

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE DAÑOS TÍPICOS DE EDIFICACIONES EN EL ÁREA  
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR ANTE LOS SISMOS OCURRIDOS EN  
1986 Y 2001

PRESENTADO POR:  
EDWIN ALEXANDER GRANADOS MEJÍA  
MIGUEL ANGEL LEMUS HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2003

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :

Lcda. Lidia Margarita Muñoz Vela

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

Ing. Álvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :

Ing. Saúl Alfonso Granados

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

EVALUACIÓN DE DAÑOS TÍPICOS DE EDIFICACIONES EN EL ÁREA  
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR ANTE LOS SISMOS OCURRIDOS EN  
1986 Y 2001

Presentado por :

EDWIN ALEXANDER GRANADOS MEJÍA  
MIGUEL ANGEL LEMUS HERNÁNDEZ

Trabajo de Graduación aprobado por :

Docente Director:

Dr. Ing. Edwin Edgardo Portillo García.

Docente Director:

Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Duran

Docente Director:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

San Salvador, Agosto de 2003

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director:

Dr. Ing. Edwin Edgardo Portillo García.

Docente Director:

Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Duran

Docente Director:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

## **AGRADECIMIENTOS ESPECIALES**

Al Dr. Ing. Edwin Edgardo Portillo García, por su desinteresada colaboración en la conducción de este trabajo de graduación y por proporcionar la información referente a los acelerogramas de 1986.

A los Ings. Luis Rodolfo Nosiglia Duran y Mario Roberto Nieto Lovo, por la valiosa colaboración y tiempo brindado para la realización de este trabajo.

Al Ing. José Mauricio Zepeda, por su colaboración al proporcionar la información necesaria referente a los acelerogramas del 2001.

Al Lic. José L. Pérez Sánchez por facilitarnos los datos de daños para el sismo del 2001.

Al Ing. Mauricio Lara por facilitarnos información referente a daños para el sismo de 1986.

## DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS PERSONALES

*Dedico este trabajo a:*

*“A ti ho Padre que habitas en lo más profundo de mi Ser y desde ahí iluminas y guías mis pasos para que pueda salir adelante a lo largo de esta existencia, a ti ho Divina Madre que has sido tan buena con migo a pesar de todos mis defectos y de los sufrimientos que te he hecho padecer y que ha pesar de ello ahí estas siempre para ayudar a tu hijo...”*

*“A mi mamá Carmen Alicia por ser una de las personas más bellas que Dios ha puesto en mi camino, a ti mamá gracias infinitas por ser quien eres y por estar con migo siempre, te amo”*

*“A mi papá José Salvador por ser ese guía que siempre me supo dar los consejos en los momentos justos de mi vida, a ti papá gracias por confiar y creer en mi.”*

*“A mis hermanos Salvador, Wilman, Milton, Sandra, Raquel y Rosa, gracias por creer en el esfuerzo que un día inicie, les quiero.”*

*“A Bessy por su cariño, amor y comprensión, gracias por confiar en mi, te amo.”*

*“A DC, gracias por ayudarme en una etapa importante de mi vida.”*

*“A mi abuela, tíos, tías, primos y primas.”*

*“A mis amigos que a lo largo de los años me han apoyado.”*

*“A Miguel Angel, por ser mi amigo y compañero de tesis, especialmente por que gracias a su esfuerzo hemos alcanzado terminar este trabajo”*

*“A la niña Ana por su amistad y por recibirme en su casa durante todo el desarrollo de este trabajo.”*

*“A William por su amistad.”*

*Alexander Granados*

Agradecimientos eternos a la persona que ha sido y será mi inspiración durante toda mi vida, por quien estoy en este mundo y la que me ha enseñado a ser lo que soy, la que me ha acompañado durante estos veintitantos años de lucha, gracias mi querida Ana Jacoba Lemus, mi amiga, mi compañera, mi madre. Esto es para y por usted !

Agradezco y dedico este trabajo con el cual culmino una parte de mi vida profesional a mi papá Miguel A. Hernández O. sin usted esto no hubiera sido posible, Gracias.

Agradecimiento especial para Will, por su apoyo y confianza, gracias cipote por tu apoyo en esos momentos difíciles.

A la persona que llena de esperanzas mi futuro, mis sueños, mis ilusiones y por la que siempre seguiré adelante hasta el fin de nuestros días y mas, a ti Mary la Dueña perpetua de mi corazón y de mi alma ...

Agradecimientos especiales a las personas, sin las cuales no hubiera sido posible llevar a cabo este modesto pero firme trabajo:

A todos los maestros que compartieron conmigo un poco de su conocimiento, especialmente a los que me enseñaron a leer y a sumar.

A todos mis compañeros que me brindaron su apoyo durante mi estancia en la Universidad, especialmente a mis compañeros de Proyección Estudiantil.

A mis amigas y amigos que descansan en paz, algún día nos volveremos a ver.

A Edwin Granados, ya que sin él, nunca se hubiera realizado este trabajo, gracias chele, gracias amigo.

Y por último pero el más importante, a Dios todopoderoso, por haberme dado la oportunidad de vivir y conocer a los seres que mas amo. Gracias Dios, gracias Amós.

Miguel.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCION	xxi
CAPITULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	6
1.3 Objetivo general	7
1.4 Objetivos específicos	7
1.5 Alcances	8
1.6 Limitaciones	9
1.7 Justificación	10
CAPITULO 2: ASPECTOS GENERALES SOBRE DAÑOS EN EDIFICACIONES	11
2.1 Daños típicos	12
2.1.1 Daños por configuración estructural inadecuada	12
2.1.2 Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	17
2.1.3 Fallas por defectos de diseño	21
2.2 Principales sistemas estructurales utilizados en El AMSS	21
2.3 Daños en elementos estructurales	23
2.3.1 Daños en columnas	23
2.3.2 Daños en vigas	28
2.3.3 Daños en unión viga – columna	32

2.3.4 Daños en losas	32
2.3.5 Daños en paredes de concreto reforzado	36
2.4 Catalogo de tipificación de daños	38
2.5 Criterios preventivos de daños estructurales según normas salvadoreñas	45
CAPITULO 3: DAÑOS EN EDIFICIOS DEL AMSS DEBIDO A LOS SISMOS DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986 Y DEL 13 DE ENERO DEL 2001	54
3.1 Características de los sismos del 10 de octubre de 1986 y del 13 de enero del 2001.	55
3.1.1 Sismo del 10 de octubre de 1986	55
3.1.2 Sismo del 13 de enero del 2001.	55
3.1.3 Sismo del 13 de febrero del 2001.	56
3.2 Recopilación de datos de daños en edificaciones en el AMSS	56
3.2.1 Daños debidos al sismo del 10 de octubre de 1986	56
3.2.2 Daños debidos al sismo del 13 de enero del 2001.	72
CAPITULO 4: ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE ELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR	95
4.1 Parámetros de Peligrosidad Sísmica	96
4.1.1 Intensidad de Arias	98
4.1.2 Velocidad Absoluta Acumulativa	99

4.1.3 Duración del movimiento fuerte	100
4.1.3.1 Duración Efectiva	101
4.2 Calculo de los parámetros de movimiento fuerte	103
4.2.1 Redes acelerográficas	103
4.2.1.1 Formato de acelerogramas según red UCA	103
4.2.1.2 Formato de acelerogramas según red CIG	106
4.2.1.3 Formato de acelerogramas del sismo del 10 de octubre de 1986	108
4.2.2 Cálculo de la Intensidad de Arias	109
4.2.3 Cálculo de la Velocidad Absoluta Acumulativa	111
4.2.4 Cálculo de la Duración Efectiva	112
4.2.5 Resultados de cálculos de parámetros de movimiento fuerte	113
4.2.5.1 Comportamiento de los parámetros de movimiento fuerte en función de la distancia epicentral	118
4.3 Parámetros de comportamiento estructural	128
4.3.1 Índice de Sistema Estructural	129
4.3.2 Índice de Configuración Geométrica	132
4.3.3 Índice de Año de Construcción	133
4.3.4 Unificación de los índices de comportamiento estructural para la designación del Grado de Desempeño Estructural	134
4.3.5 Designación de zonas geográficas para el estudio de correlaciones	135
4.4 Asignación del grado de daño a la muestra de edificaciones	140
4.4.1 Grado de daño típico en una estructura	150

4.5 Cálculo de correlaciones entre los parámetros de movimiento fuerte	144
4.5.1 Correlaciones por el método de los mínimos cuadrados	144
4.5.1.1 Coeficiente de correlación	144
4.5.2 Resultados de las correlaciones	145
4.5.2.1 Observaciones específicas	145
4.5.2.2 Observaciones generales	148

CAPITULO 5: RESULTADOS DE CORRELACIONES Y DATOS DE DAÑO	153
5.1 En cuanto a daños típicos	154
5.1.1 Datos de daños para el sismo del 10 de octubre de 1986	154
5.1.2 Datos de daños para el sismo del 13 de enero del 2001	157
5.2 En cuanto a parámetros de peligrosidad y comportamiento estructural	160
5.2.1 Parámetros de peligrosidad	160
5.2.1.1 Sismo del 10 de octubre de 1986	160
5.2.1.2 Sismo del 13 de enero del 2001	163
5.2.2 Parámetros de Comportamiento Estructural	166
5.3 En cuanto a la correlación entre daños y los parámetros de Peligrosidad	167

CAPITULO 6: MANUAL DE USUARIO DE “BASE DE DATOS EDT – UES”	169
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	183
7.1 Conclusiones	184
7.2 Recomendaciones	187
ANEXOS	189
A1. Formato de evaluación de daños MOP-ASIA-FESIARA	190
A2. Acelerogramas del sismo del 10 de octubre de 1986 correspondientes al AMSS	193
A3. Acelerogramas del sismo del 13 de enero del 2001 correspondientes al AMSS	199
A4. Edificios con sus respectivos grados de daños	206
A4. Programa de evaluación de parámetros de Peligrosidad	214
REFERENCIAS	219

## INDICE DE TABLAS

Tabla No.	Contenido	Página
CAPÍTULO 2		
	2.1 Irregularidades en planta no recomendadas	13
	2.2 Irregularidades en elevación no recomendadas	15
	2.3 Esquema de configuraciones geométricas no recomendadas	16
	2.4 Catalogo de tipificación de daños	41
CAPÍTULO 3		
	3.1 Edificios con daños severos para el 10 de octubre de 1986	57
	3.2 Edificios con daños graves para el 10 de octubre de 1986	58
	3.3 Edificios con daños moderados para el 10 de octubre de 1986	62
	3.4 Edificios con daños leves para el 10 de octubre de 1986	64
	3.5 Características de la muestra de edificios a evaluar para el 2001	76
	3.6 Resultados de los daños observados en edificios sistema A	80
	3.7 Resultados de los daños observados en edificios acero	85
	3.8 Resultados de los daños observados en edificios a base marcos de acero	89
	3.9 Comparación del comportamiento en los elementos de edificios con sistemas sismorresistentes a base de sistemas A y B	95

## CAPÍTULO 4

4.1 Nombre y simbología para estaciones de la red UCA	105
4.2 Nombre y simbología para estaciones de la red CIG	106
4.3 Nombre y simbología para estaciones de la red CIG 1986	108
4.4 Resultados del cálculo de los parámetros de movimiento fuerte para los registros de la red acelerografica de la UCA	113
4.5 Resultados del cálculo de los parámetros de movimiento fuerte para los registros de la red acelerografica de la CIG	114
4.6 Resultados del cálculo de los parámetros de movimiento fuerte para los registros de la red acelerografica para el sismo de 1986	117
4.7 Ecuaciones del comportamiento de parámetros de movimiento fuerte en función de la distancia epicentral	127
4.8 Periodos por número de nivel	131
4.9 Ponderación de $I_{CG}$	133
4.10 Ponderación de $I_{AC}$	134
4.11 Asignación del tipo de estructura en función del FDE	135
4.12 Asignación de edificios para el sismo del 2001	138
4.13 Asignación de edificios para el sismo de 1986	139
4.14 Factores de ponderación de elementos en edificios Tipo A	141
4.15 Factores de ponderación de elementos en edificios a base de sistema C	142
4.16 Factores de ponderación de daño para cada tipo de daño	143
4.17 Grado de daño en función de los rangos definidos por el FDG	143

4.18 Valores de parámetros de Peligrosidad en función del Grado de Daño	149
4.19 Ecuaciones del comportamiento de parámetros de movimiento fuerte en función del Grado de Daño GD (Edificios Tipo PDA)	150
4.20 Ecuaciones del comportamiento de parámetros de movimiento fuerte en función del grado de daño GD (Edificios Tipo PDB)	151

## CAPÍTULO 5

5.1 Resumen de grado de daño en edificios para el sismo de 1986	155
5.2 Resumen de grado de daño en edificios para el sismo del 2001	158

## INDICE DE FIGURAS

Figura. No.	Contenido	Página
CAPÍTULO 2		
2.1	Esquemas de efecto de viga fuerte-columna débil	17
2.2	Falla por falta de ductilidad	18
2.3	Esquema de efecto de columna corta en una edificación	19
2.4	Esquema de efecto de edificio de esquina	19
2.5	Esquema de planta flexible o Soft- story	20
2.6	Esquema de daño en una columna debido a flexión	
	cíclica y cortante	24
2.7	Ejemplo de daño en una columna debido a flexión	
	cíclica y cortante	25
2.8	Falla de daño en una columna debido a cortante	
	cíclico y flexión pequeña	26
2.9	Falla por explosión en una columna corta	27
2.10	Daño en columnas en contacto con mampostería	28
2.11	Grietas por flexión en claro de viga	29
2.12	Grietas cercanas a los apoyos de la viga	30
2.13	Grietas en la cara superior e inferior cercanas a los	
	apoyos de la viga	31
2.14	Grietas por cortante en las proximidades de soportes	31
2.15	Fallas en nudos viga – columna en esquina	32

2.16 Fallas en nudos exteriores viga – columna en un edificio de varios niveles	33
2.17 Fallas en nudos interiores de viga – columna	33
2.18 Daños en losas en la sección critica en el voladizo	35
2.19 Daños en losas en la conexión con columna	35
2.20 Pared de cortante con daños en juntas de construcción	36
2.21 Daños en forma de x en pared de cortante	37
2.22 Daños en pared de corte debido a flexión y compresión	38

### CAPÍTULO 3

3.1 Edificio Rubén Darío	66
3.2 Edificio Torre López	66
3.3 Edificio Gran Hotel San Salvador	67
3.4 Edificio de la Fiscalía General de la Republica	68
3.5 Edificio de Odontología de la UES	69
3.6 Edificio de economía de la UES	70
3.7 Edificio Dueñas	71
3.8 Comparación de las características de edificios a base de marcos de concreto	77
3.9 Comparación de las características de edificios a base de marcos de acero	78
3.10 Comparación de las características de edificios a base de marcos de concreto y paredes de corte	78

3.11 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de concreto reforzado	81
3.12 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de concreto reforzado	82
3.13 Representación general de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de concreto reforzado	84
3.14 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de acero	86
3.15 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de acero	87
3.16 Representación general de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de acero	88
3.17 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema C	90
3.18 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema C	91
3.19 Representación general de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema C	93

#### CAPÍTULO 4

4.1 Aceleraciones Pico de igual magnitud	97
4.2 Calculo de la Velocidad Absoluta Acumulativa (CAV)	100
4.3 Diagrama de Husid	101

4.4	Calculo de la Duración Efectiva	102
4.5	Mapa de red acelerográfica de la UCA	105
4.6	Mapa de red acelerográfica del CIG	107
4.7	Mapa de red de estaciones acelerografica para el sismo del 10 de octubre de 1986	109
4.8	PGA norte-sur vrs Distancia epicentral	119
4.9	PGA este-oeste vrs Distancia epicentral	119
4.10	PGA vertical vrs Distancia epicentral	120
4.11	PGV norte sur vrs Distancia epicentral	120
4.12	PGV este-oeste vrs Distancia epicentral	121
4.13	PGV vertical vrs Distancia epicentral	121
4.14	IA norte sur vrs Distancia epicentral	122
4.15	IA este-oeste vrs Distancia epicentral	122
4.16	IA vertical vrs Distancia epicentral	123
4.17	CAV norte sur vrs Distancia epicentral	123
4.18	CAV este-oeste vrs Distancia epicentral	124
4.19	CAV vertical vrs Distancia epicentral	124
4.20	DE norte sur vrs Distancia epicentral	125
4.21	DE este-oeste vrs Distancia epicentral	125
4.22	DE vertical vrs Distancia epicentral	125
4.23	Comparación de periodo de estructuras a base de MCR y sistema Dual	130
4.24	Mapa de asignación de estaciones para el sismo del 2001	136
4.25	Mapa de asignación de estaciones para el sismo de 1986	137

## CAPÍTULO 5

5.1 Grado de daño en edificios (1986)	155
5.2 Grado de daño por zona (1986)	157
5.3 Grado de daño en edificios (2001)	158
5.4 Grado de daño por zona (2001)	160
5.5 Valores de IA para las estaciones del sismo de 1986	161
5.6 Valores de CAV para las estaciones del sismo de 1986	161
5.7 Valores de DE para las estaciones del sismo de 1986	162
5.8 Valores de PGA para las estaciones del sismo de 1986	162
5.9 Valores de PGV para las estaciones del sismo de 1986	163
5.10 Valores de IA para las estaciones del sismo del 2001	164
5.11 Valores de CAV para las estaciones del sismo del 2001	164
5.12 Valores de DE para las estaciones del sismo del 2001	165
5.13 Valores de PGA para las estaciones del sismo del 2001	165
5.14 Valores de PGV para las estaciones del sismo del 2001	166

---

# **CAPITULO 1**

---

*“GENERALIDADES*

## 1.1 ANTECEDENTES

Nuestro país, está situado cerca del borde oeste de la placa del Caribe, la cual interactúa con otras cuatro placas de la litósfera en la región Centroamericana, siendo éstas: Cocos, Norteamérica, Suramérica y Nazca. Existen tres principales fuentes productoras de sismos que afectan a El Salvador<sup>1 2</sup>: El proceso de subducción (a nivel regional), la cadena volcánica existente en la región (a nivel local) y la falla de Motagua; el primero consiste en el mecanismo por el cual la placa de Cocos se introduce debajo de la placa del Caribe con un movimiento relativo de 7cm por cada año. Los mayores terremotos registrados instrumentalmente en Centro América a través de esta interfase han tenido magnitudes de cerca de 8 (Dewey y Suárez, 1991).

La segunda fuente productora de sismos importantes que afectan a El Salvador es la estrecha cadena volcánica en Centro América. La sismicidad asociada con la cadena volcánica está generalmente confinada a los 20 Km superficiales de la corteza y dentro de un cinturón continuo de 20 Km. de ancho a lo largo del eje principal de los volcanes cuaternarios. La tercera fuente es la falla de Motagua la cual constituye la frontera entre la placa de Norteamérica, y que a la vez se mueve hacia el oeste, y la placa del Caribe, con movimiento hacia el este, lo que origina una falla lateral de tipo sinistral. Esta falla tiene una longitud de 300 Kms, aproximadamente, extendiéndose

---

<sup>1</sup> “Reporte de los eventos sísmicos ocurridos el primer trimestre de 2001 en El Salvador”. Manuel A. López M. y Otros, Escuela de Ingeniería Civil, FIA, UES

<sup>2</sup> “Evaluación de espectros de respuesta para el diseño de estructuras en El Salvador”. Douglas Hernández y otros. Tesis UCA 1994

desde la costa del Atlántico al centro de Guatemala, esta también representa una fuente potencial de amenaza sísmica para el territorio salvadoreño. Los terremotos dentro del arco volcánico alcanzan magnitudes entre los 6 y 6.5 Mw, Nueve de los 14 terremotos que han dañado San Salvador desde 1700 fueron asociados con la cadena volcánica, y solamente cinco han sido eventos en la zona de subducción (Bommer, 1994). Los terremotos locales de la cadena volcánica no alcanzan magnitudes mayores de 6.5, pero son la principal causa de destrucción debido a su coincidencia con las principales concentraciones urbanas.

Los últimos terremotos que han causado daños en San Salvador han sido el del 3 de mayo de 1965, el del 19 de junio de 1982, el del 10 de octubre de 1986<sup>3</sup> y los de enero y febrero del 2001. El primero de estos sucedió a las 4 horas, 1 minuto (hora local), con una magnitud de 6.0 (White & Harlow, 1993). y una intensidad máxima de VI-VII MM, el epicentro del sismo fue ubicado a unos pocos kilómetros al S-E de la ciudad, con una latitud de 13.70°N y una longitud de 89.17° O, a una profundidad de 15 kms. El segundo sucedió a las 0 horas con 21 minutos (hora local), las coordenadas del epicentro fueron 13.30°N, 89.40°O ubicado en el Océano Pacífico, la profundidad del evento fue de 80 Km. y la magnitud de 7.3 (Ambraseys & Adams, 1996) y una intensidad de MM de VII. El terremoto del 10 de octubre de 1986 ocurrió a las 11 horas, 49 minutos (hora local), con una magnitud de 5.4 Mw, a una profundidad de 10 kms, y el epicentro ubicado en las coordenadas 13.67°N y 89.18°O a pocos kilómetros de la ciudad de San Salvador (White & Harlow, 1993). La máxima intensidad en San

---

<sup>3</sup> “Riesgo sísmico en la región Metropolitana de San Salvador”, Salazar-Samayoa-Bommer. Boletín PRISMA 1998.

Salvador fue de VIII - IX en la escala de Mercalli Modificada (MM). El 13 de enero de 2001, un fuerte terremoto se originó en la costa de El Salvador, en el Océano Pacífico, a las 11:34 am hora local, (17:33:29 UTC), con una magnitud, según el United States Geological Survey (USGS), de Momento Sísmico igual a 7.6 ( $M_w = 7.6$ ) sintiéndose en toda Centroamérica. Su hipocentro se ubicó a una profundidad de 39 Km., con coordenadas 12.83N, 88.79W, con una intensidad en la escala de Mercalli Modificada, según el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG), de VII en San Salvador. El sismo del 13 de febrero del 2001 ocurrió a las 8 horas 22 minutos (hora local), el epicentro fue localizado en el área de San Pedro Nonualco, departamento de La Paz, tuvo una magnitud de 6.1 y una intensidad (MM) de IV en San Salvador con una profundidad focal de 8 Km según CIG.

En el AMSS, para el sismo del 10 de octubre de 1986 se reportó daños en aproximadamente 75 edificios de 3 o más pisos<sup>4</sup>, esto debido a que muchos de los edificios dañados por los sismos ocurridos el 3 de mayo 1965 y el del 19 de junio de 1982 no fueron reparados ni reforzados adecuadamente y por ende no ofrecieron resistencia a la intensa sacudida de este evento (Bommer y Ledbetter, 1987) llegando en algunos casos al colapso total de la estructura.

Para los sismos ocurridos en el 2001, se reportaron daños que varían, desde el desprendimiento de repellos hasta daños severos en los sistemas estructurales en

---

<sup>4</sup> “El sismo del 10 de Octubre de 1986 en San Salvador”.  
Ing. Carlos Graham., Instituto para Estudios de Concreto  
a / c Prof. – Dr. Gert Konig. Universidad Técnica de Darmstadt / Darmstadt, Republica Federal de Alemania

edificios de baja altura; los edificios de más de 10 niveles parecen haber soportado el evento sin daños graves<sup>5</sup>.

En nuestro país después de la ocurrencia de sismos de grandes proporciones, por ejemplo el del 10 de Octubre de 1986, se han realizado algunos trabajos descriptivos de los daños ocurridos debido a este sismo, ya sea por parte de empresas consultoras o como trabajos de graduación en el área de la Ingeniería Civil, determinándose con ellos las posibles causas que dieron origen a estos daños y evaluándose el comportamiento de los distintos sistemas estructurales ante estos sismos.

En la literatura<sup>6</sup>, se han revisado diversos estudios sobre las relaciones entre parámetros de Peligrosidad obtenidos de acelerogramas y algún tipo de daño en edificios, pero esto es aplicable solamente a los sitios particulares en estudio, debido a la diversidad de factores que intervienen en este tipo de análisis: tipologías de las estructuras, códigos de diseño, tipos de suelo, etc.

En El Salvador, hasta el momento, se tiene un estudio de este tipo para el Área Metropolitana de San Salvador<sup>7</sup>, en este se toman parámetros de Peligrosidad tales como: la Intensidad de Arias, La Velocidad Absoluta Acumulativa y La Duración Efectiva, obteniéndose ciertas correlaciones entre los daños y dichos parámetros; este estudio presenta la inconveniencia de que fue elaborado con un mínimo de

---

<sup>5</sup> "Reporte de los eventos sísmicos ocurridos el primer trimestre de 2001 en El Salvador". Manuel A. López M. y Otros, Escuela de Ingeniería Civil, FIA, UES

<sup>6</sup> L. Cabañas y otros. "ANÁLISIS DE DAÑOS Y DE PARÁMETROS DEL MOVIMIENTO DEL SUELO CORRESPONDIENTES AL TERREMOTO DE IRPINIA (ITALIA) DE 1980."

<sup>7</sup> B. Benito y otros. "CORRELACION ENTRE PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL SUELO Y DAÑO ESTRUCTURAL EN EL SALVADOR 1996"

información, a la vez que se toma solamente en cuenta el sismo del 10 de octubre de 1986, por consiguiente es necesario investigar las posibles correlaciones para los sismos del 2001 y realizar un estudio comparativo con los de 1986.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La alta sismicidad a la que se encuentra sometida el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) provoca que las edificaciones existentes, al estar expuestas a sismos experimenten daños estructurales. Aquellos daños que presentan un patrón definido y que se repiten en numerosas situaciones pueden catalogarse como daños típicos. En el país el sismo ocurrido el 10 de octubre de 1986 provocó en las estructuras una serie de daños de este tipo, que en algunos casos provocaron el colapso de las mismas, mientras que los sismos ocurridos el 13 de enero y 13 de febrero del 2001 dieron como resultado la aparición de daños de menor grado que los ocurridos durante el sismo de 1986. De acá se desprende la necesidad de conocer parámetros de Peligrosidad tales como: aceleraciones, velocidades, Intensidad de Arias, Duración Efectiva del sismo, etc. que relacionen los tipos de daños presentes en las edificaciones producto de los sismos antes mencionados, teniéndose en cuenta así parámetros de Vulnerabilidad tales como : configuración en sistemas sismorresistentes, irregularidades geométricas, número de niveles, etc. elaborando con ello un estudio de los patrones de daños en el AMSS.

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un análisis, a través de correlaciones, de los daños típicos a nivel estructural ocurridos en las edificaciones en el Área Metropolitana de San Salvador ante los sismos de 1986 y 2001.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Realizar un estudio de los efectos en las edificaciones a nivel de daños, debido a las principales fuentes sismogénicas (zona de subducción y fallamiento local) que afectan al AMSS, esto a través de posibles correlaciones entre parámetros de Peligrosidad tales como: aceleraciones, velocidades, Intensidad de Arias, Duración Efectiva del sismo; con los daños sufridos en las edificaciones existentes en la zona de estudio (Área Metropolitana de San Salvador) teniéndose en cuenta parámetros de Vulnerabilidad tales como: configuración en sistemas sismorresistentes, irregularidades geométricas, número de niveles, etc. Todo esto con datos recabados ante los sismos de 1986 y 2001.
- Realizar una investigación de las diferentes formas en las que pueden catalogarse los daños en las edificaciones, obteniéndose de ello la tipificación de daños que se utilizará en el presente trabajo de graduación.

- Realizar una recopilación de los daños típicos en las edificaciones producidos por los sismos ocurridos en 1986 y 2001 en el Área Metropolitana de San Salvador.
- Presentar el análisis comparativo de los datos recabados de una manera sistemática, a través de una base de datos elaborada como parte del presente estudio; con el fin de acceder a toda la información de daños típicos que se procese en el trabajo de graduación de una manera rápida y confiable para que esta información pueda ser utilizada en futuras investigaciones concernientes al tema de los daños en edificaciones.

## **1.5 ALCANCES**

Se llevará acabo el estudio de los daños provocados en las edificaciones ubicadas en el Área Metropolitana de San Salvador por los sismos de 1986 y 2001, tomando en cuenta parámetros de Peligrosidad y Vulnerabilidad. Dicho estudio se realizará reuniendo la información que se encuentra en las evaluaciones de daños realizadas por los organismos correspondientes y correlacionando estos datos de una manera estadística, con el fin de encontrar las posibles tendencias de estos datos. A la vez se realizará un estudio bibliográfico de las diferentes clasificaciones en las que pueden catalogarse los daños en edificaciones a manera de poder determinar la tipificación de daños que se utilizará en la presente investigación. También se

desarrollará una herramienta propia, mediante la cual se podrán estudiar y presentar los resultados obtenidos en el análisis de los daños típicos correspondientes a las diferentes categorías y a los diferentes sismos así como la información obtenida del análisis particular de las edificaciones seleccionadas en este estudio. Con ayuda de dicha herramienta se podrá establecer posibles correlaciones entre daños típicos y factores de Peligrosidad.

## **1.6 LIMITACIONES**

- Se analizarán las edificaciones más representativas en lo que a daños se refiere, limitándose a la disponibilidad de las evaluaciones de daños realizadas por parte de los diferentes organismos encargados de ello.
- Para la evaluación de los parámetros de Peligrosidad se hará uso de los registros de acelerogramas disponibles para el Área Metropolitana de San Salvador.
- Se analizarán daños típicos a nivel estructural en edificaciones, dejándose fuera de este estudio los daños no estructurales.

## **1.7 JUSTIFICACION**

La alta sismicidad a la que se encuentra sometida el AMSS provoca que las edificaciones existentes experimenten por lo menos un sismo de gran magnitud durante su vida útil. Debido a esto, es importante documentar las experiencias obtenidas en las respuestas de las estructuras a causa de diferentes sismos ocurridos en el país, ya que esto representa una ayuda al momento del diseño estructural de las edificaciones y además, contribuye a posibles actualizaciones del reglamento vigente, el cual fue elaborado entre los años de 1992 y 1994 y no contempla aspectos incluidos en los nuevos reglamentos internacionales, posteriores a los sismos violentos en California en 1994 y Kobe en 1995, entre estos factores están aquellos que toman en cuenta distancias a fallas activas conocidas, etc. El trabajo brindará una contribución al área de la Ingeniería Sísmica en El Salvador, en cuanto establecerá correlaciones entre daños típicos y los factores de Peligrosidad y Vulnerabilidad más relevantes y dejará una base de información organizada sobre daños típicos ocurridos en el AMSS a causa de los eventos sísmicos de 1986 y 2001, lo cual puede ser implementado en estudios puntuales posteriores, que retomen aspectos de importancia detectados en la recopilación y tipificación de daños.

---

## **CAPITULO 2**

---

*“ASPECTOS GENERALES SOBRE DAÑOS EN EDIFICACIONES”*

## 2.1 DAÑOS TÍPICOS

Se define como daño típico, aquel daño que es recurrente tanto en características como en magnitud en cualquier elemento de una estructura.

Los daños típicos pueden catalogarse como leves, moderados, graves o severos, dependiendo de la pérdida de resistencia o estabilidad que experimente el elemento en el que se dé dicho daño.

En base a observaciones de sismos pasados, se pueden establecer tres causas principales<sup>1 2</sup> de daños típicos en edificios:

1. Daños por configuración estructural inadecuada.
2. Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad.
3. Daños por defectos de diseño.

### ***2.1.1 Daños por configuración estructural inadecuada***

La experiencia dejada por terremotos pasados y recientes<sup>3</sup> demuestran que edificios de una configuración adecuada (regulares) son capaces de soportar sin llegar al colapso, sismos violentos, incluso si la resistencia de sus miembros estructurales no es la necesaria, mientras que otros con defectos de configuración, provistos de los refuerzos necesarios por diseño, fallan y colapsan. Por tanto, la configuración

---

<sup>8</sup> - “El terremoto de San Salvador 10 de Octubre de 1986”

Ríos R, Grases J, Ponce L, Weidmann N, Zegarra L.

Informe Técnico editado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS-UNESCO)

<sup>2</sup> “El sismo del 10 de Octubre de 1986 en San Salvador”.

Ing. Carlos Graham., Instituto para Estudios de Concreto

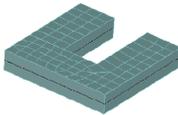
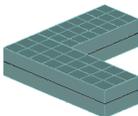
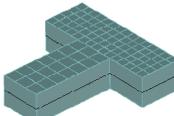
a / c Prof. – Dr. Gert Konig. Universidad Técnica de Darmstadt / Darmstadt, Republica Federal de Alemania

estructural de un edificio influye significativamente en su potencial de comportamiento sísmico.

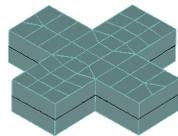
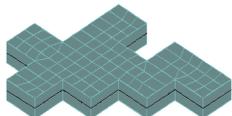
A continuación se describen los defectos observados:

*Plantas asimétricas o desproporcionadas*

Plantas discontinuas que generan o amplifican las torsiones, o que en algunos casos son incapaces de actuar como diafragmas rígidos para repartir las fuerzas horizontales, en la tabla 2.1 se puede apreciar algunas configuraciones en planta no recomendables para edificaciones.

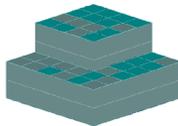
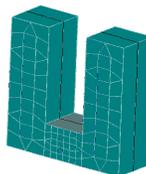
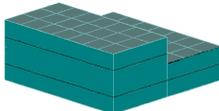
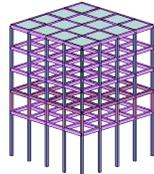
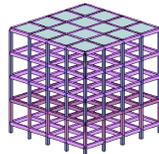
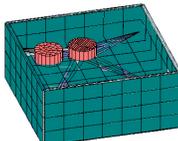
<b>Tabla 2.1 Irregularidades en planta no recomendadas</b>		
Nomenclatura de los defectos	Descripción	Esquema
IP-1	Irregularidad en forma de U	
IP-2	Irregularidad en forma de L	
IP-3	Irregularidad en forma de T	

<sup>3</sup> idéntico referencia 8

continuación tabla 2.1		
Nomenclatura de los defectos	Descripción	Esquema
IP-4	Irregularidad en forma de X	
IP-5	Irregularidad múltiple	

### *Elevaciones asimétricas o discontinuas*

Estas concentran esfuerzos o generan o amplifican torsiones debido a las asimetrías o cambios bruscos en la volumetría y masa de la edificación. En la tabla 2.2 se puede apreciar algunas configuraciones en elevación no recomendables para edificaciones.

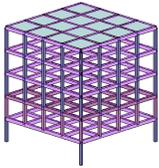
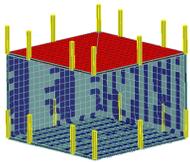
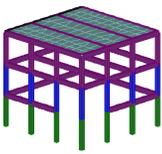
Tabla 2.2 Irregularidades en elevación no recomendadas		
Nomenclatura de los defectos	Descripción	Esquema
IV-1	Variación abrupta en elevación del sistema sismorresistente entre pisos consecutivos	
IV-2	Variación de rigideces en sistemas verticales en cuerpos distintos en edificios	
IV-3	Variación de ubicación de sistemas sismorresistentes entre un nivel y otro	
IV-4	Columnas muy esbeltas en el primer nivel en comparación con los otros niveles	
IV-5	Columnas muy cortas en el primer nivel en comparación con los otros niveles	
IV-6	Variación abrupta de masas en niveles o pisos consecutivos	

### *Falta de redundancia estructural*

La cual limita la incursión gradual de la estructura en el régimen inelástico. Esto hace que algunos elementos que han alcanzado su máxima capacidad resistente, ante la falta de recursos adicionales de resistencia, continúen deformándose inelásticamente y se rotulen, convirtiendo a la estructura en un mecanismo inestable

### *Otros aspectos*

El cambio brusco de sección, o la interrupción de algunos elementos estructurales también originan concentración de esfuerzos, ocasionando daños en la estructura. Estos aspectos se muestran en la tabla 2.3

<b>Tabla 2.3 Esquema de configuraciones geometricas no recomendables</b>		
Nomenclatura de los defectos	Descripción	Esquema
IG-1	Falta de redundancia estructural debido a la poca cantidad de soportes en la base del edificio	
IG-2	Interrupción del sistema sismorresistente en la dirección vertical (columnas)	
IG-3	Interrupción del sistema sismorresistente en la dirección horizontal (vigas)	

### 2.1.2 Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad.

Los daños observados son a causa de:

- Columnas débiles en relación a la capacidad resistente de las vigas, lo que da lugar a la formación de rótulas plásticas en las columnas en vez de ocurrir en las vigas y por consiguiente al inminente colapso de la edificación. Esto puede observarse en la figura 2.1



Fig. 2.1 Esquema de efecto de viga fuerte – columna débil, obsérvese el colapso de la columna sin daño visible en la viga.

- Falta de ductilidad producida por la insuficiente armadura de confinamiento; estribos de columnas con ganchos a  $90^\circ$  que no anclan adecuadamente en el núcleo de concreto; falta de estribos en los nudos, permitiendo la formación de grietas y el pandeo de la armadura de compresión. Esta falta de ductilidad esta asociada a fallas de tipo frágil, incrementando el deterioro y daños de toda la edificación y su posible colapso (ver figura 2.2)

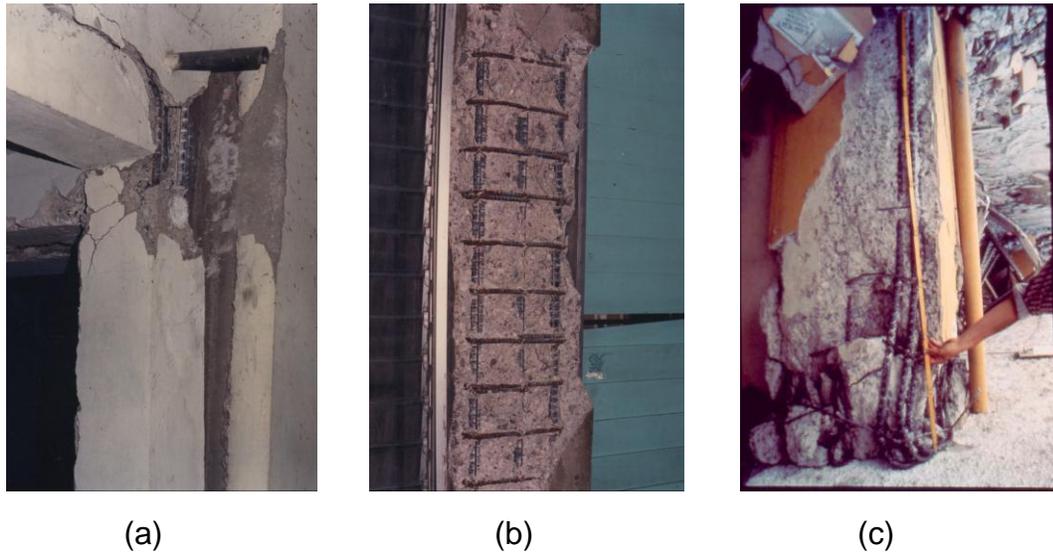


Fig. 2.2 (a) falta de estribos en nudo viga-columna. (b) ganchos en estribos de columnas a 90°. (c) estribos con espaciamientos mayores de los recomendados por las normas.

- Las particiones y cierres de los edificios se construyen de albañilería, la que es generalmente impuesta a la estructura sin tener en cuenta el efecto de modificación de la rigidez de algunos de sus elementos. A continuación se describe los principales tipos de fallas observados por esta causa:

#### *Columna corta*

Que corresponde a la rigidización de una o más columnas que ven limitado su desplazamiento por la albañilería. El aumento de rigidez se produce al disminuir la altura libre de la columna, concentrando mayor fuerza sísmica y haciendo dominante la sollicitación de esfuerzo cortante. La ductilidad también puede afectarse al convertir elementos flexibles a elementos rígidos de falla frágil.



Fig. 2.3 Esquema de efecto de columna corta en una edificación, obsérvese la mampostería que arriestra a la columna, sin estar considerado este efecto en el diseño. Foto cortesía Dr. Ing. E. Portillo

*Efecto por excentricidad entre centro de rigidez y de masa o efecto de “Edificio de esquina”*

Muchos edificios ubicados en esquinas tienen muros de albañilería en los dos límites de propiedad interiores, mientras que en las fachadas son abiertos. Esto aleja el centro de rigidez del centro de masa del edificio, originando grandes excentricidades y momentos torsores; normalmente la mampostería resiste el incremento de fuerza sísmica produciéndose daños en las fachadas debido al giro de la planta. Aunque también puede producir en las columnas esquineras deformaciones que causarían el colapso del edificio.

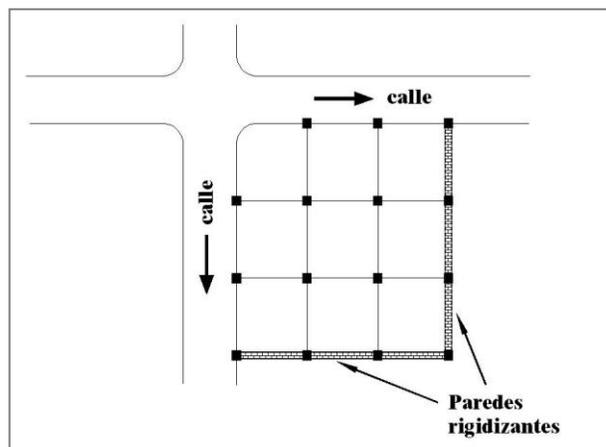
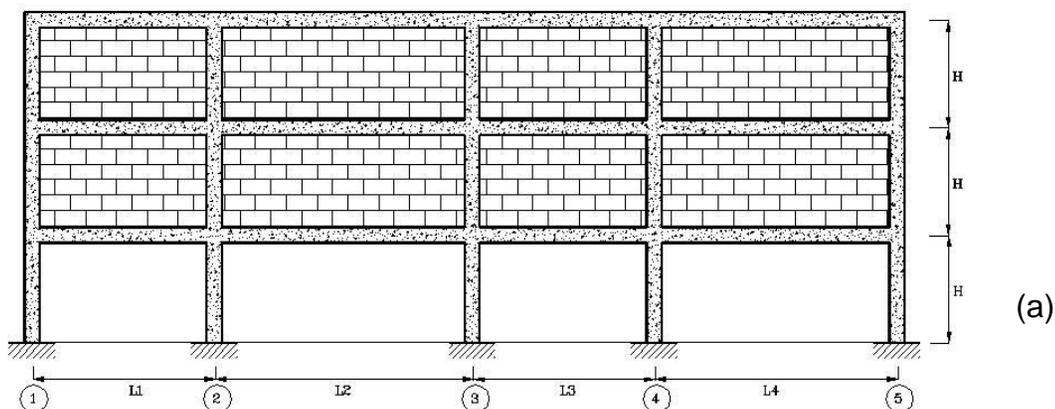


Fig. 2.4 Esquema de efecto de “edificio de esquina” las paredes de mampostería o concreto proporcionan mayor rigidez a la estructura, muchas veces, sin estar considerado este efecto en el diseño.

*Efecto de planta flexible o “Soft-story”:*

Ocurre cuando en un edificio, en que los marcos están llenos de albañilería, existe un nivel que no la tiene (muchas veces por razones arquitectónicas); esto generalmente se presenta en el primer piso. El resultado es que los pisos superiores son rigidizados por los cerramientos de mampostería y toda la deformación y disipación de la energía ocurre en el piso blando, produciéndose daño en los elementos estructurales de ese nivel. Este piso inferior crea estructuralmente un nivel mucho más flexible que el resto y por lo tanto con mucha menor resistencia a cargas horizontales, acentuando los efectos de segundo orden ( $P-\Delta$ )



(b)

Fig. 2.5 Efecto de planta flexible o “Softstory” en una edificación. (a) Esquema de disposición de muros de mampostería para crear el efecto de planta flexible ó softstory. (b) Ejemplo del efecto de planta flexible en un edificio. Foto antiguo Edificio de Ciencias Económicas de la UES, cortesía Dr. Ing. E. Portillo

### *Cambio de rigidez por deterioro*

Inicialmente un edificio puede tener la albañilería dispuesta simétricamente; sin embargo, al dañarse un muro desaparece esta simetría, generándose torsiones y daños.

### **2.1.3 Daños por defectos de diseño**

En cuanto a los defectos de diseño, se ha observado en sismos pasados que los siguientes errores se han presentado de manera repetida<sup>4</sup>:

- En edificios antiguos, el empleo de armadura de refuerzo lisa en columnas (ver figura 2.3)
- Estribos de columnas deficientes en diámetro y espaciamiento con ganchos a 90° (ver figura 2.2c)
- Falta de estribos en los nudos viga-columna (ver figura 2.2a)
- Fallas de los anclajes o traslapes de armaduras, particularmente en columnas (ver figura 2.3)

## **2.2 PRINCIPALES SISTEMAS ESTRUCTURALES UTILIZADOS EN EL AMSS**

El AMSS esta regido, en cuanto a diseño sísmico de edificaciones se refiere, por la Norma Técnica de Diseño por Sismo (NTDS), la cual contempla entre los sistemas estructurales utilizados para edificios los siguientes tipos:

---

<sup>4</sup> Idéntico a referencia 9

**Sistema A.** Estructura formada por marcos no arriostrados, los cuales resisten primordialmente por acción flexionante de sus miembros, la totalidad de las cargas gravitacionales y laterales

**Sistema B.** Estructura formada por marcos no arriostrados que soportan esencialmente las cargas gravitacionales y por paredes enmarcadas o marcos arriostrados que resisten la totalidad de las cargas laterales.

**Sistema C.** Estructura formada por marcos no arriostrados y por paredes enmarcadas o marcos arriostrados. Todos los componentes de la estructura resisten la totalidad de las cargas verticales y horizontales. Los componentes se diseñan para resistir las fuerzas laterales, en proporción a sus rigideces relativas y acuerdo a un análisis de interacción. En todo caso, los marcos no arriostrados deben diseñarse para resistir al menos el 25% de las fuerzas laterales calculadas para la estructura.

**Sistema D.** Estructura en la cual la resistencia a cargas gravitacionales es proporcionada esencialmente por paredes o marcos arriostrados que resisten también la totalidad de las cargas laterales.

**Sistema E.** Estructura cuyos elementos resistentes a cargas laterales en la dirección de análisis, sean aislados o deban considerarse como tal.

**Otros sistemas.** En estos casos debe demostrarse mediante datos técnicos y ensayos que establezcan las características dinámicas, que su resistencia a fuerzas laterales y capacidad de absorción de energía son equivalentes a las de alguno de los sistemas aquí definidos.

De estos sistemas, los más utilizados en edificaciones de 2 niveles en adelante son los tipos A y C, en los apartados siguientes se presenta un análisis de los daños que pueden ocurrir en los elementos que los componen.

Los elementos que componen el tipo de sistema estructural tipo A, son: columnas, vigas, nudos viga-columna, losas y paredes, estas últimas no son parte integral del sistema sismorresistente, pero el análisis de sus daños puede ser un indicativo del comportamiento del resto del sistema (por ejemplo, deficiencias en las juntas de separación entre paredes y marcos). Para el sistema C, los elementos que lo componen son los mismos que el sistema A, con la diferencia de que las paredes sí son parte integral del sistema sismorresistente. A continuación se presenta el análisis detallado de los daños en estos elementos.

## **2.3 DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

### **2.3.1 DAÑOS EN COLUMNAS**

Los daños en columnas son principalmente de dos tipos<sup>5</sup>:

- Daños debido a flexión cíclica y cortante pequeño, bajo carga de compresión axial grande.
- Daños debido a cortante cíclico y flexión pequeña, bajo carga de compresión axial grande.

---

<sup>5</sup> - "Earthquake Resistant Concrete Structures"  
George G. Penelis and Andreas J. Kappos. First edition 1997

El primer tipo de daño (flexión cíclica) se caracteriza por la falla en la cabeza y el pie de la columna (figuras 2.6, 2.7). Esto ocurre en las columnas de moderada a alta relación de esbeltez, esto es:

$$\alpha = \frac{M}{Vh} = \frac{L}{2h} > 3.5$$

en donde:

$\alpha$  = Relación de esbeltez

$M$  = Momento flector máximo en la columna

$V$  = Cortante en la cabeza o pie de la columna

$L$  = Altura efectiva de la columna

$h$  = Ancho de la columna en la dirección de análisis

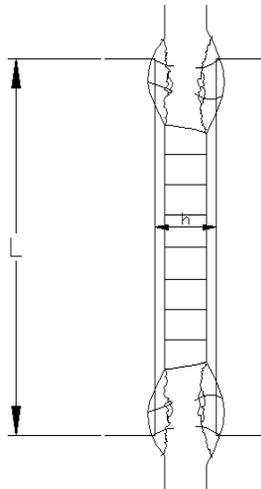


FIG 2.6 Esquema de Daño en una columna debido a flexión cíclica y cortante pequeño



Fig. 2.7 Ejemplo de daño en columna debido a flexión cíclica y cortante pequeño. (a) falla al pie de la columna. (b) falla en la cabeza de la columna. Fotos cortesía de Dr. Ing. E. Portillo

El elevado momento flector en esos puntos combinado con la fuerza axial, conducen al aplastamiento de la zona de compresión del concreto sucesivamente en ambas caras de la columna. El pequeño número de anclajes en esas áreas aumenta la vulnerabilidad a este tipo de daño.

El aplastamiento de la zona de compresión es manifestado primero por el estallido del recubrimiento del acero de refuerzo. Subsecuentemente el concreto se expande y se aplasta. Este fenómeno es usualmente acompañado por el desanclaje de las barras de compresión y el pandeo de los estribos. La fractura de los anclajes y la desintegración del concreto conducen al acortamiento de la columna bajo la acción de la carga axial.

Debido a esto, este tipo de daño es muy serio, ya que la columna no solo pierde su rigidez si no también su habilidad para transmitir las cargas verticales<sup>6</sup>. Como

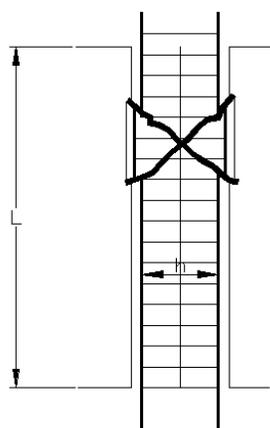
---

<sup>6</sup> “Diseño de estructuras resistentes a sismos”. Dowrick D. J. Editorial Limusa SA de CV, 1984

resultado existe una redistribución de esfuerzos en la estructura, desde que la columna se ha acortado debido a la desintegración del concreto en las áreas mencionadas anteriormente. Entre las razones principales para este tipo de falla se deben considerar la baja calidad del concreto, el inadecuado número de anclajes en las áreas críticas (zonas con momentos de gran magnitud), la presencia de vigas fuertes que conducen a que las columnas fallen primero y finalmente, la fuerte excitación sísmica que induce a muchos ciclos de carga en el rango inelástico.

El segundo tipo de daño es del tipo de cortante y es manifestado en grietas en forma de X en la zona más débil de la columna (Fig. 2.8) esto ocurre en columnas de moderada a baja relación de esbeltez, esto es:

$$\alpha = \frac{M}{Vh} = \frac{L}{2h} < 3.5$$



(a)



(b)

Fig. 2.8 Falla en columna debido a cortante cíclico y flexión pequeña. (a) esquema de falla por cortante cíclico y flexión pequeña. (b) ejemplo de falla en columna debido al efecto antes mencionado, obsérvese la mampostería que arriostra a la columna.

La última forma de este tipo de daños es la falla explosiva de columnas cortas (Fig. 2.9), lo cual conduce usualmente al colapso del edificio. La principal razón para este tipo de daño es que la capacidad a flexión de columnas con moderado a bajo relación de esbeltez es mayor que la capacidad a cortante, sin embargo la acción principal es la de cortante, como resultado de esto la falla por cortante gobierna, sin estar considerado en el diseño.

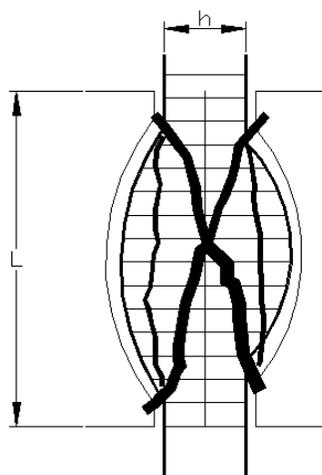


FIG 2.9 Falla por explosión en una columna corta

La frecuencia de este tipo de daño es más baja que la de la falla en la cabeza y el pie de la columna. Esto ocurre especialmente en columnas del piso más bajo, en donde las dimensiones de las secciones de las columnas son mayores y la relación de esbeltez es baja. Esto ocurre también en columnas que no fueron diseñadas como columnas cortas y que han sido acortadas debido a la construcción adyacente de estructuras que no fueron consideradas en el diseño (ver figura 2.3)

Finalmente algunas veces en el caso de los marcos con mampostería incrustada en uno de los lados (Fig. 2.10), la falla de la mampostería es seguida por la falla por cortante de las columnas adyacentes. En conclusión, tiene que enfatizarse que los daños en columnas son muy peligrosos para la estructura, porque esto altera o aun destruye los elementos verticales del sistema estructural. Así cuando daños de este tipo sean detectados, medios temporales de soporte deben ser provistos inmediatamente.

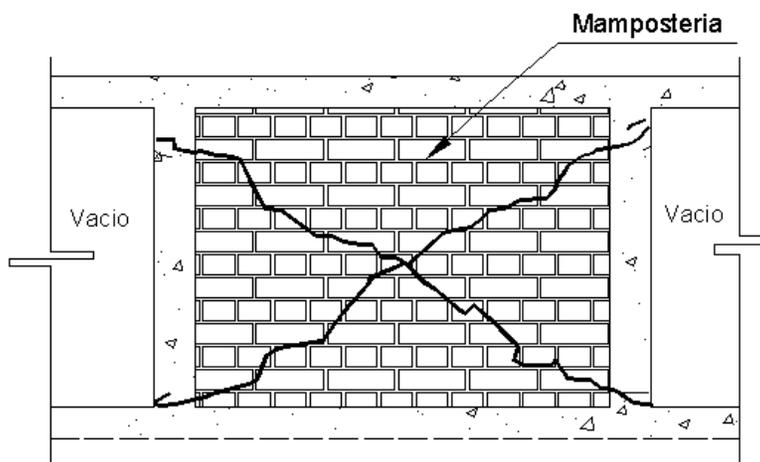


FIG 2.10 Daño en columnas en contacto con mampostería solamente en uno de sus lados

### 2.3.2 DAÑOS EN VIGAS

Los daños que ocurren en vigas de concreto reforzado durante un sismo se pueden clasificar de la siguiente manera<sup>7</sup>:

<sup>7</sup> Idéntico a referencia 11

- Grietas ortogonales al eje axial de viga, en la zona de tensión del claro.
- Fallas por cortante cerca de los apoyos.
- Grietas por flexión cercanas a los apoyos en las caras superior e inferior de la viga.
- Fallas por cortante o flexión en los puntos donde vigas secundarias o columnas cortas son apoyadas en la viga.
- Grietas por cortante en forma de X en vigas cortas que están conectadas a paredes de corte.

Los daños en las vigas, aunque afortunadamente, no ponen en riesgo la seguridad de la estructura, son los más comunes daños en edificios de C/R. Las grietas en la zona de tensión del claro de la viga, constituyen un tipo de daño común. Este tipo de daño (fig. 2.11) no puede ser explicado usando evidencia analítica, dado el hecho de que la acción de las fuerzas sísmicas no incrementan los momentos flectores en el claro. Sin embargo la componente vertical de la acción sísmica, debida a su carácter cíclico, hace simplemente visible las micro-grietas que son debidos a la flexión en la zona de tensión, y así crea la impresión de daño sísmico.

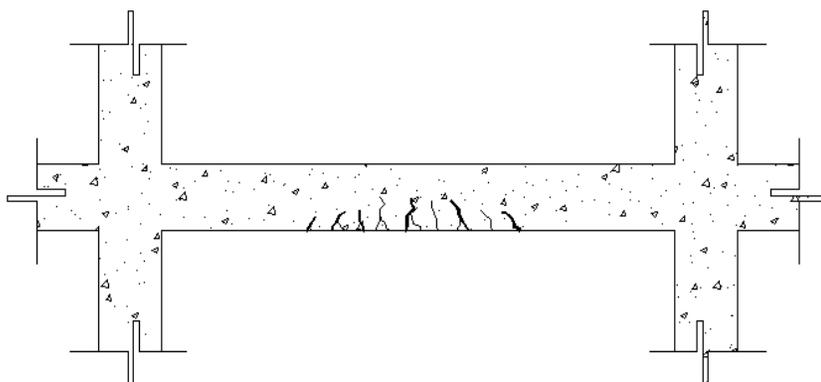


FIG 2.11 Grietas en flexión en claro de viga

Esta es la razón de porque la gran mayoría de los casos de vigas con este tipo de daño no pone en riesgo la estabilidad total de la estructura. Se entiende también que la alta frecuencia de este tipo de daño, en la mayoría de los casos es apenas una manifestación de grietas normales ya existentes, más que daños debido a sismos.

Las fallas por flexión y cortante cercanas a los apoyos (fig 2.12) es el segundo tipo de daño más frecuente en vigas. Indudablemente constituye un tipo más grave de daño que el mencionado anteriormente, dado su carácter frágil. Sin embargo solo en muy pocos casos hacen que se arriesgue la estabilidad total de la estructura<sup>8</sup>.

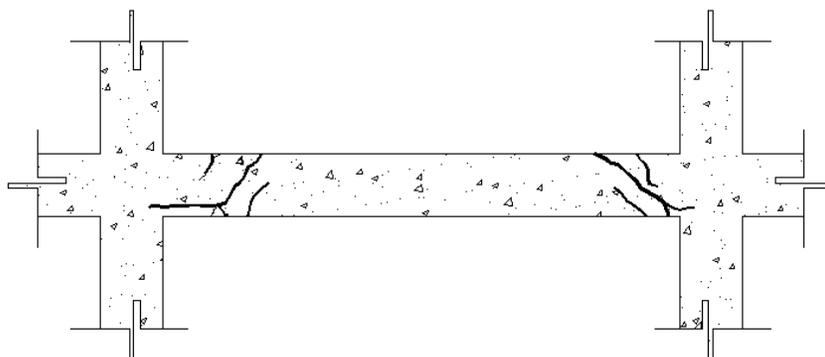


FIG 2.12 Grietas cercanas a los apoyos de la viga

Las grietas por flexión en la cara superior e inferior de la viga cercanas a los apoyos (Fig. 2.13) puede ser explicado si el fenómeno sísmico es aproximado estáticamente con fuerzas horizontales. Del punto de vista más frecuente, este tipo de daño es más raro que el tipo de cortante. La mayoría de veces el agrietamiento de la

---

<sup>8</sup> Idéntico a referencia 11

cara inferior es debido al mal anclaje del refuerzo inferior en los apoyos, y en tal caso una o dos grietas anchas se forman cerca de los apoyos.

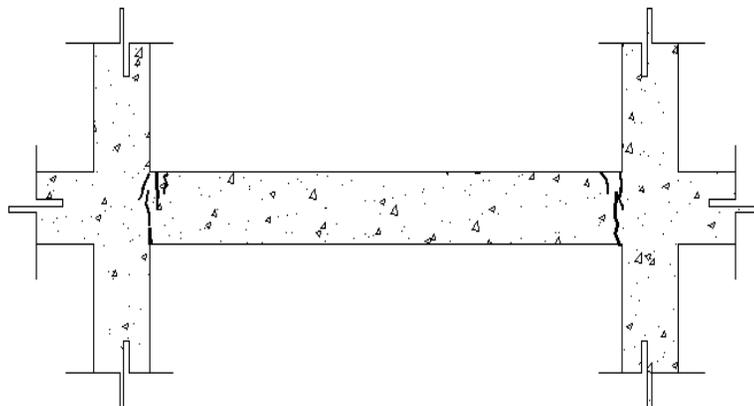


FIG 2.13 Grietas en la cara superior e inferior cercanas a los apoyos de la viga

La falla por cortante o flexión en los puntos en donde las vigas secundarias o columnas cortas son apoyadas (Fig. 2.14) aparecen con bastante frecuencia. Esto es debido a la componente vertical del sismo la cual amplifica las cargas concentradas.

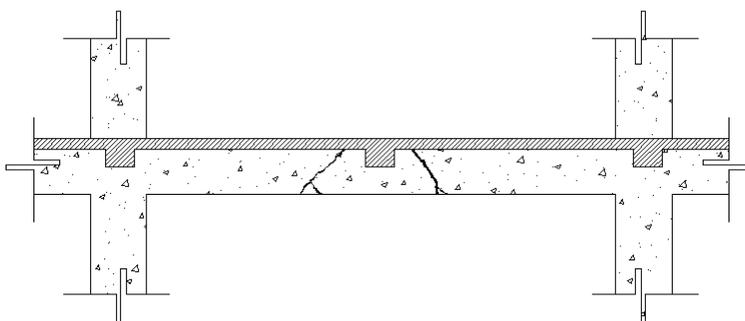


FIG 2.14 Grietas por cortante en las proximidades de soportes

Las grietas en forma de X en vigas cortas unidas a paredes de corte aparecen bastante a menudo. Esta es una falla por cortante, similar a las que ocurren en las columnas cortas (Fig. 2.9) pero no son peligrosas para la estabilidad del edificio<sup>9</sup>.

### 2.3.3 DAÑOS EN UNIÓN VIGA-COLUMNA.

El daño en las uniones vigas-columnas, aun en etapas prematuras de agrietamiento, debe ser considerado como peligroso para la estructura y debe ser tratado acordeamente. Los daños de este tipo reducen la rigidez del elemento estructural y conducen a incontrolables redistribuciones de los efectos de las cargas. Las fallas más comunes en uniones vigas-columnas (unión de esquina, unión exterior de estructuras de múltiples pisos y uniones interiores) son presentadas en las figs. 2.15 a 2.17

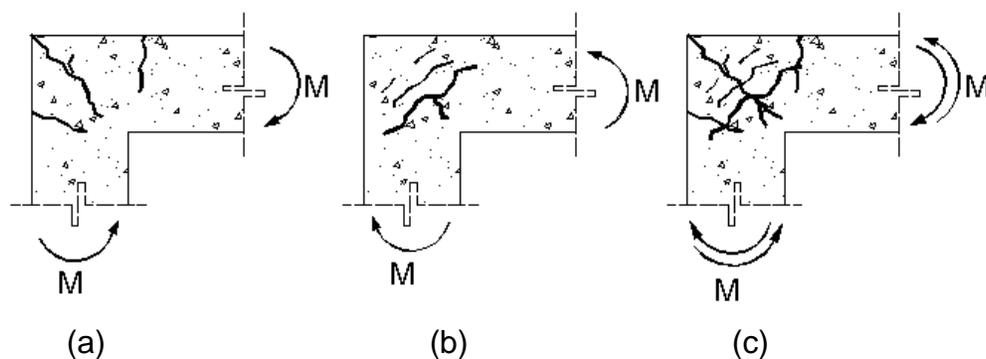


FIG 2.15 fallas en nudos viga-columna en esquina: (a) momentos que sujetan a la fibra interior a compresión; (b) momentos que sujetan a la fibra interior a tensión; (c) carga por momento cíclico.

<sup>9</sup> Idéntico a referencia 11

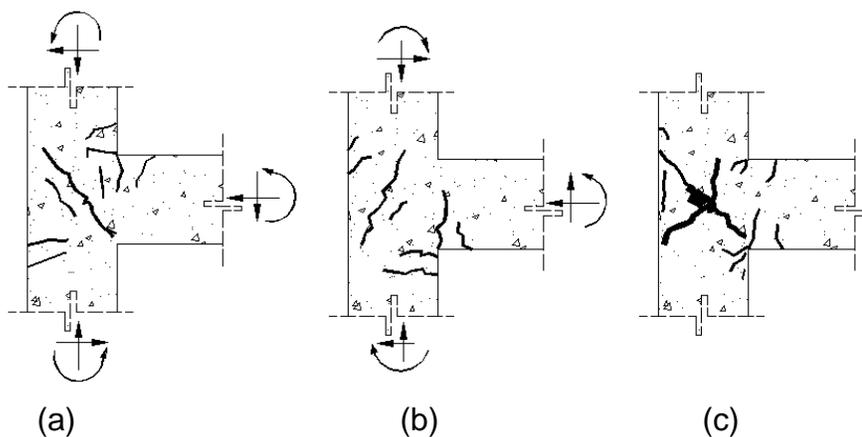


FIG 2.16 fallas en nudos exteriores viga-columna de un edificio de varios niveles: (a) momentos que inducen compresión en la fibra superior de la viga; (b) momentos que inducen compresión a la fibra inferior de la fibra; (c) carga por momento cíclico.

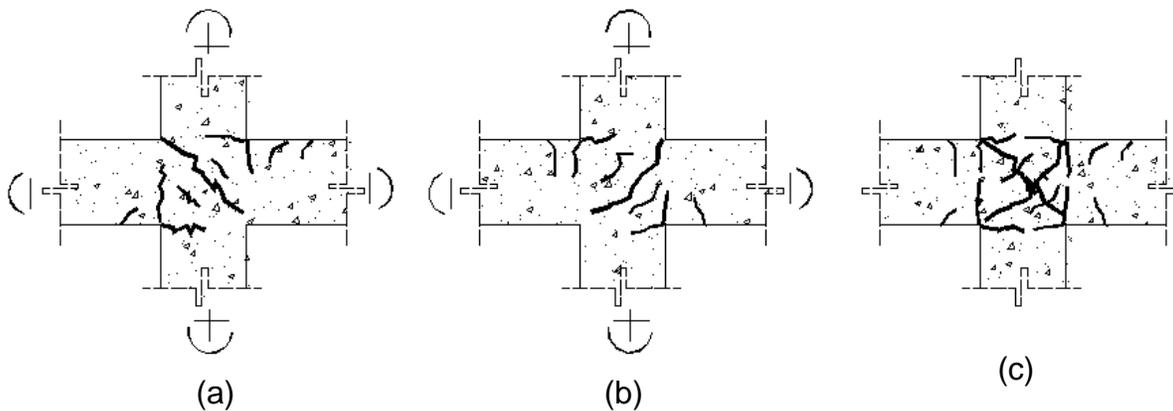


FIG 2.17 fallas en nudos interiores de viga-columna: (a) acción sísmica en la dirección de derecha a izquierda; (b) acción sísmica en la dirección de izquierda a derecha; (c) acción cíclica por sismo.

#### 2.3.4 DAÑOS EN LOSAS.

Los más comunes tipos de daños que ocurren en losas son los siguientes<sup>10</sup>:

- Grietas paralelas o transversales al refuerzo en puntos aleatorios.

<sup>10</sup> "Earthquake Resistant Concrete Structures". George G. Penelis and Andreas J. Kappos. First edition 1997

- Grietas en secciones críticas a lo largo del claro o a lo largo de los voladizos, transversales al refuerzo principal.
- Grietas ubicadas en discontinuidades de piso, como las esquinas de grandes aberturas que acomodan escaleras internas, tragaluces, etc.
- Grietas en áreas de concentración de grandes efectos de cargas sísmicas, particularmente en las zonas de conexión de las losas a paredes de cortante o a columnas.

Con la excepción del último tipo, los daños en losas generalmente pueden no ser considerados como peligrosos para la estabilidad de la estructura. Sin embargo, esto crea serios problemas estéticos y funcionales, que deben ser reparados. Además el apareamiento de tales daños conducen a la reducción de la resistencia disponible, la rigidez y la capacidad de disipación de energía de la estructura en caso de futuros sismos, siendo esta una razón adicional para su reparación.

El primer tipo de daño, mayoría de las veces, es debido al ensanchamiento de las ya existentes microgrietas que se forman por acciones flexionantes o cambios de temperatura las cuales llegan a ser visibles después de la excitación sísmica.

El segundo y tercer tipo de daño son debidos típicamente a la componente vertical de la acción sísmica. (fig. 2.18)

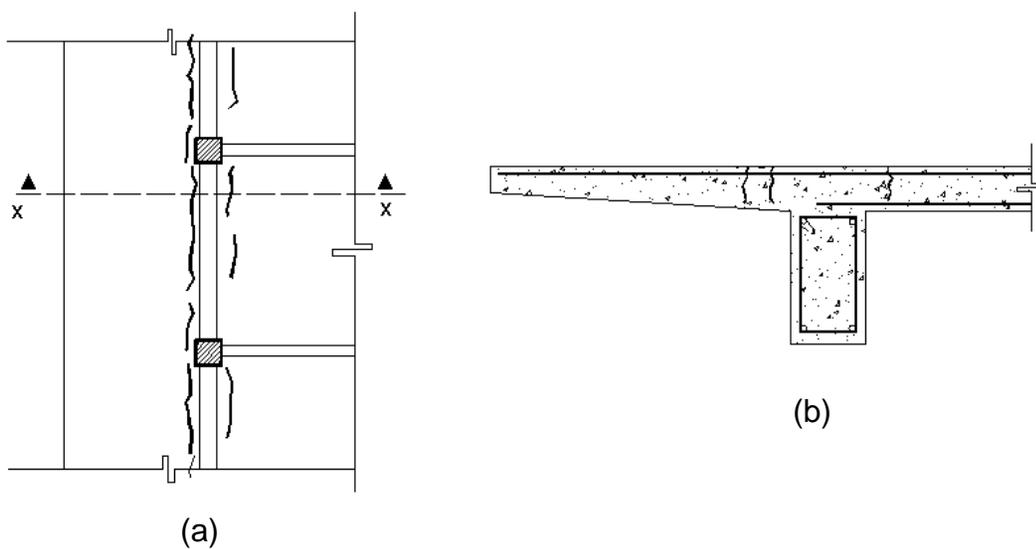


FIG 2.18 Daños en losas en la sección crítica en el voladizo: (a) vista de planta de la losa; (b) sección X-X

El cuarto tipo de daño es usualmente relacionado con la falla por cortante punzonante, agravada por la flexión cíclica causada por el sismo (Fig. 2.19).

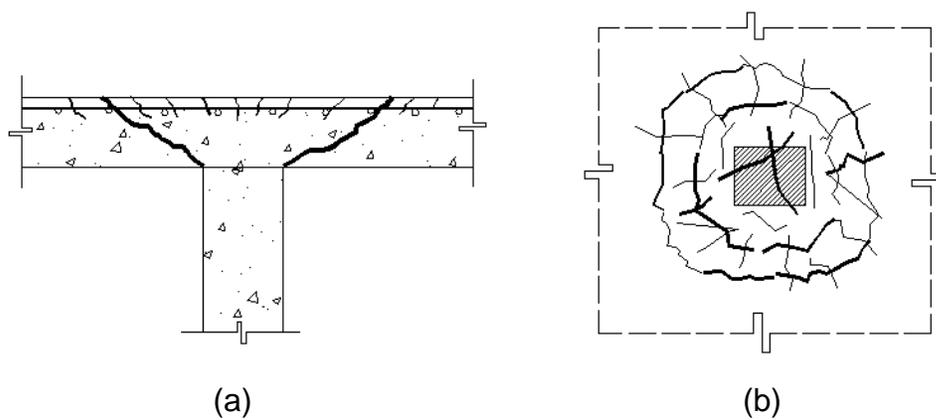


FIG 2.19 Daños en losas en la conexión con columna: (a) sección; (b) vista superior de la losa

### 2.3.5 DAÑOS EN PAREDES DE CONCRETO REFORZADO (C/R).

Los daños causados por sismos, en paredes de C/R pueden ser de los siguientes tipos<sup>11</sup>:

- *Grietas por cortante en forma de X.*
- *Deslizamiento en las juntas de construcción.*
- *Daños de carácter flexionante (grietas horizontales y aplastamiento de la zona de compresión)*

Uno de los más frecuentes tipos de daños es el aparecimiento de grietas en las juntas de construcción (Fig. 2.20). Este daño es debido principalmente a que el concreto viejo no es adecuadamente unido al concreto fresco. La mayoría de los códigos sísmicos en efecto, actualmente requieren que ese cuidado extra debe ser tomado cuándo el trabajo de construcción sea discontinuado, esto en forma ordenada para asegurar la apropiada unión del concreto (superficie áspera, limpieza, humedad, aplicación de aditivos en el concreto, etc).

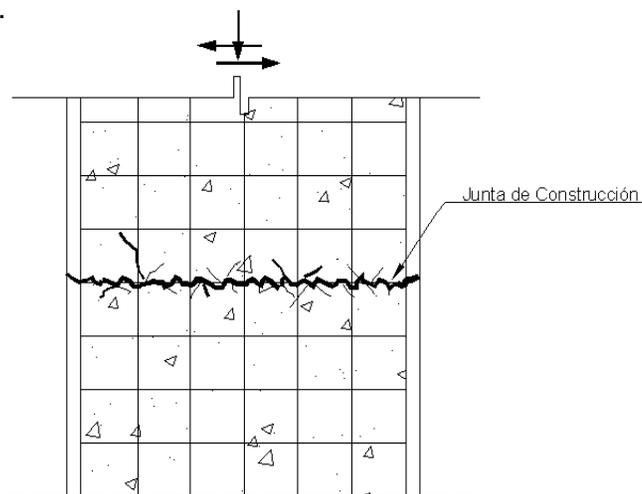


FIG 2.20 pared de cortante con daños en iunta de construcción

<sup>11</sup> Idéntico a referencia 11

En adición la colocación de conectores hasta el refuerzo es también requerido en forma de dovelas. La introducción de estos requerimientos es el resultado de la elevada frecuencia de este tipo de daños. Sin embargo, se tiene que mencionar que este tipo del daño no representa una amenaza a la estabilidad del edificio, porque con el arreglo horizontal de las grietas, la pared puede todavía transmitir las cargas verticales. También desde el punto de vista de la rigidez, este tipo de daño tiene solo un pequeño efecto en el sistema estructural completo.

El siguiente tipo de daño es el aparecimiento de grietas en forma de X (Fig. 2.21). Este es un tipo de falla quebradiza por cortante. Debido al arreglo de las grietas, bajo la acción de cargas verticales, el triangulo isósceles que se forma en los dos lados tiende a separarse de la estructura y por lo tanto, esto causa el colapso.

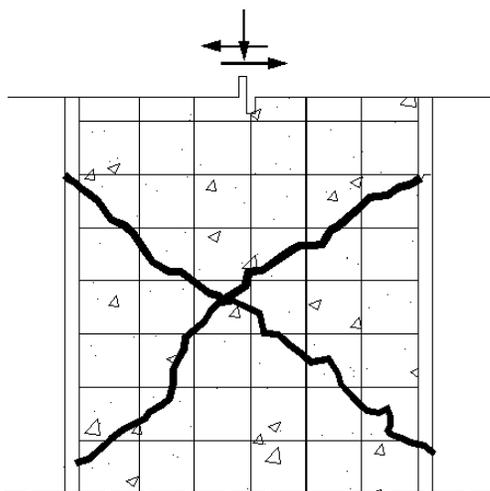


FIG 2.21 Daños en forma de X en Pared de cortante

Para proteger la estructura de este tipo de falla, todos los códigos actuales, requieren la formación de una columna a cada lado de la pared, la cual llevará las cargas verticales después de la falla por cortante de la red. Estas columnas pueden ser

más gruesas que la pared en tal caso ser visibles o también pueden ser incorporadas a ella.

Los tipos de daños por flexión ocurren muy raramente<sup>12</sup> (Fig. 2.22), debido al hecho que los momentos flectores que se desarrollan en la base de la pared son mucho más pequeños que los calculados para su diseño, esto es porque el pie gira como el suelo deformado durante un sismo. Por otro lado, esta deformación del suelo no altera mucho la fuerza cortante que es transmitida por la pared, y como resultado la falla por cortante gobierna.

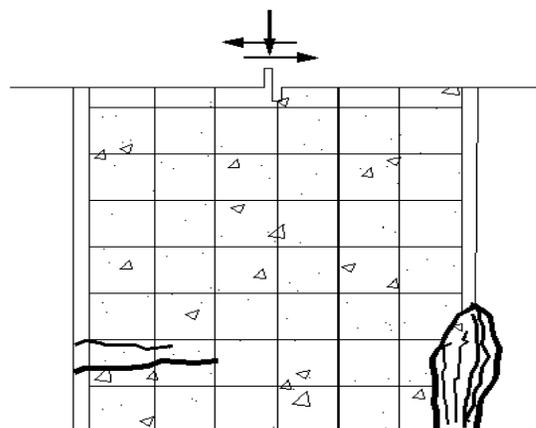


FIG 2.22 Daños en pared de corte debido a flexión y compresión

## 2.4 CATALOGO DE TIPIFICACION DE DAÑOS

Según lo expuesto en los numerales anteriores se pueden catalogar los daños típicos en la siguiente tabla, la cual muestra la relación entre el tipo de daño, el elemento en el que se presenta, las características del daño, sus posibles causas, así como un esquema del daño en consideración.

<sup>12</sup> "Earthquake Resistant Concrete Structures". George G. Penelis and Andreas J. Kappos. First edition 1997

Para ello se han dividido los daños de la siguiente manera (ver tabla 2.4):

- DT-1 Pérdida de recubrimiento de concreto en el refuerzo
- DT-2 Grietas en forma de X
- DT-3 Grietas por cortante
- DT-4 Grietas en juntas de construcción
- DT-5 Grietas por cortante en forma de X
- DT-6 Daños de carácter flexionante
- DT-7 Falla por tensión y compresión diagonal
- DT-8 Fallas por deflexión de la viga de apoyo
- DT-9 Falla corrediza de la pared
- DT-10 Fallas por aberturas de paredes
- DT-11 Grietas por flexión en el centro de vigas
- DT-12 Grietas diagonales debidas a cortante
- DT-13 Grietas por flexión en extremos de vigas
- DT-14 Fallas por cortante o flexión en unión con vigas secundarias
- DT-15 Grietas por cortante en forma de X en vigas cortas
- DT-16 Falla en nudo viga-columna en esquina
- DT-17 Falla en nudo exterior viga-columna
- DT-18 Falla en nudo inferior viga-columna
- DT-19 Grietas en losas alo largo del claro
- DT-20 Grietas en zonas de conexión losa-columnas

Los tipos de estructuras para las que se elaboró la tipificación de daños son aquellas en las cuales el sistema sismorresistente está compuesto a base de marcos de concreto reforzado (Marcos RC), paredes de carga que resisten la totalidad de las fuerzas laterales, así como una combinación de estos (sistema dual). Entre las causas que dan lugar a los daños típicos planteados se encuentran las expuestas en los capítulos anteriores, de las que se pueden mencionar:

- Daños por configuración estructural inadecuada
- Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad..
- Fallas por defectos de diseño

Para los criterios preventivos se estudiaron las normas de diseño estructural vigentes en nuestro país, esto es la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Norma Técnica para Diseño y Construcción de Mampostería y la Norma Técnica para Diseño por Sismo, todas parte del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones.

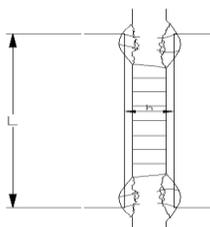
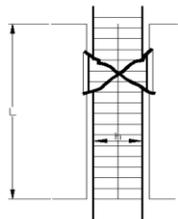
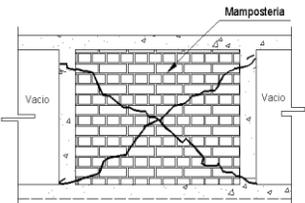
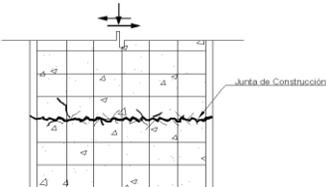
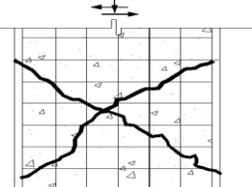
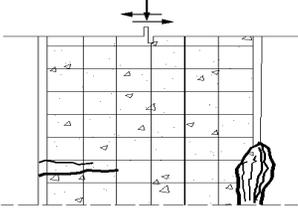
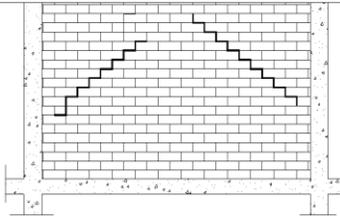
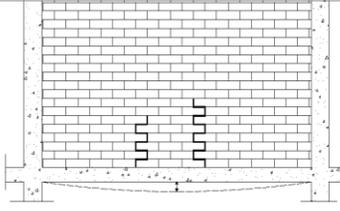
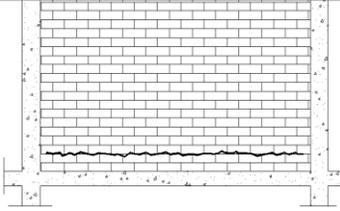
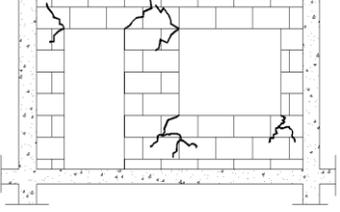
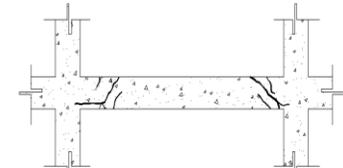
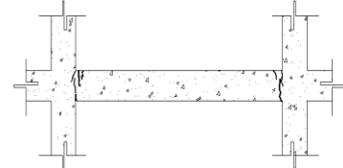
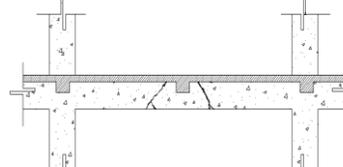
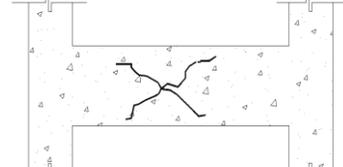
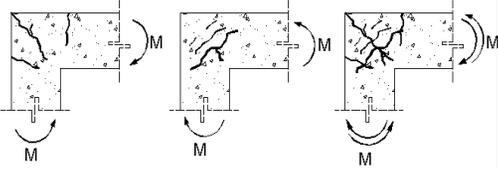
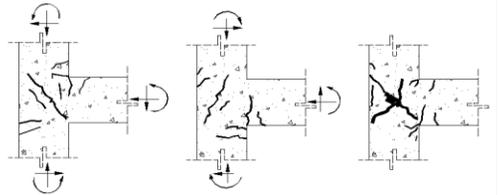
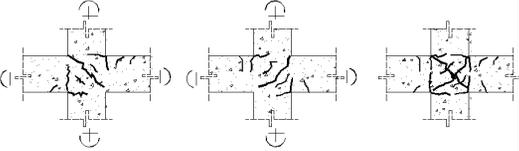
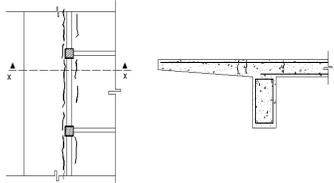
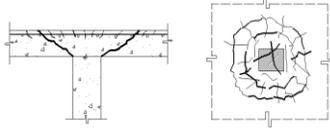
SIMBOLOGÍA	DAÑO TIPICO	CARACTERÍSTICAS	ELEMENTO ESTRUCTURAL	ZONA	CAUSA	ESQUEMA
DT-1	Perdida de recubrimiento de concreto en el refuerzo	Aplastamiento de zona de compresión, desanclaje de barras de compresión	COLUMNA	Al pie y en la cabeza	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad así como defectos constructivos	
DT-2	Grietas en forma de X	Explosión del recubrimiento de concreto en zona débil de la columna (parte central)	COLUMNA	Media	Plantas asimétricas o desproporcionadas; Albañilería incorporada; Efectos no considerados de la topografía; Efecto de columna corta; efecto de planta flexible	
DT-3	Grietas por cortante	Grietas subsecuentes de las fallas por cortante en la mampostería	COLUMNA	Al pie y en la cabeza	Albañilería incorporada; Defectos constructivos	
DT-4	Grietas en juntas de construcción	Grietas o fisuras horizontales	PAREDES DE C/R	Variable	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad; Defectos constructivos	
DT-5	Grietas por cortante en forma de X	Grietas en forma de X formando triángulos isósceles en los lados de las paredes	PAREDES DE C/R	Parte central	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad; Efecto de edificio de esquina	

Tabla 2.4: Catálogo de tipificación de daños

SIMBOLOGÍA	DAÑO TIPICO	CARACTERISTICAS	ELEMENTO ESTRUCTURAL	ZONA	CAUSA	ESQUEMA
DT-6	Daños de carácter flexionante	Grietas horizontales en la parte inferior de la pared y grietas verticales en las esquinas inferiores	PAREDES DE C/R	Parte inferior	Efecto de excentricidad entre centro de rigidez y centro de masa	
DT-7	Falla por tensión y compresión diagonal	Grietas diagonales a lo largo de las juntas de unión de la mampostería	PAREDES DE MAMPOSTERIA	Costados	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad; Defectos constructivos	
DT-8	Falla por deflexión de la viga de apoyo	Grietas verticales a lo largo de las juntas de unión de la mampostería	PAREDES DE MAMPOSTERIA	Parte inferior	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad; Defectos constructivos	
DT-9	Falla corrediza de la pared	Grietas horizontales a lo largo de las juntas de unión de la mampostería	PAREDES DE MAMPOSTERIA	Parte inferior	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad; Defectos constructivos	
DT-10	Fallas por aberturas de paredes	Grietas en forma aleatoria en los extremos de las aberturas (paredes, ventanas, etc)	PAREDES DE MAMPOSTERIA	Extremos de las aberturas	Daños por defectos de resistencia, rigidez y ductilidad; Defectos constructivos	

SIMBOLOGÍA	DAÑO TIPICO	CARACTERISTICAS	ELEMENTO ESTRUCTURAL	ZONA	CAUSA	ESQUEMA
DT-11	Grietas por flexión	Grietas verticales producidas por la flexión en la zona de tensión	VIGA	Centro	Incremento de grietas existentes debido a la componente vertical de la acción sísmica	
DT-12	Grietas diagonales debidas a cortante	Grietas diagonales con un ángulo de 45° aproximadamente a una distancia al rostro igual al peralte	VIGA	Extremos	Defectos constructivos, defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-13	Grietas por flexión	Grietas verticales anchas al rostro de la columna	VIGA	Extremos	Defectos constructivos, defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-14	Fallas por cortante o flexión en unión con vigas secundarias o columnas cortas	Grietas diagonales con un ángulo de 45° o verticales cercanas al punto de unión con vigas secundarias o columnas	VIGA	Zonas de apoyo (variable)	Defectos constructivos, defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-15	Grietas por cortante en forma de X en vigas cortas	Grietas diagonales con un ángulo de 45° en la parte central de la viga	VIGA	Parte Central	Defectos constructivos, defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	

SIMBOLOGÍA	DAÑO TIPICO	CARACTERISTICAS	ELEMENTO ESTRUCTURAL	ZONA	CAUSA	ESQUEMA
DT-16	Falla en nudo viga columna en esquina	Grietas diagonales atravesando el nudo en forma aleatoria; Desprendimiento o explosión de concreto en el nudo	NUDO VIGA-COLUMNA	Totalidad	Defectos constructivos; Defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-17	Falla en nudo exterior viga columna	Grietas diagonales atravesando el nudo en forma aleatoria; Desprendimiento o explosión de concreto en el nudo	NUDO VIGA-COLUMNA	Totalidad	Defectos constructivos; Defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-18	Falla en nudo interior viga columna	Grietas diagonales atravesando el nudo en forma aleatoria; Desprendimiento o explosión de concreto en el nudo	NUDO VIGA-COLUMNA	Totalidad	Defectos constructivos; Defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-19	Grietas a lo largo del claro	Grietas verticales en secciones críticas y que son transversales al refuerzo principal	LOSA	Cercana a la unión viga losa así como en voladizos	Defectos constructivos; Defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	
DT-20	Grietas en zonas de conexión losa columnas	Grietas en forma circular (que atraviesan el espesor de la losa) al rededor de la zona en contacto.	LOSA	Alrededor de la zona en contacto de la losa con la columna	Defectos constructivos; Defectos de resistencia, rigidez y ductilidad	

## 2.5 Criterios preventivos de daños estructurales según Normas Salvadoreñas

Identificando los diferentes tipos de daños a los que están expuestas las estructuras ante la acción sísmica, se hace necesario conocer criterios preventivos en los cuales se pueda auxiliar el ingeniero civil a manera de no incidir en los distintos errores que conllevan a dichos daños. En tal sentido se presenta un resumen de las disposiciones contenidas en las Normas que rigen el comportamiento de las construcciones en nuestro país<sup>13</sup>; estas son, la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Norma Técnica para Diseño y Construcción de Mampostería y la Norma Técnica para Diseño por Sismo, todas parte del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones.

### Disposiciones Generales

- Para estructuras de concreto en las que su sistema sismorresistente sea basado en marcos estructurales dúctiles o paredes diseñadas para resistir fuerzas inducidas por sismos, se utilizará concreto que posea una resistencia mínima a la compresión de 210 Kg/m<sup>2</sup>. (sección 3.2.7<sup>14</sup>)
- Las juntas de colado deben de estar situadas en donde causen menos debilitamiento de la estructura. Así como se hace necesario proveer un refuerzo para la transferencia de cortante en la ubicación de la junta de colado siempre que las condiciones lo ameriten. (Secciones 4.4 y 9.7)

---

<sup>13</sup> El Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones esta compuesto por nueve Normas Técnicas, las presentadas en este trabajo son, a criterio de los autores, las más significativas debido a que son las que abarcan los elementos estructurales en estudio.

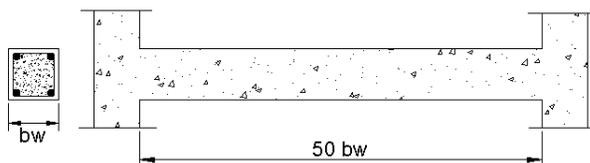
<sup>14</sup> Las secciones a las que se hace referencia corresponden a las de las Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, caso contrario se indica la norma a la que pertenece dicho comentario

- La rigidez flexible de entrepiso puede evitarse, haciendo que este sea mayor que el 70% de la rigidez del entrepiso inmediato superior o mayor del 80% del promedio de las rigideces de los 3 entrepisos superiores (tabla 5 NTDS)
- La irregularidad de masa de un entrepiso será nula cuando la variación de masas entre entrepisos consecutivos sea menor que el 150%. (tabla 5 NTDS)
- Si la dimensión horizontal del sistema resistente a cargas laterales en cualquier entrepiso varía en un 130% de la de un entrepiso consecutivo se considera que no existe irregularidad geométrica vertical. (tabla 5 NTDS)
- Cuando los elementos resistentes a cargas laterales están desplazados dentro de su plano una cantidad menor que la longitud de tales elementos, será nula la discontinuidad en el plano de dichos elementos. (tabla 5 NTDS)
- Debe considerarse irregularidad en planta cuando ambas proyecciones de una estructura más allá de una esquina entrante sea mayor que el 15 % de la dimensión en planta de la estructura en la dirección considerada. (tabla 6 NTDS)
- Cuando en los diafragmas existan cambios abruptos, variaciones en la rigidez o aberturas mayores que el 50% del área bruta de la planta del edificio debe considerarse la discontinuidad del diafragma. (tabla 6 NTDS)

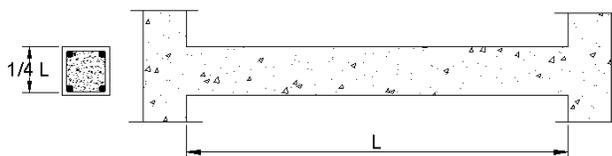
### Consideraciones para elementos sometidos a flexión (vigas)

- *Restricciones geométricas:*

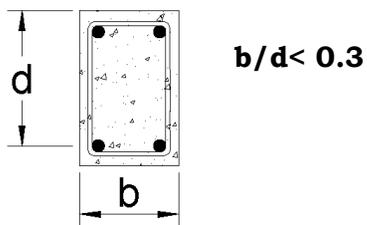
La separación entre los apoyos laterales de elementos sujetos a flexión no debe exceder de 50 veces el menor ancho de la sección. (Sección 8.4.1)



- El peralte efectivo del elemento, no debe ser mayor que la cuarta parte del claro libre. (sección 16.3.1.2)



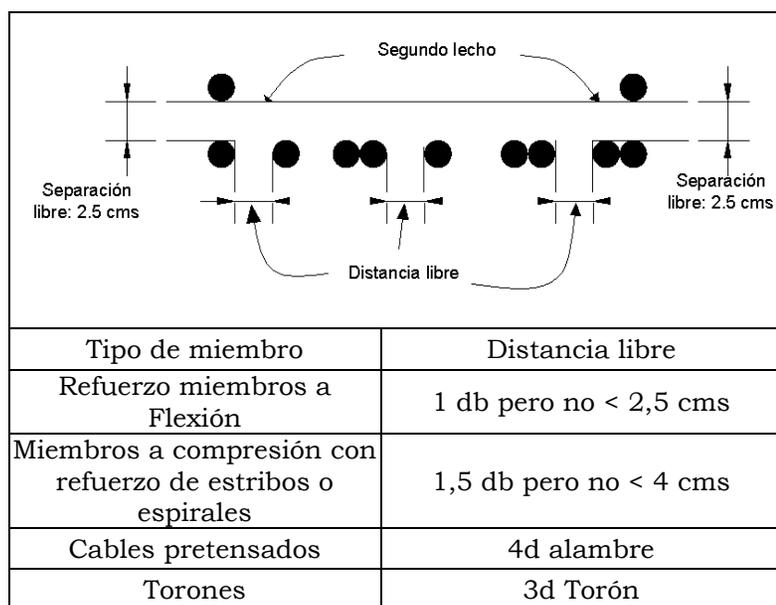
- La relación ancho a peralte no debe ser menor de 0.3 (sección 16.3.1.3)



- El ancho no debe ser menor de 25 cm, ni mayor que el ancho de la columna a la que llega más  $3/4$  del peralte de la viga a ambos lados de la columna. (sección 16.3.1.4)

*Restricciones de acero de refuerzo:*

- La separación libre entre varillas paralelas de un lecho no debe ser menor de 2.5 cms, ni menor que el diámetro nominal de la varilla  $d_b$  o 1.33 veces el tamaño máximo del agregado grueso (sección 5.7.1.1)
- Cuando en cualquier lecho de una viga, se coloquen 2 o más capas de refuerzo, la separación libre entre capas no debe ser menor de 2.5 cms ni menor que el diámetro nominal de las varillas (sección 5.7.1.2)

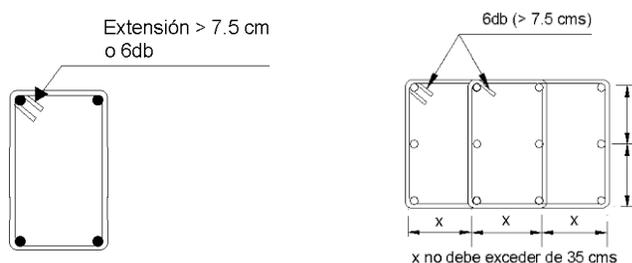


- Para el refuerzo transversal de confinamiento, debe utilizarse varillas de diámetro mayor o igual a la número 3 (sección 16.3.3.1)

- El recubrimiento mínimo del acero de refuerzo no debe ser en ningún caso menor que el mayor diámetro de la varilla longitudinal (sección 5.8.)

Elemento	Recubrimiento mínimo (cms)
Concreto en contacto con el suelo	5 <sup>15</sup>
Losas, paredes de concreto, nervios y soleras	2,5
Vigas y columnas (al refuerzo longitudinal)	4
Vigas y columnas (al estribo o espiral)	2,5

- Los estribos cerrados deberán tener ganchos de no menos de 135° con extensiones de 6db pero no menor de 7.5 cms y anclados en el núcleo confinado (sección 5.12.3)



### **Consideraciones para elementos sometidos a compresión (columnas)**

<sup>15</sup> Según la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto el recubrimiento mínimo es de 5 cms, distinto del propuesto por el ACI el cual es 7.5 cms

*Restricciones geométricas:*

- La dimensión transversal mínima no debe ser menor de 30 cms (sección 16.4.1.1)
- La relación entre la menor y mayor dimensión no debe ser menor de 0.4 (sección 16.4.1.2)
- La relación entre la altura libre y la menor dimensión transversal no debe exceder de 15 (sección 16.4.1.3)

*Restricciones de acero de refuerzo:*

- Las varillas longitudinales no deben ser menores que la número 5 (sección 16.4.3.1)
- Los traslapes solo se permiten dentro de la mitad central de la longitud de la columna (sección 12.4.3.2)
- El recubrimiento mínimo del acero de refuerzo no debe ser menor que el mayor diámetro de la varilla longitudinal (sección 5.8.)
- Los estribos deberán ser al menos del No 3 cuando las varillas longitudinales sean de la No 8 o menores, y al menos de varilla No 4, cuando se trate de varillas longitudinales No 9, 10, 11 o paquetes de varillas (sección 5.11.1.1)
- El primer estribo debe colocarse a una distancia no mayor de 5 cms medida desde el rostro inferior de la viga de mayor peralte que llega a la columna (sección 5.11.1.4)

***Consideraciones para elementos sometidos a flexión (losas)***

- En losas nervadas el ancho de cada nervadura será igual o mayor a 10cms, el peralte no será mayor que  $3\frac{1}{2}$  veces el ancho mínimo de la nervadura, el espaciamiento libre entre nervaduras no será mayor que 75 cms (sección 6.3.10)
- El espesor de la losa sobre los rellenos no será menor que  $L/12$  de la distancia libre entre nervaduras ni de 4 cms (sección 6.3.11.2)
- El peralte efectivo de la losa debe ser menor 9.0 cms (sección 7.5.2.1)
- El refuerzo debe tener una separación máxima no mayor del espesor de la losa o 45 cms (sección 5.13.3 y 16.5.2.1)
- Para losas densas el espaciamiento entre el acero de refuerzo en secciones críticas no debe ser mayor de 2 veces el peralte de la losa (sección 11.4.1.2)

#### ***Consideraciones para los Nudos en unión viga-columna***

- No se deberán efectuar traslapes del acero de refuerzo por flexión en los nudos. (sección 16.3.2.3)
- En nudos no confinados se deberá proporcionar acero por refuerzo transversal (sección 16.6.2.1)
- El espaciamiento máximo del refuerzo transversal puede incrementarse a 15 cms siempre y cuando el nudo este confinado, esto es, que el ancho de las 4 vigas que llegan a la columna sea al menos igual al 75% del ancho respectivo de las columnas (sección 16.6.2.2)

***Consideraciones para paredes de concreto reforzado.***

- En paredes por cortante el espaciamiento del refuerzo horizontal no debe exceder de  $1/5$  de la longitud de la pared en la dirección de la fuerza cortante, 3 veces el peralte de la pared ni de 30 cms (sección 9.10.9.3)
- En paredes por cortante el espaciamiento del refuerzo vertical no debe exceder de  $1/3$  de la longitud de la pared en la dirección de la fuerza cortante, 3 veces el peralte de la pared ni de 30 cms (sección 9.10.9.3)

***Consideraciones para paredes de mampostería reforzada y mampostería confinada.***

- Se consideran paredes confinadas las que están reforzadas con nervios y soleras. El espesor de la pared debe ser como mínimo 14 cm.
- La menor dimensión de los nervios y soleras debe ser como mínimo 14 cm.
- La relación de esbeltez de las paredes debe tomarse como la relación entre su altura libre y su espesor esta relación no debe ser mayor de 20.
- Los nervios y soleras deben tener como mínimo 4 varillas longitudinales No. 3 y el refuerzo transversal debe ser por lo menos varillas No. 2 a cada 20 cm.
- Deben existir nervios en los extremos de las paredes, en las intersecciones de éstas y en puntos intermedios, de tal manera que la separación entre no exceda de 2.0 m. Así mismo, deben existir soleras en los extremos de las paredes y en los puntos intermedios, a una separación no mayor de 2.0 m.

- Deben proveerse elementos de refuerzo en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones puedan afectar significativamente el comportamiento de la pared.
- En la mampostería reforzada, todo hueco con varilla llevará concreto fluido.
- El espaciamiento del refuerzo vertical no debe exceder de 80 cm.
- El espaciamiento del refuerzo horizontal no debe exceder de 60 cm.
- Se debe colocar 1 varilla No. 3 como mínimo en cada uno de los dos huecos de las unidades en los extremos de las paredes y en las intersecciones.
- El refuerzo vertical mínimo debe ser del No. 3 y el horizontal mínimo del No. 2.
- Cuando las paredes transversales lleguen a tope sin traslape de unidades, será necesario unirlos mediante anclajes que aseguren la continuidad de la estructura.
- El espesor de las juntas debe ser de 1.0 a 1.5 cm, procurándose una capa uniforme de mortero y la alineación de las unidades.

---

## **CAPITULO 3**

---

*“DAÑOS EN EDIFICIOS DEL AREA METROPOLITANA DE SAN  
SALVADOR DEBIDO A LOS SISMOS DEL 10 DE OCTUBRE DE  
1986 Y DEL 13 DE ENERO DEL 2001”*

### **3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986 Y DEL 13 DE ENERO DEL 2001.<sup>1</sup>**

Los últimos terremotos que han causado grandes daños en San Salvador han sido los del 10 de octubre de 1986 y los del 13 de enero y 13 de febrero del 2001. Las principales características de estos sismos se detallan a continuación:

#### *3.1.1 Sismo del 10 de octubre de 1986.*

El terremoto del 10 de octubre de 1986 ocurrió a las 11 horas, 49 minutos (hora local), con una magnitud de 5.4 Mw, a una profundidad de 10 kms, y el epicentro ubicado en las coordenadas 13.67°N y 89.18°O a pocos kilómetros de la ciudad de San Salvador (White & Harlow,1993). La máxima intensidad en San Salvador fue de VIII-IX en la escala de Mercalli Modificada (MM).

#### *3.1.2 Sismo del 13 de enero del 2001.*

El 13 de enero de 2001, un fuerte terremoto se originó en la costa de El Salvador, en el Océano Pacífico, a las 11:34 a.m hora local, (17:33:29 UTC), con una magnitud, según el United States Geological Survey (USGS), de Momento Sísmico igual a 7.6 (Mw=7.6) sintiéndose en toda Centroamérica. Su hipocentro se ubicó a una profundidad de 39 km, con coordenadas 12.83N, 88.79W, con una intensidad en la escala de Mercalli Modificada, según el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG), de VII en San Salvador.

---

<sup>1</sup> “Reporte de los eventos sísmicos ocurridos el primer trimestre de 2001 en El Salvador”. Manuel A. López M. y Otros, Escuela de Ingeniería Civil, FIA, UES

### *3.1.3 Sismo del 13 de febrero del 2001.*

El sismo del 13 de febrero del 2001 ocurrió a las 8 horas 22 minutos (hora local), el epicentro fue localizado en el área de San Pedro Nonualco, departamento de La Paz, tuvo una magnitud de 6.1 y una intensidad (MM) de IV en San Salvador con una profundidad focal de 8 Km según CIG.

## **3.2 RECOPIACION DE DATOS DE DAÑOS EN EDIFICACIONES EN EL AMSS**

Para el sismo del 10 de octubre de 1986, se utilizó la información proveniente de diferentes trabajos de investigación y evaluación de daños para este sismo; en cuanto a la información de daños para el sismo del 13 de enero del 2001 se utilizaron las evaluaciones de daños recabadas por el “Comité de Evaluación de Daños MOP, ASIA, FESIARA”. Para el sismo del 13 de febrero del 2001, la información que se encontró no es suficiente.

### **3.2.1 DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986**

Se han catalogado los edificios en tablas, de acuerdo al Grado de Daño observado: severo, grave, moderado y leve así mismo se presentan los tipos de irregularidades descritos en el capítulo 2 para los edificios con que se cuenta con dicha información. Seguidamente se muestran detalles de algunos edificios considerados representativos de daños.

Tabla 3.1		
EDIFICIO CON DAÑOS SEVEROS		
Nombre	Daño Observado	Defectos Geométricos o de Rigidez
Edificio de Economía de la UES	Columnas de primer nivel totalmente falladas, vigas y nudos fallados, paredes agrietadas	Efecto de planta flexible
Ministerio del Trabajo	Columnas fuertemente dañadas y colapsadas, vigas agrietadas y falladas, paredes colapsadas	Defecto tipo IG-1
Edificio Etir	Colapso total de columnas y paredes del tercer nivel	----
Ministerio de Justicia	Columnas colapsadas y todos los elementos estructurales se encuentran dañados	----
Edificio Diagonal	Colapso total de la estructura	----
Banco de Crédito Popular	Columnas colapsadas totalmente, paredes agrietadas, losas severamente dañadas	Efecto de planta flexible
Edificio Comercial	Colapso total de columnas de primer nivel	----
Edificio Pete's	Colapso total del edificio	Defectos tipo IP-5, IV-6
Gran Hotel San Salvador	Colapso total del edificio	Efecto de planta flexible
Edificio Rubén Darío	Colapso total del edificio	Defectos tipo IP-1, IV-6

Edificio Torre López	Estructura colapsada, colapso del tercer nivel	Efecto de planta flexible
Edificio Dueñas	Colapso total de columnas de primer nivel	Efecto de edificio de esquina
Edificio Logia Masónica Cuscatlan	Colapso total de todos los elementos estructurales del primer nivel	Efecto de edificio de esquina

Tabla 3.2
EDIFICIO CON DAÑOS GRAVES

Nombre	Daño Observado	Defectos Geométricos
Almacén el Plan	Columnas del tercer nivel agrietadas, paredes agrietadas	----
Colegio Berry Colleg	Columnas y paredes agrietadas, vigas y nudos fisurados	----
Compañía General de Seguros	Columnas del segundo, tercer y cuarto nivel explotadas, paredes agrietadas, vigas falladas	----
Edificio CEL	Columnas del primer nivel fuertemente dañadas, vigas agrietadas	----
Edificio Inframen B	Columnas y vigas fuertemente dañadas, paredes fracturadas y desplomadas	----
Edificio Mi Plan No 2	Columnas y vigas falladas en el primer nivel, paredes con grietas diagonales	----

Banco Central de Reserva	Columnas y vigas falladas y agrietadas, paredes desplomadas	----
Corte Suprema de Justicia	Columnas explotadas y falladas, vigas y paredes agrietadas	----
Centro Judicial Isidro Menéndez	Columnas explotadas y falladas, paredes agrietadas	----
PGR	Columnas agrietadas, paredes agrietadas, losas fisuradas	----
Instituto de Ojos	Daños graves en paredes y vigas, columnas agrietadas	----
Clínica de Especialidades	Unión viga-columna fracturado, paredes colapsadas en los dos primeros pisos	----
Hospital B. Bloon	Daños localizados en entresijos inferiores, paredes fracturadas, vigas de entresijo fracturado, nudos columnas dañados	----
Edificio Marzia	Columnas falladas y agrietadas, vigas totalmente agrietadas, paredes fracturadas	----
Clínicas Medicas	Columnas totalmente colapsadas, paredes fracturadas	----
Banco de Comercio "la Fuente"	Estructura principal fallada parcialmente, se observó compresión en el segundo y tercer nivel	----
ISSS 1ro de Mayo	Columnas colapsadas en el sótano, vigas agrietadas	----

IGN	Columnas en el primer nivel explotadas y agrietadas, vigas agrietadas	----
Externado San José	Columnas del primer nivel explotadas, paredes colapsadas, vigas fuertemente dañadas	----
Almacén Bicard	Columnas explotadas y agrietadas, vigas y paredes agrietadas	----
Banco Salvadoreño	Columnas colapsadas en el tercer nivel, vigas colapsadas, nudos agrietados, paredes colapsadas	----
Hotel Alameda	Columnas colapsadas en el tercer nivel, vigas colapsadas, nudos agrietados, paredes colapsadas	----
Edificio Rodríguez Port	Columnas falladas en el segundo nivel y en el sótano, vigas fisuradas lado poniente, paredes agrietada	----
Edificio Panamericano	Columnas falladas en el sector poniente y resto con grietas, paredes agrietadas	Defectos tipo IP-2, IV-1
Edificio Fedecredito	Edificio ala poniente columnas del segundo nivel falladas, paredes agrietadas y desplomadas	----
Ferretería la Isla	Todas las columnas del primer nivel explotadas, vigas fracturadas, paredes agrietadas	----
Edificio Medico Dental	Columnas fuertemente agrietadas, vigas agrietadas	----
Edificio Sahara	Hundimiento de suelos, columnas del tercer nivel completamente falladas, paredes falladas, vigas agrietadas	----

Colegio García Flamenco	Columnas completamente falladas, las paredes se encuentran agrietadas	----
Colegio Guadalupano	Columnas del primer nivel estalladas, vigas falladas, hundimientos de suelos	----
Iglesia Misión Centroamericana	Paredes agrietadas, columnas del primer nivel colapsadas, losas agrietadas	----
Edificio Kury	Columnas severamente agrietadas, vigas cortadas verticalmente, losas fisuradas y paredes agrietadas	----
Edificio INCAFE	Paredes fisuradas y desplomadas, losas fisuradas, columnas con grietas al pie y a la cabeza	----
Edificio Metrocondominio España	Agrietamiento en las cabezas de las columnas, grietas en paredes	----
Edificio Hasbun y Gazola	Columnas del primer nivel colapsadas, nudos dañados, paredes agrietadas y desplomadas	----
Edificio Proveduría del MOP	Paredes severamente dañadas, vigas colapsadas, columnas de primer y segundo nivel falladas	----
Hospital de Maternidad	Columnas colapsadas, paredes agrietadas, vigas dañadas	----
Edificio Ericson	Daños considerables en columnas en los niveles tres y cuatro	----
Hospital de la Policlínica Salvadoreña	Daños severos en columnas, paredes y vigas	----

Edificio Pacifico	Paredes laterales del tercer y sexto nivel destruidas, vigas y columnas agrietadas	----
Edificio Tazumal	Desprendimiento de paredes de fachada, agrietamiento en vigas y columnas	Efecto de edificio de esquina

Tabla 3.3
EDIFICIO CON DAÑOS MODERADOS

Nombre	Daño Observado	Defectos Geométricos
Escuela de Enfermería	Columnas del cuarto nivel con fallas en zonas de confinamiento, paredes agrietadas	----
Condominio Acrópolis	Paredes dañadas, columnas fisuradas, vigas fisuradas	----
Todos Miralvalle	Paredes y vigas agrietadas, losas fisuradas	----
Condominio MG	Daños del primer nivel en paredes y vigas, columnas fisuradas en el sótano	----
ANTEL Roma	Muros colapsados en el tercer nivel, daños moderados den las uniones viga-columna	----
Edificio San Carlos	Columnas, pisos, losas y vigas agrietadas y fisuradas, uniones viga-columnas y paredes dañadas	----
Confitería Americana	Columnas agrietadas y paredes falladas	----

Clinicas Medicas Poniente	Columnas y vigas agrietadas; paredes de relleno falladas	----
Edificio las Américas	Nudos y unión losa-columnas fisuradas, paredes agrietadas	----
Edificio Regalado	Paredes agrietadas	----
Edificio Mitchel	Columnas del tercer nivel falladas, vigas fisuradas, paredes falladas	----
Colegio Cristóbal Colon	Columnas cortadas, nudos colapsados, paredes desnivelados	----
Hotel Sheraton	Fisuras al pie de la columna, agrietamiento en paredes	Defecto tipo IP-3
Edificio Morazán	Daños concentrados en los niveles superiores y localizados en las paredes	----
Edificio Embotelladora Salvadoreña	Paredes y losas agrietadas	----
Colegio la Asunción	Columnas, paredes y vigas fracturas	----
Condominio los Cerezos	Columnas explotadas y agrietadas, paredes fisuradas	----
Edificio San Jorge	Columnas perimetrales dañadas en primer y segundo nivel, paredes fisuradas	----

Edificio Salome	Nudos fisurados, columnas y paredes falladas	----
Edificio Domínguez Parada(INPEP)	Vigas fisuradas, columnas del primer y segundo nivel fisuradas, paredes agrietadas	----
Colegio Liceo Salvadoreño	Columnas del costado Ote. Cortadas, vigas dañadas	----
Archivo Principal de ANTEL	Paredes agrietadas, columnas dañadas, desplome de columnas	Defecto tipo IV-6
Edificio Figueroa	Unión de viga-columna dañadas en primer nivel, paredes agrietadas	----

Tabla 3.4
EDIFICIO CON DAÑOS LEVES

Nombre	Daño Observado	Defectos Geométricos
Edificio Central del Banco Hipotecario	Daño en estructura metálica, agrietamiento en paredes	----
Almacén Schwartz	Columnas fisuradas, paredes agrietadas y losas agrietadas	----
Edificio C UPES	Columnas fisuradas, paredes agrietadas	----
Edificio Kafaty	Paredes falladas, losas fisuradas	----

Edificio Torre Roble	Vigas y paredes fisuradas	Defecto tipo IV-6
----------------------	---------------------------	-------------------

A continuación se presentan descripciones detalladas de algunos edificios representativos en cuanto a daños sufridos para el sismo del 10 de octubre 1986.

### EDIFICIO RUBÉN DARÍO<sup>2</sup>

En la figura 3.1 se muestra el edificio Rubén Darío que colapsó completamente durante el sismo. El edificio contaba con seis plantas, terraza y un sótano; estructurado a base de marcos no dúctiles de concreto reforzado en ambas direcciones y presentaba una configuración irregular en planta; tenía forma de U (irregularidad en planta tipo IP-1, ver capítulo 2), se encontraba rodeando al Edificio Pacífico. En la terraza se había construido un tanque de concreto reforzado con capacidad para aproximadamente 60 m<sup>3</sup> (irregularidad en elevación tipo IV-6, ver capítulo 2). El edificio fue construido antes del sismo del 3 de Mayo de 1965, por lo que se presume que fue diseñado únicamente para cargas verticales y por supuesto sin ningún requerimiento especial de ductilidad. Durante el sismo de 1965, el edificio sufrió daños considerables, los cuales no fueron reparados adecuadamente. Todos estos factores jugaron un papel decisivo en el comportamiento del edificio.

---

<sup>2</sup> “El sismo del 10 de Octubre de 1986 en San Salvador”

Ing. Carlos Graham.  
 Instituto para Estudios de Concreto  
 a / c Prof. – Dr. Gert Konig  
 Universidad Técnica de Darmstadt  
 Darmstadt, Republica Federal de Alemania

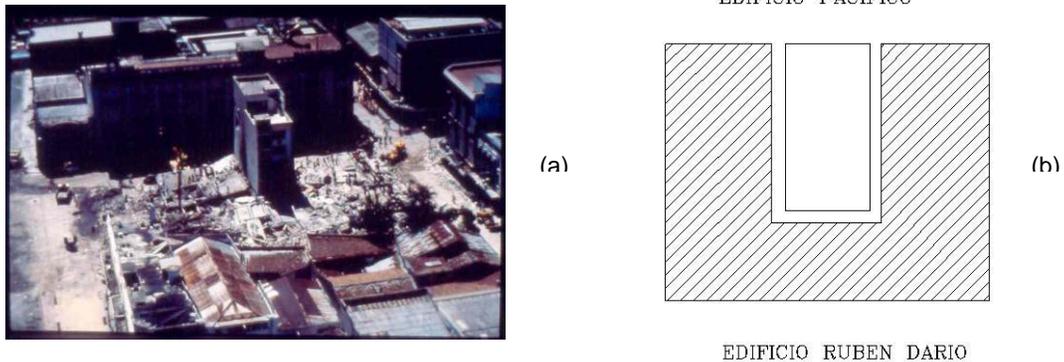
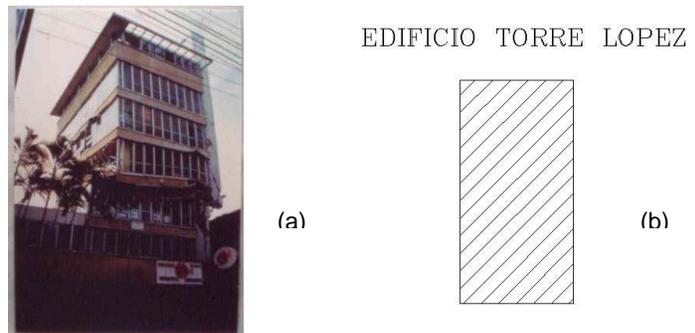


FIG 3.1 Edificio Rubén Darío. (a) Fotografía de daños. (b) esquema en planta del edificio

### EDIFICIO TORRE LÓPEZ<sup>3</sup>

En la figura 3.2 se muestra el edificio de la Torre López que sufrió el colapso de un piso intermedio y una rotación significativa con respecto a su eje vertical cercano a la esquina sur poniente. Aunque la planta es geoméricamente simétrica, debido a la distribución altamente asimétrica de las rigideces (efecto de planta flexible, ver capítulo 2), dio origen a torsiones indeseables no previstas posiblemente en el diseño. El sistema estructural consistía de marcos de concreto reforzado en ambas direcciones y de dos paredes de mampostería de barro en las fachadas sur y poniente. Como consecuencia de ello, su centro de rigidez se encontraba muy próximo a la esquina sur-poniente.

FIG 3.2 Edificio Torre López. (a) Fotografía de daños. (b) esquema en planta del edificio



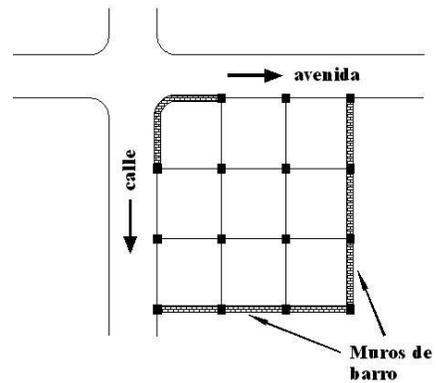
<sup>3</sup> “Experiencias del terremoto del 10 de octubre de 1986”. Seminario sobre Ingeniería Sísmica. ASIA Héctor D. Hernández San Salvador 1988

### EDIFICIO GRAN HOTEL SAN SALVADOR<sup>4</sup>

En la figura 3.3 se muestra el edificio Gran Hotel San Salvador que sufrió colapso del primer entrepiso. Nuevamente, la alta asimetría de rigideces influyó grandemente en su mal comportamiento. La fachada sur presentaba una pared de mampostería de barro y la fachada norte un marco estructural; la fachada oriente también tenía una pared de mampostería de barro y la fachada poniente solamente en la esquina nor-poniente existía la pared y en el resto de ella se continuaba con un marco estructural. Esta asimetría de rigideces provocó elevadas torsiones, que condujeron al colapso del edificio.



(a)



(b)

FIG 3.3 Edificio Gran Hotel San salvador. (a) Fotografía de daños. (b) esquema en planta

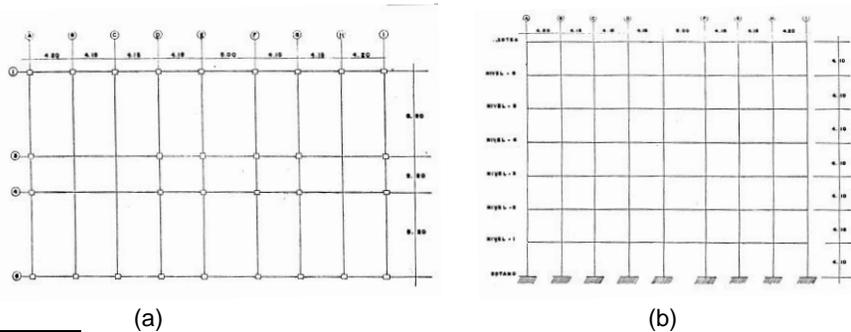
<sup>4</sup> “Experiencias del terremoto del 10 de octubre de 1986”. Seminario sobre Ingeniería Sísmica. ASIA  
Héctor D. Hernández  
San Salvador 1988

### EDIFICIO DE LA FISCALÍA GENERAL DE LA REPUBLICA<sup>5</sup>

Se trata de una estructura de 7 niveles, estructurado a base de marcos de concreto reforzado en ambas direcciones. El diseño arquitectónico impuso ciertas irregularidades en la estructura. El empleo de claros muy desiguales en un mismo marco, ocasionan fuerzas cortantes y momentos elevados en las vigas de claros más cortos y para un edificio de esta altura provocan fuerzas axiales elevadas en las columnas y cimentación. A partir del tercer nivel se agregaron volúmenes de concreto a las columnas, lo que se hizo todavía más evidente en el último entrepiso. Estos elementos “no estructurales” añadidos provocaron un cambio brusco en la sección de la columna, originando concentraciones de esfuerzos en ese entrepiso y dando origen a daños importantes en el edificio.

Adicionalmente, la estructura era muy flexible, lo que dio origen a desplazamientos laterales elevados, provocando choques entre la estructura y las paredes no estructurales. En los primeros cuatro entrepisos, los daños en las paredes no estructurales fueron severos. El grado de daños varió desde ligeros en el primer entrepiso, daños fuertes y severos en el segundo y tercer entrepiso, y nuevamente ligeros y moderados en los últimos entrepisos.

FIG 3.4 Edificio de la  
Fiscalía Gral de El Salvador  
(a) esquema en planta. (b)  
esquema en elevación

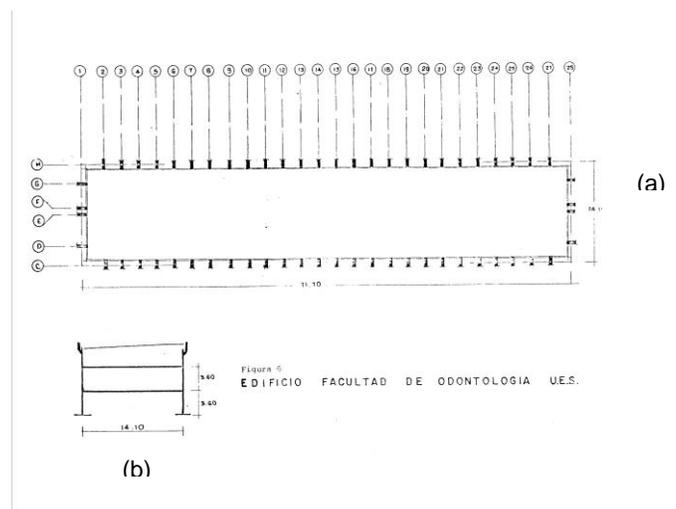


<sup>5</sup> “Experiencias del terremoto del 10 de octubre de 1986”. Seminario sobre Ingeniería Sísmica. ASIA  
Héctor D. Hernández  
San Salvador 1988

### EDIFICIO NUEVO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UES<sup>6</sup>.

Se trata de un edificio de 3 niveles, estructurado a base de marcos de concreto reforzado en ambas direcciones. La losa de entrepiso es del tipo nervado en una dirección (ZAP), la cubierta es de lámina acanalada de asbesto-cemento apoyada sobre estructura metálica, la cual a su vez se apoya sobre las columnas exteriores. El diseño arquitectónico requería que a nivel de cubierta se incorporaran unas facias voluminosas de concreto reforzado que se apoyarían también en las columnas exteriores. Con el movimiento sísmico, estas grandes masas en voladizo vibraron excesivamente y provocaron la destrucción completa de la cubierta ligera de asbesto-cemento. Otro problema observado, es el gran claro de los marcos transversales (casi 15 mt.), esto con el objeto de adecuar tres auditorium en la planta baja. Los marcos exteriores de las fachadas oriente y poniente presentan claros desiguales, lo que originó daños graves en las columnas interiores de esos ejes.

FIG 3.5 Edificio de la facultad de Odontología de la Universidad de El Salvador (a) esquema en planta. (b) esquema en elevación



<sup>6</sup> “Rehabilitación estructural del edificio de la facultad de odontología”. Tesis UES 1987.

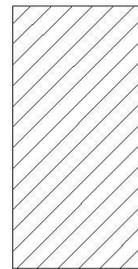
### EDIFICIO DE ECONOMÍA DE LA UES<sup>7</sup>

El edificio de cuatro plantas tenía tres pisos rígidos superiores y una planta baja totalmente abierta con solo un aula grande y el resto libre y abierto al paso. Las columnas de la planta baja colapsaron sin excepción (efecto de planta flexible, ver capítulo 2). La mayoría de las columnas de la planta baja fallaron por corte, con fallas a 45 grados (daño tipo DT-2, ver capítulo 2), presentando deficiencia en los estribos, el movimiento lateral no fue mayor y la planta baja no llegó a desaparecer completamente pues surgió un arrojamiento inesperado: el muro divisorio en el extremo oeste.



(a)

EDIFICIO FACULTAD DE ECONOMÍA UES



(b)

FIG 3.6 Edificio de la Facultad de Economía de la Universidad de El Salvador. (a) Fotografía de daños. (b) esquema en planta del edificio

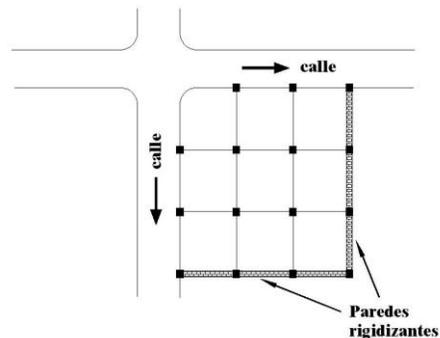
<sup>7</sup> “El sismo del 10 de Octubre de 1986 en San Salvador”  
 Ing. Carlos Graham.  
 Instituto para Estudios de Concreto  
 a / c Prof. – Dr. Gert König  
 Universidad Técnica de Darmstadt  
 Darmstadt, Republica Federal de Alemania

## EDIFICIO DUEÑAS<sup>8</sup>

Era un edificio de seis plantas que funcionaba como edificio de vivienda en su planta inferior, que desapareció totalmente funcionaba un local comercial, por lo cual tenía hacia la calle grandes vidrieras separadas por columnas de la estructura portante. Las paredes lindantes con los edificios vecinos eran paredes gruesas sin aberturas, lo que creó un momento de torsión respecto del centro de rigidez del edificio, causando grandes desplazamientos en las columnas esquineras sobre la calle llevando al colapso violento de las columnas de la planta inferior.



(a)



(b)

FIG 3.7 Edificio Dueñas. (a) Fotografía de daños. (b) esquema en planta del edificio

<sup>8</sup> “El sismo del 10 de Octubre de 1986 en San Salvador”  
 Ing. Carlos Graham.  
 Instituto para Estudios de Concreto  
 a / c Prof. – Dr. Gert König  
 Universidad Técnica de Darmstadt  
 Darmstadt, Republica Federal de Alemania

### 3.2.2 DAÑOS DEBIDOS AL SISMO DEL 13 DE ENERO DEL 2001.

Posteriormente a un sismo de gran magnitud, es común llevar a cabo la evaluación estructural de las edificaciones para determinar el estado en el que se encuentran y especialmente el grado de habitabilidad que poseen, en este contexto, podemos clasificar a las evaluaciones de daños en dos tipos<sup>9</sup>:

1. *Evaluación preliminar*
2. *Evaluación definitiva*

#### **Evaluación preliminar.**

La finalidad principal de un dictamen técnico preliminar es determinar si los edificios dañados por un sismo brindan las condiciones de seguridad necesarias para ser habitado.

Para realizar esta evaluación se analizan condiciones tales como seguridad, servicio y estabilidad. Las condiciones de seguridad (daños estructurales) establecen si el edificio es habitable o si debe ser desocupado. Las condiciones de servicio (daños no estructurales) indican las restricciones bajo las cuales el edificio puede ocuparse, y las condiciones de estabilidad señalan las restricciones de acceso al edificio o a la zona donde éste se encuentre.

Dadas las condiciones de emergencia bajo las cuales puede tomarse la decisión de clasificar a un edificio dentro de una u otra magnitud de daños, esta se basará

---

<sup>9</sup> Iglesias Jiménez, Jesús, Revista IMCYC, Vol. 24, No 184, Septiembre de 1986.

principalmente en el conocimiento y experiencia, en el comportamiento sísmico de las edificaciones, del ingeniero o técnico responsable de dicha evaluación.

De esta forma se puede catalogar a una edificación basándose en el estado estructural que presente por medio de “*colores de banderas*”, los cuales indican el grado de daño que presenta la estructura y por consiguiente su grado de habitabilidad.

### **Evaluación definitiva.**

El dictamen técnico definitivo es la base sobre la cual se puede determinar la mejor solución estructural o de demolición del edificio dañado por un sismo. Comprende una serie de pasos que van desde un levantamiento de daños minucioso hasta el análisis por medio de un modelo matemático de la estructura para determinar las demandas de resistencia y ductilidad a las que esta sometidos los miembros del sistema estructural y la capacidad misma de ellos.

### ***Evaluaciones de daños preliminares a raíz de los sismos de enero del 2001.***

Después de ocurrido el sismo del 13 de enero del 2001. se conformo en el “Comité de Evaluación de Daños MOP, ASIA, FESIARA”. Dicho comité coordinó el trabajo de evaluación de daños en las edificaciones presentando para ello un formato de evaluación de daños, el cual fue utilizado por todos los profesionales encargados de evaluar dichas estructuras (ver anexo A1).

En dicho formato se presentan criterios de evaluación basándose en aspectos tanto estructurales como no estructurales; entre los que podemos mencionar:

- Número de pisos del edificio
- Sistema estructural
- Materiales de construcción
- Daños en elementos estructurales (vigas, columnas, paredes, etc.)
- Daños en elementos no estructurales (divisiones, Inst. eléctricas, Inst. hidráulicas, etc.)

Dependiendo del resultado de esta evaluación se clasifico a los edificios de acuerdo a los daños en los elementos estructurales asignándoles un color de bandera basándose en los siguientes criterios:

Bandera verde: sin daño visible en los elementos estructurales. Posibles fisuras en los repellos de paredes, losas y elementos no estructurales. Desprendimiento de recubrimientos y acabados, problemas no importantes de humedad. Se observan pocos daños en la construcción.

Bandera amarilla: fisuras diagonales y de otro tipo en paredes y aberturas, fisuras grandes en elementos de concreto reforzado (columnas, vigas, paredes, etc.) que pueden repararse sin necesidad de refuerzo, problemas importantes de humedad.

Bandera anaranjada: grietas grandes con o sin reparación de las paredes y con trituración del material. Grandes grietas con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos estructurales. Grietas grandes con pequeñas dislocaciones de elementos de concreto reforzado (columnas, vigas, paredes, etc.). Fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento. Pequeña dislocación

de elementos estructurales y de toda la construcción, problemas de estabilidad del elemento.

Bandera roja: los elementos estructurales y las uniones están muy dañados y dislocados, con un número grande de ellos destruidos, colapsos o derrumbes, etc. Las construcciones presentan ruina total o parcial.

***Definición de magnitud de daños utilizadas en las evaluaciones***

*DAÑOS PEQUEÑOS*: Prácticamente no se requiere reparación; por ejemplo, pequeñas fisuras, desprendimiento de recubrimientos y acabados, problemas no importantes de humedad, etc.

*DAÑOS MODERADOS*: Se requiere reparación de daños menores; por ejemplo, grietas que pueden repararse sin necesidad de refuerzo, problemas importantes de humedad, etc.

*DAÑOS GRAVES*: Se requiere de refuerzo y reparación de daños mayores; por ejemplo, fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento, problemas de estabilidad del elemento, etc.

*DAÑOS SEVEROS*: Se requiere de reconstrucción del elemento; por ejemplo, dislocaciones con pérdidas de material, colapsos o derrumbes, etc.

### **Análisis de los daños en edificaciones debido a los sismos del 2001.**

Para el análisis de los daños ocurridos en las edificaciones a raíz de los sismos del 2001 se tomo una muestra de las evaluaciones de daños, realizadas por el Comité de Evaluación de Daños MOP, ASIA, FESIARA, correspondiente a 326 edificios de un total de 749. Para la obtención de esta muestra se baso en el criterio de analizar solamente los edificios ubicados en el Área Metropolitana de San Salvador, así como las edificaciones de dos niveles en adelante y solamente el análisis de los elementos estructurales. Los resultados preliminares se presentan en las siguientes tablas y gráficos:

#### *Análisis global de la muestra*

Las siguientes tablas y figuras muestran un análisis de los datos recopilados en las evaluaciones de daños elaboradas a partir de los sismos del 2001.

Tabla 3.5 Características de la muestra de edificios a evaluar.				
Número de niveles	MARCOS DE CONCRETO REFORZADO	MARCOS DE ACERO	SISTEMA DUAL	TOTAL
2	76	2	24	102
3	67	3	25	95
4	88	1	10	99
5	7	0	1	8
6	4	1	2	7
7	3	0	3	6

8	2	0	0	2
10	0	0	1	1
11	1	0	1	2
12	1	0	0	1
13	1	0	0	1
14	1	0	0	1
16	0	0	1	1
TOTAL	251	7	68	326

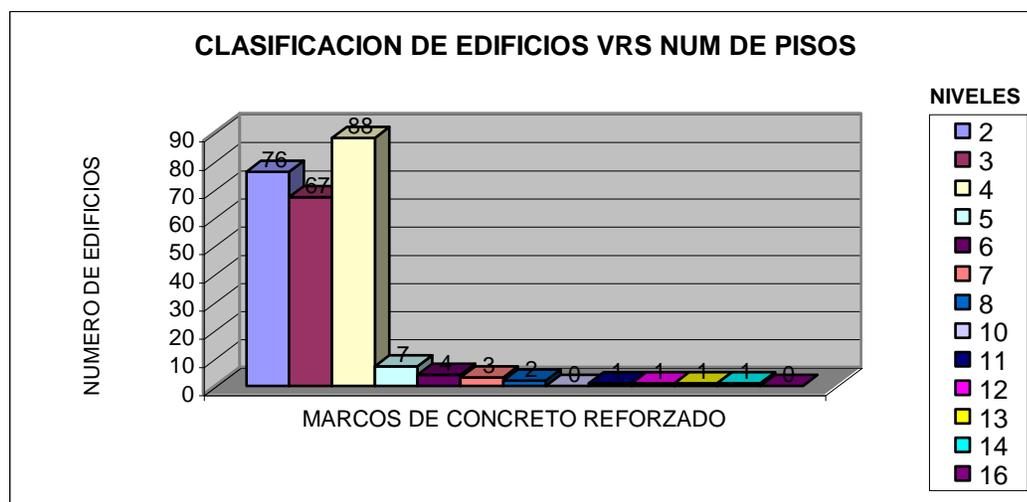


Figura 3.8 Comparación de las características de edificios a base de marcos de concreto

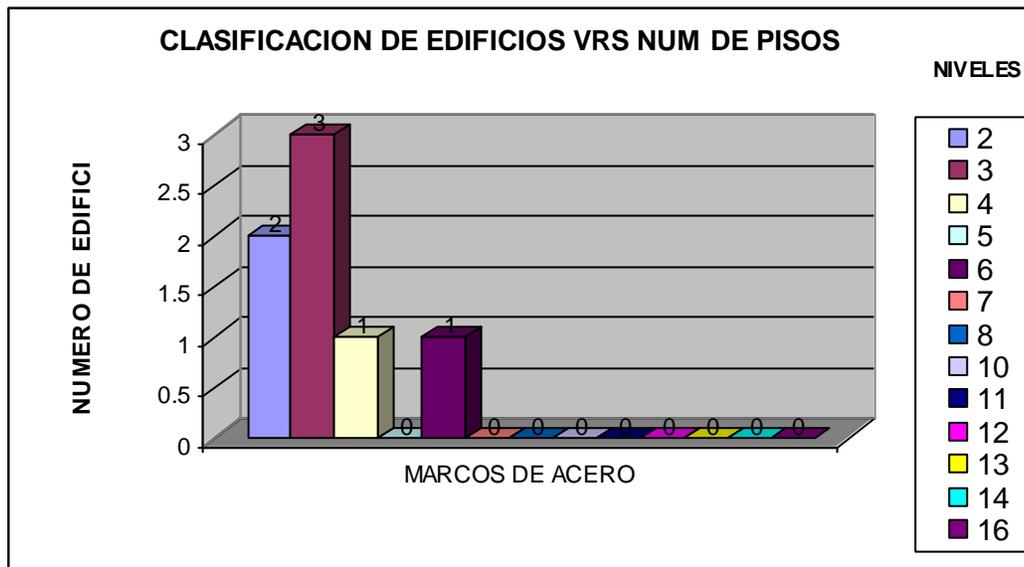


Figura 3.9 Comparación de las características de edificios a base de marcos de acero

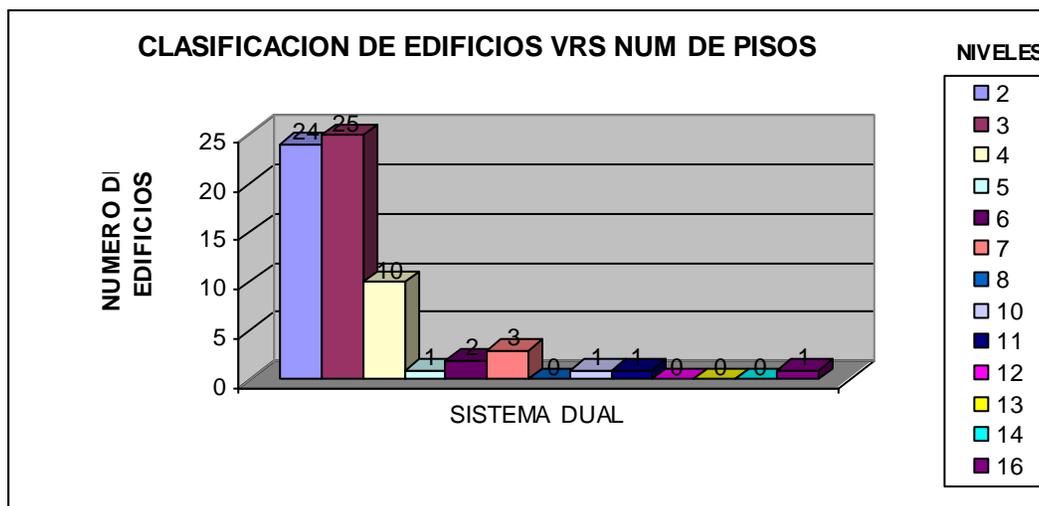


Figura 3.10 Comparación de las características de edificios a base de marcos de concreto y paredes de corte

De la tabla 3.5 y las figuras 3.8, 3.9 y 3.10 se puede observar que la mayoría de los edificios de la muestra se concentran en las alturas comprendidas entre los 2 y 4 niveles representando un 91% del total de edificios. Además, se tiene que los sistemas sismo-resistentes que predominan son los basados en marcos de concreto reforzado (Sistema A) y el sistema dual (Sistema C) con un 77% y 21% respectivamente del total de la muestra. En cuanto a los edificios con sistema sismorresistente a base de marcos de acero representan solamente un 2% de la muestra, asimismo los edificios con alturas mayores de 4 niveles están comprendidos en el 9% del total de la muestra. Debido a esto, en el presente estudio se tomará como muestra representativa para posteriores análisis aquella que comprende los edificios de 2 a 4 niveles y que poseen como sistema sismorresistente marcos de concreto reforzado y también un sistema dual.

<b>MARCO DE CONCRETO REFORZADO (Tipo A)</b>								
<b>DAÑO</b>	<b>COLUMNAS</b>	<b>VIGAS</b>	<b>LOSAS</b>	<b>NUDO VIGA - COLUMNA</b>	<b>PAREDES DE RELLENO</b>	<b>ESCALERAS INTERIORES</b>	<b>ESTRUCTURA DE TECHO</b>	<b>FUNDACIONES</b>
<b>NO HAY</b>	172	176	192	205	157	175	201	180
<b>PEQUEÑO</b>	37	49	27	24	37	45	14	3
<b>MODERADO</b>	22	10	16	7	28	18	7	2
<b>GRAVE</b>	13	12	8	8	8	10	0	1
<b>SEVERO</b>	7	3	4	5	2	2	2	2
<b>NO SE PUDO DETERM.</b>	0	1	2	2	0	0	8	63
<b>NO SE TIENE INFORMACION</b>	0	0	2	0	19	1	19	0
<b>total de edificios</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>257</b>

Tabla 3.6 Resultados de los daños observados en edificios a base de sistema A

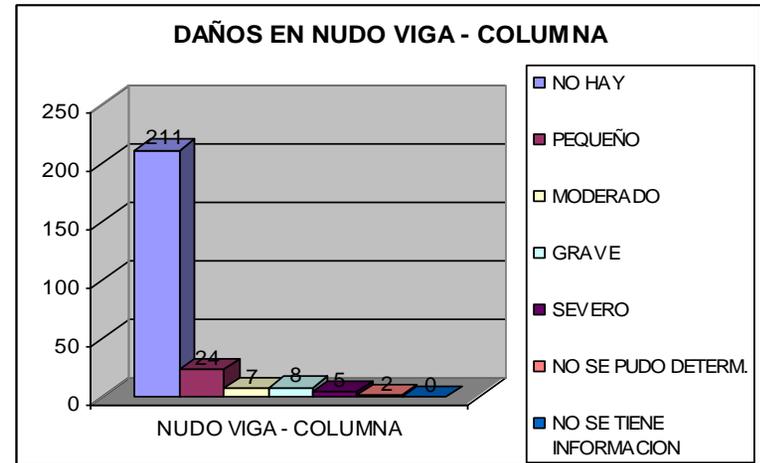
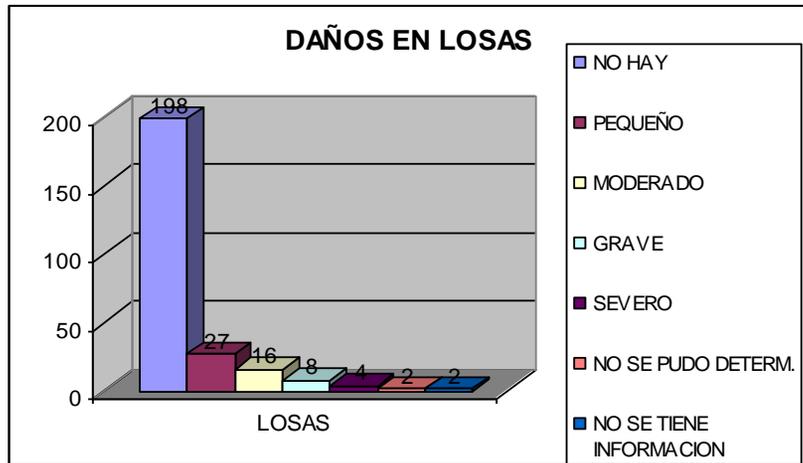
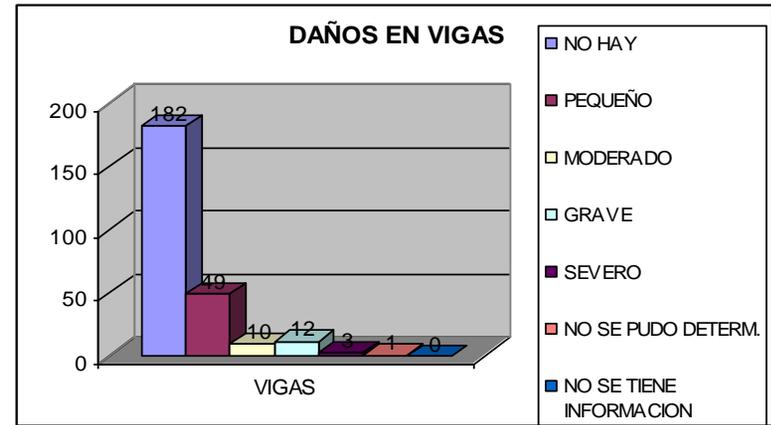
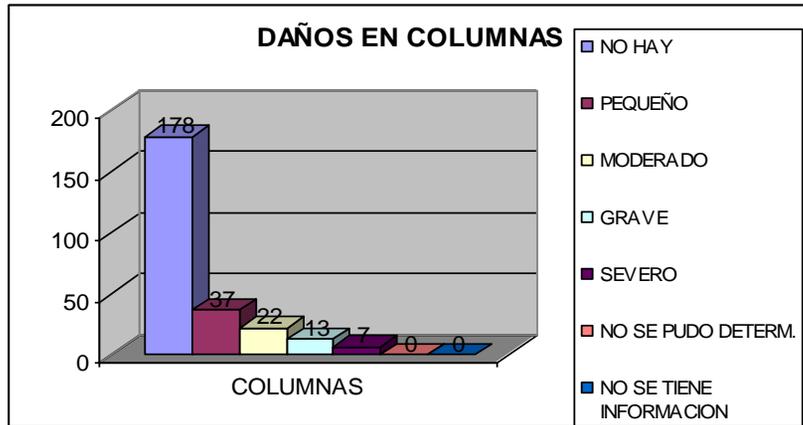


Fig. 3.11. Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema tipo A

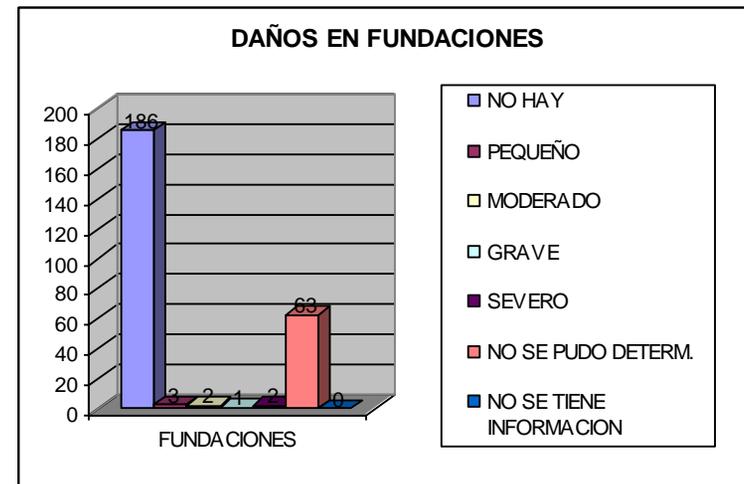
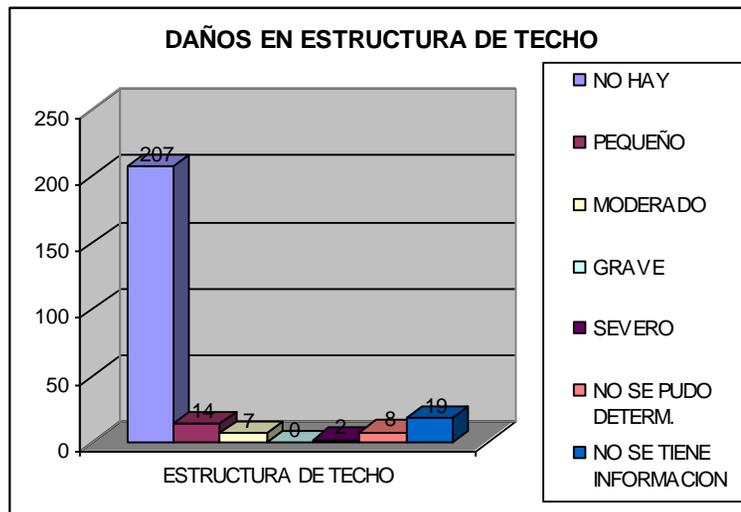
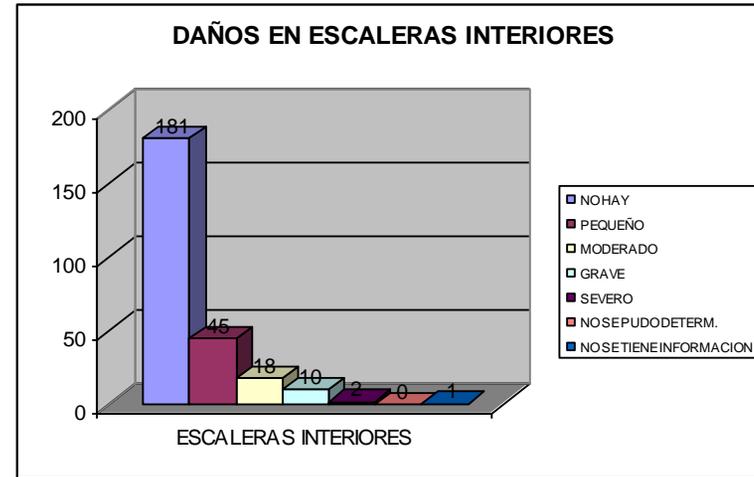
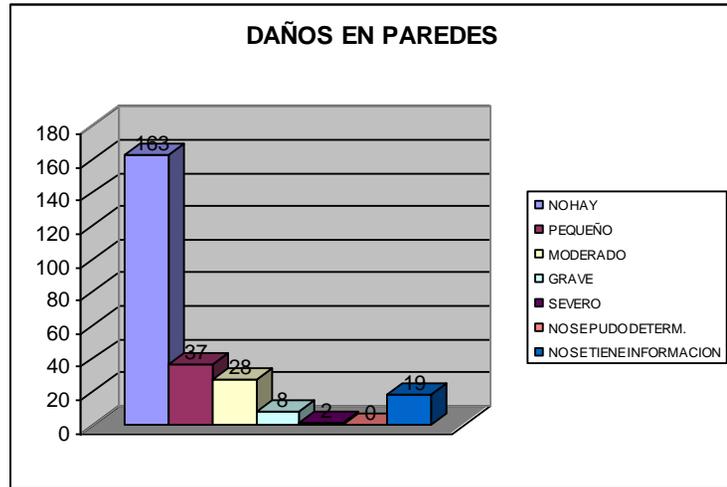


Fig. 3.12 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema tipo A

De la tabla 3.6 y las figuras 3.11 y 3.12 se puede observar que la mayoría de los edificios con sistema sismorresistente a base de marcos de concreto reforzado (tipo A) no presentan daños en elementos tales como columnas, vigas, losas y nudos viga-columna.

Las columnas en un 69% no presenta daños, un 14% presenta daños pequeños, 9% daño moderado, 5% daño grave y un 3% presentan daños graves.

En cuanto a daños en vigas un 71% no presenta daños, un 19% presenta daños pequeños, 4% daño moderado, 5% daño grave y un 1% daños graves.

Para los daños en losas un 77% no presenta daño, mientras que el 10% presenta daños pequeños, 6% daños moderado, 3% daño grave y 2% daño grave.

En cuanto a los daños en las uniones viga-columna o nudos se presenta que un 82% no presentan daños, un 9% presenta daños pequeños, 3% daños moderados, 3% daños graves y un 2% daños severos.

En los daños en paredes se puede observar que un 71% no presenta daño, un 14% daños pequeños,

De esto se observa que el elemento que mejor se comportó son los nudos en la unión viga-columna, siguiendo el sistema de losa y las vigas teniendo las columnas el mayor porcentaje de daño de entre los diferentes tipos de elementos analizados; Además con esto se observa la tendencia de un posible comportamiento viga fuerte–columna débil.

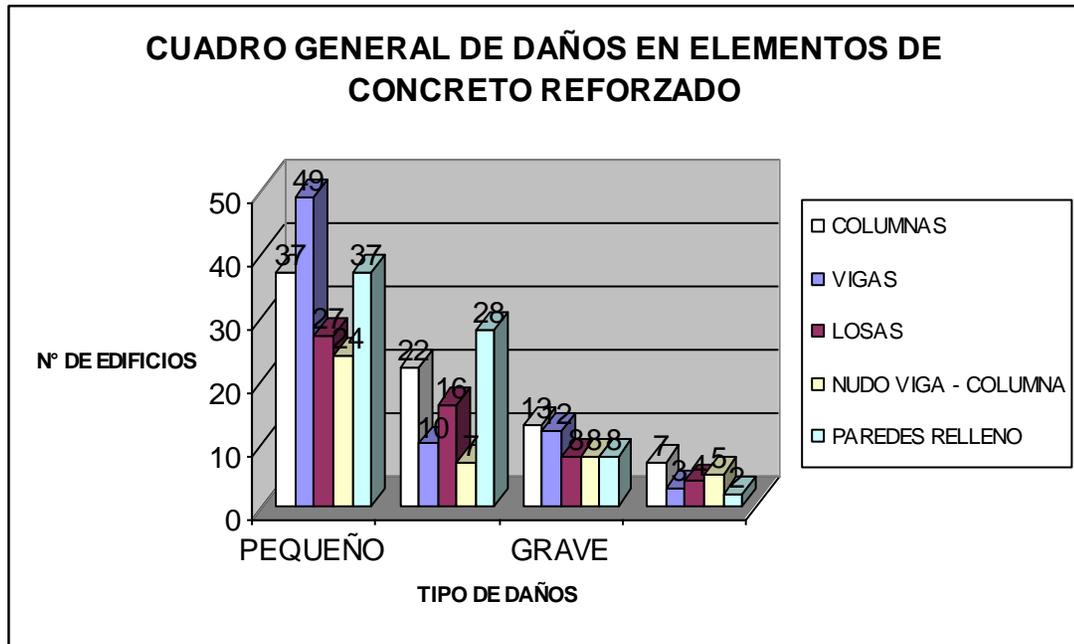


Fig. 3.13 Representación general de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema tipo A

### MARCO DE ACERO

DAÑO	COLUMNAS	VIGAS	LOSAS	NUDO VIGA - PAREDES DE		ESCALERAS INTERIORES	ESTRUCTURA DE TECHO	FUNDACIONES
				COLUMNA	RELLENO			
<b>NO HAY</b>	7	7	6	7	3	5	6	4
<b>PEQUEÑO</b>	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>MODERADO</b>	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>GRAVE</b>	0	0	0	0	1	1	0	0
<b>SEVERO</b>	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>NO SE PUDO DETERM.</b>	0	0	1	0	0	0	1	3
<b>NO EXISTE ELEMENTO</b>	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Total de edificios</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

Tabla 3.7 Resultados de los daños observados en edificios a base de marcos de acero.

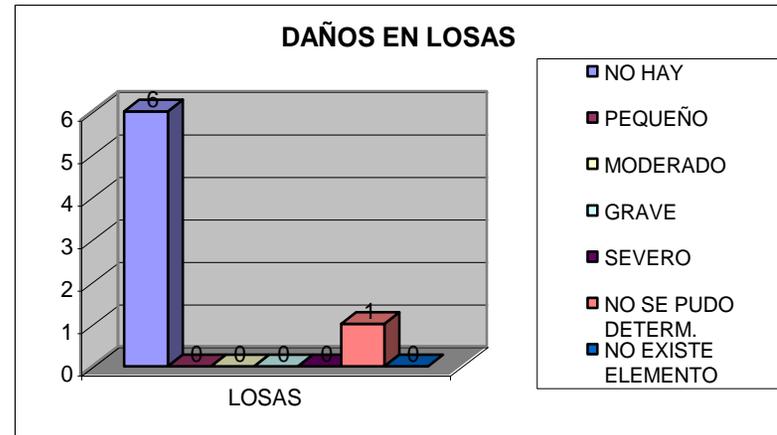
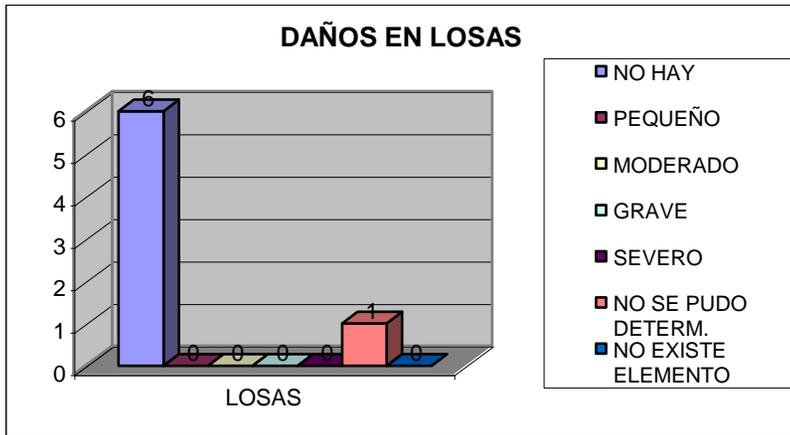
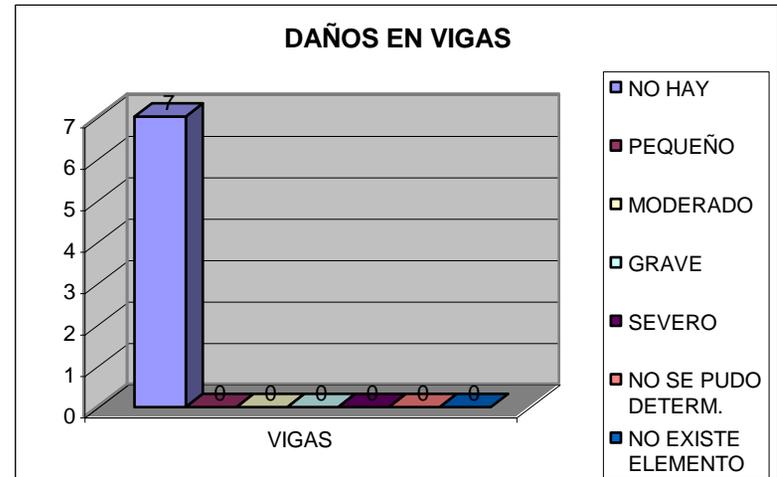
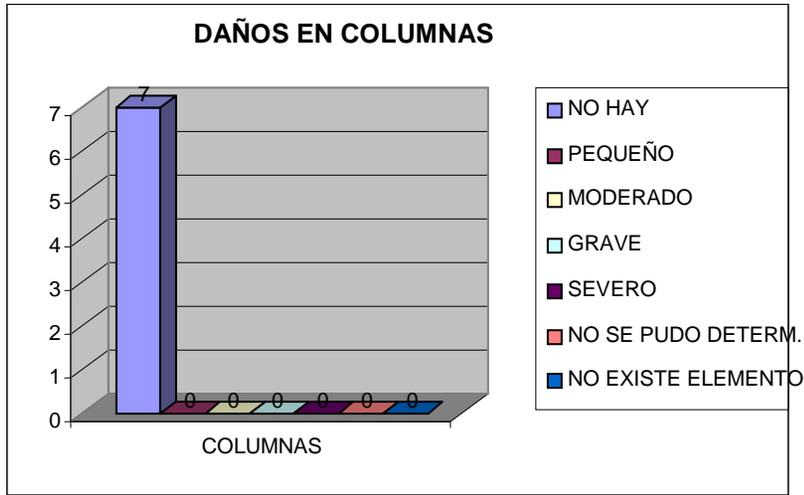


Fig. 3.14 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de acero

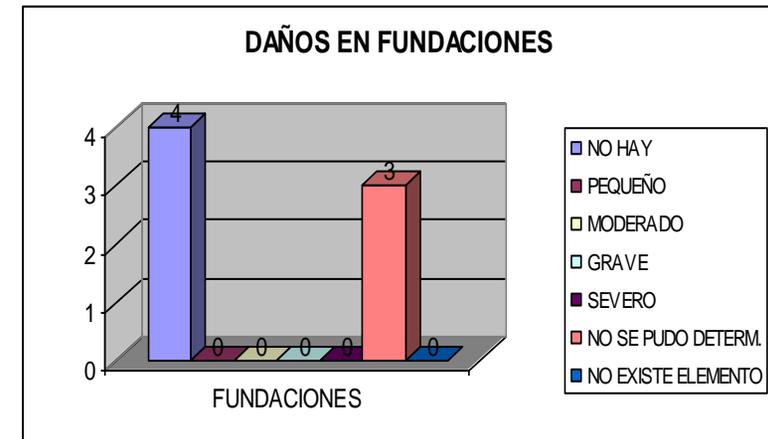
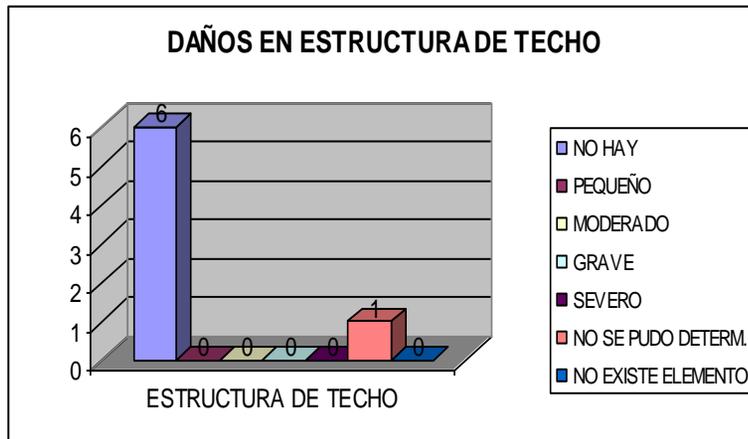
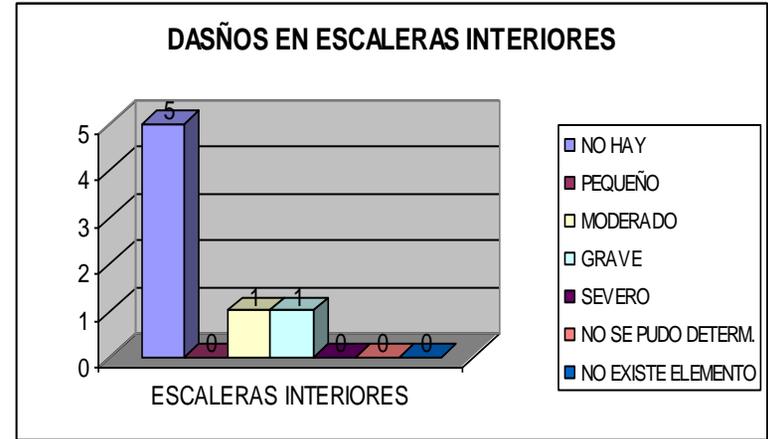
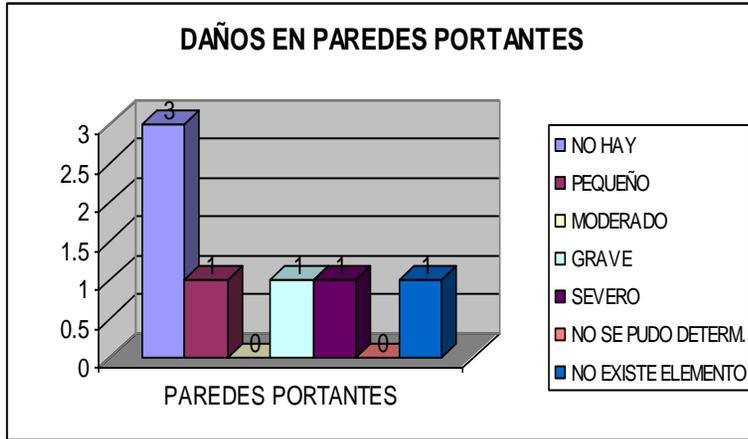


Fig. 3.15 representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de acero

En los edificios con sistema estructural sismorresistente a base de marcos de acero, debido a la poca cantidad de evaluaciones efectuadas a este tipo de estructuras, no se puede tomar los datos como representativos de la muestra además, como se observa en la tabla 3.7 y las figuras 3.14 y 3.15 los porcentajes de daños no podrían ser veraces debido a la poca cantidad de datos con los que se obtendrían.

En la figura 3.17 se presenta un esquema general de los resultados de los daños en vigas, columnas, losas y paredes en edificios con sistema sismorresistente a base de marcos de acero.

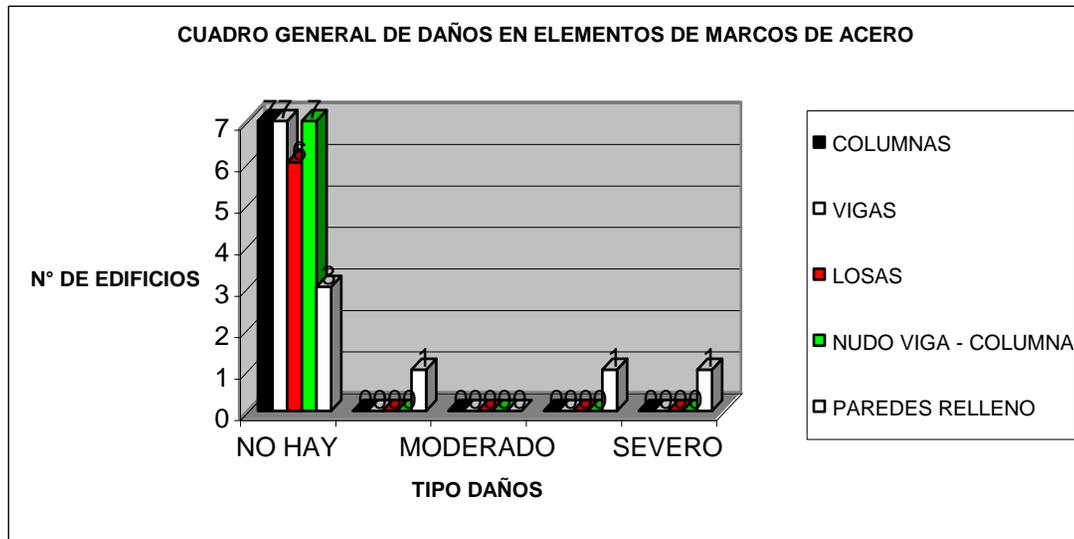


Fig. 3.16 Representación general de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de marcos de acero.

**SISTEMA DUAL (sistema tipo C)**

	<b>COLUMNAS</b>	<b>VIGAS</b>	<b>LOSAS</b>	<b>NUDO VIGA - COLUMNA</b>	<b>PAREDES PORTANTES</b>	<b>ESCALERAS INTERIORES</b>	<b>ESTRUCTURA DE TECHO</b>	<b>FUNDACIONES</b>
<b>NO HAY</b>	51	52	49	56	35	58	55	52
<b>PEQUEÑO</b>	11	13	11	9	16	7	5	0
<b>MODERADO</b>	3	2	7	2	9	2	2	1
<b>GRAVE</b>	2	1	0	0	3	0	2	1
<b>SEVERO</b>	0	0	0	0	0	1	1	0
<b>NO SE PUDO DETERM.</b>	0	0	1	1	0	0	2	13
<b>NO EXISTE ELEMENTO</b>	1	0	0	0	5	0	1	1
	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>

Tabla 3.8 Resultados de los daños observados en edificios sistema sismo resistente Tipo C

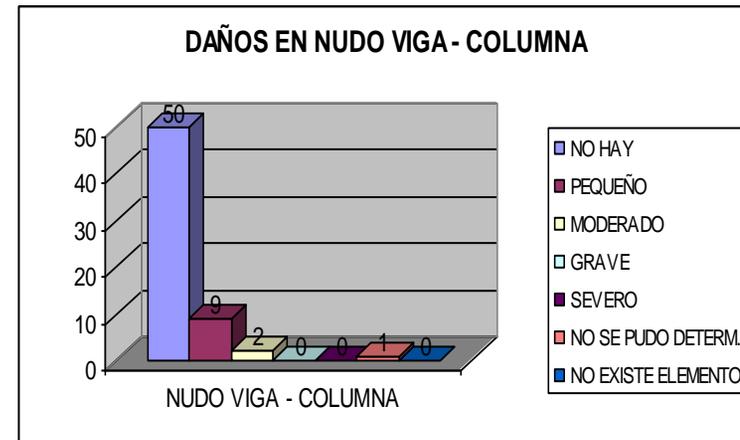
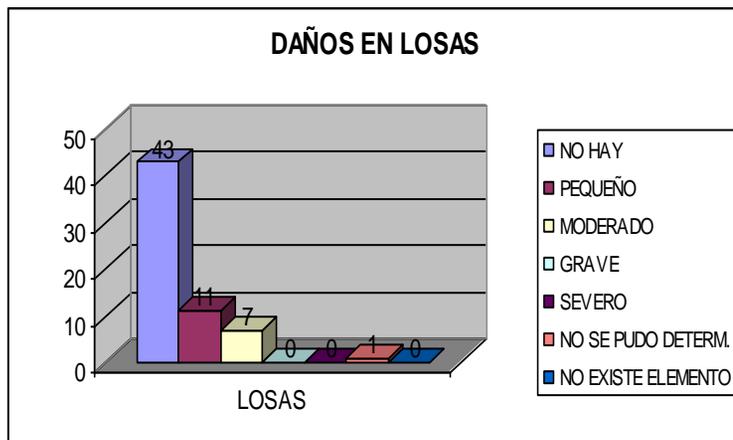
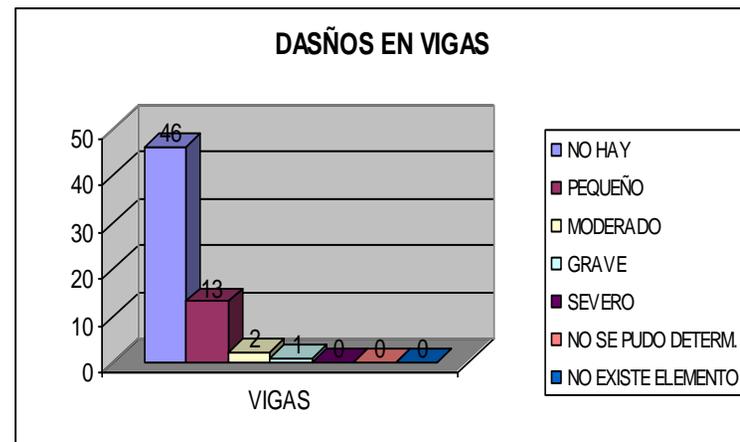
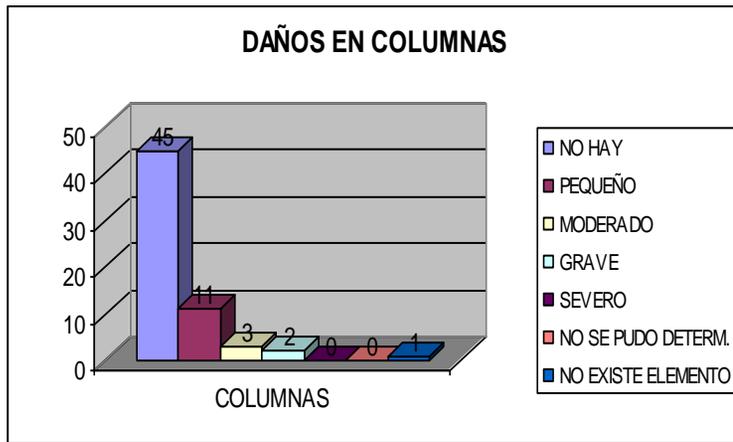


Fig. 3.17 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema tipo C

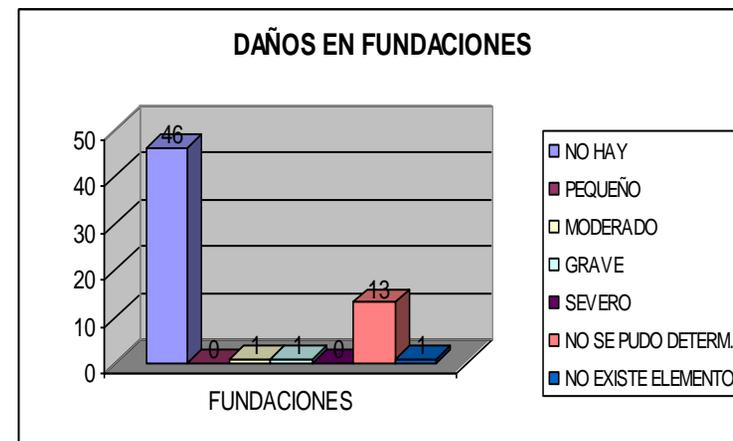
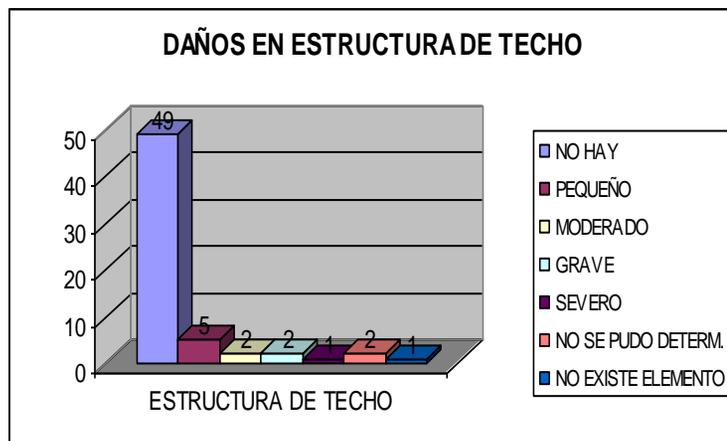
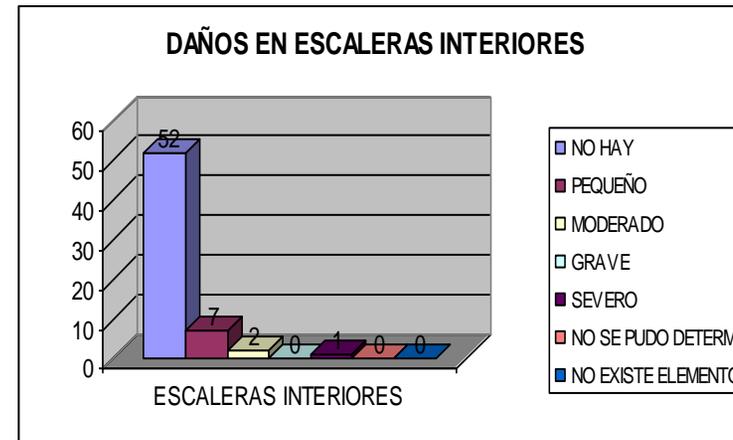
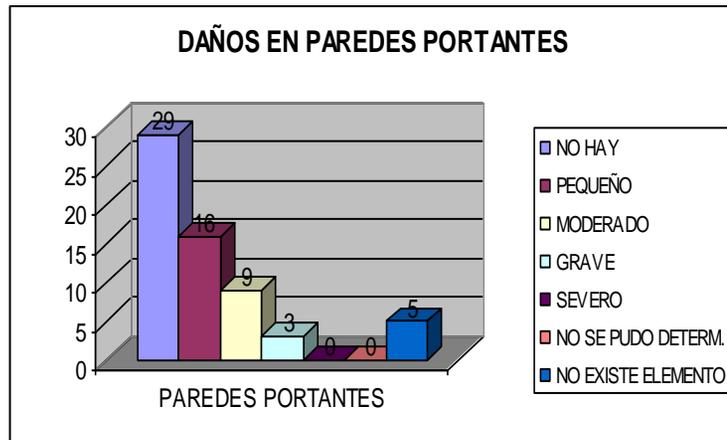


Fig. 3.18 Representación de los daños en los elementos estructurales en edificios a base de sistema tipo C

De la tabla 3.8 y las figuras 3.17 y 3.18 se puede observar que la mayoría de los edificios con sistema sismorresistente a base de un sistema dual (tipo C) no presentan daños en elementos tales como columnas, vigas, paredes, losas y nudos viga-columna.

Las columnas en un 66% no presenta daños, un 16% presenta daños pequeños, 4% daño moderado, 3% daño grave.

En cuanto a daños en vigas un 68% no presenta daños, un 19% presenta daños pequeños, 3% daño moderado, 1% daño grave.

En los daños en paredes portantes se puede observar que un 42% no presenta daño, un 24% daños pequeños, un 13% daños moderados, 4% daño grave.

Para los daños en losas un 63% no presenta daño, mientras que el 17% presenta daños pequeños, 11% daños moderado.

En cuanto a los daños en las uniones viga-columna o nudos se presenta que un 78% no presentan daños, un 14% presenta daños pequeños, 3% daños moderados.

Para los daños en escaleras interiores, un 81% no presenta daño, un 11% daño pequeño, un 3% daño moderado y un 1% daño severo.

En las estructuras de techos, las cuales se consideran de estructuras metálicas, se puede observar que un 77% no presenta daño, así como un 8% daño pequeño, un 3% daño moderado, 3% daño grave y 1% daño severo. Debido a la misma dificultad que en los edificios a base de marcos de concreto reforzado en la observación veraz de las condiciones de las cimentaciones en este tipo de evaluaciones (preliminares) los datos acerca de los daños en cimentaciones presentan una gran tendencia a la

incertidumbre en el estado de tales elementos (no se pudo determinar, no se tiene información) con un 22% del total de edificios con esta clasificación.

De esto se observa que el elemento que mejor se comportó son los nudos en la unión viga-columna, siguiéndole las vigas y después las columnas, las losas, teniendo las paredes portantes el mayor porcentaje de daño de entre los diferentes tipos de elementos analizados.

En la figura 3.19 se presenta un esquema general de los resultados de los daños en vigas, columnas, losas y paredes portantes en edificios a base de un sistema dual como sistema sismorresistente.

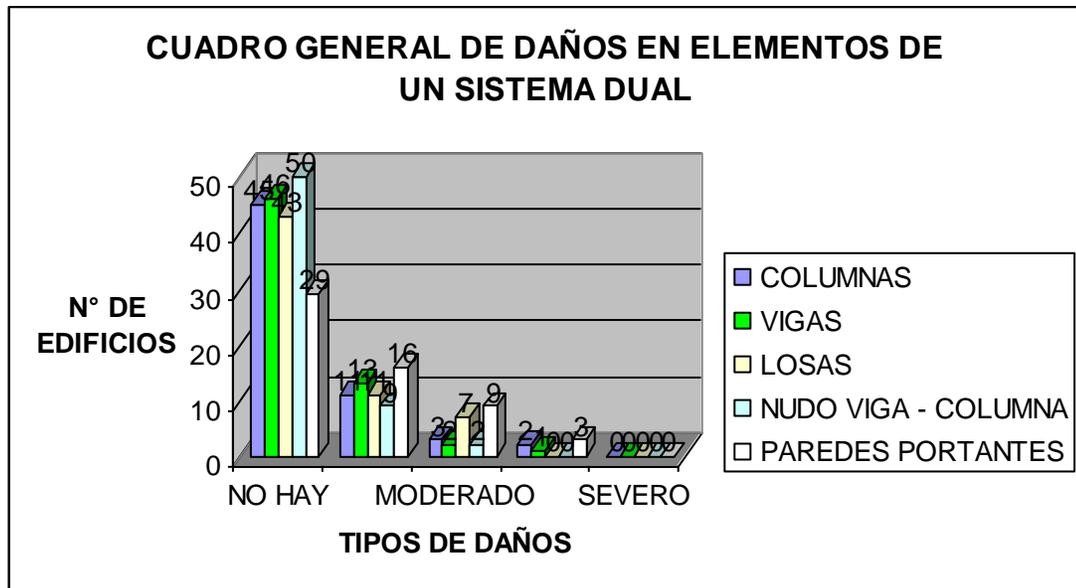


Fig. 3.19 Representación general de los daños en los elementos estructurales en edificios a base sistema tipo C.

En la tabla 3.9 se muestra la comparación del comportamiento en los elementos de edificios con sistemas sismorresistentes a base de marcos de concreto reforzado (tipo A) y sistema dual (tipo C).

	<b>MARCOS DE CONCRETO REFORZADO (tipo A)</b>	<b>SISTEMA DUAL (tipo C)</b>
<b>COLUMNAS</b>	69%	66%
<b>VIGAS</b>	71%	68%
<b>LOSAS</b>	77%	63%
<b>NUDO VIGA - COLUMNA</b>	82%	78%
<b>PAREDES DE RELLENO (O PORTANTES, SEGÚN SE APLIQUE)</b>	71%	42%
<b>ESCALERAS INTERIORES.</b>	70%	81%
<b>ESTRUCTURA DE TECHO</b>	80%	77%
<b>FUNDACIONES</b>	-	-

Tabla 3.9 Comparación del comportamiento en los elementos de edificios con sistemas sismorresistentes a base de marcos de concreto reforzado y sistema dual

Con formato: Izquierda: 4 cm,  
Arriba: 4 cm, Encabezado de primera  
página diferente

---

## **CAPITULO 4**

---

**“ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE PELIGROSIDAD Y  
VULNERABILIDAD EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN  
SALVADOR”**

## **ABSTRACTO INTRODUCCION**

En los siguientes apartados se hace un breve análisis acerca de la ponderación que se le da a los parámetros de peligrosidad como lo son la aceleración máxima (PGA) y la Velocidad Máxima (PGV) en la evaluación de daños de edificaciones y a la vez se presenta la comparación con los parámetros: Intensidad de Arias, Velocidad Absoluta Acumulativa y Duración Efectiva.

Posteriormente se describe la teoría básica de los parámetros de peligrosidad, como lo son la Intensidad de Arias, la Velocidad Absoluta Acumulativa y Duración Efectiva.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto, Cursiva

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto, Cursiva

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm

Con formato: Fuente: Sin Negrita

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm, Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

#### **1.4. PARAMETROS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES**

Con formato: Numeración y viñetas

En el análisis del comportamiento de las edificaciones ante los sismos existen diferentes factores que influyen en el Grado de Dañño sufrido ante dichos sismos, estos factores se pueden dividir en dos grupos: aquellos generados a partir de las características propias del sismo y las condiciones de emplazamiento (parámetros de Peligrosidad Sísmica) y aquellos que dependen de las características de las edificaciones (parámetros de Vulnerabilidad estructural ó comportamiento estructural).

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

##### **1.14.1 Parámetros de peligrosidad sísmica.**

Con formato: Numeración y viñetas

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Entre los parámetros de medición de movimiento fuerte mas importantes y que sirven para evaluar la peligrosidad en determinada zona a partir de registros acelerográficos, podemos citar:

- Aceleración máxima ó Peak Groundeater Acceleration (PGA)
- Velocidad máxima ó Peak Groundeater Velocity (PGV)
- Intensidad de Arias

▪ Velocidad Absoluta Acumulativa (CAV)

— Duración e Efectiva (DE)

▪

— De estos la aceleración máxima es el parámetro más ampliamente usado para caracterizar movimientos fuertes. Aunque generalmente, es de notar que la aceleración máxima se aplica a una estructura por una fracción de segundo y por ende solo se le podría considerar como un indicador del potencial para provocar daños para estructuras muy rígidas. Los estudios de campo de los efectos de los sismos han encontrado muy poca correlación entre la aceleración máxima y el nivel de daño. De hecho, hay muchos acelerogramas, con picos muy altos, registrados de edificios que casi no sufrieron ningún daño debido al sismo, entre ellos algunos registros del terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986, por ejemplo el Hotel El Salvador Sheraton (Shakal et al, 1987)

— La aceleración máxima ~~no comunica verazmente no comunica nada sobre~~ las características fundamentales de un acelerógrama, como su duración y su frecuencia dominante. Esto es ilustrado en la figura 44.1, ~~la cual que~~ muestra cuatro acelerogramas con idénticos valores absolutos de aceleración máxima.

Con formato: Interlineado: Doble, Con viñetas + Nivel: 1 + Alineación: 0 cm + Tabulación después de: 0.63 cm + Sangría: 0.63 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Numeración y viñetas

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm, Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

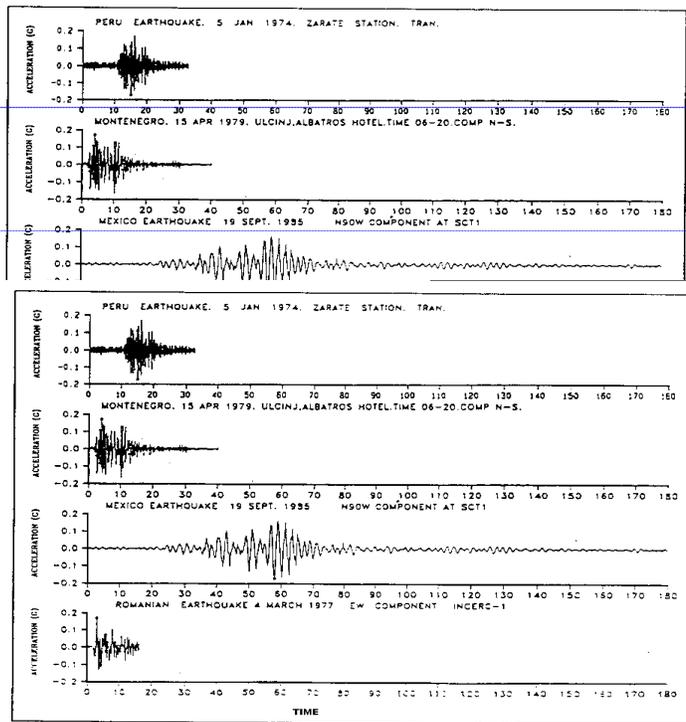


FIG. 4  
(tomad

l máxima.

FIG. 1 cuatro acelerogramas con idénticos valores absolutos de aceleración máxima.  
(tomado de Sismología para Ingenieros. Bommer J.)

La velocidad máxima, sin embargo, es de mayor interés porque tiene relación con la energía cinética del movimiento, aunque como la aceleración máxima solo registra un punto en toda la historia del acelerógrama, es por ello que se hace más conveniente considerar parámetros aunque no completamente distintos a estos, pero si con otro enfoque.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Así, de los parámetros de Peligrosidad Sísmica enumerados anteriormente, en este trabajo se propone utilizar la Intensidad de Arias, la Velocidad Absoluta Acumulativa y la Duración Efectiva como los parámetros a relacionar, ya que estos reflejan los aspectos del movimiento que mejor pueden explicar el daño (energía, contenido espectral y duración). ~~Y que además ya han sido utilizados en estudios similares en otros países,<sup>1</sup> así como también en el nuestro<sup>2</sup>.~~ Además se verificarán los valores de PGA y VGA. En los siguientes apartados se presenta una breve conceptualización de estos parámetros.

- Con formato: Fuente: 11 pto

#### **4.1.14.1.1 Intensidad de Arias (IA)**

Arias (1970) revisó la intensidad espectral definida por Housner (1959), y afirmó que sería preferible tener una definición de la energía contenida en un acelerógrama que fuera independiente del nivel de amortiguamiento y de parámetros arbitrarios (como los límites de período entre 0.1 y 2.5 segundos, sugeridos por Housner). Propuso que la medida de energía debería ser tal que se pudiera combinar los efectos de las tres componentes del movimiento, lo que no es posible hacer con la intensidad espectral.

Con formato: Fuente: 12 pto

---

<sup>1</sup> L. Cabañas y otros. "ANÁLISIS DE DAÑOS Y DE PARÁMETROS DEL MOVIMIENTO DEL SUELO CORRESPONDIENTES AL TERREMOTO DE IRPINIA (ITALIA) DE 1980."  
<sup>2</sup> B. Benito y otros. "CORRELACION ENTRE PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL SUELO Y DAÑO ESTRUCTURAL EN EL SALVADOR 1996"

Arias comenzó su análisis con la suposición de que el nivel de daño experimentado por una estructura es proporcional a la energía disipada por unidad de peso de la estructura durante la duración total del movimiento inducido por el sismo. Llegó a una medida de la energía del movimiento en donde pudo despreciar la influencia del amortiguamiento:

$$I_{xx} = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a_x^2(t) dt \quad \text{Ec 4.1}$$

Donde  $a_x(t)$  es un acelerógrama horizontal y T su duración;  $I_{xx}$  tiene unidades de velocidad. La intensidad de Arias también puede ser determinada considerando las tres componentes:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T (a_x^2 + a_y^2 + a_z^2) dt \quad \text{Ec 4.2}$$

#### 4.1.2 Velocidad Absoluta Acumulativa (CAV)

Fue definido inicialmente por el Electrical Power Research Institute (EPRI) en 1988<sup>3</sup> y posteriormente modificado en 1991. En esta última versión refleja el área bajo el acelerógrama absoluto, eliminando la influencia de pequeñas amplitudes, en principio no dañinas para la estructura.

<sup>3</sup> EPRI. (1988) "A criterion for determining exceedance of the operating basis earthquake". EPRI NP-5930. Electrical Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1988

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Para su estimación se toman ventanas de 1 segundo y se consideran los valores de aceleración sólo de aquellas ventanas en las que, al menos un pico, exceda un umbral fijado (en este caso el umbral es de 25 cms/seg<sup>2</sup>). Estos valores son los que se integran, de manera que **ella** CAV resultante es el área que se obtiene al sumar todas las ventanas significativas. Puede considerarse, por tanto, un parámetro estimativo de la capacidad del daño del movimiento, dado que los ciclos en principio no dañinos han sido eliminados. Un esquema de su definición y cálculo se muestran en la

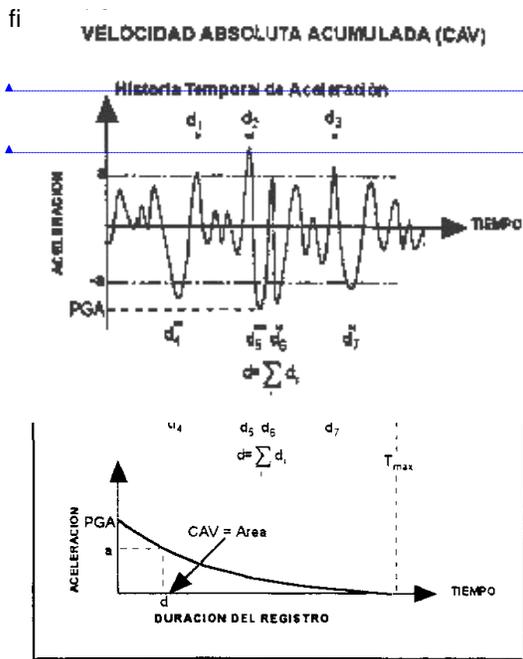


Fig.4.22 Esquema de **calculocálculo** de la Velocidad Absoluta Acumulativa (CAV)

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

#### 4.1.3 Duración del movimiento fuerte.

Un acelerógrafo se dispara con el primer pulso de movimiento que supere un mínimo nivel de aceleración y se apaga tras un intervalo en el que este nivel no sea alcanzado. Lo que es de interés desde el punto de vista del ingeniero es la duración de la sacudida fuerte. Las definiciones de duración del movimiento fuerte pueden ser agrupadas en tres tipos, a las cuales se les puede dar el nombre de “entre corchetes”, “uniforme” y “significativa”.

Una duración “entre corchetes” es el intervalo entre la primera y la última vez que la aceleración absoluta excede un cierto nivel. Ambraseys y Sarma (1967) usaron un nivel de 0.03g y Bolt (1974) propuso que se podían usar ~~varios~~ diferentes niveles, como 0.05g y 0.1g.

Una duración “uniforme” es la suma de los intervalos durante los cuales la aceleración absoluta es mayor de un cierto nivel, (Bolt, 1974). Sarma y Casey (1990) propusieron una nueva definición que se basa en el concepto de la duración uniforme.

La duración “significativa” se basa en el grafico del aumento de la integral de la aceleración al cuadrado, figura 4.3, que se conoce como un diagrama de Husid (Husid

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

et al, 1969). El área total debajo de la curva es proporcional a la intensidad de Arias y la pendiente promedio sobre un dado intervalo es igual a la aceleración al cuadrado. Donovan (1973) propuso que se usara la duración que corresponde al intervalo en que se alcanza el 90% del nivel máximo y Trifunac y Brady (1975) el intervalo entre el 5% y el 95% del total; Estos últimos también utilizaron los gráficos de acumulación de velocidad y desplazamiento para definir la duración.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

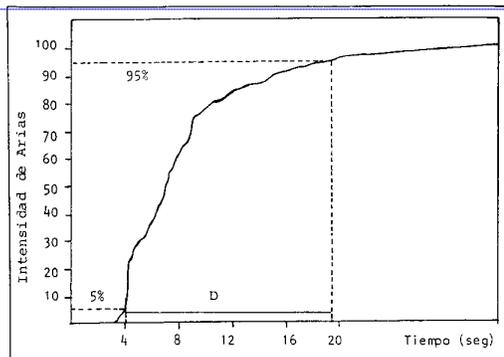


Fig.4.-3 Diagrama de Husid y la definición de Duración "significativa" según Trifunac y Brady (1975)

Con formato: Fuente: 12 pto

### 44.1.3.1 Duración efectiva (DE)

En 1997 Bommer y Martinez-Pereira se basaron en la duración significativa definida por Tritunac y Brady (1975) para poder determinar la duración efectiva, haciendo uso de criterios absolutos, tal como se muestra de manera esquemática en la figura 4.4. Para estimar esta duración se parte ~~La manera de determinar el parámetro de duración a utilizar (DE) es la propuesta por Bommer y Martinez-Pereira (1997)<sup>4</sup> la cual esta basada en la duración significativa definida por Trifunac y Brady (1975), pero a diferencia de ésta el comienzo y el final de la fase fuerte se miden con criterios absolutos, tal como se muestra de forma esquemática en la figura 4. Para estimar esta duración se parte~~ del diagrama de Husid, en el que se presenta la Intensidad de Arias frente al tiempo y se toma el intervalo  $t_f - t_o$  como duración efectiva; siendo  $t_o$  el tiempo para el cual la IA alcanza un umbral de 0.01 m/s y el  $t_f$  el tiempo para el cual la energía del registro es 0.125 m/s. De esta manera se tiene una medida objetiva del intervalo de tiempo en el que se encuentra comprendida una cierta cantidad de energía.

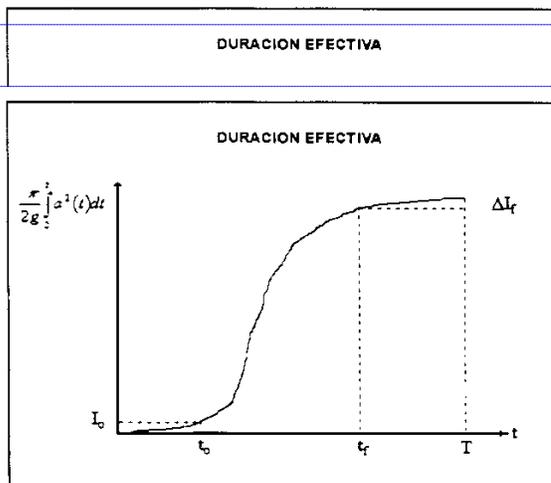


Fig. 4.4 Esquema de ~~calculo~~ cálculo de la Duración Efectiva (DE)

“earthquake strong-motion duration”.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Como se puede apreciar en los apartados anteriores, la duración que puede considerarse como más representativa del intervalo de tiempo en que el sismo es más peligroso para la estructura, es la duración efectiva definida por Bommer y Martínez-Pereira ya que debido al uso de los criterios absolutos garantiza que se consideren solo los acelerogramas que contengan Intensidades de Arias elevadas, de tal forma que si un acelerograma posee una pequeña Intensidad de Arias reflejada en el diagrama de Husid no podrá considerarse como dañino, así mismo se puede observar que la duración significativa definida por Trifunac y Brady o la definida por Donovan (1973) que la definieron como porcentajes del gráfico de Husid no importa la magnitud o el potencial de la intensidad de arias ya que solo se le calculan dichos porcentajes y tenemos la duración significativa lo que conlleva a que esta duración la tendremos para cualquier acelerograma aun cuando la Intensidad de Arias para esta sea mínima.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Interlineado: Doble, Punto de tabulación: 1.75 cm, Izquierda

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto, Sin Cursiva

Con formato: Fuente: 11 pto

Por lo anterior, en este trabajo se considerará la duración efectiva como uno de los parámetros de peligrosidad a utilizar dentro de las correlaciones.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

## ***ABSTRACTO 2***

En los siguientes apartados se describen las redes acelerográficas existentes en nuestro país (CIG,UCA) de las cuales se tomaran los registros (acelerogramas) para el calculo de los parámetros de peligrosidad que se utilizaran en las correlaciones; posteriormente se describe el procedimiento de calculo para dichos parámetros que se seguirá en este trabajo, elaborándose seguidamente correlaciones entre los parámetros vrs la distancia epicentral, se dan los resultados por medio de tablas y gráficos para todos los registros a nivel nacional, después se presentan los resultados obtenidos para los registros cercanos a la zona del AMSS.

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Derecha

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

#### **4.21.2. Calculo de los parámetros de movimiento fuerte correspondientes a los sismos del 2001.**

Al registro producido por un acelerógrafo se le conoce como acelerógrama y es la representación más completa del movimiento del terreno inducido por un sismo. A partir del registro de un acelerógrama se pueden calcular los parámetros de peligrosidad expuestos en las secciones anteriores.

Con formato: Fuente: 12 pto

#### **4.2.1 Redes acelerográficas**

En El Salvador y específicamente en el AMSS, existen dos redes acelerográficas: la red acelerográfica del Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) y la red acelerográfica de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA) de las cuales se tomarán los registros a utilizar en el análisis de los parámetros de movimiento fuerte. A continuación se muestran los distintos formatos en los que se encuentran los registros de los acelerogramas, para cada una de las redes acelerográficas antes mencionadas.

Con formato: Fuente: 12 pto

#### *4.2.12.1 Formato de los acelerogramas según red UCA*

Los archivos se encuentran en formato de archivo de texto. Los nombres de archivos tienen el siguiente formato:

“STYYNNNC.UCA”

en donde,

ST: corresponde al código de estación

YY: es el año del sismo (01 para este caso)

NNN: es un número correlativo (001 para el terremoto del 13 de enero y 051 para el del 13 de febrero)

C: indica que el archivo es corregido.

Los datos de aceleración, velocidad y desplazamiento inician de la segunda línea en adelante. Los datos están espaciados cada 0.005 segundos (200 muestras por segundo).

**Con formato:** Fuente: 11 pto

El formato de cada línea es el siguiente:

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Posición	Descripción
1-13	Aceleración Norte-Sur (cm/s <sup>2</sup> )
14-26	Velocidad Norte-Sur (cm/s)
27-39	Desplazamiento Norte-Sur (cm)
40-52	Aceleración Vertical (cm/s <sup>2</sup> )
53-65	Velocidad Vertical (cm/s)
66-78	Desplazamiento Vertical (cm)
79-81	Aceleración Este-Oeste (cm/s <sup>2</sup> )
82-94	Velocidad Este-Oeste (cm/s)
95-107	Desplazamiento Este-Oeste (cm)

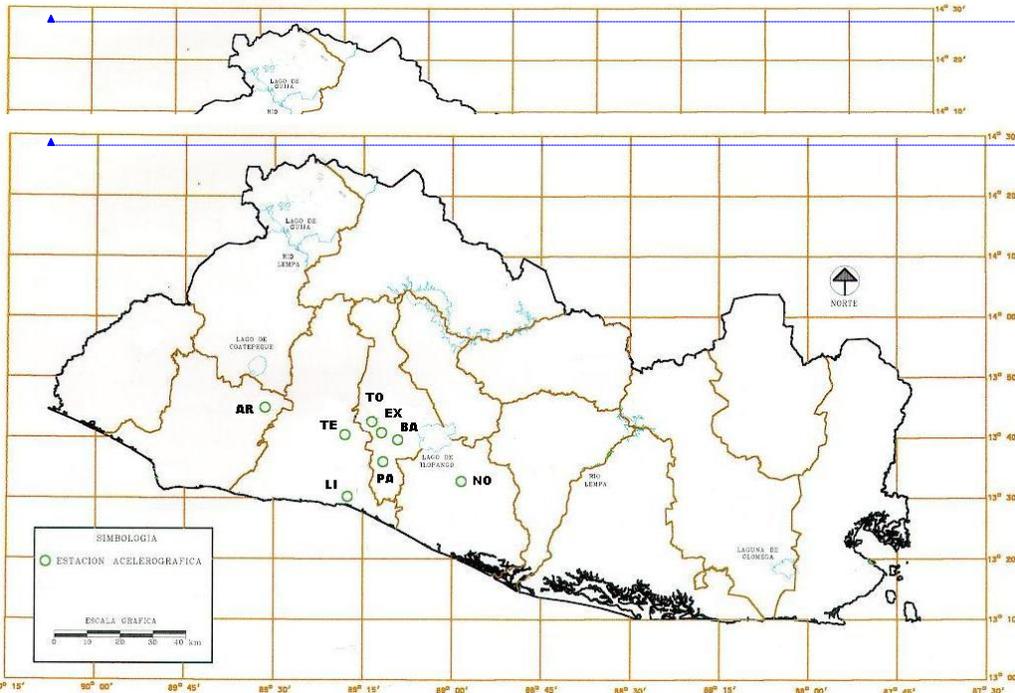
**Con formato:** Fuente: 11 pto

En la ~~siguiente~~ tabla [4.1](#) se muestra los nombres de las estaciones que comprenden esta red y la simbología utilizada para identificar a cada una de ellas, junto con la figura [4.5](#) en donde se presenta la ubicación de cada estación.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

ESTACION	CODIGO
Armenia	AR
San Bartolo	BA
Externado	EX
La Libertad	LI
San Pedro Nonualco	NO
Panchimalco	PA
Hospital San Rafael	TE
Tonacatepeque	TO

Tabla 4.1 Nombre y Simbología para estaciones de la Red UCA



- Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- Con formato: Fuente: 12 pto
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Tabla con formato
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Tabla con formato
- Con formato: Fuente: Arial, 10 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: 12 pto
- Con formato: Fuente: 12 pto
- Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- Con formato: Fuente: 12 pto

#### 4.24.12.2 *Formato de los acelerogramas según red CIG*

Los archivos de esta red acelerográfica se encuentran en un formato internacional denominado SMC implementado por el U.S. Geological Survey National Strong-Motion. Los archivos de estos registros, siguen el siguiente formato:

Desde la línea 1 hasta la línea 44 se presenta información acerca del sismo, el equipo, etc. ~~La cual entra en un segundo plano para el análisis que se llevará a cabo en este trabajo.~~

De la línea 45 en adelante se presentan los datos de aceleración en 8 columnas por línea.

Los nombres de archivos tienen el siguiente formato:

RRRRc\_x.smc

En donde,

RRRR es el **numer** número de serie de 4 dígitos del registro

c es el **número** de canal del registro (1, 2 y 3)

x es el identificador del tipo de dato (en este caso, "a" de aceleración)

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

En la **siguiente** tabla **4.2** se muestran los nombres y la correspondiente simbología de las estaciones que pertenecen a esta red acelerográfica; así mismo se presenta en la figura **4.6** la ubicación general de las mismas.

**Con formato:** Fuente: 12 pto

**Tabla 4.2 Nombre y Simbología para estaciones de la Red CIG**

ESTACION	CODIGO
Ahuachapan	AH
Acajutla CEPA	CA
Centro de Investigaciones Geotecnicas	CI
CESSA Metapan	CM
Cutuco	CU
Ciudadela Don Bosco	DB
San Miguel	MG
Observatorio	OB
Presa 15 de septiembre nivel (nivel 0)	QC
Relaciones exteriores (fondo)	RF
Relaciones exteriores (superficie)	RS

**Con formato:** Justificado, Interlineado: sencillo

**Tabla con formato**

**Con formato:** Fuente: 9 pto, Español (alfab. internacional)

**Con formato:** Fuente: Arial, 9 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble

Santa Ana	SA
Sensuntepeque	SE
Santiago de María	SM
Seminario San José de la Montaña (superficie)	SS
Santa Tecla	ST
Viveros DUA (superficie)	VS

Tabla 4.22 Nombre y Simbología para estaciones de la Red CIG

Tabla 2 Nombre y Simbología para estaciones de la Red CIG

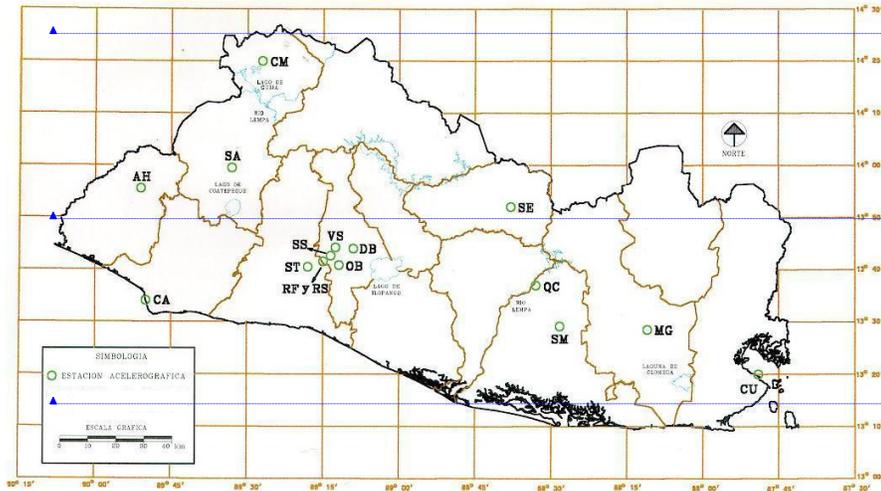


Fig. 4.6 Mapa de la Red de Estaciones Acelerográficas del Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG). Tomado de www.geotecnico.com

- ← Con formato: Interlineado: Doble
- ← Con formato: Fuente: 12 pto
- ← Con formato: Interlineado: Doble
- ← Con formato: Fuente: 12 pto
- ← Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- ← Con formato: Fuente: 12 pto
- ← Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- ← Con formato: Fuente: 12 pto

**Con formato:** Fuente: 12 pto

#### 4.2.1.3 Formato de los acelerogramas del sismo de Octubre de 1986

Los archivos de esta red acelerográfica se encuentran en un formato internacional denominado SMC implementado por el U.S. Geological Survey National Strong-Motion. Los archivos de estos registros, siguen el siguiente formato:

**Con formato:** Sangría: Primera línea: 0 cm, Interlineado: Doble

Teniéndose tres archivos por cada estación acelerográfica el primero de ellos tiene la información no corregida; el segundo contiene la información corregida y el tercero información de los espectros de Respuesta y de Fourier. De los archivos corregidos se tiene que desde la línea 1 hasta la línea 44 se presenta información acerca del sismo, el equipo, etc., de la línea 45 en adelante se presentan los datos de aceleración en 8 columnas por línea y posteriormente se encuentran los datos de velocidad y

desplazamiento (con el mismo formato de 8 columnas) para el canal de registro uno, dos y tres respectivamente.

En la tabla 4.3 se muestran los nombres y la correspondiente simbología de las estaciones de las cuales se cuenta con información; así mismo se presenta en la figura 4.7 la ubicación general de las mismas.

Los acelerogramas correspondientes a las estaciones ubicadas en el AMSS se muestran en el anexo A2 y A3

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Tabla 4.3

<u>ESTACION</u>	<u>CODIGO</u>
<u>Centro de Investigaciones Geotécnicas</u>	<u>CIG</u>
<u>Hotel Camino Real</u>	<u>HCR</u>
<u>Hotel Shetaton</u>	<u>HSH</u>
<u>Instituto Nacional de Geográfico</u>	<u>IGN</u>
<u>Instituto Urbano de la Construcción</u>	<u>IVU</u>
<u>Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"</u>	<u>UCA</u>

Con formato: Fuente: 10 pto, Sin Negrita

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto, Negrita

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto, Español (alfab. internacional)

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto, Español (España - alfab. tradicional)

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Interlineado: Doble

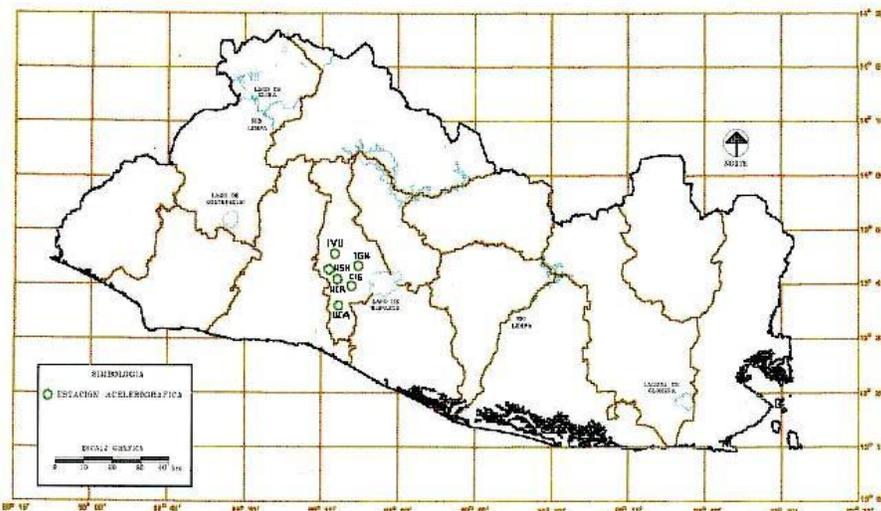
Con formato: Fuente: Arial, 10 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto



Con formato: Fuente: 12 pts

Fig. 4.76 Mapa de la Red de Estaciones Acelerográficas para el sismo de Octubre de 1986 del Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG). Tomado de [www.geotecnico.com](http://www.geotecnico.com)

#### 4.2.23 ~~Calculo~~Cálculo de la ~~il~~Intensidad de Arias (IA)

Para el ~~calculo~~cálculo de la Intensidad de Arias se parte del registro del acelerógrama correspondiente a las aceleraciones horizontales y verticales (dependiendo de la red acelerográfica en estudio). Según la ecuación 4.1, lo que se busca es trazar la curva cuya función sea el cuadrado de la aceleración y determinar el área bajo esta curva, para después multiplicarla por la constante  $\pi/2g$ . El procedimiento se puede describir en ~~los siguiente pasos~~los siguientes pasos:

Código de campo cambiado

- Se leen los datos de aceleración en el archivo del acelerógrama.
- Leídos los datos se procede a realizar los cálculos para encontrar el área bajo la curva, para ello se hace uso de algún método de integración numérica, en este caso utilizaremos el método de Newton-Cotes o “Regla ~~del tra~~trapezoidal ~~peque~~compuesta”.

Así, según 4.1

$$I_{xx} = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a_x^2(t) dt$$

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Código de campo cambiado

Utilizando la regla del trapecio para calcular el área bajo la curva de la aceleración al cuadrado:

$$A = \frac{h}{2} \left[ f^2(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f^2(x_i) + f^2(x_n) \right]$$

Ec - 4.3

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 11 pto, Disminuido 15 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

- Teniendo entonces este resultado, la intensidad de Arias será:

Con formato: Fuente: 12 pto

$$IA = \frac{\pi}{2g} [A] = \frac{\pi h}{4g} \left[ a^2(t_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} a^2(t_i) + a^2(t_n) \right]$$

Ec - 4.4

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Donde:

$h =$  ~~e~~El intervalo de cada trapecio al cual se le calcula el área, para este caso es igual a 0.005 segundos

Código de campo cambiado

$a^2(t_0) =$  ~~e~~El primer valor del acelerograma elevado al cuadrado.

Código de campo cambiado

$a^2(t_n) =$  ~~e~~El ultimo valor del acelerograma elevado al cuadrado.

Código de campo cambiado

$a^2(t_i) =$  ~~son~~Son los valores intermedios del acelerograma (entre  $t_0$  y  $t_n$ ) elevados al cuadrado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Primera línea: 0 cm, Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

#### 44.2.34 ~~Calculo~~Cálculo de la ~~v~~Velocidad ~~a~~Absoluta ~~a~~Acumulativa (CAV)

De lo expuesto en 44.1.2, sabemos que la CAV es el área bajo la curva del acelerograma, pero para utilizar solo los valores de aceleración representativos a los daños, se tomaran ventanas de 1 segundo en las que la aceleración sobrepase un valor de 25 cm/seg<sup>2</sup> de tal forma que se desecharan las ventanas en las que la aceleración no alcance este valor. El procedimiento de ~~calculo~~cálculo se puede tomar como sigue:

- Se leen los datos de aceleración en el archivo del acelerograma.

- Se procede a comparar los valores de aceleración con el valor de 25 cm/seg<sup>2</sup> , si alguno de ellos sobrepasa dicho valor entonces se procede a calcular el área bajo la curva del acelerógrama para la ventana de tiempo en que se encuentre dicho valor de aceleración; dicho calculo se realiza con la regla ~~del trapecio~~trapezoidal compuesta, expuesta anteriormente en 44.2.23

Con formato: Fuente: 11 pto

Así: 
$$CAV_i = \frac{h}{2} \left[ a(t_o) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} a(t_i) + a(t_n) \right] \quad Ec - 4.5$$

Con formato: Fuente: 11 pto

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

~~donde~~Donde:

Con formato: Interlineado: Doble

$CAV_i$  = ~~es~~Es la velocidad absoluta acumulativa de una ventana en particular.

Código de campo cambiado

$h$  = ~~el~~El intervalo de cada trapecio al cual se le calcula el área, para este caso es igual a 0.005 segundos

Código de campo cambiado

$a(t_0)$  = ~~el~~El primer valor de la aceleración en la ventana de tiempo en estudio.

Código de campo cambiado

$a(t_n)$  = ~~el~~El ultimo valor de la aceleración en la ventana de tiempo en estudio.

Código de campo cambiado

$a(t_i) = \text{son}$  los valores intermedios de la aceleración (entre  $t_0$  y  $t_n$ ) en la ventana de tiempo en estudio.

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

- En caso que en la comparación de los datos de aceleración no se encuentre un valor igual o superior a  $25 \text{ cm/seg}^2$  entonces se procede a la siguiente ventana de 1 segundo.

~~La velocidad absoluta acumulativa será la suma de las velocidades absolutas acumulativas componentes del registro acelerográfico.~~

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Numeración y viñetas

Así, 
$$CAV = \sum_{n=i}^n CAV_i \quad \text{Ec-1.6}$$

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

#### 4.1.2.45 ~~Calculo~~Cálculo de la ~~e~~Duración ~~e~~Efectiva (DE)

Conociendo el valor de la ~~i~~Intensidad de Arias para cada intervalo de tiempo y sumando este valor sucesivamente (Intensidad de Arias acumulada), el calculo de la ~~e~~Duración ~~e~~Efectiva se realiza ubicando el tiempo en el cual la ~~i~~Intensidad de Arias acumulada es igual a  $1 \text{ cm/seg}$  y aquel para el cual la Intensidad de Arias acumulada

es 12.5 cm/seg. Asignándoles los calificativos de  $t_o$  y  $t_f$  respectivamente. Entonces la

Duración efectiva será la diferencia entre  $t_f$  y  $t_o$ , así:

$$DE = t_f - t_o$$

Ec - 4.6

Como se puede inferir, el ~~calculo~~ cálculo de estos parámetros es algo laborioso por el hecho de que los archivos acelerográficos constan de miles de registros de aceleración. Debido a ello, se ha elaborado un programa en Visual Basic<sup>5</sup> (PARMF) para que este ~~calculo~~ cálculo se pueda llevar a cabo en un tiempo mínimo con una precisión considerable.

#### 4.2.1.2.56 Resultados de cálculos de parámetros de movimiento fuerte

<sup>5</sup> Microsoft Visual Basic 6.0 para desarrollo de 32 Bits en Windows. Microsoft Corp. 1998.

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 12 pto

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 11 pto,  
Disminuido 7 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble



NO	67,8	NORTE-SUR	589,878	2586,816	4,995	533,208	41,757	7,177	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
		ESTE-OESTE	697,112	2846,618	5,435	498,369	26,041	4,726	Con formato: Fuente: 8 pto
		VERTICAL	363,107	2053,342	4,975	431,119	17,585	6,317	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
									Con formato: Fuente: 8 pto
PA	84,1	NORTE-SUR	56,492	712,164	9,375	183,568	10,805	5,193	Con formato: Fuente: 8 pto
		ESTE-OESTE	26,511	449,138	9,164	156,544	8,914	4,987	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
		VERTICAL	16,158	342,313	12,334	89,524	7,968	6,908	Con formato: Fuente: 8 pto
									Con formato: Fuente: 8 pto
TE	96,1	NORTE-SUR	318,069	1702,663	7,345	555,722	44,443	16,199	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
		ESTE-OESTE	345,618	1779,201	7,820	477,256	39,935	9,632	Con formato: Fuente: 8 pto
		VERTICAL	126,012	1154,921	3,935	268,118	19,324	7,547	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
									Con formato: Fuente: 8 pto
TO	94,6	NORTE-SUR	184,238	1558,987	4,765	278,488	22,211	4,649	Con formato: Fuente: 8 pto
		ESTE-OESTE	170,221	1536,904	5,960	216,026	21,688	9,268	Con formato: Fuente: 8 pto
		VERTICAL	92,026	1085,824	4,805	200,369	13,585	6,064	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
									Con formato: Fuente: 8 pto
<p>Tabla 3 Resultados del <del>calculo</del> cálculo de los parámetros de movimiento fuerte para los registros de la red acelerográfica de la UCA</p>									
<p>Tabla 4.5 Resultados del cálculo de los parámetros de movimiento fuerte para los registros de la red acelerográfica del CIG (2001)</p>									





			ESTE- OESTE	1169,400	3384,048	5,365	133,210	12,767	4,387	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
			VERTICAL	332,320	1888,260	4,780	87,633	5,989	2,993	Con formato: Fuente: 8 pto
SS	95		NORTE- SUR	109,780	986,918	9,465	266,750	14,988	6,274	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
			ESTE- OESTE	111,917	974,748	8,940	246,700	20,323	7,398	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
			VERTICAL	75,112	855,788	7,845	165,180	13,175	6,517	Con formato: Interlineado: Doble
ST	98		NORTE- SUR	767,648	2493,863	5,960	587,680	60,447	13,609	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
			ESTE- OESTE	650,327	2493,370	5,270	761,350	43,317	6,937	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
			VERTICAL	277,315	1547,848	4,525	463,600	21,582	7,058	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
VS	96,7		NORTE- SUR	91,916	472,223	1,190	301,420	21,883	s/r	Con formato: Interlineado: Doble
			ESTE- OESTE	91,507	454,115	1,200	305,500	37,287	s/r	Con formato: Fuente: Arial, 8 pto
			VERTICAL	47,222	344,683	1,825	207,010	12,529	s/r	Con formato: Fuente: 8 pto

Tabla 4 Resultados del calculo de los parámetros de movimiento fuerte para los registros de la red acelerográfica del CIG

**Nota: En las estaciones que presentan la simbología s/r no se posee registros en dicha dirección.**



IVU	5.3	NORTE-SUR	6876.9	379.155	3.98	362.97	-39.2	-9.8
		ESTE-OESTE	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r
		VERTICAL	17282.381	503.66	2.28	706.32	-55.6	-7.1
		NORTE-SUR	12593.87	581.436	4	-382.59	-32.9	6.2
UCA	3.8	ESTE-OESTE	3964.213	309.020	4.81	235.44	-9.3	-1.7
		VERTICAL	12176.365	544.644	4.5	421.83	-48.8	-11.6

Nota: En las estaciones que presentan la simbología s/r no se posee registros en dicha dirección.

#### 4.2.56.1 Comportamiento de los parámetros de movimiento fuerte en función de la distancia epicentral

En los siguientes gráficos se muestran el comportamiento de los parámetros de movimiento fuerte calculados para los registros acelerográficos de las ~~dos~~ redes CIG y UCA para el 2001, así como para los registros del sismo 1986, graficados ~~(CIG, UCA)~~ correspondiente al sismo del 13 de enero del 2001 ~~co~~ntra la distancia epicentral ~~de las~~ estaciones acelerográficas.

Donde:

IA = Intensidad de Arias

CAV = Velocidad Absoluta Acumulativa

DE = Duración Efectiva.

DTE = Distancia Epicentral de la estación.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial

**Con formato:** Sangría: Primera línea: 0 cm, Interlineado: Doble

$$PGA = 50.158 + (3.045 \cdot DTE) + (.0267 \cdot DTE^2) + (-.000284 \cdot DTE^3)$$

(r = .3988)

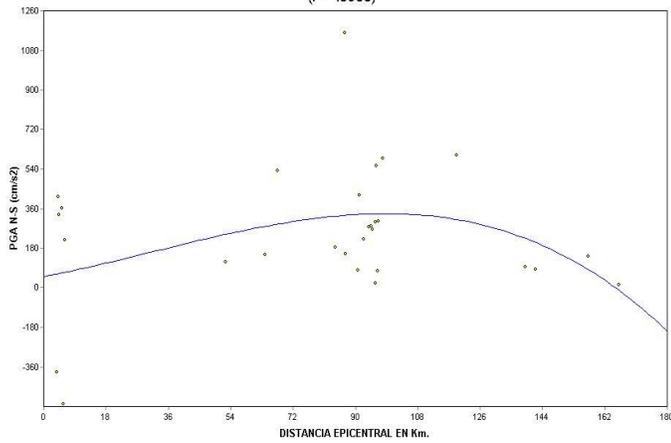


Figura 4-8: PGA-NS Vrs DISTANCIA

$$PGA = 211.035 + (-2.911 \cdot DTE) + (.0821 \cdot DTE^2) + (-.000431 \cdot DTE^3)$$

(r = .3699)

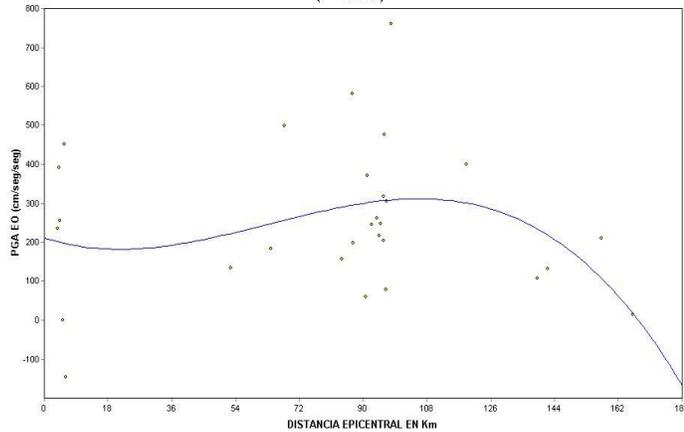
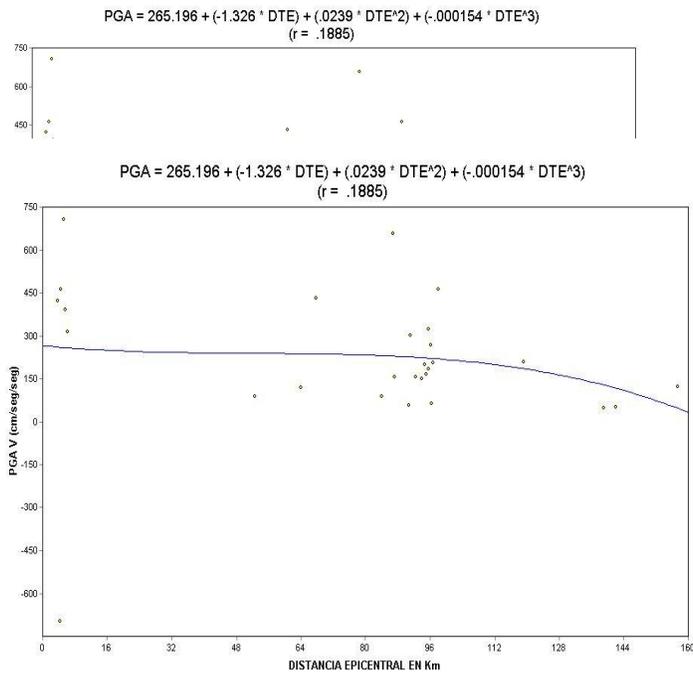


Figura 4.9: PGA-EO Vrs DISTANCIA



Como se puede ver en las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 la gran dispersión que existe entre los valores lo cual se ve aún más reflejado en el valor correspondiente del índice de correlación el cual oscila entre 0.1885 y 0.3988, lo cual nos indica que es muy poca la confianza que se puede tener a las curvas de relación entre la PGA y la distancia epicentral.

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

98

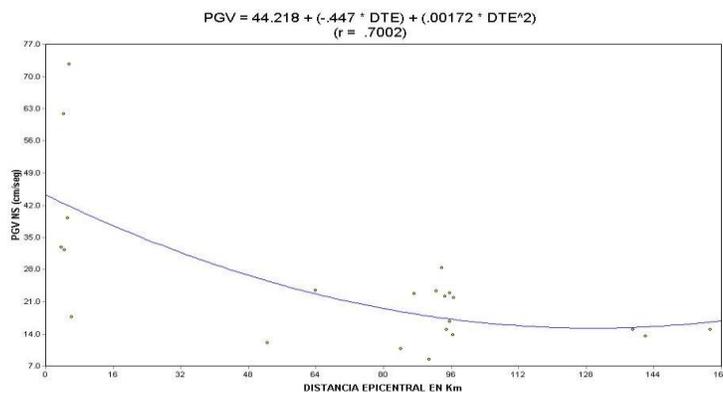


Figura 4.11: PGV-NS Vrs DISTANCIA EPICENTRAL

$$PGV = 10.925 + (-.191 * DTE) + (.00492 * DTE^2)$$

(r = .9812)

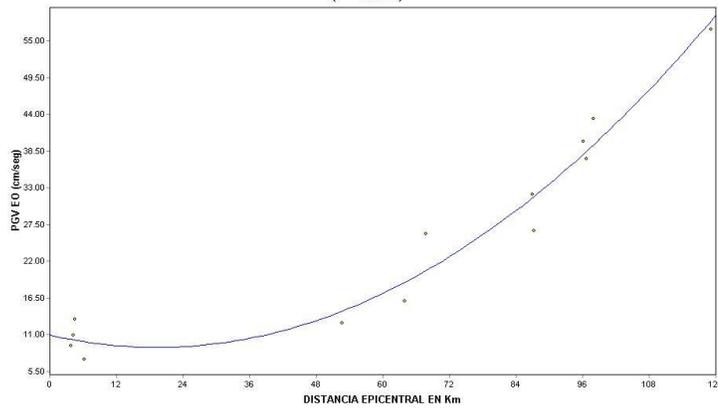


Figura 4.12: PGV-EO Vrs DISTANCIA EPICENTRAL

$$PGV = 60.839 + (-.867 * DTE) + (.00346 * DTE^2)$$

(r = .9446)

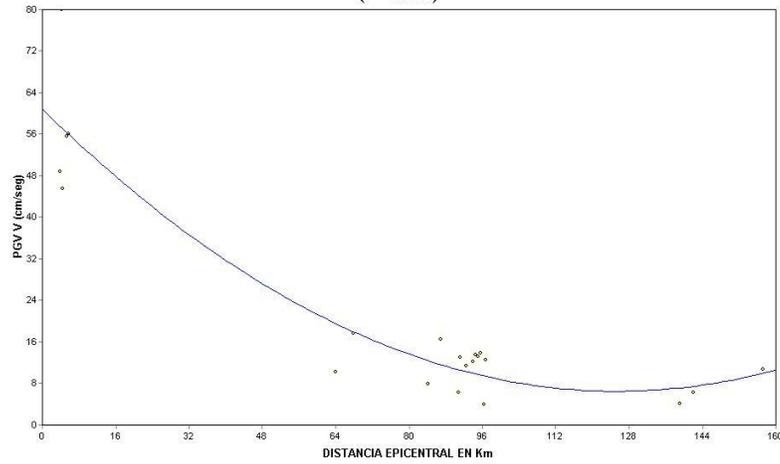


Figura 4.13: PGV-V Vrs DISTANCIA

Como se puede ver en las figuras 4.11, 4.12 y 4.13 a pesar de la dispersión que existe entre los valores, se ve que el índice de correlación oscila entre 0.7002 y 0.9812, lo cual nos indica que relación entre la PGV y la distancia epicentral es mucho mas aceptable que la existente entre la PGA y la distancia epicentral.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

$$IA = 13962.165 + (-411.479 \cdot DTE) + (3.933 \cdot DTE^2) + (-0.0119 \cdot DTE^3)$$

$$IA = 13962.165 + (-411.479 \cdot DTE) + (3.933 \cdot DTE^2) + (-0.0119 \cdot DTE^3)$$

(r = .9600)

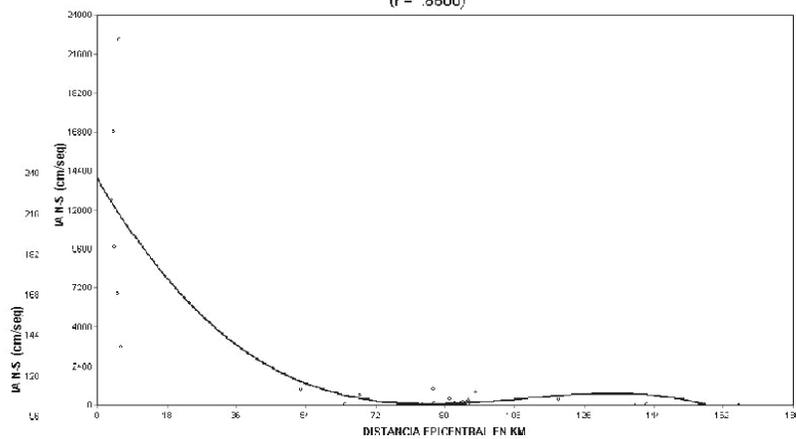
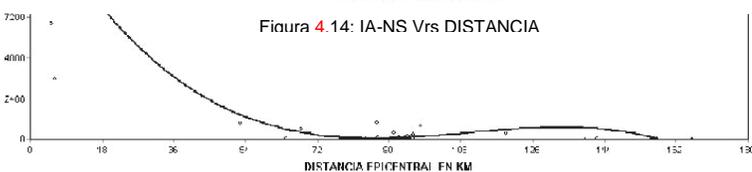


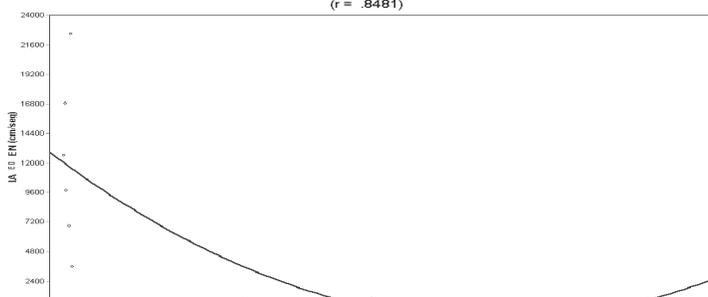
Figura 4.14: IA-NS Vrs DISTANCIA



$$IA = 12859.328 + (-227.293 \cdot DTE) + (.949 \cdot DTE^2)$$

(r = .8481)

100



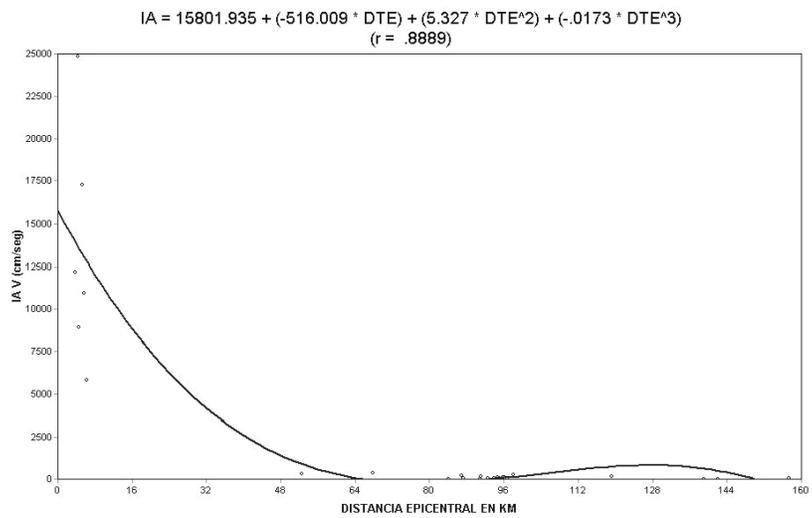
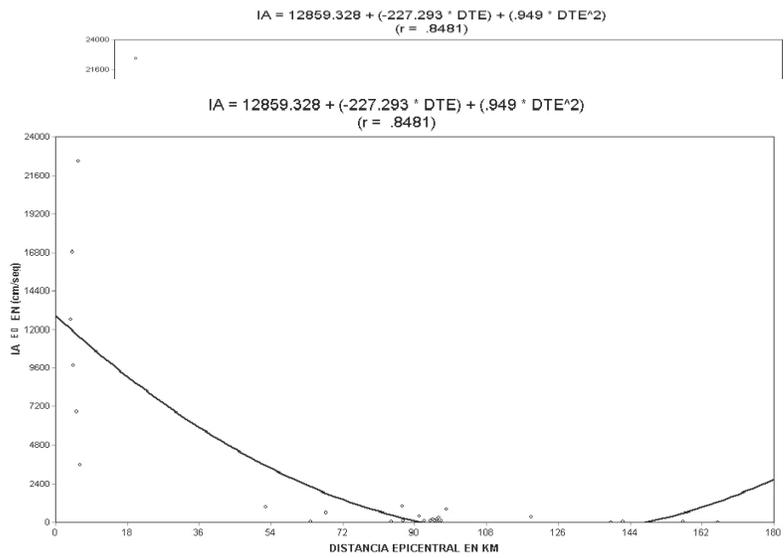
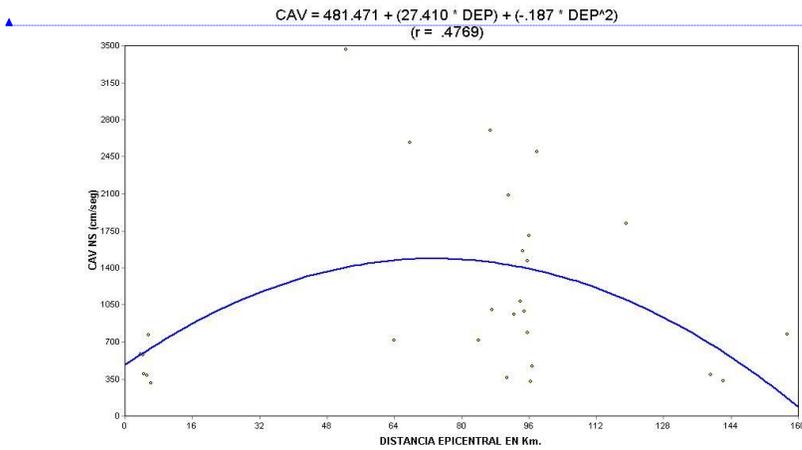


Figura 4.16: IA-V Vrs DISTANCIA EPICENTRAL

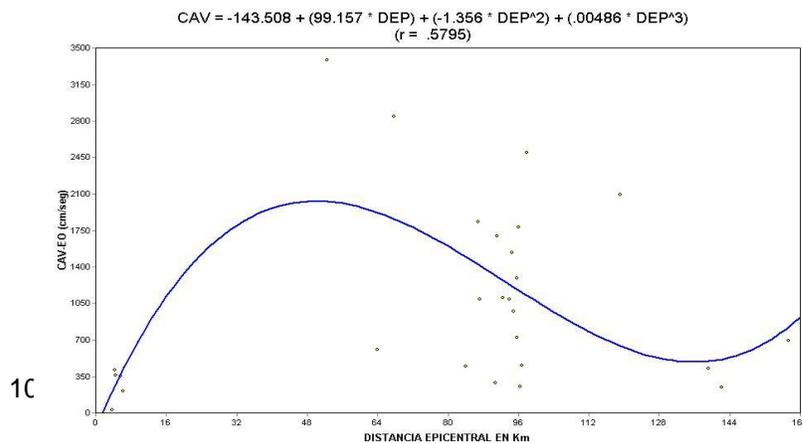
Al igual que las curvas de PGV vrs DTE, las curvas de IA vrs DTE presentan una correlación aceptable esto se puede ver en las figuras 4.14, 4.15 y 4.16, a pesar de la dispersión que existe entre los valores se ve que el índice de correlación oscila entre 0.8481 y 0.8889 lo cual nos indica que la correlación entre estas variables es aceptable.

Con formato: Interlineado: Doble



Con formato: Fuente: 12 pto

Figura 4.17: CAV-NS Vrs DISTANCIA



1C

Figura 4.18: CAV-EO Vrs DISTANCIA EPICENTRAL

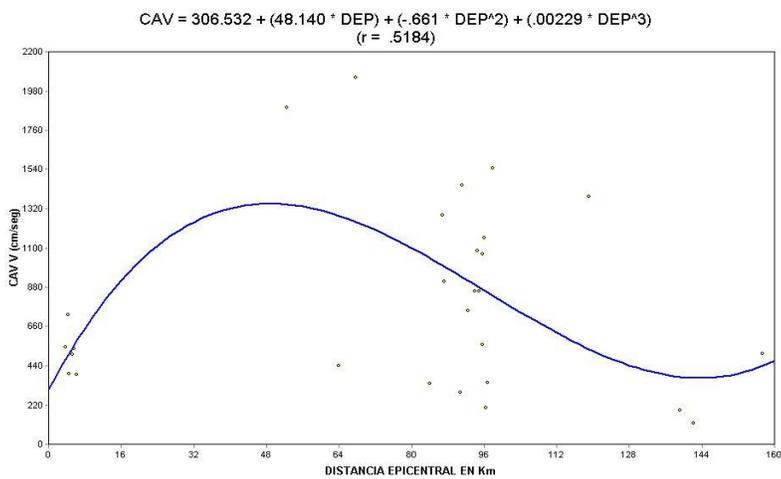
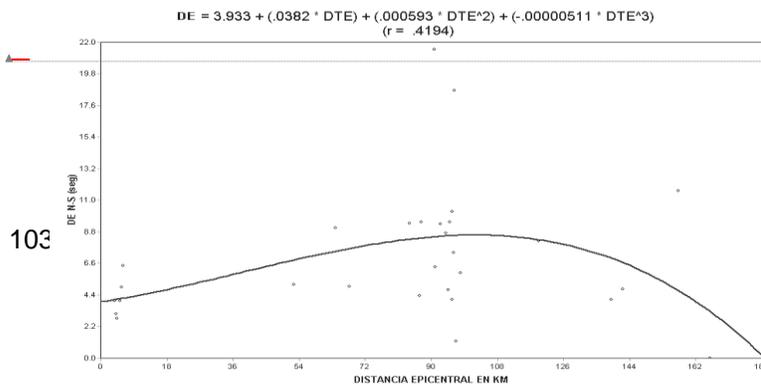


Figura 4.19: CAV-V Vrs DISTANCIA EPICENTRAL

Obsérvese la poca correlación que existe entre los datos en las figuras 4.17, 4.18 y 4.19 en la que se encuentran correlacionados la CAV vrs DTE, los cual también lo refleja el índice de correlación con valores bajos que se encuentran entre 0.4769 y 0.5795.

Con formato: Interlineado: Doble



Código de campo cambiado

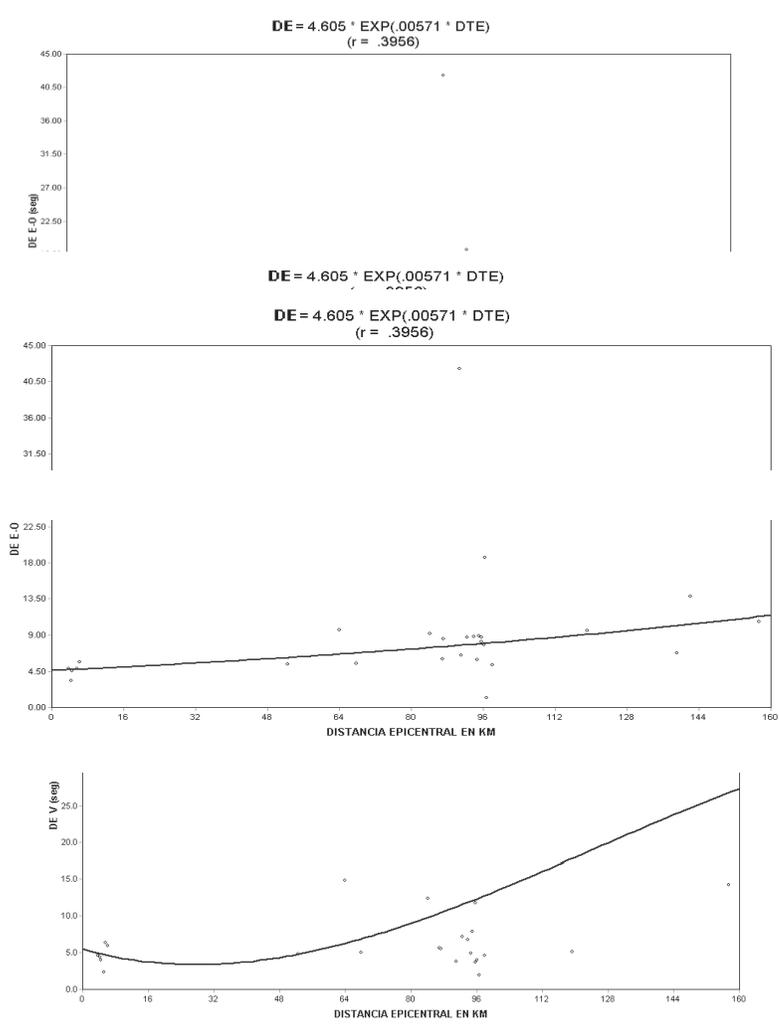


Figura 4.22: DE - V Vrs DISTANCIA EPICENTRAL

Obsérvese la poca correlación que existe entre los datos en las figuras 20, 21 y 22 en la que se encuentran correlacionados la DE vrs DTE, lo cual también lo refleja el índice de correlación con valores bajos que se encuentran entre 0.3956 y 0.4614. Las graficas anteriores son curvas que más presentan correlación entre los parámetros anteriormente expuestos y se observa que es la Intensidad de Arias al igual que la PGV son las que mejor se relacionan con la distancia epicentral, obteniéndose índices de correlación en el orden de 0.8481 a 0.8889 y de 0.7002 a 0.9812 respectivamente.

Con formato: Interlineado: Doble

Debido a la dispersión de los puntos la PGA, la CAV y la DE con respecto a la distancia epicentral, presentan correlaciones muy bajas esto conlleva a que no se tengan ecuaciones que reflejen la correlación que pueda existir entre estos parámetros.

De estos datos se puede observar que la distribución de puntos para todos los parámetros no presenta una tendencia muy definida, esto se puede explicar debido a que para obtener tendencias más claras es necesario considerar otros factores que intervienen en el comportamiento de dichos parámetros, por ejemplo se tendría que considerar el aspecto geológico a la hora de tomar registros, es decir, se puede obtener mejores resultados si se tomara en cuenta la homogeneidad en el tipo de suelo sobre el que se encuentra la estación.

Con formato: Fuente: 12 pto

Las ecuaciones acá mostradas, se han calculado auxiliándose del programa Simstat para Windows elaborado por Provalis Research Inc., 1996. el cual efectúa un análisis de regresión por el método de los mínimos cuadrados obteniéndose la ecuación resultante para pares de datos.

Con formato: Fuente: Sin Cursiva

Con formato: Fuente: Sin Cursiva

Cabe mencionar que las ecuaciones encontradas no deben tomarse como un estimador predictivo de estos parámetros, esto debido a que los valores de r encontrados para la PGA, la CAV y la DE varían entre 0.1885 y 0.5795 no se pueden

considerar altos, lo cual es un requisito indispensable para poder utilizar estas ecuaciones para encontrar valores predictivos de dichos parámetros. Sin embargo, nos muestran las tendencias de estas medidas de movimiento fuerte. No así las de la IA y la PGV que presentan valores de correlación altos.

Con formato: Fuente: 11 pto

Las ecuaciones de las curvas de tendencia obtenidas con estos datos se resumen en la siguiente tabla 4.7:

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm, Interlineado: Doble

Tabla 4.7: Ecuaciones del comportamiento de parámetros de movimiento fuerte en función de la distancia epicentral		
PARÁMETRO	ECUACION	COEFICIENTE r
Aceleración Pico (norte - sur)	$PGA = 50.158 + 3.045 * DTE + 0.0267 * DTE^2 - 0.000284 * DTE^3$	0.3988
Aceleración Pico (este-oeste)	$PGA = 211.035 - 2.911 * DTE + 0.0821 * DTE^2 - 0.000431 * DTE^3$	0.3699
Aceleración Pico (vertical)	$PGA = 265.196 - 1.326 * DTE + 0.0239 * DTE^2 - 0.000154 * DTE^3$	0.1885
Velocidad Pico (norte - sur)	$PGV = 44.218 - 0.447 * DTE + 0.00172 * DTE^2$	0.7002
Velocidad Pico (este - oeste)	$PGV = 10.925 - 0.191 * DTE + 0.00492 * DTE^2$	0.9812
Velocidad Pico (vertical)	$PGV = 60.839 - 0.867 * DTE + 0.00346 * DTE^2$	0.9446
Intensidad de Arias (norte - sur)	$IA = 13962.165 - 411.479 * DTE + 3.933 * DTE^2 - 0.199 * DTE^3$	0.8600
Intensidad de Arias (este-oeste)	$IA = 12859.328 - 227.293 * DTE + 0.949 * DTE^2$	0.8481
Intensidad de Arias (vertical)	$IA = 15801.935 - 516.009 * DTE + 5.327 * DTE^2 - 0.0173 * DTE^3$	0.8889

Tabla con formato

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Tabla con formato

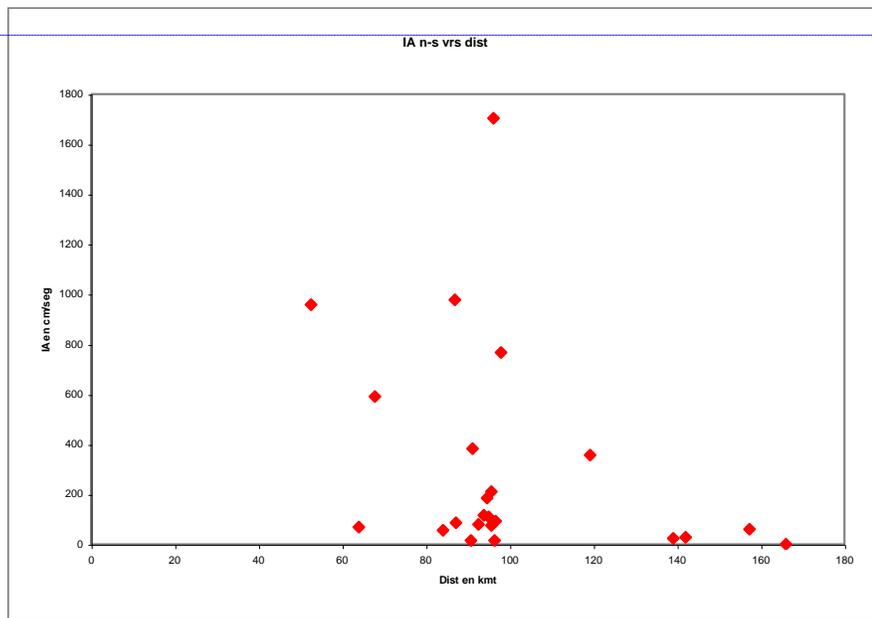
Código de campo cambiado

Velocidad Absoluta Acumulativa (norte – sur)	$CAV = 481.471 + 27.410 * DTE - 0.187 * DTE^2$	0.4769
Velocidad Absoluta Acumulativa (este – oeste)	$CAV = -143.508 + 99.157 * DTE - 1.356 * DTE^2 + 0.00486 * DTE^3$	0.5795
Velocidad Absoluta Acumulativa (vertical)	$CAV = 306.532 + 48.140 * DTE - 0.661 * DTE^2 + 0.00229 * DTE^3$	0.5184
Duración efectiva (norte - sur)	$DE = 3.933 + 0.382 * DTE + 0.000593 * DTE^2 - 0.00000511 * DTE^3$	0.4194
Duración efectiva (este – oeste)	$DE = 4.605 * EXP(0.00571 * DTE)$	0.3956

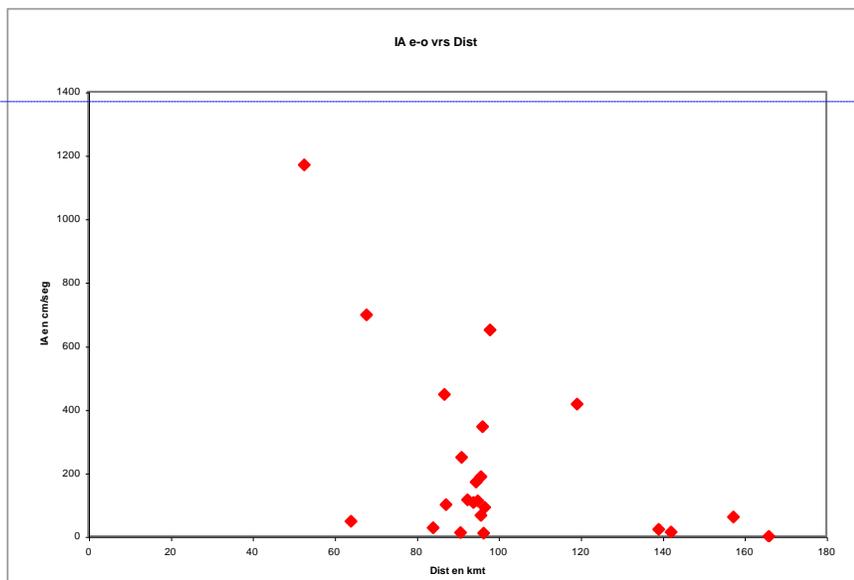
Código de campo cambiado

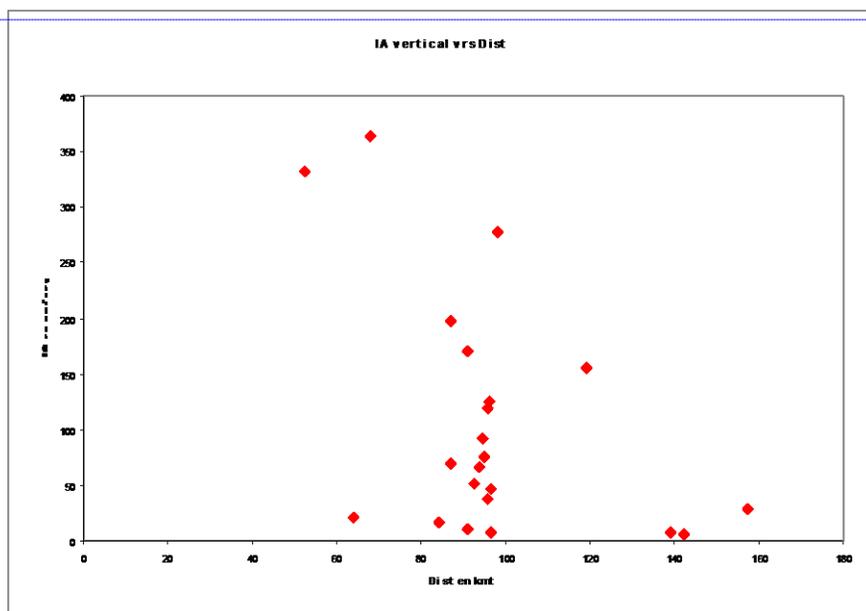
Con formato: Fuente: 12 pto  
Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto  
Con formato: Fuente: 12 pto



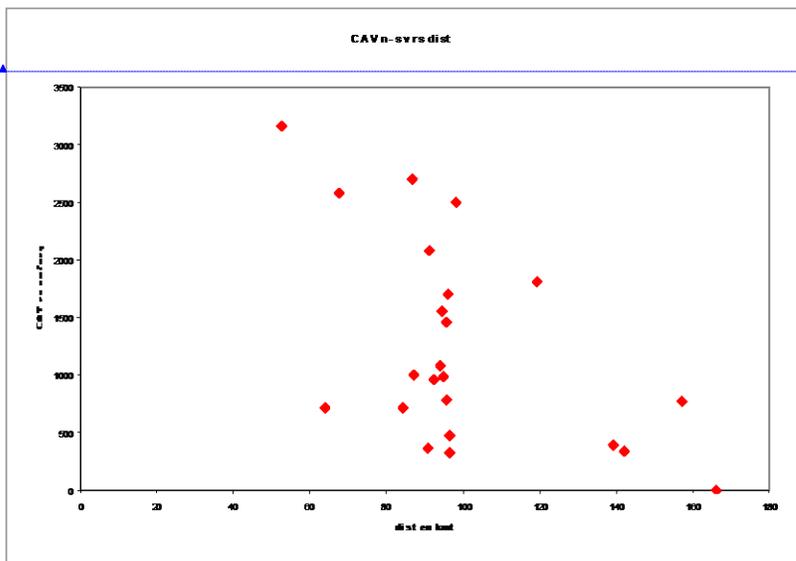
Con formato: Fuente: 12 pto  
Con formato: Fuente: 12 pto





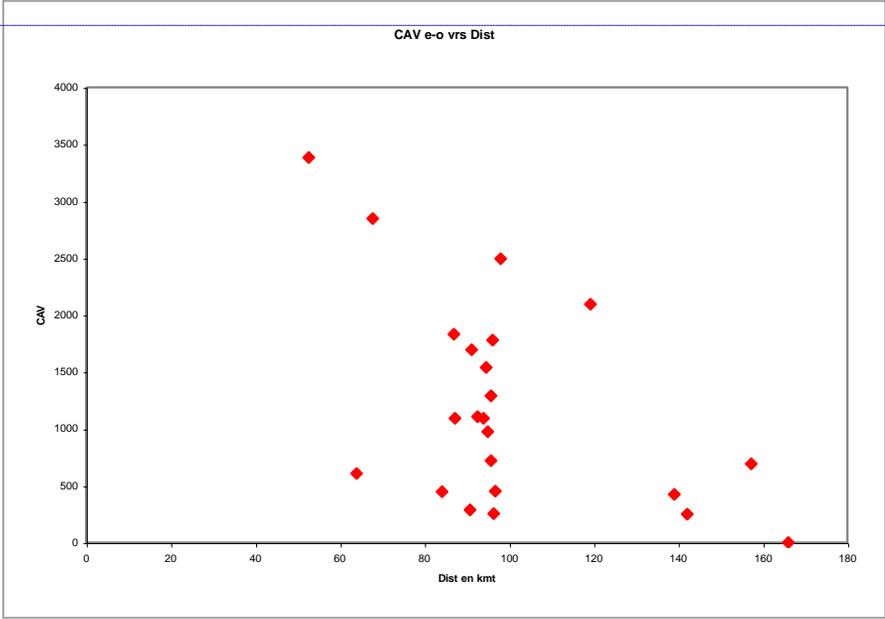
Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto



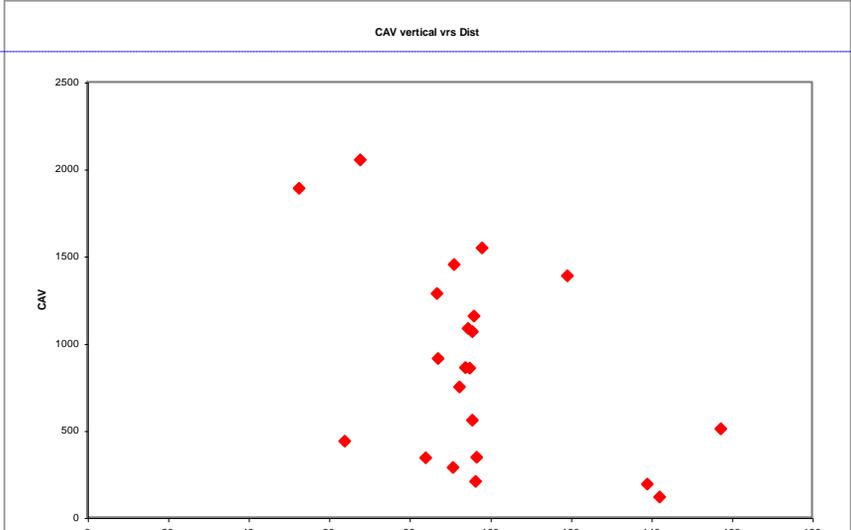
Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto



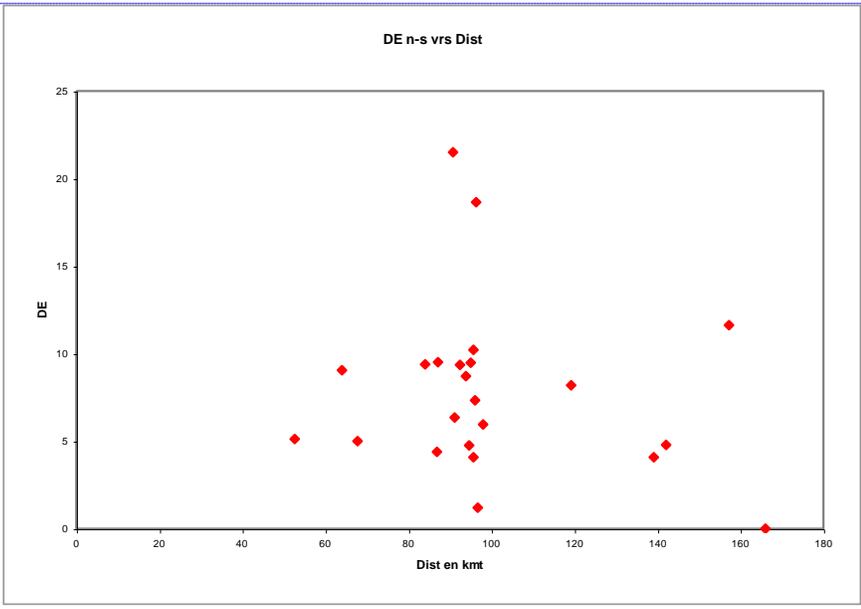
Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto



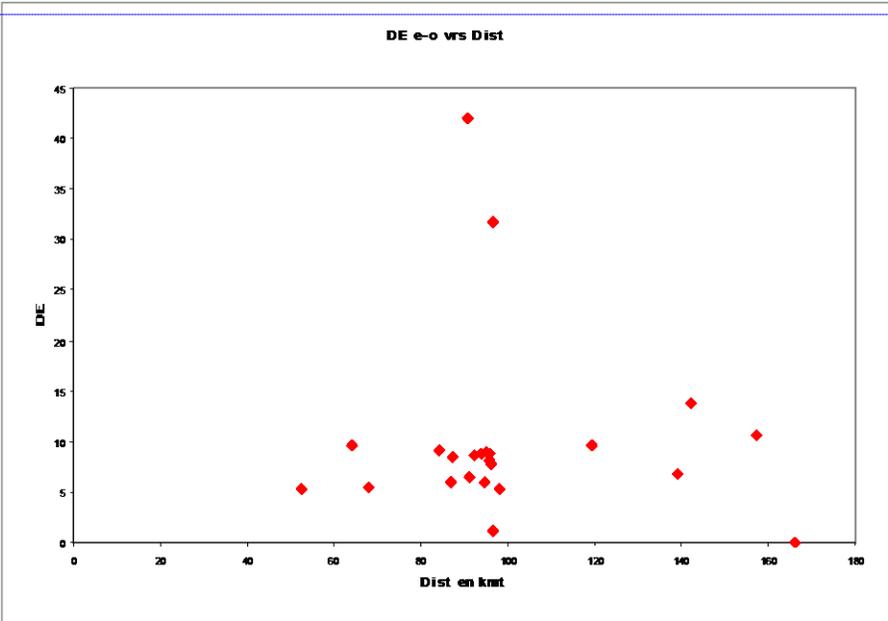
Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

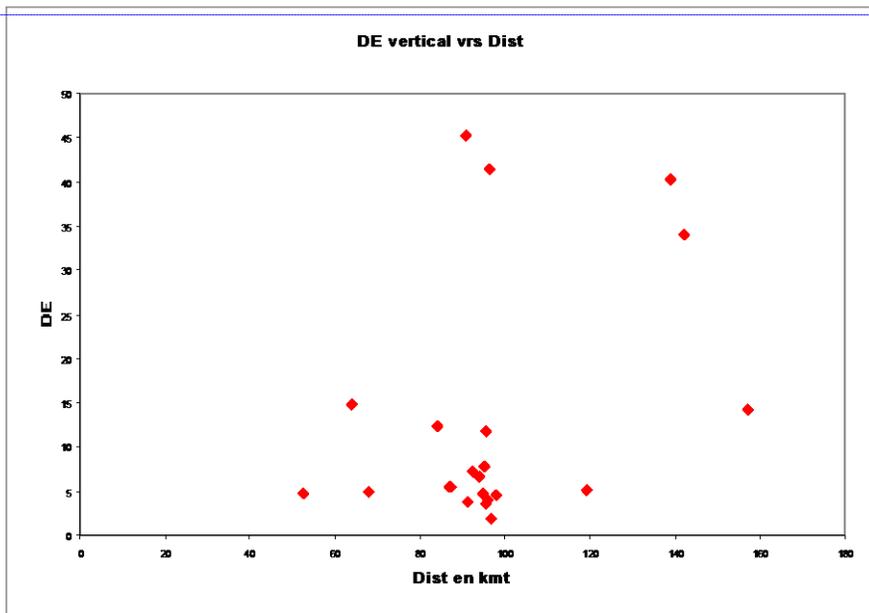


Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto



Con formato: Fuente: 12 pto  
Con formato: Fuente: 12 pto



Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Se observa que la mayoría de las estaciones se encuentran en el rango epicentral de 80 a 100 kmts, distancia que esta acorde al tipo de sismo en estudio (sismo de zona de subducción, con epicentro en el pacifico), aunque los

~~valores no se comportan de una manera uniforme, generalmente se tienen valores de IA por debajo de 300 cm/seg, siendo la componente vertical la que más presenta este comportamiento. Para la CAV el comportamiento es el mismo que para la IA solamente que el valor generalizado se encuentra por debajo de 200 cm/seg y para la DE los valores generalizados se encuentran por debajo de los 10 segundos.~~

~~De estos datos se puede observar que la distribución de puntos para todos los parámetros no presenta una tendencia definida, esto se puede explicar debido a que para obtener tendencias más claras es necesario considerar otros factores que intervienen en el comportamiento de dichos parámetros, por ejemplo se tendría que considerar el aspecto geológico a la hora de tomar registros, es decir, se puede obtener mejores resultados si se tomara en cuenta la homogeneidad en el tipo de suelo sobre el que se encuentra la estación. Es por ello que se han tomado las estaciones más cercanas al Área Metropolitana de San Salvador para verificar el comportamiento de estos parámetros y aunque es conocido que existe cierto grado de heterogeneidad en los suelos de esta zona, se asimilará como homogéneo.~~

~~Las estaciones a considerar se listan en la tabla 5, sin distinción de a que red acelerográfica pertenecen.~~

**Con formato:** Fuente: 12 pto,  
Tachado

ESTACION	CODIGO
San Bartolo	BA
Externado	EX
Tonacatepeque	TO
Ciudadela Don Bosco	DB
Observatorio	OB
Relaciones exteriores (fondo)	RF
Relaciones exteriores (superficie)	RS
Viveros DUA (superficie)	VS

Con formato: Fuente: Arial, 12 pto, Tachado

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Arial, 12 pto, Español (alfab. internacional), Tachado

Con formato: Interlineado: Doble

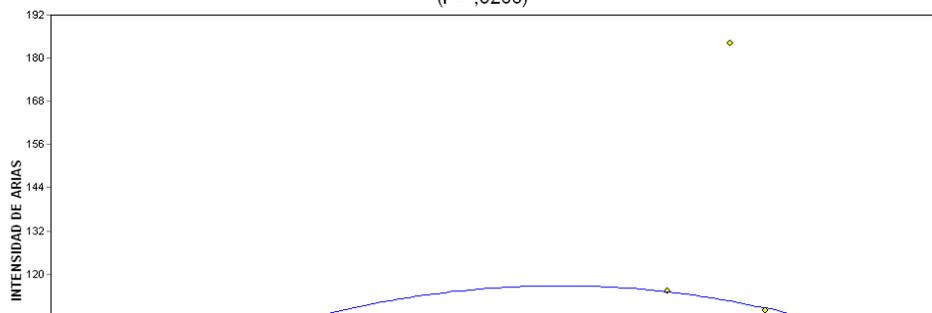
Con formato: Interlineado: Doble

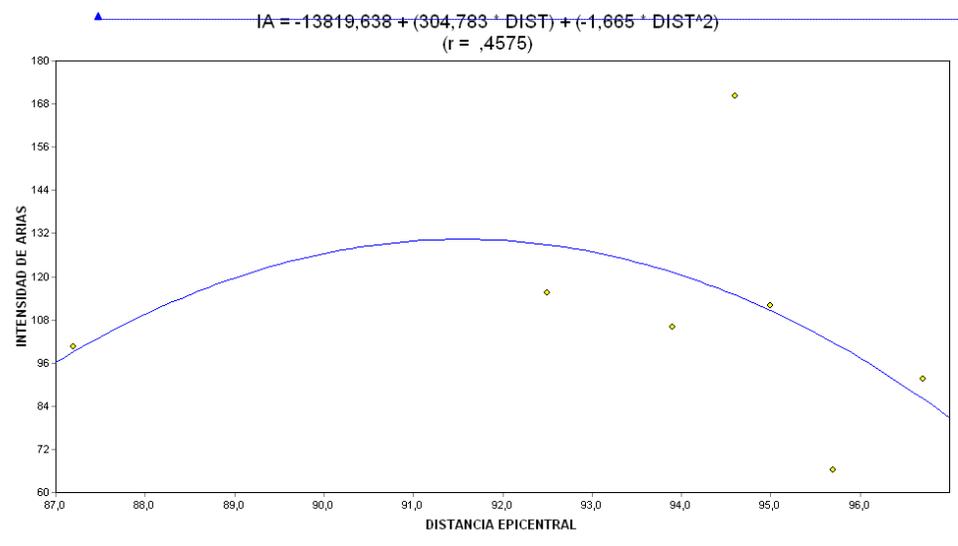
Tabla 5 Listado de las estaciones acelerográficas a tomar en cuenta para las relaciones entre los parámetros de movimiento fuerte y la distancia epicentral del sismo

Con formato: Fuente: 12 pto, Tachado

$$IA = -9879,933 + (215,716 * DIST) + (-1,164 * DIST^2)$$

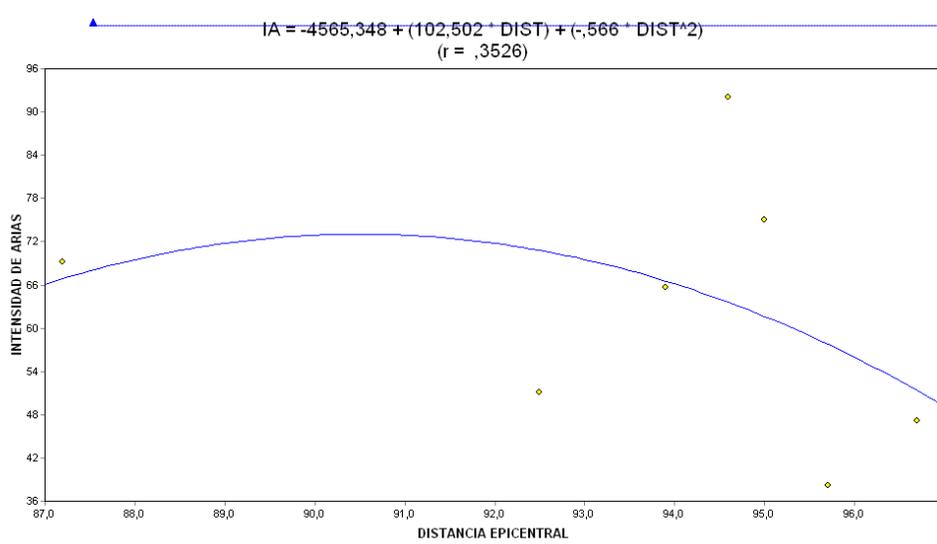
(r = ,3266)





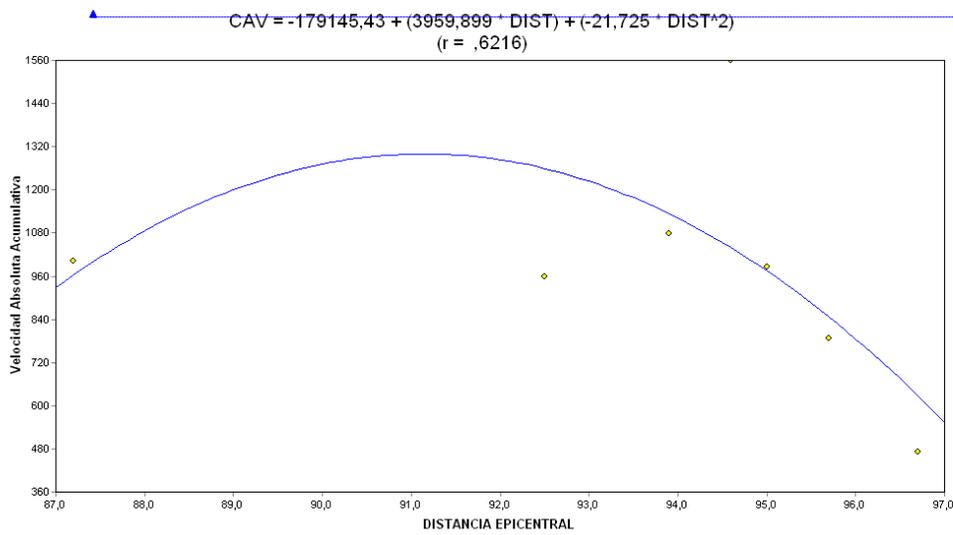
**Con formato:** Fuente: 12 pto,  
 Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto,  
 Tachado



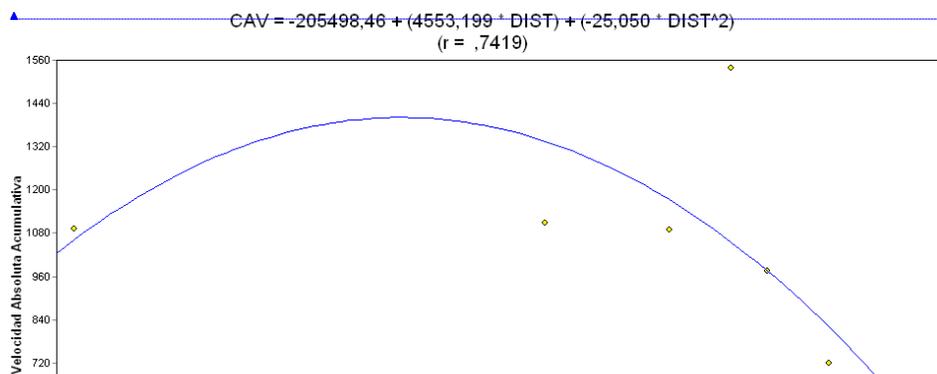
**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado



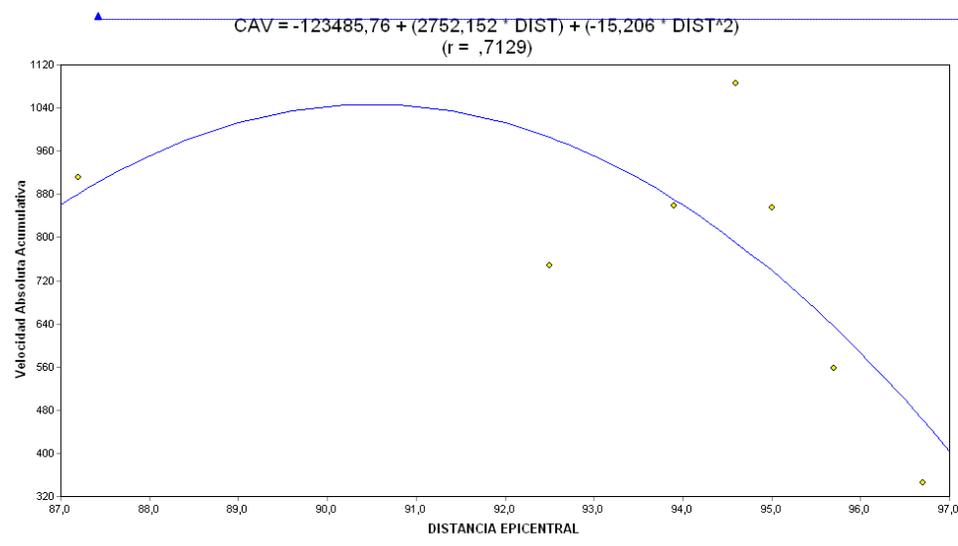
**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado



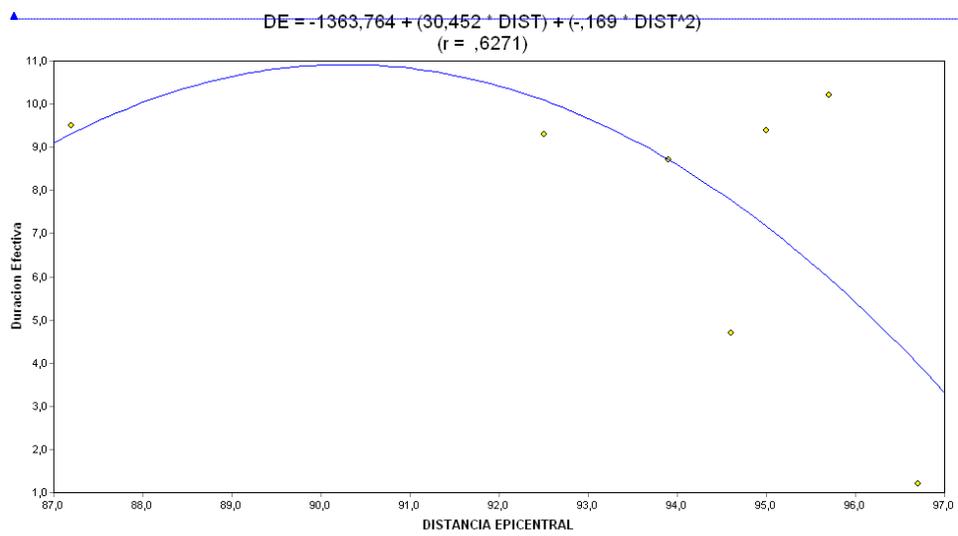
**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado



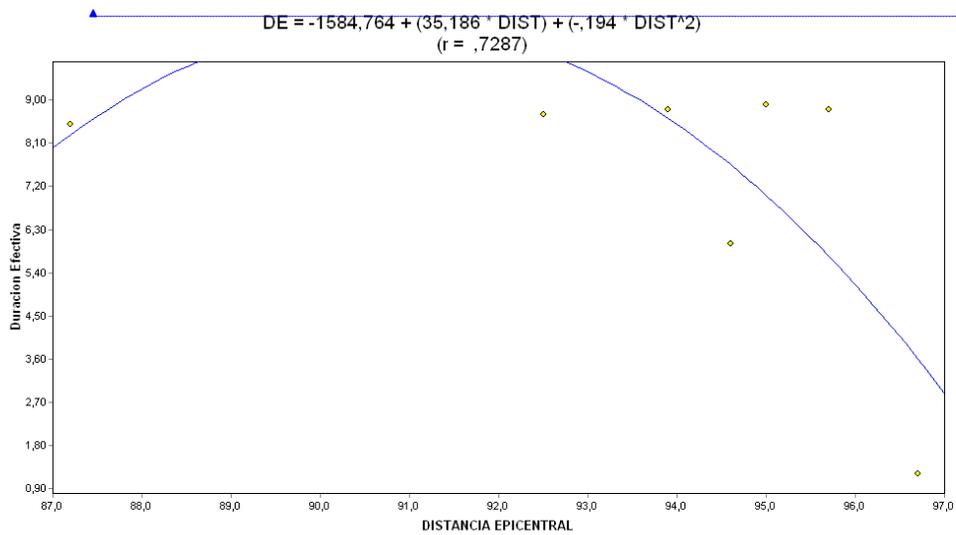
**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado



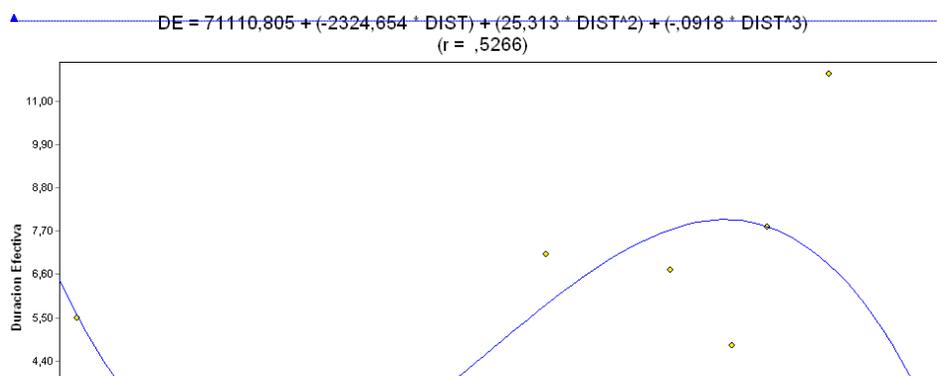
**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado



**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado



**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

**Con formato:** Fuente: 12 pto, Tachado

Con formato: Fuente: 12 pto

~~Como puede apreciarse estos datos también presentan un grado de dispersión alto, esto se puede reflejar en los valores de "r" encontrados, los cuales reflejan la medida en la que la variable dependiente se aproxima a los verdaderos valores encontrados en campo.~~

Las ecuaciones acá mostradas, se han calculado auxiliándose del programa *Simstat para Windows* elaborado por Provalis Research Inc, 1996, el cual efectúa un análisis de regresión por el método de los mínimos cuadrados obteniéndose la ecuación resultante para pares de datos.

Cabe mencionar que las ecuaciones encontradas no deben tomarse como un estimador predictivo de estos parámetros, esto debido a que los valores de  $R^2$  encontrados los cuales varían entre 0.326 y 0.742 no se pueden considerar altos (0.9), lo cual es un requisito indispensable para poder utilizar estas ecuaciones para encontrar valores predictivos de dichos parámetros. Sin embargo, nos muestran las tendencias de estas medidas de movimiento fuerte en función de distancia epicentral para un sismo de origen de subducción.

Las ecuaciones de las curvas de tendencia obtenidas con estos datos se resumen en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	ECUACION	COEFICIENTE
Intensidad de Arias (norte-sur)	$IA = 13962.165 - 411.479 * DTE + 3.933 * DTE^2 - 0.199 * DTE^3$	$R^2 = 0.3266$

Con formato: Interlineado: Doble  
Tabla con formato

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Intensidad de Arias (este-oeste)	<del><math>IA = 12859.328 - 227.293 * DTE + 0.949 * DTE^2</math></del>	0.4575	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>
Intensidad de Arias (vertical)	<del><math>IA = 15801.935 - 516.009 * DTE + 5.327 * DTE^2 - 0.0173 * DTE^3</math></del>	0.3526	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>
Velocidad Absoluta Acumulativa (norte-sur)	<del><math>CAV = 481.471 + 27.410 * DTE - 0.187 * DTE^2</math></del>	0.6216	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>
Velocidad Absoluta Acumulativa (este-oeste)	<del><math>CAV = -143.508 + 99.157 * DTE - 1.356 * DTE^2 + 0.00486 * DTE^3</math></del>	0.7419	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>
Velocidad Absoluta Acumulativa (vertical)	<del><math>CAV = 306.532 + 48.140 * DTE - 0.661 * DTE^2 + 0.00229 * DTE^3</math></del>	0.7129	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>
Duración efectiva (norte-sur)	<del><math>DE = 3.933 + 0.382 * DTE + 0.000593 * DTE^2 - 0.00000511 * DTE^3</math></del>	0.6274	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>

<p>Duración efectiva (este-oeste)</p>	<del><math>DE = 4.605 * EXP(0.00571 * DTE)</math></del>	<p>0.7287</p>	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>
<p>Duración efectiva (vertical)</p>	<del><math>DE = 5.418 - 0.160 * DTE + 0.00326 * DTE^2 - 0.00000875 * DTE^3</math></del>	<p>0.5266</p>	<p>Con formato: Interlineado: Doble</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p> <p>Con formato: Fuente: 12 pto</p>

Tabla 65 Ecuaciones del comportamiento de parámetros de movimiento fuerte en función de la distancia epicentral

- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita
- Con formato: Fuente: Negrita
- Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita
- Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: 11 pto

### **ABSTRACTO 3**

**En los siguientes apartados se presentan los parámetros de Vulnerabilidad estructural, definidos por medio del Grado de Vulnerabilidad (GV) el cual, estará en función de diferentes Índices de Vulnerabilidad, obtenidos a través de la información recabada en campo; se describen estos Índices y se presentan las ponderaciones que tendrán cada uno de ellos en la obtención del Grado de Vulnerabilidad, definiéndose con ello dos tipos de Vulnerabilidad en las que puede clasificarse una edificación (A ó B). Posteriormente, se definen las zonas geográficas del AMSS que se utilizaran para el calculo de las correlaciones, y se asignan las edificaciones en función del tipo de suelo y la estación acelerográfica más cercana.**

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita

Con formato: Derecha

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita, Tachado

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita, Tachado

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita, Tachado

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita, Tachado

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Interlineado: Doble

#### 4.1.3 Parámetros de ~~vulnerabilidad estructural~~ comportamiento estructural

##### Factor de Desempeño Estructural

##### GRADO DE VULNERABILIDAD

El desempeño ~~La vulnerabilidad~~ estructural, representa una medida de desempeño la capacidad de una edificación de comportarse ~~estructuralmente~~ de una manera adecuada, ante la excitación por parte de un agente externo (sismos), entonces, el Grado de ~~Cvulnerabilidad omportamiento Estructural~~ es la medida de ~~la Vulnerabilidad~~ desempeño estructural de una edificación obtenida por medio de la cuantificación de índices que dependen de las características propias de dicha estructura (Factor de Desempeño Estructural).

Para la evaluación de este grado de ~~vulnerabilidad comportamiento estructural~~ se hará uso de los siguientes índices:

- *INDICE DE SISTEMA ESTRUCTURAL*

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Arial, Negrita

Con formato: Fuente: Arial, Negrita, Tachado

Con formato: Fuente: Arial, Negrita

Con formato: Fuente: Arial, Negrita

Con formato: Fuente: 11 pto, Cursiva

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto, Color de fuente: Rojo, Tachado

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble  
Con formato: Color de fuente: Rojo, Tachado

Con formato: Color de fuente: Rojo, Tachado

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm

Con formato: Interlineado: Doble

~~•ÍNDICE DE CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA~~~~ÍNDICE DE CONFIGURACIÓN EN PLANTA~~

Con formato: Tachado

~~•ÍNDICE DE CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN~~

▪

Con formato: Interlineado: Doble

- INDICE DE AÑO DE CONSTRUCCIÓN

Con formato: Numeración y viñetas

Con formato: Fuente: 12 pto

#### 14.3.1 Índice de Sistema Estructural (I<sub>SE</sub>)

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Dos de los principales sistemas estructurales existentes en el AMSS son los Marcos de Concreto Reforzado (tipo AMRC) y el sistema combinado o Dual a base de marcos de concreto reforzado y paredes de concreto o mampostería (tipo B), que resisten entre ambos la fuerza sísmica horizontal.

Con formato: Color de fuente: Automático

Con formato: Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Para la determinación de la influencia de estos dos tipos de sistemas estructurales en la Vvulnerabilidad de un edificio, partiremos del comportamiento de cada uno de ellos durante los sismos en función del período fundamental de vibración.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

De dinámica estructural sabemos que mientras mas-más cercano este-esté el período de una estructura con el período del suelo sobre el que estáa cimentadae dicha estructura, más peligro existe de que eesta estructura entre en resonancia con dicho suelo, de acá se tiene que es necesario conocer los períodos de vibración del suelo de cimentación.

Se partirá del concepto en el que el período es función de la frecuencia, así:

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

$$T_s = \frac{1}{f} \quad \text{Ec - 4.7}$$

**Código de campo cambiado**

**Con formato:** Fuente: 11 pto, Disminuido 14 pto

En donde,

-  $T_s$  = esEs el período que necesitamos conocer

**Código de campo cambiado**

**Con formato:** Fuente: 11 pto, Disminuido 6 pto

-  $f$  = esEs la frecuencia del suelo de cimentación

**Código de campo cambiado**

Para esto las frecuencias predominantes se pueden obtener de un análisis de los acelerogramas.

Como es conocido los edificios a base de marcos generalmente poseen un período ~~mas~~ más alto que los estructurados a base de sistemas combinados, de acá que para la obtención del índice se analizaran los períodos para cada sistema estructural.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Si utilizamos la fórmula<sup>6</sup>  $T_E = C_t h^{\frac{3}{4}}$ , podemos observar el comportamiento del período en una estructura, ya sea ~~tipo A a base de MCR o tipo B sistema Dual~~, con la variación en altura ~~ó~~ en este caso con el número de niveles. Utilizando alturas de entrepiso típicas en nuestro medio de 3.5 m, en ~~la figura 4.23 gráfico 4~~ se muestra este comportamiento tanto para edificaciones ~~tipo A como para tipo B a base de Marcos~~

**Código de campo cambiado**

**Con formato:** Fuente: 11 pto, Disminuido 6 pto

**Con formato:** Color de fuente: Rojo

**Con formato:** Color de fuente: Automático

**Con formato:** Color de fuente: Automático

**Con formato:** Color de fuente: Rojo

<sup>6</sup> "Código Uniforme de la Edificación 1997" (UBC 97), Vol. 2 sección 1630.2.2

de Concreto Reforzado así como para edificaciones a base de un Sistema Dual o Compuesto.

Con formato: Color de fuente: Rojo

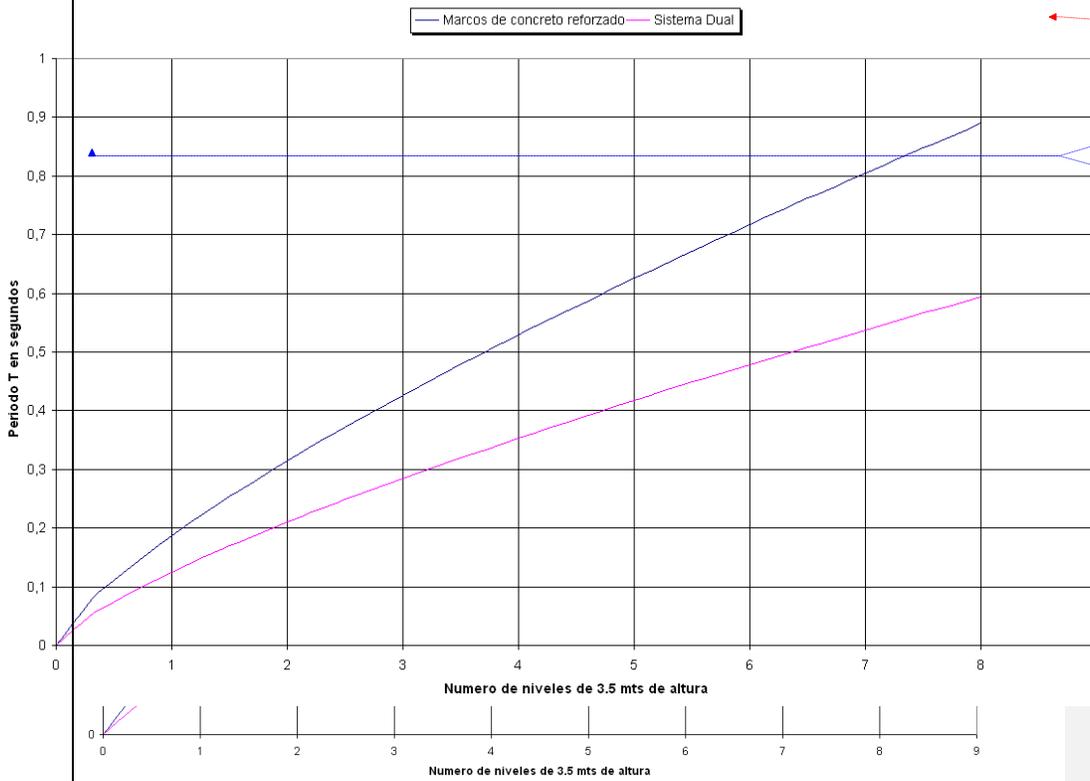
Variación del periodo con el número de niveles en edificaciones a base de MC y Sistema Dual

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm



Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Figura 4.723. Comparación del periodo de estructuras a base de MCR y Sistema Dual

Con formato: Fuente: 10 pto

Con formato: Fuente: 10 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 10 pto

Con formato: Fuente: 10 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

De este gráfico podemos observar:

- Para las estructuras a base de  sistemas tipo A-MCR , los períodos oscilan de 0.31 seg. a 0.63 seg. entre los rangos de 2 a 5 niveles respectivamente.
- Para las estructuras a base de un  sistema tipo BDual , los períodos oscilan de 0.21 seg. a 0.42 seg. entre los rangos de 2 a 5 niveles respectivamente.

En la tabla 4.8 se pueden observar los valores de los períodos en función del número de niveles, los cuales se le asignaran a la muestra de edificaciones.

<u> tabla 4.8 Períodos por número de nivel </u>			
<u> Número de pisos </u>	<u> Altura </u>	<u> Marcos CR </u>	<u> Sistema Dual </u>
	<u> mts </u>	<u> T seg. </u>	<u> T seg. </u>
<u> 0 </u>	<u> 0 </u>	<u> 0 </u>	<u> 0 </u>
<u> 1.0 </u>	<u> 3.50 </u>	<u> 0.1871 </u>	<u> 0.1249 </u>
<u> 2.0 </u>	<u> 7.00 </u>	<u> 0.3146 </u>	<u> 0.2100 </u>
<u> 3.0 </u>	<u> 10.50 </u>	<u> 0.4264 </u>	<u> 0.2847 </u>
<u> 4.0 </u>	<u> 14.00 </u>	<u> 0.5291 </u>	<u> 0.3532 </u>
<u> 5.0 </u>	<u> 17.50 </u>	<u> 0.6255 </u>	<u> 0.4175 </u>
<u> 6.0 </u>	<u> 21.00 </u>	<u> 0.7171 </u>	<u> 0.4787 </u>
<u> 7.0 </u>	<u> 24.50 </u>	<u> 0.8050 </u>	<u> 0.5374 </u>
<u> 8.0 </u>	<u> 28.00 </u>	<u> 0.8898 </u>	<u> 0.5940 </u>
<u> 9.0 </u>	<u> 31.50 </u>	<u> 0.9720 </u>	<u> 0.6489 </u>
<u> 10.0 </u>	<u> 35.00 </u>	<u> 1.0519 </u>	<u> 0.7022 </u>
<u> 11.0 </u>	<u> 38.50 </u>	<u> 1.1298 </u>	<u> 0.7543 </u>

Con formato: Color de fuente: Rojo

Con formato: Color de fuente: Automático

Con formato: Color de fuente: Automático

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato

Con formato: Fuente: 9 pto

Tabla con formato

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: 9 pto, Negrita

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto, Negrita

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

12.0	42.00	1,2060	0.8051
13.0	45.50	1,2806	0.8549
14.0	49.00	1,3538	0.9038

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Entonces para obtener el índice se utilizará la siguiente expresión:

$$I_{SE} = 1 - \text{abs} \left( \frac{T_E - T_S}{\max(T)} \right) \quad \text{Ec - 4.8}$$

Código de campo cambiado

En donde:

$T_E$  = Período de la estructura

Código de campo cambiado

$T_S$  = Período del suelo de cimentación

Código de campo cambiado

$\max(T)$  = Máximo período entre  $T_E$  y  $T_S$

Código de campo cambiado

$\text{abs} \left( \frac{T_E - T_S}{\max(T)} \right)$  = Valor absoluto de la variación de períodos

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Como se puede observar el valor del índice siempre será menor o en su defecto igual a 1, lo cual representa el caso más desfavorable.

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

#### 4.3.2 Índice de Configuración Geométrica (I<sub>CG</sub>)

Para el cálculo de este índice se tomarán en cuenta dos criterios como lo son: la configuración en planta y la configuración en elevación.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto, Negrita

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm

Se ha tomado en cuenta el nivel de importancia de cada uno de ellos en el comportamiento de una estructura ante un evento sísmico, ya que debido a la asimetría en la disposición y rigidez de los elementos estructurales pueden dar lugar a efectos de torsiones significativas. Además la forma irregular de la planta, también resulta perjudicial.

Para la ponderación de este índice de configuración geométrica en planta y en elevación se utilizara el criterio de regularidad e irregularidad, calculándose el índice por medio de la tabla 4.9.

Con formato: Fuente: 11 pto

<u>Configuración en</u> <b>Planta</b>	<u>Configuración en</u> <b>Elevación</b>	<u>I<sub>CG</sub></u>
<u>Regular</u>	<u>Regular</u>	<u>0,5</u>
<u>Regular</u>	<u>Irregular</u>	<u>0,75</u>
<u>Irregular</u>	<u>Irregular</u>	<u>1</u>
<u>Irregular</u>	<u>Regular</u>	<u>0,75</u>

Con formato: Subíndice

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita

Con formato: Centrado, Interlineado: Doble

Tabla con formato

Con formato: Fuente: 11 pto, Negrita, Subíndice

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Como puede observarse, se tienen tres valores dentro de los cuales se ha tomado en cuenta el golpe que la estructura pueda sufrir dependiendo del estado de regularidad de sus elementos en planta como en elevación.

### 1.3.2 Índice de configuración en planta ( $I_{CP}$ )

En el comportamiento sísmico de edificaciones un aspecto principal por identificar (en cuanto a la configuración estructural) es la asimetría en la disposición y rigidez de los elementos estructurales y de los supuestamente no estructurales que puedan contribuir a la rigidez, lo que da lugar a efectos de torsión significativos. Además la forma irregular de la planta, así como la proporción excesiva de lado largo a corto y la presencia de huecos de grandes dimensiones y en posición asimétrica, también resultan perjudiciales.

Para la ponderación del tipo de configuración geometría en planta se utilizara el criterio de regularidad e irregularidad, calculándose el índice de vulnerabilidad de la siguiente manera:

INDICE DE CONFIGURACIÓN EN PLANTA	
CONFIGURACIÓN	VALOR DEL INDICE

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

EN PLANTA DEL EDIFICIO	
REGULAR	0.5
IRREGULAR	1.0

- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Interlineado: Doble

### 1.3.3 Índice de configuración en elevación (I<sub>CE</sub>)

De la misma forma, que se pondero para el índice de configuración en planta, para la configuración en elevación se tomaran los siguientes valores:

- Con formato: Interlineado: Doble

INDICE DE CONFIGURACIÓN VERTICAL	
CONFIGURACIÓN EN ALTURA DEL EDIFICIO	VALOR DEL INDICE
REGULAR	0.5
IRREGULAR	1.0

- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: 11 pto
- Con formato: Interlineado: Doble

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

#### 14.3.43 Índice de Año de Construcción (I<sub>AC</sub>)

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Esencialmente el diseño de edificaciones en nuestro país esta relacionado con las diferentes etapas de los códigos que han regido esta disciplina, en nuestro país se pueden definir 4 etapas importantes en este contexto<sup>7</sup>:

—

**Con formato:** Con viñetas + Nivel: 1 + Alineación: 0.63 cm + Tabulación después de: 1.27 cm + Sangría: 1.27 cm

**Con formato:** Numeración y viñetas

- ETAPA I: Previo a los Reglamentos.
- ETAPA II: Reglamento de 1966.
- ETAPA III: Reglamento de Emergencia de 1989.
- ETAPA IV: Reglamento de 1994.

**Con formato:** Numeración y viñetas

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Sangría: Izquierda: 0.63 cm, Punto de tabulación: No en 1.9 cm

— De entre los cuales se determinará el grado de vulnerabilidad-desempeño estructural que puede presentar una edificación en base al código con el cual esta diseñado, para ello se asumirá que las edificaciones han sido diseñadas con el código vigente, aunque esto no es generalmente cierto ya que existen edificios que han sido

<sup>7</sup> “La Ingeniería Sísmica en El Salvador después de 10 años del terremoto de 1986”. Dr Ing E. Portillo Ponencia seminario UES-FIA. Julio de 1996

diseñados con otros códigos, pero en su mayoría esta asunción es aceptable. La siguiente tabla 4.10 muestra la ponderación del índice de Año de Construcción:

<b>TABLA 4.10 PONDERACIÓN DEL I<sub>AC</sub></b>	
INDICE DE AÑO DE CONSTRUCCIÓN	
Período de análisis	Valor del índice
Antes de 1966	1
Entre 1966 y 1989	0.75
Entre 1989 y 1994	0.50
Después de 1994	0.25

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: Negrita, Subíndice

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 11 pto

**14.3.54 Unificación de los índices de vulnerabilidad-comportamiento estructural para la designación del Grado de Vulnerabilidad-desempeño Estructural.**

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Para la unificación de los índices de vulnerabilidad-comportamiento estructural se le dará una ponderación equitativa a todos, obteniéndose así la siguiente expresión para el Factor de Desempeño Estructural (*FDE*):

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: Cursiva

$$FDE = \frac{I_{SE} + I_{CG} + I_{AC}}{3} \leq 1 \quad \text{Ec - 4.9}$$

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 11 pto, Disminuido 12 pto

Entonces, para la asignación del ~~grado dtipo de vulnerabilidad desempeño estructural~~ a cada edificación se procederá como sigue:

Con formato: Interlineado: Doble

- I. Se asociará una estación acelerográfica a cada edificio, de la cual se obtendrá la frecuencia predominante y por ende el período del suelo en donde esta cimentado el edificio. Esta asignación se basará en la cercanía de la estación al edificio. Obtenido el período se procederá a obtener el período de la estructura en base al grafico 1 y posteriormente calcular el Índice de Sistema ~~estructural Estructural~~  $I_{SE}$ .
- II. Se asignara el ~~índice Índice~~ de ~~eConfiguración en plantaGeométrica~~  $I_{CPG}$  a cada estructura.

~~III. Se asignara el índice de configuración en elevación  $I_{CE}$  a cada estructura.~~

Con formato: Numeración y viñetas

~~IV. III.~~ Se ~~determinara-determinará~~ y ~~asignara-asignará~~ el ~~índice Índice~~ de ~~año Año~~ de ~~construcción-Construcción~~  $I_{AC}$  a cada edificio.

~~V. IV.~~ Se obtendrá ~~el Factor de Desempeño Estructural (FDE) el grado de vulnerabilidad GV~~ según ~~Ec 1-9~~.

Dependiendo del valor del ~~GV FDE~~ asignar un tipo de ~~vulnerabilidad comportamiento~~, en función de los rangos expuestos en la tabla 4.11.

~~siguientes rangos:~~

Con formato: Fuente: 12 pto

**TABLA 4.11 ASIGNACION DE TIPO DE ESTRUCTURA EN FUNCIÓN DEL FDE**

TIPO DE <del>VULNERABILIDAD</del> <del>COMPORTAMIENTO</del> <b>ESTRUCTURAL</b>	RANGO DE <del>G</del> <del>V</del> <del>F</del> <del>D</del> <del>E</del> <b>FDE</b>
TIPO <b>PDA</b>	$0.50 < FDE \leq 1.0$
TIPO <b>PDB</b>	$0.0 < FDE \leq 0.50$

Con formato: Fuente: Negrita

Con formato: Interlineado: Doble

Tabla con formato

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 11 pto, Disminuido 3 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 11 pto, Disminuido 3 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

#### 14.3.65 Designación de las zonas geográficas para el estudio de correlaciones

Para realizar la designación de los edificios según su ubicación se tomo el mapa general de suelos según estudios realizados por Atakan y Torres.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

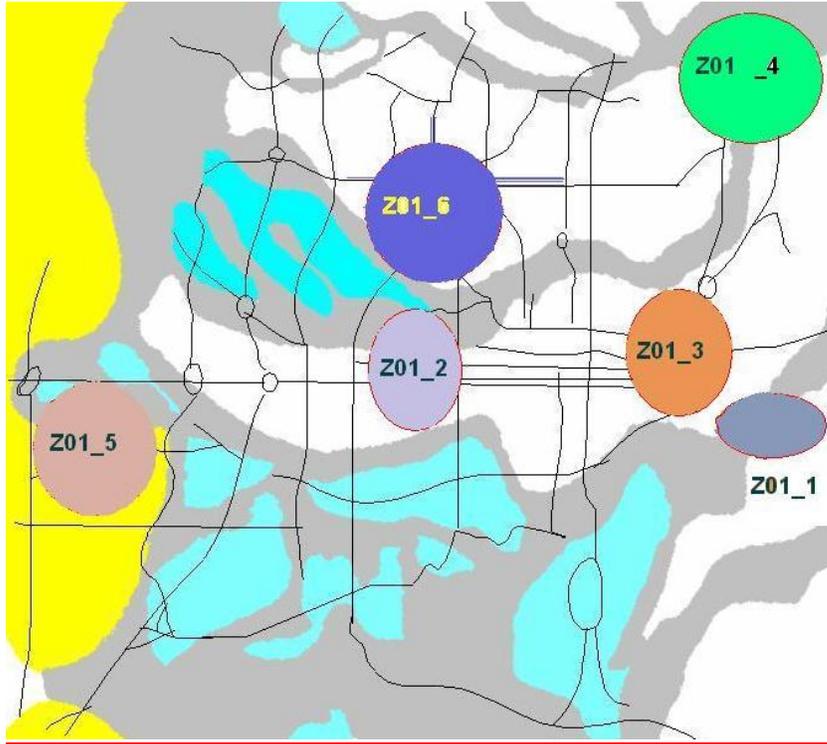
Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 1.25 cm, Interlineado: Doble

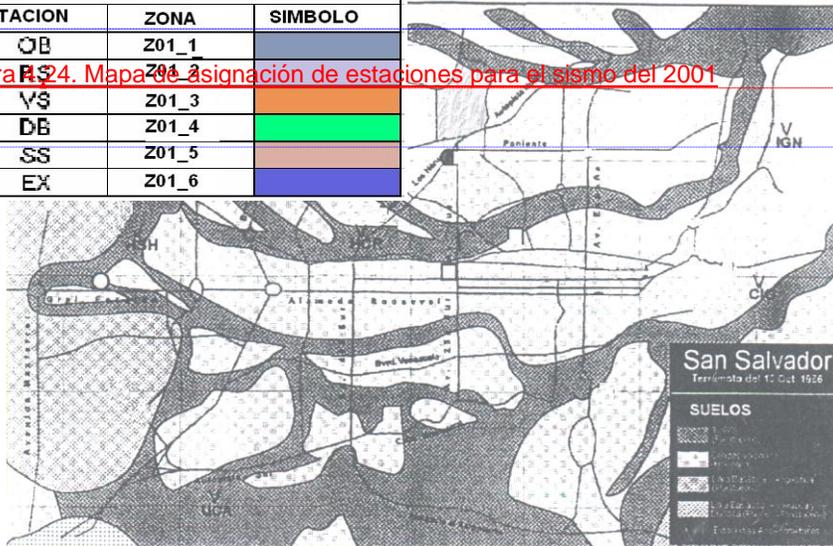
Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

En la figura 4.824 se muestra el mapa utilizado para la asignación de estaciones a cada edificio para el sismo del 2001, es de notar que algunas edificaciones quedaron excluidas del análisis debido a que no presentaban el mismo tipo de suelo que la estación más cercana. La figura 4.25 muestra la misma distribución de estaciones para el sismo de 1986.



ene-01		
ESTACION	ZONA	SIMBOLO
OB	Z01_1	
VS	Z01_3	
DB	Z01_4	
SS	Z01_5	
EX	Z01_6	

Figura 24. Mapa de asignación de estaciones para el sismo del 2001



Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

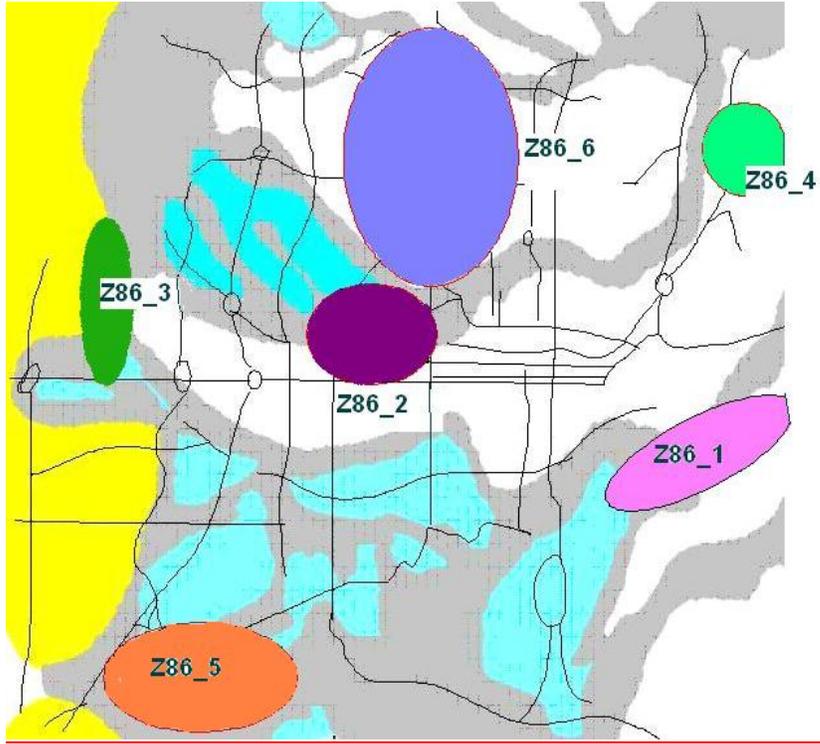


Figura 4.25. Mapa de asignación de estaciones para el sismo de 1986.

SISMO DE 1986		
ESTACION	ZONA	SIMBOLO
CIG	Z86_1	
HCR	Z86_2	
HSH	Z86_3	
IGN	Z86_4	
IVU	Z86_5	
UCA	Z86_6	

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Tabla con formato

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Fig. 8 Mapa de la distribución del tipo de suelos en el AMSS. Tomado del estudio de Atakan y Torres, 1995

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Se procedió primero a realizar la ubicación de las estaciones acelerográficas en el Área Metropolitana de San Salvador según red acelerográfica del Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) y de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), con el propósito de conocer las área de suelo que tenga las mismas características de la zona donde se encuentra ubicada las estaciones acelerográficas, de tal forma que posteriormente se ubicaron los edificios en el mismo mapa y se les asigno una estación que tuviera las mismas características de suelo , en las ~~tablas 4.12 y 4.13 siguiente~~ se muestra en los edificios con ~~sus las respectivas~~ estaciones asignadas, ~~para los registros del 2001 y 1986 respectivamente;~~

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: Negrita

Tabla con formato

**Tabla 4.12. Asignación de edificios para el sismo del 2001**

ESTACION	EDIFICIO
Z01_1	Hospital Psiquiátrico, ISSS
	Clínica Comunal del ISSS Sta Lucia
	Instituto Nacional
	Cárcel de mujeres
Z01_2	Centro educativo Valle Nuevo
	Cuartel Gral. PNC
	Hospital de Maternidad
	Correos Edificio Admón.
	Correos edificio de operaciones
	Edificio corte suprema de justicia
	Colegio La Asunción
	Edificio Central Max Block
	Corte de Cuentas
	Colegio García flamenco
	Edificio ETIR
	Plaza san jorge
	Instituto politécnico Nazaret
	Centro escolar La Salle
Depto de solvencias de la PNC	
Z01_3	Edificio depto de librería de corte suprema de justicia
	Ministerio de Trabajo
Z01_4	Escuela Nuestra Señora de Lourdes
	Dirección Gral. de estadísticas y censos
Z01_5	Clínica Comunal del ISSS col Palmira
	VMVDU-Oficina Administrativa
	Residencia Presidencial
Z01_6	Secretaría Nacional de la Familia
	Condominio Colonial
	Hospital de Diagnostico y Especialidades
	Hospital Zacamil-ISSS
	Hospital de Ojos
	Peluquería Universitaria
	Condominio las Americas
	Hospital Pro familia

NOMBRE	NUMERO-DE	ESTACION
	PISOS	ASIGNADA
CORTE SUPREMA DE JUSTICIA	5	RS
HOSPITAL-BAUTISTA	7	RS
TORRE-ADMINISTRATIVA-ISSS	13	SS

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm, Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Tabla con formato

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble



SECRETARIA NACIONAL DE LA FAMILIA SNF	2	RS
GENTRO EDUCATIVO VALLE NUEVO	2	SS
TORRE MADICA	5	EX
EDIF NAPOLES	3	OB
DTO DE SOLVENCIAS DE LA PNC	3	RS
EDIF #1 DE LA CORTE DE CUENTAS DE LA REPUBLICA	5	RS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE EL SALVADOR	4	RS
FISCALIA GENERAL DE LA REPUBLICA DE EL SALV.	7	RS
RPNP	4	VS
MISTERIO DEL TRABAJO	3	VS
HOSPITAL AMATEPEC	4	OB
MINISTERIO DE HACIENDA	10	EX
MINISTERIO DE ECONOMIA	3	RS
EDIF PAR DEPAR DE CONTR DE LIB ASIST A LA COR SUP	3	RS
PROCURADURIA GENERAL DE LA REPUBLICA	11	RS
VMVDU-OFICINA ADMINISTRATIVA	2	VS
CONDOMINIO REIS, EDIF C Y D	6	OB
EDIFICIO ETIR	3	RS
COLEGIO SALVADOREÑO ESPAÑOL	2	VS
COOPERATIVA HOUSIN FOUNDATION	2	VS
HOSPITAL PROFAMILIA	3	EX

- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Español (alfab. internacional)
- Con formato: Español (alfab. internacional)
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Español (alfab. internacional)
- Con formato: Español (alfab. internacional)
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: 12 pto
- Con formato: Interlineado: Doble
- Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial
- Con formato: Fuente: Negrita
- Tabla con formato
- Con formato

**Tabla 4.13. Asignación de edificios para el sismo de 1986**

ESTACION	EDIFICIO
Z86_1	Edificio Comercial
	Embotelladora Salvadoreña
Z86_2	Torre Roble
	Fiscalia General de la Republica
	Edificio de Dormitorio y Capilla del Colegio Guadalupano
	Corte Suprema de Justicia

Z86_3	Edificio de la Logia Masónica Cuscatlan
	Edificio Hotel Sheraton
	Colegio García Flamenco
	Edificio las Américas
Z86_5	Conjunto Habitacional de la Colonia Metrópolis
	Edificio Nuevo de la Facultad de Odontología
	Edificio de Economía de la UES
	Edificio Pete's
	Colegio Cristóbal Colon
	UPES
	Clínicas Medicas Poniente
	Medico Dental
Z86_6	Escuela de Enfermería
	Centro Judicial Isidro Menéndez
	Instituto de Ojos
Z86_6	Colegio la Asunción

Teniendo ya los edificios identificados con sus respectivas estaciones se procedió a calcular los parámetros de vulnerabilidad comportamiento estructural a cada edificio según se aha descrito en las secciones anteriores.

Habiendo ya calculado todos los parámetros tanto de Ppeligrosidad como de vulnerabilidad comportamiento estructural se procedió a asignar grados de daños a cada edificio. Pp para posteriormente realizar las correlaciones entre grado Grado de daño Daño yeon los parámetros de Ppeligrosidad en las tres direcciones tanto para la vulnerabilidad para los diferentes tipos de comportamiento estructural tipo (PDA y PDB tipo B), esto se realizará haciendo uso del programa *Simstat para Windows*, ya que este tiene la capacidad de calcular correlaciones multivariabes.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Sangría: Primera línea: 0 cm, Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

#### ***ABSTRACTO 4***

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

~~En los apartados siguientes se da la definición de los diferentes grados de daño que se utilizarán en este trabajo para la determinación de las correlaciones. Se describe la metodología para asignar el Grado de Daño Global (GDG) a una edificación por medio de los factores de ponderación de elementos (FPE) y factor de ponderación de daño (FPD), todo esto auxiliándose de la información obtenida en campo. Se presentan los rangos del factor de daño global que se utilizarán en la designación del grado de daño~~

~~así mismo, se realiza la asignación de este grado de daño a cada uno de los edificios de la muestra.~~

Con formato: Interlineado: Doble

#### **~~14.4~~ Asignación de ~~G~~grado de ~~d~~Daño y vulnerabilidad estructural a la muestra de edificaciones**

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Para la asignación de ~~l~~ grado ~~Grado~~ de ~~daños~~ Daño en las estructuras, se ~~analizaran~~ analizarán las edificaciones que ~~fueron~~ fueron dañadas por el sismos de 1986 y los sismos del 2001, ~~(específicamente el sismo del 13 de enero)~~ del 2001, ~~entonces se dividi~~ endora el análisis en dos partes:

Con formato: Fuente: 11 pto

#### 4.4.1 Grado de daño *Típico* en una estructura.

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Arial, 11 pto

El grado de daño de una estructura sometida a un sismo puede catalogarse de la siguiente manera<sup>8</sup>:

- o GRADO ~~4~~:1: Sin Daño visible en los elementos estructurales. Posibles fisuras en los repellos de las paredes, losas y elementos estructurales; ~~d~~Desprendimiento de recubrimientos y acabados. Se observan pocos daños en la construcción.
- o GRADO ~~2~~:2: Fisuras diagonales y de otro tipo en paredes y aberturas. Fisuras grandes en elementos estructurales de concreto reforzado (~~Vigas~~, Vigas, columnas, paredes, etc.) que pueden repararse sin necesidad de refuerzo.
- o GRADO ~~3~~:3: Grietas grandes con o sin reparación de las paredes y trituración del material. Grandes grietas con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos estructurales; ~~g~~Grietas grandes con pequeñas dislocaciones de elementos de concreto reforzado (Columnas, vigas, paredes, etc.); ~~f~~Fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento; ~~p~~Pequeña dislocación de elementos estructurales y de toda la construcción, problemas de estabilidad del elemento.

<sup>8</sup>MOP- ASIA-FESIARA, Comisión Evaluadora de Daños, 2001



ELEMENTO ESTRUCTURAL	FPE
Columnas	1
Nudos Viga-Columna	0.8
Paredes	0.6
Vigas	0.4
Losas	0.2

Tabla 4.15 Factores de ponderación de elementos para cada elemento estructural en edificios a base de sistema tipo B

Tabla 7 Factores de ponderación de elementos para cada elemento estructural en edificios a base de sistema dual

La descripción del daño en los elementos se describe a continuación:

- **DAÑOS PEQUEÑOS:** Prácticamente no se requiere reparación; por ejemplo, pequeñas fisuras, desprendimiento de recubrimientos y acabados, problemas no importantes de humedad, etc.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial

**Con formato:** Fuente: 10 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble, Posición: Horizontal: Centro, Con relación a: Margen, Vertical: 4.63 cm, Con relación a: Página, Horizontal: 0.25 cm, Ajuste automático

**Tabla con formato**

**Con formato:** Fuente: 10 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble, Posición: Horizontal: Centro, Con relación a: Margen, Vertical: 4.63 cm, Con relación a: Página, Horizontal: 0.25 cm, Ajuste automático

**Con formato:** Fuente: 12 pto

**Con formato:** Fuente: 10 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble, Posición: Horizontal: Centro, Con relación a: Margen, Vertical: 4.63 cm, Con relación a: Página, Horizontal: 0.25 cm, Ajuste automático

**Con formato:** Sangría: Izquierda: 1.25 cm, Interlineado: 1.5 líneas

**Con formato:** Fuente: 10 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble, Posición: Horizontal: Centro, Con relación a: Margen, Vertical: 4.63 cm, Con relación a: Página, Horizontal: 0.25 cm, Ajuste automático

**Con formato:** Fuente: 10 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble, Posición: Horizontal: Centro, Con relación a: Margen, Vertical: 4.63 cm, Con relación a: Página, Horizontal: 0.25 cm, Ajuste automático

**Con formato:** Fuente: 10 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble, Posición: Horizontal: Centro, Con relación a: Margen, Vertical: 4.63 cm, Con relación a: Página, Horizontal: 0.25 cm, Ajuste automático

**Con formato:** Justificado

**Con formato:** Fuente: 9 pto

**Con formato:** Interlineado: 1.5 líneas

**Con formato:** Sangría: Izquierda: 1.25 cm, Interlineado: 1.5 líneas

**Con formato:** Fuente: 12 pto

**Con formato:** Interlineado: Doble

**Con formato:** Fuente: 12 pto

- **DAÑOS MODERADOS:** Se requiere reparación de daños menores; por ejemplo, grietas que pueden repararse sin necesidad de refuerzo, problemas importantes de humedad, etc.

Con formato: Fuente: 11 pto

- **DAÑOS GRAVES:** Se requiere de refuerzo y reparación de daños mayores; por ejemplo, fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento, problemas de estabilidad del elemento, etc.

- **DAÑOS SEVEROS:** Se requiere de reconstrucción del elemento; por ejemplo, dislocaciones con ~~perdidas~~pérdidas de material, colapsos o derrumbes, etc.

Dependiendo del tipo de daño se le asignara una ~~a~~ Factor de Ponderación de Daño (FPD) a cada tipo de elemento, según se muestra en tabla 4.16, así:

GRADO DE DAÑO	FPD
Daño pequeño	1
Daño moderado	2
Daño grave	3

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Daño severo	4
-------------	---

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Tabla 4.9.16 Factores de ponderación de daños para cada tipo de daño

Con formato: Fuente: 9 pts

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 9 pts

Con formato: Fuente: 9 pts

Con formato: Fuente: 9 pts

Entonces, para la asignación del grado de daño a cada edificación se procederá como sigue:

- I. Se determinará que tipo de daño existe en cada elemento estructural
- II. Asignar los correspondientes *FPE* y *FPD*, en base al tipo de elemento y al tipo de daño existente en dicho elemento.
- III. Proseguir con el paso anterior para todos los tipos de elementos en la edificación.
- IV. Determinar el *Factor de Daño Global (FDG)* el cual será, la sumatoria del producto del *FPE* y *FPD* correspondiente a cada tipo de elemento.

Dependiendo del valor del *FDG* asignar un grado de daño, ~~expuesto anteriormente,~~ en función de los siguientes rangos mostrados en tabla 4.17, así:

Con formato: Interlineado: Doble, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: I, II, III, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Derecha + Alineación: 0 cm + Tabulación después de: 0.32 cm + Sangría: 0.32 cm

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pts

Con formato: Interlineado: Doble, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: I, II, III, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Derecha + Alineación: 0 cm + Tabulación después de: 0.32 cm + Sangría: 0.32 cm

Con formato: Numeración y viñetas

GRADO DE DAÑO	DESCRIPCION DE DAÑO	RANGO DE FDG
GRADO 1	Daño pequeño	$0 < FDG \leq 3$
GRADO 2	Daño moderado	$3 < FDG \leq 5.2$
GRADO 3	Daño grave	$5.2 < FDG \leq 7.8$
GRADO 4	Daño severo	$7.8 < FDG \leq 12$

Tabla 4.17. Grado de daño en función de los rangos definidos por el Factor de Daño Global

Tabla 10. Grado de daño en función de los rangos definidos por el Factor de Daño Global

La lista de los edificios con sus respectivos Grados de Daños se muestra en el anexo 1:

Con formato: Interlineado: Doble

Código de campo cambiado

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: 9 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

## ABSTRACTO 5

En el apartado siguiente se presenta la unificación de todos los conceptos expuestos anteriormente, ya que haciendo uso de los parámetros de peligrosidad definidos por la Intensidad de Arias, la Velocidad Absoluta Acumulativa y la Duración Efectiva; de los parámetros de vulnerabilidad, definidos por los diferentes índices; se buscan obtener ecuaciones que presenten el grado de daño en función de los parámetros de peligrosidad y los de vulnerabilidad; para ello se han clasificado las estructuras en tipos de vulnerabilidad, A o B según los capítulos anteriores, seguidamente se han calculado correlaciones para cada uno de estos tipos de vulnerabilidades, algunas de las cuales están en función de la IA y DE y otras en función de la CAV y DE, ósea correlaciones multivariantes, obteniéndose con ello ecuaciones que describen el posible grado de daño en función de dichas variables. Cabe mencionar que se ha efectuado un filtrado en las edificaciones en función de su cercanía a las estaciones acelerográficas y al tipo de suelo sobre las que están cimentadas.

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Derecha

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Derecha, Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

**14.5** Cálculo de correlaciones entre los parámetros de movimiento fuerte y los daños.

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto



Dichas ecuaciones pueden tener una de las siguientes formas:

$Y_c = a + bx$  Ecuación de línea recta

$Y_c = +bx + cx^2$  Ecuación de segundo grado o cuadrática.

$Y_c = ab^x$  Ecuación exponencial.

$Y_c = ax^b$  Ecuación potencial.

Para ello se hará uso del programa *Simstat para Windows*, ya que este posee la capacidad de llevar a cabo análisis de regresión ~~multivariable~~ utilizando el método de los ~~mínimos cuadrados~~ mínimos cuadrados.

En las secciones ~~Las~~ siguientes se presentan las tablas que muestran los resultados de este análisis, obteniéndose ecuaciones que relacionan el Ggrado de Ddaño (GD) y los diferentes parámetros de peligrosidad (IA, y CAV, DE, PGA y PGV). Se incluirán los valores de PGA y PGV en las correlaciones para corroborar lo expuesto en el apartado 4.1 y verificar si estos son parámetros representativos de daños.

#### 4.5.2 Resultados de las correlaciones

##### 4.5.2.1 Observaciones específicas

Los resultados de los cálculos de correlaciones se muestran en los gráficos del anexo 2 y en los cuales se puede observar lo siguiente:

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Izquierda, Sangría: Primera línea: 0 cm

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato ...

## 1. Edificios PDA;

### 1.1 Correlaciones entre IA y GD

Se ha trazado la curva aproximada que rige la tendencia de los datos, siendo esta de tipo potencial, obteniéndose índices de correlación entre 0.8393 y 0.8989 lo que indica la buena correlación entre las variables. Observando la dispersión de los puntos y la tendencia de la curva, se determina que el Grado de Daño tiende a incrementar en una estructura a medida incrementa la Intensidad de Arias esto se puede apreciar con gran facilidad para las dos componentes horizontales y la vertical, cabe mencionar que según se observa los edificios son mucho más vulnerables para la componente vertical ya que el Grado de Daño 4 se alcanza para valores de 9500 cm/seg aproximadamente mientras que para las componentes horizontales los alcanza para 15000cm/seg y 2700cm/seg aproximadamente.

### 1.2 Correlaciones entre CAV y GD

Según la tendencia de los puntos se ha trazado la curva aproximada la cual es de tipo potencial con índices de correlación entre 0.8162 y 0.8584. Particularmente se observa que la relación entre la CAV y el Grado de Daño es totalmente opuesta a la observada para la IA, ya que el Grado de Daño es más grande para valores bajos de la CAV, esto se puede explicar debido a las características propias de los acelerogramas ya que dada la naturaleza del calculo de la CAV los datos de aceleración aunque sobrepasan el valor del umbral de 25 cm/seg<sup>2</sup> estos no logran un valor elevado en sus picos, lo que resulta en pequeñas áreas en las ventanas de análisis, resultando pequeños

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 1.24 cm, Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Fuente: 11 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

Con formato: Sangría: Izquierda: 1.24 cm

valores de la CAV. Se observa que para valores de aproximadamente 400 cm/seg ocurre los daños mayores, esto es grado 4.

**Con formato:** Fuente: 11 pto

### 1.3 Correlaciones entre DE y GD

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial

Se observan que los valores del índice de correlación oscilan entre 0.843 y 0.9206 esto para la curva trazada aproximadamente según la tendencia de los datos lo cual para el caso es de tipo potencial. Al igual que la CAV la DE presenta la misma tendencia respecto al Grado de Daño, es decir, que para valores bajos de DE se observan GD elevados, lo que indica que no necesariamente sismos de gran duración producen daños elevados, esto se puede comprobar comparando los daños sufridos por las edificaciones para el sismo de octubre de 1986 y los de enero del 2001, ya que para el sismo de octubre de 1986 se observaron duraciones efectivas menores que el de enero del 2001 y aun así el primero causo daños considerables en las edificaciones en relación a los experimentados en el 2001.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Sangría: Izquierda: 1.24 cm

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: 11 pto

### 1.4 Correlaciones entre PGA y GD

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: 11 pto

Las curvas trazadas aproximadamente de tipo exponencial presentan índices de correlación entre 0.7609 y 0.8193, para las componentes norte-sur y vertical respectivamente. La componente E-O presenta un coeficiente bajo de 0.1175, se puede observar que la curva no se ajusta adecuadamente a los datos, es decir, la correlación entre las variables no esta muy definida, esto a causa de la dispersión de los mismos, sin embargo para las otras componentes se puede notar la tendencia de incrementar el GD a medida incrementan en magnitud las aceleraciones pico, alcanzando el GD 4 a valores aproximados de 400 cm/seg<sup>2</sup>

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Sangría: Izquierda: 1.24 cm

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

para las componentes horizontales y del orden de  $700 \text{ cm/seg}^2$  para la vertical lo cual viene a corroborar las observaciones hechas durante el sismo de 1986 acerca de que la componente vertical es la que indujo a que se dañaran con severidad las edificaciones; debido a esta discrepancia de comportamiento la PGA no puede considerarse en este estudio como parámetro predictivo de daño.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

### 1.5 Correlaciones entre PGV y GD

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Numeración y viñetas

Las curvas de tipo exponencial que se han trazado reflejan tan solo la tendencia de los datos, presentando índices de correlación entre 0.585 y 0.8144. Según se observa, la tendencia de la curva refleja que el GD en una edificación incrementa a medida aumenta la velocidad pico sin embargo esto se observa para la componente N-S y V no así para la componente E-O ya que el GD es mayor para valores bajos de la velocidad pico, al igual que la PGA, la PGV no puede considerarse en este estudio como parámetro predictivo de daño.

**Con formato:** Sangría: Izquierda: 1.25 cm

## 2. Edificios tipo B:

Como puede observarse, debido a la poca muestra que se tiene de los edificios que pertenecen a este grupo, en cuanto a la variedad de Grado de Daño, las gráficas no son representativas del comportamiento del GD y los diferentes parámetros de Peligrosidad, por lo que las ecuaciones no podrían ser consideradas para llevar a cabo un análisis del comportamiento del daño frente a dichos parámetros.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Sangría: Primera línea: 1.25 cm

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

#### 4.5.2.2 Observaciones generales

Como se notó en las observaciones específicas, los parámetros que mejor reflejan el daño experimentado por una edificación son la Intensidad de Arias (IA) y la Duración Efectiva (DE), todo esto para las edificaciones tipo PDA, mostrando las características para las cuales el Grado de Daño es alto o bajo dependiendo del comportamiento de los parámetros de Peligrosidad ya mencionados, observándose también que la PGA y la PGV presentan buenas correlaciones con el GD solamente en dos de sus tres componentes, y por lo tanto no se podrían considerarse como parámetros indicativos del daño. La Velocidad Absoluta Acumulativa (CAV), presenta buenas correlaciones aunque el comportamiento de esta, tiene que ser analizado considerando otros parámetros propios de los acelerogramas.

Algunos valores importantes de la IA y se muestran en la tabla 4.18

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial, 11 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminado) Arial





Duración efectiva (norte - sur)	$GD = 15.454 * DE^{-1.2043}$	0.897
Duración efectiva (este - oeste)	$GD = 52.731 * DE^{-1.8429}$	0.9206
Duración efectiva (vertical)	$GD = 8.6289 * DE^{-1.0333}$	0.843

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 3 pto

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 3 pto

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 5 pto

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 3 pto

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: (Predeterminado) Arial

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Fuente: 12 pto

PARÁMETRO	ECUACION
Intensidad de Arias Duración Efectiva (norte - sur)	$GD = 2.0099 - 0.002022 * IA + 0.1154 * DE$
Intensidad de Arias Duración Efectiva (este - oeste)	$GD = 6.4438 - 0.009315 * IA - 0.4724 * DE$

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Intensidad de Arias Duración Efectiva (vertical)	$GD = 2.5438 - 0.007469 \cdot IA - 0.1123 \cdot DE$
--	---

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

VULNERABILIDAD EDIFICACIONES PD TIPO-B

PARÁMETRO	ECUACION
Intensidad de Arias Duración Efectiva (norte-sur)	$GD = 1.3410 + 0.004189 \cdot IA - 0.04473 \cdot DE$
Intensidad de Arias Duración Efectiva (este-oeste)	$GD = 0.9626 + 0.002732 \cdot IA - 0.01693 \cdot DE$
Intensidad de Arias Duración Efectiva (vertical)	$GD = 1.3318 + 0.001305 \cdot IA - 0.04920 \cdot DE$

Con formato: Fuente: 12 pto

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Con formato: Interlineado: Doble

Arias		
Duración Efectiva (vertical)		
<u>Tabla 4.20: Ecuaciones del comportamiento de parámetros de movimiento fuerte en función del Grado de Daño (GD)</u>		
PARÁMETRO	ECUACION	COEFICIENTE R <sup>2</sup>
Aceleración Pico (norte - sur)	$GD = 1.9136e^{-0.002 \cdot PGA}$	0.0229
Aceleración Pico (este-oeste)	$GD = 1.3803e^{-0.00 \cdot PGA}$	0.0282
Aceleración Pico (vertical)	$GD = 1.1459e^{0.000 \cdot PGA}$	0.0434
Velocidad Pico (norte - sur)	$GA = 0.8537e^{0.008 \cdot PGV}$	0.0466
Velocidad Pico (este - oeste)	$GD = 1.3144e^{-0.009 \cdot PGV}$	0.0324
Velocidad Pico (vertical)	$GD = 1.4917e^{-0.026 \cdot PGV}$	0.0529
Intensidad de Arias (norte - sur)	$GD = 1.7817 * IA^{-0.1075}$	0.0364
Intensidad de Arias (este-oeste)	$GD = 1.9553 * IA^{-0.1283}$	0.0439
Intensidad de Arias (vertical)	$GD = 1.8947 * IA^{-0.1346}$	0.0495
Velocidad Absoluta Acumulativa (norte - sur)	$GD = 3.6505 * CAV^{-0.1766}$	0.0281
Velocidad Absoluta	$GD = 4.8249 * CAV^{-0.2173}$	0.0164

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 3 pto

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 3 pto

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato: Fuente: 8 pto, Disminuido 3 pto

Con formato

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Con formato



---

## **CAPITULO 5**

---

*“PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES Y LOS  
DATOS DE DAÑOS”*

## **5. PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES Y LOS DATOS DE DAÑOS**

### **5.1 EN CUANTO A LOS DAÑOS TÍPICOS:**

Después de la recopilación, tanto de las diferentes formas de daños más repetitivos (daños típicos), como de los datos de daños en edificaciones debido a los sismos de 1986 y 2001, se elabora la siguiente comparación de daños en los edificios muestreados para los sismos de 1986 y 2001, todo esto en base al Grado de Daño (grado 1, grado 2, grado 3 ó grado 4) definido en el capítulo anterior; estos grados de daño comprenden en su definición los diferentes estados de pérdida de resistencia o estabilidad en elementos estructurales tales como vigas, columnas, uniones viga-columna, losas y paredes.

#### **5.1.1 Datos de Daños para El Sismo del 10 de octubre de 1986:**

En la figura 5.1 se presenta la distribución del Grado de Daño, en la muestra de edificios para el sismo de 1986; se observa que los grados de daños más altos o más repetitivos son el grado tres y cuatro los cuales comprenden colapso total o daño severo para una estructura, esto es acorde con la gran cantidad de edificios colapsados para este sismo. En la tabla 5.1 se muestra un resumen del tipo de daño observado en los edificios así como el porcentaje de edificios con respecto a la muestra total.

fig 5.1 Grado de Daño en Edificios (1986)

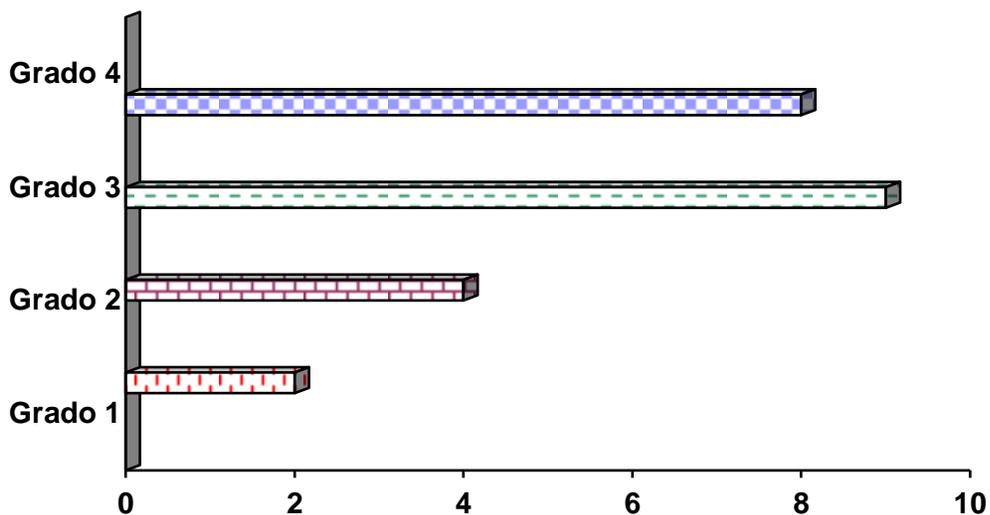


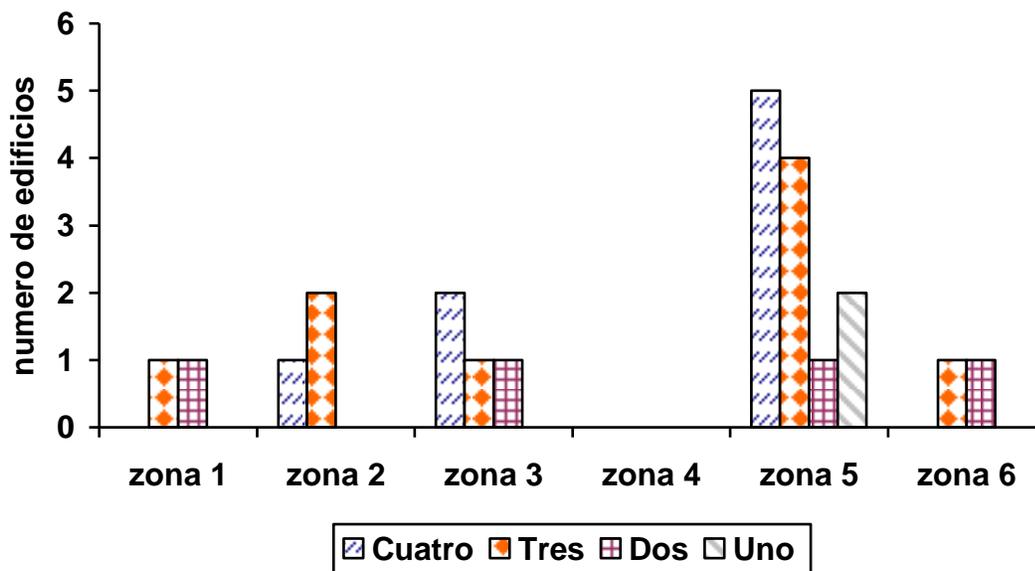
Tabla 5.1 Resumen de Grado de Daño en edificios para el sismo de 1986

Grado de daño	% con respecto a la muestra	Descripción de daños típicos
1	17	<i>Sin Daño visible en los elementos estructurales.</i> Posibles fisuras en los repellos de las paredes, losas y elementos estructurales. Desprendimiento de recubrimientos y acabados. Se observan pocos daños en la construcción.
2	9	<i>Fisuras diagonales y de otro tipo en paredes y aberturas.</i> Fisuras grandes en elementos estructurales de concreto reforzado (Vigas, columnas, paredes, etc.) que pueden repararse sin necesidad de refuerzo.

3	35	<i>Grietas grandes con o sin reparación de las paredes y trituración del material. Grandes grietas con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos estructurales. Grietas grandes con pequeñas dislocaciones de elementos de concreto reforzado (Columnas, vigas, paredes, etc.). Fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento. Pequeña dislocación de elementos estructurales y de toda la construcción, problemas de estabilidad del elemento.</i>
4	39	Los elementos estructurales y las uniones están muy dañados y dislocados, con un número grande de ellos destruidos. Colapsos o derrumbes, etc. Las construcciones presentan ruina parcial o total

Para representar de una manera más específica el Grado de Daño en el AMSS, en la figura 5.2 se muestra la distribución de los diferentes Grados de Daño distribuidos en las distintas zonas de análisis definidas en el capítulo anterior, se observa que la única zona que presenta datos de edificios con todos los grados es la 5, correspondiente a la zona cercana a la estación IVU, además en esta zona se dan los grados de daño más alto en mayor número de edificios. Esto no debe interpretarse como que la zona 5 fue la más afectada por daños, ya que esto significa que de la muestra tomada existen más edificios que corresponden a esta zona, y esto se debe a la no disponibilidad de estaciones en el área céntrica de San Salvador.

fig. 5.2 Grado de daño por zona (1986)



#### 5.1.2 Datos de Daños para El Sismo del 13 de enero del 2001:

En la figura 5.3 se presenta la distribución del Grado de Daño, en la muestra de edificios para el sismo del 13 de enero del 2001; al contrario que para el sismo de 1986, se observa que el Grado de Daño más alto o más repetitivo es el grado uno el cual comprende daño pequeño para una estructura, esto es acorde con la gran cantidad de edificios con pequeños daños y ningún colapso para este sismo. En la tabla 5.2 se muestra un resumen del tipo de daño observado en los edificios así como el porcentaje con respecto a la muestra total.

fig. 5.3 Gradode Daño en edificios (2001)

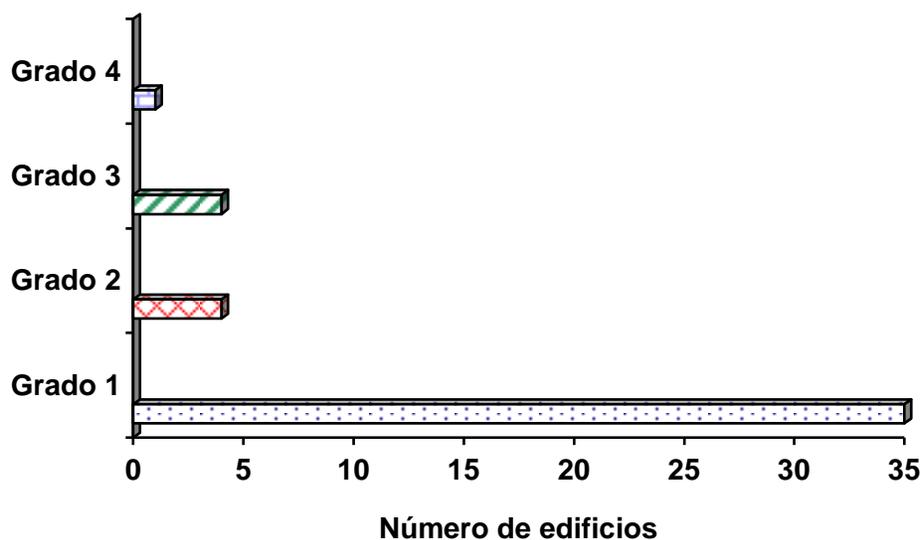


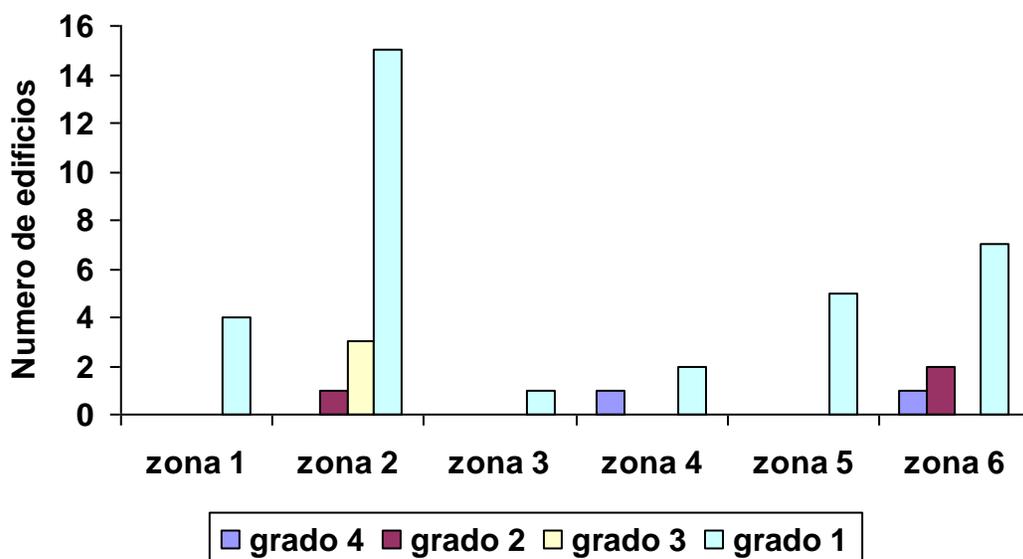
Tabla 5.2 Resumen de Grado de Daño en edificios para el sismo del 13 de enero del 2001		
Grado de daño	% con respecto a la muestra	Descripción de daños típicos
1	81	<i>Sin Daño visible en los elementos estructurales.</i> Posibles fisuras en los repellos de las paredes, losas y elementos estructurales. Desprendimiento de recubrimientos y acabados. Se observan pocos daños en la construcción.
2	7	<i>Fisuras diagonales y de otro tipo en paredes y aberturas.</i> Fisuras grandes en elementos estructurales de concreto reforzado (Vigas, columnas, paredes, etc.) que pueden repararse sin necesidad de refuerzo.

3	7	<i>Grietas grandes con o sin reparación de las paredes y trituración del material.</i> Grandes grietas con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos estructurales. Grietas grandes con pequeñas dislocaciones de elementos de concreto reforzado (Columnas, vigas, paredes, etc.). Fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento. Pequeña dislocación de elementos estructurales y de toda la construcción, problemas de estabilidad del elemento.
4	5	Los elementos estructurales y las uniones están muy dañados y dislocados, con un número grande de ellos destruidos. Colapsos o derrumbes, etc. Las construcciones presentan ruina parcial o total

En la distribución de los Grados de Daño por zonas, en la figura 5.4 se puede apreciar que no existe ninguna zona que posea todos los Grados de Daño, esto es compatible con el pequeño daño reportado para los edificios en este sismo.

Al igual que para los daños del sismo de 1986, la representación de daños para la zona 2 no indica que esta fue la que presentó más daños, mas bien puede reflejar una comparación, en una misma zona , de los distintos Grados de Daño, para el caso en la zona 2 el daño que más se repitió fue el correspondiente al grado 1.

Fig. 5.4 Grado de daño por zona (2001)



## 5.2 EN CUANTO A LOS PARAMETROS DE PELIGROSIDAD Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL UTILIZADOS EN EL ESTUDIO:

### 5.2.1 PARÁMETROS DE PELIGROSIDAD:

#### 5.2.1.1 Sismo del 10 de octubre de 1986

El comportamiento de los parámetros de Peligrosidad calculados para el AMSS, puede analizarse para las distintas zonas por medio de los gráficos siguientes, los cuales muestran la variación de la Intensidad de Arias, La Velocidad Absoluta Acumulativa, la Duración Efectiva, la PGA y la PGV todas con sus magnitudes máximas, para las estaciones correspondientes a cada zona.

Fig. 5.5 VALORES DE IA PARA LAS ESTACIONES DEL SISMO DE 1986

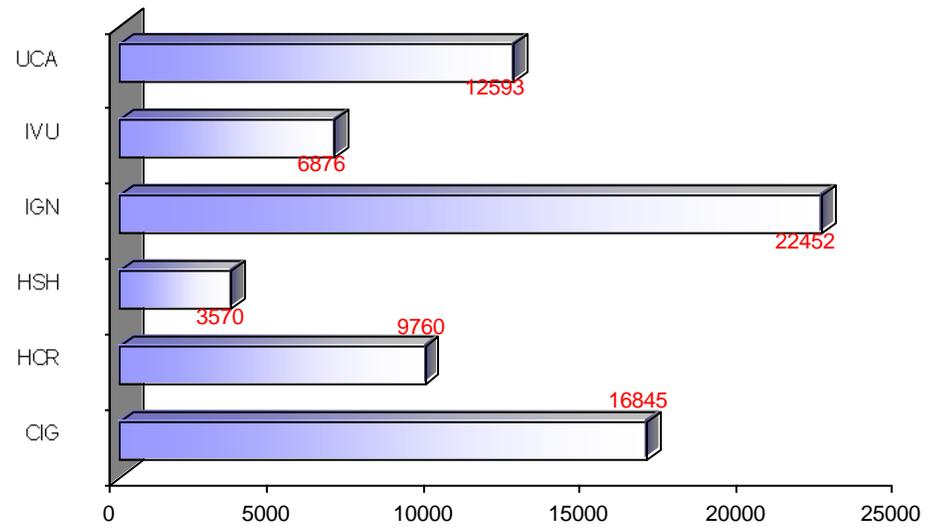


Fig. 5.6 VALORES DE CAV PARA LAS ESTACIONES DEL SISMO DE 1986

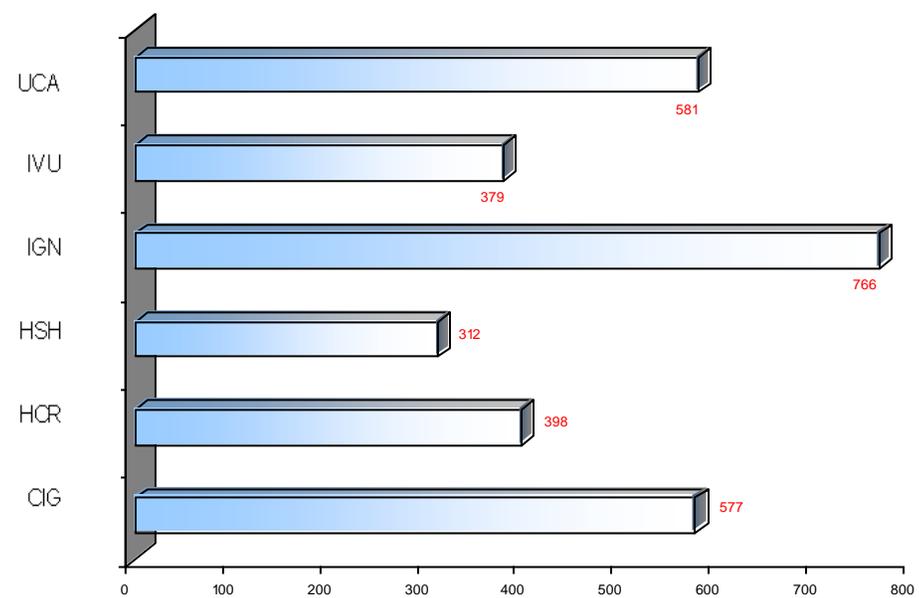


Fig. 5.7 VALORES DE DURACION EFECTIVA PARA ESTACIONES DE SISMO DE 1986

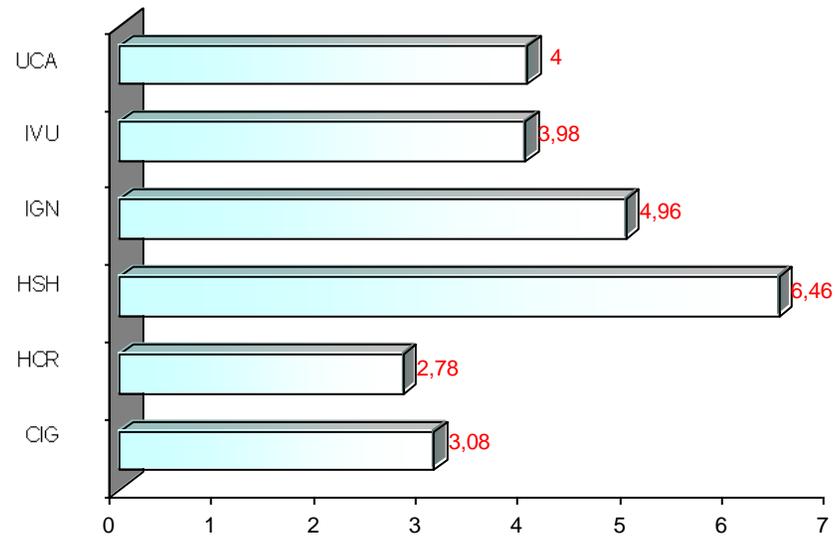


Fig. 5.8 VALORES DE PGA PARA ESTACIONES SISMO 1986

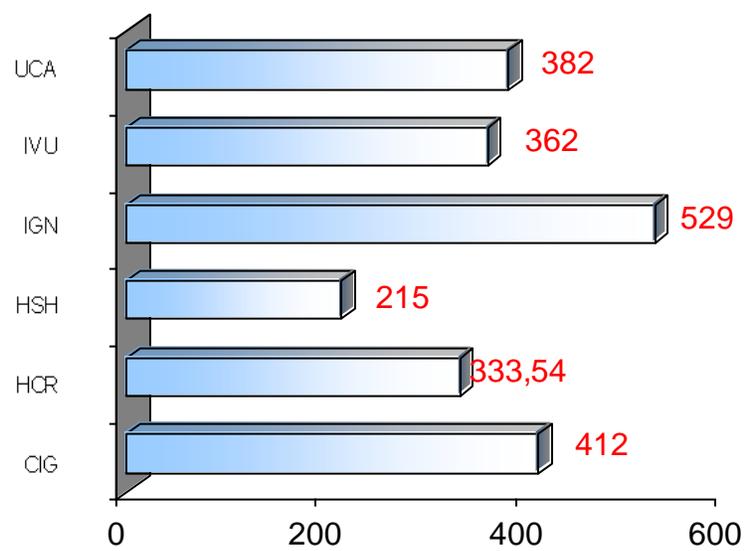
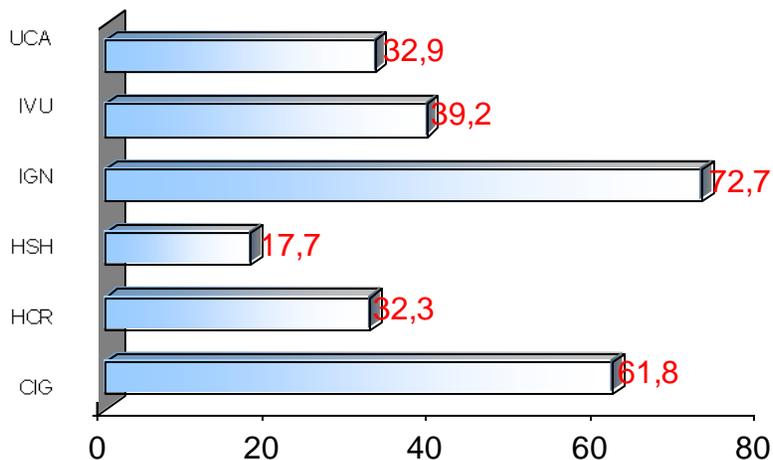


Fig. 5.9 VALORES DE PGV PARA ESTACIONES  
SISMO 1986



De los gráficos anteriores se observa que la estación que presenta mayores valores de los parámetros analizados, es la ubicada en la zona 4 (IGN) seguidas por los valores de la estación ubicada en la zona 1 (CIG). De acuerdo a esto se podría esperar que en estas zonas estuvieran la concentración de daños mayores pero si se observa el Grado de Daño por zona, esto no es así, ya que el único parámetro que representa esta situación es la Duración Efectiva, en la cual, los mayores valores de las estaciones corresponden con los daños más altos. Esta situación podría explicarse debido a la poca información concerniente a los daños para este sismo.

#### 5.2.1.2 Sismo Del 13 De Enero Del 2001:

Para los parámetros calculados debido al sismo del 13 de enero del 2001. se presentan los siguientes gráficos en los cuales al igual que en la sección anterior se muestran los valores para cada una de la estaciones ubicadas en el AMSS.

En los registros están incluidos las dos redes acelerográficas existentes en el AMSS.

Fig. 5.10 DATOS PARA IA EN ESTACIONES SISMO 2001

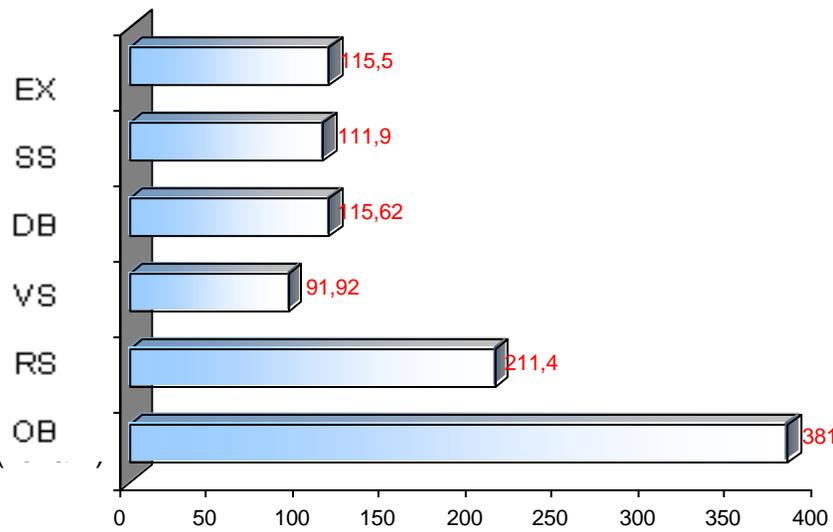


Fig. 5.11 VALORES DE CAV PARA ESTACIONES SISMO 2001

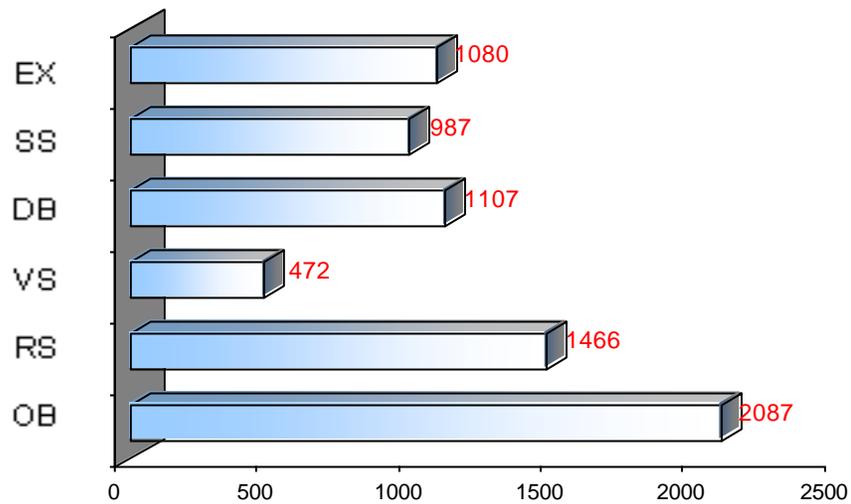


Fig. 5.12 VALORES DE DURACION EFECTIVA EN ESTACIONES SISMO 2001

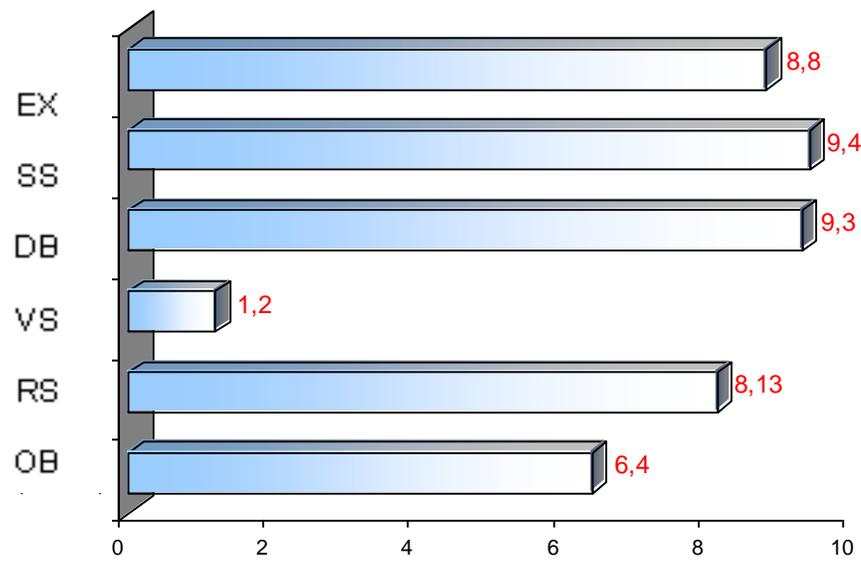


Fig. 5.13 VALORES DE PGA EN ESTACIONES SISMO 2001

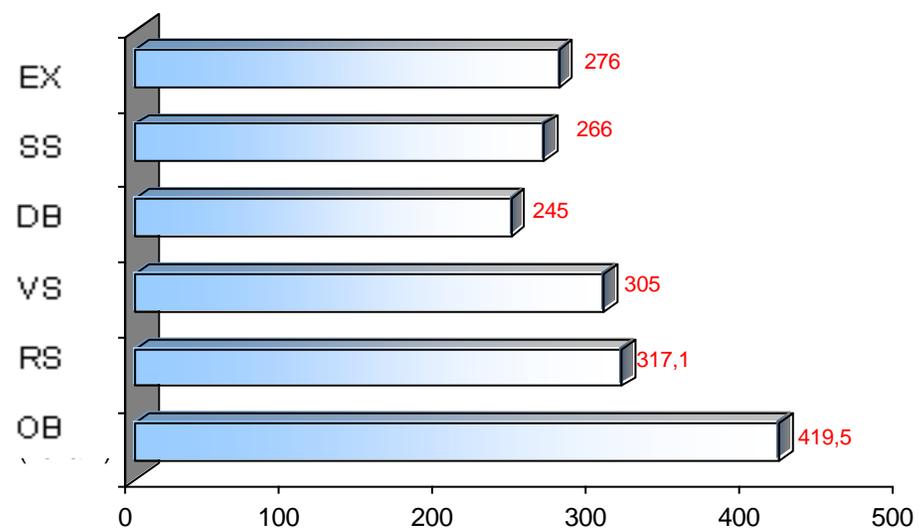
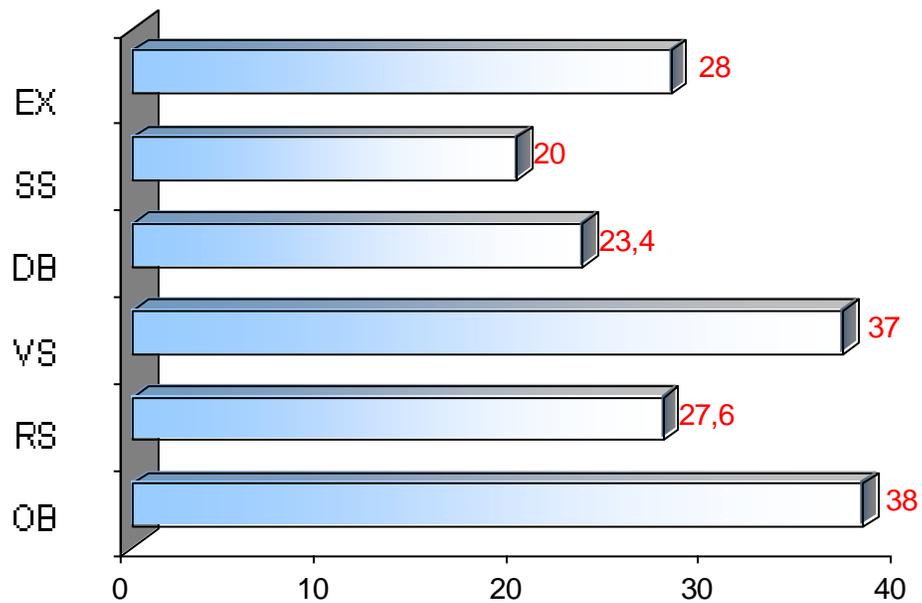


Fig. 5.14 VALORES DE PGV EN ESTACIONES SISMO 2001



Como puede observarse, la estación que presenta los valores más altos de los parámetros, a excepción de la Duración Efectiva, es la ubicada en la zona 1 (OB), seguida por los valores de la estación de la zona 2 y la zona 6, los cuales corresponden con el Grado de Daño alto encontrado en los edificios para estas zonas. Para la Duración Efectiva, el comportamiento para el registro de la zona 1 es distinto, ya que los valores mayores se encuentran en las estaciones de las zonas 5 y 4 respectivamente.

### 5.2.2 PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Básicamente, para la evaluación del comportamiento estructural de un edificio durante un sismo, se utilizó el Factor de Desempeño Estructural (FDE), el cual es función de diferentes índices que toman en cuenta características propias de la

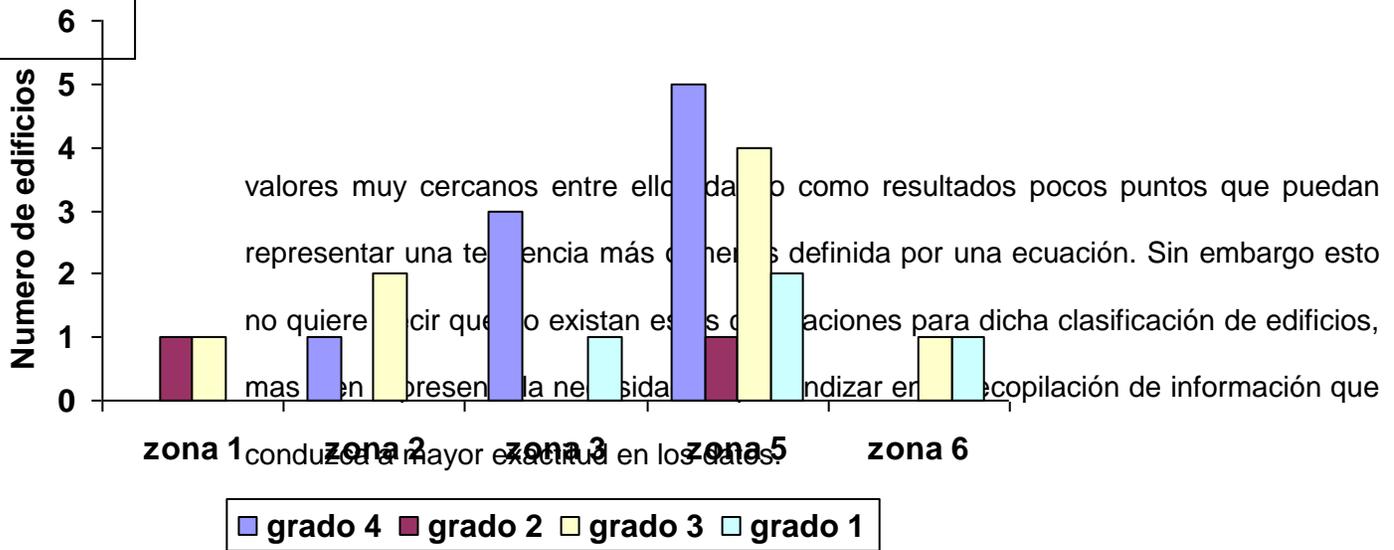
edificación, estos índices son el Índice de Configuración Estructural, el Índice de Configuración Geométrica y el Índice de Año de Construcción; estos índices pueden calcularse en base a características que aunque son básicas en la estructura tienen una gran influencia en su comportamiento ante un sismo. Al final el valor del FDE nos ayuda a clasificar a la estructura en uno de los dos tipos de edificios, PDA ó PDB, esto en base a la definición de vulnerabilidad estructural y al concepto de que un valor de FDE cercano a la unidad representa una vulnerabilidad más alta, de acá que si una estructura presenta un valor mayor a 0.5 es clasificada como PDA y es “más” vulnerable a daño que una estructura PDB.

### 5.3 EN CUANTO A LA CORRELACIÓN ENTRE LOS DAÑOS Y LOS PARAMETROS DE PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD:

Las diferentes ecuaciones encontradas por el método de los mínimos cuadrados, en las cuales se busca correlacionar ciertos parámetros de Peligrosidad con el Grado de Daño en la estructura tomando en cuenta el tipo de estructura que se analizará (PDA ó PDB) pueden servir como un indicador del comportamiento de los edificios ante un sismo en función de sus daños.

Las ecuaciones que presentan un mayor coeficiente de correlación son aquellas que corresponden a los edificios clasificados como PDA, esto es debido a la poca cantidad de edificios catalogados como PDB que contiene la muestra tomada como base para el análisis de los daños ocurridos en el sismo de 1986. Esto da como resultado que los puntos que se toman para las correlaciones se concentren en

# Grado de daño por zona (1986)



---

## ***CAPITULO 6***

---

*“BASE DE DATOS EDT-UES”*

## **6. BASE DE DATOS EDT- UES**

Una base de datos es un sistema informático cuyo propósito principal es almacenar información y hacer que esté disponible en el momento requerido. Los sistemas de base de datos se diseñan para manejar grandes cantidades de información; el manejo incluye, tanto la definición de las estructuras para el almacenamiento de la información, como los mecanismos para el manejo de la misma. Una base de datos en Microsoft Access puede estar compuesta por tablas, consultas, formularios, informes, módulos, etc.

En este sentido puede utilizarse para almacenar información sobre los daños ocurridos en los edificios ante los sismos de 1986 y 2001. y acceder a esta de una manera fácil y rápida, además de tener la capacidad de llevar a cabo cálculos sobre los diferentes parámetros de peligrosidad y comportamiento estructural desarrollados en el presente estudio.

En dicha base de datos, los formularios son utilizados para presentar información específica ya sea de datos de edificios como de datos de parámetros de peligrosidad, se hace uso de las consultas para generar reportes escritos de todos los tópicos expuestos en el presente trabajo. La visualización particular de un formulario se le denominará máscara de visualización ó simplemente máscara.

### **6.1 PANEL DE CONTROL PRINCIPAL**

Al entrar al programa aparece el panel de control principal, que es el menú que le permite desplazarse dentro de la aplicación, como lo muestra la figura y

desde el cual se ejecutan todas las funciones del EDT-UES. Presenta cuatro opciones:

1. DATOS SOBRE EDIFICACIONES
2. DATOS SOBRE SISMOS
3. CONSULTA GENERAL
4. CALCULO DE PARAMETROS
5. SALIR



En donde cada una de estas opciones accede a formularios que contienen cierta información de acuerdo al tipo de consulta que se quiera llevar a cabo.

## 6.2 DATOS SOBRE EDIFICACIONES

En este menú, aparecen las siguientes opciones:

- Consultar datos existentes sobre edificaciones
- Introducir / editar datos sobre edificaciones
- Regresar



*6.2.1 Consultar datos existentes sobre edificaciones:* con esta opción se accede al formulario “datos de edificios” en donde se pueden consultar los datos de cada uno de los edificios incluyendo datos sobre daños, así como datos sobre características propias de la estructura: numero de pisos, irregularidades, fotos, etc. Este modo de visualización no permite cambios en los datos existentes.

**DATOS DE EDIFICIOS**

**Datos Generales**

Año del Sismo:

Nombre del Edificio:  Año de Construcción:

Dirección:  Zona:

**Datos de Estructuración**

Numero de Niveles:

Sistema Estructural:

Configuración en Planta:

Configuración en Elevación:

**Datos de Daños**

Daños en Vigas:

Daños en Columnas:

Daños en Nudos Viga-Columna:

Daños en Losas:

Daños en Paredes:

Registro:  de 260

**6.2.2 Introducir / editar datos sobre edificaciones:** con esta opción se despliega el menú de edición de datos en edificaciones, el cual presenta la opción de editar o introducir los datos generales de los edificios, además presenta la opción de generar nuevos tipos de sistemas sismorresistentes. La máscara del formulario de edición de datos generales y la consulta de datos es la misma.

**6.2.3 Regresar:** esta opción hace que el control regrese al panel de control principal

### 6.3 DATOS SOBRE SISMOS

En este menú, aparecen las siguientes opciones:

- *Consultar datos sobre sismos*
- *Introducir / editar datos sobre sismos*
- *Regresar*



6.3.1 *Consultar datos sobre sismos* : conduce al menu *Informacion sobre sismos* el cual contiene los submenus: *Informacion General sobre sismos*, en la cual se presentan datos como nombre, magnitud, localizacion y un esquema del epicentro de los sismos. Ademas se presenta la opcion *Informacion sobre redes acelerograficas* con el cual se accede a informacion de las redes acelerograficas disponibles en la base de datos.



6.3.2 *Introducir / editar datos sobre sismos*: aquí se presenta un formulario en el cual permite introducir la información conserniente al sismo tales como fecha, hora, magnitud, profundidad focal, localizacion del epicentro entre otros.

6.3.3 *Regresar*: esta opción hace que el control regrese al panel de control principal

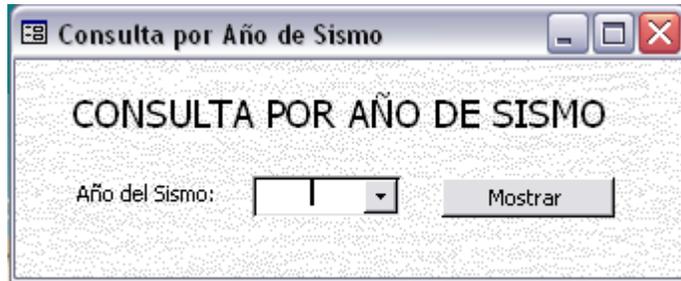
## 6.4 CONSULTA GENERAL

En este menu aparecen las siguientes opciones:

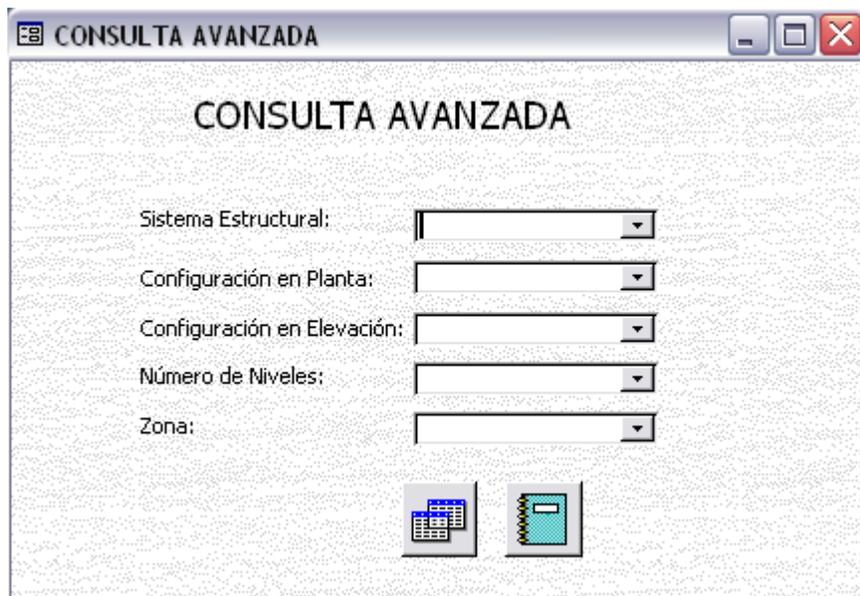
- Consulta por año de sismo
- Consulta generalizada
- Regresar.



6.4.1 *Consulta por año de sismo*: esta opción nos presenta un formulario consulta que nos permite revisar la informacion de edificios con respecto al año del sismo.



6.4.2 *Consulta generalizada*: esta opción presenta un formulario consulta, en el cual podemos consultar la información de una forma mas explicita de acuerdo a los parametros que necesitemos revisar tales como sisteme estructural, configuración en planta, configuración en elevación, numero de niveles y tipo de zona.



6.4.3 *Regresa*: esta opción hace que el control regrese al panel de control principal.

## 6.5 CALCULO DE PARAMETROS

Este submenu nos presenta las opciones siguientes:

- Calculo de parametros de comportamiento estructural
- Calculo de grado de daño
- Calculo de parametros de peligrosidad sismica
- Regresar.



6.5.1 *Calculo de Parametros de Comportamiento Estructural*: esta opción nos presenta un formulario en el cual podemos determinar los parametros de desempeño estructural tales como Índice de Sistema Estructural (Ise), Índice de

Configuración Geométrica (Icgf), Índice de Año de Construcción (Iac) para cada una de las edificaciones y determina el Factor de Desempeño Estructural (FDE) de acuerdo a los índices calculados, así mismo, clasifica cada estructura en tipo A o tipo B de acuerdo al FDE.

The screenshot shows a software window titled 'calculoGV'. At the top, there is a text field for 'Nombre del edificio' containing 'Hospital Militar'. Below this, the interface is divided into two main sections: 'Características del edificio' and 'Parámetros de desempeño estructural'. The 'Características del edificio' section includes fields for 'Sistema estructural' (Marcos CR), 'Año de construcción' (1991), 'Configuración en planta' (Regular), 'Configuración en elevación' (Regular), 'Número de Niveles' (2), and 'Zona' (0). The 'Parámetros de desempeño estructural' section includes fields for 'Ise' (0), 'Icg' (0,5), 'Iac' (0), 'FDE' (0,17), and 'Tipo de Estructura'. To the right of these sections are two buttons: 'Calcular' and 'Regresar'. At the bottom of the window, there is a status bar that reads 'Registro: 1 de 266'.

6.5.2 *Calculo de Grado de Daño* : este formulario nos permite determinar el grado de daño de cada edificación de acuerdo a los daños presentados en los elementos estructurales de dicha estructura, así mismo presenta los resultados en el mismo formulario para cada edificación y tiene la opción de generar un archivo RTF en el cual se puede ver los cálculos recién determinados.

6.5.3 *Calculo de Paramtrsos de Peligrosidad Sismica:* este submenu presenta las opciones siguientes:

- Registros formato UCA
- Registros con otro formato
- Regresar

6.5.3.1 *Registros formato UCA*: este formulario nos permite elegir un archivo acelerográfico de la red de la UCA según la ubicación en que se encuentre en el computador, así mismo nos permite determinar los parámetros de peligrosidad (IA, CAV, DE, PGA, PGV) en las tres componentes para el registro seleccionado.

IA

PARAMETROS DE MOVIMIENTO FUERTE

UBICACION DE ARCHIVO EN ANALISIS

Direccion Norte-Sur	Direccion Este-Oeste	Direccion Vertical
Intensidad de Arias : <input type="text"/>	Intensidad de Arias : <input type="text"/>	Intensidad de Arias : <input type="text"/>
Velocidad Abs Acumulativa : <input type="text"/>	Velocidad Abs Acumulativa : <input type="text"/>	Velocidad Abs Acumulativa : <input type="text"/>
Duracion Efectiva : <input type="text"/>	Duracion Efectiva : <input type="text"/>	Duracion Efectiva : <input type="text"/>
Aceleracion Maxima (PGA) : <input type="text"/>	Aceleracion Maxima (PGA) : <input type="text"/>	Aceleracion Maxima (PGA) : <input type="text"/>
Velocidad Maxima (PGV) : <input type="text"/>	Velocidad Maxima (PGV) : <input type="text"/>	Velocidad Maxima (PGV) : <input type="text"/>
Numero de Datos en archivo: <input type="text"/>	Numero de Datos en archivo: <input type="text"/>	Numero de Datos en archivo: <input type="text"/>

6.5.3.2 *Registro con otro formato*: este formulario nos permite determinar los parámetros de peligrosidad para un registro con un formato distinto al de la UCA, proporcionando la información concerniente al registro tales como numero de columnas por fila, numero de caracteres por dato, numero de líneas a obviar, intervalo de tiempo en seg. Este formulario permite generar un archivo RTF donde se puede consultar los datos recién determinados. Es de tener en cuenta que solo es permitido un máximo de diez columnas de datos.

registros generales : Formulario

**RED ACELEROGRAFICA GENERALIZADA**

Archivo :

Datos del archivo de entrada

Numero de columnas por linea :

Numero de caracteres por dato:

Numero de lineas a obviar :

Intervalo de Tiempo en seg :

Resultados

Intensidad de Arias:

CAV :

Duracion Efectiva:

6.5.3.3 *Regresar*: esta opción hace que el control regrese al menú de cálculo de parámetros de peligrosidad sísmica.

6.5.4 *Regresar*: esta opción hace que el control regrese al panel de control principal.

## 6.6 SALIR DE APLICACIÓN

Esta opción nos permite salir de la aplicación de EDT – UES.

---

## **CAPITULO 7**

---

*“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”*

## 7.1 CONCLUSIONES

- Los daños sufridos por los edificios para el sismo del 10 de octubre de 1986 fueron de mayor severidad que los experimentados por las edificaciones para el sismo del 13 de enero del 2001. Esto puede observarse en el Grado de Daño calculado, ya que más del 70% de la muestra de edificios, tomada para el sismo de 1986, presentan un grado de daño que oscila entre 3 y 4, correspondientes a daños tales como grandes grietas con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos estructurales, grietas grandes con pequeñas dislocaciones de elementos de concreto reforzado (Columnas, vigas, paredes, etc.), fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento, pequeña dislocación de elementos estructurales y de toda la construcción, problemas de estabilidad del elemento. En el caso más desfavorable los elementos estructurales y las uniones están muy dañados y dislocados, con un número grande de ellos destruidos. Existen colapsos o derrumbes, etc. En fin las construcciones presentan ruina parcial o total. Mientras que para la muestra de edificios en el análisis del sismo del 13 de enero del 2001, más del 80% de las edificaciones presentan un Grado de Daño igual a 1, el cual tiene como características a posibles fisuras en los repellos de las paredes, losas y elementos estructurales, desprendimiento de recubrimientos y acabados. En general se observan pocos daños en la construcción. Esto se debe a distintos factores, tanto de peligrosidad de la zona del AMSS como de la vulnerabilidad de las construcciones en el momento de ocurrir dichos eventos sísmicos.

- El catalogo de daños típicos elaborado en el capítulo II, puede ser utilizado en las evaluaciones de daños al momento de la ocurrencia de un evento sísmico, y a la vez adecuado a un estudio de daños mas específicos que los actuales. De igual manera, los criterios preventivos expuestos en el mismo capítulo pueden servir de ayuda al estudiante y al profesional de ingeniería civil en el área de diseño estructural, ya que con estos criterios de diseño se espera la menor ocurrencia de daños.
- Las evaluaciones de daños preliminares llevadas a cabo por instituciones estatales o no estatales (MOP-FESIARA-ASIA, para el caso del sismo del 2001) pueden servir de ayuda en el análisis de daños estructurales, esto mediante el concepto de Grado de Daño y el Factor de Desempeño Estructural, los cuales hacen uso de la información básica reunida en el formato de este tipo de evaluaciones, que a pesar de ser poco “refinada” para un estricto análisis estructural, definen cierto grado de vulnerabilidad existente en los edificios.
- Comúnmente se han analizado para el comportamiento de estructuras, parámetros como la aceleración máxima del terreno (PGA) o el desplazamiento máximo; sin tomar en cuenta otros parámetros de gran interés, que como se muestra en este trabajo también pueden ser indicativos de cierto comportamiento de las estructuras, para el caso la intensidad de Arias, la velocidad absoluta acumulativa (CAV) y la aceleración máxima del terreno coinciden en que la mayor magnitud de estas ocurre en la misma estación para los tres parámetros, el IGN para el sismo de 1986 y el Observatorio para el sismo del 2001.

- Las correlaciones encontradas por medio del método de los cuadrados mínimos y haciendo uso de la información de daños y parámetros de peligrosidad, dan como resultado ecuaciones que muestran el comportamiento de edificios en el Área Metropolitana de San Salvador, en zonas que poseen el mismo tipo de suelo. Tales ecuaciones distan de tener un carácter predictivo, a pesar de el alto coeficiente de correlación existente en algunas de ellas, esto debido al carácter del valor de Grado de Daño el cual es de tipo discreto, valor que raramente se alcanzaría con las ecuaciones; en cambio si pueden utilizarse para encontrar ciertos valores de los parámetros de peligrosidad que podrían significar altamente perjudiciales para cierto tipo de estructuras, como es el caso de el Valor de  $I_A = 15000 \text{ cm. / seg.}$  para el cual se esperaría daños graves en edificaciones catalogada como tipo PDA.
- Para las correlaciones entre los parámetros de peligrosidad y la distancia epicentral, se encuentra que el comportamiento para la Intensidad de Arias y la Velocidad Máxima del terreno (PGV) es el de disminuir su valor con la distancia, se toma énfasis en estos parámetros debido a que son los que presentan mayor coeficiente de correlación entre todos los demás parámetros estudiados.
- El uso de la computadora encuentra cada día una aplicación en el ámbito de la ingeniería civil, para el caso la utilidad de almacenar toda la información sobre daños ocurridos para un determinado evento sísmico, en medios magnéticos que a la vez que sean accesibles, sean de fácil comprensión y uso. Con este fin la base

de datos EDT-UES cumple con las exigencias de acceso a datos de daños ocurridos en edificaciones en el AMSS, así como también en el campo de la ingeniería sísmica, ya que posee la capacidad de calcular y almacenar datos de peligrosidad sísmica a partir de registros de acelerogramas.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable que para las evaluaciones preliminares llevadas a cabo después de la ocurrencia de un sismo de grandes magnitudes, se utilice un formato que presente las características estructurales de un manera mas detalla, con el fin de no únicamente evaluar la estructura en el momento de emergencia si no que al mismo tiempo utilizar esa información en estudios posteriores a dichos sismos.
- Se recomienda efectuar estudios similares al presente, en el cual se utilicen parámetros de peligrosidad sísmica, que puedan explicar el daño en edificaciones, dichos estudios deberían poseer mayor información de daños así como más información acelerográfica, lo cual traería una zonificación más extensa y que abarque mayor número de edificios en el AMSS.
- Se hace necesario implementar una estación acelerográfica en las instalaciones de la Universidad de El Salvador, con la cual se estaría abarcando una considerable cantidad de edificios universitarios, que podrían ser objeto de análisis en posteriores trabajos de graduación.

- La base de datos EDT – UES es una aplicación que cumple con las necesidades de almacenamiento de datos de daños sin embargo, se requiere tener instalado en el computador el programa Access 97 ó posterior. Seria recomendable adecuar dicha base de datos como una aplicación independiente de algún programa utilitario como Access, dicha aplicación puede elaborarse por ejemplo en un programa como Visual Basic, con lo cual acceder a la información de la base de datos seria mas conveniente.