante.

En muchos casos, la junta entre distintos paños de la losa se deja lisa, sin embargo es preferible dejar una junta rugosa e irregular para una mejor adherencia entre ambas losas.

El procedimiento que se suele seguir para el vaciado de las losas es el siguiente: se verifica el slump del concreto que suele estar entre 3" y 4" y se vacía vibrando a cada 30 cm de distancia durante 3 segundos.

2.4.3.4 Desencofrado

Las losas son desencofradas al día siguiente del vaciado. Para evitar la aparición de deflexiones en la losa recién desencofrada se conservan sólo unos pocos puntales soportando directamente la losa por 7 días (Foto 2.4.21).



Foto 2.4.21: Puntales Conservados

2.4.3.5 Curado

El curado de las losas por lo general se hace con curadores químicos, la mayoría de las veces se emplean los curadores de Z aditivos. El curador es rociado sobre la losa por ambos lados hasta dejar una capa delgada, este proceso se realiza por 3 días. En el caso de la cara superior de la losa se deberá limitar el tránsito sobre ella durante este periodo para evitar el desgaste de la capa de curador. En el caso que se utilice agua, ésta es rociada tres veces por día.

2.4.4 Problemas Potenciales Vistos en Obra

2.4.4.1 Problemas de Vaciado

Existen problemas relacionados al vaciado de los muros como son la segregación y las cangrejeras. La segregación del concreto se presenta cuando el concreto es vaciado desde alturas muy grandes como desde la pluma de una bomba, sin un descanso intermedio, causando que los materiales más gruesos se segreguen o también por un exceso de vibrado que origina la separación de los agregados y el mortero (Fotos 2.4.22). Se presentan por lo general en la base de los muros, que son una zona crítica para la resistencia por flexo compresión y cizalla (Foto 2.4.23). Es importante destacar que no se conoce en cuanto disminuye el f_c en las zonas de segregación.



Foto 2.4.22: Segregación

Las cangrejeras son huecos en los muros, que se forman debido a una falta de vibrado, a la poca fluidez del concreto o debido a la congestión de refuerzo (Foto 2.4.24).



Foto 2.4.23: Segregación en Esquinas y Bases de Muros



Foto 2.4.24: Cangrejeras por Tuberías.

2.4.4.2 Juntas Frías

Se presentan en la unión entre los muros y losa. En el caso del vaciado en conjunto de muros y losas se presenta una sola junta entre la losa y los muros del piso superior,

mientras que en el caso que se vacíen los muros y las losas por separado se presentan juntas frías entre la losa y los muros del piso inferior así como en entre ella y los muros del piso superior (Fotos 2.4.25 y 2.4.26). En ambos casos, es probable que se reduzca la resistencia por cizalla.



Foto 2.4.25: Juntas Frías en Unión de Muro con Losa



Foto 2.4.26: Base de Muro sin Tratar en la Losa.

Las juntas frías también se pueden presentar en los muros en los cuales no se pudo completar el vaciado por falta de concreto. Posteriormente se termina el vaciado sin usar ningún tipo de epóxico ni varillas de acero para mejorar la adherencia.

Otro caso de juntas frías se da cuando se vacía la losa por partes, dejando una junta fría entre vaciados. De igual manera, al vaciar el segundo tramo de losa no se usa ningún tipo de epóxico ni varillas de acero adicionales que ayuden a mejorar la adherencia (Foto 2.4.27).



Foto 2.4.27: Junta de Losa

2.4.4.3 Grietas y fisuras

En las visitas realizadas se pudieron apreciar grietas y fisuras en las losas, muros y cimentación (Fotos 2.4.28 y 2.4.29). Un caso particular de fisuras en muros se presenta en los alfeizares.



Fotos 2.4.28 y 2.4.29: Grietas en Platea de Cimentación

Se realizó un conteo de las grietas e imperfecciones encontradas en obra y se estimó que aproximadamente un 50% de los paños de muros presentaban algún tipo de imperfección.

Las grietas y fisuras se forman por lo general debido a un mal proceso de curado, así como por la acción de esfuerzos generados por cambios volumétricos del concreto. También ocurren cuando las tuberías están muy pegadas al borde y no tienen el recubrimiento necesario.

Una causa de las fisuras y grietas de mayor consideración estructural son los asentamientos diferenciales en las cimentaciones. Este tipo de grietas no se pudieron apreciar en las obras visitadas.



Foto 2.4.30: Agrietamiento leve

Las fisuras encontradas no representan un daño estructural sino un problema estético (Foto 2.4.30), el cual se puede solucionar mediante sellados y resanes con morteros ricos en cemento. Cabe resaltar que si las fisuras han sido mal resanadas, existe la posibilidad de que a largo plazo éstas causen la corrosión del refuerzo, o que formen potenciales planos de falla cuando la estructura se vea sujeta a sismos.

2.4.4.4 Punzonamiento de losas

Si se desencofran las losas antes de que el concreto haya fraguado y alcanzado una resistencia mínima, existe la posibilidad de que los puntales inicien una falla por

punzonamiento. Esto suele suceder cuando el concreto es vaciado muy tarde o en un día muy frío, ya que el frío no permite un adecuado fraguado.

Es necesario que la mezcla de concreto sea la adecuada para que cuente con el $f'c$ y el E_c (Modulo de Elasticidad) suficiente para permitir el desencofrado al día siguiente sin problemas.

2.4.4.5 “Grifado” del Acero

Se presenta este problema en obra cuando hay equivocaciones en la colocación de acero, y éste luego es doblado para ubicarlo en su posición adecuada (Fotos 2.4.31 y 2.4.32).



Fotos 2.4.31 y 2.4.32: Grifado del Refuerzo de Muros



2.5 Edificio Típico de 5 y 7 pisos.

En este capítulo se presentan las características del edificio de 5 y 7 pisos de muros de ductilidad limitada que puede considerarse como típico.

El edificio típico se utilizó como referencia para la encuesta que se hizo a los expertos acerca del desempeño sismorresistente esperado en los EMDL.

En las tablas que se muestran a continuación, se presentan valores y rangos para las características más importantes de la cimentación, muros y losa, de los edificios típicos.



Tabla 2.5.1: Cimentación Representativa

Tipo de Cimentación	Platea de Cimentación		
Relleno Compactado			
Espesor de Capas	15 a 20 cm.		
Compactación	Primeras capas - 95% del P.M. Ultima capa - 99% del P.M.		
Material de Relleno	Afirmado granulado carapongo compactado con rodillo.		
Profundidad	Entre 0.8 m a 1.5 m en el suelo típico de Lima.		
Dimensiones de Losa y Dientes de Cimentación			
Espesor de Losa	20 a 25 cm.		
Dientes Típicos	25 x 70 cm.		
Ubicación de Dientes	Perimetrales y debajo de los muros principales.		
Refuerzo de Losa			
Disposición	Dos mallas electrosoldadas.		
Cuantías de Mallas (Aprox.)	Superior: 2.83 cm ² /ml (8 mm @15 cm). Inferior: 1.39 cm ² /ml (8 mm @30 cm).		
Gancho de malla en Dientes perimetrales	No es muy común.		
Bastones inferiores (bajo muros)	Entre 2 y 2.5 cm ² /ml (8 mm @ 20 cm).		
Refuerzo de Dientes de Cimentación			
Refuerzo longitudinal	6 varillas de acero corrugado de 12 mm (3 superiores y 3 inferiores).		
Estribos	8 mm @ 25 o 30 cm.		
Espigas de Muros			
Longitud libre sobre la losa	Entre 30 y 50 cm.		
Anclajes rectos	50 cm.		
Anclajes con gancho de 90°	<ul style="list-style-type: none"> Tramo recto: 10 a 15 cm. Tramo a 90°: 20 cm. 		
Tuberías			
	Congestión en la zona de baños y en la zona de los tableros eléctricos.		
Juntas de llenado			
	Rugosas y sin forma establecida.		
Recubrimientos de losa			
	5 cm sobre la malla superior. 3 a 5 cm bajo la malla inferior.		

Tabla 2.5.2: Muros Representativos

Numero de Pisos	5 y 7	
Espesor de Muros	Muros de 10 o 12 cm, mayormente muros de 10 cm.	
Altura de piso a techo	2.4 m	
Rango de densidad de muros	<ul style="list-style-type: none"> Área Muros / Área de Planta: $d_{mp} = 2.5$ a 3.5% Área Muros / Área Techada: $d_{mt} = 0.45$ a 0.55% 	
Refuerzo Distribuido		<p>Características de Muros</p>
Disposición	Una malla electrosoldada de refuerzo central distribuido.	
Cuantías	2.5 a 3 cm ² /ml.	
Malla Típica	8 mm @ 20 cm.	
Refuerzo Vertical Concentrado en Extremos de Muros		<p>Traslape Horizontal</p>
Refuerzo	Concentrado, amarrado en extremos al refuerzo horizontal.	
Cuantías	Entre 1 φ 3/8" y 7 φ 1/2".	
Separaciones	Entre 5 cm y 10 cm.	
Confinamiento	No existen. Sólo amarre de refuerzo en extremos de 5 a 9 cm.	
Refuerzo Vertical Concentrado en Muros en Esquina		
Núcleos confinados	No existen. Sólo traslapes en "L".	
Cuantías	Entre 2 φ 3/8" y 8 φ 1/2".	<p>Traslape Horizontal</p>
Separaciones	Entre 5 cm y 10 cm.	
Traslapes Horizontales		<p>Traslape Horizontal</p>
Central recto	Entre 30 y 50 cm.	
En esquinas	Aproximadamente 30 cm.	
Traslapes Verticales		
Ubicación	La zona de traslape es en la zona de las espigas del muro inferior.	
Traslape Central	Mayor o igual a 40 cm.	
Traslape en extremos	Mayor o igual a 50 cm.	
Tratamiento Superficial	No existe tratamiento en la junta con la losa. A veces es empeorado con alisado de la superficie.	
Tuberías		
Eléctricas	Más del 70% van embebidas en los muros.	
Sanitarias	Entre 30 y 70% menores a 2" de diámetro, embebidas en muros.	
Montantes	Por ductos (internos o externos) o por ensanches de muros.	
Encofrados	Metálicos.	
Tipo de Vaciado	Muros y Losa en conjunto.	
Resanes	Más del 50% de los paños muro presentan algún tipo de resane.	

Tabla 2.5.3: Losa Representativa

Tipo de Losa	Losa Maciza	
Dimensiones de Losa		
Espesor de Losa	De 10 a 12.5 cm, siendo más comunes las de 12 cm.	
Ensanches de Losa	Ensanche de 20 cm, usados en zona de baños.	
Refuerzo de Losa		
Tipo	Mallas Electrosoldadas: Losa de 10 cm → Una capa Losa de 12 cm → Dos capas	
Cuantías		
Losas de 10 cm	Aprox. 1.88 cm ² /ml (8 mm @ 25 cm)	Espesor = 10cm Malla Centrada: 1.88 cm ² /ml (8mm @ 25cm) Bastones Negativos: 2 a 2.5 cm ² /ml (8mm @ 25cm)
Losas de 12 cm	Sup: entre 2 y 2.5 cm ² /ml (3/8" @ 30 cm) Inf: entre 2 y 2.5 cm ² /ml (3/8" @ 30 cm)	Espesor = 12cm Acero Negativo: Malla: 2 a 2.5 cm ² /ml (3/8" @ 30cm) Bastones: 3 a 3.5 cm ² /ml (8mm @ 15cm) Acero Positivo Malla: 2 a 2.5 cm ² /ml (3/8" @ 30cm) Bastones: 5 cm ² /ml (2φ 8mm @ 40cm)
Bastones		
Losas de 10 cm	(+) 2 a 2.5 cm ² /ml (8mm @ 25 cm) (-) 4.5 a 5 cm ² /ml (12mm @ 25 cm)	Bastones Positivos: 4.5 a 5 cm ² /ml (12mm @ 25cm)
Losas de 12 cm	(+) 5 cm ² /ml (2φ 8mm @ 40 cm) (-) 3 a 3.5 cm ² /ml (8mm @ 15 cm)	
Anclaje del Refuerzo de la Losa		
Anclaje	Generalmente no hay anclaje de la malla en el muro. Con poca frecuencia se usan doblados verticales de 15 cm en la malla.	
Recubrimientos		
Recubrimiento	Mínimo de 2 cm	<p>Generalmente, malla sin anclaje en muros</p>
Accesorios	Se utilizan separadores plásticos o dados de concreto.	
Tuberías		
Puntos de luz	Falta de recubrimiento al usar las salidas laterales de las cajas.	
Recubrimientos	Poco o nulo en zonas de congestión de tuberías (cerca de las cajas eléctricas).	
Juntas de Losa		
Forma	Irregular y rugosa.	
Tratamiento	Ninguno.	
Ubicación	Dependerá del método de vaciado utilizado. Suele estar en el límite entre departamentos.	

Capítulo 3: Normas para la Construcción de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

En este capítulo se revisaran las normas que existen para el diseño y construcción de los edificios de muros de ductilidad limitada: norma de suelos E-050, norma de diseño sismorresistente E-030 y norma de diseño en concreto E-060. La norma de suelos E-050 se modificó en el año 2004, con lo cual se incluyen temas que no se tocaban antes como las losas de cimentación. En el mismo año se hizo un añadido a las normas E-030 y E-060 para regular el diseño y construcción de los edificios de muros de ductilidad limitada.

A continuación se comentarán brevemente los aspectos más relevantes de estas normas en relación a los EMDL.

3.1 Norma de Suelos E-050

Profundidad de Cimentación

No se especifica el valor mínimo para la profundidad de cimentación de las losas de cimentación (distancia del fondo de la losa a la superficie del terreno natural, Figura 3.1.1).

Se indica que las losas de cimentación deben llevar dientes perimetrales de concreto armado cimentados a una profundidad mínima de 40 cm, medida desde la superficie del terreno o desde el piso terminado, la que sea menor (Figura 3.1.2). En obra se encontraron siempre dientes cimentados a una profundidad mayor a la mínima requerida por esta norma.

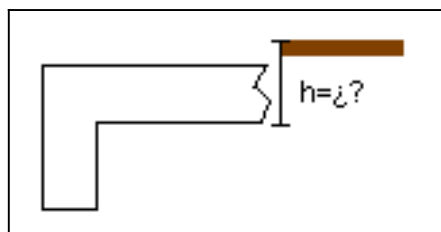


Figura 3.1.1: Profundidad de Cimentación de la Losa

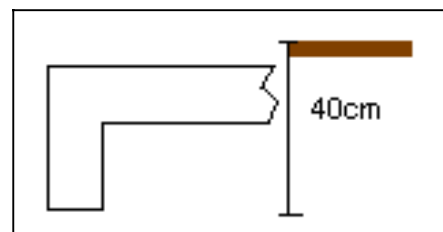


Figura 3.1.2: Profundidad de Cimentación de los Dientes

Rellenos Controlados

La norma no indica como calcular la presión admisible en el relleno controlado que sirve de apoyo a las losas de cimentación. Tampoco indica el espesor mínimo que debe tener este relleno (Figura 3.1.3).

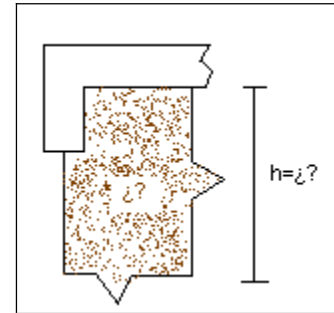


Figura 3.1.3:
Profundidad de
Cimentación

Los suelos seleccionados con los que se construyen los rellenos controlados, deben ser compactados a una densidad mayor o igual al 90% de la máxima densidad seca del proctor modificado si tienen más de 12% de finos o al 95% si tienen menos o igual al 12% de finos (ASTM D1557). En obra se ha podido ver que en la mayoría de los casos el relleno controlado se compacta al 95% del proctor modificado en las primeras capas y en la última capa al 99%.

3.2 Norma de Diseño Sismorresistente E-030

Coefficiente de Reducción (R)

Para el análisis y diseño sísmico del edificio se deberá usar $R = 4$ o $R = 4 \times 3/4$ para edificios con irregularidades. La reducción en el valor de R a 4 en lugar de 6, que es el empleado para edificios tradicionales de muros de concreto armado, se debe a que como estos edificios son menos dúctiles deben elevar su resistencia para poder tener un nivel de seguridad comparable al de otras estructuras.

Desplazamientos Laterales

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso dividido entre la altura de entrepiso no debe exceder de 0.005. Este valor es menor que el de otros edificios de concreto armado (0.007 para edificios convencionales).



**Foto 3.1.1: Separación
entre Bloques**

La separación entre dos bloques de un EMDL es igual a la separación normada para cualquier edificio de concreto armado. En obra se ha podido apreciar que el espesor de junta que se suele dejar entre dos bloques es de aproximadamente 50 mm (Foto 3.1.1).

Número de Pisos

Se indica que el máximo número de pisos que se puede construir con el sistema de muros de ductilidad limitada es de 7. Por otro lado, cuando se emplee este sistema en edificios de mayor altura, sólo los 6 últimos niveles podrán ser de MDL y los pisos inferiores deberán ser necesariamente muros de concreto armado con espesores mayores o iguales a 15 cm que permitan confinar sus extremos con estribos.

En obra se han visto EMDL de hasta 7 pisos que emplean únicamente muros de 10 cm. También, se han visto casos de edificios de hasta 9 pisos con una combinación de muros de 10 cm, 12 cm y 15 cm en todos los pisos.

Irregularidades en Altura

Bajo condiciones especiales la norma E-030 permite la construcción de EMDL con sistemas de transferencia. Teóricamente se podrían construir MDL sobre un primer piso de estacionamientos, sin embargo, los requisitos de diseño por capacidad hacen poco viable el proyecto.

3.3 Norma de Diseño en Concreto E-060

Materiales

El acero de las barras de refuerzo en los muros de los EMDL debe ser fabricado siguiendo las especificaciones ASTM A615 o ASTM A706 y las mallas electrosoldadas deben cumplir con las especificaciones ASTM A496 y A497. De acuerdo los fabricantes y a los ensayos analizados, las barras y mallas cumplen con estos requisitos.

El diseño de mezclas para los muros de espesores reducidos debe tomar en cuenta las condiciones de trabajabilidad y debe tener como mínimo una resistencia a la compresión

de 175 kg/cm^2 . Para asegurar la trabajabilidad se emplean aditivos plastificantes y un tamaño máximo de agregado de $1''$. En obra se ha apreciado que se emplean concretos de 175 o 210 kg/cm^2 , siendo más común el uso de concreto de 175 kg/cm^2 .

El concreto debe ser curado por lo menos los 7 primeros días después de su colocación, sin embargo, en obra se ha visto que en la mayoría de los casos los muros y losas de los EMDL son curados sólo 3 días.

Diseño de Muros

Para el diseño de los MDL se puede usar malla electrosoldada (utilizando para el diseño un valor máximo de esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm^2) como refuerzo repartido o distribuido de los muros de edificios de hasta 3 pisos. En el caso de un mayor número de pisos se puede usar mallas sólo en los pisos superiores, debiéndose usar barras de acero convencional en el tercio inferior de la altura del edificio. En obra se han apreciado edificios de hasta 7 pisos en los cuales se emplea refuerzo de malla electrosoldada en todos los pisos.



Foto 3.1.2: Anclajes Rectos en la Cimentación

El espesor mínimo de los muros de ductilidad limitada debe ser de 10 cm. En ninguna de las obras visitadas hay edificios con muros de espesores menores.

Se indica que el refuerzo vertical de los muros debe estar adecuadamente anclado en la platea de cimentación mediante anclajes rectos o con gancho estándar de 90° . En obra, se ha visto que si se sigue esta práctica (Foto 3.1.2).

Para los muros delgados no es necesario confinar los extremos siempre y cuando la profundidad del eje neutro (c) cumpla con la siguiente expresión:

$$c < \frac{l_m}{600x \left(\frac{\Delta_m}{h_m} \right)}$$

Donde:

- l_m = Longitud del muro en el plano horizontal
- h_m = Altura total del muro
- Δ_m = Desplazamiento del nivel más alto del muro (calculado de acuerdo al artículo 16.4 de la norma E-030).

Esto es un cambio en la norma ya que antes se indicaba que todos los extremos se debían confinar.

Existe una nueva fórmula para el cálculo de la fuerza cortante en muros delgados:

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s = \phi (A_c \alpha \sqrt{f'_c}) + \phi (A_c \rho_h f_y) \quad \text{Donde } \alpha \text{ depende del cociente entre la altura total del muro y la longitud del muro en planta.}$$

La norma indica que el refuerzo vertical debe garantizar una adecuada resistencia al corte fricción (ϕV_n) en la base de todos los muros, debiéndose cumplir con la siguiente expresión:

$$\phi V_n = \phi \mu (N_u + A_v f_y)$$

Diseño de Losas de entrepiso y techo

Se especifica que para el diseño de losas se pueden emplear mallas electrosoldadas. En obra se ha visto que es más común el uso de malla electrosoldada como refuerzo para las losas de los EMDL.

Diseño de Cimentación

Cuando se empleen losas de cimentación sobre rellenos controlados se debe especificar en los planos del proyecto la capacidad portante del relleno y sus características. Sin embargo, no se detalla como calcular la capacidad portante del relleno ni se dan valores mínimos para su profundidad.

Las losas de cimentación deben tener dientes con una profundidad mínima por debajo de la losa o del nivel exterior, el que sea más bajo, de 60 cm en la zona de los límites de propiedad y 2 veces el espesor de la losa en zonas interiores. Estos valores no concuerdan con lo indicado por la norma E-050.

Construcción

Conductos y Tuberías Embebidas en el Concreto

Se puede embeber en el concreto elementos de cualquier material no dañino para éste, siempre que se considere que no reemplazan estructuralmente al concreto desplazado. Se indica que el diámetro exterior de dichos elementos no debe ser mayor de un tercio del espesor total del muro o losa en el que estén embebidos.

En obra se ha visto que en algunos casos la congestión de tuberías es muy alta. Un caso específico es el de las cajas eléctricas de 8 cm embebidas en muros de 10 cm (Foto 3.1.3 y 3.1.4).



Figura 3.1.3: Congestión de Tuberías



Figura 3.1.4: Caja Eléctrica

Las tuberías deben ser instaladas de tal manera que no se requiera que las barras de refuerzo se corten, doblen o desplacen fuera de su ubicación adecuada, en obra muchas veces no se tiene el cuidado suficiente como para evitar esto (Foto 3.1.5).

La norma indica valores mínimos para el recubrimiento de las tuberías, pero en muchos casos la tubería es mal colocada, no permitiendo que se cumplan con estos valores mínimos (Foto 3.1.6).



Figura 3.1.5: Refuerzo Doblado



Figura 3.1.6: Falta de Recubrimiento

Colocación del Refuerzo

El recubrimiento del acero de refuerzo en los extremos de los muros debe ser como mínimo de 2.5 cm. El refuerzo se debe colocar asegurándose que durante el vaciado no se produzcan desplazamientos que sobrepasen las tolerancias permisibles del recubrimiento.

En obra se han visto que sí se cumple con el valor mínimo de 2.5 cm de recubrimiento, sin embargo en muchos casos el refuerzo se dobla (debido a una mala colocación) no permitiendo un adecuado recubrimiento.

Juntas de Construcción

La norma específica un tratamiento especial para las juntas de construcción que incluye mantener las juntas limpias y sin exceso de agua o lechada, pero en obra se ha visto que en la mayoría de los casos las juntas no reciben ningún tratamiento (Foto 3.1.8).



Foto 3.1.8: Junta Muro-Losa

Capítulo 4: Estimación de Pérdidas por Sismo en Edificaciones

4.1 Daño e Intensidad

El daño que un sismo ocasiona en las estructuras varía con el tipo de suelo sobre el que se encuentren, el sistema estructural, el estado de conservación, el diseño, la construcción, etc. (Figura 4.1).

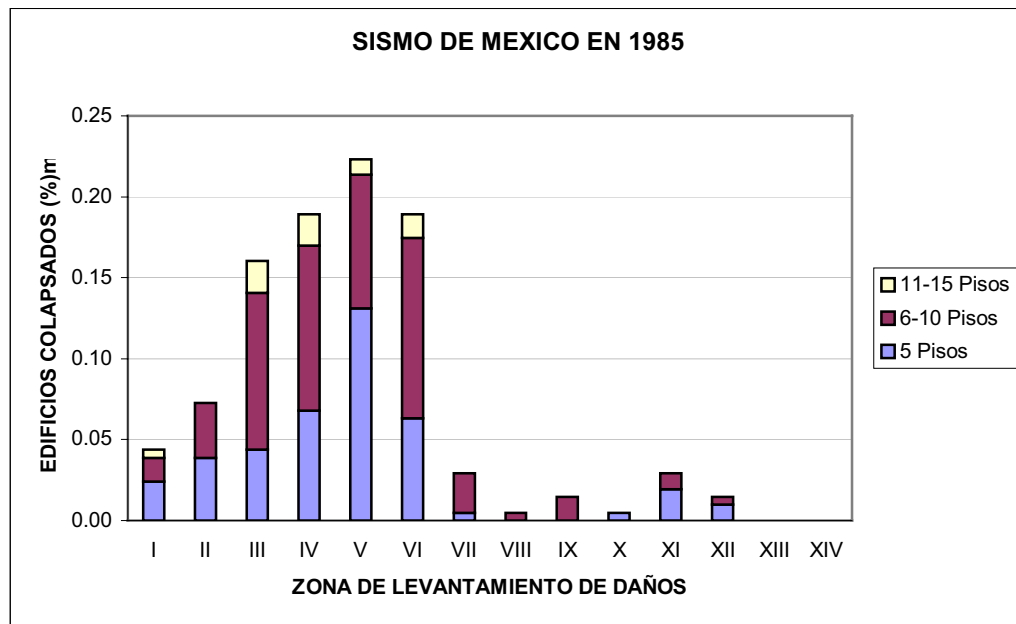


Figura 4.1: Porcentaje de edificaciones versus daño causado por un sismo (Astorga-Aguilar, 2006)

Existen fuertes variaciones en el daño que sufren edificaciones del mismo tipo estructural, en la misma ubicación geográfica y sobre el mismo tipo de suelo. Por esta razón la relación Intensidad – Daño sólo puede ser representada en términos de probabilidades.

Para estudiar la relación Intensidad – Daño es necesario representar cuantitativamente la intensidad y el daño.

Factor de Daño (FD)

Luego de un terremoto la intervención en un edificio afectado puede consistir en la reparación del daño ocasionado o puede significar la demolición y construcción de un nuevo edificio. El costo que significaría la reparación del edificio (sin ninguna mejora) se

toma como una medida del valor de la pérdida (VP). El costo de reemplazar el edificio dañado por uno igual (sin mejorar sus características) se denomina valor de reemplazo completo (VR).

Para cuantificar el daño de manera sencilla se usa el cociente entre el valor de la pérdida y el valor de reemplazo, cociente al que se denomina Factor de Daño (FD).

$$\text{Factor de Daño (FD)} = \frac{\text{Valor de pérdida (VP)}}{\text{Valor de reemplazo completo (VR)}}$$

El factor de daño es una variable continua, y es necesario definir rangos de valores, denominados estados de daño. El punto medio del rango se llama Factor de Daño Central (FDC). La tabla 4.1 muestra los estados de daño y los rangos de valores sugeridos para el FD por el ATC 13 (1985).

Tabla 4.1: Estados de daño considerados en el reporte ATC 13

ESTADO DE DAÑO (ED)	RANGO FACTOR DE DAÑO (FD)	FACTOR DE DAÑO CENTRAL (FDC)
NINGUNO	0	0
MUY LEVE	0 – 0.01	0.005
LEVE	0.01 – 0.10	0.05
MODERADO	0.10 – 0.30	0.20
ALTO	0.30 – 0.60	0.45
SEVERO	0.60 – 0.99	0.80
COLAPSO	1.00	1.00

Intensidad

La severidad del movimiento producido por un sismo en una ubicación determinada se denomina Intensidad. La escala de intensidades más difundida es la de Mercalli Modificada (IMM) en la que los primeros grados dependen de la percepción de las personas, los grados intermedios del comportamiento de las estructuras y los últimos de los cambios originados en el paisaje.

También se puede expresar la severidad de un movimiento sísmico en términos de la aceleración máxima o aceleración pico que experimenta el suelo. Es conocido que un determinado valor de la aceleración pico no produce el mismo efecto (intensidad) en regiones con condiciones sismo tectónicas diferentes. Sin embargo para cada región sismotectónica en particular, se suele aceptar una correlación directa entre intensidad y aceleración.

Se han propuesto muchas relaciones entre la intensidad del movimiento y la aceleración pico del suelo. En la tabla 4.2 se muestra la correlación usada en este trabajo para la intensidad Mercalli Modificada y la aceleración pico del suelo (g) (Sauter, 1978).

Tabla 4.2: Correlación entre Intensidad M.M. y Aceleración pico del suelo

Intensidad (IMM)	Rango Aceleraciones Pico del Suelo (g)	Aceleración Pico del Suelo promedio (g)
I - V	< 0.05	0.05
VI	0.05 - 0.10	0.08
VII	0.10 - 0.20	0.15
VIII	0.20 - 0.35	0.28
IX	0.35 - 0.50	0.43
X -XII	> 0.50	0.50

Distribución del daño

Durante los terremotos severos se observa que edificaciones con las mismas características, sobre el mismo estrato de suelo y en la misma localidad sufren daños diferentes. La figura 4.2 muestra la distribución del FD para 500 estructuras sometidas a una intensidad determinada.

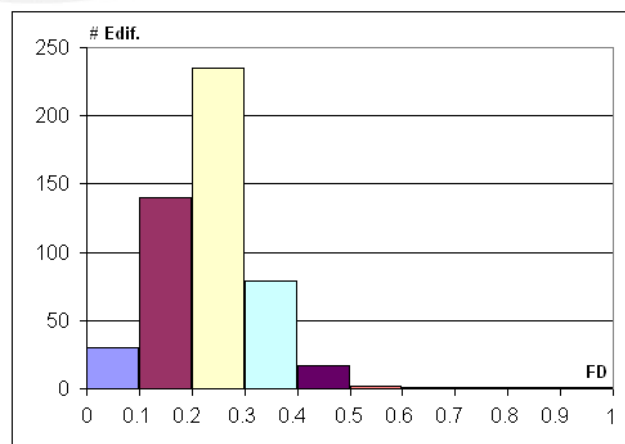


Figura 4.2 Distribución del Factor de Daño (FD)

4.2 Representación de la Relación Intensidad – Daño

El daño que puede sufrir una edificación ante la ocurrencia de eventos de diferente intensidad se representa en términos de probabilidades mediante funciones denominadas curvas de fragilidad o mediante arreglos denominados matrices de probabilidad de daño.

Curvas de Fragilidad

Cada curva corresponde a un FD determinado y relaciona la intensidad sísmica (eje horizontal) con la probabilidad de que una estructura del tipo considerado exceda el factor de daño fijado para la curva (eje vertical).

La figura 4.3 muestra 5 curvas de fragilidad para edificios de muros de albañilería reforzada en el estado de California en Estados Unidos (ATC 13, 1985). En este caso la intensidad está expresada en la escala IMM y las curvas corresponden a los siguientes factores de daño: 0.99, 0.60, 0.30, 0.10 y 0.01. Estos valores del FD corresponden a las cotas superiores de los rangos de

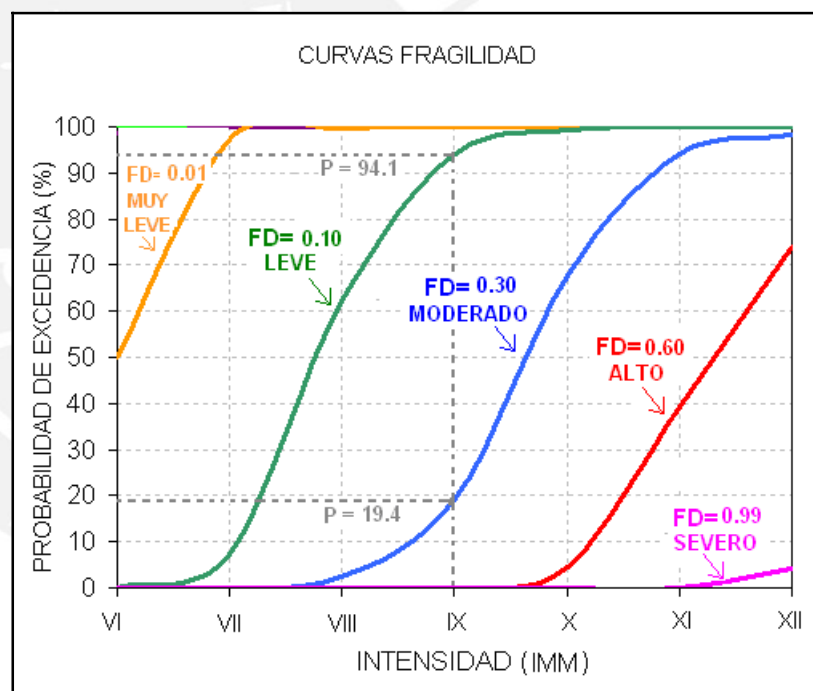


Figura 4.3: Curvas de fragilidad para edificios de muros de albañilería reforzada (ATC 13,1985)

daño sugeridos en el ATC 13: severo, alto, moderado, leve y muy leve.

Estas curvas muestran por ejemplo que para una intensidad IX MM, la probabilidad de exceder el $FD = 0.10$ es 94.1%, mientras que para un $FD = 0.30$ la probabilidad de excedencia es de 19.4%.

De estas curvas también podemos deducir que de producirse un evento con intensidad IX MM, la probabilidad que el daño esté entre $FD = 0.10$ y $FD = 0.30$ será de $94.1\% - 19.4\% = 74.7\%$. Como los extremos del estado de daño moderado son justamente 0.10 y 0.30 , entonces podemos decir que ante una intensidad IX la probabilidad de que una estructura quede con un daño moderado es de 74.7% .

En general para una intensidad determinada, la diferencia de probabilidades de excedencia corresponde a la probabilidad de que el daño ocurra dentro del rango de los extremos. Por esta razón las regiones limitadas por las curvas de fragilidad corresponden a la probabilidad de ocurrencia en cada rango de daño (Figura 4.4).

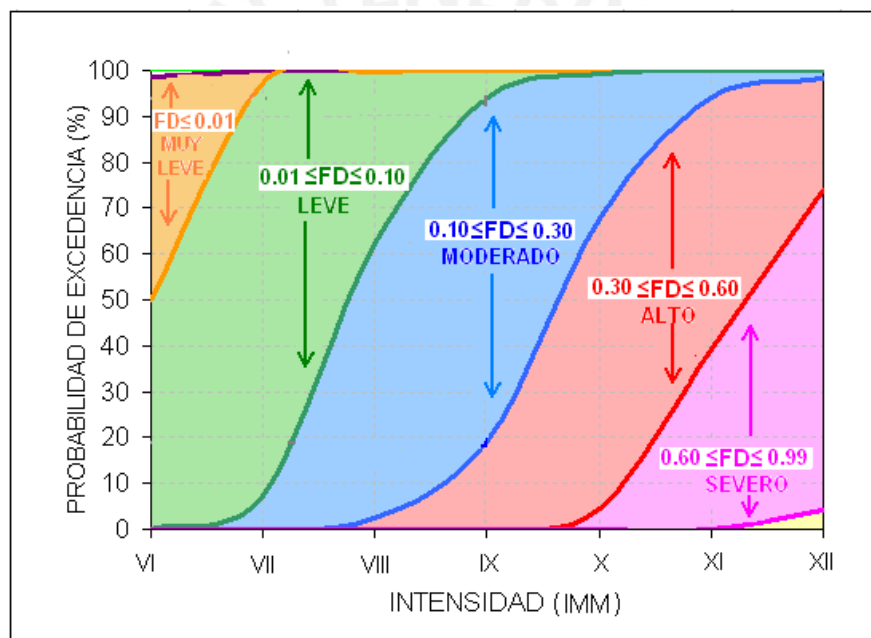


Figura 4.4: Probabilidad de ocurrencia de cada rango de daño para edificios de muros de albañilería en California-EEUU (ATC 13,1985)

Matrices de probabilidad de daño

Estos arreglos se construyen para cada sistema estructural. Cada una de las entradas del arreglo corresponde a la probabilidad de que un edificio del tipo estructural considerado tenga daño en un rango fijado (filas de la matriz) ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad sísmica (columnas de la matriz). La tabla 4.3 muestra la matriz de probabilidad para los mismos edificios de muros de albañilería reforzada en California (ATC 13,1985).

Tabla 4.3: Matriz de probabilidad de daño para edificios de muros albañilería reforzada en California (ATC 13, 1985)

RANGO FACTOR DE DAÑO / ESTADO DE DAÑO	FACTOR DAÑO CENTRAL (FDC)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE (%)							
		VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
0 / NINGUNO	0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0 – 0.01 / MUY LEVE	0.005	48.6	2.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.01 – 0.10 / LEVE	0.05	49.9	89.8	37.6	5.9	0.7	0.0	0.0	0.0
0.10 – 0.30 / MODERADO	0.20	0.0	7.4	59.6	74.7	31.6	5.9	1.9	0.0
0.30 – 0.60 / ALTO	0.45	0.0	0.0	2.6	19.4	63.3	54.9	24.3	0.0
0.60 – 0.99 / SEVERO	0.80	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	39.2	69.6	0.0
1.00 / COLAPSO	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0

Se observa que en la intersección de la fila correspondiente al rango de daño 0.10 – 0.30 y la columna para intensidad IX MM está el valor 74.7. Esto significa que una estructura de este tipo, bajo una intensidad IX MM tendrá 74.7% de probabilidad de tener un FD entre 0.10 y 0.30, es decir de tener un daño moderado.

4.3 Obtención de las Relaciones Intensidad – Daño

Obtención de Curvas de Fragilidad:

Para obtener las curvas de fragilidad es necesario conocer la distribución del daño para diferentes valores de intensidad.

La figura 4.5 muestra la distribución porcentual de frecuencias para la variable FD en una población de 500 edificaciones sometidas a una intensidad IX MM. Para construir el gráfico de barras, el daño se ha agrupado en intervalos de 0.10.

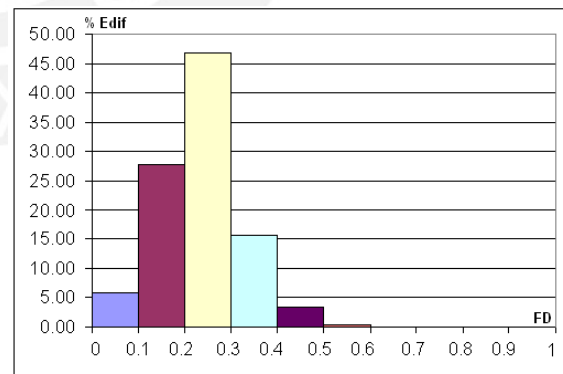


Figura 4.5: Distribución del FD en 500 edificaciones para un sismo de intensidad IX IMM

Es necesario manejar la distribución del daño mediante una función de densidad de probabilidades a la que denotaremos por p . La figura 4.6 muestra la función de probabilidad usada para los edificios de muros de albañilería reforzada en California.

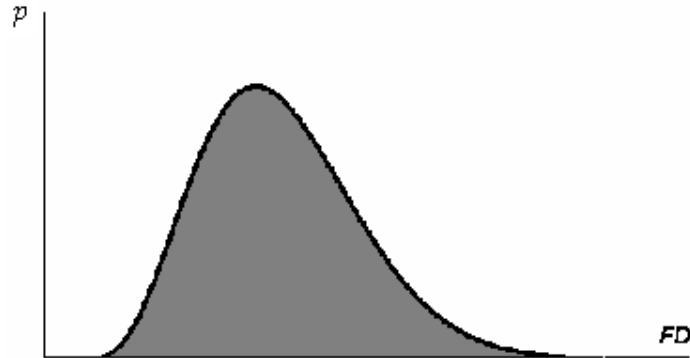


Figura 4.6: Función de probabilidad de daño para edificios de muros de albañilería reforzada en California (ATC-13)

Con esta función de probabilidades es posible calcular la probabilidad de que el daño en una estructura determinada no exceda un determinado valor del factor de daño $FD = d_i$. Esta función se denomina función de probabilidad acumulada o probabilidad de no excedencia, se representa por P y se obtiene integrando la función de densidades entre 0 y d_i , es decir:

$$P = \int_0^{d_i} p \, dFD$$

La probabilidad de que una estructura exceda un determinado valor de daño se denomina probabilidad de excedencia, se representa por $P.E.$ y constituye el complemento a 1 de la probabilidad de no excedencia, por tanto:

$$P.E = 1 - P = 1 - \int_0^{d_i} p \, dFD$$

La relación entre la función de probabilidad (p), la función de probabilidad acumulada (P) y la función de probabilidad de excedencia ($P.E.$), se muestra en la figura 4.7.

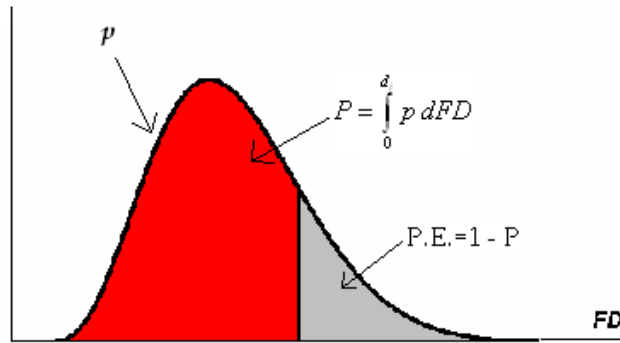


Figura 4.7: Relación entre las funciones (p), (P) y (P.E)

La figura 4.8 muestra las probabilidades de no excedencia y de excedencia (eje izquierdo y derecho respectivamente) correspondientes a la función de densidad asumida para las edificaciones ante una intensidad IX MM. Vemos que de producirse una intensidad IX, una estructura de albañilería armada en California tendría una probabilidad de 80.62% de no exceder el FD de 0.30 o dicho en otras palabras, tendría sólo una probabilidad de 19.40% de exceder este valor de daño.

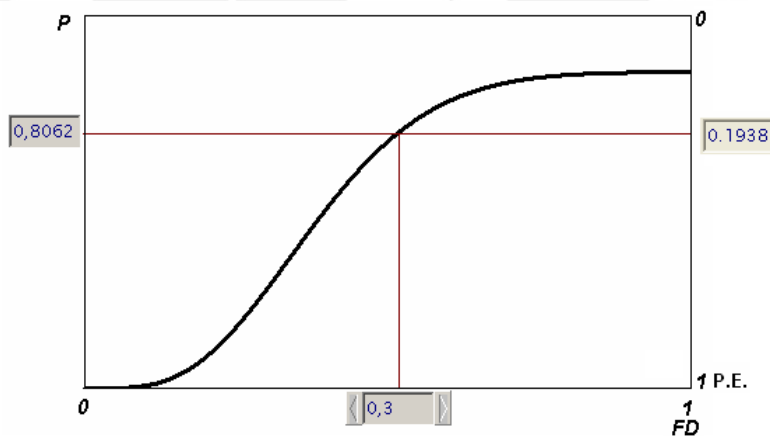


Figura 4.8: Probabilidades de no excedencia y de excedencia

Para poder construir la curva de fragilidad correspondiente a un factor de daño determinado (FD=0.30 en el ejemplo) es necesario contar con funciones de probabilidad de excedencia para diferentes intensidades. De cada una de estas funciones obtenemos la probabilidad de excedencia que corresponde al FD fijado para la curva. La figura 4.9 resume el algoritmo de cálculo.

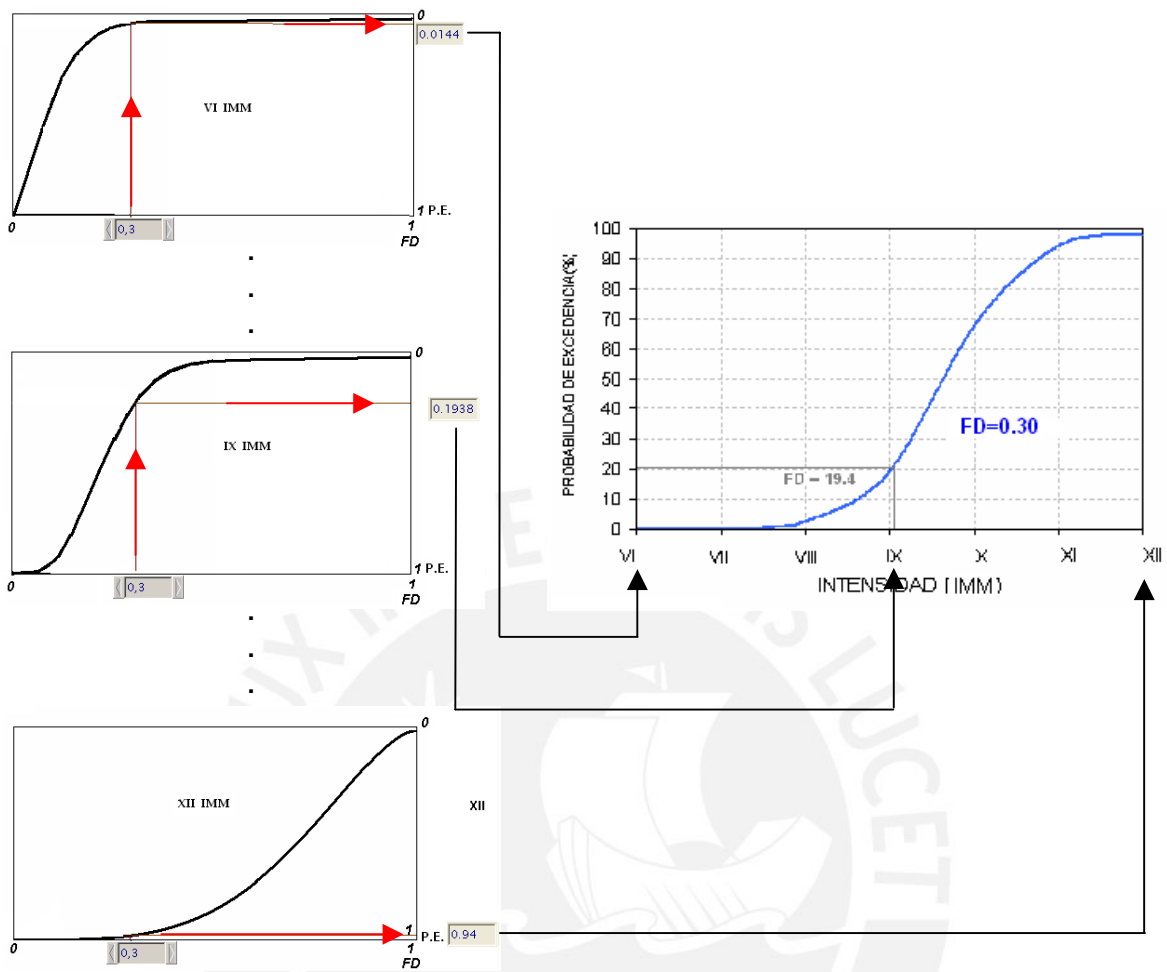


Figura 4.9: Curva de fragilidad para FD=0.30

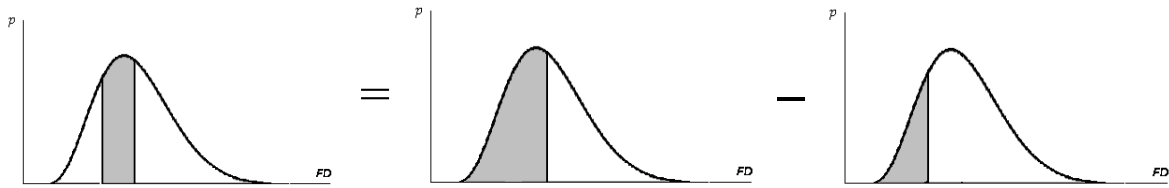
Obtención de matrices de probabilidad de daño

Cada término de la matriz (q) representa la probabilidad de que el daño quede entre cierto rango para una intensidad sísmica dada. Es posible hallar esta probabilidad de ocurrencia integrando la función de densidad de probabilidades entre los límites mínimo (dmin) y máximo (dmax) correspondientes al rango de daño elegido.

$$q = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} p \, dFD$$

Esta probabilidad de ocurrencia (q), se puede expresar también en términos de las probabilidades de no excedencia correspondientes a los valores de dmin y dmax como:

$$q = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} p \, dFD = \int_0^{d_{\max}} p \, dFD - \int_0^{d_{\min}} p \, dFD = P_{d_{\max}} - P_{d_{\min}}$$



También es posible determinar cada término de la matriz de daño a partir de las curvas de fragilidad correspondientes a los FD máximos y mínimos de cada estado de daño.

Con relación a la figura 4.3, para determinar la probabilidad de ocurrencia de un daño moderado se restan los valores de las curvas de fragilidad correspondientes a los límites del rango ($FD = 0.10$ y $FD = 0.30$).

Este proceso se repite para obtener los demás términos de la matriz.

4.4 Estimación de Pérdidas por Sismo

Como la distribución del daño en las edificaciones es de naturaleza variable, la estimación de pérdidas por sismo sólo se puede hacer en términos de probabilidades.

El daño en un grupo de edificaciones del mismo tipo sometidas a la misma intensidad no es ni constante ni completamente predecible. Por esta razón sólo se puede hablar de un valor de pérdida probable y en su estimación se debe considerar la naturaleza aleatoria del problema.

Supongamos N edificios de un sistema estructural determinado, que luego de un evento de cierta intensidad quedan afectados de tal manera que la distribución del daño se representa por la función p mostrada en la figura 4.10.

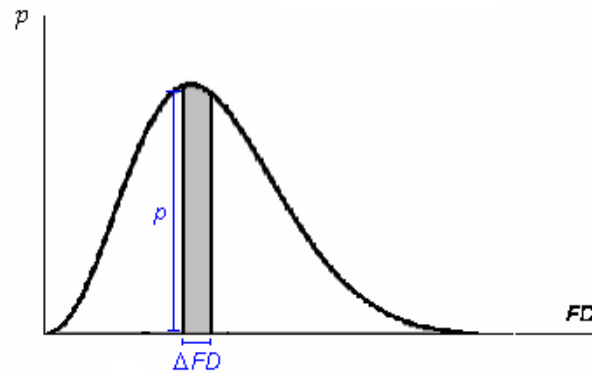


Figura 4.10: Función de distribución de daño “p”

La probabilidad que el daño esté entre d y $d+\Delta FD$ será:

$$p \cdot \Delta FD$$

y el número de edificaciones cuyo estado de daño cae en el intervalo d y $d+\Delta FD$ será:

$$N \cdot p \cdot \Delta FD$$

Por tanto el valor de las pérdidas en este número de edificios se obtendrá multiplicando este número de edificios por el factor de daño central $(d+\Delta FD/2)$ y por el valor de reemplazo de un edificio (VR).

Despreciando términos de segundo orden, tendremos entonces que las pérdidas asociadas a un diferencial del factor se calculan como:

$$N \cdot p \cdot \Delta FD \cdot \left(d + \frac{\Delta FD}{2}\right) \cdot VR$$

$$N \cdot p \cdot \Delta FD \cdot d \cdot VR$$

Luego para calcular el valor de la pérdida total probable integramos la expresión anterior:

$$\text{Valor Pérdida Probable} = \int N \cdot p \cdot d \cdot VR \cdot dFD$$

Como N y VR son constantes entonces:

$$\text{Valor Pérdida Probable} = N \cdot VR \int p \cdot d \cdot dFD$$

En función de la pérdida total se puede ahora determinar un factor equivalente de daño medio (FDM) como el cociente entre el valor de la pérdida probable y el costo total de reemplazo de las N edificaciones.

$$FDM = \frac{\text{Valor pérdida probable en } N \text{ edificios}}{\text{Valor de reemplazo de } N \text{ edificios}} = \frac{N.VR. \int p.d.dFD}{N.VR}$$

$$FDM = \int p.d.dFD$$

Esta integral corresponde al momento estático respecto al eje vertical del área bajo la curva de densidad de probabilidades (Figura 4.11).

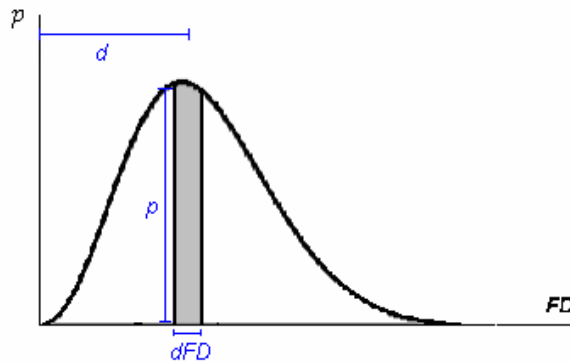


Figura 4.11: Momento estático de probabilidades

La distribución de probabilidades puede manejarse de manera discreta fraccionando el factor de daño en rangos que se representan por el factor de daño central (FDC) y al que corresponde un valor de la probabilidad de ocurrencia del daño (PDi) (Figura 4.12).

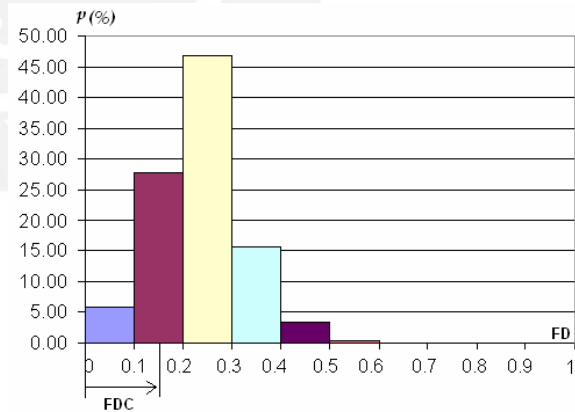


Figura 4.12: Representación discreta de probabilidades

En este caso el FDM se calcula también como el momento estático bajo la distribución de probabilidades discreta:

$$FDM = \sum_{i=1}^{\#Est.Daño} (PD_i)(FDC_i)$$

Una vez obtenido el FDM, el valor de la pérdida probable del conjunto de edificios se calcula como:

$$VPP = FDM. \text{ Costo de reposición total}$$

Cálculo del valor de la pérdida probable

A manera de ejemplo se muestra la estimación de la pérdida probable en dos escenarios sísmicos para un grupo de 50 edificios de albañilería con un área total construida de 80,000 m² y un costo de reemplazo de \$ 200/m².

Emplearemos los rangos de daño y factores mostrados en la tabla 4.1.

El primer escenario corresponde a una intensidad IX MM. Conociendo las curvas de fragilidad para los extremos de los rangos es posible obtener la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño (PDi) para la intensidad del escenario restando las correspondientes ordenadas de las curvas de fragilidad. La figura 4.13 muestra el detalle del procedimiento para el estado de daño moderado cuyo rango de daño es 0.10 a 0.30.

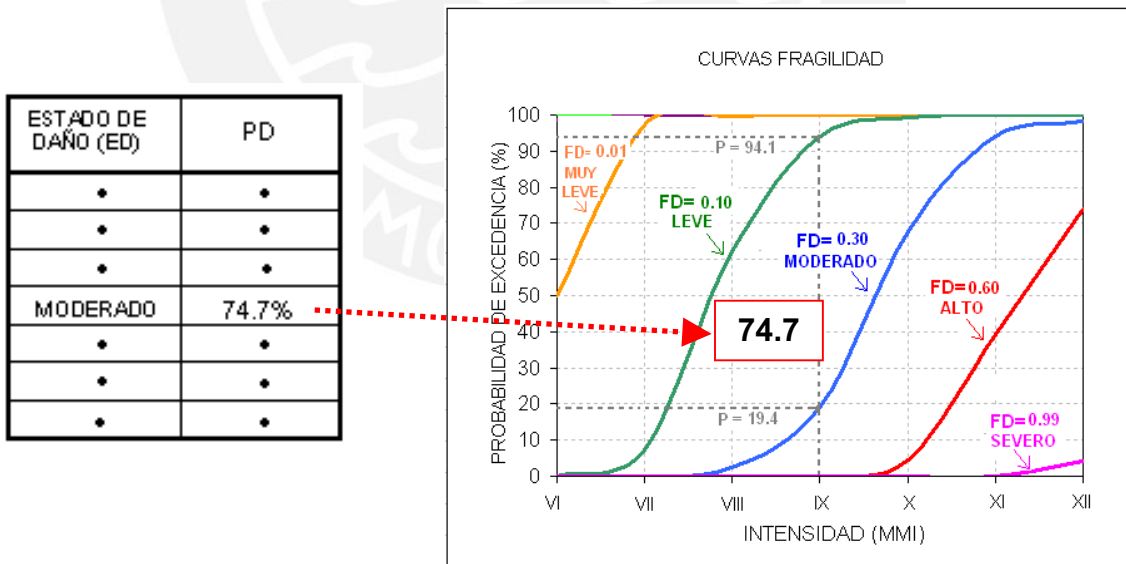


Figura 4.13: Procedimiento para la determinación de la probabilidad de ocurrencia para un estado de daño

Procediendo de manera similar se encuentran las demás probabilidades de ocurrencia (Tabla 4.4).

Luego el FDM será igual a $\sum PD * FDC = 24 \%$ y el valor probable de la pérdida será $(24\%)(80,000 \text{ m}^2) (\$200/\text{m}^2) = \$ 3'840,000$.

Estimaremos las pérdidas en el segundo escenario usando la matriz de probabilidad de daño mostradas en la tabla 4.5.

Tabla 4.4: Probabilidades de ocurrencia

ESTADO DE DAÑO (ED)	PD
NINGUNO	0.0%
MUY LEVE	0.0%
LEVE	5.9%
MODERADO	74.7%
ALTO	19.4%
SEVERO	0.0%
COLAPSO	0.0%

Tabla 4.5: Matriz de probabilidad de daño

ESTADO DE DAÑO (ED)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE (%)						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NINGUNO	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MUY LEVE	48.6	2.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
LEVE	49.9	89.8	37.6	5.9	0.7	0.0	0.0
MODERADO	0.0	7.4	59.6	74.7	31.6	5.9	1.9
ALTO	0.0	0.0	2.6	19.4	63.3	54.9	24.3
SEVERO	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	39.2	69.6
COLAPSO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2

Usando los factores de daño centrales (FDC) mostrados en la tabla 4.1 y las probabilidades de ocurrencia (PD) para la intensidad XII (Tabla 4.5) obtenemos:

$$FDM = \sum FDC * PD = 71\% \text{ y } VPP = 71\%(80,000 \text{ m}^2)(\$200/\text{m}^2) = \$11'360,000$$

4.5 Metodologías para Obtener Relaciones Intensidad – Daño

Para obtener las funciones o arreglos que representan la relación Intensidad – Daño en un sistema estructural determinado es necesario conocer el desempeño que tuvieron los edificios del sistema estructural estudiado durante diversos terremotos.

Si se cuentan con registros históricos de los eventos sísmicos y sus consecuencias es posible obtener estadísticas para ajustar modelos de distribución del daño para un sistema

estructural en particular. Si no se cuentan con registros históricos se puede recurrir a métodos analíticos o a la opinión de expertos.

Los métodos analíticos permiten simular el comportamiento de un gran número de edificaciones cuyas propiedades se manejan como variables aleatorias. Se generan muestras dando valores a estas variables, se calcula su respuesta ante diversos niveles de sismicidad y luego usando un indicador específico se cuantifica el daño.

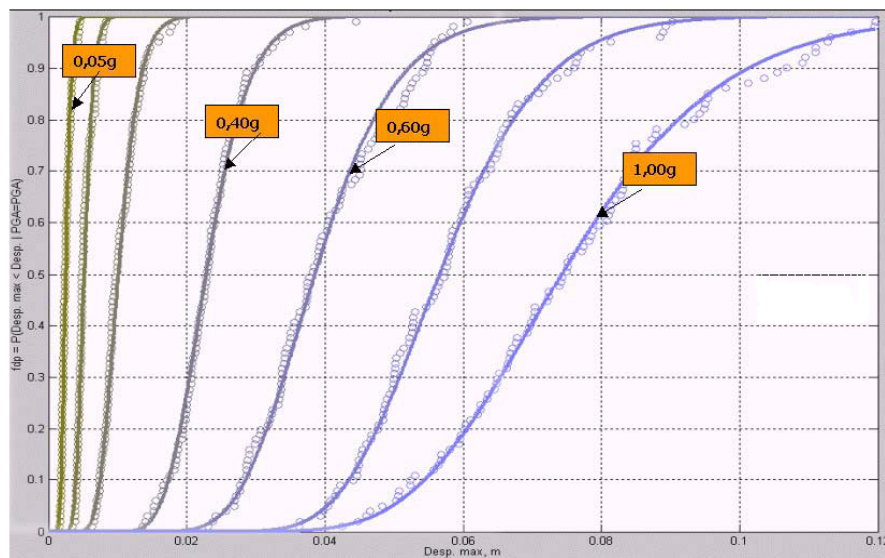


Figura 4.14: Función de distribución de probabilidad acumulada de los desplazamientos laterales máximos.

Con los resultados se obtienen funciones de probabilidad acumulada (Figura 4.14) a partir de las cuales se obtienen curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño.

Cuando no hay información suficiente sobre el sistema estructural en estudio o ésta se encuentra dispersa, se recurre a la opinión de expertos en análisis, diseño y patología estructural con el fin de construir funciones de distribución del daño.

Para recoger la opinión del grupo de expertos se prepara un cuestionario muy preciso dirigido a obtener los parámetros necesarios para construir las funciones de densidad de daño en diferentes escenarios de sismicidad. Luego en base a estas funciones de densidad se obtienen las funciones de probabilidad acumulada y finalmente las curvas de fragilidad y las matrices de daño.

Capítulo 5: Método Delphi

El Método Delphi está desarrollado para recabar información en aquellos casos en los cuales ésta no se encuentra disponible en forma sistemática o refinada y cuando forma parte de la experiencia profesional de expertos. En la actualidad este método resulta de gran utilidad en muchas áreas del conocimiento y del ejercicio profesional, como es el caso de la ingeniería sismorresistente. En la figura 5.1 se aprecian diversas aplicaciones del Método Delphi.

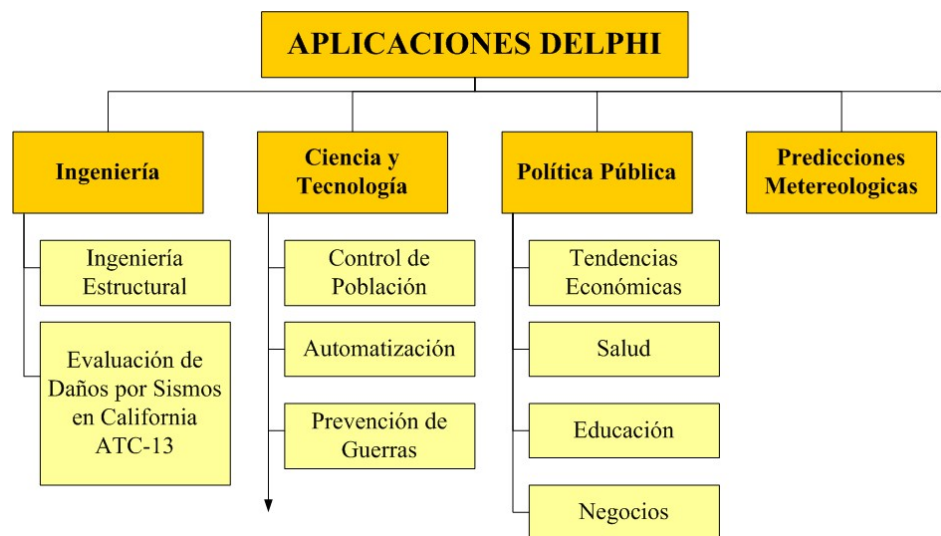


Figura 5.1: Aplicaciones del Método Delphi

El Método Delphi pretende conseguir el mayor acuerdo posible entre un grupo de expertos, cuya opinión grupal es considerada mejor que la opinión individual de cada especialista. Para conocer la opinión del grupo, el método emplea un cuestionario que es iterado dos o más veces hasta llegar a un consenso.

Al inicio del proceso Delphi se crea un grupo monitor que se encarga de formar el panel de expertos y de preparar y enviar los cuestionarios. Las respuestas de los cuestionarios son analizadas y enviadas a los expertos en cada iteración en forma de retroalimentación, de esta manera los expertos las pueden tener en consideración y si lo desean pueden variar su opinión en función a los resultados alcanzados. Se hacen iteraciones hasta alcanzar un cierto grado de acuerdo; en la mayoría de los estudios esto sucede luego de la segunda iteración. Al final del proceso las respuestas son presentadas en forma estadística.

5.1 Historia del Método Delphi

El Método Delphi recibe su nombre por el oráculo de Delfos de la Antigua Grecia (Foto 5.1). Los hombres de la antigüedad se dirigían al templo de Apolo en Delfos para que las pitonisas los ayudaran a averiguar lo que les deparaba el destino.



Foto 5.1: Templo de Apolo en Delfos.

Tal como las pitonisas ayudaban a predecir el futuro en el mundo antiguo, el Método Delphi intenta ayudar al entendimiento y anticipación del comportamiento de muchos fenómenos en el mundo moderno.

Los estudios de predicciones tecnológicas, que eventualmente llevaron al desarrollo del Método Delphi, se iniciaron en 1944. En ese periodo el General Arnold de la Fuerza Armada de E.E.U.U. solicitó a Theodor von Karman que realice una predicción sobre la futura capacidad tecnológica de la fuerza militar.

Luego en 1946 el General Arnold logró que la compañía Douglas Aircraft creara el proyecto RAND (que sería el pilar de la formación de la RAND Corporation) encargado de analizar el tema de tecnología de guerra intercontinental. Durante estas investigaciones surgieron varios interrogantes sobre la manera más óptima de tratar los casos de predicciones mediante grupos de expertos. (Cornish, 1977)

Durante los años cincuenta y sesenta, en el Centro de Investigación estadounidense RAND Corporation, Helmer-Hirschberg, Dalkey, Rescher, Gordon y otros investigadores desarrollaron las pautas teóricas, metodología y procedimientos del Método Delphi.



En 1959 Helmer-Hirschberg y Rescher publicaron un informe titulado “La Epistemología de las Ciencias Inexactas”, trabajo que defiende la recaudación de información por medio de expertos, herramienta válida para las áreas en las cuales no existe una ley científica sólida (Fowles, 1978).



La RAND Corporation llevó a cabo una de las primeras aplicaciones del Método Delphi, la cual se ilustra en las publicaciones de Gordon y Helmer-Hirschberg de 1964. El propósito de esta investigación fue el de evaluar la dirección de las tendencias a largo plazo y su efecto probable en la sociedad, con énfasis especial en las áreas de ciencias y tecnología.

El estudio de RAND cubrió seis rubros: descubrimientos científicos, control de población, automatización, progresos espaciales, prevención de guerras y tecnología de armas de guerra. Luego a mediados de los años sesenta el Método Delphi se volvió disponible al público.

Desde entonces se han desarrollado varios experimentos empleando Delphi. Ejemplos de estas experiencias incluyen el manejo a corto y largo plazo de los recursos de la lagunas Great Lakes realizado por el Michigan Sea Grant Program (Ludlow, 1975), el desarrollo de cargas vivas para los estándares del ANSI A58 (Corotes, 1981) y aplicaciones más recientes como la evaluación de la sismicidad del Este de E.E.U.U (EPRI, 1985) y el estudio de daños por sismos en el estado de California, conocido como el ATC-13, realizado por la RAND Corporation (ATC 13, 1985).

Entre las principales aplicaciones del Método de Delphi en ingeniería civil está el estudio de daños por sismos en el estado de California. En esta oportunidad, gracias a la participación de expertos en ingeniería estructural, se pudo correlacionar intensidades sísmicas y daños en 57 tipos de edificaciones. Se obtuvo una matriz de daños para cada sistema estructural, representando la relación entre intensidades sísmicas y daño.

El Consejo de Tecnología Aplicada de Estados Unidos elaboró un informe con los resultados de este trabajo que lleva el nombre de informe ATC-13 “Evaluación de daños por Sismo para el estado de California”. La figura 5.2 muestra la matriz de probabilidad de daños para edificios de madera en el estado de California (ATC 13, 1985).

RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR DE DAÑO CENTRAL	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE						
		VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	0	3.7	-	-	-	-	-	-
0 - 1	0.5	68.5	26.8	1.6	-	-	-	-
1 - 10	5	27.8	73.2	94.9	62.4	11.5	1.8	-
10 - 30	20	-	-	3.5	37.6	76	75.1	24.8
30 - 60	45	-	-	-	-	12.5	23.1	73.5
60 - 100	80	-	-	-	-	-	-	1.7
100	100	-	-	-	-	-	-	-

Figura 5.2: Matriz de Daño para Edificios de Madera en California (ATC 13, 1985)

5.2 Características Generales

Los métodos de expertos, entre los cuales se encuentra el método Delphi, utilizan como fuente de información un grupo de personas que cuentan con un elevado conocimiento en la materia a tratar. Estos métodos se emplean en los casos en los cuales no existen datos históricos con los que trabajar.

Los métodos de expertos cuentan con varias ventajas y desventajas. Las principales ventajas están ligadas con la popular idea que varias cabezas son mejor que una. La información recolectada por medio del método de expertos es más apegada a la realidad y toma en cuenta un mayor número de factores de los que podría considerar una encuesta al experto más versado en el tema.

Por otro lado, la principal desventaja radica en la presión social que el grupo ejerce sobre sus participantes, provocando acuerdos con la mayoría aunque la opinión de ésta sea errónea. Los grupos son vulnerables a la posición y personalidad de algunos de sus individuos, de esta manera un gran orador puede convencer al resto de participantes aunque su opinión no sea la más acertada.

El método Delphi pretende maximizar las ventajas y minimizar los inconvenientes de los métodos generales de encuestas a expertos. Espera obtener un consenso que sea lo más fiable posible al aprovechar el aspecto positivo del debate en conjunto y al eliminar las interacciones sociales indeseables que existen en todo grupo. Para lograr este objetivo el



método Delphi presenta tres características fundamentales: anonimato, iteración y retroalimentación controlada, y presentación de las respuestas en forma estadística (Fowles, 1978).

El anonimato se podría considerar como la característica clave en este método y se logra haciendo que durante este proceso ningún experto conozca la identidad de las otras personas que componen el grupo de debate. Las opiniones se obtienen mediante cuestionarios formales en los cuales se excluye la identidad del encuestado. Esto impide la posibilidad de que un miembro sea influenciado por la reputación de otro de los miembros o por el conflicto que significa oponerse a la mayoría. El anonimato también permite que un experto cambie de opinión sin que eso suponga una pérdida de imagen, dándoles la tranquilidad de defender sus ideas aunque éstas resultasen ser erróneas.

La iteración se consigue al presentar el mismo cuestionario en diversas rondas. Junto con el nuevo cuestionario se presentan los resultados del cuestionario anterior, sirviendo como retroalimentación para este proceso. De esta manera los expertos conocen los demás puntos de vista, dándoles la oportunidad de modificar sus respuestas si los resultados presentados les parecen más apropiados que los suyos.

La opinión del grupo siempre es definida de manera estadística. Durante cada iteración se presentan todas las opiniones indicando el grado de acuerdo que cada una obtuvo. Así mismo, el resultado final de la secuencia Delphi está dado por el conjunto de opiniones más reiteradas, acompañadas de la medida de dispersión de cada respuesta.

Otra característica interesante de Delphi es que éste emplea un sistema de resguardo contra la falta de conocimientos que algunos expertos pueden tener en una pregunta específica, dándole así un peso al nivel de confianza y experiencia de cada experto.

5.3 Recolección y Síntesis de Información en el Método Delphi

Dentro del procedimiento del método Delphi se pueden distinguir seis etapas: la formación del grupo monitor, la selección del panel de expertos, la preparación del cuestionario, el envío de la información al panel de expertos, el análisis de las respuestas al cuestionario y la publicación de la información recolectada (Figura 5.3).

5.3.1 Grupo Monitor

Lo primero que se debe hacer en un estudio Delphi es la constitución del grupo encargado del diseño de todas las fases (grupo monitor). El grupo monitor es un conjunto reducido de personas encargadas de definir los alcances del trabajo, preparar y analizar los cuestionarios, realizar las iteraciones y conducir el proceso.

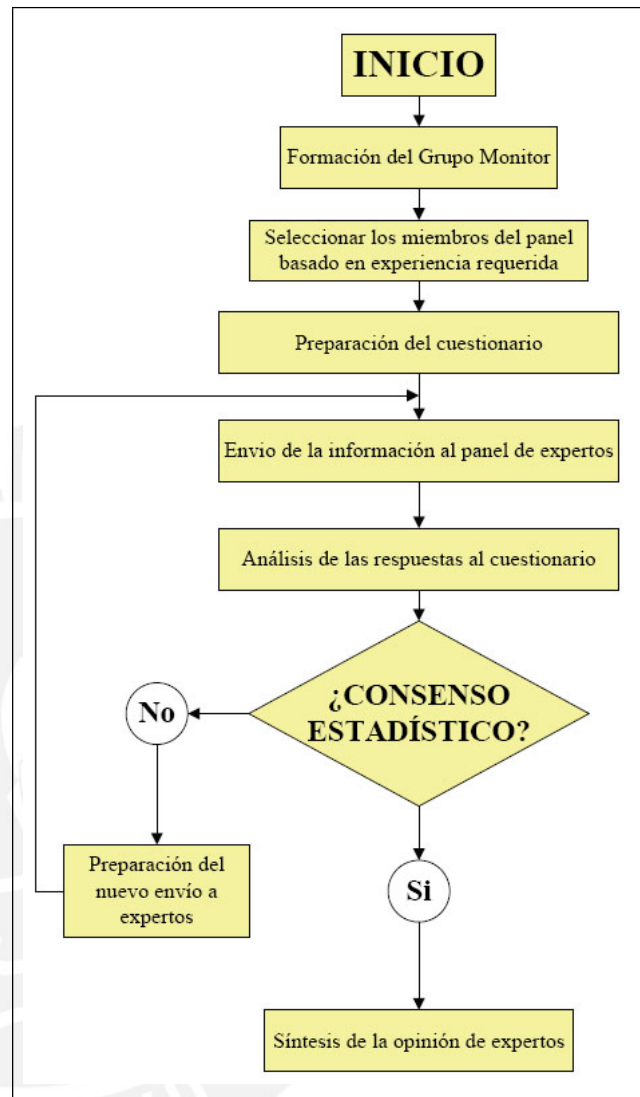


Figura 5.3: Etapas de procedimiento Delphi

Las funciones principales del grupo monitor incluyen: fijar los objetivos que se persiguen con el método Delphi, reunir la información inicial para el estudio del tema a tratar, fijar los criterios de selección de los panelistas (número y composición), realizar el estudio del tema de acuerdo al objetivo planteado, elaborar un cronograma detallado del tiempo que tomará realizar el proyecto, diseñar los cuestionarios, diseño de los métodos de tabulación y evaluación de la información obtenida, distribución y recolección de los cuestionarios y por último la presentación de la información final.

5.3.2 Formación del Panel de Expertos

Un experto es una persona con un alto conocimiento del tema, debido a su propia experiencia profesional o a sus trabajos de investigación. La selección adecuada del panel de expertos y la obtención de su compromiso de participación es una de las tareas de mayor cuidado.

Las personas elegidas deben ser conocedoras del tema en estudio y deben presentar una pluralidad en sus conocimientos para evitar así la aparición de sesgos en la información disponible. Así mismo, se debe asegurar diversidad en los puntos de vista, por lo tanto es recomendable que en el panel de expertos estén representadas todas las instituciones vinculadas al tema.

El número óptimo de panelistas, depende de varios factores, como el tema a tratar, los objetivos del estudio y de los recursos con los que se cuenta. El número de panelista está directamente relacionado con el objetivo final del análisis, lo que se quiera dar a conocer en términos de difusión y del efecto que los resultados puedan tener en la toma de decisiones. Por último, hay que tener en cuenta los abandonos y no-respuestas, por lo que es recomendable que el número de expertos no sea muy pequeño (Konow y Pérez, 1990).

Es importante que los panelistas entiendan en que consiste el método Delphi, para que así puedan saber cual es el objetivo de cada etapa del proyecto (Delbecq, 1975). Antes de iniciar la sesión se les debe detallar a los expertos la finalidad del Delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta, plazo de respuestas y garantía de anonimato.

5.3.3 Preparación del Cuestionario

Otra etapa del ejercicio Delphi es el diseño y elaboración de los cuestionarios que contienen las preguntas y la información sobre el tema de investigación. La confección de las preguntas y formas de seleccionar y representar la información son aspectos determinantes, entre otros, ya que estos pueden afectar los resultados del ejercicio. Las preguntas de un ejercicio Delphi, no son las típicas preguntas de una encuesta común y

corriente, aunque al igual que ellas, deben ser cuidadosamente elaboradas y cumplir ciertos requisitos.

Uno de los principales requisitos es la claridad y precisión de los conceptos. La cantidad de conceptos que deben ser definidos dependerá de las características y composición del panel. Así por ejemplo para una encuesta sobre la contaminación del agua con petróleo, si todos los panelistas son químicos no es necesario definir los conceptos técnicos de la composición molecular del agua y del petróleo.

La extensión y presentación también son muy importantes. Dado que por lo general las preguntas reflejan la cultura, el conocimiento y los sesgos de quienes las formulan, están sujetas a diferentes interpretaciones por parte de los panelistas. Una pregunta demasiado concisa conduce a una excesiva variedad de interpretaciones, y una demasiado larga, requiere asimilar demasiados elementos de una sola vez. Por lo tanto, es necesario encontrar una extensión adecuada que conduzca al más amplio acuerdo de interpretaciones. El mayor consenso se obtiene en aquellas preguntas de mediana longitud.

Así mismo, se debe mantener el interés de los panelistas. Para lograr esto se deben preparar cuestionarios concisos y presentados en forma atractiva y amena. Una forma de lograr esto es, reduciendo al mínimo el número de hojas, de tal modo, que el panelista no se desanime al ver un cuestionario demasiado voluminoso.

Dado que un panelista no siempre domina todos los aspectos de un tema, las preguntas que se formulan en un ejercicio Delphi, deben incluir el grado de certeza de la respuesta y el grado de experiencia del encuestado. Para cada pregunta, los expertos deben dar un valor del 0 al 10 tanto a su nivel de experiencia como a su nivel de confiabilidad en su respuesta, donde cero significa una falta de experiencia o confianza en ese tema y 10 significa una amplia experiencia o certeza absoluta. Este valor indica el grado de certeza que cada experto tiene en su respuesta. Así un valor de confianza en la respuesta de 9 implicaría que hay 10% de probabilidades de que la respuesta que se haya dado sea incorrecta y un 90% de que sea correcta (ATC 13, 1985).

Con los valores de experiencia y confianza se obtiene un peso para la respuesta de cada participante, de manera tal que una respuesta con mayor experiencia y confiabilidad pesará más que una con poca experiencia y confiabilidad.

5.3.4 Envío de la Información al Panel de Expertos

Una vez terminado y corregido el cuestionario, éste es enviado a los expertos (primer envío). En muchos casos el cuestionario es enviado con información complementaria de manera de aclarar temas y conceptos. Los panelistas tienen un tiempo determinado para contestar y enviar sus respuestas, luego del cual el equipo monitor se encarga de analizarlas.

Al terminar de analizar las respuestas y formular el documento de retroalimentación que contiene las respuestas de la encuesta anterior en forma estadística, el equipo monitor, vuelve a enviar las encuestas incluyendo el documento de retroalimentación. La iteración de encuestas continua hasta que el grupo monitor considere se alcanzó un consenso estadístico.

5.3.5 Análisis de las Respuestas al Cuestionario

El procesamiento de datos empieza con un resumen claro y detallado de toda la información, donde cada respuesta es ponderada de acuerdo al nivel de confianza particular de cada respuesta y al grado de experiencia del experto. El análisis estadístico se centra en el cálculo de la mediana (lo que consideran el 50% de los expertos), el primer cuartil o el cuartil inferior (lo que consideran el 25% de los expertos) y el tercer cuartil o cuartil superior (lo que consideran el 75% de los expertos).

Dichos resultados deben presentarse en cuadros estadísticos, en la forma de medias, frecuencias, medianas, histogramas de distribución, etc. Con esta representación de los resultados, se procede a identificar los puntos donde se han logrado consensos y discrepancias.

En la mayoría de los casos se entiende como consenso estadístico cuando una alternativa acumula al menos el 50% de los votos ponderados por nivel de confianza y grado de

experiencia y cuando la variabilidad no excede de 25%. Sin embargo la definición de consenso puede variar según el uso del Delphi y deberá ser determinada por el equipo monitor. Una vez que se llegue al consenso estadístico el procedimiento Delphi habrá concluido (Konow y Pérez, 1990).

5.3.6 Publicación de la Información Recolectada

Al final del proceso de iteraciones de Delphi queda sólo la elaboración del informe final en el cual se incluyen todas las conclusiones del análisis de las respuestas de los expertos y los comentarios realizados por los panelistas. Es preciso que la información que se presente al final también se encuentre en forma estadística. En la figura 5.4 se presenta un ejemplo de representación de las respuestas en esta forma.

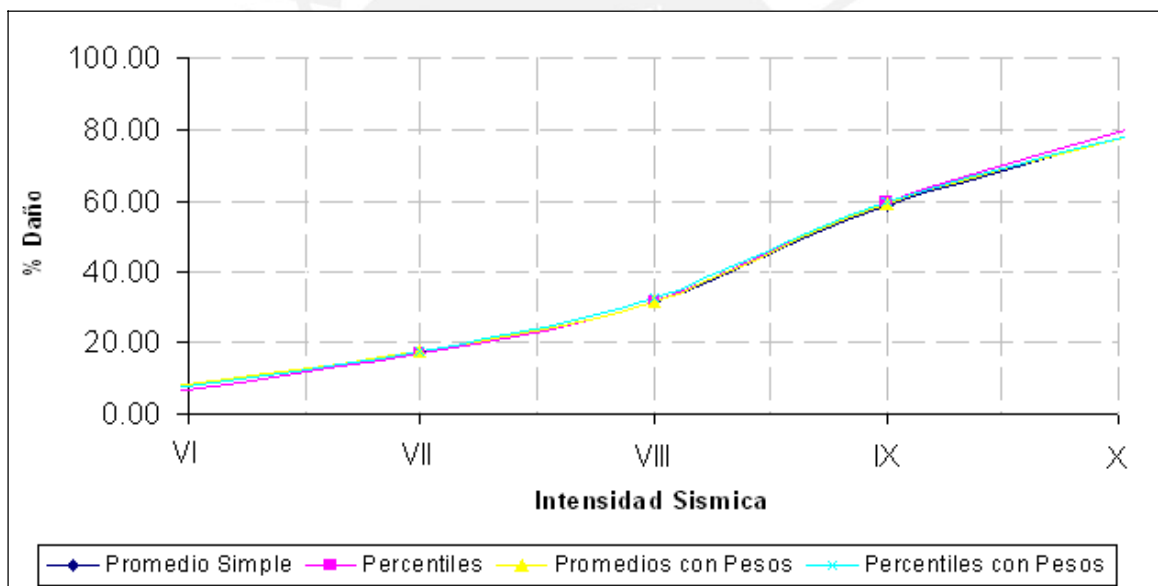


Figura 5.4: Representación de las respuestas en forma estadística

Capítulo 6: Pérdidas por Sismo en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Para estimar las pérdidas económicas producidas por los terremotos en los edificios de muros de ductilidad limitada, es necesario conocer el daño que sufrirían los EMDL de 5 y 7 pisos ante diferentes niveles de severidad sísmica. Por esta razón el trabajo se orientó a cuantificar la relación Intensidad – Daño.

Dada la naturaleza aleatoria del comportamiento de las edificaciones y del movimiento del suelo, la relación Intensidad – Daño se expresó en términos de probabilidades.

Debido a la falta de datos estadísticos respecto al comportamiento sísmico de los EMDL, el trabajo recogió en primer término la opinión de expertos acerca del comportamiento esperado y luego desarrolló un modelo numérico para la estimación del comportamiento probable.

6.1 El Método Delphi para Obtener la Opinión de Expertos sobre los EMDL

Se empleó el método Delphi como marco de trabajo para la recolección y síntesis de la opinión de los expertos. El trabajo se orientó a la obtención de una herramienta numérica para manejar la relación Intensidad – Daño en los EMDL.

Se hicieron ajustes al método Delphi para adecuarlo a los intereses del proyecto, como se precisa a continuación.

6.1.1 La Encuesta

La encuesta fue diseñada para obtener las funciones de distribución de daños de los EMDL correspondientes a diferentes valores de severidad (Anexo 1).

Para representar la severidad sísmica se utilizó la intensidad de Mercalli Modificada (IMM) y también la aceleración pico del suelo (APS). La tabla 6.1 muestra la correlación IMM-APS empleada (Sauter, 1978).

Tabla 6.1: Relación ente Intensidad Mercalli Modificada y Aceleración Pico del Suelo

Intensidad (MM)	Aceleración Pico del Suelo (g)	Descripción
	< 0,05	Sentido sólo por algunas personas en condiciones sumamente favorables.
		Percibido por personas en descanso, especialmente en los pisos altos de edificios. Objetos suspendidos delicadamente pueden oscilar.
		Percibido en el interior de los edificios pero sin reconocerse como sismo.
		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.
		Percibido por la mayoría de personas. Algunas personas despiertan. Objetos inestables se vuelcan. Es posible estimar la dirección del movimiento.
	0,05 - 0,10	Sentido por todos. Personas huyen al exterior. Caminar inestable. Se rompen vidrios, caen objetos. Muebles desplazados. Grietas en revestimientos. Árboles sacudidos visiblemente. Daño leve.
	0,10 - 0,20	Dificultad para mantenerse en pie. Percibido hasta por conductores de automóviles en marcha. Daño significativo en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras corrientes bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas.
	0,20 - 0,35	Manejo inseguro de vehículos. Daño leve en estructuras diseñadas adecuadamente; considerable en edificios corrientes bien construidos; grande en estructuras de construcción pobre. Tabiques separados de la estructura. Caída de chimeneas, columnas, monumentos y paredes.
	0,35 - 0,50	Pánico general. Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la verticalidad. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
	> 0,50	Gran destrucción de edificaciones. Grandes daños en malecones, represas, diques y terraplenes. Grandes desplazamientos de tierra en taludes y orillas de los ríos.
		Pocas edificaciones quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. Hundimientos y desplazamientos en terrenos blandos.
		Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Desplazamiento de grandes masas de roca. Líneas de mira y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Para discretizar la variable daño, se establecieron rangos de valores, en base a los cuales quedaron definidos los estados de daño (ED) que se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Estados de daño utilizados

Estados de daño (ED)	Rangos del Factor de Daño	Descripción
1. Ninguno	0	Sin daño.
2. Muy Leve	0 - 0.01	Daño menor, limitado y localizado, no requiere reparación.
3. Leve	0.01 - 0.1	Daño significativo localizado (algunos elementos), no requiere reparación.
4. Moderado	0.1 - 0.3	Daño significativo localizado (varios elementos), requiere reparación.
5. Alto	0.3 - 0.6	Daño extensivo que requiere mayor reparación.
6. Severo	0.6 - 0.99	Daño mayor extensivo, requiere demoler y reparar la estructura.
7. Colapso	1	Total destrucción de la mayor parte de la estructura.

Para cada rango de intensidad sísmica, la encuesta preguntó por el estado de daño (ED) que alcanzaría el sistema estructural y por los valores del daño medio probable (VMP), del daño mínimo (Vmin) y del daño máximo (Vmax). Por razones de simplicidad, los valores del daño se requirieron en porcentaje.

La encuesta preguntó además sobre la confianza que cada experto tiene en sus valores. Para cada rango de intensidad se pidió al experto calificar sus respuestas usando números entre 0 y 10, donde 10 indica certeza absoluta.

Para este estudio no se consideró el parámetro de nivel de experiencia razón por la cual no se incluyó en la encuesta.

Se decidió usar dos tablas independientes para cada uno de los EMDL (5 y 7 pisos) dentro de un mismo formato (Figura 6.1).

Daños en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Por favor anote los valores que en su opinión describen la relación Daño-Intensidad para los edificios de muros de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos.

		Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 5 Pisos																			
Intensidades		V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	
Confiabilidad																					

		Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 7 Pisos																			
Intensidades		V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	
Confiabilidad																					

Figura 6.1: Formato de encuesta utilizado

Para conservar el anonimato entre los miembros del panel ningún experto conoció la identidad de los otros encuestados y en el formato de respuesta no se incluyó la identidad del encuestado.

6.1.2 Grupo de Expertos

Luego de elaborar la encuesta se conformó el panel de expertos en ingeniería estructural con miembros de importantes instituciones de la ingeniería nacional, como las mostradas en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Algunas de las empresas, centros de estudios y instituciones participantes

Pontificia Universidad Católica del Perú	
Universidad Nacional de Ingeniería	
Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI	
SENCICO	
Colegio de Ingenieros del Perú	
CESEL S.A.	
Gallegos Casabonne Arango	
Prisma Ingenieros	

El anexo 7 contiene la relación completa del grupo de expertos encuestados.

Interacción con el Grupo de Expertos

La comunicación con el grupo de expertos se hizo por medio de una página de internet y con envíos de información impresa y en formato digital.

Se creó el portal de Desempeño Sismorresistente de Edificaciones Peruanas (<http://www.pucp.edu.pe/secc/civil/dsrep/>) para alojar el presente proyecto junto a otro destinado al estudio de la infraestructura educativa y para informar del método Delphi y de las características principales de los EMDL (Figura 6.2).



Figura 6.2: Página Web Delphi

El contenido de la página web se presenta en el anexo 3.

Se envió una carta formal por correo electrónico a todos los panelistas, explicando el proyecto e invitándolos a visitar el portal.

Para facilitar el manejo de la información, se repartió a todos los panelistas la carta impresa de invitación formal, un CD con la información contenida en la página web y la versión impresa de la encuesta.

Las encuestas fueron recogidas personalmente en las oficinas de los expertos (formulario impreso) y en algunos casos fueron recibidas vía correo electrónico (delphi@pucp.edu.pe).

Una vez recolectadas las encuestas se procedió al procesamiento de la información.

Para el presente proyecto sólo se realizó una iteración del proceso de encuesta. La publicación de los resultados de la primera iteración se hizo por medio de la página web manteniendo el anonimato en las respuestas del grupo de expertos.

6.2 Desarrollo del Modelo para la Estimación de Pérdidas

A continuación se presenta el modelo empleado para manejar la distribución del daño, los detalles del procesamiento de la información del grupo de expertos y el procedimiento numérico seguido para obtener las curvas y matrices de daño.

6.2.1 Modelo de distribución de Probabilidades

El daño que sufren las estructuras es una variable aleatoria con una determinada distribución en cada nivel de intensidad sísmica. Así para intensidades intermedias la distribución del daño suele ser simétrica respecto a un valor central mientras que para intensidades altas o bajas la distribución deja de ser simétrica respecto al valor central, el mismo que además se desplaza a la izquierda o derecha del eje de daños como se muestra en la figura 6.3.

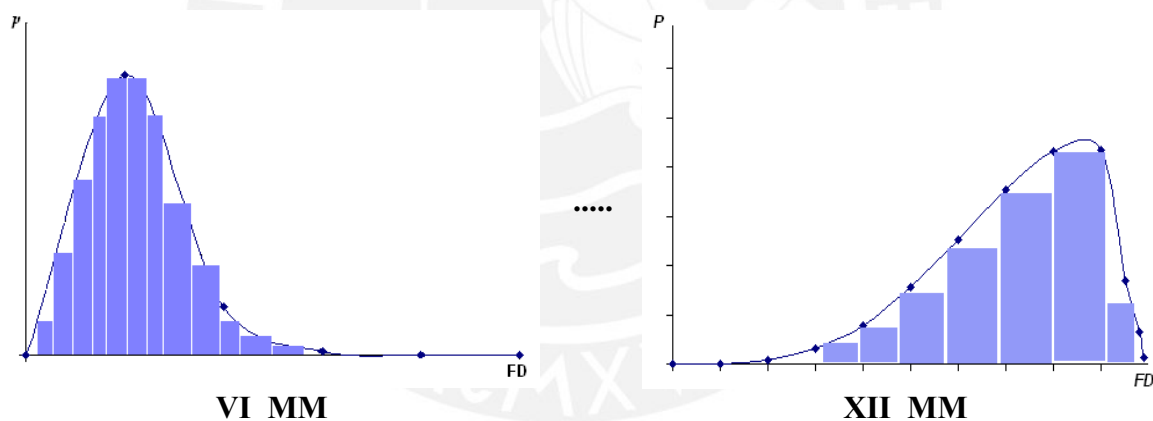


Figura 6.3: Funciones de distribución de probabilidad de daño para diferentes niveles de intensidad sísmica

Esta característica en la distribución del daño en los edificios por causa de los sismos se puede representar con modelos de distribución Normal, Log normal y Beta.

En este trabajo se usó la distribución Beta por su sencillez y adaptabilidad a la información obtenida del grupo de expertos respecto a los valores del daño mínimo (V_{min}), medio probable (V_{MP}) y máximo ($V_{máx}$). Se asumió que la estimación del daño medio probable (V_{MP}) corresponde al valor medio de la distribución Beta y que el 90% de probabilidad de ocurrencia del daño esté entre los valores extremos $V_{máx}$ y V_{min} (Figura 6.4).

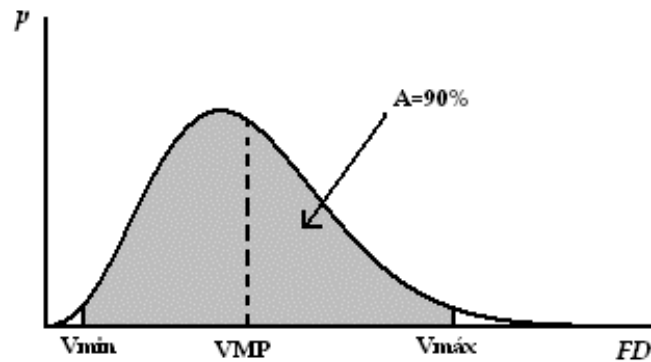


Figura 6.4: Suposiciones asumidas en el presente trabajo

Distribución Beta

La distribución Beta, $p(x)$, se define por medio de los parámetros λ , ν por la siguiente ecuación:

$$p(x) = \frac{1}{B(\lambda, \nu)} \cdot x^{\lambda-1} \cdot (1-x)^{\nu-1} \quad \text{Para } 0 < x < 1$$

Donde:

$$B(\lambda, \nu) = \frac{\Gamma(\nu)\Gamma(\lambda)}{\Gamma(\lambda + \nu)}, \quad \Gamma: \text{Función Gamma.}$$

El valor medio μ , la varianza σ^2 y el coeficiente de variación V del factor de daño quedan expresados como:

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda + \nu}$$

$$\sigma^2 = \frac{\lambda\nu}{(\lambda + \nu)^2(\lambda + \nu + 1)}$$

$$V^2 = \frac{\sigma^2}{\mu^2} = \frac{\nu}{\lambda(\lambda + \nu + 1)}$$

6.2.2 Obtención de la función de distribución de probabilidades

A partir de las estimaciones individuales de los expertos se determinaron las respuestas que representan al grupo. Usando estos datos se generaron luego las funciones de distribución

de probabilidad del daño para cada sistema estructural y para cada intensidad sísmica. A continuación se detalla el procedimiento seguido para sintetizar la opinión del grupo de expertos y luego se presenta el esquema de obtención de las funciones Beta de distribución del daño.

Para sintetizar la opinión de los expertos en cada intensidad se consideraron inicialmente cuatro procedimientos. El primero correspondió al promedio simple, el segundo al promedio ponderado de las respuestas donde los pesos se asociaron a la experiencia de los expertos.

Para el tercer método se consideraron sólo los datos en una franja específica. Se calcularon los valores asociados a percentiles 25 y 75 y con su diferencia, d , se definió un rango de validez de ancho $4d$ como se muestra en la figura 6.5.

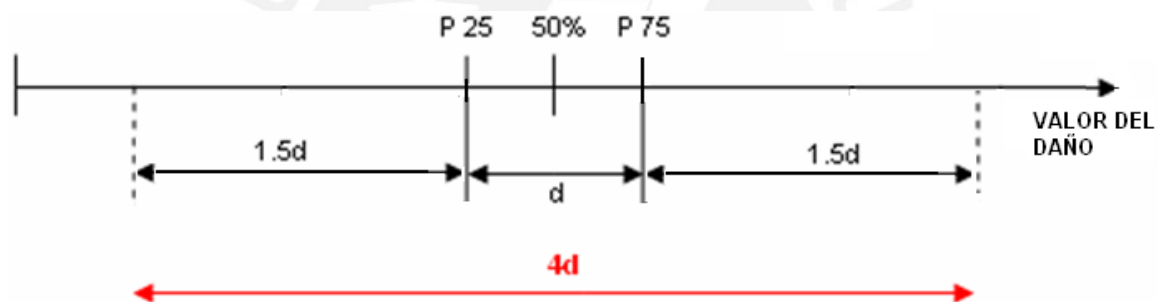


Figura 6.5: Rango de valores que se consideran para calcular los valores de las estimaciones representativas

El cuarto método es similar al anterior pero en las respuestas se consideraron pesos relacionados a la experiencia del experto.

La figura 6.6 muestra los resultados de los cuatro procedimientos para el valor medio probable del daño correspondiente a los EMDL de 5 pisos en intensidades VI a X. Como se aprecia los resultados de los cuatro procedimientos son muy similares.

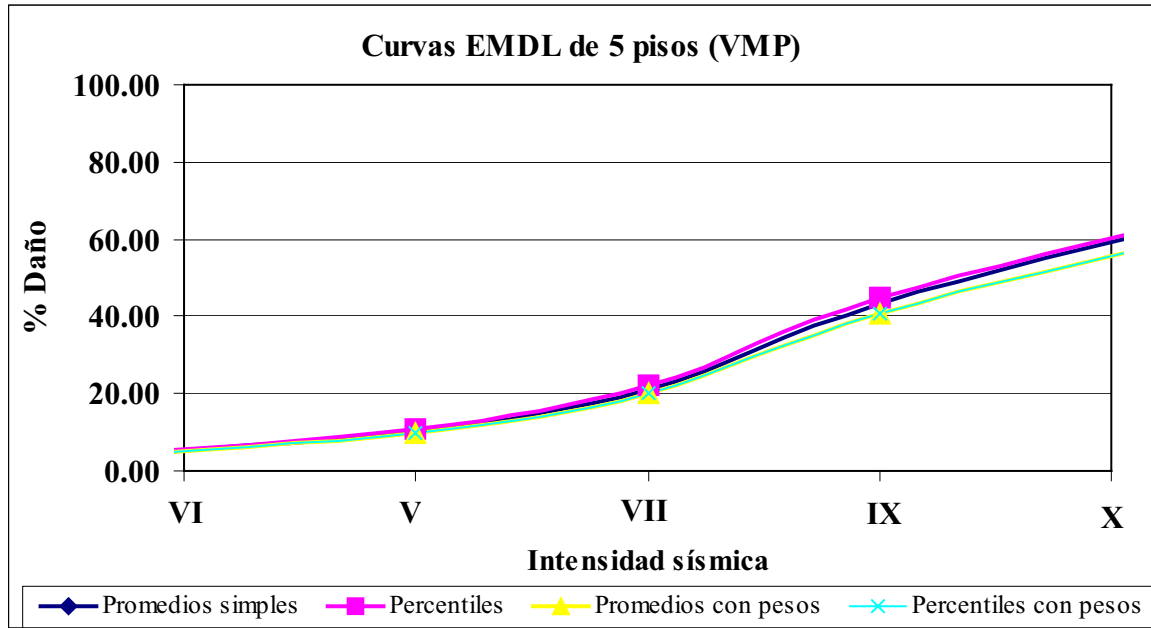


Figura 6.6: Comparación de resultados para calcular las estimaciones más representativas del factor de daño

Para determinar los valores que representen al grupo de expertos se escogió el tercer procedimiento (percentiles) debido a lo subjetivo que resultó estimar pesos para cada experto y además porque este procedimiento permite filtrar los valores extremos que podrían discrepar de las observaciones de campo.

Los resultados de las estimaciones mínimas, media y máxima empleados para los EMDL de 5 y 7 pisos en todos los niveles de intensidad se presentan en el anexo 5.

Los parámetros λ y ν que definen las funciones de distribución del daño se obtuvieron resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$VMP = \mu = \frac{\lambda}{\lambda + \nu} \dots\dots\dots(1)$$

$$0.90 = \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} p(FD) du = \frac{(B_{V_{\max}}(\lambda, \nu) - B_{V_{\min}}(\lambda, \nu))}{B(\lambda, \nu)} \dots\dots\dots(2)$$

Para el cálculo de los valores de λ y ν se empleó un programa de computación basado en el procedimiento iterativo propuesto por el ATC (ATC 13, 1985). En el anexo 4 se presentan los parámetros obtenidos para cada uno de los EMDL en cada una de las intensidades sísmicas consideradas

6.2.3 Obtención de curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño

Una vez conocidas las funciones de distribución de daño (p) para cada intensidad sísmica y para cada uno de los EMDL en estudio se generaron las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño.

Los estados de daño se definieron usando los rangos de valores del factor de daño, propuestos por el ATC (ATC 13, 1985), mostrados en la tabla 6.4.

Tabla 6.4: Estados de daño considerados en el reporte ATC 13

ESTADO DE DAÑO (ED)	RANGO FACTOR DE DAÑO (FD)	FACTOR DE DAÑO CENTRAL (FDC)
NINGUNO	0	0
MUY LEVE	0 – 0.01	0.005
LEVE	0.01 – 0.10	0.05
MODERADO	0.10 – 0.30	0.20
ALTO	0.30 – 0.60	0.45
SEVERO	0.60 – 0.99	0.80
COLAPSO	1.00	1.00

Para generar las curvas de fragilidad se determinaron las probabilidades de excedencia (P.E) correspondientes al valor extremo de cada rango de daño en cada intensidad sísmica:

$$P.E = 1 - P = 1 - \int_0^{d_i} p \, dFD$$

De manera similar, para generar las matrices de probabilidad de daño (MPD) fue necesario determinar las probabilidades de ocurrencia (q) de cada uno de los estados de daño para cada intensidad:

$$q = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} p \, dFD$$

Para obtener los valores de las probabilidades de excedencia y ocurrencia (P.E. y q) se empleo el programa de computación desarrollado para el proyecto de Desempeño

Sismorresistente de Edificaciones Peruanas (DAI, 2006), cuya salida parcial se presenta en la figura 6.7.

```

C:\MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL\TESIS\Programa para generar CF y MPD\780nuevoPR.sal
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
-----
1
2
3
4 Pontificia Universidad Católica del Perú-Maestría en Ingeniería Civil
5 PROGRAMA QUE GENERA CURVAS DE FRAGILIDAD Y MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO-version 1.0
6
7
8
9
10 RESULTADOS DE ESTIMACIONES
11
12
13
14
15 **** CALCULO DE PARAMETROS LAMBDA Y NU ****
16
17 INTENSIDAD LAMBDA NU ENCONTRO
18 6 1.9651 933.8100 1
19 7 4.2813 132.5000 1
20 8 7.7945 50.3300 1
21 9 23.7379 44.3570 1
22 10 60.3481 33.9900 1
23
24
25
26
27
28
29 **** MATRIZ DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE DAÑO****
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41 VI VII VIII IX X
42 100.0000 100.0000 100.0000 100.0000 100.0000
43 75.0360 99.9996 100.0000 100.0000 100.0000
44 0.0812 96.6638 100.0000 100.0000 100.0000
45 0.0000 0.0639 76.6915 100.0000 100.0000
46 0.0000 0.0000 0.1141 79.7827 100.0000
47 0.0000 0.0000 0.0000 0.0014 79.0964
48 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
49
50
51 Analisis concluido en 2.093 segundos
52 GRACIAS POR HABER UTILIZADO EL PROGRAMA AACFMPD
53
54

```

Figura 6.7: Archivo de salida del programa desarrollado para el cálculo de la probabilidad de daño

Finalmente con los valores puntuales de probabilidad obtenidos, se construyeron curvas que luego se ajustaron mediante procedimientos gráficos sencillos.

6.3 Relación Intensidad – Daño y Cálculo de Pérdidas

Para facilitar la estimación de pérdidas por sismo la relación Intensidad – Daño se representó por curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño. En ambos casos la intensidad sísmica se expresó por medio de la aceleración pico del suelo y de la intensidad de Mercalli Modificada.

6.3.1 Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño

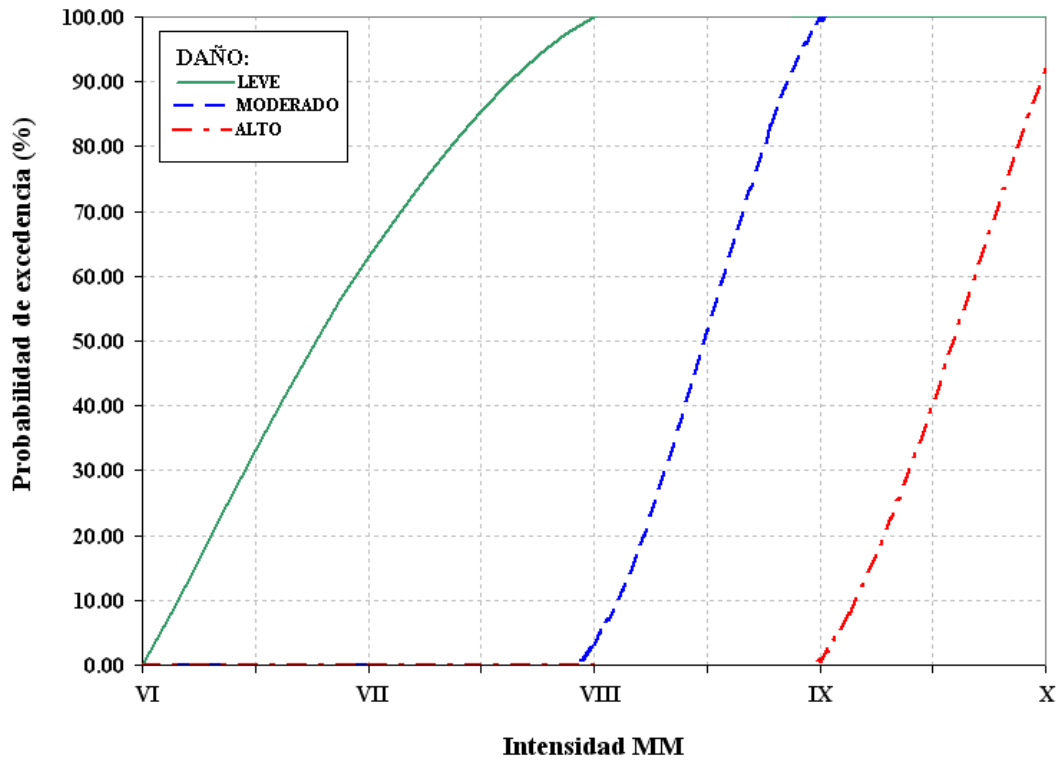
Como resultado de este trabajo se obtuvieron las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño correspondientes los EMDL de 5 y 7 pisos. Las figuras 6.8 y 6.9 presentan estos resultados.



Pontificia Universidad Católica del Perú

Desempeño Sismorresistente de Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

EDIFICIO TIPO: EMDL de 5 Pisos



(a)

Estado de daño	Factor de daño central (FDC)	Probabilidad de daño (P) en %				
		VI	VII	VIII	IX	X
Ninguno	0	0	0	0	0	0
Muy leve	0.005	0	0	0	0	0
Leve	0.05	100.0	37.1	0	0	0
Moderado	0.20	0	63.0	96.7	0	0
Alto	0.45	0	0	3.3	99.0	8.3
Severo	0.80	0	0	0	0.6	91.7
Colapso	1.00	0	0	0	0	0
Factor de daño medio (FDM)		5.00	14.44	20.83	45.09	77.10
Valor medio probable (VMP)		3.34	11.05	22.27	45.01	67.73

(b)

IMM	VI	VII	VIII	IX	X
APS (g)	0.05 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.35	0.35 - 0.50	> 0.50

(c)

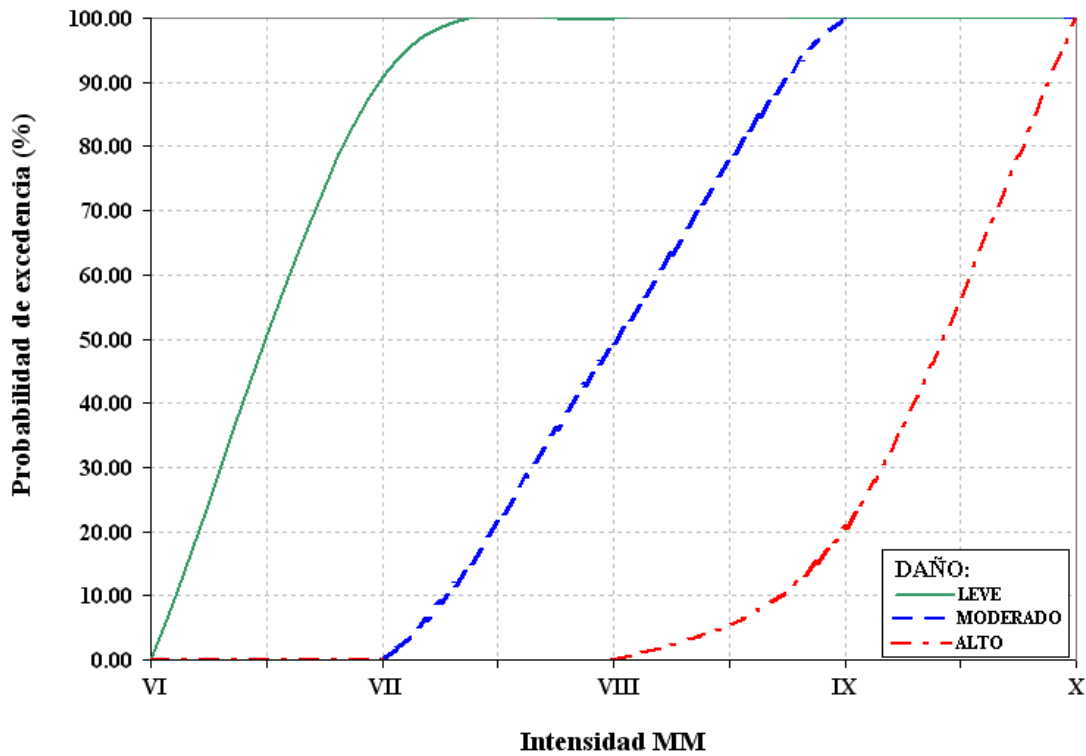
Figura 6.8: Relación Intensidad – Daño para EMDL de 5 pisos
a) Curvas de fragilidad b) Matrices de probabilidad de daño c) Correlación IMM-APS empleada



Pontificia Universidad Católica del Perú

Desempeño Sismorresistente de Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

EDIFICIO TIPO: EMDL de 7 Pisos



(a)

Estado de daño	Factor de daño central (FDC)	Probabilidad de daño (P) en %				
		VI	VII	VIII	IX	X
Ninguno	0	0	0	0	0	0
Muy leve	0.005	0	0	0	0	0
Leve	0.05	100.0	9.1	0	0	0
Moderado	0.20	0	90.9	50.6	0	0
Alto	0.45	0	0	49.4	79.4	0.3
Severo	0.80	0	0	0	20.6	99.8
Colapso	1.00	0	0	0	0	0
Factor de daño medio (FDM)		5.00	18.65	32.35	52.22	79.91
Valor medio probable (VMP)		3.79	14.86	30.07	54.74	74.19

(b)

IMM	VI	VII	VIII	IX	X
APS (g)	0.05 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.35	0.35 - 0.50	> 0.50

(c)

Figura 6.9: Relación Intensidad – Daño para EMDL de 7 pisos
a) Curvas de fragilidad b) Matrices de probabilidad de daño c) Correlación IMM-APS empleada

6.3.2 Daño irreparable y pérdidas en sismos raros y frecuentes

Usando las curvas y matrices de daño es posible construir para cada EMDL una relación directa entre la intensidad y el valor medio probable del daño. La figura 6.10 muestra esta relación para los EMDL de 5 y 7 pisos.

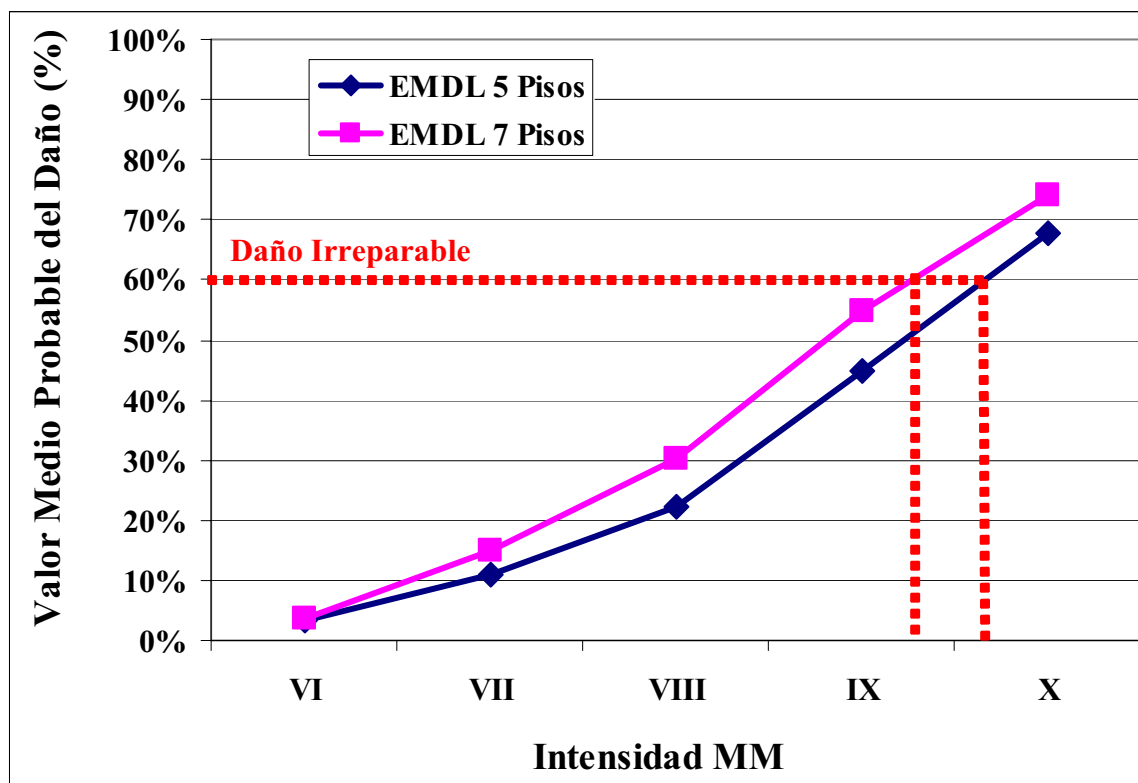


Figura 6.10: Relación IMM-VMP del daño para EMDL de 5 y 7 pisos

No siempre resulta técnica y económicamente aconsejable reparar una edificación dañada seriamente por un terremoto. Se suele considerar que una edificación es irreparable cuando el daño excede el 60% (ATC 21, 2001). Usando la relación intensidad – valor medio probable puede obtenerse la intensidad a partir de la cual un tipo de edificio determinado quedaría con daño irreparable.

Los resultados de este estudio indican que tanto los EMDL de 5 como de 7 pisos quedarían con un daño irreparable a partir de una intensidad IX+ (Figura 6.10), lo que corresponde aproximadamente a una aceleración entre 0.35g y 0.50g (Sauter, 1978).

Para los dos tipos de EMDL analizados en este trabajo se encontraron las intensidades de daño irreparable mostradas en la figura 6.11.

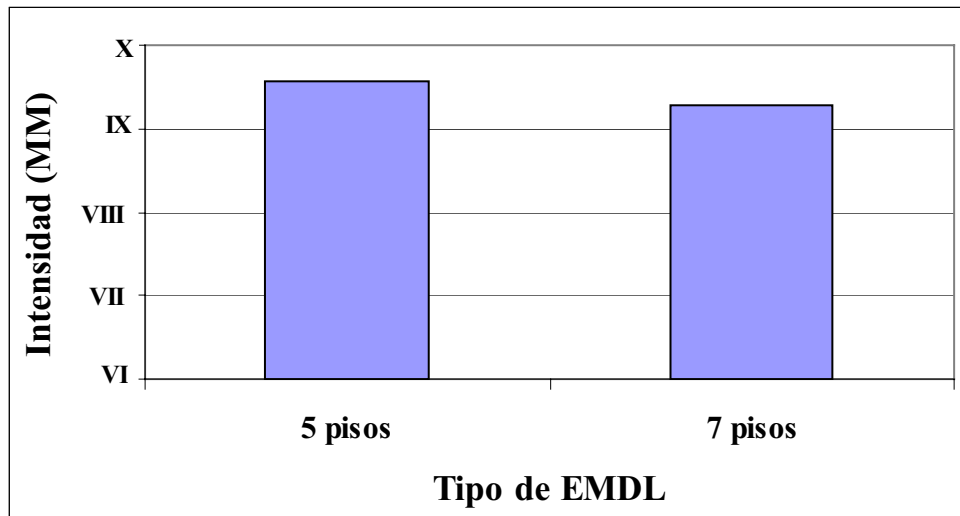


Figura 6.11: Intensidad asociada al daño irreparable para los EMDL de 5 y 7 pisos

Dentro de los objetivos del diseño sismorresistente está la protección de las edificaciones frente a eventos con periodicidad de 500 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años de exposición). Para la costa peruana los valores de aceleración pico e intensidad asociados a estos eventos extremos son 0.4 g y IX- MM respectivamente (Alva, 1993).

Usando las matrices de daño se obtienen los valores del daño medio que sufrirían los EMDL ante un evento con 500 años de periodo de retorno. La figura 6.12 muestra estos resultados.

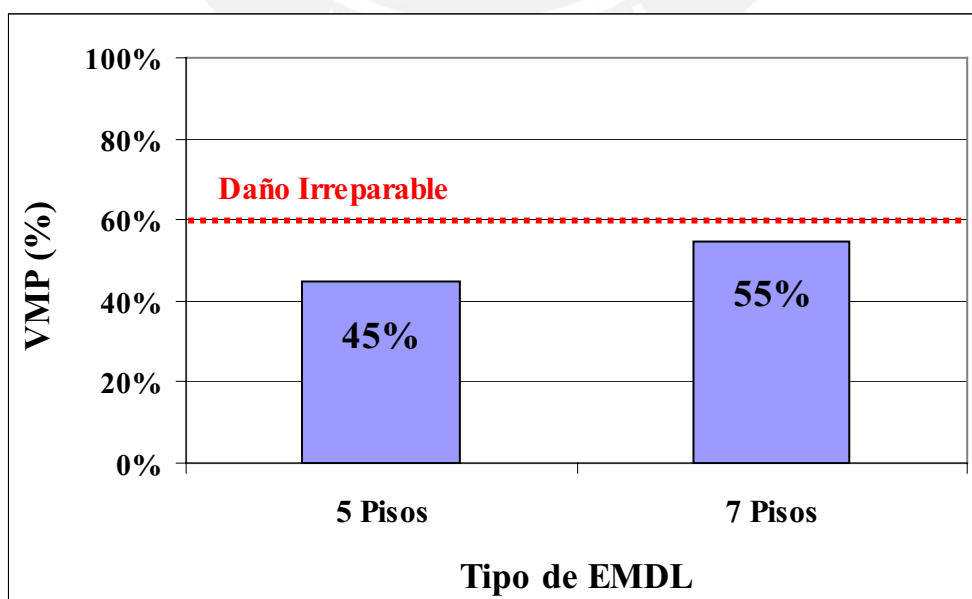


Figura 6.12: Daño que sufrirían los EMDL en un sismo raro

Los resultados sugieren que ante un evento de 500 años de periodo de retorno, ambos edificios tendrían un daño medio probable menor al 60%, por tanto, tendrían posibilidad de reparación.

En la costa peruana los sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno ó 50% de probabilidad de excedencia en 50 años de exposición) tienen asociada una aceleración pico de 0.25g y una intensidad de VII MM. (Alva, 1993). La figura 6.13 muestra los valores del daño medio que sufrirían los EMDL ante estos eventos menores.

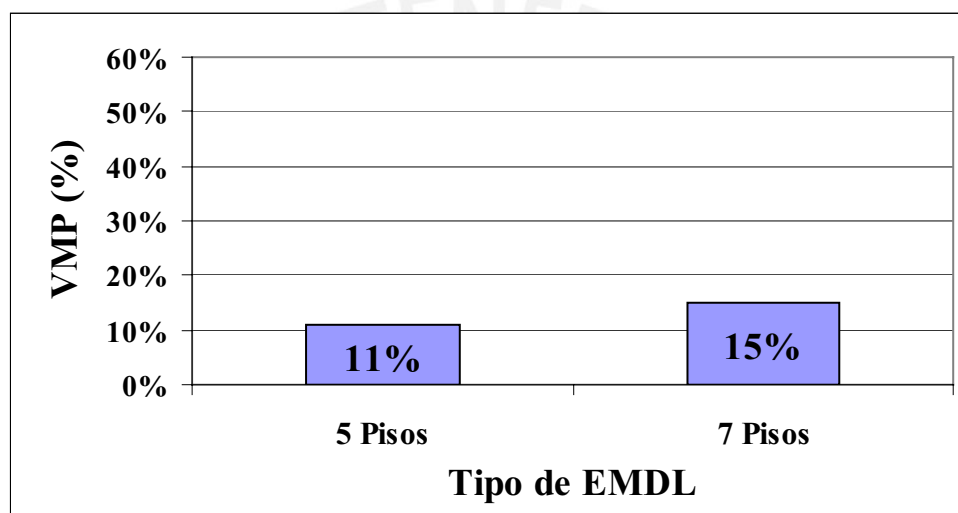


Figura 6.13: Daño que sufrirían los EMDL en un sismo frecuente

Se observa que ante un evento frecuente ambos EMDL presentarían un daño moderado, siendo el de 7 pisos el de mayor daño (15%).

6.3.3 Pérdidas en sismos

Usando las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño obtenidas en este trabajo, se construyeron las relaciones Intensidad – Factor de Daño Medio para los EMDL de 5 y 7 pisos, las cuales se muestran en la figura 6.14.

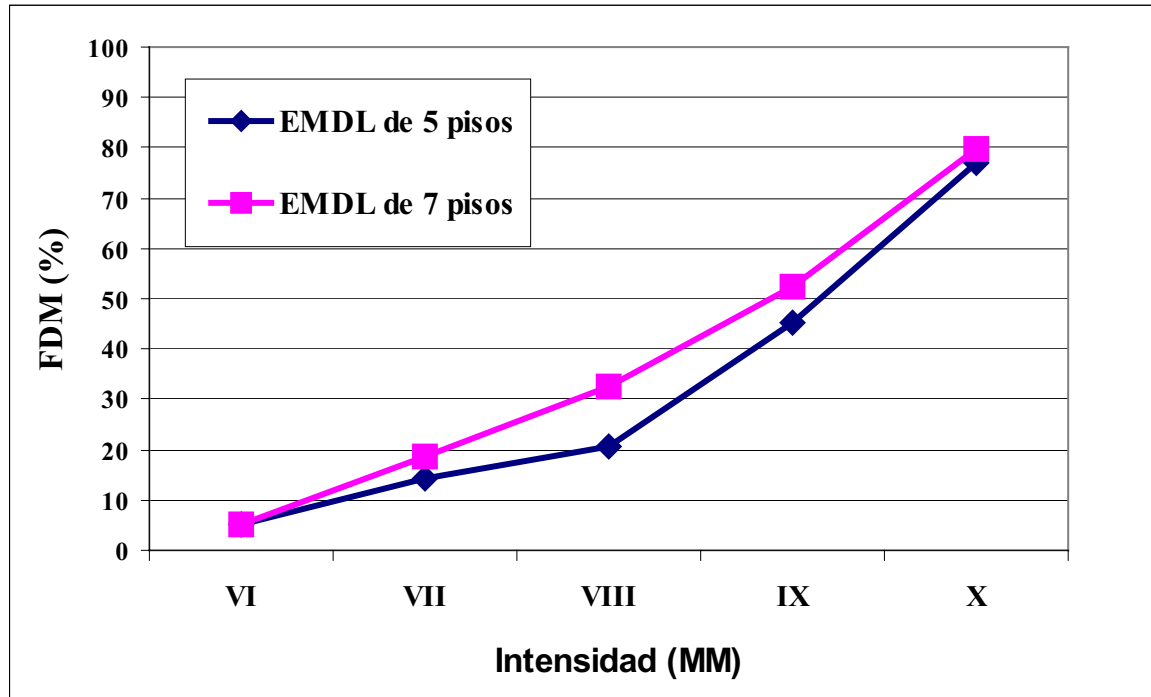


Figura 6.14: FDM de los EMDL de 5 y 7 pisos en diferentes intensidades sísmicas

A manera de ejemplo, se estiman las pérdidas en diversos escenarios de sismicidad para un complejo de 64 EMDL de 5 pisos. Estos edificios tienen un total $70,000\text{m}^2$ de área construida incluyendo áreas comunes, un costo de construcción de \$300 por metro cuadrado y por tanto un costo total de $70,000\text{ m}^2 \times \text{US } \$ 300 /\text{m}^2 = \text{US } \$ 21'000,000$.

Las pérdidas se calcularon como el producto del factor de daño medio por el costo total (US \$ 21'000,000). Como los resultados muestran que para una intensidad de IX+ los edificios tendrían un daño irreparable ($\text{FDM} > 60\%$), el monto de las pérdidas para intensidades mayores a IX+ corresponden al costo total. La figura 6.15 muestra los resultados finales obtenidos.

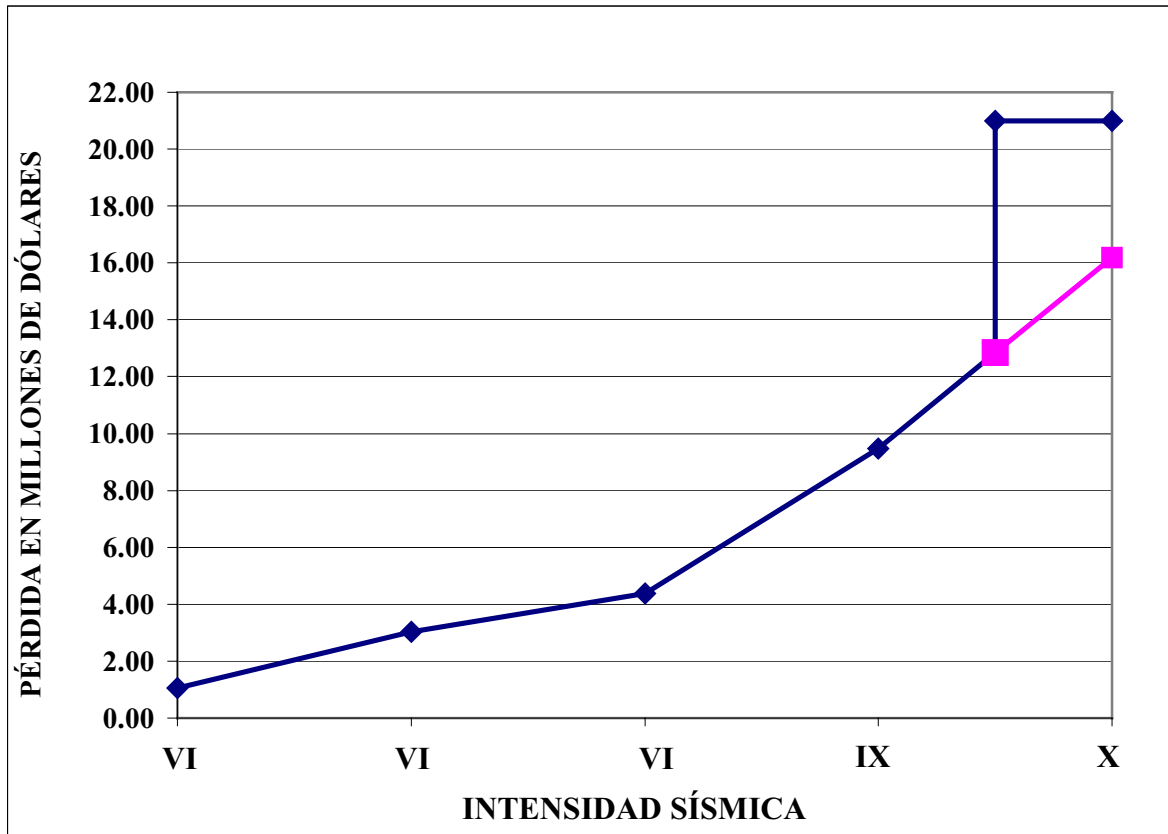


Figura 6.15: Pérdida Probable para Diferentes Escenarios de Sismicidad de 64 EMDL de 5 Pisos

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Arquitectura y Desarrollo Urbano

Los EMDL típicos de 5 a 7 pisos, cuentan con una arquitectura austera, con ambientes de luces y áreas reducidas, permitiendo así edificios y complejos multifamiliares de alta densidad habitacional.

Debido a que todos los muros tienen una función estructural se hace imposible cualquier cambio en la distribución de ambientes o modificación en las instalaciones del edificio.

La intensa construcción de estos edificios en los últimos 5 años ha contribuido a disminuir en algo el déficit de vivienda en el país.

7.2 Estructura y Construcción

La mayoría de los EMDL se encuentran apoyados sobre plateas superficiales de 20 a 25 cm de espesor, construidas sobre rellenos controlados de ingeniería. La platea sirve además como contrapiso. La platea está reforzada con dos mallas electrosoldadas (superior e inferior) y cuenta con dientes de cimentación para confinar el relleno.

El sistema estructural es de muros portantes delgados de concreto armado (10 o 12 cm) con una malla electrosoldada central y en los extremos refuerzo adicional sin confinar de acero convencional. Los edificios tienen una alta densidad de muros en cada dirección, donde el cociente entre el área de muros en el primer entrespacio y el área en planta oscila entre 2.5 y 3.5% y el cociente entre el área de muros en el primer entrespacio y el área total techada está entre 0.45 y 0.55%.

Para el sistema de techos se utilizan losas macizas de concreto con espesores de 10 y 12 cm, reforzadas con mallas electrosoldadas.

Se emplea concreto premezclado con una resistencia nominal de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, valor que en obra suele tener un incremento del 30%. Para el refuerzo se emplean mallas electrosoldadas, con esfuerzo de fluencia equivalente a 5000 kg/cm^2 , y baja ductilidad.



Para la construcción de muros y losas se usan encofrados metálicos ligeros modulares que permiten alcanzar una gran velocidad de construcción. En algunos casos se hace el llenado conjunto de muros y losas.

Se logró apreciar que el uso de encofrados metálicos no disminuye como debería la cantidad de imperfecciones en muros y losas, llegando a determinarse que en promedio se hacen resanes en más del 50% de los muros. Atribuimos que esto se debe principalmente al mal vaciado de los elementos, a un mal mantenimiento de los encofrados y a veces a la utilización de un diseño de mezcla que no cuenta con la suficientemente fluidez como para permitir un correcto vaciado.

7.3 Defectos en la Construcción de los EMDL

En la construcción de los EMDL no se da el tratamiento debido a la unión muro – losa cuando se llena un muro nuevo. Generalmente el llenado del muro se hace sobre una superficie poco rugosa de la losa de techo o cimentación. Recomendamos que se le de algún tratamiento como escarificado o rayado a la superficie de la losa previo al vaciado de los muros superiores.

Uno de los defectos más frecuentes es la aparición de cangrejeras y segregación en los muros y losas. Existen una serie de factores que dan lugar a la aparición de cangrejeras, tal como son: el mal vibrado del concreto, el mal aplomo de las tuberías, la congestión de tuberías y refuerzo, y la baja fluidez del concreto. Por otro lado, la segregación en la base de los muros se forma cuando el concreto es vaciado desde alturas muy grandes sin un descanso intermedio o por un vibrado excesivo. Recomendamos un adecuado vibrado del concreto a la hora del llenado, la utilización de ensanches en los muros en las zonas de congestión de tuberías, el empleo de un agregado con un tamaño de piedra máximo de 3/4” y el vaciado del concreto con un descanso intermedio.

Estos edificios generalmente presentan fisuras superficiales en muros y losas que aparentemente no constituyen un problema estructural, sino uno meramente estético, aunque cabe la posibilidad que el refuerzo pueda corroerse por la filtración de humedad y que estas fisuras formen planos potenciales de falla. Estas fisuras se producen por efectos de contracción y temperatura en el concreto. Éste es un problema posible de controlar, para

lo cual recomendamos el diseño de juntas en los muros para así guiar y ocultar las fisuras. Otra solución podría ser el uso de pinturas elastoméricas, empapelado de muros o escarchado de techos como se usan en Chile y Colombia.

Se recomienda también informar al comprador del inmueble que los muros se agrietan por naturaleza propia, sin que esto implique problemas de seguridad y se podría ofrecer un servicio de mantenimiento post venta, previamente considerado en el costo de venta del departamento.

Se pudieron apreciar otros defectos como el mal doblado del acero, tuberías mal colocadas, entre otros. Estos defectos se podrían reducir e incluso eliminar con un mayor cuidado y supervisión durante la construcción de estos edificios.

7.4 Normas

En el periodo 2001 a 2004 no existían en el país normas específicas para el diseño y construcción de los EMDL, sin embargo en ese periodo se construyeron la mayoría de los edificios hoy existentes.

Fue recién en diciembre del 2004 que el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) incorporó los dispositivos específicos para los EMDL a las Normas de Diseño Sismorresistente y Concreto Armado, los cuales actualmente están generando polémicas dentro del ámbito de la construcción.

Actualmente en el Perú como resultado del auge y demanda de este sistema constructivo se vienen construyendo edificios de 15 a 20 pisos de muros portantes de concreto armado de 15 a 25 cm de espesor, con armadura convencional, luces y áreas de departamentos mucho más grandes que en los edificios típicos de 5 y 7 pisos. En algunos de estos edificios los pisos superiores se suelen hacer de muros de ductilidad limitada sin embargo las normas al respecto no son muy claras ni están preparadas para este tipo de edificios.

El relleno controlado bajo la platea de cimentación de los EMDL no está completamente detallado por la norma de Suelos y Cimentaciones (E-050), ya que no se especifica el espesor mínimo que debe tener este relleno ni como calcular la presión admisible de éste.

7.5 Metodología para la obtención de la Relación Intensidad – Daño para los EMDL

La relación Intensidad – Daño se puede representar cuantitativamente empleando información estadística de daños en sismos pasados, mediante simulación numérica sobre muestras con propiedades aleatorias o recurriendo a la opinión de expertos.

Debido a que los EMDL no se han probado en condiciones sísmicas medias y severas, no existe información que nos permita conocer con cierto grado de confiabilidad el desempeño sísmico que tendrán estos edificios. Debido a esta falta de información, se encontró en la opinión de expertos una posibilidad para cuantificar la relación Intensidad – Daño.

No existen datos concretos respecto a las características estructurales de los EMDL o su variabilidad. Es por esto que como primer paso se visitaron varias obras con el fin de establecer las características representativas de estos edificios.

La opinión del grupo de expertos se pudo recavar y sintetizar gracias a la generosa colaboración de la comunidad de ingenieros peruanos y al uso apropiado del Método Delphi debidamente adaptado al problema.

Como resultado de este trabajo se obtuvieron las herramientas para estimar el desempeño y pérdidas por sismo para los EMDL.

En este trabajo, sólo se realizó una iteración del proceso Delphi. Recomendamos que en un futuro, luego de la difusión de los resultados del presente trabajo, se realice un mayor número de iteraciones tratando de ampliar en lo posible la muestra de expertos para mejorar y afinar los resultados obtenidos.

7.6 Resultados Obtenidos

En base a la opinión de expertos se logró desarrollar un modelo de probabilidades para cuantificar la relación Intensidad – Daño. Esta relación se expresó por medio de Curvas de Fragilidad y Matrices de Daño.



Los resultados de este trabajo indican que los EMDL típicos (5 y 7 pisos), quedarían con daño irreparable ($FDM > 60\%$) para intensidades mayores o iguales a IX+ MM.

En el caso de sismos frecuentes, los resultados muestran que el daño sería reparable, con un FDM del orden del 11% para edificios de 5 pisos y 15% para edificios de 7 pisos. El daño a pesar de no ser muy elevado, significaría un costo de reparación demasiado alto para los usuales propietarios de estos edificios, quienes generalmente adquieren sus departamentos con hipotecas a largo plazo.

En el caso de sismos raros, los resultados indican que estos edificios presentarían un daño reparable con un FDM del orden del 45% para edificios de 5 pisos y 55% para edificios de 7 pisos.

La comunidad de ingenieros peruanos supone que estos edificios tendrían un desempeño sismorresistente muy por encima de lo que se espera de muchos otros sistemas estructurales. Aunque alentadora, esta conclusión debería ser estudiada en detalle en trabajos posteriores.

Aunque los resultados indican que el daño en estos edificios podría ser menor que en otras edificaciones, el costo de reparación puede ser difícil de manejar para familias de escasos recursos económicos, quienes difícilmente podrían costear reparaciones que representan el 15% o 50% del valor de construcción. En el caso de conjuntos habitacionales, el problema de financiamiento es aún mayor.



REFERENCIAS

Alva, J. 1993 “*Distribución de Isoaceleraciones UNI – CISMID*” Lima, Perú.

Astorga, Aguilar. 2006 “*Tesis de Magister (PUCP): Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas*” Lima, Peru.

ATC 13 (Applied Technology Council). 1985. “*Earthquake Damage Evaluation Data For California,*”. Redwood City, California, USA.

ATC 21 (Applied Technology Council). 2001. “*Rapid Visual Screening of Seismically Hazardous Buildings*”. Redwood City, California, USA.

Barbat A.H. 1998. “*El riesgo sísmico en el diseño de edificios*”. Calidad Siderúrgica, Madrid, España.

Blanco, A. 2006. “*Consulta realizada al Ingeniero Antonio Blanco Blasco*” Lima, Perú.

Bonett R. 2003. “*Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*”. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

CALEN (Centro de Altos Estudios Nacionales del Ministerio de Defensa Nacional) 2000. “*Informe Delphi*”. Uruguay.

CAPECO. 1997. “*Reglamento Nacional de Construcción*”. Lima, Perú.

CAPECO 2003. “*Norma Técnica de Edificación E-030 Diseño Sismorresistente*”. Lima, Perú.

CAPECO 2004. “*Norma Técnica de Edificación E-050 Suelos y Cimentaciones*”. Lima, Perú.

CAPECO 2004. “*Norma Técnica de Edificación E-060 Concreto Armado*”. Lima, Perú.

DAI 2006. “*Proyecto DAI 1222: Plan Nacional de Protección de la Infraestructura Educativa*” Lima, Perú

El Peruano, Normas Legales. 2002. “*Decreto Supremo N° 030-2002-MTC*” Lima, Perú

El Peruano, Normas Legales. 2003. “*Decreto Supremo N° 011-2003-MTC*” Lima, Perú

Federal Emergency Management Agency. 1988. “*FEMA 154 :Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*”. Washington, USA.

Gálvez, A. 2005. “*Entrevista realizada al Ingeniero Adolfo Gálvez*” Lima, Perú.

Harmsen T. 2002. “*Diseño de Estructuras de Concreto Armado*”. Lima, Perú.

Kerstin L. 2002. “*Seismic vulnerability of existing buildings*”. Institute of Structural Engineering Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.

Konow, I. y Pérez, G. 1990. “*Métodos y Técnicas de Investigación Prospectiva para la toma de Decisiones_ Método Delphi*”. Chile.

Linstone, A. and Turof, M., ed., 1975. “*The Delphi Method: Technique and Applications*”. Massachusetts, USA.

Ottazi, G. 2005. “*Apuntes de Concreto Armado 1*” . Lima, Perú.

Pasquel, E. 2006. “*Consulta realizada al Ingeniero Enrique Pasquel*” Lima, Perú.

San Bartolomé, A. 2006. “*Consulta realizada al Ingeniero San Bartolomé*”. Lima, Perú.

Sauter, F. 1978 “*Estudio de Seguro Contra Terremoto*” Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica.

Sunil S, Candia G. 1991. “*Análisis de peligro sísmico en el Perú*”. Universidad de Idaho, USA.

Anexos

	Pág.
Anexo 01.- Información entregada al Panel de Expertos	01
Anexo 02.- Ficha de Campo para Visitas a Obra	17
Anexo 03.- Página Web del Desempeño Sismorresistente de Edificaciones Peruanas	27
Anexo 04.- Función de Distribución del Daño para los EMDL-Parámetros de la Función Beta	33
Anexo 05.- Relación Intensidad – Daño para los EMDL	35
Anexo 06.- Informe Final	37
Anexo 07.- Panel de Expertos y Grupo Monitor	48
Anexo 08.- Personas que Colaboraron con el Proyecto	50

Anexo 01

Información entregada al Panel de Expertos

- **Boletines Informativos del Método Delphi**
- **Relación Intensidad – Aceleración**
- **Características Arquitectónicas y Estructurales de los EMDL**
- **Hoja de Ayuda para el Llenado de la Encuesta**
- **Encuesta: “Intensidades vs. Daño para EMDL”**



El Oráculo de Delfos y La Ingeniería Civil



Templo de Apolo en Delfos

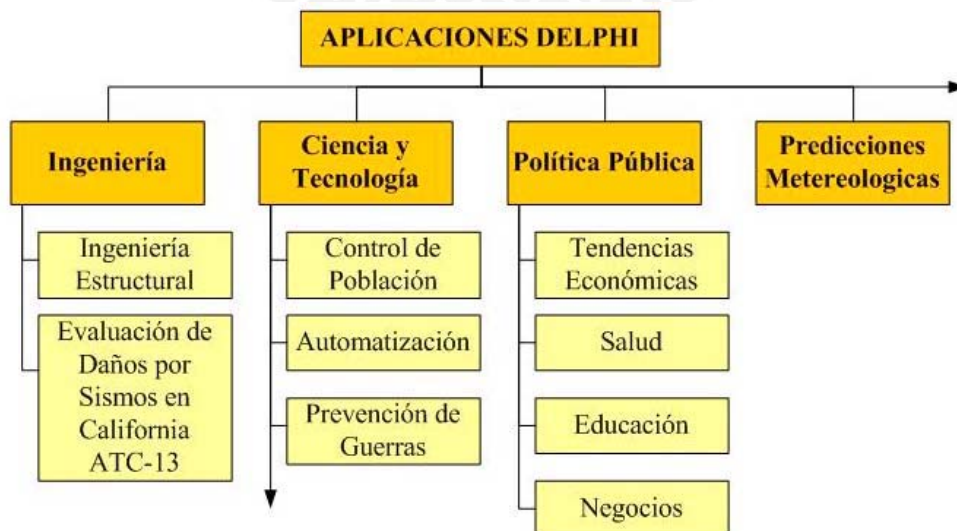
El primer templo data de fines del II milenio antes de nuestra era.

El hombre siempre ha intentado conocer el futuro. Los hombres de la antigüedad se dirigían al templo de Apolo en Delfos para averiguar lo que les deparaba el destino.

En los años 50, en el seno del Centro de Investigación estadounidense **RAND Corporation**, Olaf Helmer y Theodore J. Gordon desarrollaron el **Método Delphi** (el nombre se inspira en el oráculo de Delfos), con el propósito de obtener información de un grupo de expertos en relación a las catástrofes nucleares.



Delphi está desarrollado para aquellos casos en los cuales la información no se encuentra disponible en forma sistemática y refinada y cuando en muchos casos forma parte de la experiencia profesional de expertos. En la actualidad este método resulta de gran utilidad en muchas áreas del conocimiento y del ejercicio profesional.

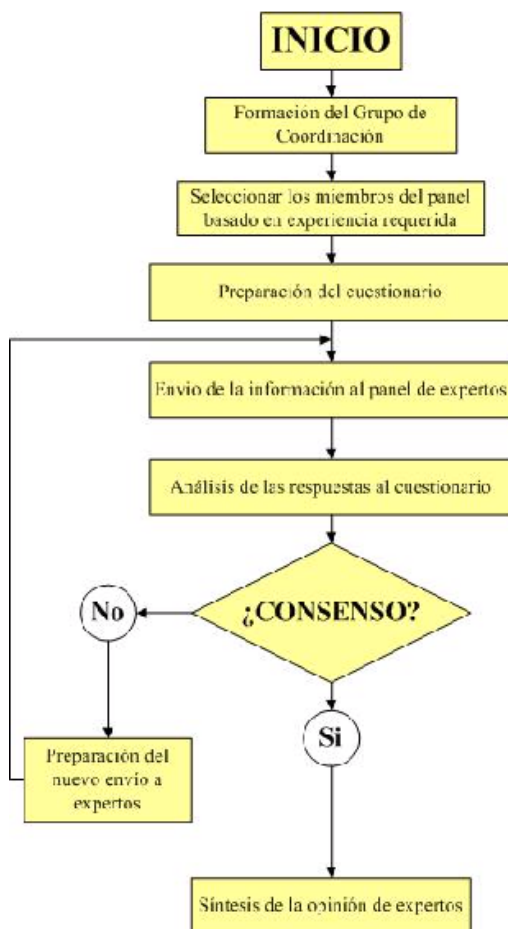


Boletín N°1

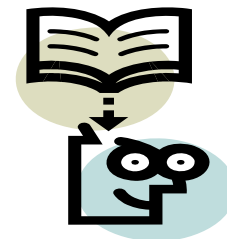


El Método Delphi y La Ingeniería Civil

El **objetivo** principal del Método Delphi es obtener información sobre un tema en particular y expresarla de manera ordenada y sistematizada. Este método está desarrollado para los casos en los cuales la información no se encuentra disponible en forma organizada, como es el caso del conocimiento asociado a la experiencia profesional de expertos.



La **metodología** consiste en recolectar información de un grupo de expertos mediante diferentes ciclos iterativos de encuestas. Para esto existe un grupo reducido de personas encargadas de definir los alcances del trabajo y de preparar los cuestionarios y existe un panel más amplio de expertos consultados.



Se busca que en el panel de expertos estén representadas todas las instituciones vinculadas al tema. Los cuestionarios son respondidos anónimamente. La interacción entre los expertos se logra mediante ciclos iterativos.

El profesor Ray Clough (Profesor emérito de la Universidad de Berkley) participó en el **panel de expertos** para la Evaluación de Daños Sísmicos de California. Más adelante les contaremos los detalles de esta experiencia.



Prof. Ray Clough



Delphi y la Evaluación de Daños por Sismo

Delphi aplicado en la Ingeniería

Entre las aplicaciones del Método de Delphi en ingeniería civil está el estudio de daños por sismos en el estado de California. En esta oportunidad, gracias a la participación de expertos en ingeniería estructural, se pudo correlacionar intensidades sísmicas y daños en edificaciones. El Consejo de Tecnología Aplicada de Estados Unidos elaboró un informe con los resultados de este trabajo (ATC-13).



Intensidad (MM)	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII					
Rango del Factor de Daño	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M
0												
0-1												
1-10												
10-30												
30-60												
60-100												
100												

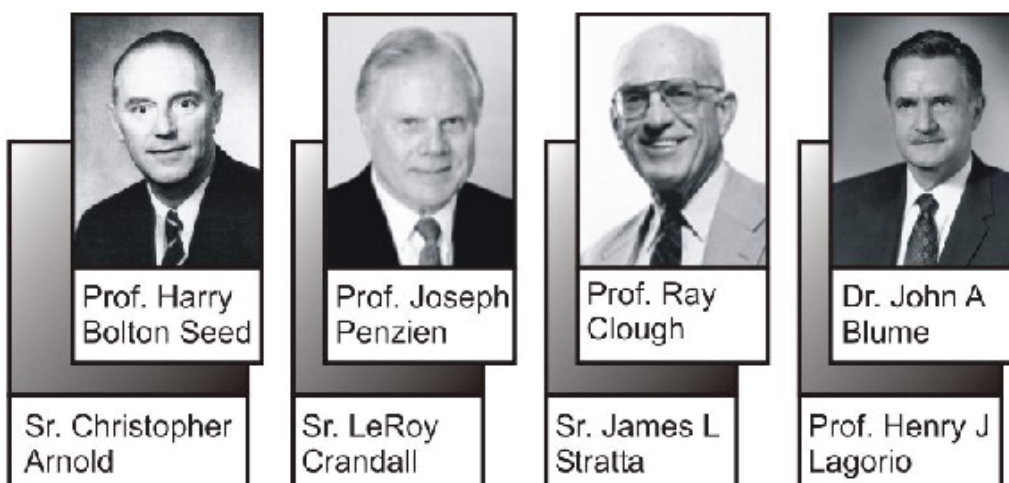
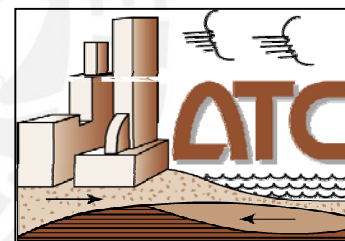
Formato de la Matriz de Daños

¿Que se obtuvo gracias a este trabajo?

Una matriz de daños para cada sistema estructural, que presenta la relación entre diferentes intensidades sísmicas y el rango de variación de los daños.

Participantes del ATC-13

Entre los expertos encuestados se contó con la participación de más de 70 ingenieros de renombre en el ámbito de la ingeniería sísmica, algunos de los cuales aparecen a continuación:





Delphi y los Edificios Peruanos

Los terremotos de 1746 y 1868 sacudieron nuestro territorio con intensidades de hasta XI MM, sin embargo en los últimos 130 años sólo hemos tenido intensidades máximas de IX MM. Por estas razones nuestras edificaciones de concreto y albañilería construidas en los últimos 100 años **no** se han probado en condiciones sísmicas severas.



Sur del Perú 2001

	Lima 1746	Arica 1868	Lima 1974	Arequipa 2001
Magnitud M_s	8,1	8,2	7,9	8,2
Intensidad Máxima (MM)	X - XI	XI	VIII - IX	VIII
Altura de Ola Tsunami (m)	15 - 20	20	1,6	-

Los sistemas estructurales han ido cambiando tanto por razones de seguridad sísmica como por innovaciones en el proceso constructivo. Estos cambios han sido tan importantes en los últimos años que los nuevos sistemas estructurales aún no han sido expuestos ni siquiera a sismos leves.



La ingeniería peruana tiene experiencia suficiente en el diseño de edificaciones y es posible recoger y sintetizar la opinión que los expertos tienen respecto al comportamiento sísmico de nuestras edificaciones.




En breve se formará un panel de expertos para estudiar la seguridad sísmica de las edificaciones peruanas. Los resultados de este trabajo servirán para hacer estimaciones de pérdidas por sismo, definir nuevas líneas de trabajo y proponer ajustes para nuestros códigos de diseño.



Intensidades, Daño y Confiabilidad

La severidad del movimiento producido por un sismo en una ubicación determinada se denomina **Intensidad**. La escala de intensidades más difundida es la de Mercalli Modificada (MM) en la que los primeros grados dependen de la percepción de las personas, los grados intermedios del comportamiento de las estructuras y los últimos de los cambios originados en el paisaje.

Se han propuesto muchas relaciones entre **intensidad** y **aceleración pico del suelo**. En la tabla se muestran algunos valores sugeridos en la literatura y en el anexo 1 se incluye la correlación que usaremos en este trabajo.

MM	Descripción	Aceleración del suelo (g)
● ● ● II 	Percibido por personas en reposo.	< 0,05
● ● ● VII 	Daño moderado en estructuras.	0,10 – 0,20
● ● ● XII 	Destrucción total y cambios en el paisaje.	> 0,50

Muestra de la tabla adjunta en el Anexo 1

Para cuantificar el daño causado por los sismos en las edificaciones, se usa el cociente entre el costo de reparación y el costo total inicial de la obra. Este cociente, denominado **factor de daño**, se suele expresar porcentualmente. En función del rango de valores para este **factor** se definen los siguientes siete **niveles de daño (ND)**.

Nivel de Daño ND	Factor de Daño (%)	Descripción
1. Ninguno	0	Sin daño.
2. Muy Ligero	0 - 1	Daño menor, limitado y localizado, no requiere reparación.
3. Ligero	1 - 10	Daño significativo localizado (algunos elementos), no requiere reparación.
4. Moderado	10 - 30	Daño significativo localizado (varios elementos), requiere reparación.
5. Fuerte	30 - 60	Daño extensivo que requiere mayor reparación.
6. Mayor	60 - 100	Daño mayor extensivo, requiere demoler y reparar la estructura.
7. Destruído	100	Total destrucción de la mayor parte de la estructura.

La relación entre la intensidad y el daño depende fundamentalmente del tipo de estructura. Por ejemplo es de esperar que para una intensidad de VII una vivienda de adobe tenga daño moderado con un valor de daño más probable (VMP) del orden del 25%.

	Intensidad	
	VII	
	ND	VMP (%)
Vivienda de Adobe	4	25
Daño	4	25

Debido a que tanto las sollicitaciones sísmicas como el comportamiento de las estructuras tienen variaciones apreciables, la relación entre el daño y la intensidad se expresa mejor indicando los valores de daño más bajo (MIN), más alto (MAX) y el valor más probable (VMP). Así para las viviendas de adobe sometidas a una intensidad de VII, además del factor de daño más probable especificamos como valores extremos 20% y 30%.

	Intensidad			
	VII			
	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Vivienda de Adobe	4	20	25	30
Daño	4	20	25	30



Pontificia Universidad Católica del Perú
DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES
PERUANAS

Esta relación intensidad-daño finalmente debe calificarse en función de la **confiabilidad** que se tiene sobre el tema usando valores entre 0 y 10, donde 10 indica certeza absoluta. Continuando con el ejemplo y en función del nivel de conocimientos y experiencia respecto a las construcciones de adobe, podríamos asignar una confiabilidad de 6.

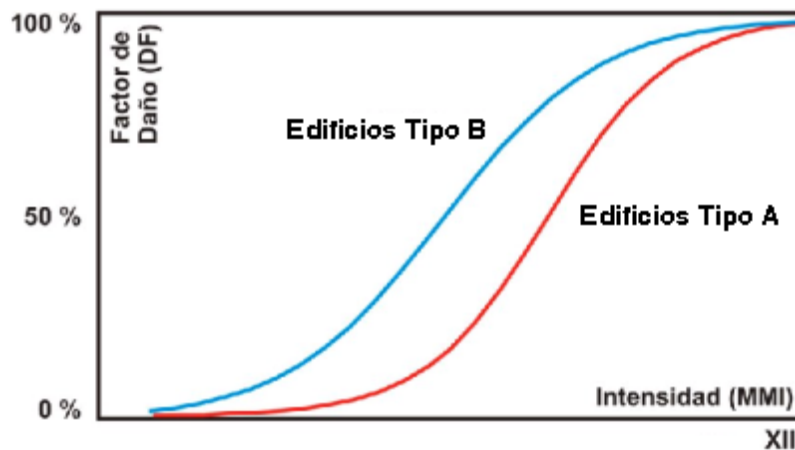
		Intensidad			
		VII			
Vivienda de Adobe		ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daños		4	20	25	30
Confiabilidad		6			

Rango de daño y confiabilidad para intensidades de VII y VIII en construcciones de adobe.

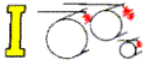



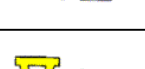


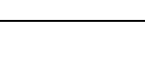


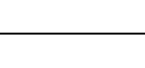
Finalmente para calificar el desempeño de un tipo de edificio en diferentes niveles de intensidad se emplea la siguiente tabla.

Relación Intensidad – Daño para Edificios del Tipo A																				
Intensidad	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiabilidad																				

Finalmente, luego de un corto procesamiento, la relación intensidad-daño puede expresarse gráficamente como:



Relación Intensidad – Aceleración

Intensidad (MM)	Aceleración Pico del Suelo (g)	Descripción
	< 0,05	Sentido sólo por algunas personas en condiciones sumamente favorables.
		Percibido por personas en descanso, especialmente en los pisos altos de edificios. Objetos suspendidos delicadamente pueden oscilar.
		Percibido en el interior de los edificios pero sin reconocerse como sismo.
		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.
		Percibido por la mayoría de personas. Algunas personas despiertan. Objetos inestables se vuelcan. Es posible estimar la dirección del movimiento.
	0,05 - 0,10	Sentido por todos. Personas huyen al exterior. Caminar inestable. Se rompen vidrios, caen objetos. Muebles desplazados. Grietas en revestimientos. Árboles sacudidos visiblemente. Daño leve.
	0,10 - 0,20	Dificultad para mantenerse en pie. Percibido hasta por conductores de automóviles en marcha. Daño significativo en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras corrientes bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas.
	0,20 - 0,35	Manejo inseguro de vehículos. Daño leve en estructuras diseñadas adecuadamente; considerable en edificios corrientes bien construidos; grande en estructuras de construcción pobre. Tabiques separados de la estructura. Caída de chimeneas, columnas, monumentos y paredes.
	0,35 - 0,50	Pánico general. Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la verticalidad. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
	> 0,50	Gran destrucción de edificaciones. Grandes daños en malecones, represas, diques y terraplenes. Grandes desplazamientos de tierra en taludes y orillas de los ríos.
		Pocas edificaciones quedan en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. Hundimientos y desplazamientos en terrenos blandos.
		Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Desplazamiento de grandes masas de roca. Líneas de mira y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Anexo 1

Evaluación del desempeño sismorresistente de edificios peruanos



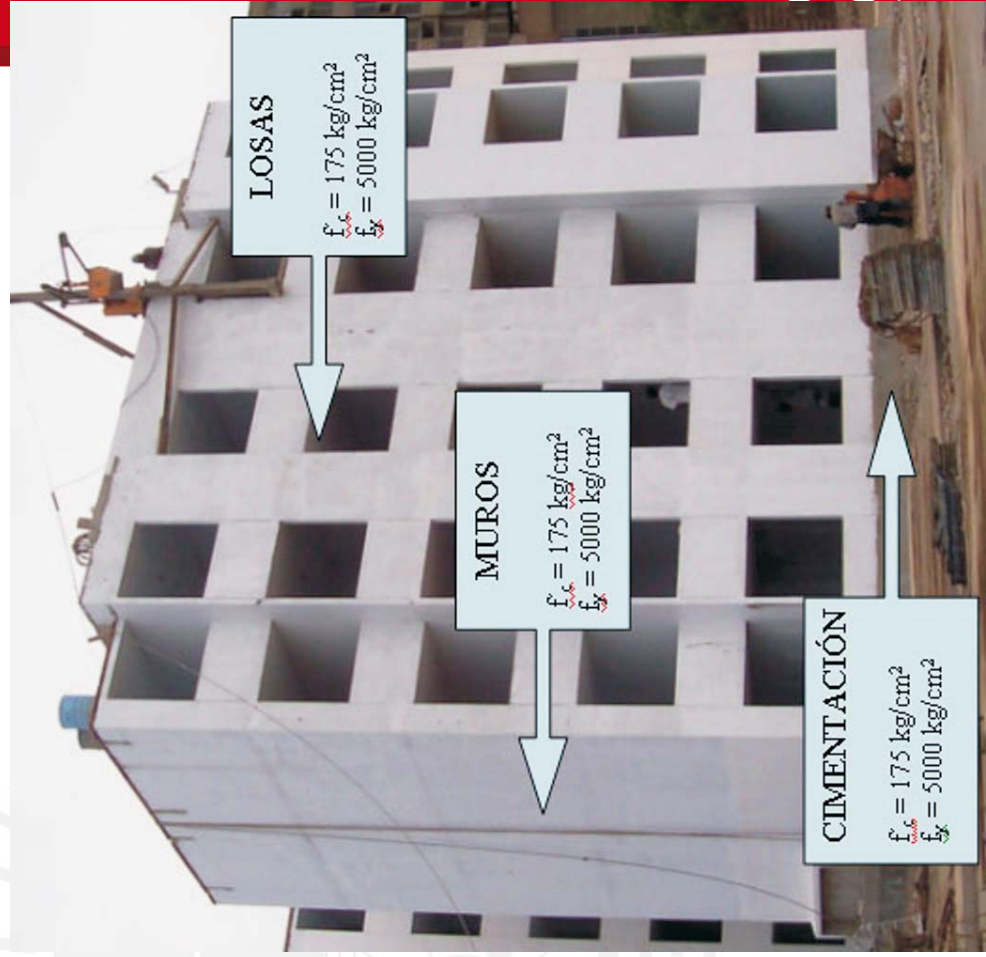
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada Peruanos

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

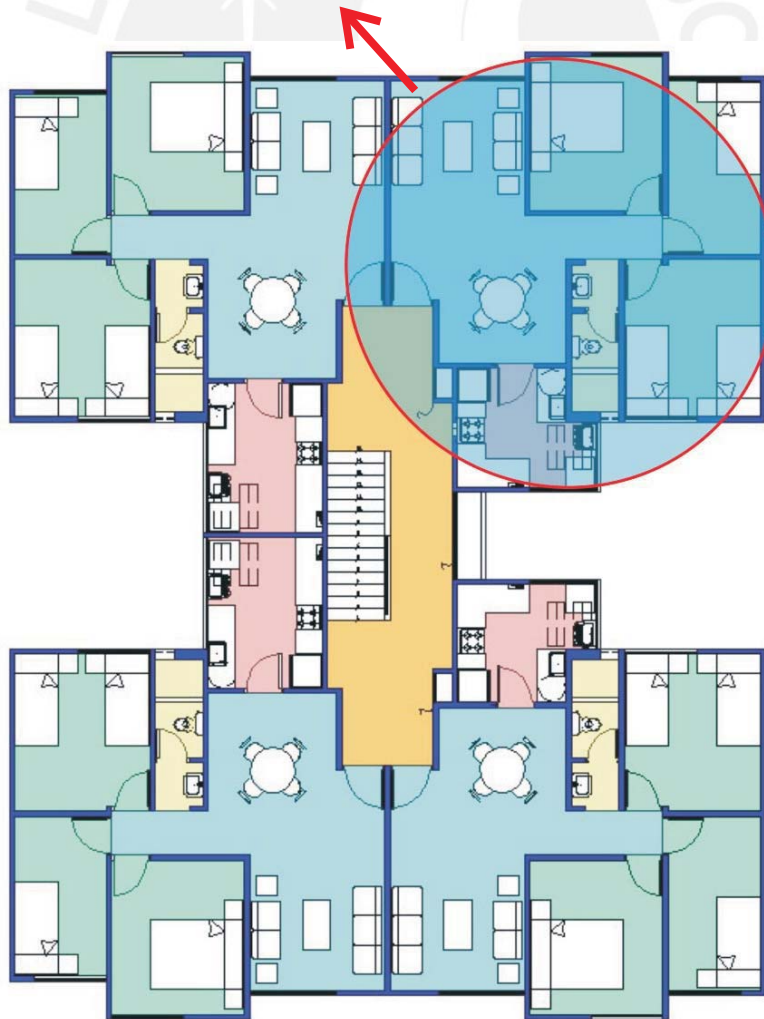
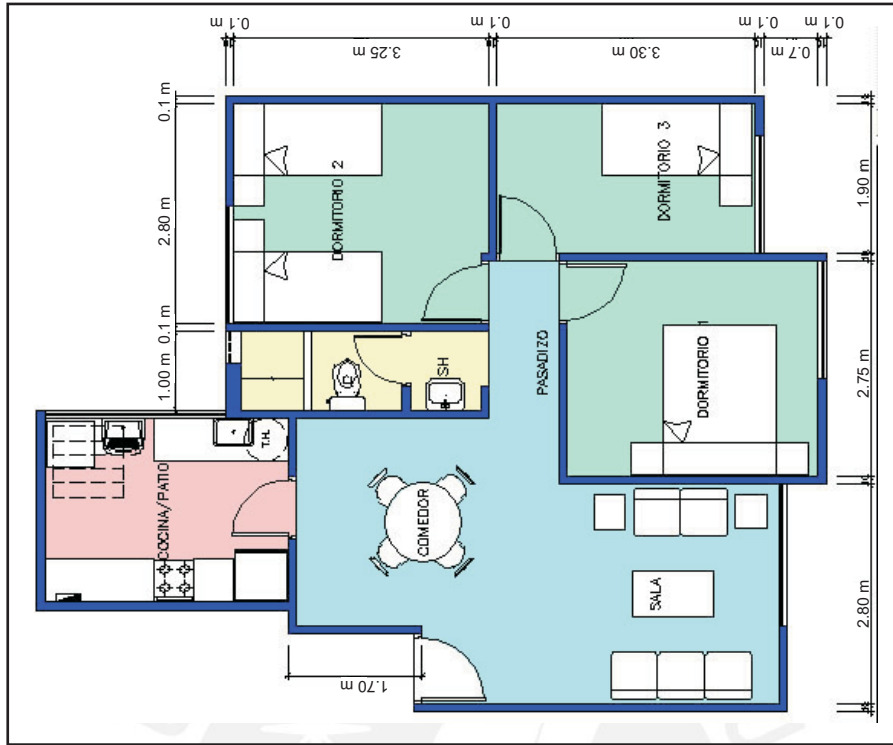
Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros delgados de concreto armado (10 y 12cm).

Debido a la rapidez con que se construyen y a su bajo costo, es probable que en un futuro cercano este sistema estructural se convierta en el preferido para los edificios de vivienda en el Perú. Sin embargo, estos edificios tienen características especiales que hacen que su diseño y construcción no estén completamente contemplados en nuestras normas.

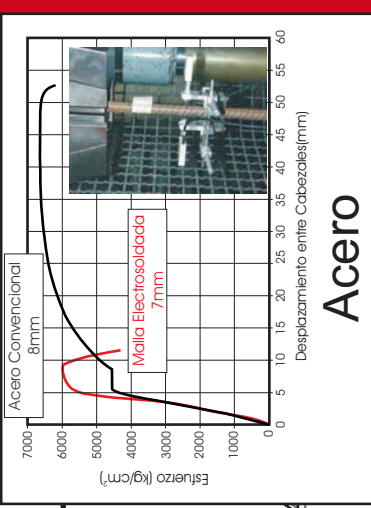
A continuación se presentan las características de un edificio representativo y se incluye una encuesta corta para recoger su opinión respecto al desempeño sismorresistente de estos edificios.



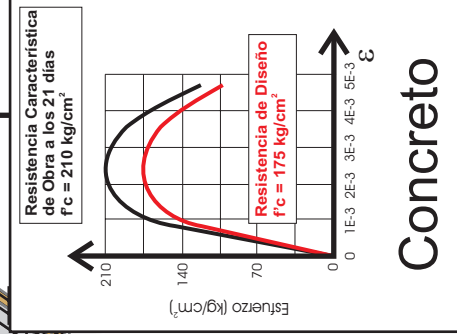
PLANTA DE ARQUITECTURA



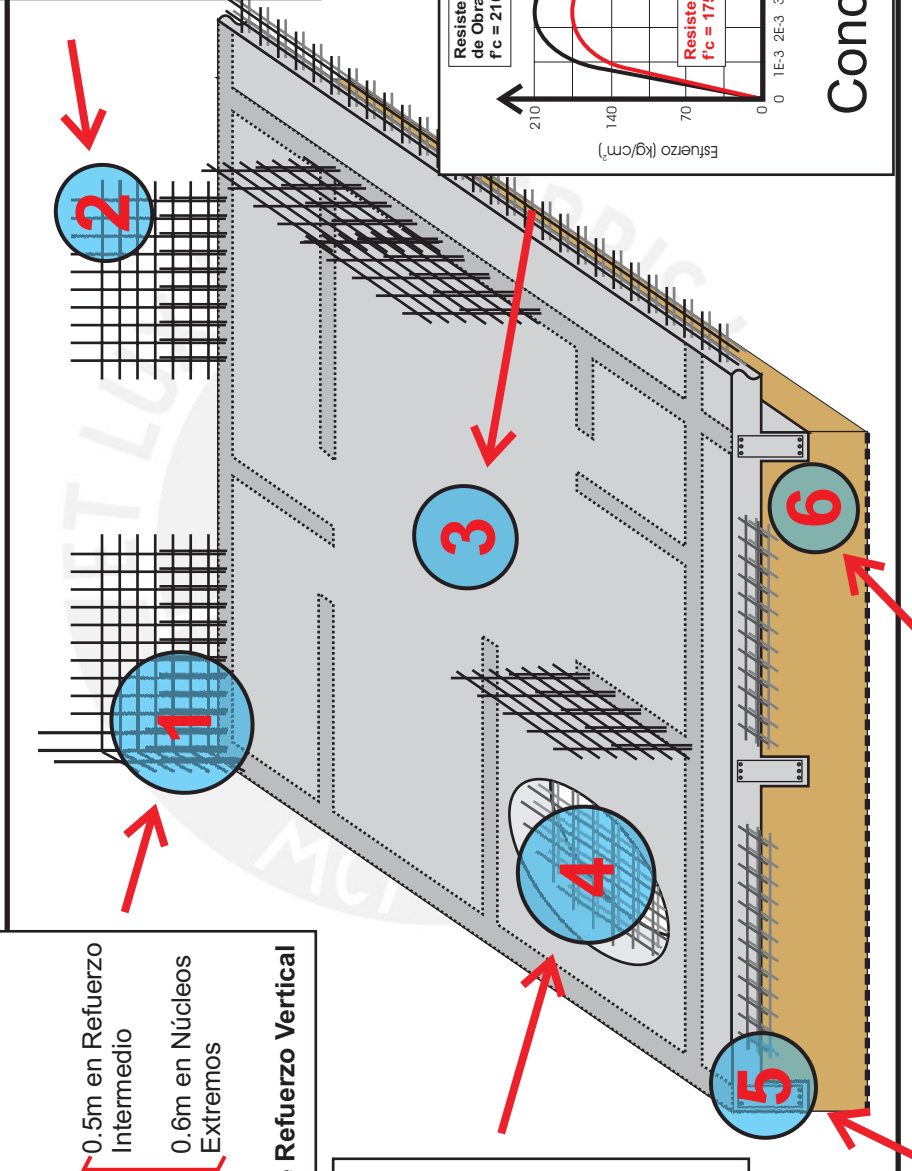
CIMENTACIÓN TÍPICA



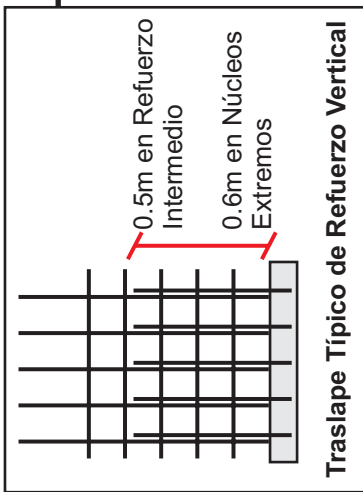
Acero



Concreto



Base compactada por capas al 95% del P.M.



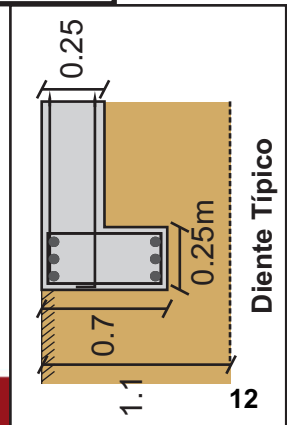
Refuerzo Típico de Platea

Mallas Corridas:

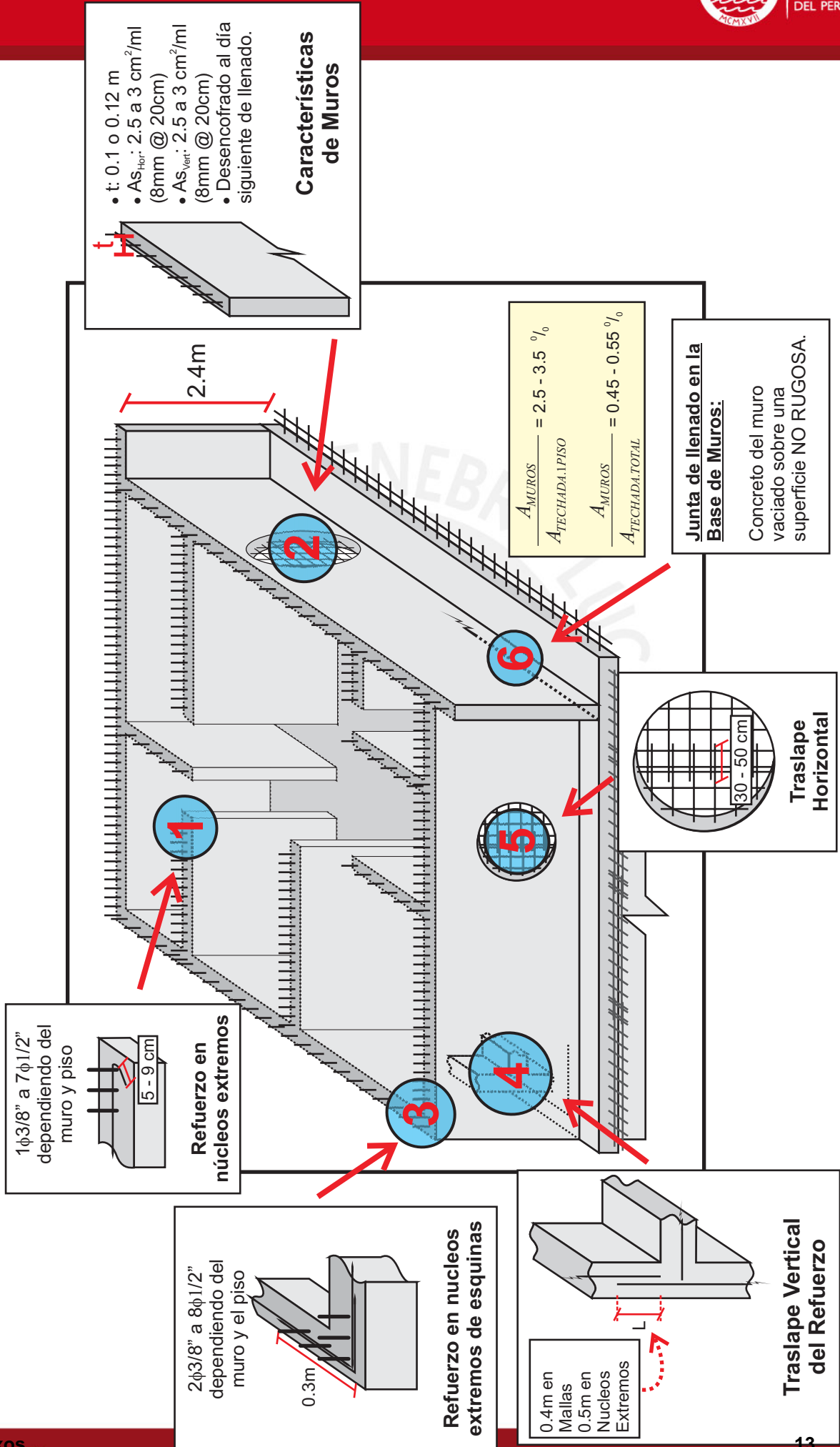
$A_{s_{sup}}$: 2.83 cm²/ml (8mm @ 15cm)
 $A_{s_{inf}}$: 1.39 cm²/ml (8mm @ 30cm)

Bastones Inferiores:

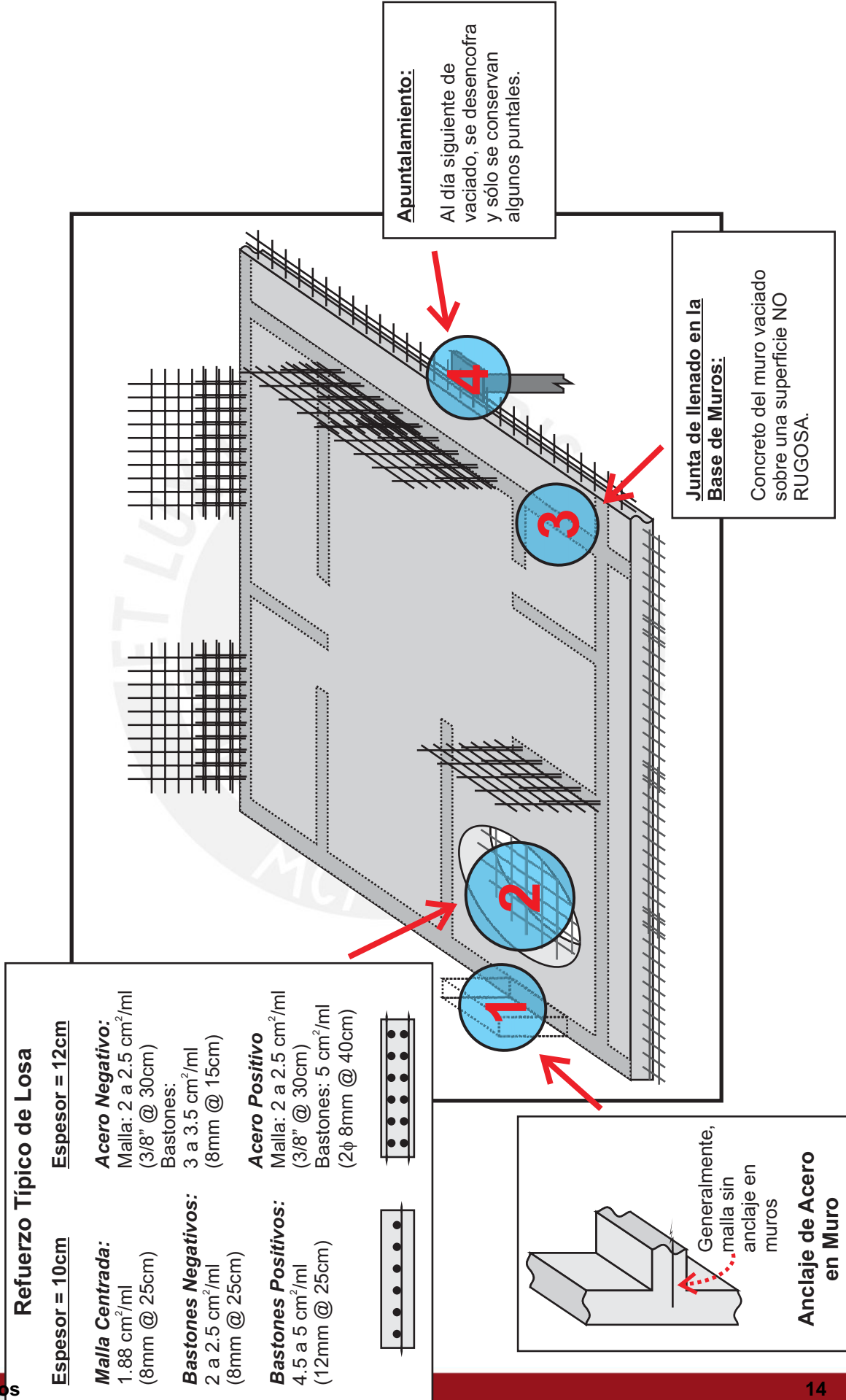
2 a 2.5 cm²/ml (8mm @ 20cm)



MUROS TÍPICOS



LOSA TÍPICA





Pontificia Universidad Católica del Perú
DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES
PERUANAS



INDICACIONES PARA EL LLENADO DE LA ENCUESTA

Para cuantificar el daño causado por los sismos en las edificaciones, se usa el cociente entre el costo de reparación y el costo inicial de la obra. Este cociente, denominado factor de daño, se suele expresar porcentualmente. En función del rango de valores para este factor, se definen siete niveles de daño (ND).

Nivel de Daño (ND)	Factor de Daño (%)	Descripción
1. Ninguno	0	Sin daño.
2. Muy Ligero	0 - 1	Daño menor, limitado y localizado, no requiere reparación.
3. Ligero	1 - 10	Daño significativo localizado (algunos elementos), no requiere reparación.
4. Moderado	10 - 30	Daño significativo localizado (varios elementos), requiere reparación.
5. Fuerte	30 - 60	Daño extensivo que requiere mayor reparación.
6. Mayor	60 - 100	Daño mayor extensivo, requiere demoler y reparar la estructura.
7. Destruído	100	Total destrucción de la mayor parte de la estructura.

Hemos definido cinco niveles de severidad sísmica, para cada uno de los cuales usted debe estimar el nivel de daño para el edificio en estudio.

Ver el CD o <http://www.pucp.edu.pe/secc/civil/dsrep/?delphi.htm>

Para contestar la encuesta en cada nivel de intensidad, siga el siguiente procedimiento

Elija el nivel de daño correspondiente.

Luego, indique los tres factores de daño dentro del nivel de daño elegido: valor de daño más bajo (MIN), valor más alto (MAX) y el valor medio probable (VMP).

Finalmente califique la confiabilidad que a su entender, la ingeniería tiene para este nivel (Use valores entre 0 y 10, 10 indica certeza absoluta).

Siguiendo este procedimiento, para cada intensidad tendrá por ejemplo:

Vivienda de Adobe	Intensidad			
	VII			
	ND	Mín.	VMP	Máx.
Daños	4	20	25	30
Confiabilidad	6			

Daño y confiabilidad para una intensidad de VII en construcciones de adobe.




Daños en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Por favor anote los valores que en su opinión describen la relación Daño-Intensidad para los edificios de muros de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos.

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 5 Pisos																
Intensidades	V - VI			VII			VIII			IX			X - XI			
	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daño																
Confiability																

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 7 Pisos																
Intensidades	V - VI			VII			VIII			IX			X - XI			
	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daño																
Confiability																





Anexo 02
Ficha de Campo
para Visitas a Obra



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú



Ficha N°: Fecha:

Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

1. DATOS PRINCIPALES DEL PROYECTO:

Nombre del Proyecto: _____

Proyectista: _____

Contratista: _____

Ing. Residente: _____

	Cimientos	Muros	Losa	
F'c				
Slump				
Aditivos				
Proveedor				

2. INFORMACIÓN ARQUITECTÓNICA:

Número de Pisos: _____

Área de cada Piso: _____

Departamentos por Piso: _____

Luces Típicas:

Sala		Cocina	
Dorm. Principal		Dorm. Típico	

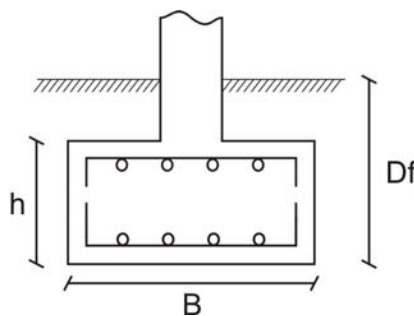
Número de Ascensores: _____

Cobertura de Azotea: _____

3. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES:

I. CIMENTACION:

i. Sistema de Cimentación: Platea Cimiento Corrido



Cimiento Corrido		Zapata	
Df		Df	
h		h	
B		B	
K_{sup}		K_{sup}	
K_{inf}		K_{inf}	

Elaborado por		Revisado por		Aprobado por	
Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:
	M:		M:	Jefe de Obra	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:

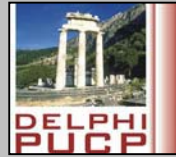


Proyecto de Investigación:

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

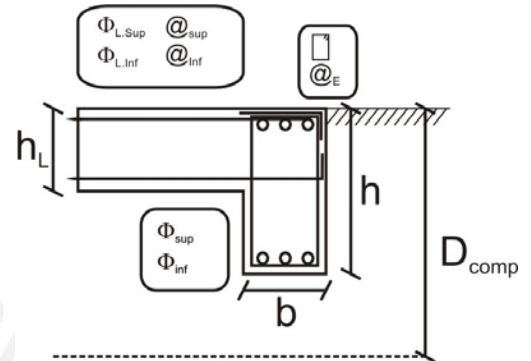
Ficha N°:

Fecha:



Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

PLATEA DE CIMENTACION			
Var.	Longitud	Var.	Longitud
D_{comp}		K_{sup}	
h		K_{inf}	
h_L		$K_{L.Sup}$	
b		@ _{sup}	
G		$K_{L.inf}$	
@ _E		@ _{inf}	



ii. Estrato de Cimentación:

iii. Compactación:

- Maquinaria:
- Capas

iv. Recubrimientos:

v. Método de Llenado:

vi. Curado:

vii. Otros:

II. MUROS:

i. Altura de Piso a techo:

ii. Área Transversal de Muros:

	Área	%
X (cm ²)		
Y (cm ²)		

iii. Refuerzo:

- Malla Acero Convencional
- Cuantías: Máx: _____ Min: _____

Elaborado por		Revisado por		Aprobado por	
Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:
	M:		M:	Jefe de Obra	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

Ficha N°: Fecha:



Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA					
Var.	Longitud	Var.	Longitud	Var.	Longitud
Espesores de los Muros					
t_1		t_2		t_3	
Porcentajes de Cada tipo de Muro					
$\%_1$		$\%_2$		$\%_3$	
Refuerzos en los Núcleos					
K_1		K_2		K_3	
Cant₁		Cant₂		Cant₃	
Refuerzo Central					
KX_{M1}		KX_{M2}		KX_{M3}	
KY_{M1}		KY_{M2}		KY_{M3}	
$X_{M1} @$		$X_{M2} @$		$X_{M3} @$	
$Y_{M1} @$		$Y_{M2} @$		$Y_{M3} @$	
Refuerzo de Cimentación Traslapado					
KX_{C1}		KX_{C2}		KX_{C3}	
KY_{C1}		KY_{C2}		KY_{C3}	
$X_{C1} @$		$X_{C2} @$		$X_{C3} @$	
$Y_{C1} @$		$Y_{C2} @$		$Y_{C3} @$	
Confinamiento de Núcleos					
G_1		G_2		G_3	
$@E_1$		$@E_2$		$@E_3$	
Longitudes de Traslapes y Anclaje					
$L_{TV.1}$		$L_{TV.2}$		$L_{TV.3}$	
$L_{TH.1}$		$L_{TH.2}$		$L_{TH.3}$	
$L_{A.1}$		$L_{A.2}$		$L_{A.3}$	

Elaborado por	
Nombre / Función:	D:
	M:
Firma:	A:

Revisado por	
Nombre / Función:	D:
	M:
Firma:	A:

Aprobado por	
Nombre / Función:	D:
Jefe de Obra	M:
Firma:	A:

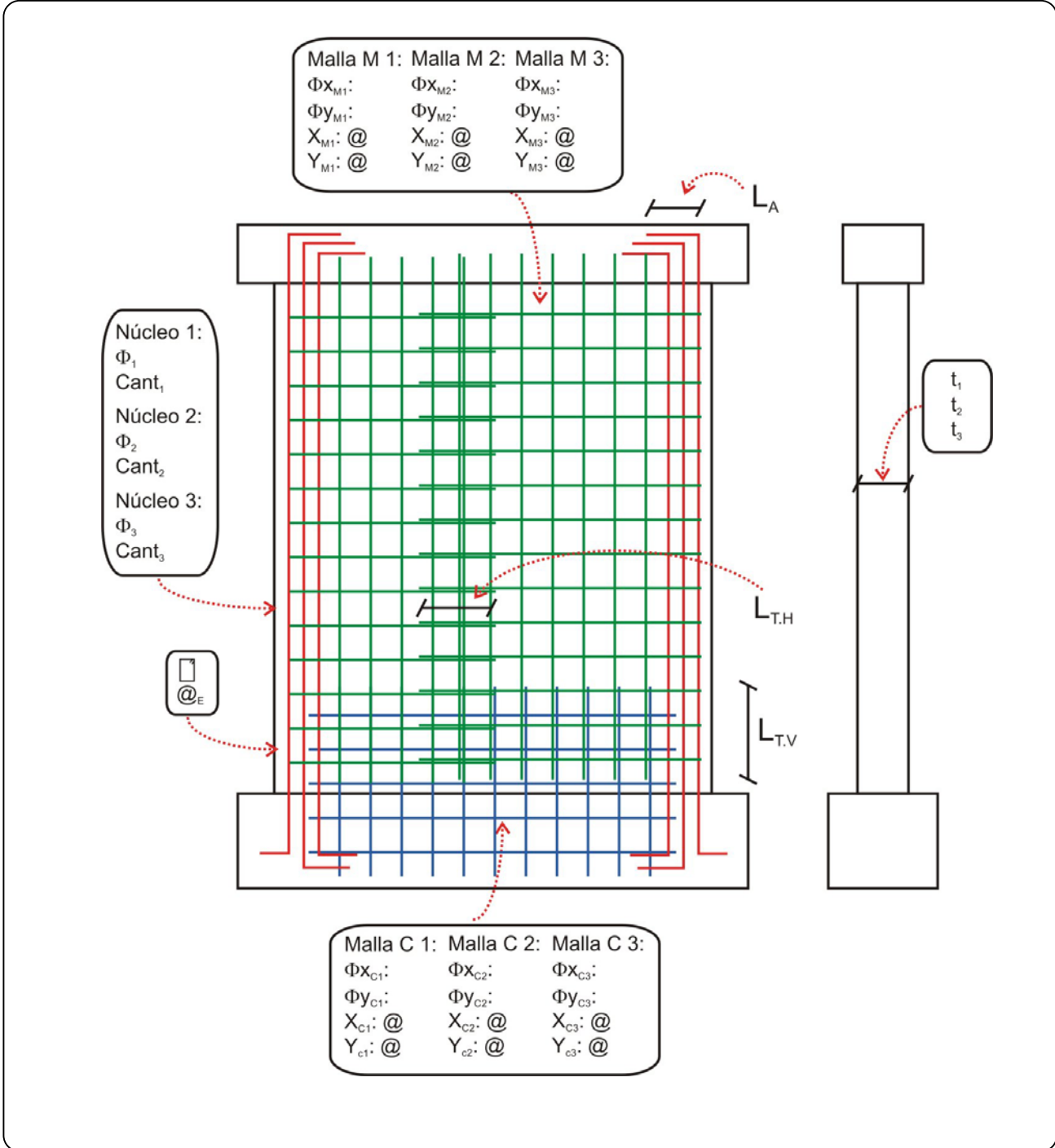


Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

Ficha N°: Fecha:



Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada



Elaborado por	
Nombre / Función:	D:
	M:
Firma:	A:

Revisado por	
Nombre / Función:	D:
	M:
Firma:	A:

Aprobado por	
Nombre / Función:	D:
Jefe de Obra	M:
Firma:	A:



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

Ficha N°: Fecha:

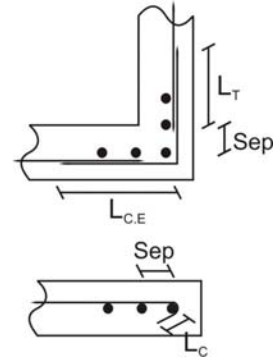


Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

iv. Núcleos Extremos:

- Confinamiento:
- Acero Vertical:

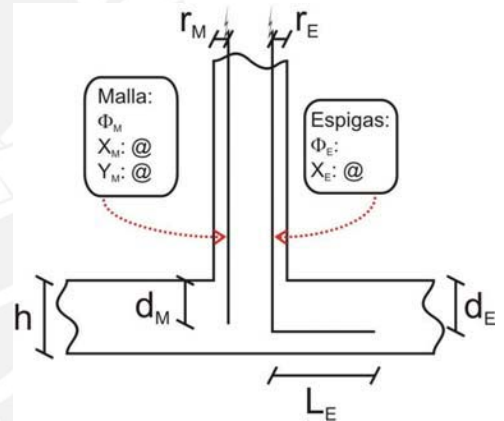
Var.	Long (cm)	Var.	Long (cm)
L_C		$L_{C,E}$	
L_T		Sep	



v. Traslapes:

- Longitud:
- % del Traslape:
- Malla Acero Convencional

ANCLAJES Y EMPALMES			
Var.	Longitud	Var.	Longitud
h		K_M	
d_M		$X_M @$	
d_E		$Y_M @$	
L_E		K_E	
r_M		$X_E @$	
r_E		L_T	
		L_U	

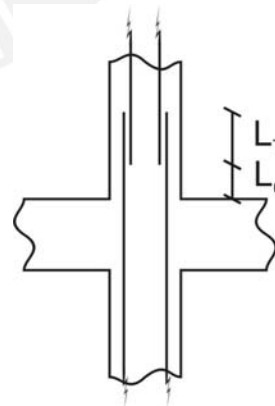


vi. Preparación de la base del muro (Rayado):

- Inclinación:
- Profundidad:
- Separación:

vii. Tuberías en Muros:

Red de Agua y Desagüe		
< 30%	30% - 70%	>70%



Elaborado por	
Nombre / Función:	D:
	M:
Firma:	A:

Revisado por	
Nombre / Función:	D:
	M:
Firma:	A:

Aprobado por	
Nombre / Función:	D:
Jefe de Obra	M:
Firma:	A:



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú



Ficha N°: Fecha:

Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

Red Eléctrica		
< 30%	30% - 70%	>70%

- viii. Consideraciones para Tuberías:
- ix. Recubrimientos:
- x. Encofrado:
- xi. Método de Llenado:
- xii. Desencofrado:
- xiii. Curado:
- xiv. Perforaciones y cajas:
- xv. Juntas de Construcción:
 - Ubicación:
 - Profundidad de la superficie:
- xvi. Agrietamientos:
- xvii. Cangrejeras:
- xviii. Resanes:
- xix. Otros:

Elaborado por		Revisado por		Aprobado por	
Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:
	M:		M:	Jefe de Obra	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú



Ficha N°: Fecha:

Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

III. LOSAS:

i. Tipo: Aligerado Maciza Aligerado c/ Vig Prefab.

ii. Espesores:

iii. Tipo de refuerzo:

iv. Recubrimientos:

v. Tuberías en baños:

- Ensanches:
- Desfases:

vi. Tuberías de Inst. Elec:

- Ø:
- Recubrimiento:

vii. Encofrados:

viii. Método de Llenado:

ix. Desencofrado (tiempo):

x. Curado

Elaborado por		Revisado por		Aprobado por	
Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:
	M:		M:	Jefe de Obra	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú

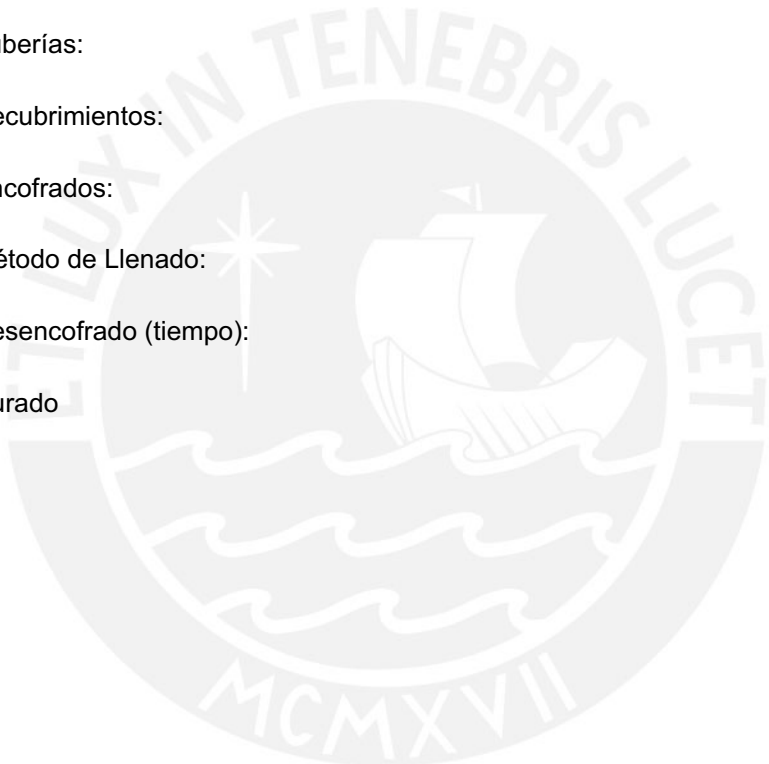


Ficha N°: Fecha:

Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

IV. VIGAS:

- i. Uso estructural:
- ii. Dimensiones:
- iii. Tipo de refuerzo:
- iv. Tuberías:
- v. Recubrimientos:
- vi. Encofrados:
- vii. Método de Llenado:
- viii. Desencofrado (tiempo):
- ix. Curado



Elaborado por		Revisado por		Aprobado por	
Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:
	M:		M:	Jefe de Obra	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:



Proyecto de Investigación:
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada en el Perú



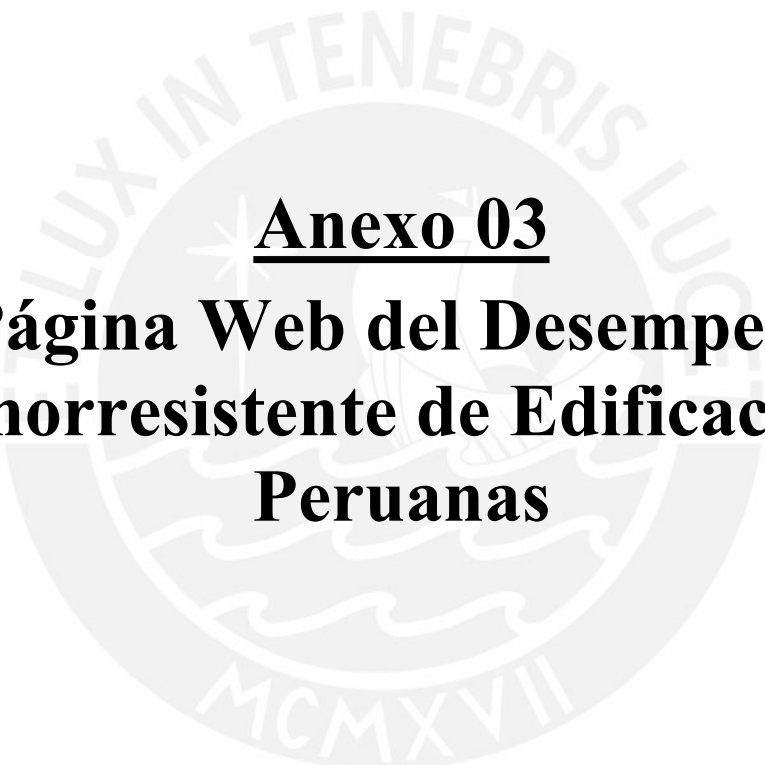
Ficha N°: Fecha:

Ficha de Campo de Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada

V. OTROS:

4. OTROS DETALLES

Elaborado por		Revisado por		Aprobado por	
Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:	Nombre / Función:	D:
	M:		M:	Jefe de Obra	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:



Anexo 03
Página Web del Desempeño
Sismorresistente de Edificaciones
Peruanas

PAGINA WEB DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES PERUANAS:

Se creó una página web conjuntamente con la dirección de informática de la PUCP para mantener informado al Panel de Expertos y mostrar los resultados del estudio de desempeño sismorresistente de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada y de los Edificios Educativos Peruanos.

Página Principal

En esta página principal se ofrece información del Método Delphi y del desempeño de los Edificios Peruanos.



Figura A3.1: Página Principal del Proyecto de Desempeño Sismorresistente de Edificaciones Peruanas

Página del Método Delphi

Se ofrecen cinco los cinco boletines que sirvieron para informar al Panel de Expertos acerca de la historia y aplicación del Método Delphi. Se muestra la relación Intensidad – Aceleración usada en el trabajo y se incluyen mapas de Intensidades de los principales terremotos peruanos.

A continuación se muestra la página del Método Delphi y algunas capturas de pantalla de la información presentada en ella.



Pontificia Universidad Católica del Perú
DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES PERUANAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

MÉTODO DELPHI
 INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA
 EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA
 VOLVER A LA PÁGINA PRINCIPAL

El Método Delphi

El Método Delphi sirve para recolectar información dispersa que muchas veces sólo se encuentra en manos de un grupo de expertos. Usaremos este método para estimar el desempeño sismorresistente de algunos tipos de edificios peruanos. Presentamos brevemente este método en los siguientes 5 boletines muy cortos (1 página cada uno).



Versión PDF

1. El Oráculo de Delfos y La Ingeniería Civil
2. El Método de Delphi y La Ingeniería Civil
3. Delphi y la Evaluación de Daños por Sismo
4. Delphi y los Edificios Peruanos
5. Intensidades, Daño y Confiabilidad

Los anexos que siguen contienen información de intensidades y aceleraciones en algunos sismos peruanos

- Relación Intensidad - Aceleración
- Distribución de Intensidades de terremotos peruanos

PUCP PRINCIPAL Consultas: delphi@pucp.edu.pe DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

Figura A3.2: Página del Método Delphi



Figura A3.3: Boletín 1



Figura A3.4: Boletín 3



Figura A3.5: Anexo 1
Relación Intensidad – Aceleración

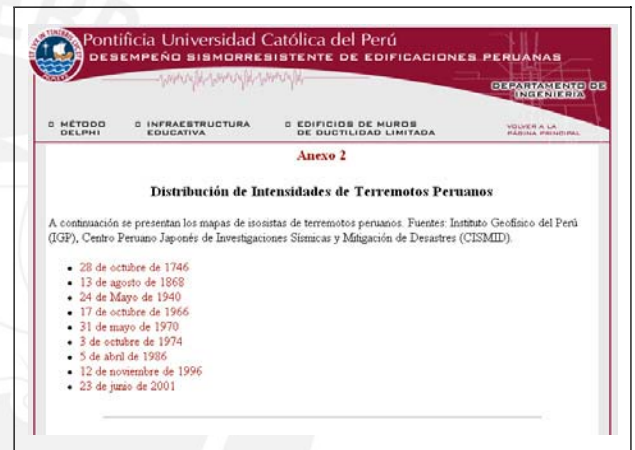


Figura A3.6: Anexo 2
Mapas de Intensidades de los principales terremotos peruanos

Página de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

En esta página se presenta de manera concisa la información acerca de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada para permitir al Panel de Expertos tener un concepto claro del tipo de edificación que se estaría evaluando. A través de esta página se entregó la encuesta al grupo de expertos y se muestran los resultados.

A continuación se muestra la página de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada y algunas capturas de pantalla de la información presentada en ella.



Pontificia Universidad Católica del Perú
DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES PERUANAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

MÉTODO DELPHI
 INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA
 EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA
 VOLVER A LA PÁGINA PRINCIPAL

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros delgados de concreto armado (10 y 12cm).

Debido a la rapidez con que se construyen y a su bajo costo, es probable que en un futuro cercano este sistema estructural se convierta en el preferido para los edificios de vivienda en el Perú. Sin embargo, estos edificios tienen características especiales que hacen que su diseño y construcción no estén completamente contemplados en nuestras normas.

A continuación encontrará las características estructurales de un edificio representativo, una galería de imágenes y una corta encuesta para recoger su opinión respecto al desempeño sismorresistente de estos edificios.

- Características Arquitectónicas y Estructurales
- Galería de Imágenes
- Encuesta
- Resultados de la encuesta

PUCP PRINCIPAL Consultas: delphi@pucp.edu.pe DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

Figura A3.7: Página de los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada



Figura A3.8: Características Arquitectónicas y Estructurales

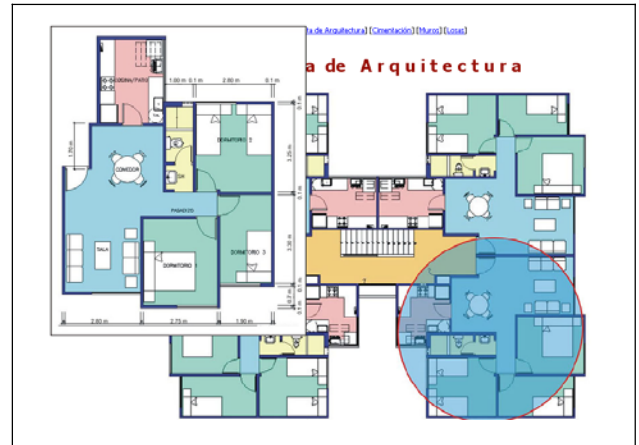


Figura A3.9: Características Arquitectónicas



Figura A3.10: Galería de Fotos



Figura A3.11: Página de la Encuesta




Anexo 04
**Función de Distribución del Daño
para los EMDL-Parámetros de la
Función Beta**

Tablas A4.1 y A4.2: Función de Distribución del Daño para los EMDL - Parámetros de la Función Beta

		EMDL de 5 Pisos									
Intensidades	V - VI		VII		VIII		IX		X - XI		
Parámetros Beta	λ	ν	λ	ν	λ	ν	λ	ν	λ	ν	
		12.85	372.01	15.07	121.34	23.81	83.10	31.64	38.66	49.12	23.40

		EMDL de 7 Pisos									
Intensidades	V - VI		VII		VIII		IX		X - XI		
Parámetros Beta	λ	ν	λ	ν	λ	ν	λ	ν	λ	ν	
		15.56	394.95	12.81	73.38	28.15	65.47	33.16	27.42	64.11	22.30





Anexo 05
**Relación Intensidad – Daño
para los EMDL**

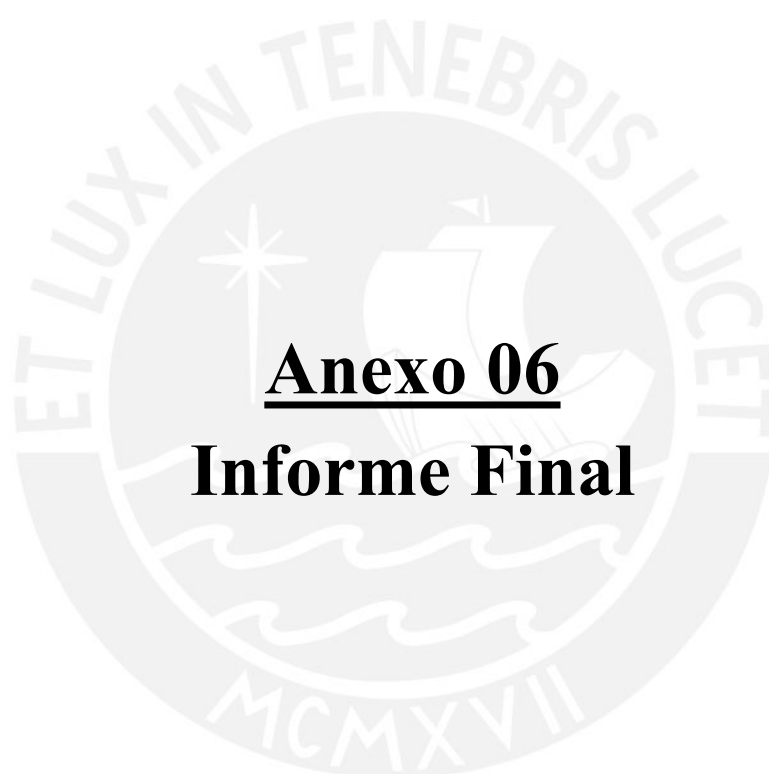


Relación Intensidad-Daño para los Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

A continuación se muestran los valores medios de los resultados individuales del Panel de Expertos.

Intensidades	Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 5 Pisos														
	V - VI			VII			VIII			IX			X - XI		
	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daño	2.045	3.341	5.114	6.814	11.05	15.49	15.73	22.27	28.84	35	45.01	54.42	58.41	67.73	76.36

Intensidades	Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 7 Pisos														
	V - VI			VII			VIII			IX			X - XI		
	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daño	2.333	3.788	5.385	8.41	14.86	20.77	22.18	30.07	37.66	44.16	54.74	65.05	65.86	74.19	81.34



Anexo 06
Informe Final

ESTIMACION DEL NIVEL DE DAÑO EN EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Por: Raúl Delgado Ehni y Catalina Peña Rodríguez-Larraín
Asesor: Alejandro Muñoz Pelaez
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Por medio de la opinión de expertos se estimaron los daños que tendrían los edificios de muros de ductilidad limitada peruanos en distintos niveles intensidad sísmica. Se empleó el método Delphi para la recolección y síntesis de la opinión de los expertos. La relación Intensidad – Daño se manejó usando distribuciones Beta, en base a las cuales se obtuvieron curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño. Los resultados indican que los EMDL tendrían un desempeño sismorresistente apropiado, sin embargo, su reparación post-sismo constituiría un serio problema económico para los propietarios, generalmente de escasos recursos económicos y que adquirieron sus departamentos con hipotecas a largo plazo.

ABSTRACT

The Delphi Method was used to collect and evaluate available data from expert opinions of the estimated damage to apartment buildings with walls of limited ductility (edificios de muros de ductilidad limitada, or EMDL in Spanish) in Peru, as caused by varying levels of seismic intensity. The synthesized data was analyzed using Beta distributions to determine an Intensity – Damage relationship, from which fragility curves and damage probability matrices were derived. The results indicate that the EMDL considered in the study provide an adequate seismic-resistance behavior. However, post-earthquake repairs would constitute a serious economic problem to the residence owners who generally have limited financial resources and typically acquired their apartments under long-term mortgages.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros portantes delgados de concreto armado (10 y 12 cm). Debido a las dimensiones y peculiaridades en el armado de muros, estos edificios se denominan Edificios de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL).

La rapidez con que se construyen y su bajo costo están convirtiendo a los EMDL en una buena alternativa para la construcción de viviendas económicas en el Perú.

Los EMDL tienen características especiales que hacen que su diseño y construcción no esté totalmente contemplado en códigos internacionales de diseño, razón por la cual existen discrepancias respecto a su desempeño sismorresistente.

El objetivo de este trabajo fue identificar las principales características del sistema estructural de los EMDL y hacer una primera aproximación a su comportamiento sismorresistente esperado mediante herramientas para cuantificar pérdidas.

LOS EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA EN EL PERU

En la década del 80 se construyeron algunos edificios con muros portantes de concreto armado que resultaron económicos debido al bajo precio coyuntural del acero y del cemento. En los 90, se dejaron de construir estos edificios debido al incremento en el costo del acero y la importancia de la mano de obra en la estructura de costos. Se retomó la construcción de estos edificios en 1999 y para el 2003 ya se habían construido muchos EMDL aún sin contar con normas específicas para su diseño y construcción. Recién en diciembre del 2004 el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) incorpora dispositivos específicos para los EMDL en las Normas de Diseño Sismorresistente y de Concreto Armado.

Los EMDL peruanos corresponden a edificios multifamiliares de 5 a 10 pisos con departamentos de mediano y bajo costo, de arquitectura modesta con ambientes y luces reducidos. Cada nivel suele tener de dos a cuatro departamentos medianos modulares con alrededor de 80 m² cada uno. (Figura 1)

Los EMDL son edificios de muros portantes tanto para solicitaciones de gravedad como sísmicas, generalmente no tienen vigas y las losas se apoyan directamente sobre los muros. (Foto 1)

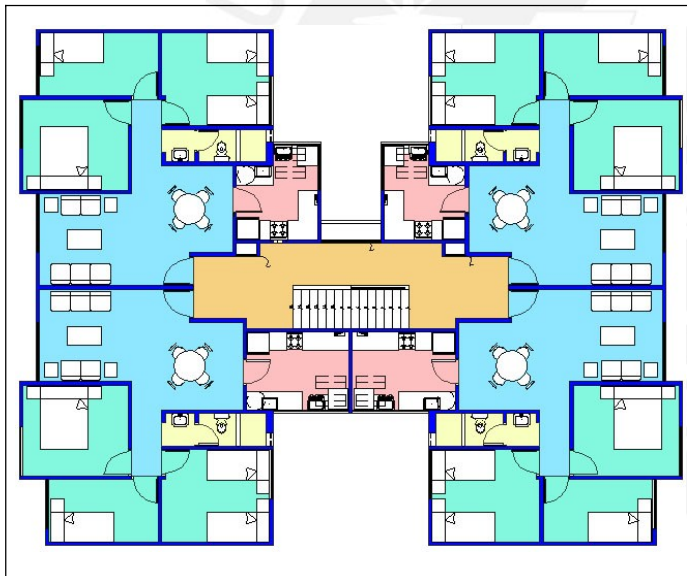


Figura 1: Planta de un edificio Típico

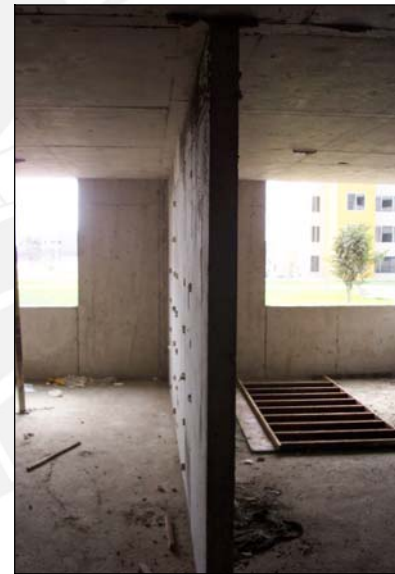


Foto 1: Vista de Muro

Los EMDL de 5 a 7 pisos tienen una alta densidad de muros en cada dirección. El cociente entre el área de muros de una dirección y el área en planta oscila para la mayoría de edificios entre 2.5 y 3.5% y el cociente referido al área total techada esta entre 0.45 y 0.55%, aunque se ven casos particulares donde edificios de 9 pisos tienen la misma densidad de muros que los de 5 pisos.

Comúnmente se emplea concreto premezclado con un asentamiento mayor a 6" que requieren aditivos superplastificantes tipo F o G. La resistencia nominal f'_c es de 175 kg/cm², valor que en obra suele incrementarse hasta en 30%. Para el refuerzo, por lo general se emplean mallas electrosoldadas de escasa ductilidad con un esfuerzo de fluencia equivalente de 5000 kg/cm² (Figura 2).

Los EMDL se apoyan sobre plateas superficiales de 20 a 25 cm de espesor, construidas sobre rellenos controlados de ingeniería. La platea usualmente cuenta con dientes de cimentación para confinar el relleno, con dimensiones que varían desde 25 x 65 cm hasta 35 x150 cm. (Foto 2). La platea sirve además como contrapiso.

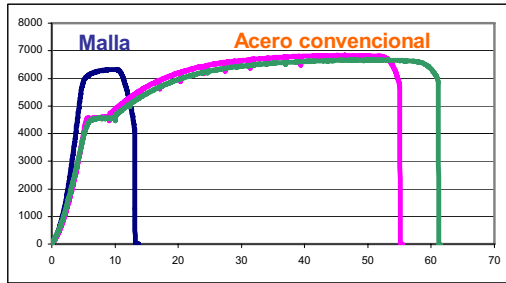


Figura 2: Diagrama Esfuerzo-Deformación



Foto 2: Platea de Cimentación

Para el refuerzo de las plateas de cimentación se emplean dos mallas (superior e inferior) y bastones de acero corrugado ubicados en la capa inferior, bajo los muros. La malla superior tiene una cuantía entre 3.30 cm²/ml y 6.40 cm²/ml y la inferior cuenta con una cuantía entre 1.68 cm²/ml y 6.40 cm²/ml. Los bastones son de 8 mm de diámetro con longitudes alrededor de 1.30 m y una cuantía entre 2 a 2.5 cm²/ml.

Los muros tienen espesores de 10 a 12 cm y están armados generalmente con una malla electrosoldada centrada como refuerzo distribuido. (Foto 3)

Como refuerzo concentrado en los extremos se emplean varillas de acero corrugado que no se confinan por estribos. El refuerzo vertical concentrado se “amarra” al refuerzo distribuido con ganchos que se traslapan al refuerzo longitudinal y terminan en un doblado de 5 a 9 cm.

Los traslapes verticales se hacen en la base del muro, justo sobre las losas, con longitudes uniformes de 40 cm para el refuerzo distribuido y 50 cm para el refuerzo concentrado.

Los muros generalmente se llenan sobre la superficie de la losa sin el debido cuidado para garantizar una correcta unión muro-losa. La superficie de encuentro no se deja adecuadamente rugosa y en algunos casos incluso se alisa en la zona de muros.



Foto 3: Refuerzo Distribuido y Concentrado en los Muros

Casi la totalidad de las tuberías eléctricas van embebidas en los muros, al igual que las tuberías sanitarias de diámetros menores a 2". Las tuberías de diámetros mayores, pasan por ductos y en algunos casos por ensanches de hasta 20 cm.

Los sistemas de techado son generalmente losas macizas de 10 y 12 cm o aligerados que actúan como diafragmas rígidos (Foto 4).

El refuerzo de las losas macizas consta de una malla centrada para las losas de 10 cm y de dos mallas (superior e inferior) para losas de mayores espesores (12 cm o más). Se emplean bastones positivos y negativos de acero corrugado. En las losas de 10 cm, la cuantía de las mallas es de aproximadamente $2.00 \text{ cm}^2/\text{ml}$. En las losas de mayores espesores, la malla superior tiene una cuantía entre $0.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$ y $2.51 \text{ cm}^2/\text{ml}$ y la inferior una cuantía entre $1.62 \text{ cm}^2/\text{ml}$ y $2.85 \text{ cm}^2/\text{ml}$.



Foto 4: Vista de Losa de Techo

Por las losas se pasan las tuberías eléctricas y de agua, para las tuberías de desagüe se emplean losas de mayores espesores, 17 a 25 cm.

Para la construcción de muros y losas se usan encofrados metálicos ligeros modulares que en algunos casos permiten el llenado de muros y losas en un solo vaciado (Foto 5).

Al parecer, el uso de encofrados metálicos no disminuye como debiera la cantidad de imperfecciones en muros y losas (en promedio se hacen resanes en casi el 50% de los muros). Esto se debe principalmente al mal vaciado de los elementos, a un mal mantenimiento de los encofrados y a veces a un diseño de mezcla que no cuenta con la fluidez necesaria.



Foto 5: Encofrados metálicos

En el concreto de muros y losas se encontraron cangrejas, grietas y segregación. También se observó el mal doblado y el “grifado” del acero y problemas de recubrimiento para las tuberías.

El uso de encofrados metálicos, mallas electrosoldadas y concreto premezclado, facilitan y mejoran la organización del proceso de construcción y permiten un avance hacia la industrialización del proceso constructivo de edificios. Se alcanzan con frecuencia velocidades de construcción de hasta dos departamentos por día.

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POR SISMO

En este trabajo, la intensidad sísmica se expresó mediante la intensidad de Mercalli Modificada (MM) y también por la aceleración pico del suelo (APS). La correlación entre estos indicadores se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Correlación Intensidad-Aceleración Pico del suelo (Sauter, 1978)

Intensidad (MM)	Aceleración Pico del Suelo (APS)	Descripción
V	<0,05	Percibido por la mayoría de personas.
VI	0,05 - 0,10	Sentido por todos. Daño leve.
VII	0,10 - 0,20	Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción.
VIII	0,20 - 0,35	Daño leve en estructuras diseñadas adecuadamente.
IX	0,35 - 0,50	Daño considerable en estructuras de diseño especial.
X	> 0,50	Gran destrucción de edificaciones.
XI		Pocas edificaciones quedan en pie.
XII		Destrucción total y cambios en el paisaje.

Para cuantificar el daño por terremotos se usó el cociente entre el valor de la pérdida y el valor de reemplazo completo, cociente al que se denomina Factor de Daño (FD).

$$\text{Factor de Daño (FD)} = \frac{\text{Valor de pérdida (VP)}}{\text{Valor de reemplazo completo (VR)}}$$

Se establecieron rangos de valores para el FD y quedaron definidos siete estados de daño (ED). (Tabla 2)

Tabla 2: Estados de daño utilizados

Estados de Daño (ED)	Rangos del Factor de Daño	Descripción
1. Ninguno	0	Sin daño.
2. Muy Leve	0 - 0.01	Daño menor, limitado y localizado, no requiere reparación.
3. Leve	0.01 - 0.1	Daño significativo localizado (algunos elementos), no requiere reparación.
4. Moderado	0.1 - 0.3	Daño significativo localizado (varios elementos), requiere reparación.
5. Alto	0.3 - 0.6	Daño extensivo que requiere mayor reparación.
6. Severo	0.6 - 0.99	Daño mayor extensivo, requiere demoler y reparar la estructura.
7. Colapso	1	Total destrucción de la mayor parte de la estructura.

La relación Intensidad – Daño se manejó por distribuciones de probabilidades en base a las cuales se obtuvieron las herramientas para cuantificar pérdidas en forma de curvas de fragilidad y matrices de daño.

Como no existe información acerca del comportamiento sísmico de los EMDL en sismos pasados, se recurrió a la opinión de expertos con el fin de obtener los parámetros básicos para construir las funciones de distribución.

El Método Delphi

Para la recolección y síntesis de la opinión de los 44 expertos, se empleó el método Delphi. Se describieron las características estructurales de los EMDL de 5 y 7 pisos y se diseñó una encuesta con el fin de obtener una estimación del daño en diferentes valores de severidad. Para cada rango de intensidad sísmica, la encuesta preguntó por el estado de daño (ED) que alcanzaría el sistema estructural y por los valores del daño medio probable (VMP), mínimo (Vmin) y máximo (Vmax), tal como se aprecia en la Figura 4.

		Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 5 Pisos																			
Intensidades		V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	
Confiability																					

		Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 7 Pisos																			
Intensidades		V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	
Confiability																					

Figura 4: Formato de encuesta utilizado

La comunicación con el grupo de expertos se hizo por medio de una página de internet y con envíos de información (impresa y digital).

La página creada se denomina “Desempeño Sismorresistente de Edificaciones Peruanas” (<http://www.pucp.edu.pe/secc/civil/dsrep/>) y aloja el presente proyecto junto a otro destinado a infraestructura educativa. El portal contiene información sobre el Método Delphi, las características principales de los EMDL, una amplia galería de imágenes y los resultados de este trabajo (Figura 5).



Figura 5: Página Web Delphi

Funciones de Densidad, Curvas de Fragilidad y Matrices de Daño

Para la distribución de daños (p), se usó la función Beta por su sencillez y adaptabilidad a la información obtenida del grupo de expertos. Se asumió que la estimación del daño medio probable (VMP) corresponde al valor medio de la distribución Beta y que el 90% de probabilidad de ocurrencia del daño está entre los valores extremos $V_{máx}$ y $V_{mín}$ (Figura 6).

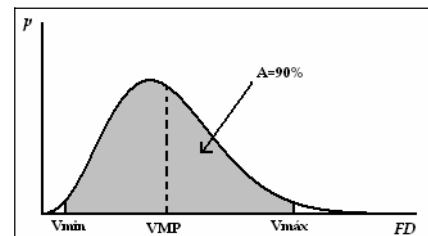


Figura 6: Suposiciones asumidas

Usando los valores promedios del grupo de expertos se generaron para cada intensidad las funciones de distribución de probabilidad del daño (p) para ambos edificios (5 y 7 pisos).

Las curvas de fragilidad se determinaron calculando las probabilidades de excedencia (P.E) correspondientes al valor extremo de cada rango de daño en cada intensidad sísmica. Para las matrices de daño fue necesario determinar las probabilidades de ocurrencia (q) de cada uno de los estados de daño en cada intensidad (Figura 7).

$$P.E = 1 - P = 1 - \int_0^{d_i} p \, dFD$$

$$q = \int_{d_{min}}^{d_{max}} p \, dFD$$

Figura 7: P.E y q

Como resultado de este trabajo se obtuvieron las curvas de fragilidad (Figura 8 y 9) y las matrices de probabilidad de daño (Tabla 3) correspondientes los EMDL de 5 y 7 pisos.

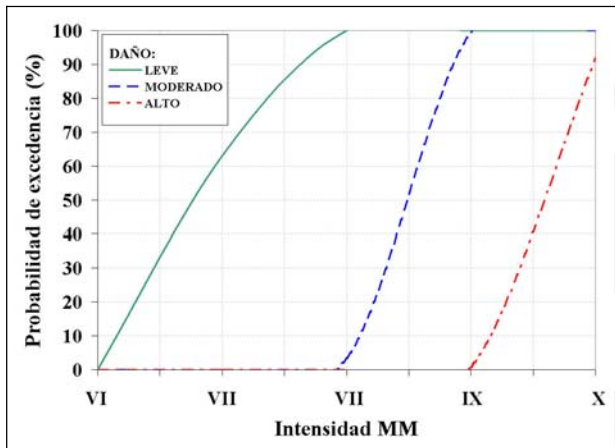


Figura 8: Curvas de Fragilidad para EMDL de 5 pisos

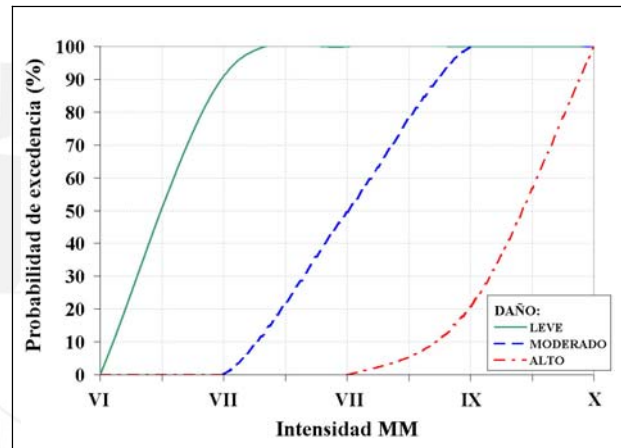


Figura 9: Curvas de Fragilidad para EMDL de 7 pisos

Tabla 3: Matriz de Daño para EMDL de 5 y 7 pisos

Estado de daño	Factor de daño central (FDC)	Probabilidad de daño (q) en %											
		EMDL de 5 Pisos					EMDL de 7 Pisos						
		VI	VII	VIII	IX	X	VI	VII	VIII	IX	X		
Ninguno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy leve	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leve	0.05	100.0	37.1	0	0	0	100.0	9.1	0	0	0	0	0
Moderado	0.20	0	63.0	96.7	0	0	0	90.9	50.6	0	0	0	0
Alto	0.45	0	0	3.3	99.0	8.3	0	0	49.4	79.4	0.3	0	0
Severo	0.80	0	0	0	0.6	91.7	0	0	0	20.6	99.8	0	0
Colapso	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor de daño medio (FDM)		5.00	14.44	20.83	45.09	77.10	5.00	18.65	32.35	52.22	79.91		
Valor medio probable (VMP)		3.34	11.05	22.27	45.01	67.73	3.79	14.86	30.07	54.74	74.19		

Usando las curvas de fragilidad o las matrices de daño, las pérdidas se pueden estimar como el producto del factor de daño medio por el costo total. La figura 10 muestra la pérdida para un complejo de 64 EMDL de 5 pisos de 70,000 m² de área construida a un costo total de US \$ 21,000,000 (US \$ 300/m²). Para una intensidad de IX+ los edificios tendrían un daño irreparable (FDM > 60%), por lo que el monto de las pérdidas a partir de esta intensidad correspondería al costo total.

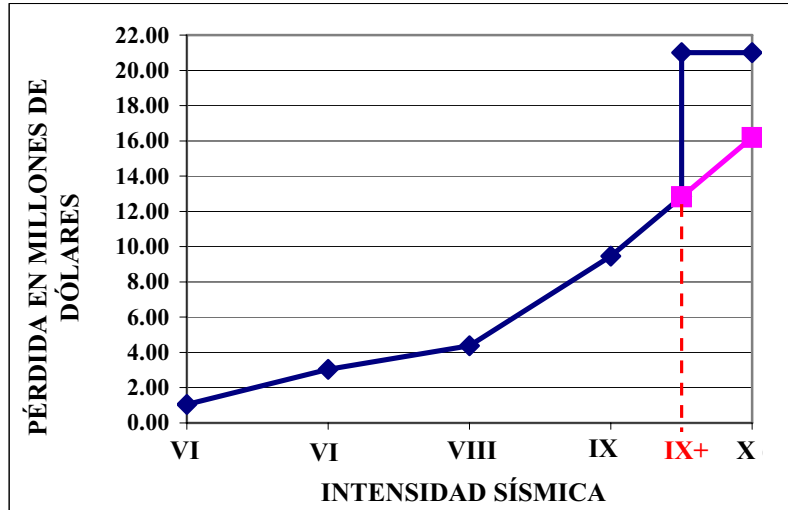


Figura 10: Pérdida Probable para Diferentes Escenarios de Sismicidad de 50 EMDL de 5 Pisos

DESEMPEÑO ESPERADO

Usando las curvas y matrices de daño se obtuvo para cada EMDL una relación directa entre la intensidad y el valor medio probable del daño (Figura 11).

Se suele considerar que una edificación es irreparable cuando el daño excede el 60% (ATC 21, 2001). Usando la relación intensidad - valor medio probable encontrada para los dos EMDL se obtuvieron las intensidades de daño irreparable mostradas en la figura 12.

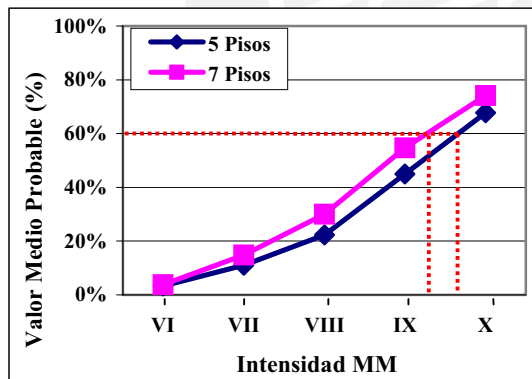


Figura 11: Relación IMM-VMP del daño para EMDL de 5 pisos y 7 pisos

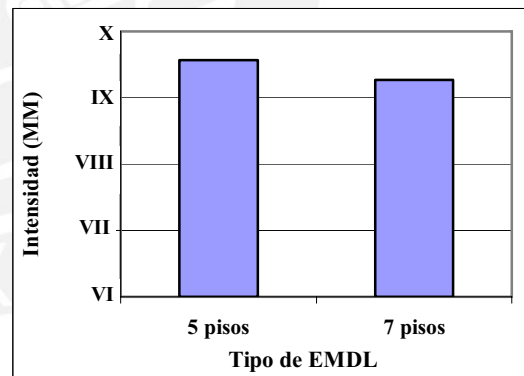


Figura 12: Intensidad asociada al daño irreparable para los EMDL de 5 y 7 pisos

En la costa peruana los sismos raros (500 años de periodo de retorno) tienen asociada una aceleración pico de 0.4g y una intensidad de IX MM (Alva, 1993). Usando las matrices de daño se obtienen los valores del daño medio que sufrirían los EMDL ante sismos raros. (Figura 13) Como se observa, los resultados sugieren que el daño medio sería menor al 60%, y por tanto, los EMDL podrían ser reparados en estos eventos severos.

En la costa peruana los sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno) tienen asociada una aceleración pico de 0.25g y una intensidad de VII MM (Alva, 1993). Los resultados (Figura 14) muestran que ante un evento frecuente ambos EMDL tendrían un daño moderado.

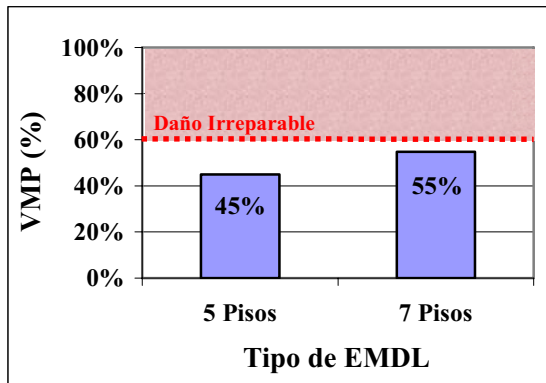


Figura 13: Daño que sufrirían los EMDL en un sismo raro

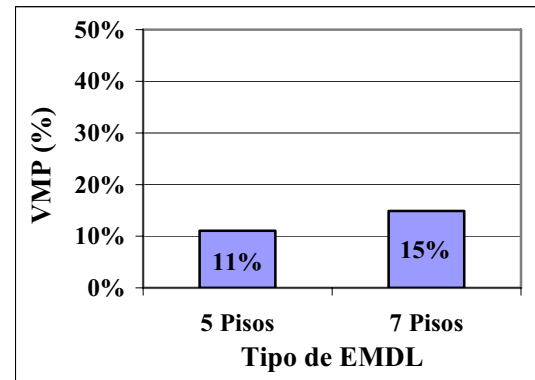


Figura 14: Daño que sufrirían los EMDL en un sismo frecuente

CONCLUSIONES

Los EMDL se encuentran apoyados sobre plateas superficiales de 20 a 25 cm de espesor y dientes con dimensiones que varían desde 25 x 65 cm hasta 35 x 150 cm, construidas sobre rellenos controlados de ingeniería. El sistema estructural es de muros portantes delgados de concreto armado (10 ó 12 cm) con una malla electrosoldada central y en los extremos varillas de refuerzo adicional sin confinar de acero de grado 60. Para el sistema de techos se utilizan losas macizas de concreto con espesores de 10 y 12 cm, reforzadas con mallas electrosoldadas y bastones.

En base a la opinión de expertos peruanos se obtuvieron curvas de fragilidad y matrices de daño para edificios de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos. Los resultados indican que los EMDL típicos de 5 y 7 pisos, quedarían con daño irreparable ($FDM > 60\%$) para intensidades mayores o iguales a IX MM.

En el caso de sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno), los resultados muestran que el daño sería reparable, con un Factor de Daño Medio (FDM) del orden de 15%. En el caso de sismos raros (500 años de periodo de retorno), los resultados indican que estos edificios presentarían un daño reparable con un FDM de alrededor de 50%.

La comunidad de ingenieros peruanos espera un buen desempeño sismorresistente para los EMDL, comparable al de otros sistemas estructurales peruanos. Aunque alentadora, esta opinión debería ser revisada mediante nuevos estudios tanto teóricos como experimentales.

A pesar que los resultados indican que el daño en estos edificios podría ser similar al de otras edificaciones, el costo de reparación podría ser difícil de manejar para familias de escasos recursos económicos, que en muchos casos adquirieron sus departamentos con hipotecas a largo plazo.

El gobierno debería desarrollar planes de contingencia para organizar y facilitar la reparación de los EMDL en la eventualidad de un sismo severo.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al panel de expertos, y a las instituciones y empresas que colaboraron en la realización de este estudio PUCP, UNI, SENCICO, CIP, CESEL, PRISMA, GALLEGOS CASABONNE ARANGO, ZEGARRA & YECKLE, INDECI, etc.

Un agradecimiento especial a los profesores Carlos Véliz (PUCP) y Mario Ordaz (UNAM) por su valioso tiempo al discutir la organización del trabajo.

REFERENCIAS

Alva, J. 1993 “*Distribución de Isoaceleraciones UNI – CISMID*” Lima, Perú.

ATC 21 (Applied Technology Council). 2001. “*Rapid Visual Screening of Seismically Hazardous Buildings*”. Redwood City, California, USA.

Sauter, F. 1978 “*Estudio de Seguro Contra Terremoto*” Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica.





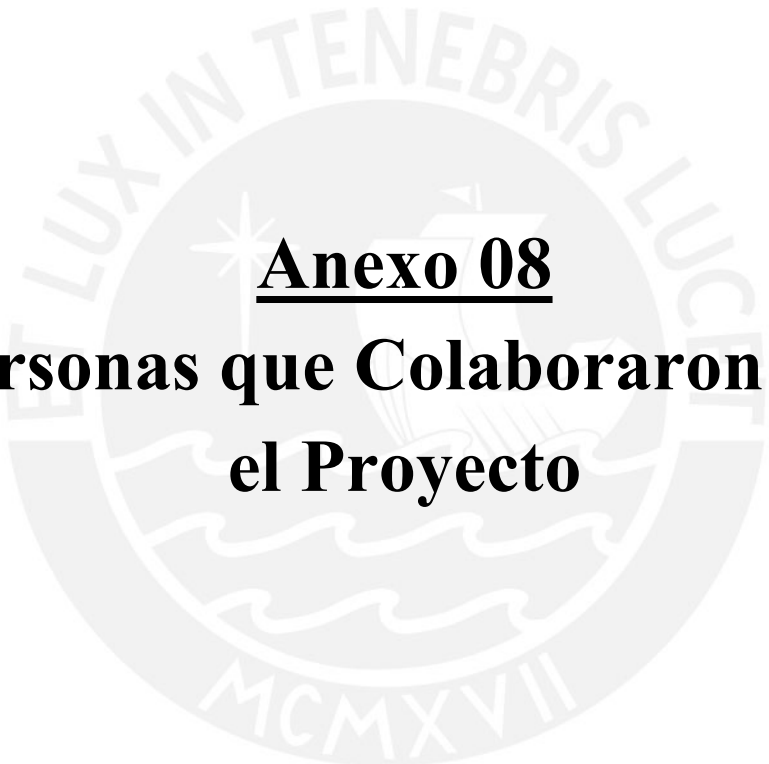
Anexo 07
Panel de Expertos y Grupo Monitor

Panel de Expertos:

- Ing. Jesús Abugattas Abuid
- Ing. Víctor Acuña Foppiano
- Ing. Ruth Aguado Semino
- Ing. Carlos Albinagorta Olortegui
- Ing. José Luis Amado Travezaño
- Ing. Jorge Alva Hurtado
- Ing. Julio Arango
- Ing. Antonio Blanco Blasco
- Ing. Iván Bragagnini
- Ing. José Castillo
- Ing. Jorge Chávez - Tafur
- Ing. Carlos Cassabonne
- Ing. Alberto Concha Fernández Benavides
- Ing. José De La Torre Ugarte
- Ing. Raúl Delgado Sayán
- Ing. Gabriela Esparza Requejo
- Ing. Andrés Guillermo Galán Fiestas (Jr.)
- Ing. Andrés Galán Fiestas (Sr.)
- Ing. Héctor Gallegos
- Ing. Pedro Gervassi
- Ing. Joseph Gómez
- Ing. Jorge González
- Ing. Cesar Gutiérrez
- Ing. Teodoro Harmsen Gómez de la Torre
- Ing. Julio Higashi
- Ing. Pedro Horna Calderón
- Ing. Ricardo Icaza Andrade
- Ing. Carlos Irala
- Ing. Iván Izquierdo
- Ing. Carmen Kuroiwa Horiuchi
- Ing. Julio Kuroiwa Horiuchi
- Ing. Pablo Medina Quispe
- Ing. Guisselle Montoya
- Ing. Roberto Morales Morales
- Ing. Daniel Munares
- Ing. Gian Franco Ottazzi Pasino
- Ing. Javier Piqué del Pozo
- Ing. Julio Rivera Feijóo
- Ing. Víctor Sánchez Moya
- Ing. Jesús Solano
- Ing. Daniel Torrealva
- Ing. Luís Yafac
- Ing. Luís Yeckle
- Ing. Luís Zegarra

Grupo Monitor:

- Mag. Alejandro Muñoz Peláez
- Ing. Rafael Aguilar Velez
- Ing. María Ángela Astorga Mendizábal
- Raúl Javier Delgado Ehni
- Catalina Peña Rodríguez-Larraín

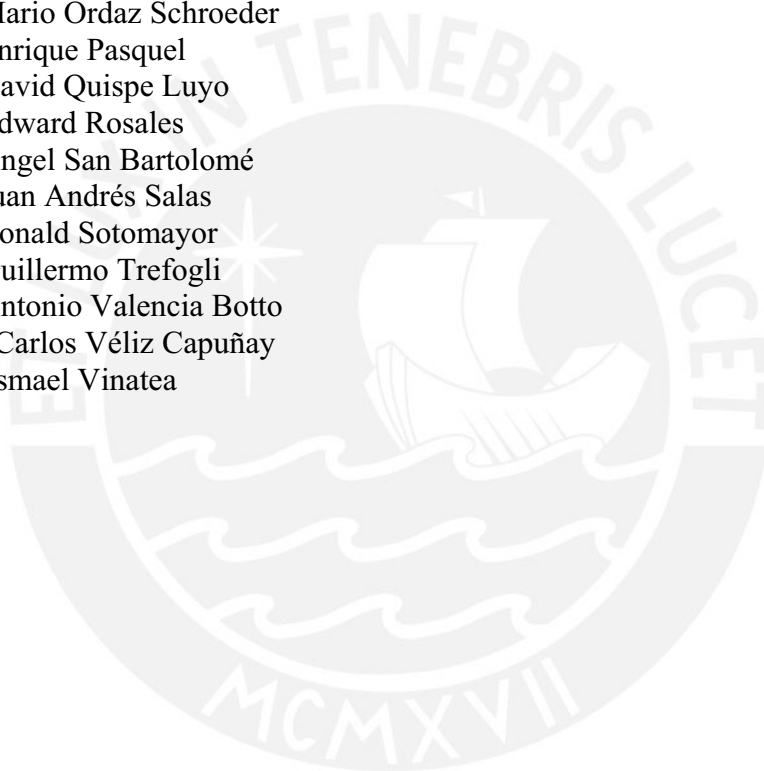


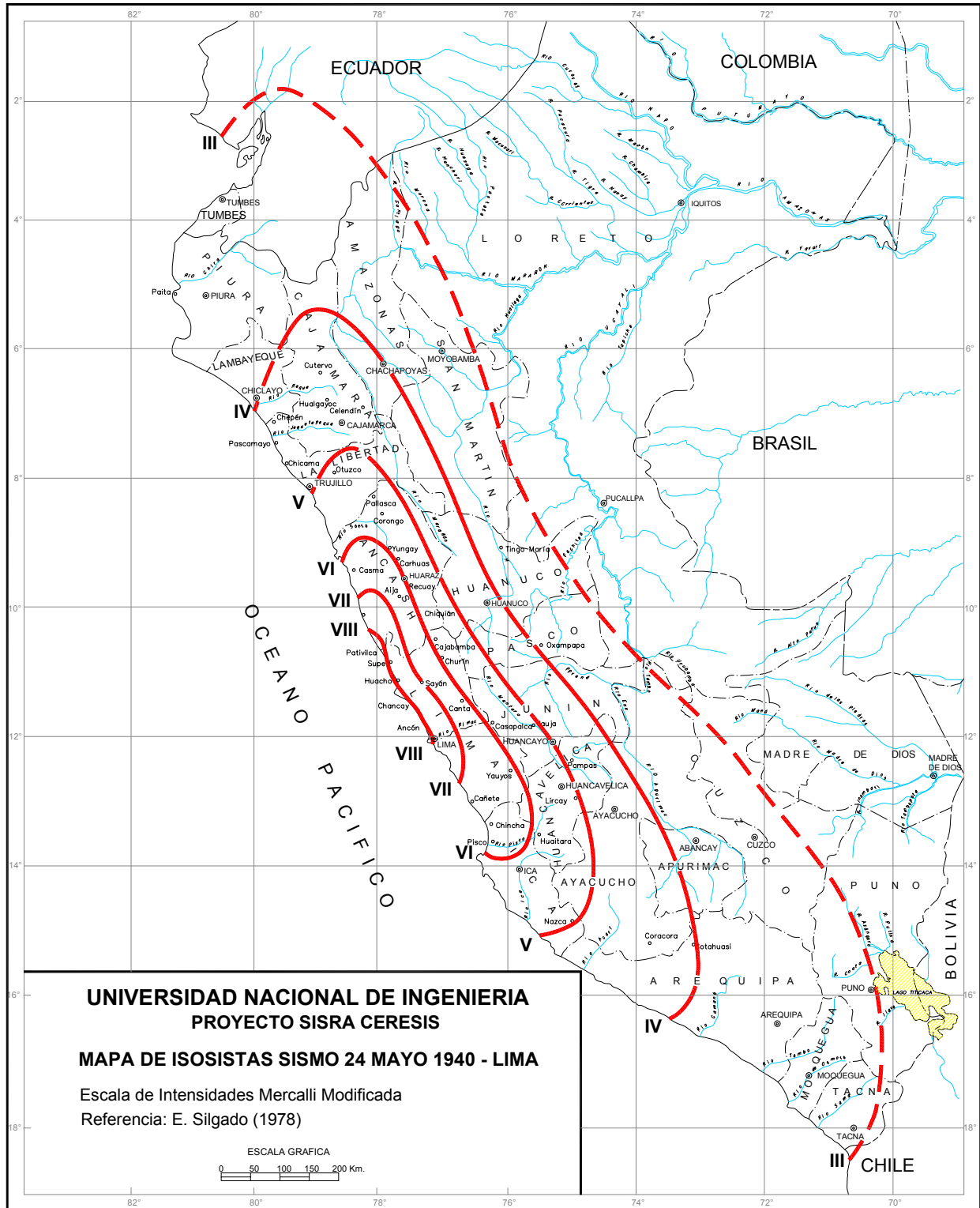
Anexo 08
**Personas que Colaboraron con
el Proyecto**

Personas que Colaboraron con el Proyecto:

Agradecemos de gran manera a las siguientes personas, que ayudaron de alguna manera a la realización de este proyecto.

- Arq. Carlos Castillo
- Ing. Roberto Claro
- Ing. Freddy Córdor
- Arq. Jack Díaz
- Pamela Gallese Pardo
- Ing. Adolfo Gálvez Villacorta
- Ing. Juan Harman Canalle
- Ing. Eduardo Miyashiro
- Ing. Jorge Moreno
- Ing. Mario Ordaz Schroeder
- Ing. Enrique Pasquel
- Ing. David Quispe Luyo
- Ing. Edward Rosales
- Ing. Ángel San Bartolomé
- Ing. Juan Andrés Salas
- Ing. Ronald Sotomayor
- Ing. Guillermo Trefogli
- Ing. Antonio Valencia Botto
- Mag. Carlos Véliz Capuñay
- Arq. Ismael Vinatea







El Oráculo de Delfos y La Ingeniería Civil



Templo de Apolo en Delfos

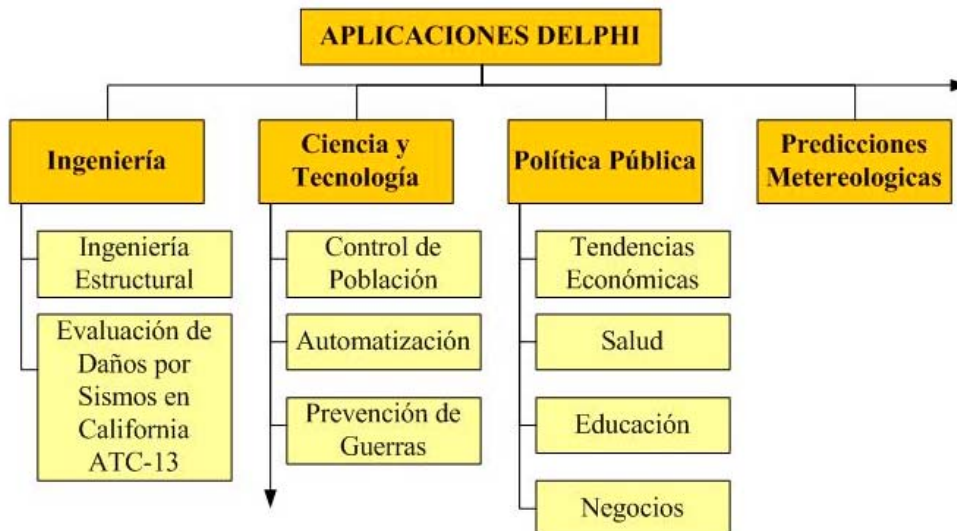
El primer templo data de fines del II milenio antes de nuestra era.

El hombre siempre ha intentado conocer el futuro. Los hombres de la antigüedad se dirigían al templo de Apolo en Delfos para averiguar lo que les deparaba el destino.

En los años 50, en el seno del Centro de Investigación estadounidense **RAND Corporation**, Olaf Helmer y Theodore J. Gordon desarrollaron el **Método Delphi** (el nombre se inspira en el oráculo de Delfos), con el propósito de obtener información de un grupo de expertos en relación a las catástrofes nucleares.



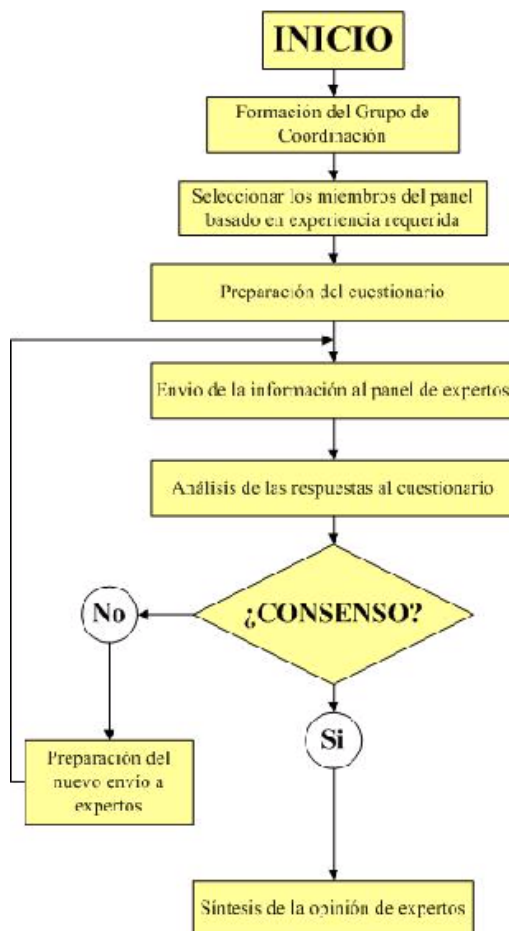
Delphi está desarrollado para aquellos casos en los cuales la información no se encuentra disponible en forma sistemática y refinada y cuando en muchos casos forma parte de la experiencia profesional de expertos. En la actualidad este método resulta de gran utilidad en muchas áreas del conocimiento y del ejercicio profesional.





El Método Delphi y La Ingeniería Civil

El **objetivo** principal del Método Delphi es obtener información sobre un tema en particular y expresarla de manera ordenada y sistematizada. Este método está desarrollado para los casos en los cuales la información no se encuentra disponible en forma organizada, como es el caso del conocimiento asociado a la experiencia profesional de expertos.



La **metodología** consiste en recolectar información de un grupo de expertos mediante diferentes ciclos iterativos de encuestas. Para esto existe un grupo reducido de personas encargadas de definir los alcances del trabajo y de preparar los cuestionarios y existe un panel más amplio de expertos consultados.



Se busca que en el panel de expertos estén representadas todas las instituciones vinculadas al tema. Los cuestionarios son respondidos anónimamente. La interacción entre los expertos se logra mediante ciclos iterativos.

El profesor Ray Clough (Profesor emérito de la Universidad de Berkley) participó en el **panel de expertos** para la Evaluación de Daños Sísmicos de California. Más adelante les contaremos los detalles de esta experiencia.



Prof. Ray Clough



Delphi y la Evaluación de Daños por Sismo

Delphi aplicado en la Ingeniería

Entre las aplicaciones del Método de Delphi en ingeniería civil está el estudio de daños por sismos en el estado de California. En esta oportunidad, gracias a la participación de expertos en ingeniería estructural, se pudo correlacionar intensidades sísmicas y daños en edificaciones. El Consejo de Tecnología Aplicada de Estados Unidos elaboró un informe con los resultados de este trabajo (ATC-13).



Intensidad (MMI)	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII					
Rango del Factor de Daño	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M
0												
0 - 1												
1 - 10												
10 - 30												
30 - 60												
60 - 100												
100												

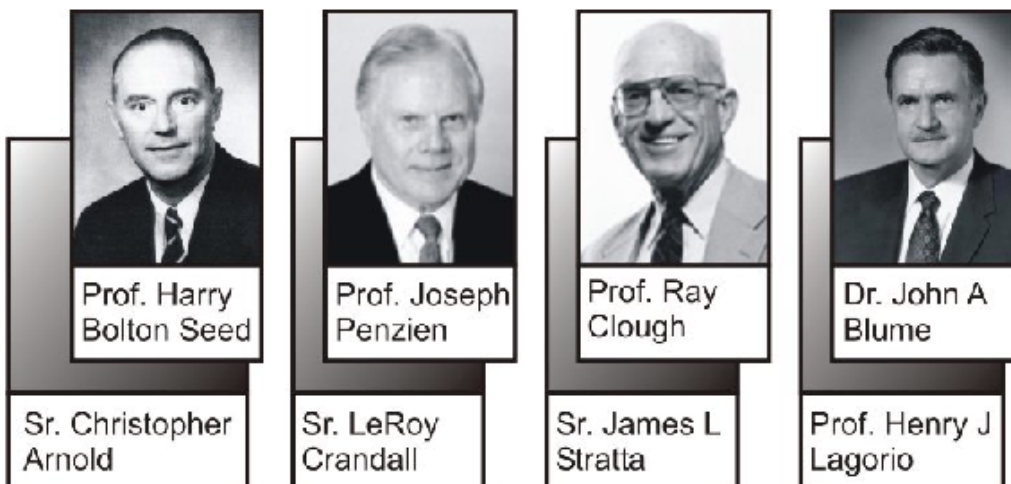
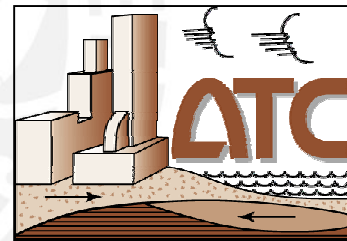
¿Que se obtuvo gracias a este trabajo?

Una matriz de daños para cada sistema estructural, que presenta la relación entre diferentes intensidades sísmicas y el rango de variación de los daños.

Formato de la Matriz de Daños

Participantes del ATC-13

Entre los expertos encuestados se contó con la participación de más de 70 ingenieros de renombre en el ámbito de la ingeniería sísmica, algunos de los cuales aparecen a continuación:





Delphi y los Edificios Peruanos

Los terremotos de 1746 y 1868 sacudieron nuestro territorio con intensidades de hasta XI MM, sin embargo en los últimos 130 años sólo hemos tenido intensidades máximas de IX MM. Por estas razones nuestras edificaciones de concreto y albañilería construidas en los últimos 100 años **no** se han probado en condiciones sísmicas severas.



Sur del Perú 2001

	Lima 1746	Arica 1868	Lima 1974	Arequipa 2001
Magnitud M_s	8,1	8,2	7,9	8,2
Intensidad Máxima (MM)	X - XI	XI	VIII - IX	VIII
Altura de Ola Tsunami (m)	15 - 20	20	1,6	-



Los sistemas estructurales han ido cambiando tanto por razones de seguridad sísmica como por innovaciones en el proceso constructivo. Estos cambios han sido tan importantes en los últimos años que los nuevos sistemas estructurales aún no han sido expuestos ni siquiera a sismos leves.



La ingeniería peruana tiene experiencia suficiente en el diseño de edificaciones y es posible recoger y sintetizar la opinión que los expertos tienen respecto al comportamiento sísmico de nuestras edificaciones.




En breve se formará un panel de expertos para estudiar la seguridad sísmica de las edificaciones peruanas. Los resultados de este trabajo servirán para hacer estimaciones de pérdidas por sismo, definir nuevas líneas de trabajo y proponer ajustes para nuestros códigos de diseño.



Intensidades, Daño y Confiabilidad

La severidad del movimiento producido por un sismo en una ubicación determinada se denomina **Intensidad**. La escala de intensidades más difundida es la de Mercalli Modificada (MM) en la que los primeros grados dependen de la percepción de las personas, los grados intermedios del comportamiento de las estructuras y los últimos de los cambios originados en el paisaje.

Se han propuesto muchas relaciones entre **intensidad** y **aceleración pico del suelo**. En la tabla se muestran algunos valores sugeridos en la literatura y en el anexo 1 se incluye la correlación que usaremos en este trabajo.

MM	Descripción	Aceleración del suelo (g)
● ● ● II 	Percibido por personas en reposo.	< 0,05
● ● ● VII 	Daño moderado en estructuras.	0,10 – 0,20
● ● ● XII 	Destrucción total y cambios en el paisaje.	> 0,50

Muestra de la tabla adjunta en el Anexo 1

Para cuantificar el daño causado por los sismos en las edificaciones, se usa el cociente entre el costo de reparación y el costo total inicial de la obra. Este cociente, denominado **factor de daño**, se suele expresar porcentualmente. En función del rango de valores para este **factor** se definen los siguientes siete **niveles de daño (ND)**.

Nivel de Daño ND	Factor de Daño (%)	Descripción
1. Ninguno	0	Sin daño.
2. Muy Ligero	0 - 1	Daño menor, limitado y localizado, no requiere reparación.
3. Ligero	1 - 10	Daño significativo localizado (algunos elementos), no requiere reparación.
4. Moderado	10 - 30	Daño significativo localizado (varios elementos), requiere reparación.
5. Fuerte	30 - 60	Daño extensivo que requiere mayor reparación.
6. Mayor	60 - 100	Daño mayor extensivo, requiere demoler y reparar la estructura.
7. Destruído	100	Total destrucción de la mayor parte de la estructura.

La relación entre la intensidad y el daño depende fundamentalmente del tipo de estructura. Por ejemplo es de esperar que para una intensidad de VII una vivienda de adobe tenga daño moderado con un valor de daño más probable (VMP) del orden del 25%.

	Intensidad	
	VII	
Vivienda de Adobe	ND	VMP (%)
Daño	4	25

Debido a que tanto las sollicitaciones sísmicas como el comportamiento de las estructuras tienen variaciones apreciables, la relación entre el daño y la intensidad se expresa mejor indicando los valores de daño más bajo (MIN), más alto (MAX) y el valor más probable (VMP). Así para las viviendas de adobe sometidas a una intensidad de VII, además del factor de daño más probable especificamos como valores extremos 20% y 30%.

	Intensidad			
	VII			
Vivienda de Adobe	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daño	4	20	25	30



Esta relación intensidad-daño finalmente debe calificarse en función de la **confiabilidad** que se tiene sobre el tema usando valores entre 0 y 10, donde 10 indica certeza absoluta. Continuando con el ejemplo y en función del nivel de conocimientos y experiencia respecto a las construcciones de adobe, podríamos asignar una confiabilidad de 6.

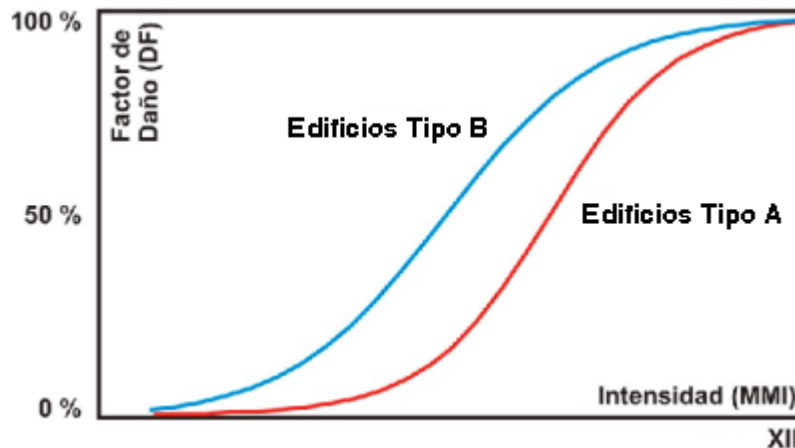
	Intensidad			
	VII			
Vivienda de Adobe	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daños	4	20	25	30
Confiabilidad	6			

Rango de daño y confiabilidad para intensidades de VII y VIII en construcciones de adobe.

Finalmente para calificar el desempeño de un tipo de edificio en diferentes niveles de intensidad se emplea la siguiente tabla.

Relación Intensidad – Daño para Edificios del Tipo A																				
Intensidad	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Daño																				
Confiabilidad																				

Finalmente, luego de un corto procesamiento, la relación intensidad-daño puede expresarse gráficamente como:



DESEMPEÑO SISMORESISTENTE DE EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Alejandro Muñoz (*), Raúl Delgado Ehni (**), Catalina Peña Rodríguez-Larraín (**)

RESUMEN

Por medio de la opinión de expertos se estimaron los daños que tendrían los edificios de muros de ductilidad limitada peruanos en distintos niveles intensidad sísmica. Se empleó el método Delphi para la recolección y síntesis de la opinión de los expertos. La relación Intensidad – Daño se manejó usando distribuciones Beta, en base a las cuales se obtuvieron curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño. Los resultados indican que los EMDL tendrían un desempeño sismorresistente apropiado, sin embargo su reparación post-sísmica constituiría un serio problema económico para los propietarios, generalmente de escasos recursos económicos y que adquirieron sus departamentos con hipotecas a largo plazo.

ABSTRACT

The Delphi Method was used to collect and evaluate available data from expert opinions of the estimated damage to apartment buildings with walls of limited ductility (edificios de muros de ductilidad limitada, or EMDL in Spanish) in Peru, as caused by varying levels of seismic intensity. The synthesized data was analyzed using Beta distributions to determine an Intensity – Damage relationship, from which fragility curves and damage probability matrices were derived. The results indicate that the EMDL considered in the study provide an adequate seismic-resistance behavior. However, post-earthquake repairs would constitute a serious economic problem to the residence owners who generally have limited financial resources and typically acquired their apartments under long-term mortgages.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros portantes delgados de concreto armado (10 y 12 cm). Debido a las dimensiones y peculiaridades en el armado de muros, estos edificios se denominan Edificios de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL).

La rapidez con que se construyen y su bajo costo están convirtiendo a los EMDL en una buena alternativa para la construcción de viviendas económicas en el Perú.

Los EMDL tienen características especiales que hacen que su diseño y construcción no esté totalmente contemplado en códigos internacionales de diseño, razón por la cual existen discrepancias respecto a su desempeño sismorresistente.

El objetivo de este trabajo fue identificar las principales características del sistema estructural de los EMDL y hacer una primera aproximación a su comportamiento sismorresistente esperado mediante herramientas para cuantificar pérdidas.

(*). Profesor Principal, Pontificia Universidad Católica del Perú.

(**). Graduados en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.

LOS EDIFICIOS DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA EN EL PERU

En la década del 80 se construyeron algunos edificios con muros portantes de concreto armado que resultaron económicos debido al bajo precio coyuntural del acero. En los 90, se dejaron de construir estos edificios debido al incremento en el costo del acero y la importancia de la mano de obra en la estructura de costos. Se retomó la construcción de estos edificios en 1999 y para el 2003 ya se habían construido muchos EMDL aún sin contar con normas específicas para su diseño y construcción. Recién en diciembre del 2004 el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) incorpora dispositivos específicos para los EMDL en las Normas de Diseño Sismorresistente y de Concreto Armado.

Los EMDL peruanos corresponden a edificios multifamiliares de 5 a 10 pisos con departamentos de mediano y bajo costo, de arquitectura modesta con ambientes y luces reducidos. Cada nivel suele tener de dos a cuatro departamentos medianos modulares con alrededor de 80 m² cada uno. (Figura 1)

Los EMDL son edificios de muros portantes tanto para solicitaciones de gravedad como sísmicas, generalmente no tienen vigas y las losas se apoyan directamente sobre los muros. (Foto 1)

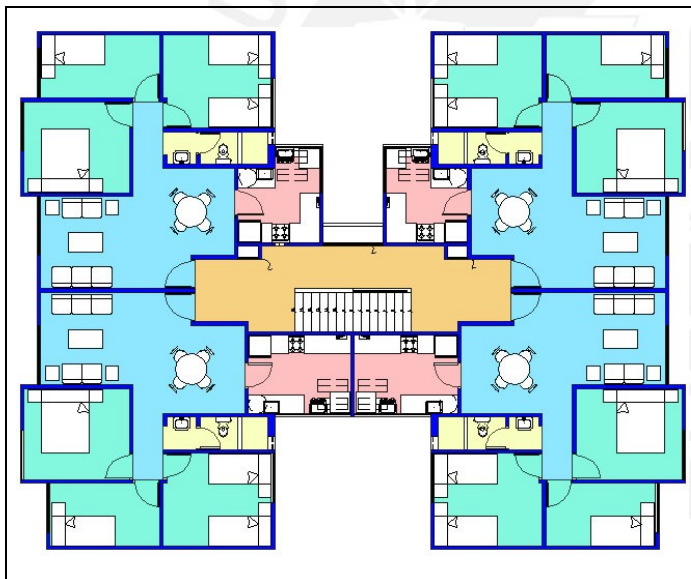


Figura 1: Planta de un edificio Típico



Foto 1: Vista de Muro

Los EMDL tienen una alta densidad de muros en cada dirección. El cociente entre el área de muros de una dirección y el área en planta oscila para la mayoría de edificios entre 2.5 y 3.5% y el cociente referido al área total techada esta entre 0.45 y 0.55%.

Comúnmente se emplea concreto premezclado con un asentamiento mayor a 6" que requieren aditivos superplastificantes tipo F o G. La resistencia nominal f'_c es de 175 kg/cm², valor que en obra suele incrementarse hasta en 30%. Para el refuerzo, por lo general se emplean mallas electrosoldadas de escasa o nula ductilidad con un esfuerzo de fluencia equivalente de 5000 kg/cm². (Figura 2)

Los EMDL se apoyan sobre plateas superficiales de 20 a 25 cm de espesor, construidas sobre rellenos controlados de ingeniería. La platea cuenta con dientes de cimentación para confinar el relleno, con dimensiones que varían desde 25 x 65 cm hasta 35 x150 cm. (Foto 2). La platea sirve además como contrapiso.

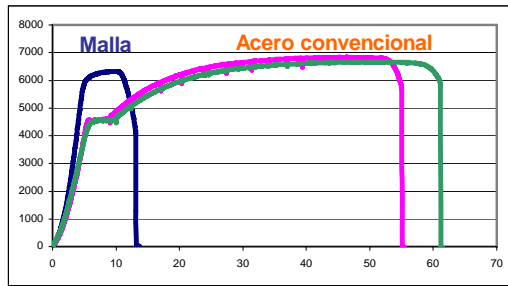


Figura 2: Diagrama Esfuerzo-Deformación



Foto 2: Platea de Cimentación

Para el refuerzo de las plateas de cimentación se emplean dos mallas (superior e inferior) y bastones de acero corrugado ubicados en la capa inferior, bajo los muros. La malla superior tiene una cuantía entre 3.30 cm²/ml y 6.40 cm²/ml y la inferior cuenta con una cuantía entre 1.68 cm²/ml y 6.40 cm²/ml. Los bastones son de 8 mm de diámetro con longitudes alrededor de 1.30 m y una cuantía entre 2 a 2.5 cm²/ml.

Los muros tienen espesores de 10 a 12 cm y están armados generalmente con una malla electrosoldada centrada como refuerzo distribuido. (Foto 3)

Como refuerzo concentrado en los extremos se emplean varillas de acero corrugado que no se confinan por estribos. El refuerzo vertical concentrado se “amarra” al refuerzo distribuido con ganchos que se traslapan al refuerzo longitudinal y terminan en un dobles de 5 a 9 cm.

Los traslapes verticales se hacen en la base del muro, justo sobre las losas, con longitudes uniformes de 40 cm para el refuerzo distribuido y 50 cm para el refuerzo concentrado.

Los muros generalmente se llenan sobre la superficie de la losa sin el debido cuidado para garantizar una correcta unión muro-losa. La superficie de encuentro no se deja adecuadamente rugosa y en algunos casos incluso se alisa en la zona de muros.



Foto 3: Refuerzo Distribuido y Concentrado en los Muros

Casi la totalidad de las tuberías eléctricas van embebidas en los muros, al igual que las tuberías sanitarias de diámetros menores a 2". Las tuberías de diámetros mayores, pasan por ductos y en algunos casos por ensanches de hasta 20 cm.

Los sistemas de techado son generalmente losas macizas de 10 y 12 cm o aligerados que actúan como diafragmas rígidos. (Foto 4)

El refuerzo de las losas macizas consta de una malla centrada para las losas de 10 cm y de dos mallas (superior e inferior) para losas de mayores espesores (12 cm o más). Se emplean bastones positivos y negativos de acero corrugado. En las losas de 10 cm, la cuantía de las mallas es de aproximadamente 2.00 cm²/ml. En las losas de mayores espesores, la malla superior tiene una cuantía entre 0.94 cm²/ml y 2.51 cm²/ml y la inferior una cuantía entre 1.62 cm²/ml y 2.85 cm²/ml.



Foto 4: Vista de Losa de Techo

Por las losas se pasan las tuberías eléctricas y de agua, para las tuberías de desagüe se emplean losas de mayores espesores, 17 a 25 cm.

Para la construcción de muros y losas se usan encofrados metálicos ligeros modulares que en algunos casos permiten el llenado de muros y losas en un solo vaciado. (Foto 5)

Al parecer, el uso de encofrados metálicos no disminuye como debiera la cantidad de imperfecciones en muros y losas (en promedio se hacen resanes en casi el 50% de los muros). Esto se debe principalmente al mal vaciado de los elementos, a un mal mantenimiento de los encofrados y a veces a un diseño de mezcla que no cuenta con la fluidez necesaria.



Foto 5: Encofrados metálicos

En el concreto de muros y losas se encontraron cangrejas, grietas y segregación. También se observó el mal doblado y el “grifado” del acero y problemas de recubrimiento para las tuberías.

El uso de encofrados metálicos, mallas electrosoldadas y concreto premezclado, facilitan y mejoran la organización del proceso de construcción y permiten un avance hacia la industrialización del proceso constructivo de edificios. Se alcanzan con frecuencia velocidades de construcción de hasta dos departamentos por día.

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POR SISMO

En este trabajo, la intensidad sísmica se expresó mediante la intensidad de Mercalli Modificada (MM) y también por la aceleración pico del suelo (APS). La correlación entre estos indicadores se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Correlación Intensidad-Aceleración Pico del suelo (Sauter, 1978)

Intensidad (MM)	Aceleración Pico del Suelo (APS)	Descripción
V	<0,05	Percibido por la mayoría de personas.
VI	0,05 - 0,10	Sentido por todos. Daño leve.
VII	0,10 - 0,20	Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción.
VIII	0,20 - 0,35	Daño leve en estructuras diseñadas adecuadamente.
IX	0,35 - 0,50	Daño considerable en estructuras de diseño especial.
X	> 0,50	Gran destrucción de edificaciones.
XI		Pocas edificaciones quedan en pie.
XII		Destrucción total y cambios en el paisaje.

Para cuantificar el daño por terremotos se usó el cociente entre el valor de la pérdida y el valor de reemplazo completo, cociente al que se denomina Factor de Daño (FD).

$$\text{Factor de Daño (FD)} = \frac{\text{Valor de pérdida (VP)}}{\text{Valor de reemplazo completo (VR)}}$$

Se establecieron rangos de valores para el FD y quedaron definidos siete estados de daño (ED). (Tabla 2)

Tabla 2: Estados de daño utilizados

Estados de Daño (ED)	Rangos del Factor de Daño	Descripción
1. Ninguno	0	Sin daño.
2. Muy Leve	0 - 0.01	Daño menor, limitado y localizado, no requiere reparación.
3. Leve	0.01 - 0.1	Daño significativo localizado (algunos elementos), no requiere reparación.
4. Moderado	0.1 - 0.3	Daño significativo localizado (varios elementos), requiere reparación.
5. Alto	0.3 - 0.6	Daño extensivo que requiere mayor reparación.
6. Severo	0.6 - 0.99	Daño mayor extensivo, requiere demoler y reparar la estructura.
7. Colapso	1	Total destrucción de la mayor parte de la estructura.

La relación Intensidad – Daño se manejó por distribuciones de probabilidades en base a las cuales se obtuvieron las herramientas para cuantificar pérdidas en forma de curvas de fragilidad y matrices de daño.

Como no existe información acerca del comportamiento sísmico de los EMDL en sismos pasados, se recurrió a la opinión de expertos con el fin de obtener los parámetros básicos para construir las funciones de distribución.

El Método Delphi

Para la recolección y síntesis de la opinión de los expertos, se empleó el método Delphi. Se describieron las características estructurales de los EMDL de 5 y 7 pisos y se diseñó una encuesta con el fin de obtener una estimación del daño en diferentes valores de severidad. Para cada rango de intensidad sísmica, la encuesta preguntó por el estado de daño (ED) que alcanzaría el sistema estructural y por los valores del daño medio probable (VMP), mínimo (Vmin) y máximo (Vmax). (Figura 4)

Daños en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Por favor anote los valores que en su opinión describen la relación Daño-Intensidad para los edificios de muros de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos.

		Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 5 Pisos																			
Intensidades		V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	
Confiabilidad																					

		Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 7 Pisos																			
Intensidades		V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	
Confiabilidad																					

Figura 4: Formato de encuesta utilizado

La comunicación con el grupo de expertos se hizo por medio de una página de internet y con envíos de información (impresa y digital).

La página creada se denomina “Desempeño Sismorresistente de Edificaciones Peruanas” (<http://www.pucp.edu.pe/secc/civil/dsrep/>) y aloja el presente proyecto junto a otro destinado a infraestructura educativa. El portal contiene información sobre el Método Delphi, las características principales de los EMDL, una amplia galería de imágenes y los resultados de este trabajo. (Figura 5)



Figura 5: Página Web Delphi

Funciones de Densidad, Curvas de Fragilidad y Matrices de Daño

Para la distribución de daños, se usó la función Beta por su sencillez y adaptabilidad a la información obtenida del grupo de expertos. Se asumió que la estimación del daño medio probable (VMP) corresponde al valor medio de la distribución Beta y que el 90% de probabilidad de ocurrencia del daño está entre los valores extremos $V_{máx}$ y $V_{mín}$ (Figura 6).

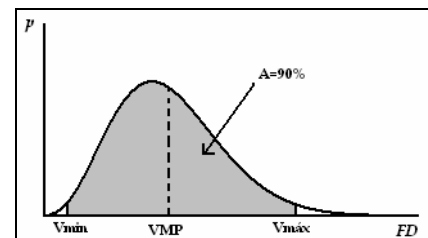


Figura 6: Suposiciones asumidas

Usando los valores promedios del grupo de expertos se generaron para cada intensidad las funciones de distribución de probabilidad del daño (p) para ambos edificios (5 y 7 pisos).

Las curvas de fragilidad se determinaron calculando las probabilidades de excedencia (P.E) correspondientes al valor extremo de cada rango de daño en cada intensidad sísmica. Para las matrices de daño fue necesario determinar las probabilidades de ocurrencia (q) de cada uno de los estados de daño en cada intensidad. (Figura 7)

$$P.E = 1 - P = 1 - \int_0^{d_i} p \, dFD$$

$$q = \int_{d_{min}}^{d_{max}} p \, dFD$$

Figura 7: P.E y q

Como resultado de este trabajo se obtuvieron las curvas de fragilidad (Figura 8 y 9) y las matrices de probabilidad de daño (Tabla 3) correspondientes los EMDL de 5 y 7 pisos.

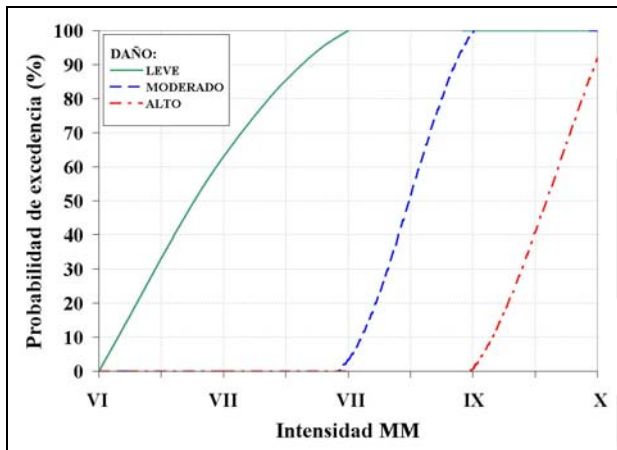


Figura 8: Curvas de Fragilidad para EMDL de 5 pisos

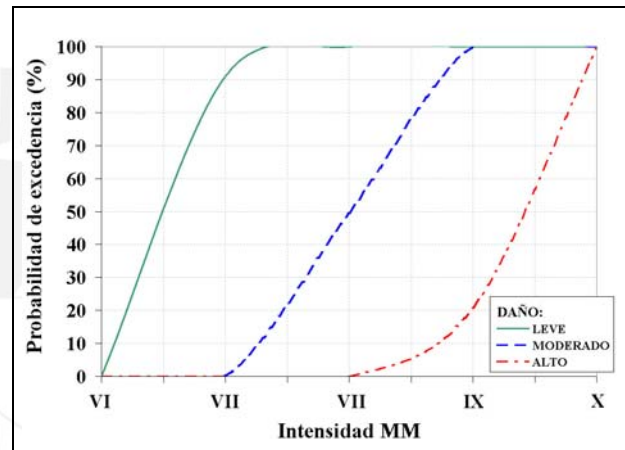


Figura 9: Curvas de Fragilidad para EMDL de 7 pisos

Tabla 3: Matriz de Daño para EMDL de 5 y 7 pisos

Estado de daño	Factor de daño central (FDC)	Probabilidad de daño (q) en %										
		EMDL de 5 Pisos					EMDL de 7 Pisos					
		VI	VII	VIII	IX	X	VI	VII	VIII	IX	X	
Ninguno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy leve	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leve	0.05	100.0	37.1	0	0	0	100.0	9.1	0	0	0	0
Moderado	0.20	0	63.0	96.7	0	0	0	90.9	50.6	0	0	0
Alto	0.45	0	0	3.3	99.0	8.3	0	0	49.4	79.4	0.3	0
Severo	0.80	0	0	0	0.6	91.7	0	0	0	20.6	99.8	0
Colapso	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor de daño medio (FDM)		5.00	14.44	20.83	45.09	77.10	5.00	18.65	32.35	52.22	79.91	
Valor medio probable (VMP)		3.34	11.05	22.27	45.01	67.73	3.79	14.86	30.07	54.74	74.19	

Usando las curvas de fragilidad o las matrices de daño, las pérdidas se pueden estimar como el producto del factor de daño medio por el costo total. La figura 10 muestra la pérdida para un complejo de 64 EMDL de 5 pisos de 70,000 m² de área construida a un costo total de US \$ 21,000,000 (US \$ 300/m²). Para una intensidad de IX+ los edificios tendrían un daño irreparable (FDM > 60%), por lo que el monto de las pérdidas a partir de esta intensidad correspondería al costo total.

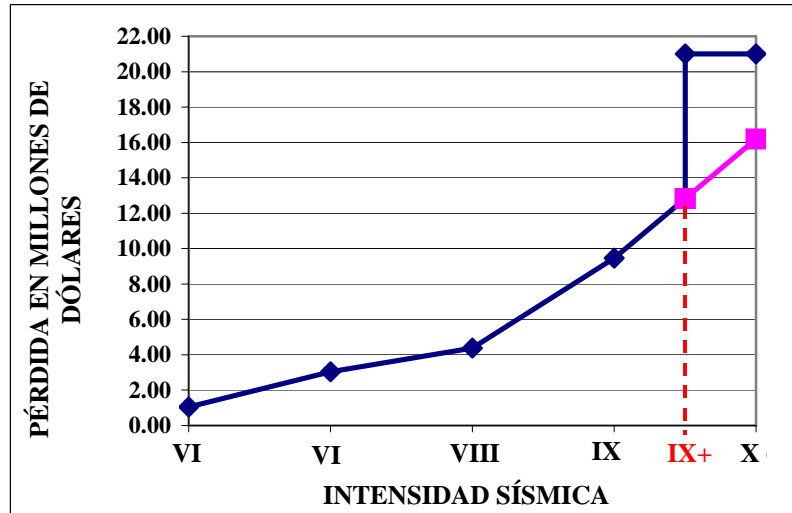


Figura 10: Pérdida Probable para Diferentes Escenarios de Sismicidad de 50 EMDL de 5 Pisos

DESEMPEÑO ESPERADO

Usando las curvas y matrices de daño se obtuvo para cada EMDL una relación directa entre la intensidad y el valor medio probable del daño (Figura 11).

Se suele considerar que una edificación es irreparable cuando el daño excede el 60% (ATC 21, 2001). Usando la relación intensidad - valor medio probable encontrada para los dos EMDL se obtuvieron las intensidades de daño irreparable mostradas en la figura 12.

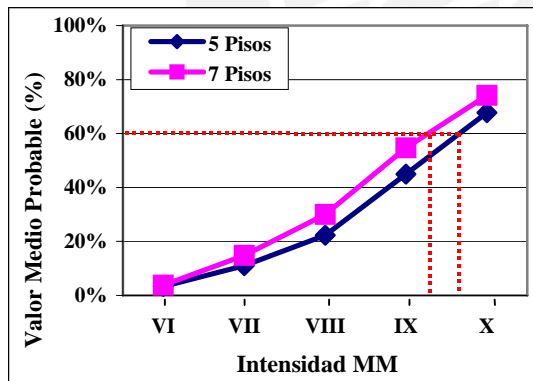


Figura 11: Relación IMM-VMP del daño para EMDL de 5 pisos y 7 pisos

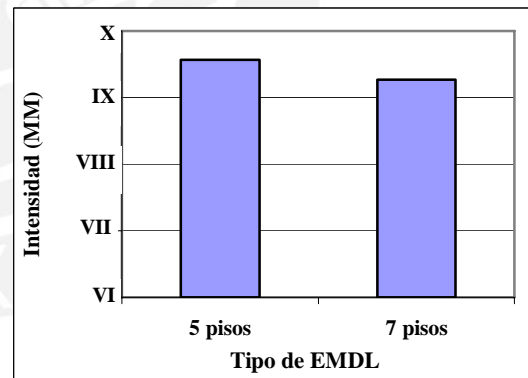


Figura 12: Intensidad asociada al daño irreparable para los EMDL de 5 y 7 pisos

En la costa peruana los sismos raros (500 años de periodo de retorno) tienen asociada una aceleración pico de 0.4g y una intensidad de IX MM. (Alva, 1993) Usando las matrices de daño se obtienen los valores del daño medio que sufrirían los EMDL ante sismos raros. (Figura 13) Como se observa, los resultados sugieren que el daño medio sería menor al 60%, y por tanto, los EMDL podrían ser reparados en estos eventos severos.

En la costa peruana los sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno) tienen asociada una aceleración pico de 0.25g y una intensidad de VII MM. (Alva, 1993). Los resultados (Figura 14) muestran que ante un evento frecuente ambos EMDL tendrían un daño moderado.

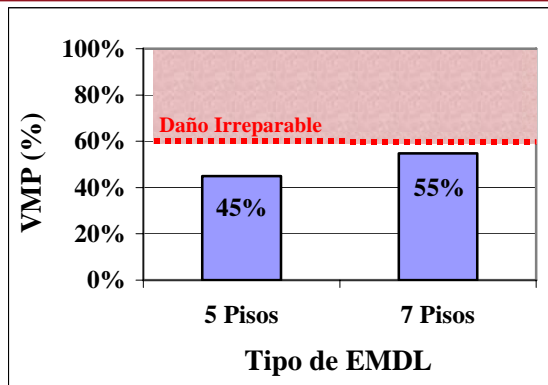


Figura 13: Daño que sufrirían los EMDL en un sismo raro

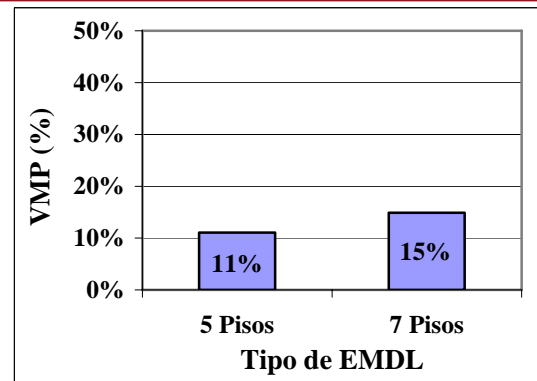


Figura 14: Daño que sufrirían los EMDL en un sismo frecuente

CONCLUSIONES

Los EMDL se encuentran apoyados sobre plateas superficiales de 20 a 25 cm de espesor, construidas sobre rellenos controlados de ingeniería. El sistema estructural es de muros portantes delgados de concreto armado (10 ó 12 cm) con una malla electrosoldada central y en los extremos varillas de refuerzo adicional sin confinar de acero de grado 60. Para el sistema de techos se utilizan losas macizas de concreto con espesores de 10 y 12 cm, reforzadas con mallas electrosoldadas y bastones.

En base a la opinión de expertos peruanos se obtuvieron curvas de fragilidad y matrices de daño para edificios de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos. Los resultados indican que los EMDL típicos de 5 y 7 pisos, quedarían con daño irreparable ($FDM > 60\%$) para intensidades mayores o iguales a IX MM.

En el caso de sismos frecuentes (50 años de periodo de retorno), los resultados muestran que el daño sería reparable, con un Factor de Daño Medio (FDM) del orden de 15%. En el caso de sismos raros (500 años de periodo de retorno), los resultados indican que estos edificios presentarían un daño reparable con un FDM de alrededor de 50%.

La comunidad de ingenieros peruanos espera un buen desempeño sismorresistente para los EMDL, comparable al de otros sistemas estructurales peruanos. Aunque alentadora, esta opinión debería ser revisada mediante nuevos estudios tanto teóricos como experimentales.

A pesar que los resultados indican que el daño en estos edificios podría ser similar al de otras edificaciones, el costo de reparación podría ser difícil de manejar para familias de escasos recursos económicos, que en muchos casos adquirieron sus departamentos con hipotecas a largo plazo.

El gobierno debería desarrollar planes de contingencia para organizar y facilitar la reparación de los EMDL en la eventualidad de un sismo severo.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al panel de expertos, y a las instituciones y empresas que colaboraron en la realización de este estudio PUCP, UNI, CIP, SENCICO, CESEL, GALLEGOS CASABONNE ARANGO, PRISMA, ZEGARRA & YECKLE, INDECI, etc.

Un agradecimiento especial a los profesores Carlos Véliz (PUCP) y Mario Ordaz (UNAM) por su valioso tiempo al discutir la organización del trabajo.

REFERENCIAS

Alva, J. 1993 “*Distribución de Isoaceleraciones UNI – CISMID*” Lima, Perú.

ATC 13 (Applied Technology Council). 1985. *Earthquake Damage Evaluation Data For California*. Redwood City, California, USA.

ATC 21 (Applied Technology Council). 2001. “*Rapid Visual Screening of Seismically Hazardous Buildings*”. Redwood City, California, USA.

Sauter, F. 1978 “*Estudio de Seguro Contra Terremoto*” Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica.






Panel de Expertos:

- Ing. Jesús Abugattas Abuid
- Ing. Víctor Acuña Foppiano
- Ing. Ruth Aguado Semino
- Ing. Carlos Albinagorta Olortegui
- Ing. José Luis Amado Travezaño
- Ing. Jorge Alva Hurtado
- Ing. Julio Arango
- Ing. Antonio Blanco Blasco
- Ing. Iván Bragagnini
- Ing. José Castillo
- Ing. Jorge Chávez - Tafur
- Ing. Carlos Cassabonne
- Ing. Alberto Concha Fernández Benavides
- Ing. José De La Torre Ugarte
- Ing. Raúl Delgado Sayán
- Ing. Gabriela Esparza Requejo
- Ing. Andrés Guillermo Galán Fiestas (Jr.)
- Ing. Andrés Galán Fiestas (Sr.)
- Ing. Héctor Gallegos
- Ing. Pedro Gervassi
- Ing. Joseph Gómez
- Ing. Jorge González
- Ing. Cesar Gutiérrez
- Ing. Teodoro Harmsen Gómez de la Torre
- Ing. Julio Higashi
- Ing. Pedro Horna Calderón
- Ing. Ricardo Icaza Andrade
- Ing. Carlos Irala
- Ing. Iván Izquierdo
- Ing. Carmen Kuroiwa Horiuchi
- Ing. Julio Kuroiwa Horiuchi
- Ing. Pablo Medina Quispe
- Ing. Guisselle Montoya
- Ing. Roberto Morales Morales
- Ing. Daniel Munares
- Ing. Gian Franco Ottazzi Pasino
- Ing. Javier Piqué del Pozo
- Ing. Julio Rivera Feijóo
- Ing. Víctor Sánchez Moya
- Ing. Jesús Solano
- Ing. Daniel Torrealva
- Ing. Luís Yafac
- Ing. Luís Yeckle
- Ing. Luís Zegarra

Grupo Monitor:

- Alejandro Muñoz Peláez
- Raúl Javier Delgado Ehni
- Catalina Peña Rodríguez-Larraín
- Rafael Aguilar Velez
- María Ángela Astorga Mendizábal



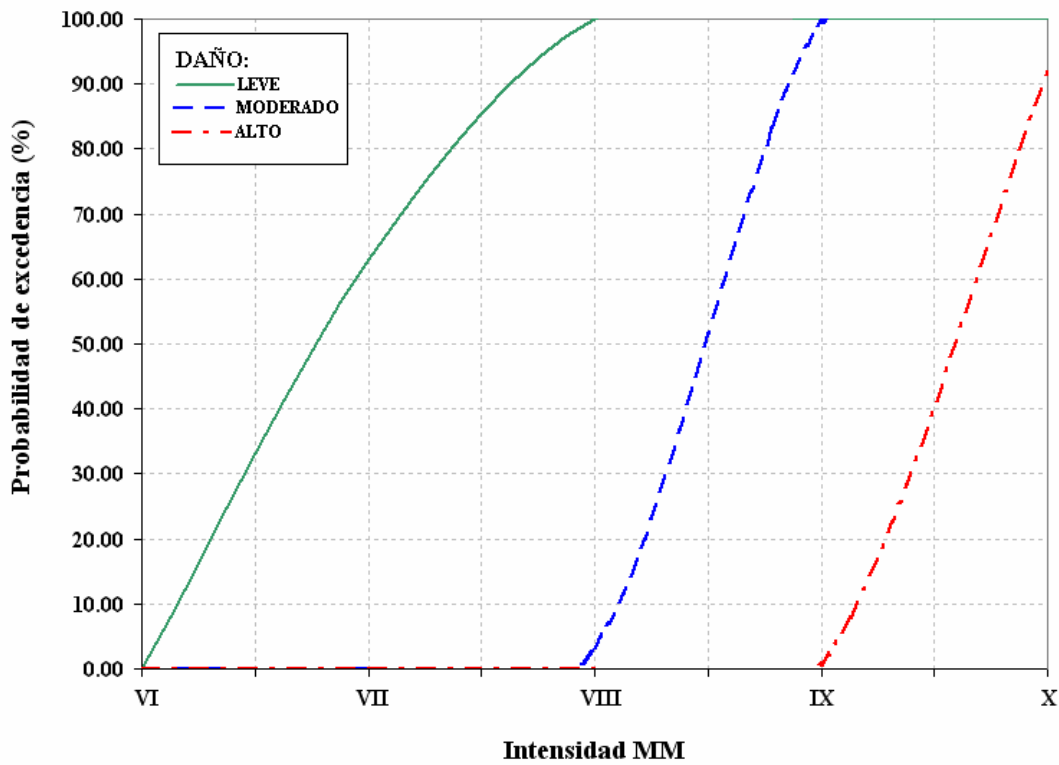
**Curvas de Fragilidad y
Matrices de Probabilidad de Daño para los
EMDL de 5 y 7 pisos**



Pontificia Universidad Católica del Perú

Desempeño Sismorresistente de
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

EDIFICIO TIPO: EMDL de 5 Pisos



(a)

Estado de daño	Factor de daño central (FDC)	Probabilidad de daño (P) en %				
		VI	VII	VIII	IX	X
Ninguno	0	0	0	0	0	0
Muy leve	0.005	0	0	0	0	0
Leve	0.05	100.0	37.1	0	0	0
Moderado	0.20	0	63.0	96.7	0	0
Alto	0.45	0	0	3.3	99.0	8.3
Severo	0.80	0	0	0	0.6	91.7
Colapso	1.00	0	0	0	0	0
Factor de daño medio (FDM)		5.00	14.44	20.83	45.09	77.10
Valor medio probable (VMP)		3.34	11.05	22.27	45.01	67.73

(b)

IMM	VI	VII	VIII	IX	X
APS (g)	0.05 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.35	0.35 - 0.50	> 0.50

(c)

Relación intensidad-daño para EMDL de 5 pisos

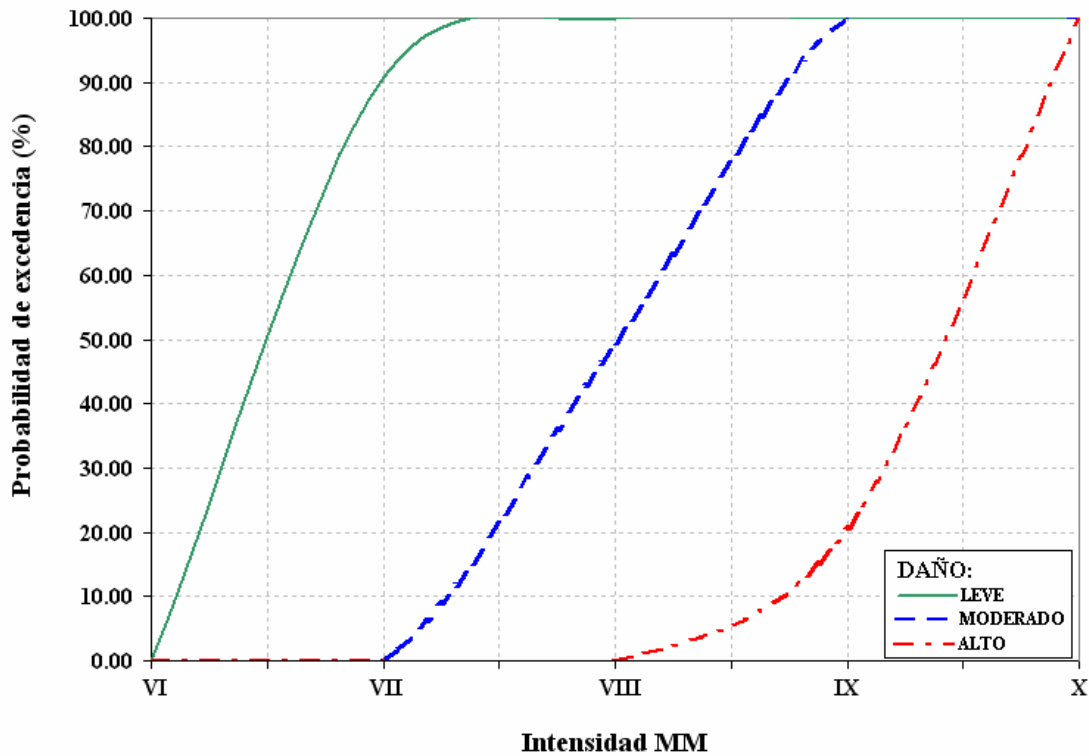
a) Curvas de fragilidad b) Matrices de probabilidad de daño c) Correlación IMM-APS empleada



Pontificia Universidad Católica del Perú

Desempeño Sismorresistente de
Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

EDIFICIO TIPO: EMDL de 7 Pisos



(a)

Estado de daño	Factor de daño central (FDC)	Probabilidad de daño (P) en %				
		VI	VII	VIII	IX	X
Ninguno	0	0	0	0	0	0
Muy leve	0.005	0	0	0	0	0
Leve	0.05	100.0	9.1	0	0	0
Moderado	0.20	0	90.9	50.6	0	0
Alto	0.45	0	0	49.4	79.4	0.3
Severo	0.80	0	0	0	20.6	99.8
Colapso	1.00	0	0	0	0	0
Factor de daño medio (FDM)		5.00	18.65	32.35	52.22	79.91
Valor medio probable (VMP)		3.79	14.86	30.07	54.74	74.19

(b)

IMM	VI	VII	VIII	IX	X
APS (g)	0.05 - 0.10	0.10 - 0.20	0.20 - 0.35	0.35 - 0.50	> 0.50

(c)

Relación intensidad-daño para EMDL de 7 pisos

a) Curvas de fragilidad b) Matrices de probabilidad de daño c) Correlación IMM-APS empleada



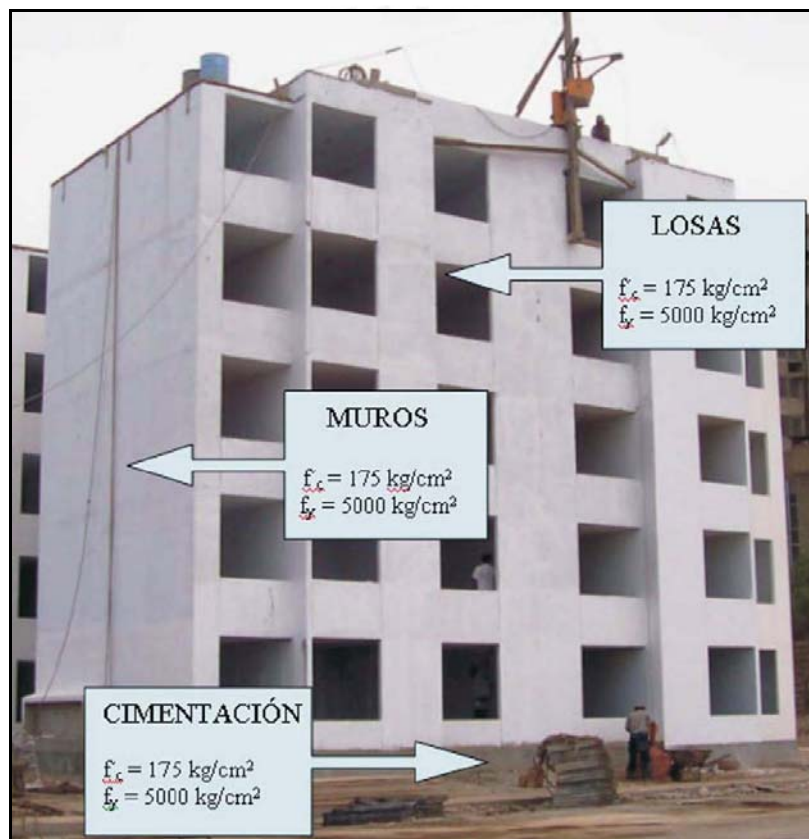
**Descripción de los
EMDL de 5 y 7 pisos**

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

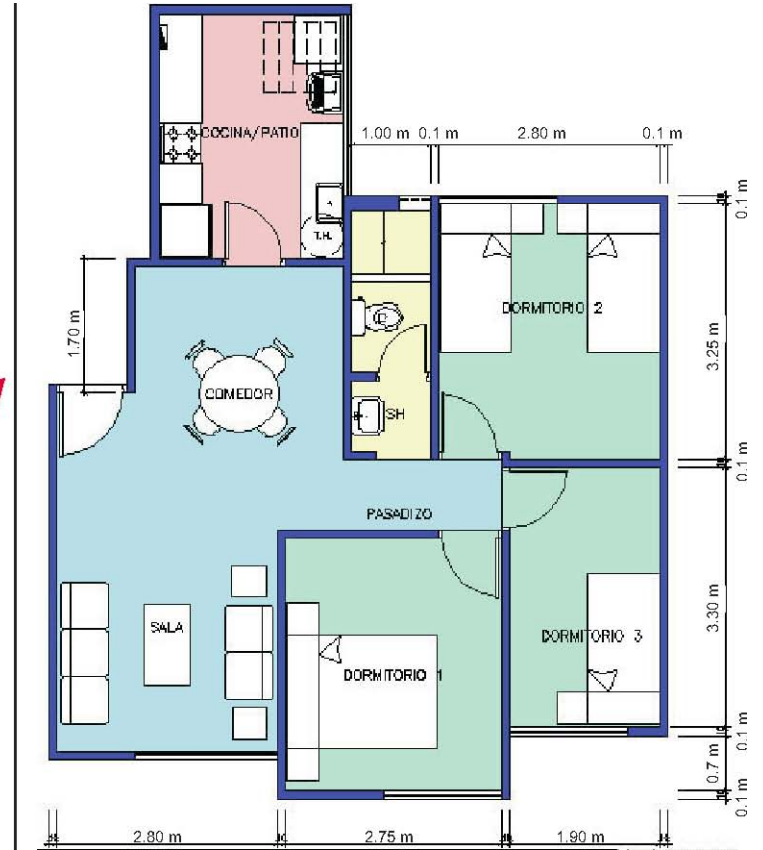
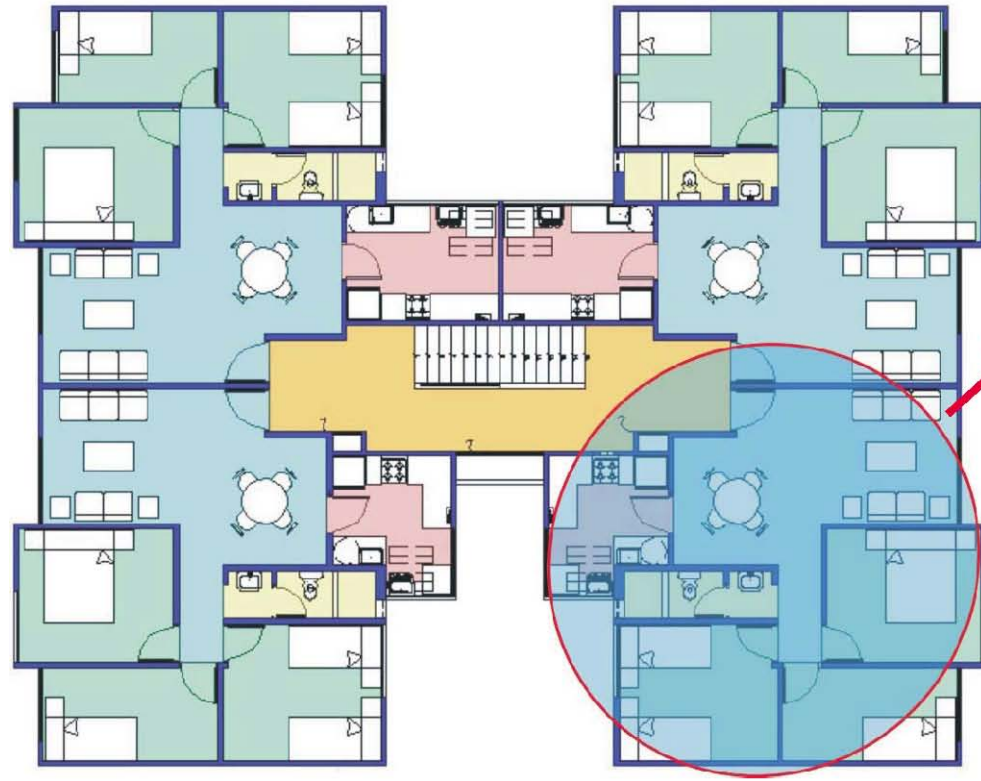
Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros delgados de concreto armado (10 y 12cm).

Debido a la rapidez con que se construyen y a su bajo costo, es probable que en un futuro cercano este sistema estructural se convierta en el preferido para los edificios de vivienda en el Perú. Sin embargo, estos edificios tienen características especiales que hacen que su diseño y construcción no estén completamente contemplados en nuestras normas.

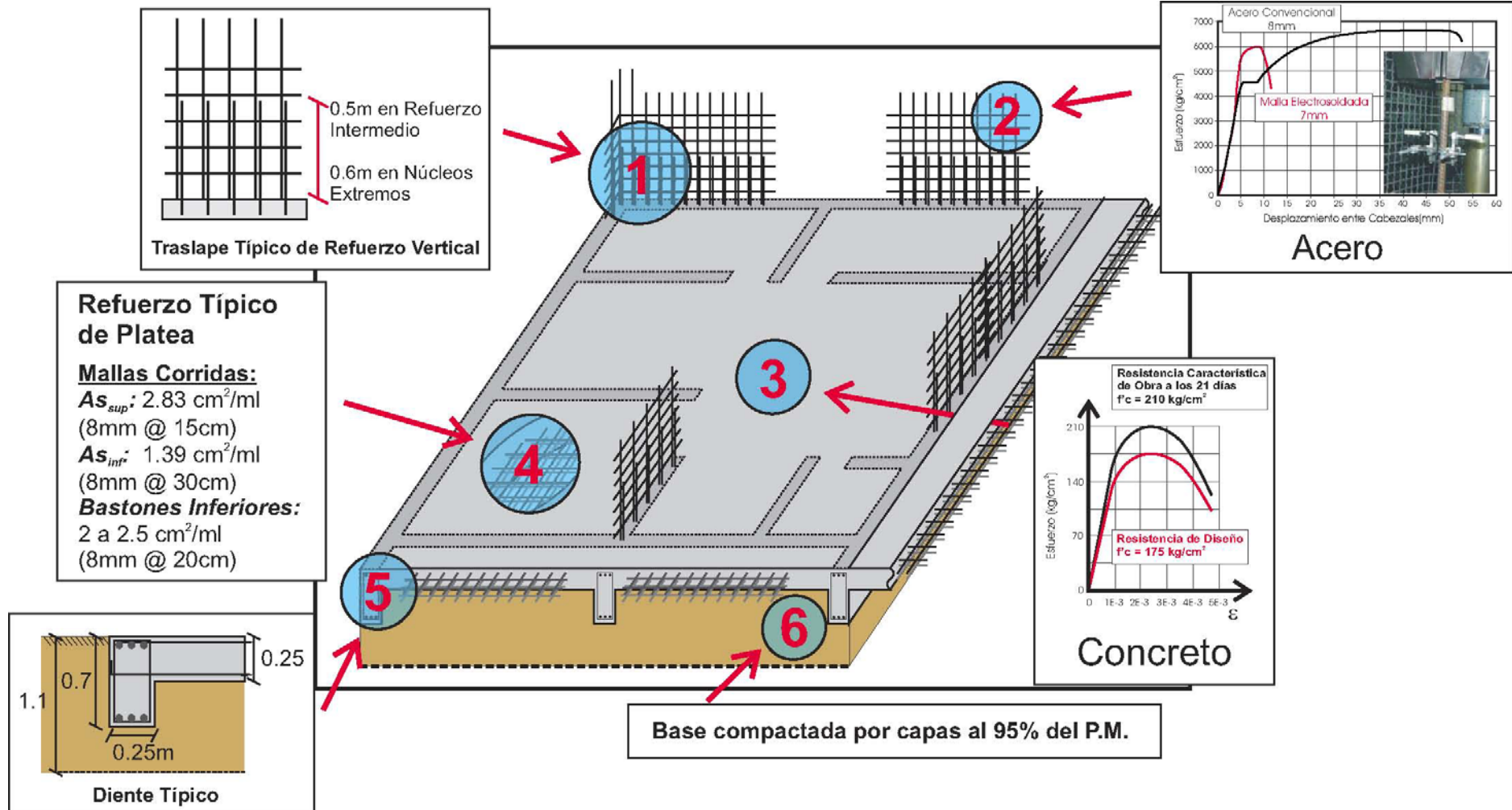
A continuación se presentan las características de un edificio representativo y se incluye una encuesta corta para recoger su opinión respecto al desempeño sismorresistente de estos edificios.



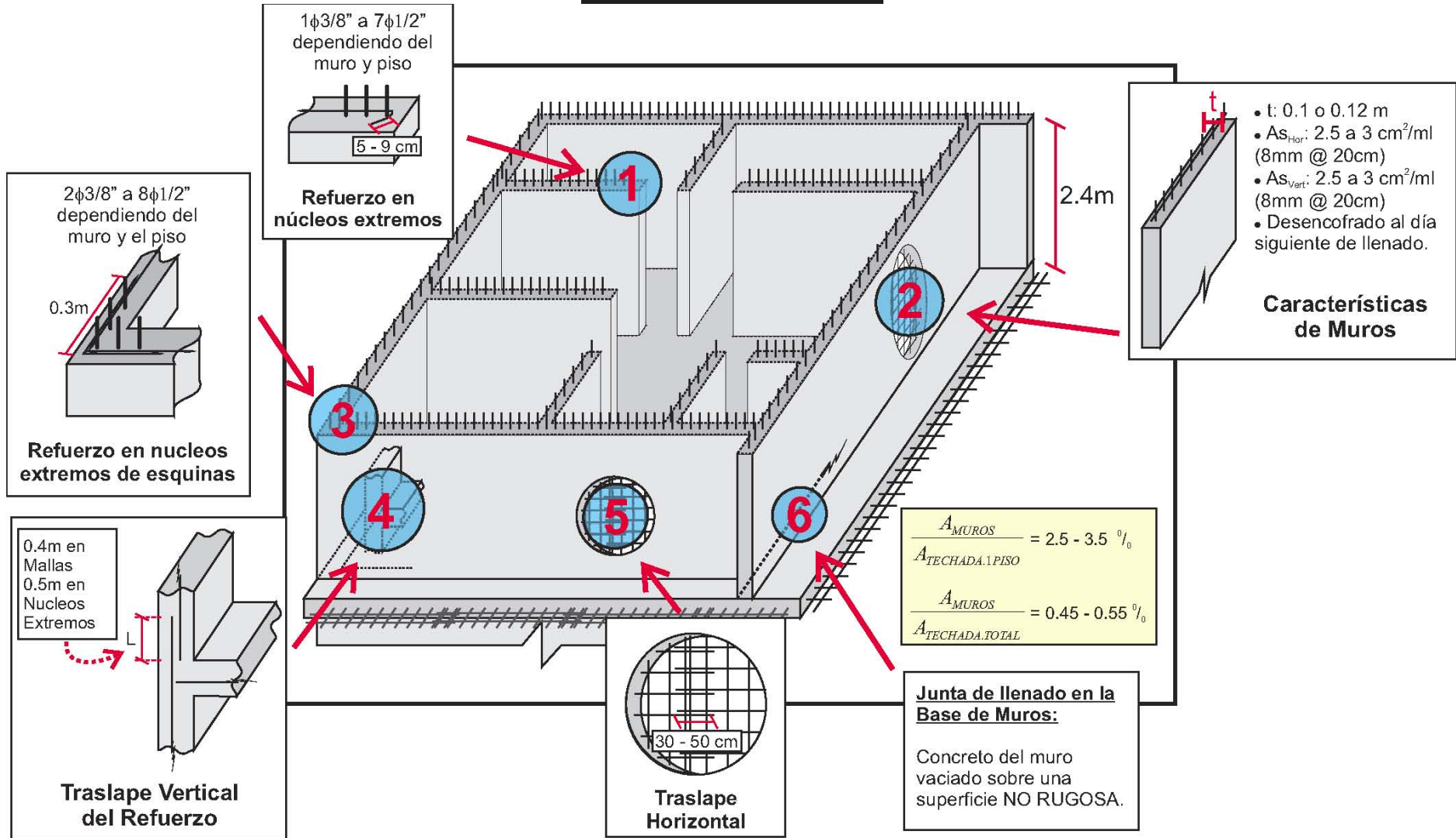
PLANTA DE ARQUITECTURA



CIMENTACIÓN TÍPICA



MUROS TÍPICOS



LOSA TÍPICA

Refuerzo Típico de Losa

Espesor = 10cm

Malla Centrada:

1.88 cm²/ml
(8mm @ 25cm)

Bastones Negativos:

2 a 2.5 cm²/ml
(8mm @ 25cm)

Bastones Positivos:

4.5 a 5 cm²/ml
(12mm @ 25cm)



Espesor = 12cm

Acero Negativo:

Malla: 2 a 2.5 cm²/ml
(3/8" @ 30cm)

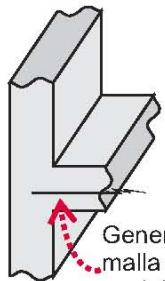
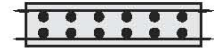
Bastones:

3 a 3.5 cm²/ml
(8mm @ 15cm)

Acero Positivo

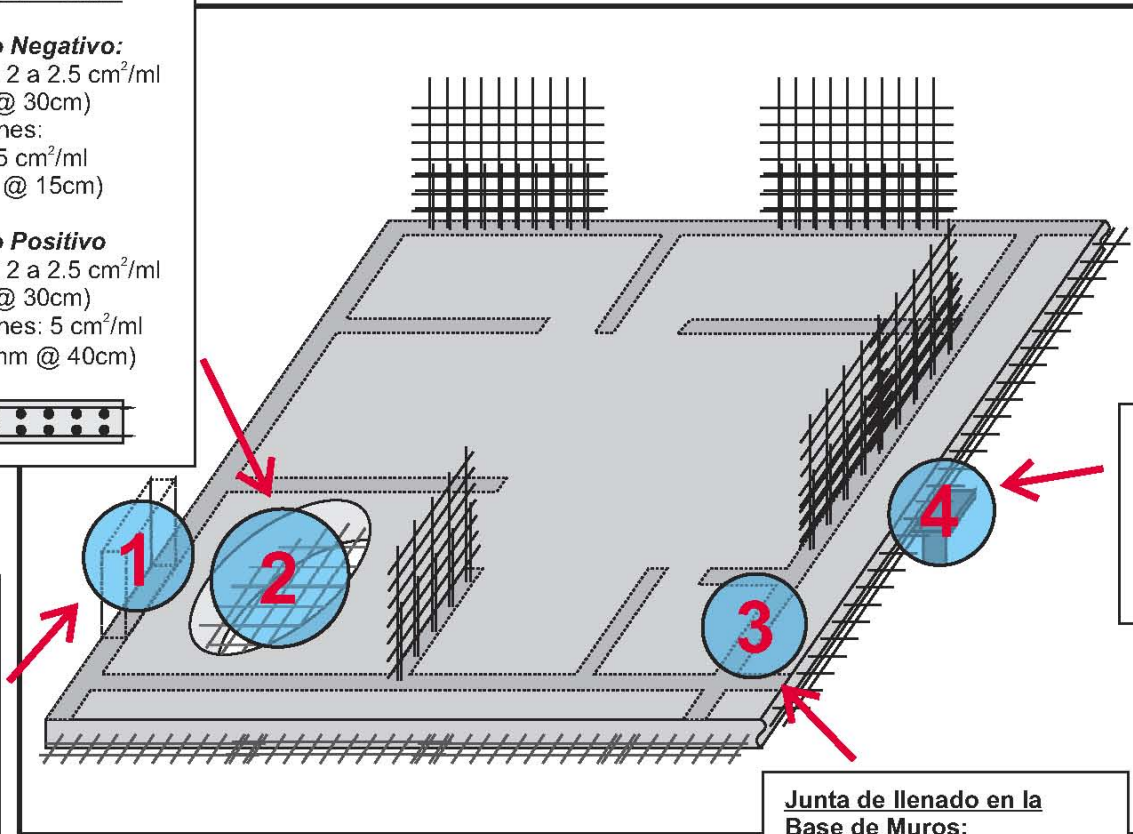
Malla: 2 a 2.5 cm²/ml
(3/8" @ 30cm)

Bastones: 5 cm²/ml
(2φ 8mm @ 40cm)



Anclaje de Acero en Muro

Generalmente, malla sin anclaje en muros



Apuntalamiento:

Al día siguiente de vaciado, se desencofra y sólo se conservan algunos puntales.

Junta de llenado en la Base de Muros:

Concreto del muro vaciado sobre una superficie NO RUGOSA.



Porcentaje de Daños en Edificios de Muros de Ductilidad Limitada

Por favor anote los valores que en su opinión describen la relación Daño-Intensidad para los edificios de muros de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos.

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 5 Pisos																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiability																				

Edificios de Muros de Ductilidad Limitada de 7 Pisos																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiability																				



Porcentaje de Daños en Edificaciones Educativas Peruanas

Por favor anote los valores que en su opinión describen la relación Daño-Intensidad para las edificaciones educativas peruanas.

Gran Unidad Escolar																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiability																				

Módulo 780 pre Norma de 1997																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiability																				

Módulo 780 actual																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			

Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiabilidad																				

Edificio de Educación Superior																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiabilidad																				

Módulo de adobe																				
Intensidades	V - VI				VII				VIII				IX				X - XI			
Daño	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)	ND	Min (%)	VMP (%)	Max (%)
Confiabilidad																				