

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

MODELO SISMORRESISTENTE PARA ARQUITECTURA

TESIS PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA

POR

SERGIO BERNAL DE LEON LOPEZ

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

ARQUITECTO

GUATEMALA



D.h
02
T(523)

JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	ARQ. FRANCISCO CHAVARRIA SMEATON
SECRETARIO:	ARQ. SERGIO VELIZ RIZZO
VOCAL 1°:	ARQ. MARCO ANTONIO RIVERA MENDOZA
VOCAL 2°:	ARQ. HECTOR CASTRO MONTERROSO
VOCAL 3°:	ARQ. RAFAEL HERRERA BRAN
VOCAL 4°:	PROF. JUAN CARLOS ALVARADO OVALLE
VOCAL 5°:	BR. CARLOS ARTURO ROCA JEREZ

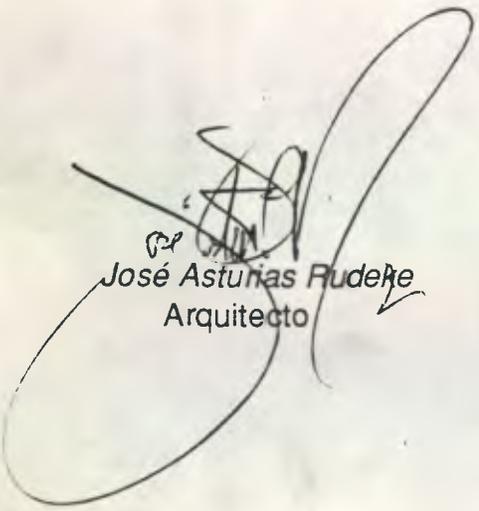
Guatemala, 14 de junio de 1990

Señor
Decano de la Facultad de Arquitectura
Arq. Francisco Chavarría Smeaton
Universidad de San Carlos
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala

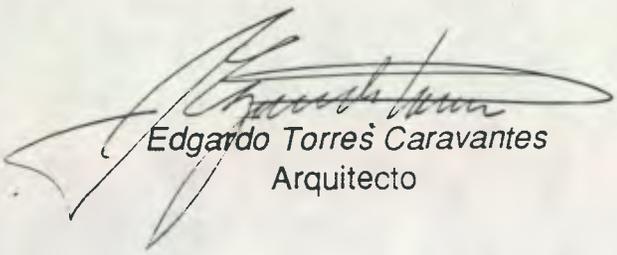
Señor Decano

Atentamente, comunicamos a Ud. que la Tesis Profesional del estudiante **Sergio Bernal de León López**, ha sido completada a nuestra satisfacción, y está lista para ser presentada al Examen Público correspondiente.

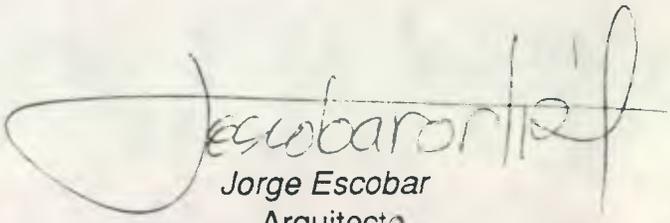
Sin otro particular,



José Asturias Rudeke
Arquitecto



Edgardo Torres Caravantes
Arquitecto



Jorge Escobar
Arquitecto

*A Dios
A mi madre en la Eternidad
A mi Padre
A Lethy en especial
A Erick, Jorge y Guille
A mis hermanos
A todos quienes los hicieron posible.
Gracias.*

INDICE		Pag.		
A.	CAPITULO I			
	VARIABLES GENERALES PRIMARIAS			
A.	VARIABLE GEOLOGICA TECTONICA	5		
	A.1. ORIGEN DE LA TIERRA	5		
	A.2. COMPOSICION DE LA TIERRA	5		
	A.2.1. Directos	5		
	A.2.2. Indirectos	5		
	A.3. PARTES DE LA TIERRA	5		
	A.3.1. Núcleo	5		
	A.3.2. Manto	5		
	A.3.2.1. Litósfera	6		
	A.3.2.2. La Astenósfera	6		
	A.3.2.3. Mesósfera	6		
	A.3.3. La Corteza	6		
	A.4. FORMACION DE LA TIERRA	6		
	A.4.1. Agentes Orogénicos	6		
	A.4.2. La Teoría de los Geosinciales	6		
	A.4.3. Hundimiento de la Corteza Terrestre	6		
	A.4.4. Movimientos Epirogénicos	6		
	A.4.5. Agentes Eruptivos	6		
	A.4.5.1. Volcanismo	6		
	A.5. ZONAS DE SUBDUCCION, DORSALES, OCEANICAS Y LA DERIVA CONTINENTAL	7		
	A.6. TECTONICA DE PLACAS	7		
	A.7. GEOLOGIA DE GUATEMALA	8		
	A.7.1. Sistema del Marco Sur de la Cuenca del Petén	8		
	A.7.2. Sistema Montañoso Antiguo	8		
	A.7.3. Sistema de la Planicie Costera con respaldo en el Altiplano volcánico	8		
	A.7.4. Sistema de la Cadena Volcánica Paralela a la Costa Pacífica	8		
	A.7.5. Sistema del Altiplano de Guatemala	10		
	A.7.6. Sistema de la Falla del Motagua	10		
	A.8. VARIABLE SISMOLOGICA	19		
	A.8.1. Movimientos de la corteza Terrestre	19		
	A.8.1.1. Efectos de los sismos	19		
	A.8.2. Movimiento Ondulatorio	19		
	A.8.3. Qué son los Sismos	21		
	A.8.3.1. Tipos de Sismos	21		
	A.8.3.1.1. Sismos premonitorios	21		
	A.8.3.1.2. Réplicas	21		
	A.8.3.1.3. Ruido Sísmico	21		
	A.8.3.1.4. Sismos Volcánicos	21		
	A.8.3.1.5. Sismos Tectónicos	21		
	A.8.3.1.6. Sismos Artificiales	21		
	A.8.4. Escalas de medición	21		
	A.8.4.1. Escala de Richter	22		
	A.8.4.2. Escala de Intensidad o Mercalli	22		
	A.8.4.2.1. Mercalli Modificada MM	22		
	A.8.5. Efectos de los Sismos	22		
	A.8.6. Características de los Sismos Intensos	25		
A.9.	MARCO DE REFERENCIA. DIAGNOSTICO	25		
	HISTORIA SISMICA DE GUATEMALA	25		
	ANTECEDENTES	25		
	A.9.1. Condiciones Sísmicas	25		
	Características	25		
	A.9.2. Marco Tectónico de la Región del Caribe	25		
	A.9.3. Zonas Peligrosas	25		
	A.9.4. Sismicidad en Guatemala	26		
	A.9.4.1. Zonas de Subducción	26		
	A.9.4.2. Zonas de Transcurrencia	26		
	A.9.4.3. Fuentes secundarias varias	26		
B	CAPITULO SEGUNDO	26		
	PRONOSTICO	26		
	B.1. VARIABLE USO DEL SUELO	26		
	B.2. RIESGO SISMICO	26		
	B.2.1. Riesgo en el uso del suelo	26		
	B.2.2. Génesis de los Suelos y su Clasificación General en el País	27		
	B.2.3. Fallas	27		
	B.2.3.1. Fallas Activas	28		
	B.2.4. Proceso para zonificación sísmica	29		
	B.2.4.1. La Ubicación	29		
	B.2.4.2. Suelos para objetos arquitectónicos	29		
	B.2.4.3. Laderas	29		
	B.2.4.4. Protección y Conservación de Taludes	30		
	B.3. VARIABLE ARQUITECTONICA	31		
	Introducción	31		
	Antecedentes	31		

B.3.1. Falta de Concepción Resistente	31	D. CAPITULO CUARTO	51
B.3.2. El Objetivo Arquitectónico como conjunto Elementos	31	D.1. CONCLUSIONES	51
B.3.3. La Configuración. Criterio AR1	34	E. CAPITULO QUINTO	52
B.3.4. La Simetría Criterio AR2	34	RECOMENDACIONES	52
B.3.5. Proporción Criterio AR3	35	APENDICE CIMENTACION	53
B.3.6. Altura Criterio AR4 ARR 1,2,3,4,5,6.	36	BIBLIOGRAFIA	
B.3.7. Centro de Masa Criterio AR5	37		
B.3.8. Centro de Rigidez Criterio AR6	37		
B.3.9. Modulación Criterio AR7 7.1	38		
B.3.10 Planos Criterio AR8 1,2,3	41		
B.3.11 Juntas Dilat. Criterio AR9	42		
B.3.12 Muros Criterio AR10 1,2,3,4,	43		
B.3.13. Triangulaciones Criterio AR 11	46		
B.3.14. Contrafuertes Criterio AR 12	46		
B.3.15. Marcos Criterio AR13	46		
B.3.16. Sistemas Estructurales que trabajan por su forma. Criterio AR 14	47		
B.3.17 Columnas Cortas Criterio AR 15	47		
B.4. TIPOS DE DAÑOS EN OBJETOS ARQUITECTONICOS POR ACCIONES SISMICAS	47		
B.4.1. Colapso Total por Falta de Estructura Resistente	47		
B.4.2. Colapso o Daños por Interferencia de Elementos Sec. no Estructurados	48		
B.4.3. Daños en Partes del Objeto Arquitectónico	48		
B.4.4. Daños Debidos a los Cimientos	48		
B.4.5. Defectos Constructivos	48		
B.5. VARIABLE ESTRUCTURAL	48		
B.5.1. Influencia de la Rigidez Criterio Es 1	49		
B.5.2. Influencia del Peso Criterio ES 2	49		
B.5.3. Influencia de la Ductibilidad Criterio ES 3	49		
B.5.4. El Conjunto Estructural Criterio ES 4	49		
B.5.5. Concentración y Dispersión Criterio ES 5	49		
C. CAPITULO TERCERO			
C.1. MODELO SISMORRESISTENTE PARA ARQUITECTURA	49		
FASE 1 MACRODISEÑO	49		
FASE 2. MICRODISEÑO	49		
FASE 3. DISEÑO ESPECIFICO. CRITERIOS ESTRUCTURALES	49		

1. INTRODUCCION

Este trabajo de investigación representa un conjunto de materias unificadas entre sí, dando por resultado la SISMORRESISTENCIA, que es un mecanismo técnico-científico, que permite a un modelo arquitectónico soportar fuerzas de sismo sin sufrir colapso, - no necesariamente sin daño, pero sí con el mínimo posible-, evitando así la pérdida de recursos materiales y sobre todo de vidas humanas.

La sismorresistencia se enfoca desde el punto de vista cualitativo de la arquitectura, o sea un grupo de conceptos que el arquitecto debe manejar para el diseño de sus modelos, en virtud de que el fenómeno sismo es un problema latente y se debe acostumbrar a vivir con él, por lo que a las variables que normalmente se toman en cuenta en el diseño arquitectónico, hay que agregar esta.

Sobre el particular, no existen, -salvo en forma aislada-, estudios anteriores para tratar el caso desde el punto de vista de la arquitectura en Guatemala. No puede seguirse despreciando el problema SISMORRESISTENTE en la arquitectura guatemalteca en virtud de que el país presenta condiciones de alto riesgo sísmico, por su ubicación en una zona geológica crítica, la cual condiciona a prevenir los riesgos a los que está sujetos los modelos arquitectónicos, ya que son ellos los que causan muertes al ocurrir sismos de mayor intensidad.

2. ANTECEDENTES HISTORICOS

El origen de esta investigación se remonta a 1976, cuando el terremoto del 4 de febrero ocasionó una pérdida de 22,278 vidas 76,504 heridos y destruyó 222,261 viviendas, además de edificios, infraestructura de servicios, patrimonio cultural y una cauda de daños colaterales sociológicos, psíquicos, de seguridad, etc.), así como pérdidas económicas por 1.1 billones de dólares.

El fenómeno evidenció la inexistencia de instrumentos de diseño sismorresistente para el arquitecto. Los modelos que se diseñan no se conciben sismorresistentes, ya que se desconoce cuál es el fenómeno, sus orígenes, cómo actúa y cuáles son sus efectos y por lo tanto, como poder contrarrestarlos. Por otro lado no era este el primer fenómeno de esta naturaleza que se producía, ya que se tiene registro desde el 18 de febrero de 1651, pasando por los terremotos del 29 de septiembre de 1717, los del 29 de julio de 1773 conocidos como de Santa Marta, que motivaron el traslado de la tercera capital de Guatemala, del Valle de Panchoy; los del 25 de diciembre de 1917 y enero de 1918, 1942, 1958, éstos últimos terremotos menores con daños apreciables.

Con la breve historia sísmica anotada, se puede concluir que a pesar de la periodicidad de frecuencia ocurrente de los terremotos en

Guatemala, y secuela de daños y pérdida de vidas, nunca se han tomado las previsiones necesarias para contrarrestar los efectos producidos, haciendo caso omiso de la sentencia popular que reza que "más vale prevenir que lamentar".

3. NECESIDAD DE UN PROCESO DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

Existen al menos cuatro fuentes definidas de sismos en Guatemala:

1. La zona sísmica inclinada que separa la placa de Cocos y la del Caribe, que producen focos leves a intermedios en terremotos de moderada a gran magnitud.
 2. La cadena Cuatemaria Volcánica es una fuente de terremotos de foco leve a moderado.
 3. Fallas activas con deslizamiento izquierdo que definen la placa limítrofe del Caribe-Norteamérica producen en Guatemala sismos de moderada a gran Magnitud.
 4. Fallas activas entre placas tal como la falla de Mixco y otras de orientación nor-este al sur de la falla del Motagua y al norte de la falla Chixoy-Polochic, son fuente de sismos de ámbito leve a moderado.⁽¹⁾
- Por el número de fuentes sísmicas anotadas y la cantidad de sismos anuales que implican un riesgo constante, es indispensable establecer un conjunto de procedimientos de diseño arquitectónico que sean capaces de hacer resistir, al aplicarse, efectos de sismo en los modelos arquitectónicos.

Deben establecerse requisitos mínimos que deben cumplirse al diseñar un modelo arquitectónico, siendo su función fundamental evitar al máximo el colapso y daños graves, y por lo tanto la pérdida de vidas humanas. La intención final de esta investigación es proteger la vida y seguridad de las personas, su calidad de vida, sus bienes y garantizar el bienestar público por medio del mejoramiento de la calidad de los modelos, introduciendo el concepto de **Arquitectura Sismorresistente**.

Esta investigación cobra importancia, ya que es un aporte al conocimiento sistemático de un fenómeno natural que siempre ha existido y cobra significación, ya que afecta directamente al hombre quien debe luchar contra esa fuerza de la naturaleza para poder vivir mejor, transformando su forma de concepción de la arquitectura, volviéndola cualitativamente capaz de obtener modelos sismorresistentes.

Con los fundamentos básicos del análisis y diseño estructural y el diseño arquitectónico, se es capaz de dar los pasos elementales para estructurar criterios de diseño arquitectónico sismorresistente, conociendo cuáles son las causas de los sismos, la conformación del

(1) Cluff, Weyd, Schwartz, David. Fuentes e intervalos de ocurrencia de Terremotos Destructivos en Guatemala. MEMORIAS SIMPOSIO SOBRE EL TERREMOTO DE GUATEMALA. TOMO I. 1978.

suelo y su uso, y los efectos que producen.

El origen de los movimientos sísmicos se vincula al origen del planeta, y por eso las teorías que tratan de explicarlos han sufrido continua evolución. La Geología ha logrado explicar hechos como la formación de las montañas, la actividad volcánica, la deriva de los continentes y la actividad sísmica, unidos a un origen común conocido como **TECTONICA DE PLACAS**, que es un conjunto teórico de conocimientos fundamentado en la formación y constitución de la tierra. El conocimiento de las causas de los sismos es necesaria para comprender el alcance que las medidas de prevención deben tener en los modelos arquitectónicos para poder soportar las fuerzas que se producen en ese fenómeno. En general, los reglamentos y códigos excluyen la arquitectura del contenido de sus normas en forma específica, pero como lo prueban los sismos más recientes, si los modelos arquitectónicos no tienen un adecuado diseño, si su estructura no es adecuada, o es mal ejecutada, sufren severos daños y acarrear serias pérdidas sociales y económicas. Se puede lograr un comportamiento satisfactorio de los modelos arquitectónicos, si en su diseño se consideran adecuadamente los efectos de la acción sísmica (**SISMORRESISTENCIA**). La condición de un terremoto obliga a proyectar modelos arquitectónicos para que difícilmente entren en colapso, pero no necesariamente exentos de daños, evitando que haya pérdida de vidas humanas.

4. DEFINICION DEL TEMA

El riesgo sísmico en Guatemala y la historia sísmica desde el punto de vista cualitativo de la arquitectura, sus efectos en los modelos arquitectónicos y su forma de contrarrestarlos, para impedir el "colapso" y la reducción de daños materiales y humanos en un futuro.

5. ALCANCES

Se investigarán y analizarán las variables que involucran el fenómeno sismo, variables generales primarias: Geológicos-tectónicas y sísmicas en forma gráfica-descriptiva, para que se conozca qué son, cuál es su origen y cómo actúan.

Las variables secundarias específicas: uso del suelo, arquitectónicas y estructurales, se deberán estudiar y analizar específicamente cada una desde el punto de vista del condicionamiento que le ocasionan a la arquitectura al ocurrir sismos, tomando en cuenta que las tres son causas del trabajo del hombre y que por lo tanto, son las que deben modificarse desde el punto de vista de la sismorresistencia, ya que son las que al involucrarse el hombre ocasionan el riesgo sísmico.

6. PROFUNDIDAD

De las variables primarias generales, debe hacerse una descripción conceptual general para su conocimiento, comprensión y la forma como actúan, por ser partes fundamentales del fenómeno global y estar siempre presentes en forma latente pudiendo activarse en cualquier momento.

La variable secundaria específica Uso del Suelo, se describirá en forma general cuáles y ha sido en Guatemala la forma tradicional de hacer ese uso, qué riesgos implica y cómo podría modificarse para obtener modelos satisfactorios de uso.

Para la variable específica Estructural, debe hacerse un análisis de cuáles son los factores que inciden directamente en la estructura y que pueden modificar el modelo arquitectónico para crearle estructura resistente y evitar que eso suceda, ya que en el modelo debe definirse la estructura sismorresistente siendo parte integral de él, y no un evento aislado.

7. CONSIDERACIONES GENERALES

La sismorresistencia es el cuerpo de conceptos cualitativos que se aplican al diseño para transformar un modelo arquitectónico en uno que sea capaz de soportar fuerzas sísmicas sin sufrir colapso, y el menor daño posible, evitando así la pérdida de recursos materiales y humanos.

Para la conceptualización de la sismorresistencia debe a nivel de conocimiento determinarse sus elementos y agentes causales, así como sus peculiaridades a través del tiempo en las zonas críticas de Guatemala, siendo necesario conocer:

- A) Variables Primarias Generales
 - A.1. Geológico-Tectónicas
 - A.2. Sismológicas, y
- B) Variables Secundarias Específicas
 - B.1. Uso del Suelo
 - B.2. Arquitectónicas
 - B.3. Estructurales

La separación en el tipo de variables se debe a que las Variables Primarias Generales son fenómenos de origen natural y que se encuentran en la Tierra en forma latente, y las Variables Secundarias Específicas son producto del trabajo del hombre.

A.1. El conocimiento de los elementos Geológico-Tectónicos, son necesarios para saber cuál es la conformación de la tierra y su estructura, así como el producto de las fuerzas internas y su influencia y determinación en el fenómeno sismo, ... "ya que el 70% de los sismos

en Guatemala son de origen tectónico".⁽²⁾

A.2. Los elementos sismológicos que son el producto de la conformación de la Tierra y por la influencia de las fuerzas internas de la misma producen vibraciones que afectan directamente los objetos arquitectónicos y éstos a su vez al hombre.

B.1. Es imprescindible el establecimiento de los criterios de uso del suelo, ya que son estos los que provocan el RIESGO SISMICO, al estar involucrado el hombre en contexto de la tierra.

B.2. Con la adopción de un criterio de diseño arquitectónico, se define la capacidad de un modelo arquitectónico para poder absorber fuerzas de sismo.

B.3. Los elementos estructurales son parte fundamental del mecanismo resistente que debe tener un modelo arquitectónico, siendo este último el que los define, logrando así estabilidad del mismo.

Para el conocimiento del fenómeno debe hacerse un estudio retrospectivo de los sismos más significativos en Guatemala, en forma lineal, así como la Sismicidad de la Región.

El fenómeno sismo se ha presentado en casi toda la República de Guatemala, pero para su estudio debe hacerse énfasis en las zonas de mayor sismicidad, ya que son las que generalmente más riesgo presentan; estando definidas por las "grandes fallas", originadas por el movimiento de placas, y los resultados obtenidos de ellas, podrán aplicarse como modelo.

Todo lo anterior cobra importancia cuando se introduce en el proceso sismorresistente el RIESGO SISMICO con la aparición del hombre en el fenómeno, ya que "los sismos no matan, sino los edificios".

8. CRITERIOS GENERALES

De acuerdo a la Geología, que es una rama de las ciencias naturales, que estudia el origen, composición, estructura y evolución de la tierra y de acuerdo también a sus ciencias particulares: Geodinámica Interna y Externa, la misma sufre constantes modificaciones, sobre todo en lo referente a la deriva de los continentes y tectónica de placas, que son los fenómenos que ocasionan desplazamientos de la corteza terrestre y sus consiguientes vibraciones, traducidas en sismos que han estado presentes desde los orígenes de la tierra.

Por la posición que se ocupe en la corteza terrestre, en las placas continentales y por el tipo de fuerzas internas que se sucedan, será el grado de sismicidad que tenga una región determinada.

Por la ubicación continental en la unión de placas, Guatemala tiene una alta sismicidad, confirmada por su historia sísmica. Por otro lado, tiene un alto riesgo sísmico por el uso incontrolado a que es sometido el suelo.

Por todo lo anterior, puede afirmarse que las condiciones de alta sismicidad y alto riesgo sísmico permanecerán siempre latentes en Guatemala.

Adicional al problema planteado, los modelos arquitectónicos se le debe proyectar antisísmicos y no calcularles antisísmicos. Sin embargo, no existe para el arquitecto en nuestro medio un instrumento que le permita diseñar modelos arquitectónicos sismorresistentes, capaces de resistir fuerzas de sismo sin entrar en posible colapso.

Por lo tanto, esta investigación pretende que se conozcan los fenómenos causales de la sismicidad y el riesgo sísmico a nivel conceptual, así como las formas cualitativas de poder diseñar modelos sismorresistentes.

No es objetivo de esta investigación el desarrollo analítico complejo, sino el crear conciencia del fenómeno en el proyectista, para que lo incluya en el proceso de diseño de sus modelos, lo cual incidirá directamente en una mejor calidad de diseño de los mismos, en primera instancia, luego en una mejor calidad de vida, ya que se podrá garantizar estabilidad desde la concepción hasta su ejecución, creando seguridad en los ocupantes.

9. OBJETIVOS

9.1. Fin

Que el diseñador pueda desarrollar modelos sismorresistentes con los conceptos arquitectónicos contenidos en esta investigación de orden cualitativo.

9.2 Objetivos Generales

9.2.1. Proporcionar al diseñador un instrumento que le permita conocer el fenómeno sismo y aplicar el conocimiento adquirido para el desarrollo de modelos arquitectónicos sismorresistentes.

9.2.2. Que el diseñador adquiera un conocimiento general de las variables que se involucren en el fenómeno sismo.

9.2.3. Proporcionar al diseñador elementos de juicio que le permitan formar un criterio de diseño arquitectónico sismorresistente.

9.2.4. Que con la aplicación de criterios de diseño sismorresistente en los modelos, se pueda llegar a reducir los efectos producidos por los sismos.

9.3. Objetivos Particulares

9.3.1. Que el instrumento producto de esta investigación le permita al diseñador incluir la variable sismorresistente en el proceso de diseño de los modelos por medio del análisis de la incidencia del fenómeno en los mismos.

9.3.2. Que con el conocimiento adquirido de las variables primarias generales: Geológico-Tectónicas y Sísmicas, el arquitecto pueda

saber que son, cual es su origen y como pueden actuar en los modelos arquitectónicos, tomando en cuenta que siempre han existido en la Tierra desde sus orígenes.

9.3.3. Con el conocimiento adquirido de las variables secundarias específicas, uso del suelo, arquitectónicas y estructurales, el diseñador pueda modificarlas, por ser producto del trabajo del hombre, para reducir los efectos probables del sismo a los que estarán sujetos los modelos.

9.3.4. Proporcionar al diseñador los elementos mínimos indispensables que tiene que conocer para normar las posibilidades sismorresistentes de sus modelos.

9.3.5. Establecer un proceso general de diseño de arquitectura sismorresistente que permita a los modelos desarrollados ser capaces de reducir los efectos de los sismos.

MARCO TEORICO

INTRODUCCION

Como ya se definió anteriormente, el estudio se dividirá en 3 fases, siendo la primera las Variables Generales Primarias, que son aquellas que ocasionan el fenómeno en sí; las Geológico-Tectónicas y las Sismológicas, que son de origen natural y se encuentran latentes, y por otro lado, las Variables Secundarias Específicas que son las que con la introducción del trabajo del hombre, hacen que el fenómeno causal de las del primer grupo incidan directamente en ellas, divididas en: Uso del Suelo, Arquitectónicas y Estructurales.

El primer grupo de variables Geológico-Tectónicas, es el Marco Teórico que dará origen al desarrollo de una fase de diagnóstico comprendido en el segundo grupo como Marco de Referencia en donde se deriva la Historia Sísmica y la sismicidad en Guatemala, concluyendo con la fase de pronóstico, comprendida en la variable Uso del Suelo.

En la segunda parte, se desarrollan las formas de enfrentar el fenómeno más eficientemente al incidir éste en un objeto arquitectónico tomando en cuenta sólo los factores más importantes que puedan involucrarse en el desarrollo del proceso del diseño.

Allí donde ha temblado, temblará.

*Plinio el Viejo
Pompeya, 79 D.C.*

Al principio...la Tierra estaba confusa y vacía.

Genesis

Los terremotos suscitan una infinidad de maravillas, cambian el aspecto de los lugares, vuelcan los montes, levantan las llanuras, llenan los valles y del seno mismo del abismo hacen surgir islas nuevas.

Séneca

A. VARIABLE GEOLOGICO-TECTONICA

A.1. ORIGEN DE LA TIERRA

La teoría de mayor difusión afirma que... la Tierra se formó junto con el sol, la luna y los planetas, a partir de una nebulosa primitiva o nube de polvo estelar. Los materiales se agruparon en una nube incandescente que con el tiempo fue disminuyendo hasta formar la Tierra. Enfrío su superficie hasta que aparecieron las primeras costras sólidas. Los vapores se condensaron en líquidos, que constituyeron mares y océanos, y se formó la atmósfera de los gases y la Tierra adquirió condiciones favorables de vida".⁽³⁾

A.2. COMPOSICION DE LA TIERRA

Para el estudio de la composición y estado físico del interior de la tierra se emplean 2 tipos de métodos: directos o indirecto.

A.2.1. Directos:

- sondeos
- perforación de minas
- erupciones volcánicas, aportan datos de materiales internos, sin conocerse la profundidad de proveniencia.

A.2.2. Indirectos:

- estudio de meteoritos, fragmentos de otros astros que se suponen con la misma composición y estructura de la tierra, de los cuales se dedujo su composición.
- estudio de la densidad terrestre
- métodos sismológicos. Basado en el estudio de la variación de la velocidad de propagación de ondas sísmicas que depende de la densidad de las rocas o materiales que atraviesan. Por las discontinuidades que Mohorovic y Gutenberg, se supone que la tierra está formada por varias envolturas superpuestas y concéntricas. La discontinuidad de Mohorovic está situada a 40 km de profundidad y separa la corteza terrestre del manto. La de Gutenberg está a 2,900 km y separa el manto del núcleo.

"La masa de la Tierra se calcula en 5,982 trillones de toneladas métricas, con un radio de 6,870 Km de profundidad. La corteza tiene un espesor medio de 33 Km, y debajo de los océanos es más delgada y bajo de los continentes es mayor".⁽⁴⁾

(3) IPGH-OEA. TEMBLORES DE TIERRA Pub. No. 363. México, DF. 1977. p 10.

(4) IBID. p. 10.

(5) IBID. p. 14.

(6) IBID. p. 14.

(7) Siegel, Lee A., ITC Science. California, EUA. TEMPERATURA DE LA TIERRA. Prensa Libre, 13 de abril de 1987. p 50

El manto es un material más denso y se extiende desde la capa interior de la corteza (discontinuidad de Moho ó Mohorovic), hasta unos 2,940 Km de profundidad. La velocidad de las ondas sísmicas es mayor en el manto que en la corteza. Debajo del manto está el núcleo, de hierro y níquel en fusión.⁽⁵⁾

Su parte superior se considera líquida ó plástica. La parte central parece ser sólida. La parte superior del núcleo no propaga las ondas transversales o secundarias (S), y en su parte central se reflejan y se refractan las ondas longitudinales o primarias (P). (Ver variable sísmica).⁽⁶⁾

No se conoce con absoluta exactitud cómo es el interior del planeta, pero a través de métodos indirectos tales como el estudio de la propagación de las ondas sísmicas se trata de hacerlo. Los sismos envían "trenes de onda en todas direcciones y variaciones, y así se determina la naturaleza de los distintos estratos, al pasar éstas en ellas. A pesar de lo anterior, sin embargo, se conoce a través de los últimos y más modernos experimentos, en UCLA, Berkeley y el ITC, que el centro de la Tierra es más caliente que la superficie del sol. Se comprobó por medios experimentales que en el núcleo, la temperatura es de 6,882°C, según Thomas Ahrens. En el centro de la Tierra la presión es de 3,440,000 kilos por cm², o sea 3.3 millones de veces la presión atmosférica de la tierra a nivel del mar. Este fenómeno es el que hace que la tierra y no su caparazón suprayacente, es la fuente del calor que hace que gran parte del a corteza terrestre se desplace, configurando la "DERIVA CONTINENTAL", por lo que las fuerzas que mueven las placas y que dan lugar a sismos y erupciones volcánicas tienen su origen en el núcleo de la tierra".⁽⁷⁾

Bajo el manto está el núcleo externo de 2,270 Km. según Ahrens. El núcleo interno es sólido, -pese a las altas temperaturas-, por estar sometido a tan elevada presión, y tiene un diámetro de 2,400 Km.

El núcleo interno es varios cientos de grados centígrados más caliente que el límite entre los núcleos interno y externo. El límite conserva gran parte del calor del núcleo, pero permite la fuga de una cantidad suficiente para hacer que el manto hierva lentamente, mediante el proceso de convección, por el cual las rocas calientes ascienden y las más frías se hunden haciendo el principio de la "caldera de presión".

A.3 PARTES DE LA TIERRA

La Tierra está formada por 3 capas de distinta composición:

A.3.1. Núcleo: De 3,280 Km. de radio, se considera la parte central del planeta.

A.3.2. Manto: Desde 3,120 Km. hasta la Corteza. El manto se

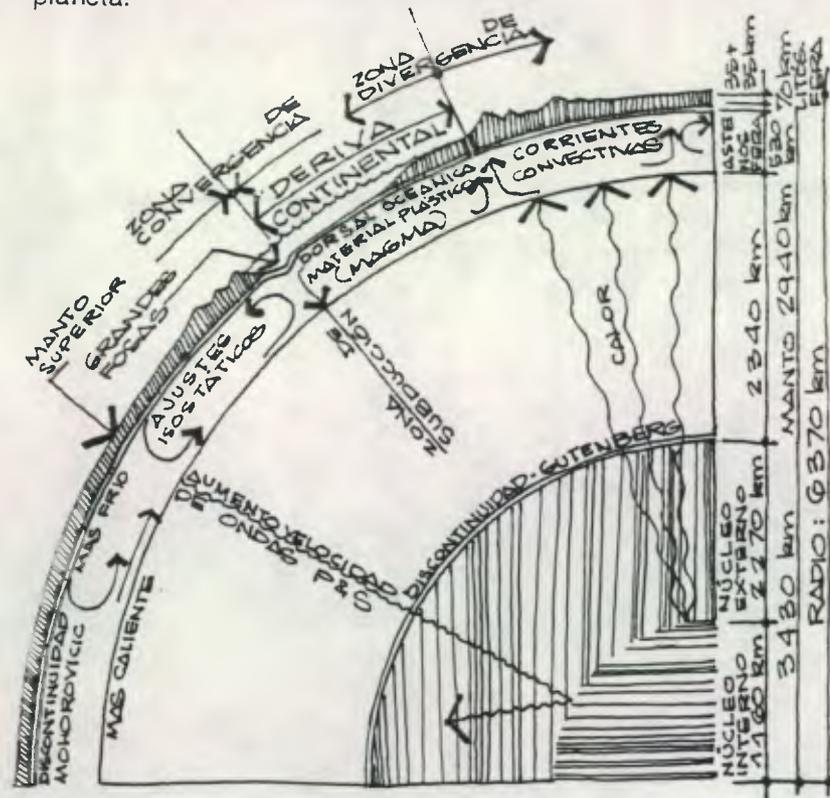
subdivide en 3 capas atendiendo al comportamiento mecánico.

A.3.2.1. Litósfera: Comprende la corteza y tiene un espesor conjunto entre 70 y 150 Km. -el mayor espesor ocurre bajo los océanos-Se compone de materiales que por su situación de presión y temperatura son bastante rígidos. La temperatura de las porciones bajo la corteza es alta, como para fundir las rocas, pero la presión es también elevada y eso las mantiene en un estado amorfo pero no fluido. Esto explica las erupciones de lava, pues el material descomprimido entra inmediatamente en fusión.

A.3.2.2. LA ASTENOSFERA: hasta unos 600 Km. de profundidad. Es más fluida como un líquido viscoso, capaz de moverse.

A.3.2.3. MESOSFERA: Hasta encontrarse con el núcleo. Sometida a presiones elevadísimas es más rígida.

A.3.3. CORTEZA: De aproximadamente 10 Km. bajo los océanos y 35 Km. en los continentes. Es la única porción verdaderamente sólida del planeta.



SECCION ESQUEMATICA DE UNA PORCION DE LA TIERRA

Elaboración propia

A.4. FORMACION DE LA TIERRA:

La Tierra sufre cambios continuos, acciones hipogénicas o agentes endógenos (movimientos internos que obran de adentro hacia afuera), y acciones geológicas, y epigénicas o agentes exógenos (externos que obran de afuera hacia dentro), pudiendo ser constructivos o destructivos.

A.4.1. Agentes Orogénicos: son los que han determinado la formación de montañas, según la teoría de los plegamientos, por enfriamientos lentos y rápidos de la corteza.

A.4.2. La teoría de los Geosincales: dice que los mares poco profundos en las zonas Neríticas, se hundieron bajo el peso de los materiales acumulados, por su resistencia mínima, llamándose a este fenómeno geosinclal. Los bordes de las zonas de hundimiento se han aproximado entre sí, y los materiales contenidos en ellas fueron empujados plegándose y elevándose, dando origen a las cordilleras en la era Terciaria. Los fenómenos de plegamiento se explicaban por la teoría de SIAL y SIMA, que posterior a 1960 fue sustituida por la **TECTONICAS DE PLACAS**.

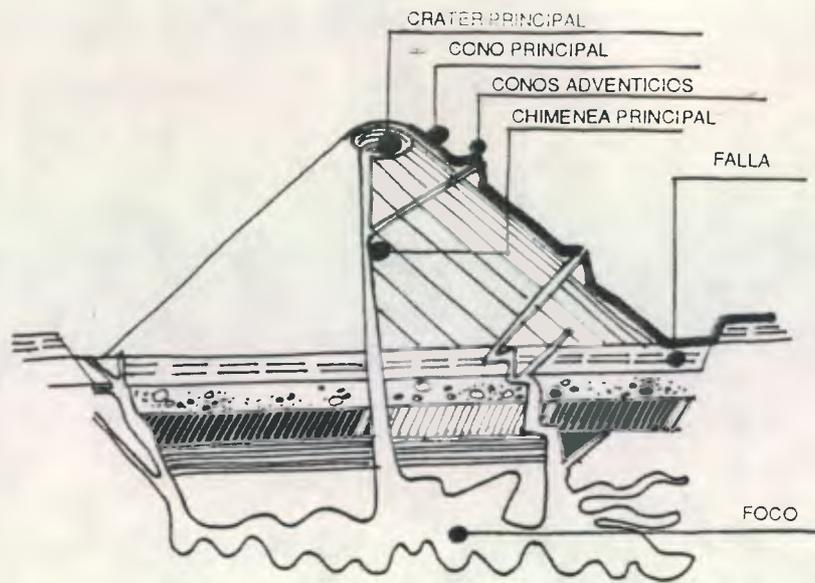
A.4.3. Hundimiento de la corteza terrestre: Las placas mantienen un equilibrio aparente gracias a las presiones laterales. Cuando la presión cede, las áreas afectadas descienden y provocan hundimientos verticales. Generalmente son lentos e imperceptibles.

A.4.4. Movimientos Epirogénicos: Se caracterizan por su extrema lentitud que afecta grandes extensiones y consisten en elevaciones o hundimientos del suelo, y casi sólo se pueden percibir a orillas del mar. Los hundimientos han hecho que el mar invada los valles próximos (Holanda, Países Bajos).

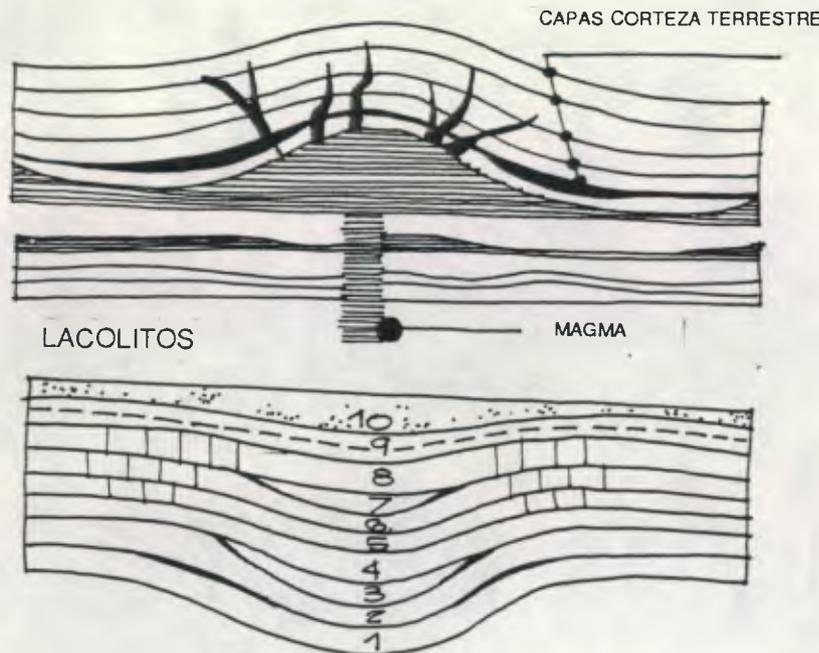
A. 4.5. Agentes Eruptivos

A.4.5.1. Volcanismo: Un volcán es una montaña cónica, en cuya parte superior se abre una cavidad llamada cráter y que conecta con un conducto llamado chimenea uniéndolo con la capa de materiales fundidos. Al invadir el magma las grietas funden las rocas. La temperatura y la presión llega a puntos críticos de fusión. Las Chimeneas secundarias (fumarolas) se obstruyen hasta que estalla lanzando su tapón de piedras, lava, rocas, fuego, gases tóxicos, humo y cenizas. Los productos volcánicos pueden ser gaseosos, líquidos y sólidos. Su energía se origina de uno a diez kilómetros de profundidad y no es suficiente para propagarse a grandes distancias en forma de sismos.

Los materiales fluidos (magma) no siempre son expulsados por cráteres, sino inyectados a gran presión entre las capas de la Corteza terrestre, solidificándose lentamente sin alcanzar la superficie apareciendo cuando se producen cortes en el terreno y se les denomina



VOLCAN. Esquema



LACOLITOS

BATOLITOS

A.5. ZONAS DE SUBDUCCION, DORSALES OCEANICAS Y LA DERIVA CONTINENTAL

El continuo proceso de enfriamiento a que está sometida la Tierra origina "corrientes convectivas" en la astenósfera que arrastran a la litósfera. Se crean zonas donde el material caliente sube desde las profundidades y, o porciones de la litósfera fría -corteza incluida- descienden y al calentarse en las capas más profundas se funden para reiniciar el ciclo (SUBDUCCION).

Ambos tipos de zonas son fajas delgadas. Las primeras -que ocurren en el fondo de los océanos- se llaman DORSALES OCEANICAS y las segundas -que coinciden con las grandes fosas- ZONAS DE SUBDUCCION.

El sistema de dorsales y fosas divide la corteza terrestre en sectores o casquetes esféricos, que por efecto de los movimientos convectivos de la Astenósfera se trasladan en la superficie del globo y se llaman PLACAS y su movimiento DERIVA CONTINENTAL, (América del Sur se separa de África aproximadamente 2 cms por año).⁽⁸⁾

Al enfrentarse dos placas en la zona de subducción, se originan deformaciones, pliegues y finalmente roturas de la corteza. Al ocurrir, la energía acumulada por deformación elástica de las rocas es bruscamente liberada y se tiene un sismo. Estos movimientos son sumamente lentos y ocurren desde hace millones de años.

A.6. TECTONICA DE PLACAS

La teoría más moderna sobre la mecánica del subsuelo, se llama TECTONICA DE PLACAS.

"Según ésta la corteza terrestre y la parte superior del Manto, hasta una profundidad de 100 Kms., no es sólida e inmutable. Estaría formada por una docena de placas rígidas de tamaño continental, subdivididas en otras menores. Todas ellas flotan sobre un manto caliente y viscoso. Las superficies sólidas de las tierras y de los fondos oceánicos, descansan, de acuerdo a esa teoría, sobre aquellos bloques de placas."⁽⁹⁾

"Las placas se deslizan en varias direcciones a velocidades geológicamente vertiginosas de 1 a 5 cm. al año; dando origen a roces y esfuerzos en sus bordes. El mecanismo básico que causa el movimiento de las placas se desconoce con exactitud, pero se cree que se debe a corrientes de convección o movimientos del Manto plástico y caliente de la Tierra."⁽¹⁰⁾

Estas placas se encuentran en las "zonas de convergencia" y se separan en "las zonas de divergencia". Se cree que el movimiento de

(8) TEMBLORES... op. cit. p. 14.
 (9) TEMBLORES... op. cit. p. 13.
 (10) TEMBLORES... op. cit. p. 13.

las placas crea los terremotos, volcanes y otros fenómenos geológicos. En las zonas de divergencia, las rocas fundidas por debajo de la Corteza suben súbitamente para llenar la falla resultante y formar cordilleras (crestas).

En las zonas de convergencia ocurre la **subducción**, -una placa se desliza sobre la otra formando fosas y el material regresa del puesto de avanzada en el límite de las placas bajas en el interior de la Tierra. La fosa del Caimán es un ejemplo de una zona de subducción. En Guatemala la placa de Cocos incrustándose bajo la placa del Caribe, cerca de 200 Km. forma la fosa Mesoamericana y una zona de subducción (Benioff), que es también ejemplo de la construcción de montañas, donde las fuerzas resistentes del exceso de las fuerzas de la placa pliegan y se sobrecimentan en el límite de subducción de la placa, lo que ha dado origen al Farallón volcánico que sirve de límite al altiplano y formó el Litoral Pacífico paralelo a él cerca de 80 Km.

Las placas también pueden deslizarse lateralmente pasando a otra además de rotar, y una o ambas pueden mover a la otra.

El 90% de los terremotos ocurren en vecindad de los límites de las placas. Donde las placas empujan una contra otra y una se desliza por debajo de otra, superficial a la profundidad de asentamiento, ocurre un sismo.

En la profundidad de asentamiento, los terremotos son excepcionales donde las placas se deslizan pasando una a otra.

El otro 10% de los terremotos ocurren en fallas localizadas dentro de las placas. Son mucho menos frecuentes que los otros, en los límites de las placas y sus causas son hasta ahora menos etendibles.

A.7. GEOLOGIA DE GUATEMALA

Geológicamente Guatemala puede dividirse así, según clasificación del Atlas Nacional de Guatemala:

A.7.1. Sistema del marco Sur de la Cuenca del Petén, formado por rocas sedimentarias paleozóicas, limitadas por rocas metamórficas e ígneas, con predominancia de esquistos.

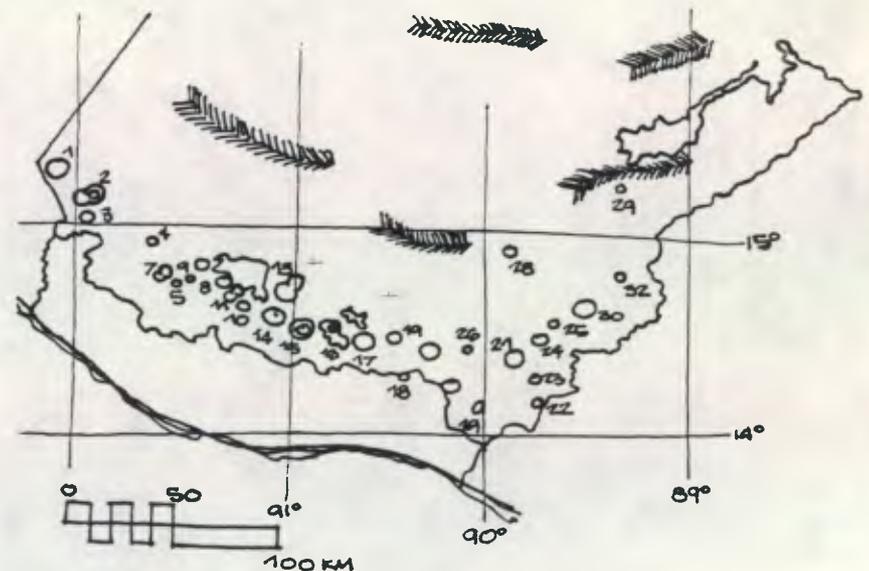
A.7.2. Sistema Montañoso Antiguo. Se forma desde Huhuetenango hasta Chiquimula, con dirección oeste-este en las Sierras Madre, Chuacús, de las Minas, de Santa Cruz y del Espíritu Santo, estando a continuación del anterior sistema, ya que se forma básicamente de rocas volcánicas terciarias: andesitas, loditas, basaltos, cubiertas en su mayoría por capas volcánicas recientes de ceniza pómez, dando origen al límite norte del altiplano volcánico.

A.7.3. Sistema de Planicie Costera con Respaldo en el Altiplano Volcánico. Formado de sedimentos plásticos no consolidados

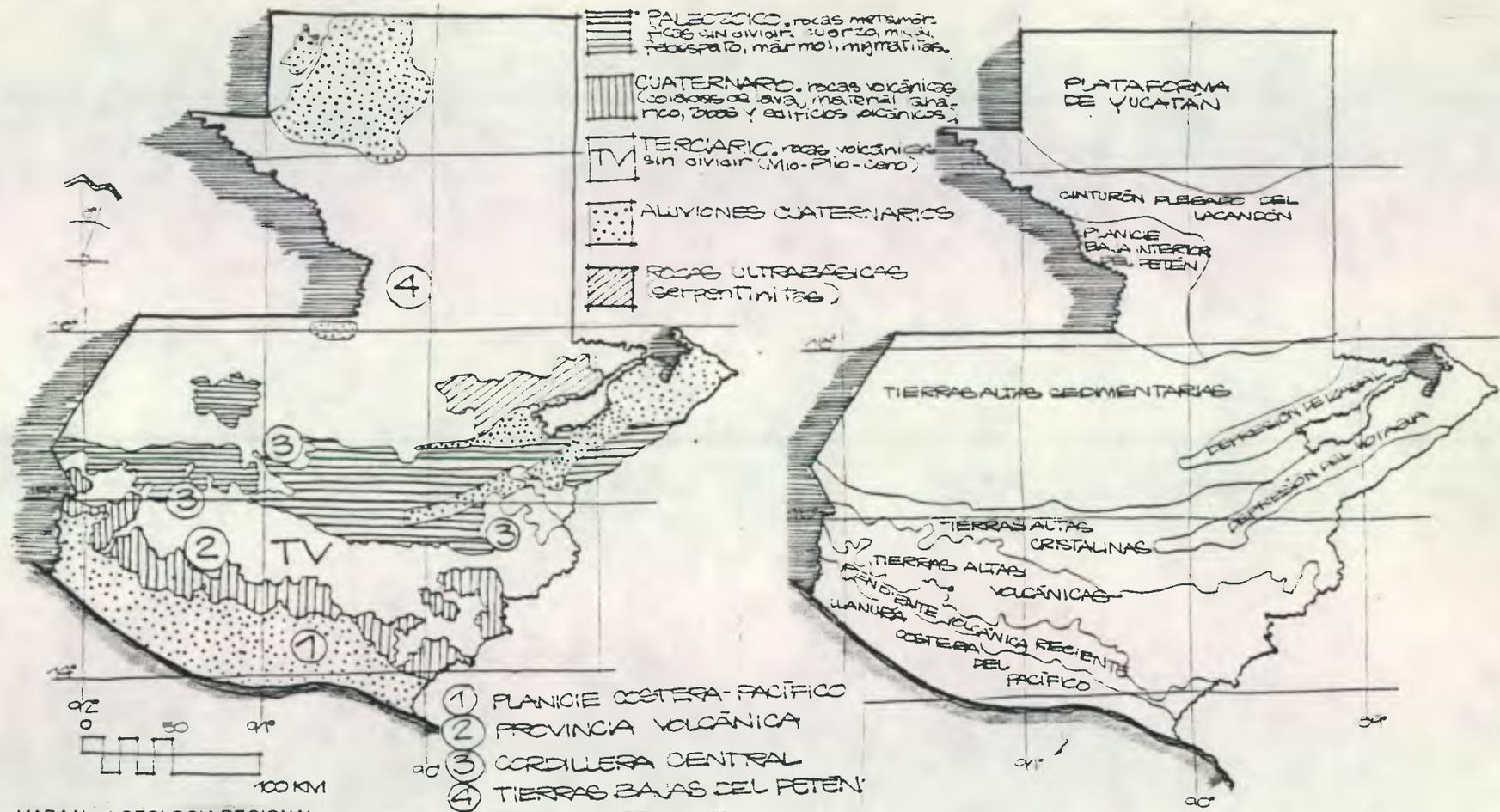
provenientes de materiales rocosos: gravas y limos de componentes volcánicos, que forman las ricas tierras de la costa Pacífica.

A.7.4. Sistema de la Cadena Volcánica paralela a la Costa Pacífica, lo constituye la cadena de volcanes que se encuentran sobre la cordillera paralela a la costa del Pacífico, entre 70 y 80 Kms. del litoral y a su vez paralela al Círculo de Fuego. Es consecuencia de la intensa actividad volcánica desde el período Terciario hasta fines del Pleistoceno, siendo 32 en total los que tienen un origen definido, pudiéndose encontrar muchos más que no son significativos.

- | | | |
|------------------|------------------------------------|-----------------|
| 1. Tacaná | 2. Tajumulco | 3. San Atonio |
| 4. Lacandón | 5. Cerro Quemado | 6. Zunil |
| 7. Santa María | 8. San Pedro | 9. Sto. Tomás |
| 10. Atitlán | 11. Cruz Quemada | 12. Tolimán |
| 13. Acatenango | 14. Agua | 15. Fuego |
| 16. Pacaya | 17. Cerro Redondo | 18. Tecuamburro |
| 19. Jumaitepeque | 20. Moyuta | 21. Amayo |
| 22. Chingo | 23. Culma | 24. Ixtepeque |
| 25. Suchitán | 26. Alzatate | 27. Almaj |
| 28. Jumay | 29. Tobón | 30. Monte Rico |
| 31. Ipala | 32. Quezaltepeque. ⁽¹¹⁾ | |



(11) Marroquín H. y Gándra, J.L. org. LA VIVIENDA POPULAR EN GUATEMALA, ANTES Y DESPUÉS DEL TERREMOTO DE 1976. Tercer Ed. Universitaria 1982, p.40.



MAPA No. 1 GEOLOGIA REGIONAL
 Elaboración propia, adaptado de Mapa Ecológico.
 Atlas Nacional de Guatemala, IGN, 1972, p. 36.

MAPA No. 2 REGIONES FISIOGRAFICAS. FORMAS DE LA TIERRA
 (Michel W. Doley). Fuente: IGN, Atlas Nac. de Guate.
 IGN, 1972 p. 3.8.

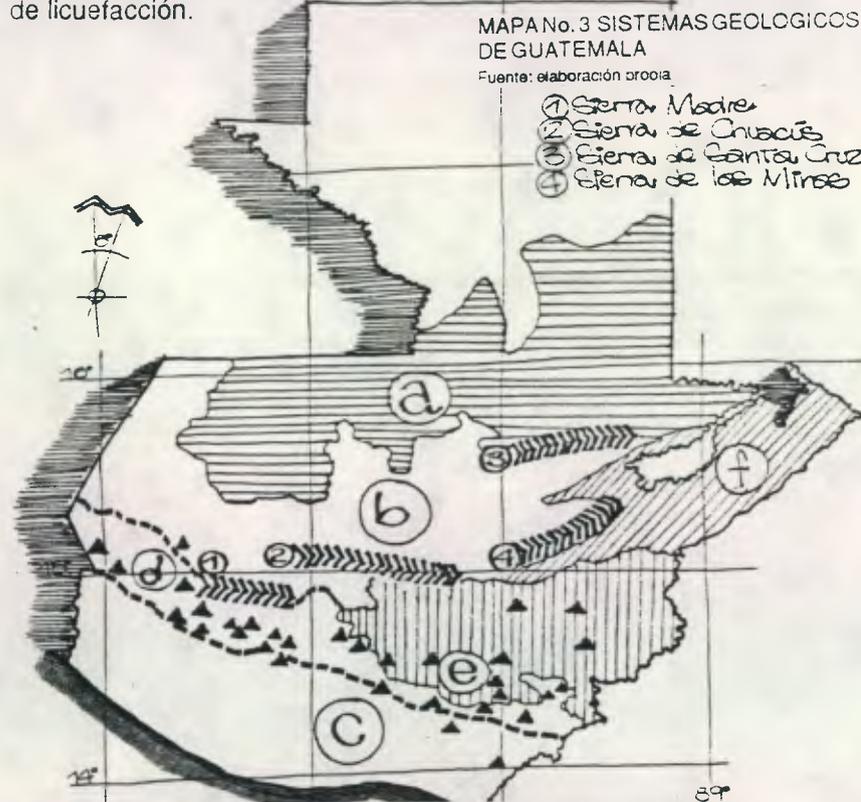
A.7.5. Sistema del altiplano de Guatemala.

Formado por piedra pómez subyacente en su mayor parte, muestra fallamientos extensos dentro de los últimos 90,000 años.

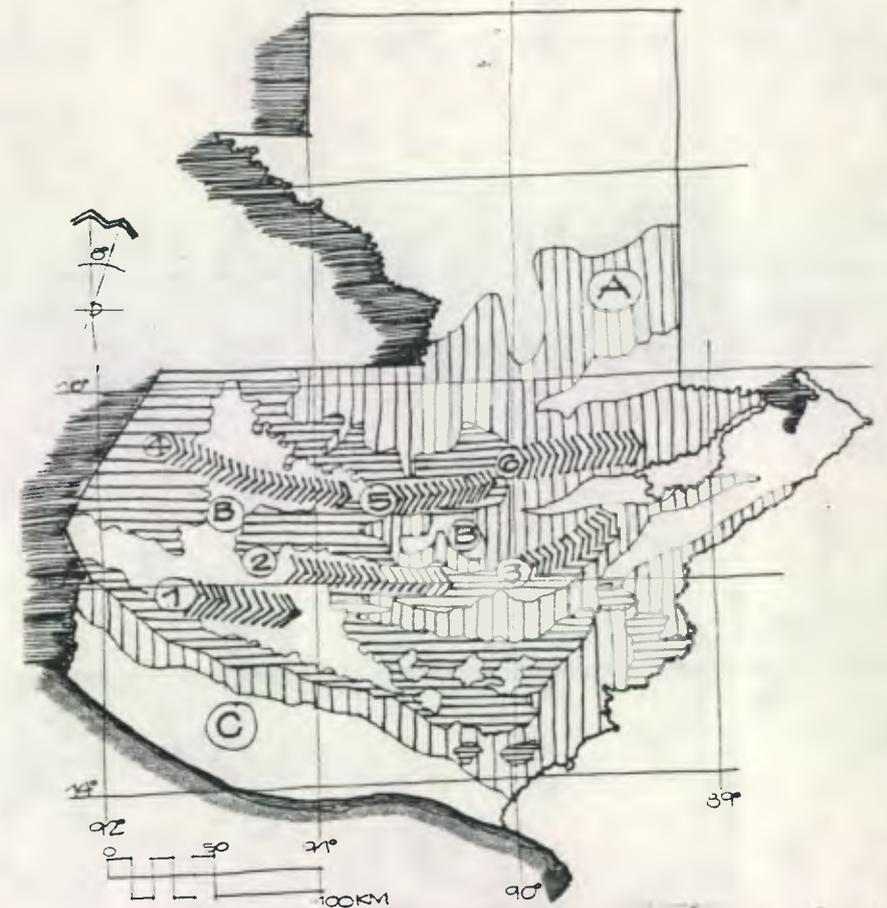
El valle de la ciudad está circundando por importantes fallas, de los cuales sólo el sistema occidental fué activado en 1976. Morfológicamente se presentan una serie de mesetas separadas por barrancos, cuyos taludes, tienen alturas que varían entre 25 y 150 metros y pendientes entre 45° y 90° (Koose, Federico, 1976)

A.7.6. Sistema de la falla del Motagua.

Formando básicamente de serpentinita, cuyas características friccionales determinan el proceso tectónico de la falla, haciendo que su comportamiento mecánico deba ser considerado como posible fuente de mecanismo sísmico, (Dengo, Logan, Texas 1976) así como fuente de licuefacción.



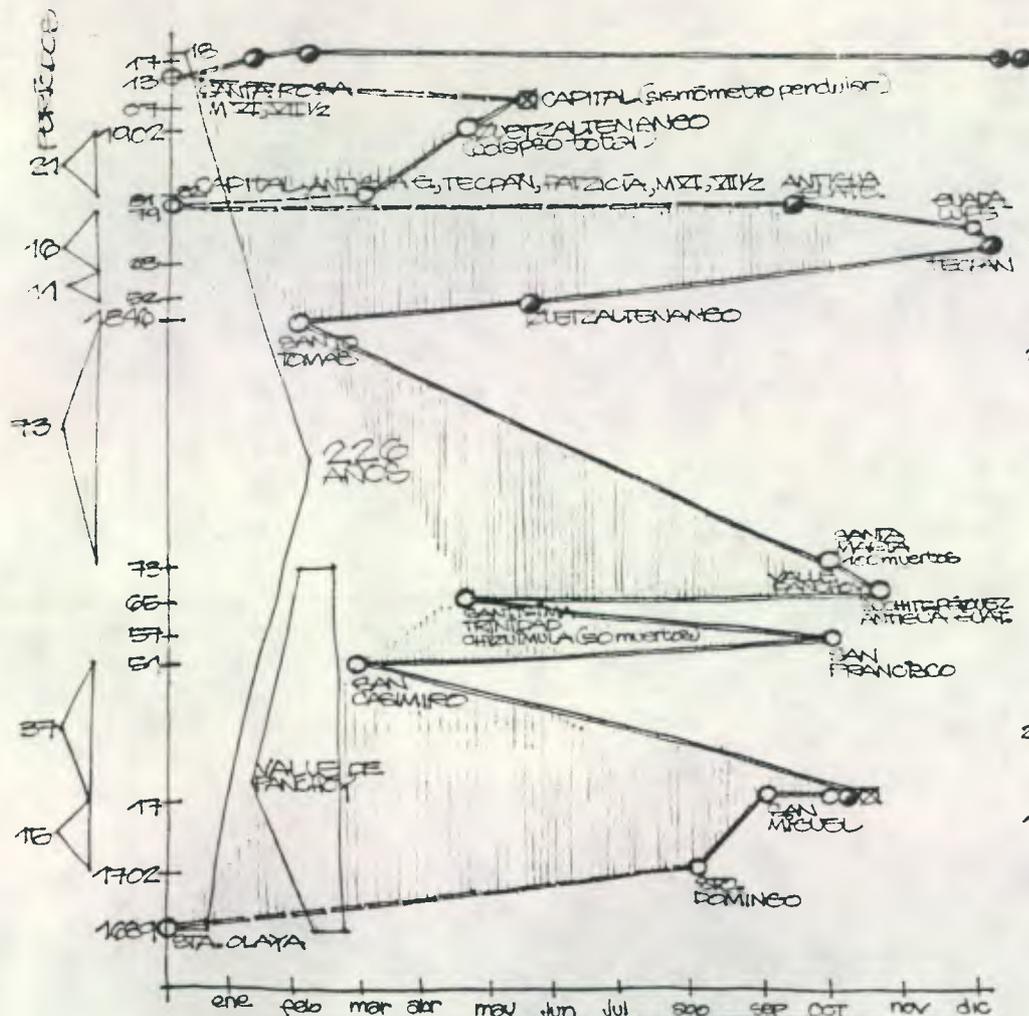
- a. Sistema del marco sur de la cuenca del Petén
b. Sistema montañoso antiguo
c. Sistema de la planicie costera con respaldo en el altiplano volcánico.
d. Sistema de la cadena volcánica paralela a la costa pacífica
e. Sistema del altiplano de Guatemala
f. Sistema de la falla del Motagua



- ALTURAS
- 0 A 200 MT.
 - ▨ 200 A 1000 MT.
 - ▩ 1000 A 2000 MT.
 - ▧ MÁS DE 2000 MT.
- ① SIERRA MADRE
② SIERRA DE CHUACÚS
③ SIERRA DE LAS MINAS
④ SIERRA DE LOS CUCHUMATANES
⑤ SIERRA DE CHAMA
⑥ SIERRA DE SANTA CRUZ
- Ⓐ MARCO SUR DE LA CUENCA DEL PETÉN
B ALTIPLANO
C PLANICIE COSTERA

MAPA No. 4 GEOLOGIA
Alturas, Regiones y Sierras de Guatemala.

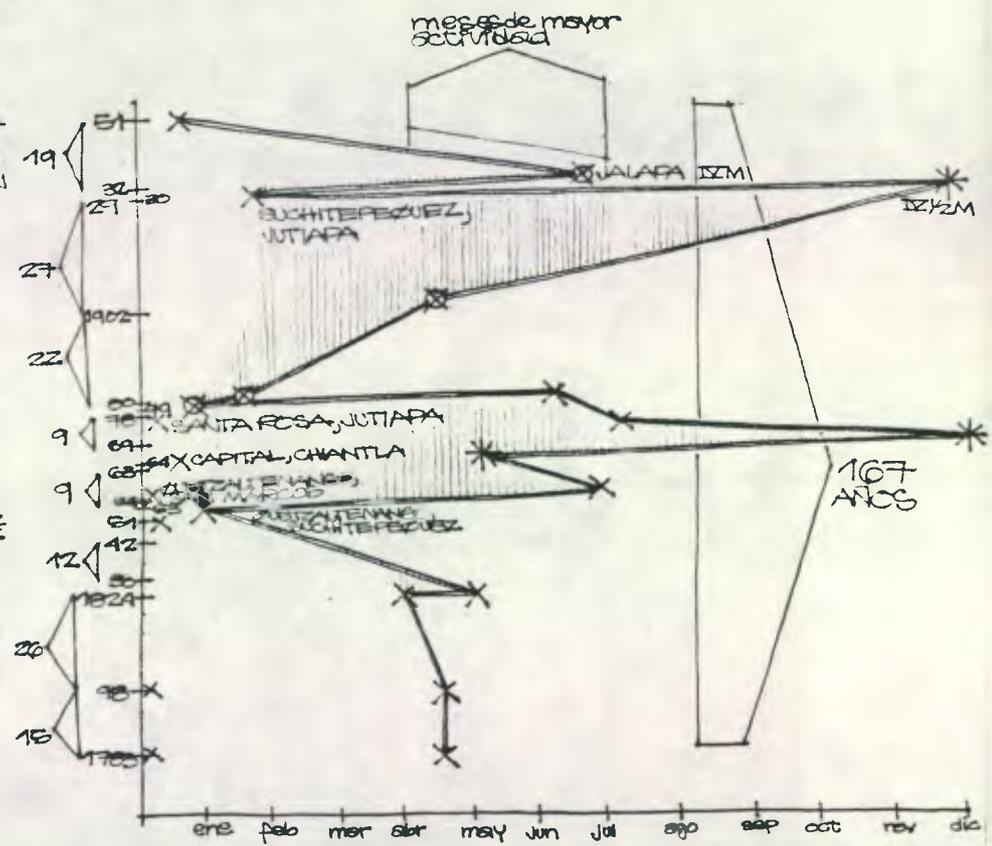
FUENTE: Anuario Estadístico 1972.
Dirección General de Estadística.



○ TERREMOTO
 ● TEMBLOR, DAÑO SEVERO Y MUERTES
 ⊗ TEMBLOR FUERTE, DAÑO EN ESCUELAS Y CASAS MAL ESTADO
 ● DIAGRAMA DE TERREMOTOS REGISTRADOS EN GUATEMALA (1689-1918)
 --- FECHAS NO CONFIRMADAS

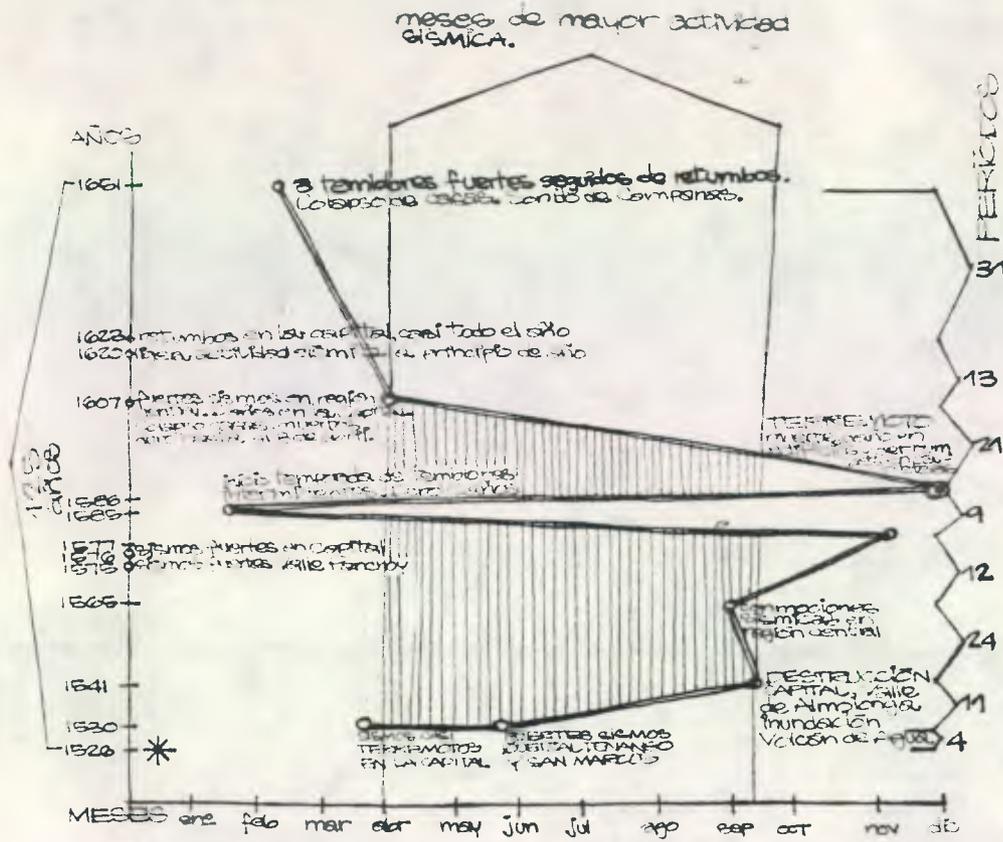
PERIODO DE CALMA
 MESES DE MAYOR ACTIVIDAD

FUENTE: elaboración propia registros varios



● DIAGRAMA DE HISTORIA SISMICA DE GUATEMALA. sismos registrados intermitentes, en serie, retumbos, menores (1783-1961).
 X sismos intermitentes
 * sismos en serie
 ⊗ retumbos + sismos menores

FUENTE: elaboración propia registros varios

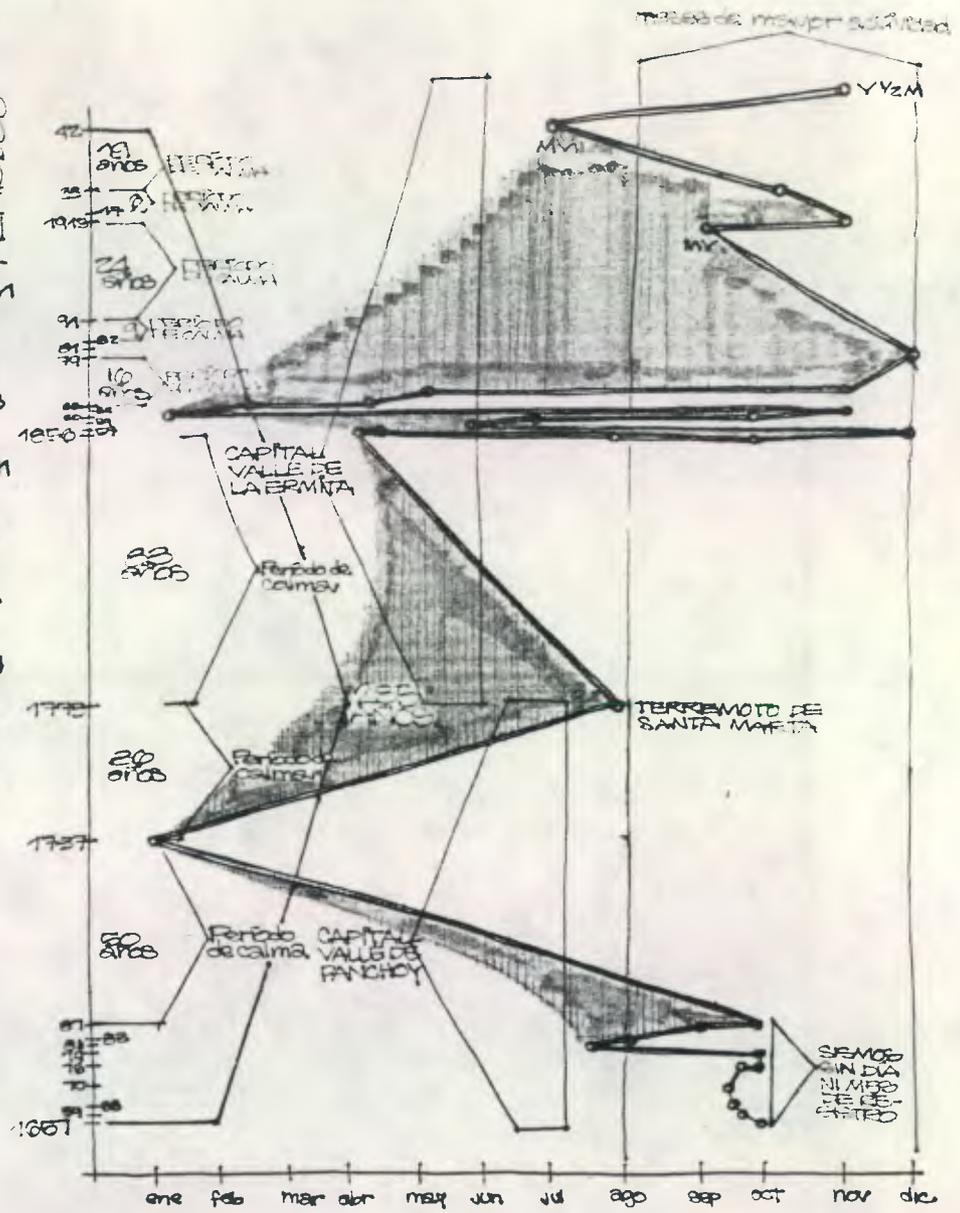


● **DIAGRAMA HISTORIA SÍSMICA DE GUATEMALA (1520-1951)**, según registros existentes.

* 1520... « se sintieron terremotos tan fuertes que las gentes no podían tenerse en pie »... Bernal Díaz del Castillo.
 Fue la erupción del Volcán de Fuego, Valle de Panchoy.

Notase en el diagrama, que no existe una secuencia en los años y meses que se produjeron los sismos en esos 123 años.

FUENTES: elaboración propia según registros.



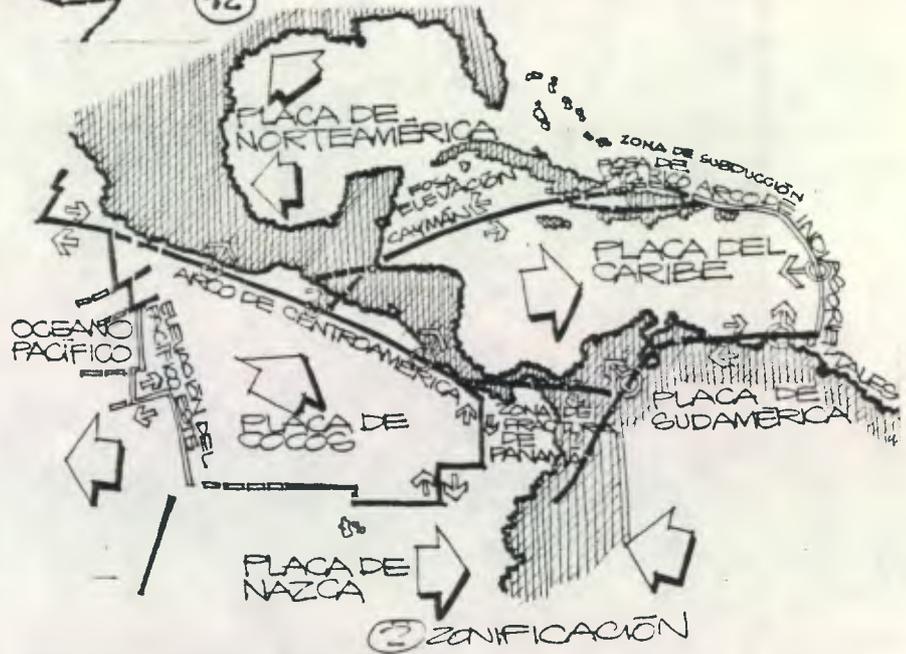
● **DIAGRAMA DE SISMOS FUERTES Y AISLADOS EN LAS CAPITALS DE GUATEMALA (1657-1942)**

FUENTES: elaboración propia según registros.

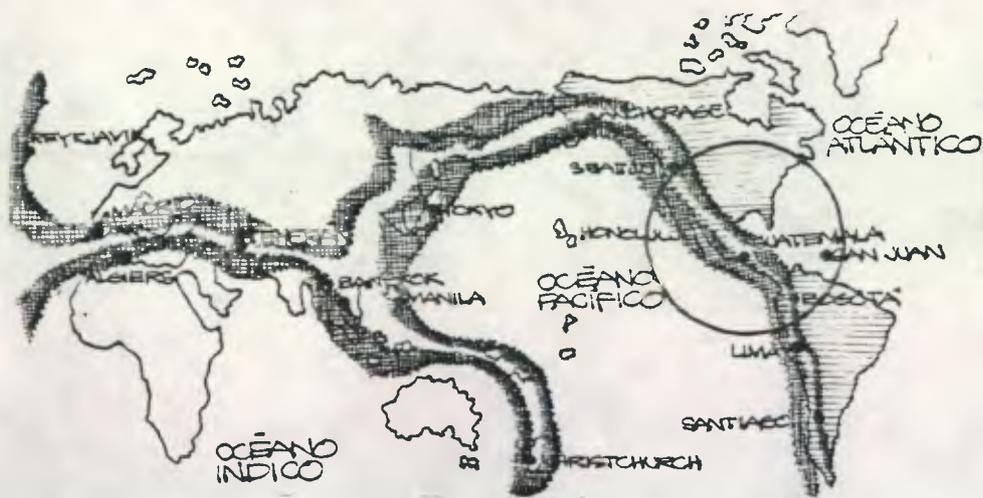


1. DEL CARIBE
2. DE LOS COCCOS
3. DE NAZCA
4. SUDAMERICANA
5. NORTEAMERICANA
6. DEL PACÍFICO
7. DE BERING
8. EURASIÁTICA
9. CHINA
10. FILIPINA
11. INDOAUSTRALIANA
12. ANTÁRTICA
13. SCOTIA
14. AFRICANA
15. SOMALI
16. ARÁBICA
17. DEL IRÁN

MAPA No. 5 ZONIFICACION PLACAS ACTIVAS EN LA CORTEZA TERRESTRE
 FUENTE: M. UNCHENER RUCKVERSICHERNGS GESELLSCHAFT, GUATEMALA
 76 TERREMOTOS DE LA PLACA DEL CARIBE. FA, 1976. P 5.



MAPA No. 6 INTEGRACION DE PLACAS
 FUENTE: PLAFKER, GEORGE. MEMORIAS. I SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE EL TERREMOTO DE GUATEMALA DE 4 DE FEBRERO 1976. Tectónico significante of surface related to the 4/feb-1976. Earthquake. Guatemala, 1978. Tomo I.

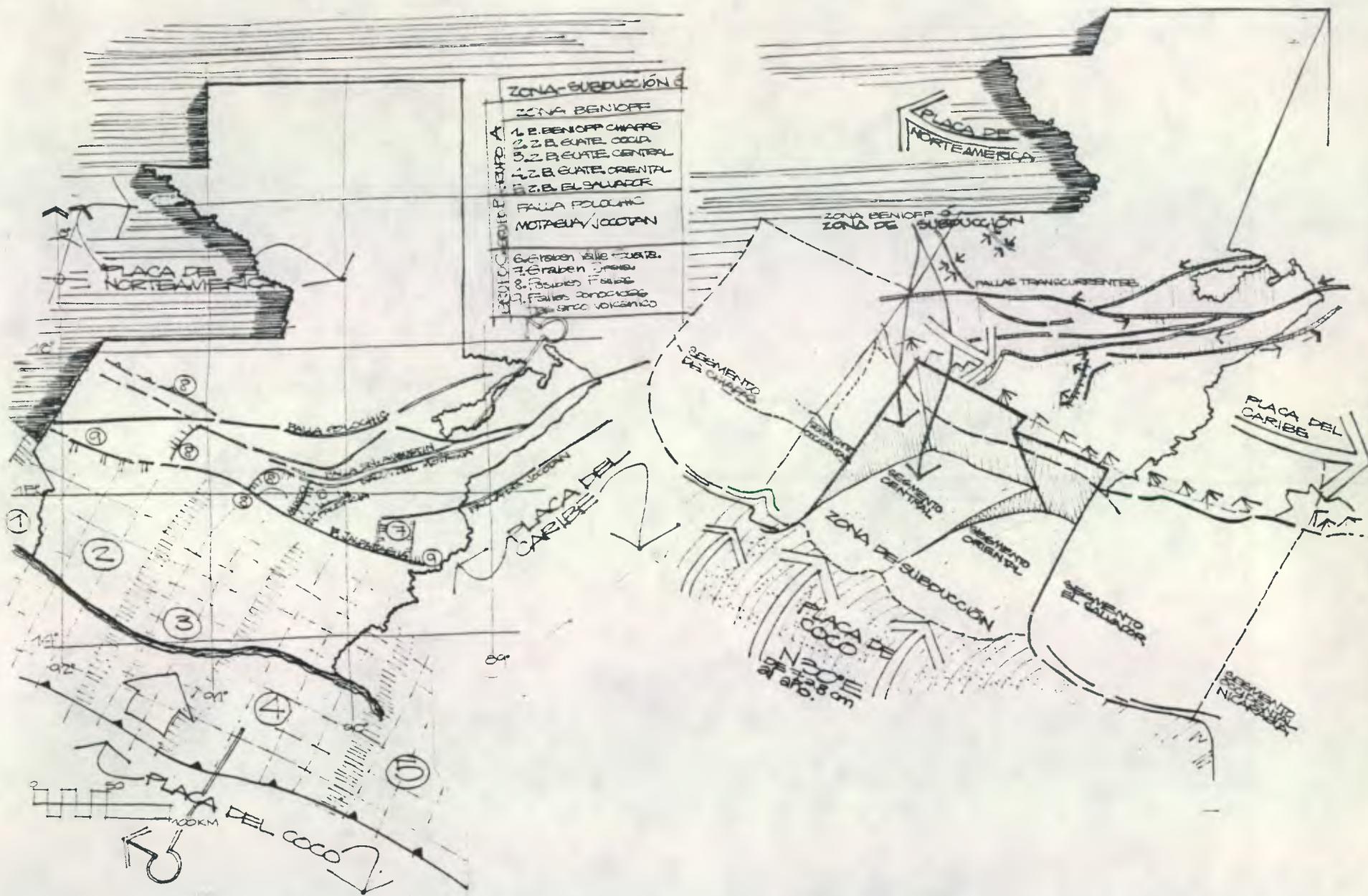


MAPA No. 7 CIRCULO DE FUEGO DEL PACIFICO
Fuente: IPGH-OEA. TEMBLORES DE TIERRA. MEXICO, D.F. 1977. p 21.



*ALTIMETRIA SOBRE EL NIVEL DEL MAR
□ PROFUNDIDAD EN PIES BAJO EL NIVEL DEL MAR

MAPA No. 8 CIRCULO DE FUEGO DEL PACIFICO (fractura ashurada)
FUENTE: ELABORACION PROPIA, Adaptado de PACIFIC OCEAN FLOOR. GUYOT NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. Basado en estudios batimétricos de Bruce Hezen y Marie Tharp. Oct. 1969.



MÁPA No. 9 ESQUEMA TECTONICO DE GUATEMALA

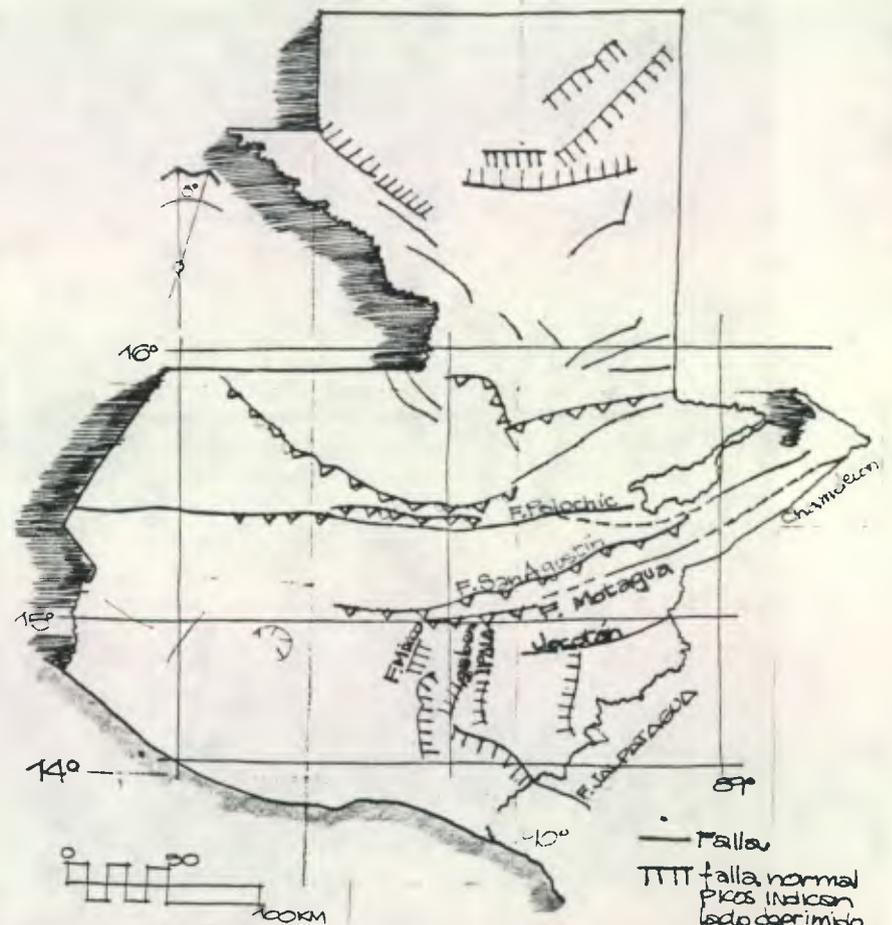
FUENTE: Monzón D. Héctor. SOBRE LA SISMICIDAD EN GUATEMALA Y LAS PERSPECTIVAS FUTURAS (Artículo) Revista Arquitectura. Colegio de Arquitectos de Guatemala. Vol. 13, No.1, nov-dic, 1986, p.14.

MÁPA No. 10 ESQUEMA SIMPLIFICADO ZONA DE SUBDUCCION EN CENTROAMERICA

FUENTE: Ing. Monzón D. Héctor. SOBRE LA SISMICIDAD EN GUATEMALA Y LAS PERSPECTIVAS FUTURAS. (Artículo). Revista, Arquitectura. Colegio de Arquitectos de Guatemala. Vol. 13, No.1, nov-dic, 1986, p. 15.

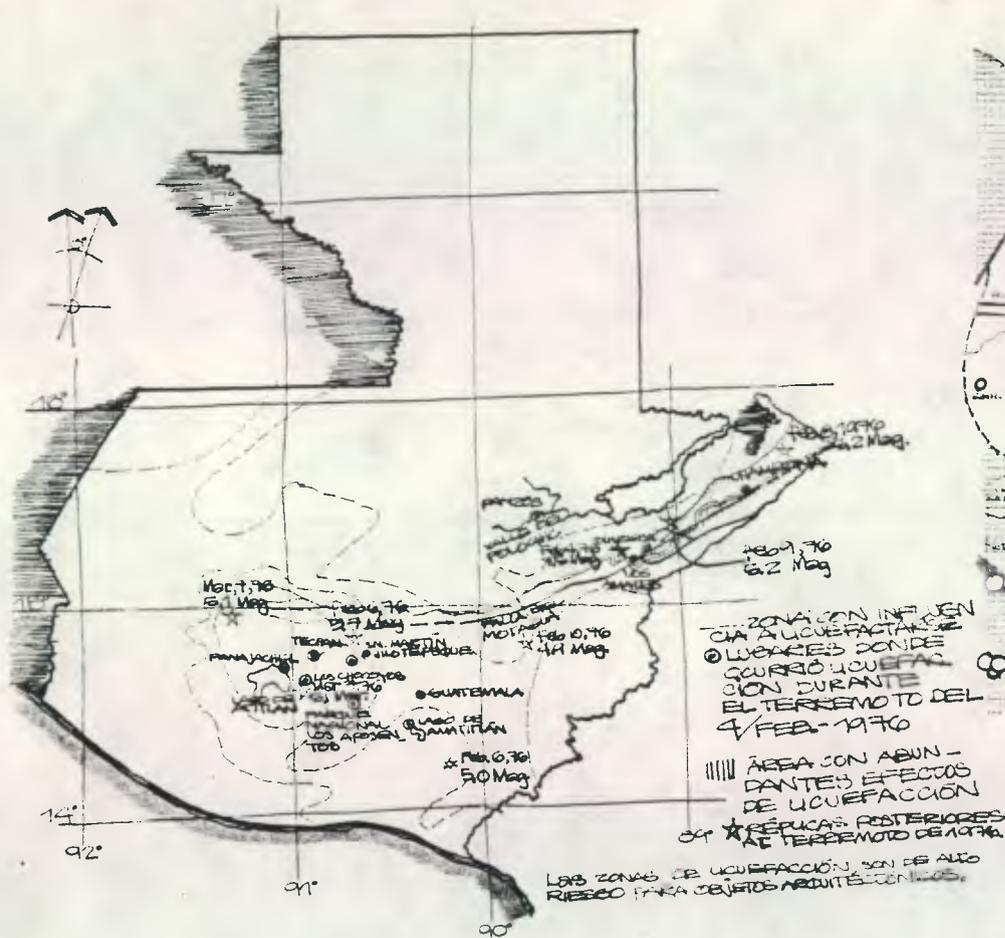


MAPA No. 11. MAPA DE FALLAS
GEOLOGICAS DE GUATEMALA
FUENTE: ADAPTADO DE IGN. ATLAS NACIONAL
DE GUATEMALA. 1972

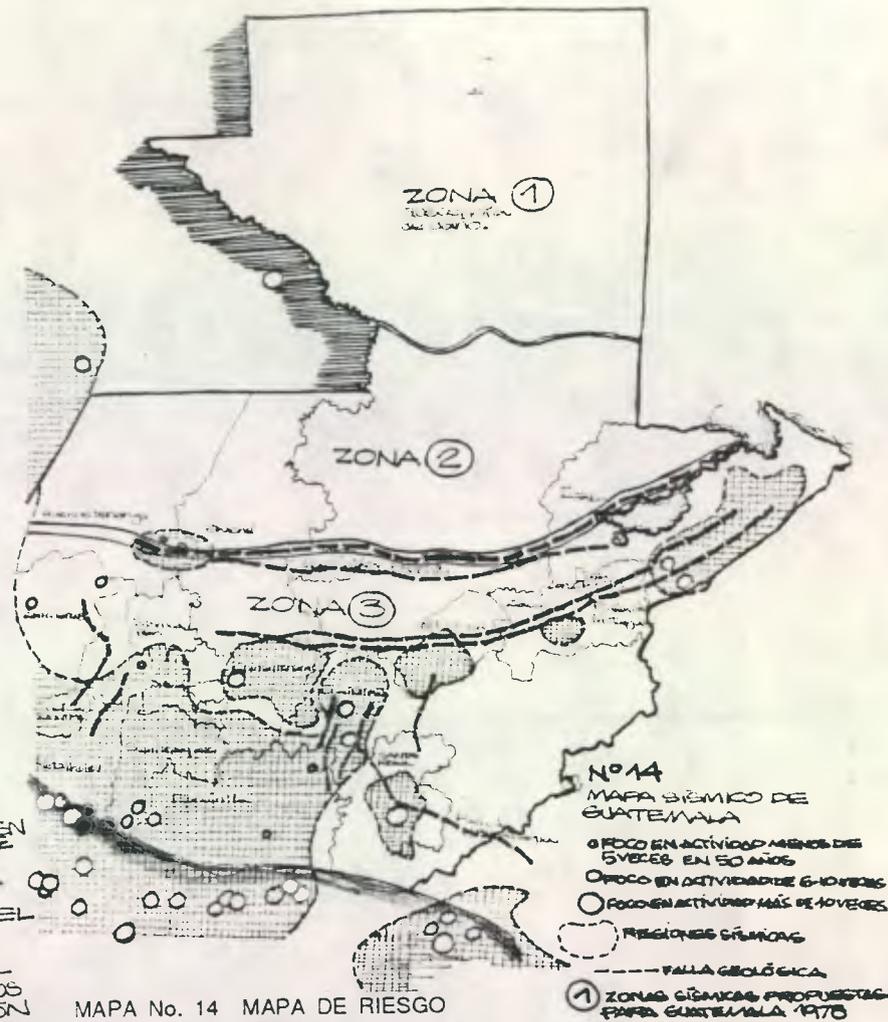
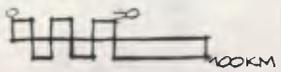


MAPA No. 12. MAPA DE FALLAS
ACTIVAS
FUENTE: ADAPTADO DE IGN. ATLAS NACIONAL
DE GUATEMALA. 1972.

— Falla
 TTTT falla normal
 picos indican
 lado comprimido
 <---> fallas inversas
 yde comprimien
 to; picos indican
 lado levantado



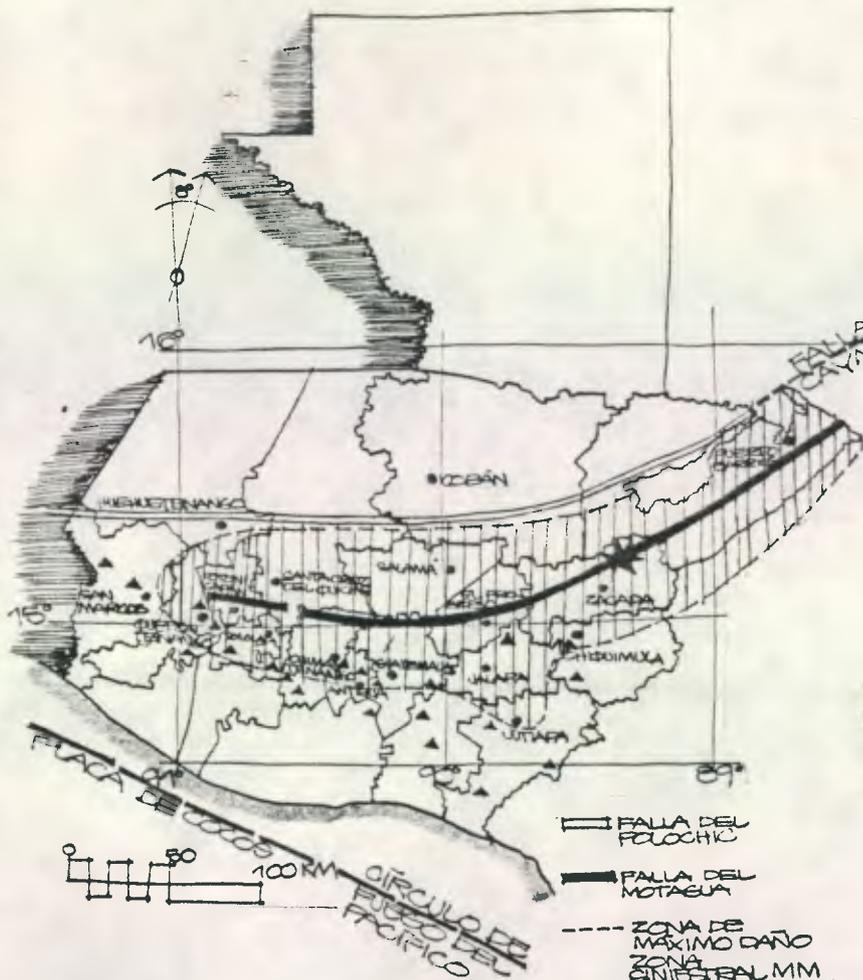
MAPA No. 13. LOCALIZACION DE LUGARES CON LQUEFACCION DURANTE EL TERREMOTO DE 1976.
 FUENTE: Hoase, Wilson y Rosenfeld. LIQUEFACTION-CAUSED GROUND FAILURE DURING THE FEBRUARY 4, 1976. GUATEMALA EARTHQUAKE.



MAPA No. 14 MAPA DE RIESGO SISMICO DE GUATEMALA
 FUENTE: Morales Rudy, Diseño Sismorresistente.

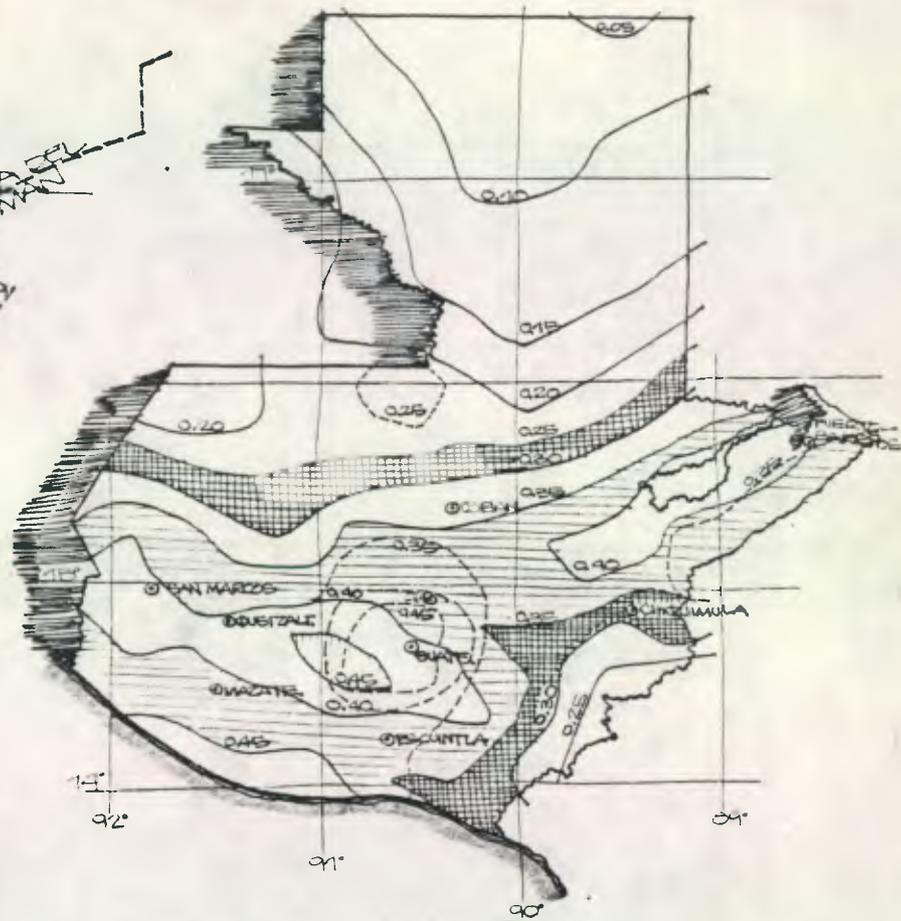
ZONA	RIESGO SISMICO	COEFICIENTE 'Z'
0	Ausencia de daños	—
1	Daño menor - sismos lejanos que pueden causar daños a la estructura con periodos de vibración mayores de 1.0 segundo; a los que corresponden intensidades de V y VI de la escala Mercalli Modificada	0.25
2	Daño moderado, corresponde a intensidades de VII en la escala Mercalli Modificada	0.50
3	Daño mayor, corresponde a intensidades de VIII en la escala Mercalli Modificada	1.00

VALORES DEL COEFICIENTE DE RIESGO SISMICO 'Z'



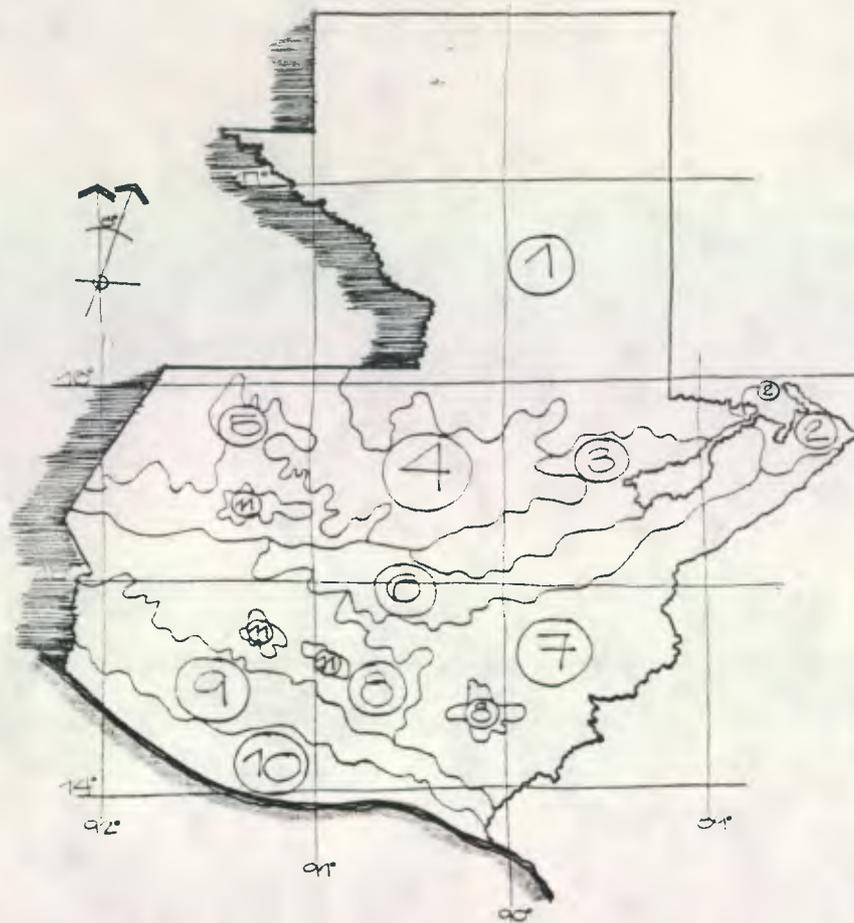
MAPA No. 15 GEOLOGIA DE GUATEMALA
VARIAS FUENTES

- ▬ FALLA DEL POLOCHIC
- ▬ FALLA DEL MOTAGUA
- - - ZONA DE MAXIMO DAÑO
- - - ZONA SINISTRAL MM VI-IX
- ★ EPICENTRO TERREMOTO 1976
- ▲ VOLCANES



MAPA No. 16 ANALISIS DE RIESGO SISMICO. 1977. MAPA DE ISO-ACELERACION

Periodo que corresponde a 500 años.
 Nótese que la parte norte es de baja simicidad.
 Se usa el mapa para diseño estructural o análisis de uso, asignándosele el grado que le corresponda al objeto arquitectónico, según la región.
 El modelo de Bayesíán es similar a este. (Línea discontinua).
 FUENTE: adaptada de: Kileridjian, Shahy Zsutty. SEISMIC HAZARD MAPPING FOR GUATEMALA. 1977.



MAPA No.17. GENESIS DE LOS SUELOS

FUENTE: adaptado de IGN. Atlas Nacional de Guatemala. 1972. p. 3,16.



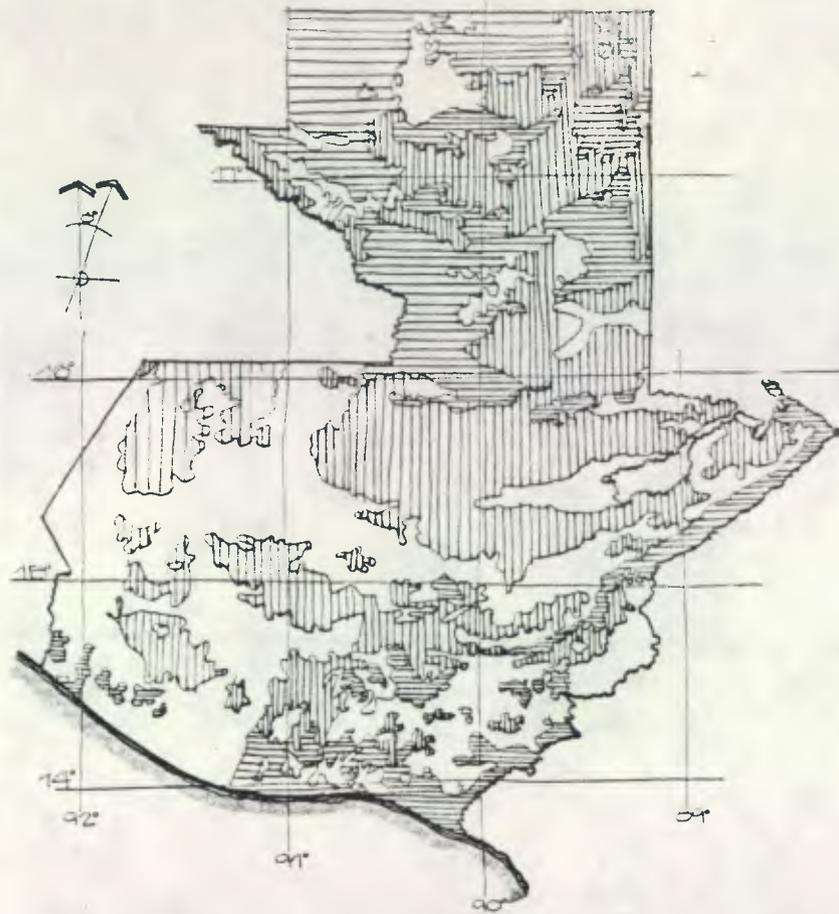
MAPA No. 18 CLASIFICACION DE SUELOS

FUENTE: IGN. Atlas Nacional de Guatemala. 1972. p. 3,17.

CLASE	
TIERRA	
A, B, C	
D, E	
1	2
1	1

- A = 0-24 cm de profundidad
- B = 25-49 cm de profundidad
- C = 50-74 cm de profundidad
- D = 75 - 99 cm de profundidad
- E = 7 mt - y más cm de profundidad

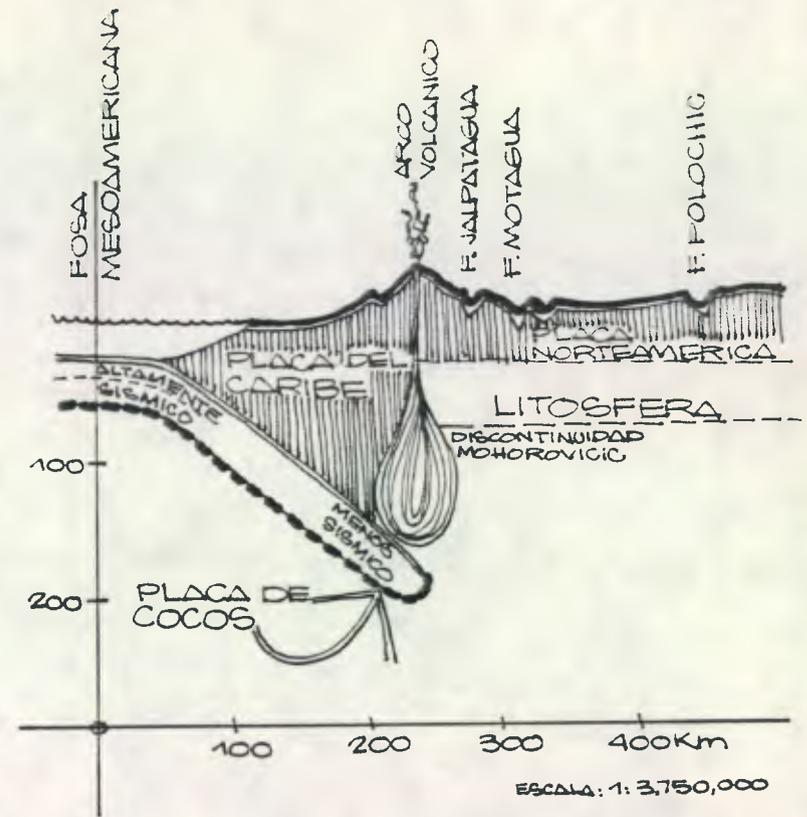
- ① Arena franca
- ② Franco arenosos



MAPA No. 19 SUCEPTIBILIDAD A LA EROSION

FUENTE: IGN. Atlas Nacional de Guatemala. 1972. p. 3.18.

-  Erosión muy grande o muy alta, 30.1% de la superficie del país (32,691 Km², incluido Belice)
-  Ninguna erosión, 27.4% de la superficie del país (29,386 Km²).



MAPA No. 20. SECCION POR EL CENTRO DE GUATEMALA

DIRECCION N 30 E
ZONA DE SUBDUCCION

FUENTE: Ing. Manzón D., Héctor. "INFORME SOBRE LA FASE 2. Technical Cooperation Program in Earthquake Engineering. Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH. F.R. Germany. GTZ/INDE. 1984. p. 91.

A.6. VARIABLE SISMOLOGICA

En la época actual, el estudio de la sismología ha cobrado importancia vital, no sólo por la gran cadena de eventos sismológicos sucedidos en la Tierra, sino por sus efectos destructores, además de ser hasta la actualidad el método indirecto más eficiente para el conocimiento de la estructura y composición interna del Planeta, ya que con anterioridad sólo aportaba algunas descripciones generales de los efectos producidos, y no fue sino hasta finales del siglo XIX, con la aceptación de la teoría de Poisson que se empezó a conocer cómo se desarrolla el fenómeno y sus orígenes, y de allí la importancia de su estudio en este trabajo que es el principio del mismo.

A.8.1. Movimientos de la Corteza Terrestre

LA SISMOLOGIA es la rama de la Geología que estudia los sismos y las vibraciones del suelo, horizontales y verticales en sus diferentes intensidades y magnitudes y las causas que los originan.

La superficie del globo terrestre, Litósfera, no es estable estando en constante movimiento por la actividad interna que mantiene. Los movimientos que genera son de dos tipos:

VIOLENTOS, que son movimientos muy fuertes y que afectan pequeñas zonas (sismos).

SUAVES, que son muy lentos e imperceptibles para el hombre y afectan grandes zonas (movimientos continentales u orogénicos), llamados Deformación Plástica Continua.

Los sismos son estremecimientos de la Litósfera, que pueden ser imperceptibles para el ser humano, o pueden ser Macrosismos, cuando son perceptibles.

La causa fundamental de un **macrosismo fuerte o terremoto** son los movimientos tectónicos, que son movimientos de plegamiento y rotura de la litósfera que provocan las presiones laterales excesivas o disminución de presiones radiales que provocan los "desequilibrios".

La Teoría de los Terremotos, generalmente es basada en Teoría Elástica del Rebote, propuesta por el Profesor H. F. Reid, luego del terremoto de San Francisco en 1906, quien afirmó que: "Es imposible la ruptura de rocas sin tener primero una formación sujeta al sentido elástico más grande que puedan resistir. Concluimos que la Corteza en muchas partes de la Tierra está desplazándose despacio y la diferencia entre desplazamientos en regiones vecinas se asientan sobre esfuerzos elásticos, los cuales son tan largos como las rocas los puedan resistir. Una ruptura toma entonces el lugar de las rocas forzadas que rebotan bajo su propio esfuerzo elástico, hasta que la fuerza sea mas larga o se descargue completamente. En la mayoría de los casos, el rebote elástico en los sitios de oposición en la falla están en las direcciones de oposición". (Reid, 1906.)

(12) Feynman, Paul. FÍSICA. CONCEPTOS Y APLICACIONES. McGraw-Hill México, D.F. 1990 pp. 435-450

Como las partes de la Tierra tienden a moverse una respecto de la otra, el resultado puede ser un movimiento lento a arrastrado (CREEP), a lo largo de la zona de falla. Tal movimiento ha sido observado, medido y relacionado porque gradualmente incrementa compensaciones en obstáculos, corrientes, y planos de objetos arquitectónicos situados en fallas.

A.8.1.1. Efectos de los Sismos

Los efectos físicos de los terremotos dependen de muchos parámetros, incluyendo la magnitud del mismo, condiciones geológicas, localización y profundidad del foco, intensidad y duración del movimiento del suelo, diseño y construcción de los objetos arquitectónicos y otros. Los efectos sociales dependen de factores como la densidad de población, hora y día de ocurrencia preparación de la comunidad, etc.

Los efectos de los sismos varían con la intensidad de las vibraciones, y pudiendo ser imperceptibles o devastadores en una ciudad. Pueden desde hacer caerse los recubrimientos de las paredes, rajaduras, hasta el colapso parcial o total; desde el deslizamiento o desvío de una carretera hasta la caída o retorcimiento de un puente; desde la modificación del curso de un río hasta el desaparecimiento de una fuente de agua; desde la quebradura del suelo hasta volverlo fluido, desde derrumbe de cerros hasta el de montañas.

A.8.2. Movimiento Ondulatorio

La propagación de la energía por medio de una perturbación en un medio, en lugar del medio en sí, se llama movimiento ondulatorio. (12)

"Es todo aquel que ejecuta un medio elástico a causa de una perturbación producida en algún punto del mismo, el cual se propaga al resto del medio o hace que cada partícula ejecute un movimiento de vaivén".(12)

El movimiento ondulatorio sirve de base para el estudio de la propagación de ondas en los sismos, basada en la transmisión de ondas elásticas a través de sólidos (Poisson 1830), y no fue sino hasta fines del siglo XIX que se admitió que las ondas sísmicas eran de esa naturaleza, y de allí la importancia de su estudio.

Cuando una ruptura de falla libera abundante energía, produce vibraciones u ondas sísmicas emanadas en todas direcciones desde el origen. Aunque el origen inicial o ruptura es usualmente identificado como el FOCO o HIPOCENTRO, la falla puede extenderse por muchas millas desde el foco, liberando energía en la distancia completa.

De ese modo, las ondas sísmicas no se inician del punto de origen, pero si a todo lo largo de la falla.

El modelo de ondas sísmicas es complejo, el movimiento de ondas es generalmente (y simplificado) explicado en 2 tipos de ondas: **extensión de onda y onda superficial**. Las extensiones de onda son

de dos tipos: **DE COMPRESION, PRIMARIAS u ONDAS P,** y **CORTANTES, u ONDAS S.**

Las ondas P, son longitudinales, las cuales tienden a comprimir el material que tienen al frente, y viajando a 24,000 Km/hr son las primeras en ser observadas en los sismógrafos. Se propagan esféricamente en todas direcciones, se ensanchan rápido y su energía se prolonga en vaivén en dirección de la propagación. Son las más rápidas, y pasan libremente a través de la densa materia del interior de la Tierra y se atenúan en los sólidos. Las ondas S son como un latigazo, y sus vibraciones transversales sólo pueden propagarse concentricamente en todas direcciones a través de sólidos.

Las ondas S producen movimientos laterales en las partículas de la Tierra, y viajan a 1.5 veces la velocidad de las P, moviéndose transversales a la dirección de propagación.

El Hipocentro de un terremoto puede ser determinado por el tiempo de arribo de las ondas P y S a varias estaciones alrededor del mundo.

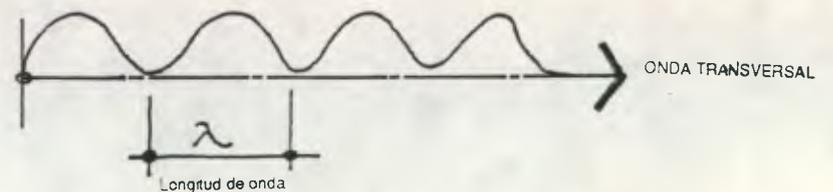
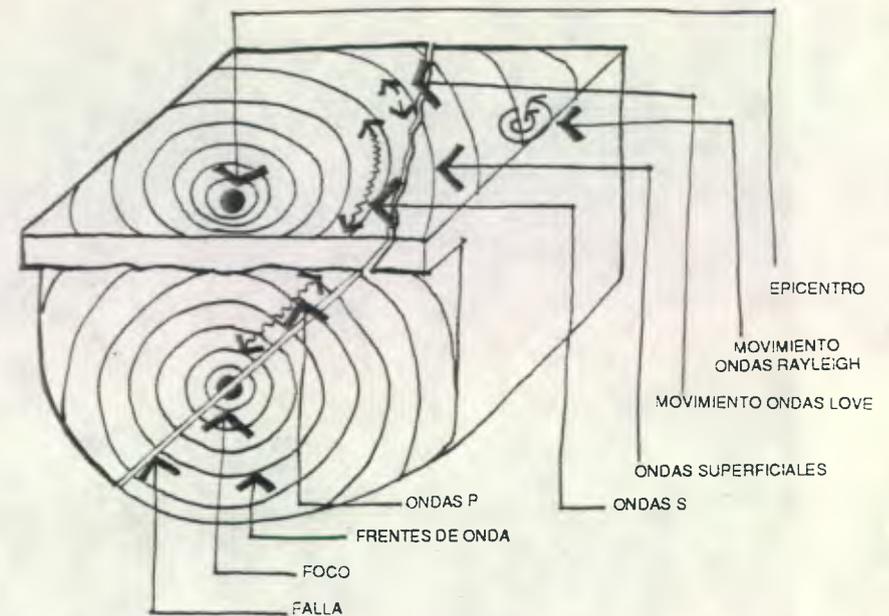
El arribo de ondas P y S es seguido por **ONDAS SUPERFICIALES**, que son creadas cuando la extensión de onda golpea violentamente el límite o discontinuidad en la superficie de la Tierra. Como su nombre lo indica se propagan a lo largo de la superficie de la Tierra, viajando mucho más despacio que las extensiones de onda y generalmente producen las vibraciones más fuertes, propagándose como las olas del mar, siguiendo la curvatura de la Corteza terrestre.

La velocidad de las ondas aumenta gradualmente, cuanto más cerca del centro de la Tierra estén. En la discontinuidad de Mohorovicic, la velocidad de las ondas P y S aumentan de 7,000 y 4,000 m/seg, a 8,000 y 4,700 m/seg. Siguen aumentando en los 2,940 km. siguientes, hasta llegar a 13,500 y 7,250 m/seg. Allí las ondas P disminuyen a 8,000 m/seg, y su dirección de propagación cambia bruscamente, y las ondas S desaparecen a 3,000 km. de profundidad en el lindero entre el Manto y el Núcleo.

EL PERIODO (T) de una onda, es el tiempo en que recorre la distancia de una **longitud de onda**, y la **FRECUENCIA (F)**, es el número de ondas que pasan por un punto en particular en una unidad de tiempo. Las ondas P y S tienen grandes desplazamientos (amplitud), altas frecuencias (cortos períodos) al principio, disminuyendo las amplitudes y aumentando los períodos con la distancia, y es por eso que la destrucción es mayor cerca del Epicentro.

Las ondas superficiales tienen amplitudes (desplazamientos) grandes y períodos lentos. Las ondas superficiales se llaman **ONDAS LOVE** y **ONDAS RAYLEIGH**. Conforme avanzan las partículas del suelo describen una oscilación elíptica cuyo eje es casi vertical. En la parte superior de las ondas las partículas se mueven en dirección contraria a la dirección de propagación.

Cuando dos o más trenes de onda se dan simultáneamente en el mismo medio, cada onda viaja a través del medio como si las otras no estuvieran presentes.



A.8.3. QUE SON LOS SISMOS

Un sismo es una perturbación transitoria del equilibrio elastico de las placas que provoca vibración y trepidación en la Corteza terrestre, por el paso de ondas elásticas producidas desde su interior, o sea el paso violento de ondas sísmicas en la superficie de la Tierra.

La Tierra vibra, con movimientos rápidos, o con oscilaciones lentas. Las ondas se propagan en diferentes direcciones. Las partículas del suelo se mueven y se diseminan.

A.8.3.1. Tipos de Sismos

A.8.3.1.1. Sismos (ó temblores) Premonitorios. Son el principio de una liberación de energía acumulada en las placas tectónicas que se desata por etapas, hasta una mayor por la que se pueden descargar las fuerzas que estaban en tensión.

A.8.3.1.2. Replicas

Son movimientos de menor intensidad registrados después de un terremoto. Pueden causar daños a objetos arquitectónicos ya dañados.

Se cree que son reajustes lentos de la Corteza a una nueva posición de equilibrio después de una gran dislocación.

A.8.3.1.3. Ruido Sísmico

Son pequeños movimientos de la Tierra o "Microsismos" insensibles al hombre, producidos por causas tales como: viento, frentes de aire frío, variaciones de la presión atmosférica, oleaje contra las costas, tormentas, ciclones, vibraciones industriales tráfico vehicular, explosiones, etc.

A.8.3.1.4. Temblores Volcánicos

Son una vibración del suelo provocada por la energía originada en un volcán y sus alrededores a poca profundidad (1 a 10 km). Su energía no es lo suficientemente grande para que se propaguen a grandes distancias. Generalmente son pequeños y son inadvertidos pudiendo ocurrir haya o no actividad volcánica externa.

A.8.3.1.5. Sismos Tectónicos

Son movimientos originados por desplazamientos de las Placas Continentales, que a su vez flotan en el Manto y se mueven por las Corrientes en Convección, provocados a profundidades medias entre 70 a 300 km, o superficiales de 0 a 70 km.

Las placas se desplazan en diferentes direcciones, de 1 a 5 cm por año, dando origen a roces y esfuerzos en los bordes de las mismas, y al acumularse tanta energía, es liberada violentamente, provocando temblores o terremotos.

Casi todos los terremotos se originan en fracturas de la roca solida de la Corteza terrestre. Tales fracturas llamadas **Fallas** ocurren al aumen-

tar las tensiones del interior de la Tierra hasta el punto en que la fragil Corteza no las puede soportar.

A.8.3.1.6. Sismos Artificiales

Son todos aquellos ocasionados por causas no naturales tales como vibraciones industriales, tráfico vehicular, explosiones, etc.

"Las explosiones nucleares como la de la Isla de Amchitka (Aleutianas) el 6 de noviembre de 1971, de 5 megatonnes (equivale a 5 millones de toneladas de explosivos), a 1,791 mts. de profundidad, se registró en casi todo el mundo, con Magnitud de 7.4 (esc. Richter), y fue muy semajante a un temblor de tierra".⁽¹³⁾

A.8.4. ESCALAS DE MEDICION

Un sismo afecta tres tipos distintos de entes, al hombre, a las obras artificiales, y a la naturaleza, y para poder expresar y entender cuantitativamente sus acciones sobre ellos, se les gradúa mediante un número en una escala convencional.

Para su mejor comprensión, es necesario definir los términos siguientes:

EL FOCO, CENTRO, HIPOFOCO O HIPOCENTRO: es el punto de la Corteza terrestre en el que indican los cálculos que se originan las ondas sísmicas, o sea el origen del sismo.

EL EPIFOCO O EPICENTRO:

Es la proyección vertical del foco en la superficie de la Tierra. Es donde mayor intensidad alcanza el terremoto y a partir del cual se transmiten las vibraciones en todos los sentidos, con velocidad variable según el sentido de propagación. La onda sísmica que proviene del hipocentro llega a la superficie y provoca ONDAS SUPERFICIALES, que se propagan como las ondas acuáticas. Su velocidad de propagación depende de la resistencia de los materiales que componen el suelo por donde pasan.

En ausencia de datos instrumentales el epicentro ha de fijarse a veces, basándose en los daños observados, como el punto de sacudidas más intensas, y que generalmente no coincide con el instrumental.

DISTANCIA FOCAL Y DISTANCIA EPICENTRAL: son distancias a un punto de interés dado, llamado ESTACION.

LA MAGNITUD: es la determinación cuantitativa de la energía liberada por un sismo, referida a una unidad.

LA INTENSIDAD: es una medida de la capacidad o poder destructivo local de un sismo, medido de acuerdo a una tabla comparativa de daños o perturbaciones. Un sismo se asocia a una sola magnitud, mientras que su intensidad varia de estación a estación, de acuerdo a lo observado.

A.8.4.1.. ESCALA DE RICHTER

La escala de Richter se define como el logaritmo (de base 10) del número de micras (milésimas partes de 1 mm) de la medida de la amplitud de onda más larga registrada en un sismógrafo estándar (Wood-Anderson) ubicado a una distancia estándar (100 km) del epicentro del sismo.

Por ser una escala logarítmica, el incremento de los movimientos de un número entero al próximo, es 10 veces. Un registro Richter 6 es 10 veces la amplitud de uno Richter 5; y uno 7, es 100 veces más que uno Richter 5.

La correlación aproximada que ha sido desarrollada entre la energía total de un terremoto y la magnitud Richter es que con una unidad de incremento en la magnitud, incrementa en aproximadamente 30 veces la energía liberada.

ENERGÍA DE TERREMOTOS	ENERGÍA APROXIMADA LIBERADA POR EL TERREMOTO
1.0	6 onzas de TNT
2.0	13 libras de TNT
3.0	397 " de TNT
4.0	6 tonenadas TNT
5.0	199 " TNT
6.0	6270 " TNT
7.0	1 millón " TNT
8.0	6,270,000 tons. TNT
9.0	199 millones tons. TNT

Por lo tanto, la magnitud no mide directamente la energía, pero de ella puede deducirse la cantidad de energía liberada por un sismo.

Existen diagramas y tablas empíricas para corregir las distancias epicentrales que difieran de 100 Km y para distintas condiciones de terreno. Los diagramas correctivos y la definición misma se aplican estrictamente sólo a sismos con profundidad focal menor de unos 30 Km. Los diagramas correctivos son relativamente precisos hasta distancias epicentrales de unos 600 Km.

La escala telesísmica (M) y la unificada de Gutenberg (M) se aplican a distancias focales mayores de 2,000 Km y de 600 a 2,000 Km respectivamente. Dan diferencias respecto a la escala original en condiciones geológicas diferentes de las de California.

La Fórmula de Richter es:

$$\text{Log } 10^W = 11.8 + 1.5 M ; \quad \begin{array}{l} M = \text{magnitud} \\ W = \text{energía desprendida en ergios} \end{array}$$

La escala de magnitudes no tiene teóricamente ningún límite, ni hacia magnitudes bajas negativas, ni hacia las altas positivas. Los terremo-

tos con mayor magnitud registrada han sido los de Tumaco en Colombia el 31 de enero de 1966, y el de Sanriley, Japon el 2 de marzo de 1933, ambos de 8.9 grados. Las explosiones nucleares desprenden cantidades de energía que se comparan con sismos medianos. Una bomba de un megatón libera aproximadamente 5 por 10^{22} erg. y sólo una pequeña fracción de ella se convierte en ondas sísmicas. Serían necesarios 50 megatones para producir una energía sísmica igual a ésta, que es del mismo orden que la energía de un sismo de magnitud 7.3 y estos ocurren un promedio de 7 veces al año en todo el mundo. A pesar de los inconvenientes de las escalas subjetivas de intensidad, son un elemento importante en áreas donde no haya como medir movimientos, ya que suministran el único medio para interpretar la información histórica, y así mismo son complemento de la escala de magnitudes, ayudando a comprender el grado de poder destructivo de un terremoto. La destructividad está directamente relacionada a la energía que el movimiento de la Tierra transmite a los seres humanos y a las estructuras.

Las reacciones del hombre a los sismos dependen de numerosos factores incluyendo la experiencia previa con movimientos terrestres. Los efectos en los edificios dependen del proyecto local y las condiciones del suelo.

A.8.4.2.. ESCALA DE INTENSIDAD O MERCALLI

La intensidad sísmica es una medida de efectos de un terremoto sufridos por el hombre, por los objetos arquitectónicos, y la naturaleza en un lugar determinado. Asumiendo que un gran terremoto haya ocurrido en un lugar remoto, deshabitado y sin testigos, pasaría inadvertido y debería asignársele una intensidad nula, lo que equivale a que no hubo un sismo. Si por el contrario un temblor superficial, pequeño cuyo epicentro sea una ciudad, podría ser catastrófico, cuando en realidad sísmicamente no hubiera tenido mayor significado. Por lo tanto Mercalli es una escala subjetiva, porque sólo da una idea incompleta sobre un terremoto y sus efectos.

A.8.4.2.1. ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA MM

La escala de Mercalli de intensidades mejorada en 1902 ha servido de base para la escala propuesta por Wood y Neumann (1,931) conocida como Mercalli Modificada (MM), con modificaciones de Charles F. Richter (1,958). Según Richter para la escala MM, los objetos arquitectónicos se deben clasificar así:

Mampostería A,B,C,D. Para evitar ambigüedad en el lenguaje, se especifica la calidad de la mampostería, de ladrillo o de otro tipo, con las siguientes letras (que no guardan relación con la clasificación convencional en clases A,B,C, de construcción).

Mampostería A. Con ejecución, mortero y diseño buenos; reforzada, especialmente en dirección lateral y unida entre sí con acero, concreto, etc., diseñada para resistir fuerzas laterales.

Mampostería B: Buena mano de obra y buen mortero; reforzada pero no diseñada en detalle para resistir fuerzas laterales.

Mampostería C. Mano de obra y mortero ordinario; sin partes débiles en los extremos, como falta de unión en las esquinas, pero sin refuerzo ni diseñada contra fuerzas horizontales.

Mampostería D: Materiales débiles como adobe, mortero pobre; normas deficientes de calidad; débil horizontalmente, mano de obra de baja calidad.

DESCRIPCION DE LA ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI MODIFICADA, MM

en 1.931 (Abreviada y modificada por C.F. Richter).

Grado 1. Imperceptibles. Sismos marginales y periodo largo de los grandes sismos.

Grado 2. Los perciben las personas en reposo, en los pisos superiores o colocados favorablemente.

Grado 3. Se percibe en el interior de las construcciones. Los objetos colgados oscilan. Vibración como las que producen los camiones ligeros al pasar. Duración estimada. Puede reconocerse como un sismo.

Grado 4. Los objetos colgados oscilan. La vibración es como la que se produce al paso de camiones pesados; o sensación como de una sacudida de una bola pesada que pegará contra los muros. Los automóviles parados oscilan. Las ventanas, los platos y las puertas hacen ruido. Los vasos chocan. La loza se quiebra. En el extremo superior del grado 4, las paredes y marcos de madera se agrietan.

Grado 5. Se perciben a la intemperie; se estima su duración. Quienes duermen despiertan, los líquidos se mueven, algunos se vierten, los objetos pequeños inestables se mueven o se caen, las puertas oscilan, se cierran, se abren, las persianas y los cuadros se mueven, los relojes de péndulo se paran, arrancan, cambian de paso.

Grado 6. Lo perciben todos. Muchos se asustan y salen al descubierto. Las personas caminan inseguras. Las ventanas, platos y artículos de vidrio se rompen. Los adornos, libros y cosas parecidas se caen de los estantes. Los cuadros se caen de los muros. Los muebles se mueven o se vuelcan. Los acabados débiles y la mampostería D se agrietan. Las campanas pequeñas repican. Los árboles y arbustos se sacuden visiblemente, o se les oye crujir.

Grado 7. Es difícil permanecer de pie. Lo notan los conductores de vehículos. Los objetos colgados trepidan. Los muebles se rompen. Daños en la mampostería D, incluyendo grietas. Las chimeneas

débiles se rompen a nivel del techo. Caen los acabados, los ladrillos se aflojan; las piedras, cornisas, los parapetos sin contrafuertes y los ornamentos arquitectónicos también caen. Algunas grietas en la mampostería C. Olas en los estanques; agua turbia con lodo. Pequeños deslizamientos y derrumbes en los bancos de arena o de grava. Las campanas grades repican. Se dañan los canales de riego.

Grado 8. Se afecta la conducción de los vehículos. Se daña la mampostería C; colapso parcial. Algún daño a la mampostería B; ninguno a la mampostería A. Caen los acabados y algunos muros de mampostería. Caída y torsión de chimeneas de las casas y de las fábricas, monumentos, torres, tanques elevados. Las casas con estructuras de madera salen de sus cimientos si no están ancladas; los muros de relleno son arrojados hacia afuera. Los pilotes podridos se quiebran. Las ramas se desprenden de los árboles. Cambios en el gastos y temperatura de manantiales y pozos. Grietas en terreno mojado y en taludes inclinados.

Grado 9. Pánico general. Se destruye la mampostería D; la mampostería C se daña mucho, algunas veces con colapso completo. Daño general en los cimientos. Los marcos estructurales no anclados se salen de los cimientos. Los marcos crujen. Grietas en el terreno. Expansión de arena y lodo en zonas aluviales, fuentes de origen sísmico, cráteres de arena.

Grado 10. La mayoría de las estructuras de mampostería y de marcos se destruyen, incluso sus cimientos. Algunas estructuras de madera bien construidas y puentes destruidos. Serios daños a presas, diques, terraplanes. Grandes derrumbes. Agua arrojada sobre los márgenes de los canales, ríos, lagos, etc. Arena y lodo desplazados horizontalmente en las playas y en terreno plano. Rieles doblados ligeramente.

Grado 11. Rieles muy doblados. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.

Grado 12. Daño casi total. Grandes masas de roca desplazadas. Visuales y líneas de nivel deformadas. Objetos arrojados al aire.

Se debe tener en cuenta que la clasificación de efectos para atribuirles un grado determinado, no es algo matemático, por lo que hay grados que se superponen, según MM.

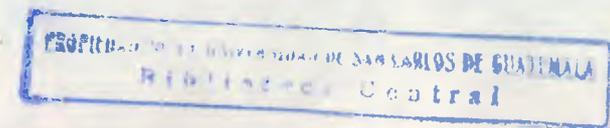
A.8.5. EFECTOS DE LOS SISMOS

La energía liberada durante los sismos se propaga por la corteza provocando desplazamientos del terreno. Los movimientos son erráticos y se producen en cualquier dirección horizontal o vertical.

Por eso los objetos arquitectónicos en su conjunto y en sus partes sufren aceleraciones y desplazamientos, produciéndose esfuerzos y deformaciones en los elementos sean estructurales o no, y su magnitud

CUADRO RESUMEN DE MERCALLI MODIFICADA

GRA	HOMBRE	CONSTRUCCIONES (Estructuras)				NATURALEZA
		TIPO D	TIPO C	TIPO B	TIPO A	
I	No sentido					
II	Sentido					
III&	Sentido dentro					
V	Sentido fuera					
VI	Sentido por todos	Grietas				
VII	Difícil mantenerse en pie. Notado por los pilotos	Daño	Grietas			Pequeños derrumbes: hundimientos en bancos de arena y grava
VIII	Conducción de vehículos afectada	Grave daño	Daño moderado (Colapso parcial)			Ramas de los árboles desgajadas, cambio en el flujo y temperatura de fuentes, grietas en tierra húmeda y lugares empinados.
IX	Pánico general	↓	Grave daño (a veces colapso total)	Grave daño	Daño leve	Grandes grietas en el suelo. Cráteres de arena, fuentes nuevas
X		Grave destrucción. Rieles doblados	Destrucción moderada	Destrucción leve	Daño moderado	Grandes derrumbes. Desplazamiento horizontal de tierra plana y en las playas.
XI		Las tuberías de agua, gas, luz y teléfonos, etc., quedan completamente fuera de servicio. Los rieles se doblan considerablemente.				Grandes grietas en la tierra y deslizamientos. Grandes cantidades de agua son inyectadas, mezcladas con lodo y arena. Posibles Tsunamis.
XII	↓	CATASTROFE				Desplazamientos de grandes masas de roca. Objetos lanzados al aire.



Dependerá de la energía recibida por el objeto, la que a su vez es función de la naturaleza del suelo en que se apoya y de las características dinámicas de él.

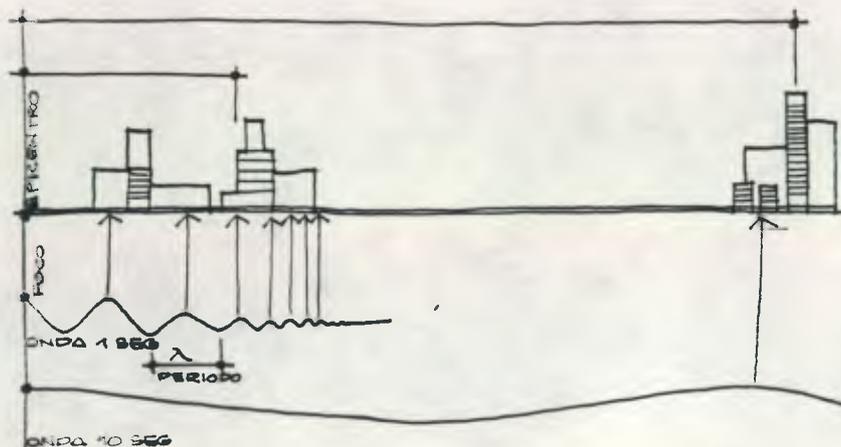
Mientras que la energía total del sismo puede disiparse con la distancia desde el epicentro, puede ser engañoso creer que resulten menos riesgos a la vida y los objetos arquitectónicos.

Un movimiento del suelo, de corto período (que es el límite en que una onda recorre la distancia de una longitud de onda), tiende a acabarse más rápido con la distancia, que otro con largo período. Las vibraciones de largo período tienden a coincidir con el período natural más largo de la vibración de las de los objetos arquitectónicos más altos, causando **RESONANCIA**.

En objetos arquitectónicos bajos, tienen períodos naturales cortos de oscilación, y en los altos tienen períodos naturales largos de oscilación. Por lo tanto el efecto de la **RESONANCIA**, es muy significativa en los efectos perjudiciales en los objetos arquitectónicos.

Las condiciones locales del suelo también tienen efectos significativos en los movimientos. El movimiento de la "roca básica" hace evidente las características de frecuencia, aceleración, velocidad y amplitud. Estas características son afectadas por la geología local y las condiciones del suelo. Los movimientos de la roca se modifican por la profundidad del suelo comprimido, la cual incrementa la amplitud del movimiento, e intensifica el período más largo y dominante de la vibración.

El objeto total depende principalmente del tipo de material en cada estrato de la Tierra, la profundidad de cada tipo de estrato y la profundidad del lecho de roca.



4.8.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS INTENSOS

Grupo 1. Los de una sacudida. Estos movimientos ocurren a cortas distancias del epicentro, sólo en terreno firme y en sismos originados a poca profundidad, con magnitudes 5.4 a 6.2, profundidades menores de 30 Km, movimiento casi unidireccional más fuerte en un sentido que en el opuesto, con períodos de vibración de 0.2 seg o menos.

Grupo 2. Movimientos moderadamente largos, extremadamente irregulares. Corresponde a distancias focales moderadas y ocurre sólo en terreno firme. Casi todos ocurren a lo largo del Círculo de Fuego del Pacífico, (ver mapas 7 y 8) en amplio rango de períodos de vibración entre 0.02 a 0.5 seg y 2.5 a 6 seg. Suelen tener iguales intensidades en todas direcciones.

Grupo 3. Movimientos de larga duración del terreno, presentan períodos dominantes de vibración. Estos movimientos resultan del filtrado de sismos Grupo 2 a través de estratos de suelo blando en el rango de comportamiento lineal del suelo y son causados por las reflexiones sucesivas en las interfases de estas formaciones.

Grupo 4. Movimientos de terreno que producen deformaciones permanentes a gran escala. En el sitio de interés pueden presentarse deslizamientos o licuación de suelos.

La mayor parte de la energía de un sismo corresponde a las ondas S, y los fenómenos de refracción tienden a que la trayectoria de éstas sea vertical cuando el material superficial es blando y está estratificado horizontalmente. Por tanto, la importancia relativa de la componente vertical del movimiento del terreno aumenta con la dureza de la formación superior del terreno. Las ondas de gravedad constituyen otra fuente de rotación del terreno con relación a ejes horizontales, especialmente en terreno blando.

A.9. MARCO DE REFERENCIA. DIAGNOSTICO. HISTORIA SISMICA DE GUATEMALA Antecedentes.

" Según el Observatorio Nacional, de 1530 a enero de 1973 han ocurrido en el país unos 21 terremotos, con cauda de destrucción y muerte," (14)

Hasta 1977 se han listado 118 terremotos perjudiciales en Centroamérica (Carr & Soiber, 1977) desde 1928. Se detectaron sólo 4 eventos asociados a la zona de Fallas de Guatemala y Honduras, así: 1881 Chinique, Quiché, 1929 Puerto Barrios, 1945 Quiriguá; Omoa, Honduras 1856. Se registraron antes del 4 de febrero de 1976, 28 terremotos de magnitud 5 o menos (Schwartz, 1976); 8 se agruparon a lo largo de la zona de la Falla del Motagua; 13 en la zona de la Falla

de Chixoy-Polochic: 3 ocurrieron a lo largo de la zona de Falla Jocotan-Chamelecon, y 2 asociados uno u otro a las zonas de Fallas del Motagua o Chixoy-Polochic. Hartow (1976) concluyó, que en los anteriores 30 años las zonas son sísmicamente activas y que la concentración de terremotos, se han dado en rectángulo entre las fallas del Motagua y la de Chixoy-Polochic de Chiantla a Quiriguá.

A.9.1. CONDICIONES SISMICAS. CARACTERISTICAS.

Guatemala está atravesada de un extremo a otro por dos grandes sistemas de fallas paralelas: La del Motagua y Polochic. Ahí lindan entre sí la plataforma del Caribe y la de Norte-América.

La mitad del sur del país, que pertenece a la plataforma norteamericana, se mueve hacia el oeste (Ver mapas 5 y 6)), las orillas profundas a una velocidad probable de 2 cm/año, con movimiento uniforme, mientras que los 10 ó 20 km. superiores rozan en forma entrecortada considerandose sus movimientos causantes de los sismos. Las zonas de mayor intensidad se proyectan normales a la falla del Motagua.

Al suroeste del país discurre el límite de la "Placa del Caribe" con la "Placa de Cocos" en que ésta se sumerge en el interior del terreno, formando una **ZONA DE SUBDUCCION O ZONA BENIOFF**.

El volcanismo del país incide en la formación de suelos de alta capacidad estática de carga, pero de comportamiento poco favorable a los efectos de influjos dinámicos, produciendo grietas y desprendimientos.

La parte del país que va desde el océano Pacífico hasta el paralelo 16 es de alta sísmicidad. De acuerdo a criterios de riesgo asumidos por compañías Aseguradoras, la zona mencionada está clasificada como No. 3, es decir que en 5 años se espera un terremoto de intensidad MMX. Las desviaciones locales tienden a una clase de riesgo 2 y la zona por encima del paralelo 16, por la acción a distancia, como zona de riesgo"⁽¹⁵⁾

A.9.2. MARCO TECTONICO DE LA REGION DEL CARIBE

"La placa litosférica del Caribe se desplaza hacia el Este en relación a Norte y Sur América y corre sobre y en contra de la corteza oceánica del Atlántico.

La corteza oceánica atlántica penetra a profundidad bajo las Antillas Menores en la llamada zona de "Subducción" o zona de colisión de placas litosféricas (Arco Indo-oriental).

"Por esos movimientos corticales se deduce que las grandes fallas al lado norte del Caribe son de tipo siniestro o levogiro y las del sur, de desplazamiento dextral o dextrogiro. Esta es la explicación de la

localización de zonas de volcanismo activo y de sísmicidad paralelas a las dos zonas de subducción en América Central y las Antillas Menores. y de sísmicidad sin volcanismo a lo largo de las grandes zonas de falla que limitan la Placa del Caribe al norte y al sur, con un desplazamiento horizontal aproximado de 350 km a lo largo de la Fosa del Cayman desde fines del cretácico hasta hoy" (Hess y Maxwell, 1953).

La corteza oceánica del Caribe ha permanecido estable desde fines del Periodo Mesozoico, por lo cual la actividad tectónica posterior ha tenido lugar principalmente alrededor de la Placa estable (Ewing, Talwani, Edgar, 1976), tal es el caso de la Falla del Motagua, que se encuentra en el límite poniente de la fosa del Caymán que corona en ese punto a la Placa del Caribe, y es la separación de esta y la de Norteamérica, estando clasificada como una falla transformada (Larger, Bollinger, Henry, 1976). Para esa zona de fallas, Hess y Maxwell (1953) propusieron que ha habido un desplazamiento horizontal aproximado de 350 Km desde fines del Cretácico al presente".

A la catástrofe del 4 de febrero de 1976, han proseguido 3,181 movimientos tectónicos de regular intensidad y algunos de ellos provocaron los terremotos de San Juan Tecuaco e Ixhuatán, Santa Rosa, el 19 de septiembre de 1979, así como el de Uspantán, El Quiché, que tuvo lugar el 10 de octubre de 1985. También se produjo el fuerte sismo de Sanmagua, Esquipulas, Chiquimula, según las estadísticas del INSEVUMEH.⁽¹⁶⁾

A.9.3. ZONAS PELIGROSAS

El vulcanólogo Sánchez anota que en Guatemala hay varias zonas de riesgo sísmico:

- 1.-Los movimientos originados en la **zona de subducción del Pacífico** que producen temblores con magnitud hasta de 8.3 grados en la escala de Richter.
- 2.-Los sismos que produce la **Falla del Motagua**, que se extiende a la del Chixoy-Polochic, con movimientos que pueden ascender a la magnitud de 7.5 grados.
- 3.-**Falla de Jalpatagua** que llega al valle de la ciudad de Guatemala que en un momento determinado puede originar temblores de 6 grados Richter..
- 4.-También los movimientos pueden provenir de **las fallas de Jocotán y Chiquimula**, y de las fallas adyacentes a las montañas mayas, ubicadas al norte del departamento petenero. Estas originan sismos de 1 a 5 grados de la escala de Richter, (ver mapa 16).

(15) Aguilar, Eduardo, *ESTUDIO DE LA VIVIENDA RURAL EN GUATEMALA*, Editorial Universitaria, Colección Aulla, Guatemala, 1980.

A.9.4. SISMICIDAD EN GUATEMALA

Geológicamente, Guatemala está ubicada en la unión de 3 placas tectónicas:

1. La Placa del Caribe
2. La Placa de Norteamérica
3. La Placa (Océánica) de Cocos.

Las zonas de contacto entre placas generan sismos mayores y Guatemala está afectada por 2 de estas zonas. Por la interacción de las 3 placas el país está altamente fracturado por fallas pequeñas y medianas que pueden provocar sismos locales muy intensos.

A.9.4.1. ZONA DE SUBDUCCION

"La placa oceánica de Cocos sufre subducción debajo de la placa del Caribe a lo largo de la costa del Pacífico en México y Centro América, y el contacto entre ambas forma una zona Benioff".⁽¹⁷⁾ Esta zona dividida en segmentos, determinan el área de influencia de los eventos sísmicos, y por las acomodadas que sufre, genera más sismos. Tienden a acomodarse y reacomodarse en serie, provocando secuencia de sismos mayores en intervalos de pocos años, seguidos por períodos de sismos pequeños.

A.9.4.2. ZONAS DE TRASCURRENCIA o DESLIZAMIENTO

La Placa del Caribe se desplaza lateralmente con respecto al extremo Sur de la Placa de Norteamérica, y en su unión, están contenidas la Falla del Polochic y sus fallas subsidiarias, la Falla del Motagua, la de San Agustín y la de Jocotán, siendo una zona sísmicamente activa que genera sismos de gran magnitud.

A.9.4.3. FUENTES SECUNDARIAS VARIAS

Son sitios con relativa calma con ocurrencia esporádica. Fallas tras el arco volcánico en San Marcos que induce actividad volcánica en el Tacaná.

Las fuentes que los producen se dividen en 3 subgrupos:

- 1) Gravenes y estructuras con fallamiento de tipo normal detrás del arco volcánico (la mejor desarrollada es la de Jalpatagua, no reconocida al detalle).
- 2) Gravenes y estructuras con fallamientos de tipo normal perpendiculares al arco volcánico (como el de Guatemala con sus fallas de Mixco, Pinula y Palencia; y los de Ipala y Chiquimula en el occidente).
- 3) Fallamientos en Chiapas, Huehuetenango y en Ixcán.

B. CAPITULO SEGUNDO. PRONOSTICO

B.1. VARIABLE USO DEL SUELO.

La importancia del uso del suelo en relación al fenómeno sismo, radica en que el primero es el que determina la amplitud de oscilación al momento de liberación de energía por el segundo. Anotado de otra manera, a una misma magnitud de un sismo en diferentes tipos de suelo corresponden diferentes tipos de movimientos, por ejemplo, un suelo con capa vegetal húmeda muy grande, sirve de vibrador y no así uno rocoso, por lo que es indispensable conocer el riesgo sísmico y riesgo en el uso del suelo.

B.2. RIESGO SISMICO

Según se asumió en el Capítulo anterior en las Escalas, si un gran sismo ocurriera en una zona desértica, pasaría inadvertido y si por el contrario un sismo leve cuyo epicentro sea una ciudad, podría ser catastrófico. En el segundo caso se plantea catástrofe, ya que es un lugar habitado, siendo esa la diferencia, la cual ocasiona riesgo. Por lo tanto el riesgo sísmico, lo determina la presencia del hombre, quien es el que percibe el daño. Sólo existe riesgo con la introducción del ser humano en el fenómeno sismo.

Así mismo, a mayor concentración de personas en cualquier zona sísmica, existirá entonces mayor riesgo sísmico.

Siendo el riesgo la posibilidad de daño siniestral eventual garantizado y refiriéndose el daño a la posibilidad potencial del hombre a sufrir percances, se puede entonces concluir que existirá riesgo sísmico sólo si se presenta el ser humano en el fenómeno sismo, en regiones donde puedan ocurrir.

En resumen, no existe entonces riesgo sísmico en regiones deshabitadas, aún tengan éstas la posibilidad de sufrir sismos, ya que el riesgo lo ocasiona la presencia del ser humano.

B.2.1. RIESGO EN EL USO DEL SUELO

Generalmente no se ha tomado en consideración el tipo de suelo a usar, ni sus características, siendo ese factor el que determina la amplitud de liberación del sismo, creando el Grado de Sismicidad al que esté sujeto. La creciente explosión demográfica intensifica la demanda de recursos, habiendo graves niveles de insuficiencia y carencia, provocando que la carencia a través de asentamientos no controlados, se de como solución. Ante la incapacidad surgen soluciones también no controladas que pretenden satisfacer las necesidades surgidas y "representan el marco de la inmensa mayoría de la población urbana".

(17) Monzon D. H. Factorang. Ph. D. SOBRE LA SISMICIDAD EN GUATEMALA Y LAS PERSPECTIVAS FUTURAS. Artículo. Revista ARQUITECTURA. Colegio de Arquitectos de Guatemala. Vol. 13, No. 1, Nov-Dic. 1986. pp. 11-15, 18, 19.

En general los estudios se hacen analizando la condición o modo de vida de las poblaciones en el contexto de las ciudades, o en un medio urbano determinado, pero casi ninguno ha llegado a definir los términos físicos en donde se desarrollan las actividades.

Las corrientes migratorias y el crecimiento demográfico han intensificado la demanda de habitación, orillando gradualmente a la población a desplazarse a las periferias, y adicionalmente el tiempo va deteriorando toda estructura urbana.

Por otro lado, también son utilizadas las laderas con pendientes críticas despreciando los deslizamientos del terreno y derrumbes, a los cuales no se les protege para reducir los riesgos.

Otro factor que no se prevee, es la utilización de suelos asentados en los alrededores de "fallas activas", las cuales tienden a vibrar, fracturarse o licuarse, provocando riesgo, hundimientos, desprendimientos, grietas, etc.

B.2.2. GENESIS DE LOS SUELOS Y SU CLASIFICACION GENERAL EN EL PAIS⁽¹⁸⁾

Según el Atlas Nacional (mapa 17), el principio de los suelos en Guatemala puede clasificarse así:

- 1.-Suelos desarrollados sobre rocas calcáreas a elevaciones bajas. Suelos jóvenes, arcillosos, café gris muy oscuros. Desarrollados por sedimentos aluviales o marinos profundos ocupan Karst Ahogado. Emergen cerritos redondeados calcáreos de suelos antiguos, y - Vertisoles (Grumosoles), - Molisoles (Rendzinas)
- 2.-Suelos desarrollados sobre depósitos marinos a elevaciones bajas. Latosoles (lateríticos). Lixiviados a profundidades mayores de 3 mt. y son extremadamente ácidos. Su textura superficial es franco limosa, café amarillento claro, los subsuelos son arcillas hasta 1.00. Suelos superficiales poco profundos 0.05 a 0.20 mt. Debajo hay arcillas hasta de 5.00mt. No son suelos productivos.
- 3.-Suelos desarrollados sobre serpentinita y rocas asociadas a elevaciones medianas. Son resultado de la serpentización de rocas máficas. Poco profundos café rojizo. Son de baja productividad. La vegetación natural es pino, con árboles deciduos.
- 4.-Suelos desarrollados sobre rocas calcáreas a elevaciones medianas. Textura arcillosa, color negro, descansan sobre subsuelos arcillosos. En la roca madre se encuentran a menos de 2.00 mt. Son fuertemente ácidos. De baja productividad. Con erosión fuerte.
- 5.-Suelos desarrollados sobre rocas calcáreas a elevaciones altas. Suelos pseudo alpinos, 20% molisoles, franco arcillosos, café oscuro de 1 mt. de espesor y más. En valles no profundos se ha concentrado arena volcánica fina. Ph 5.5 - 6.0.

6.-Suelos desarrollados sobre esquistos a elevaciones medianas. Poca profundidad efectiva. Predominan pino y encino, tiene muchos depósitos de ceniza volcánica, al pie de cerros y a lo largo de ríos. Las tierras cultivadas están sobre cenizas volcánicas.

7.-Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica a elevaciones medianas. Suelos poco profundos en los casos en donde la erosión es muy severa por cultivo de laderas. Subsuelos con textura franco arcillosa café amarillenta, promediando 1 Mt. de profundidad.

8.-Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica a elevaciones altas. Relieve muy variable, con planicies ondulantes, valles rellenos barrancos profundos con paredes casi verticales y montañas muy quebradas. Áreas intensamente deforestadas, causando erosión severa. Color café, pseudo alpinos con textura franco arcillosa. No contienen cuarzo, llegan hasta 1 mt. de profundidad.

9.-Suelos desarrollados sobre material fluvio-volcánico reciente a elevaciones medianas. Formadas por abanicos aluviales traslapados de material volcánico reciente, con pendiente variable desde el 30% al pie de los volcanes, hasta el 2% en la planicie costera. Suelos jóvenes poco profundos y fértiles. Subsuelos arcillosos poco ácidos y subsuelo a profundidad de 1 a 2.00 mt.

10.-Suelos desarrollados sobre material fluvio-volcánico reciente a elevaciones bajas. En el oeste son arcillas neutras y en el este arenosas. Los de mayor productividad agrícola, son profundas, usados para cultivos limpios.

11.-Suelos Alpinos.- La mayor al norte es de roca calcárea y las 2 al sur de origen volcánico. Humedad relativa alta (temperaturas bajas y brumas densas). Color café oscuro. En muchos lugares no existe subsuelo. Cubierta vegetal de pino, pinabete, ciprés y encino.

B.2.3. FALLAS

Las fallas geológicas representan planos a lo largo de los cuales los movimientos de la Tierra toman lugar y son el origen de los sismos. Algunos tipos de fallas existen en la Corteza terrestre, las cuales están relacionadas con la acción del límite de las placas. No todas las fallas se quiebran, y son visibles.

Los planos de falla ocurren a profundidades variables y los Hipocentros pueden ocurrir a cualquier profundidad a lo largo de este plano.

En una **FALLA NORMAL**, las rocas en cada lado de la zona de falla tienden a empujar por aparte, creando tensión en la falla. Cuando la tensión es suficiente para causar ruptura, los grandes bloques se mueven bajo la línea de falla. Algunas fallas ocurren a lo largo de los límites de la placa, como placas empujando por aparte, creando **hundimientos o pliegues**.

(18) Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. ATLAS NACIONAL DE GUATEMALA. 1972.

En fallas de **EMPUJE O INVERTIDAS**, las rocas en cada lado de la zona de falla tienden ambos a empujar creando compresión en la falla. Cuando la compresión es lo bastante grande para causar ruptura, el bloque levantado se mueve sobre el talud del plano de falla. Algunas fallas de empuje ocurren a lo largo del límite de la placa como colisión de placas.

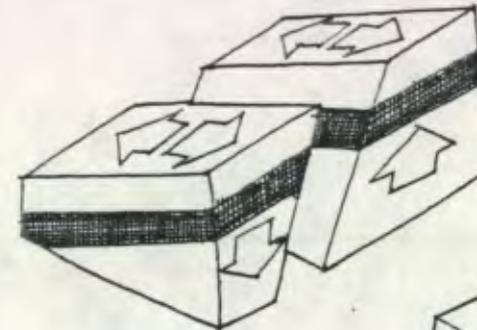
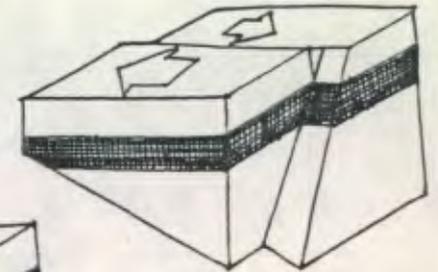
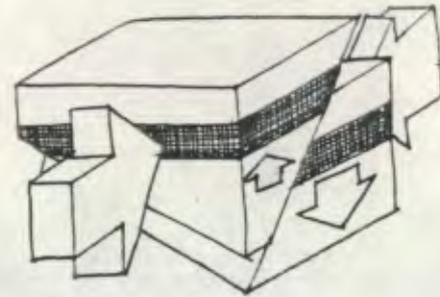
En las fallas **DE GOLPE DESLIZABLES O TRANSFORMADAS**, el movimiento es a lo largo de los lados y cercano al plano de la falla vertical. En algunas fallas de deslizamiento lateral, dos placas se deslizan una sobre otra.

La combinación de fallas normales o deslizables o viceversa, ocurren cuando el movimiento es diagonal a la fuerza principal.

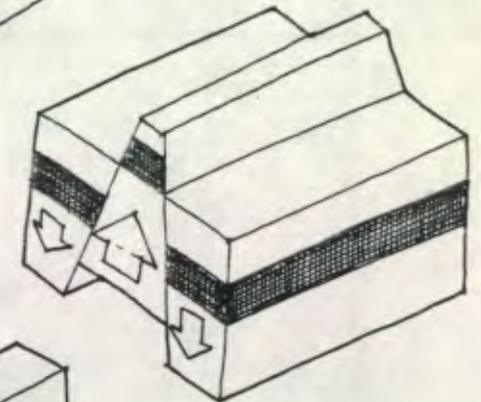
Cuando una o mas fallas normales corren paralelas una con otra, los movimientos de la Tierra pueden crear un **GRABEN** o, un **HORST**. El Grabben se da a lo largo y es una depresión angosta, causada por tensión de las fuerzas de la corteza, ocasionando bloques de falla que caen entre las fallas paralelas. Un Horst es una cresta de meseta, causada por bloques de falla los cuales se elevan en relación paralela.

B.2.3.1. FALLAS ACTIVAS

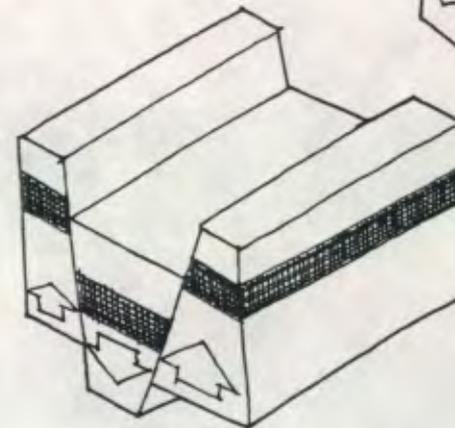
Son todas aquellas fracturas de terreno causadas por movimientos sísmicos, pudiendo ser desde muy pequeños (líneas de fractura) hasta mayores presentando movimientos o tendencia a tenerlos, en sitios donde se tocan dos bloques diferentes de capas de la corteza terrestre que se mueven en distintas direcciones, produciendo grandes esfuerzos que al lograr liberr la energía acumulada, desplazan grandes masas de la corteza provocando sismos. Para distinguir una falla, debe haber de ambos lados estratos correspondientes de la misma edad.



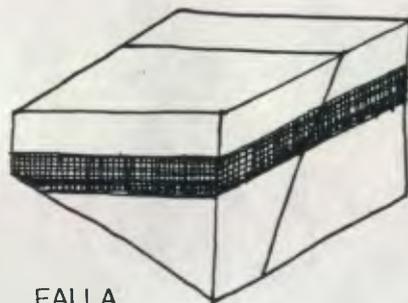
FALLA DE GOLPE DESLIZABLES O TRANSFORMADAS



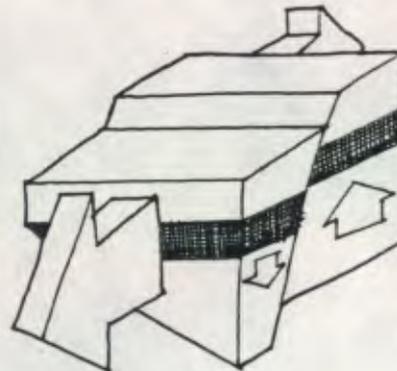
HORST



GRABEN



FALLA



FALLA NORMAL

B.2.4. PROCESO PARA ZONIFICACION SISMICA

B.2.4.1. LA UBICACION

Riesgo en el Uso del Suelo, por diferentes factores y circunstancias, no se toma en cuenta la vocación del suelo para una determinada actividad.

- El primer paso será ubicar el objeto arquitectónico en el mapa de riesgo sísmico para determinar proximidad en una zona de riesgo.
- El segundo paso es ubicarlo en el mapa de Fallas Activas y establecer la posible proximidad a una de ellas.
- El tercer paso será referirse a un mapa (si existiera), de fallas zonales en forma similar al punto anterior.
- El cuarto paso será verificar la proximidad de barrancos y/o laderas por la alta capacidad que tienen de erosiones con sismos.
- El quinto paso, dependiendo del tamaño del proyecto, -será la determinación de la profundidad del nivel freático y las capas del suelo del suelo al ocurrir sismo, así como el valor soporte del mismo.
- El sexto paso será verificar el valor soporte del suelo, que dependiendo del tamaño del proyecto podrá hacerse a través de mesas de pruebas o estudios de suelos.

Los seis pasos anteriores, darán como resultado la cantidad de riesgo en la ubicación de un proyecto, pudiendo con tecnologías adecuadas resolver algunos pasos.

Con lo anterior, puede concluirse que la ubicación es determinante en la cantidad de riesgo que puede correrse en un proyecto, por lo que deberá preverse dentro de la factibilidad de poder realizarlo.

B.2.4.2. SUELOS PARA OBJETOS ARQUITECTONICOS

Los suelos son versátiles, pero no para todos los propósitos. Los suelos con textura fina y media y alto contenido de materia orgánica, no son aptos para construcción y si lo son para agricultura. Suelos cascajosos (gravosos) y arenosos son los mejores para carreteras y soporte de fundaciones y no lo son para represas, las que necesitan suelos poco permeables (arcillosos). Sin embargo, existen métodos para modificar los suelos y hacerlos más adecuados, haciendo su uso más óptimo y poder predecir en forma competente los problemas, riesgos y sus futuras necesidades.

B.2.4.3. LADERAS

Para una primera aproximación, véase mapas No. 18, y No. 20.

Las laderas en Guatemala tienen taludes con algunas entre 25 y 150 mts. y pendientes entre 45 y 90 (Koose, Federico 1976).

Pueden ocurrir deslizamientos por movimientos horizontales de los taludes sin confinamiento lateral o por deslizamientos incipientes

De acuerdo a la distancia que un objeto arquitectónico se encuentre del borde superior del talud de una ladera, pueden clasificarse en 3 zonas:

- 1) Zonas de peligro
- 2) Zonas de riesgo relativo
- 3) Zona segura,

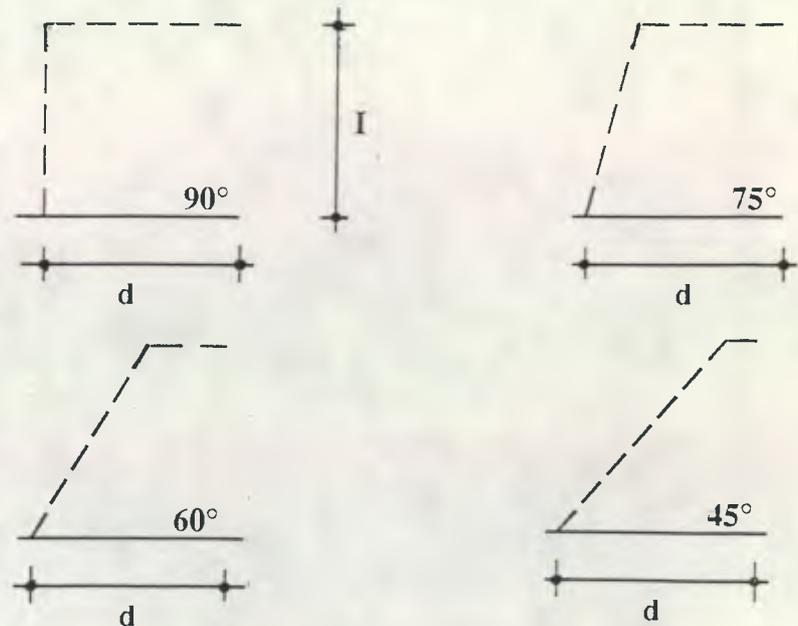
las cuales dan la posibilidad de riesgo relativo y no ocurrencia de deslizamientos de tierra.

Factores como características de la ladera, profundidad, ángulo de pendiente de talud, capacidad de erosión de los materiales y su posible protección natural, darán posibilidad de daño.

ANGULO DE REPOSO NATURAL DE ALGUNOS MATERIALES

Arena	20° a 25°
Tierra	20° a 45°
Grava	30° a 50°
Talpetate	30° a 50°
Piedra	36° a 45°

CUADRO DE FACTORES DE SEGURIDAD DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS. (ING. KOOSE-FHA).



ALTURA TALUD	ANGULOS				
	90	75	60	45	
25	20	15	10	10	D
	25	20	15	15	D
50	30	20	15	15	DP
	40	35	25	20	DS
75	35	30	20	20	DP
	45	40	30	25	DS
100	40	35	25	20	DP
	50	45	35	25	DS
150	45	40	25	20	DP
	60	55	40	25	DS

DP = Distancia Peligosa, Mt.

DS = Distancia Segura, Mt.

B.2.4.4. PROTECCION Y CONSERVACION DE TALUDES. SELLOS DE GRIETAS

De existir grietas, debe zanjarse a lo largo de la misma, dependiendo de su profundidad, 50 cms. de profundidad y 50 cms. de ancho, haciendo en su interior una fundición de concreto de 5 a 8 cms. de peralte. Luego debe rellenarse con el material excavado, en capas compactadas.

DRENAJE SUPERFICIAL

Debe evacuarse el agua de escorrentía rápidamente, sin permitir que se estanque o erosione. En las orillas y bordes deben usarse cunetas revestidas con las pendientes necesarias; así como impermeabilizar las orillas de las laderas o donde se presenten grietas pequeñas para que no hayan filtraciones que puedan provocar deslizamientos.

CUNETAS

Las cunetas revestidas deben interceptar, conectar y encausar el agua de escorrentía que provenga de las áreas superficiales ya protegidas. Deben construirse paralelas al borde del barranco, para que no escurra sobre los taludes.

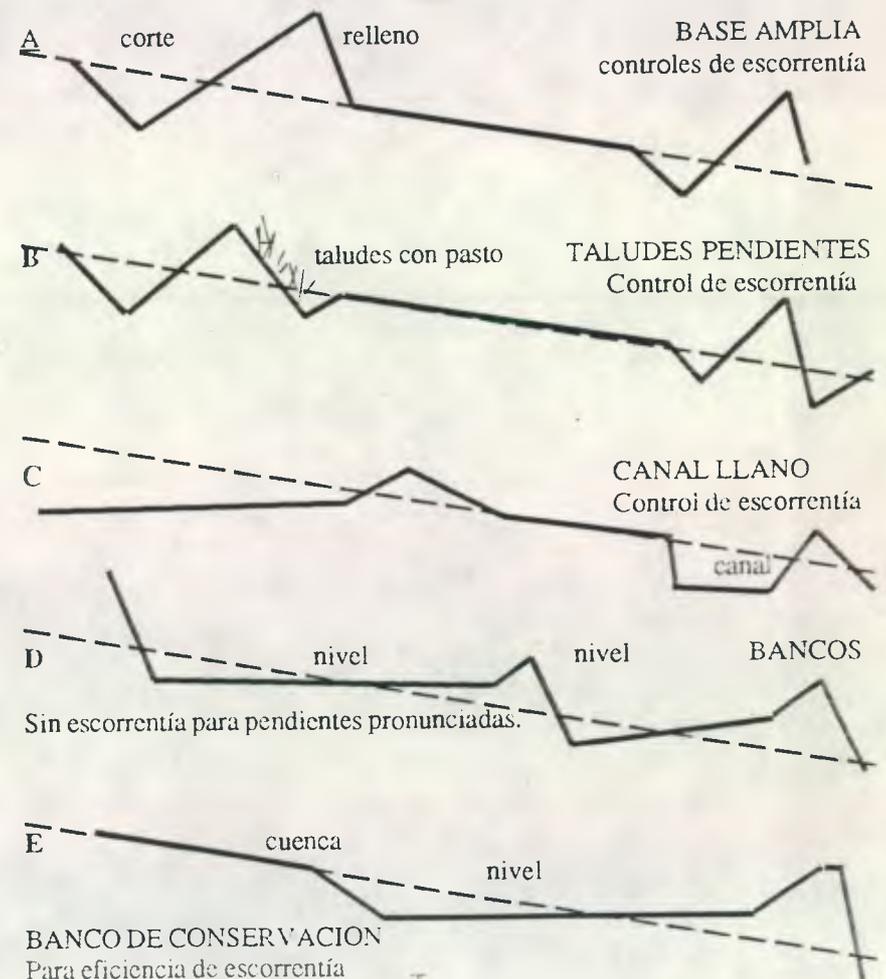
IMPERMEABILIZACION

Es necesaria para evitar la filtración de agua, ya que puede causar cambios de presión en los poros del suelo, que provoquen deslizamientos

de tierra. Puede hacerse con tratamientos superficiales bituminosos de curado rápido o concreto pobre.

La erosión acelera el proceso de deterioro del suelo, favoreciendo las posibilidades de corrimiento con la ocurrencia de sismos.

El problema puede reducirse controlando la separación o el transporte. El primero se hace utilizando cubiertas vegetales (pastos, hojas, broza), lo cual amortigua la disipación por caída de agua. En el segundo caso se puede disminuir el problema reduciendo lo pronunciando las pendientes con barreras, tales como terrazas, cercas, setos, etc.



B.3. VARIABLE ARQUITECTONICA

INTRODUCCION.

El primer grupo de variables son de origen natural y afectan un segundo grupo que es parte del desarrollo del trabajo del hombre, y por lo tanto, puede corregirse y mejorarse para adaptarlo a actuar con el primero por la subordinación a la que se ve sujeto. En este corresponde en primera instancia la Variable Arquitectónica, por lo que deben conocerse sus elementos más relevantes, y poder así elaborar un modelo.

ANTECEDENTES.

B.3.1. FALTA DE CONCEPCION RESISTENTE

El problema más serio que afecta a los objetos arquitectónicos durante un sismo es el hecho de no haber sido concebidos sismorresistentes sino transformados en tales.

Generalmente a los modelos no se los proyecta sismorresistentes, sino a través de una estructura se les transforma para resistir fuerzas de sismo. Esa falta de concepción en el diseño arquitectónico provoca que aparezcan elementos estructurales no preconcebidos que pueden verse interferidos por elementos no estructurales en el momento de un sismo fuerte y provocar colapso parcial, total o severos daños en el objeto arquitectónico.

En nuestro medio por lo general no se toma en cuenta la acción de fuerzas horizontales de sismo en objetos arquitectónicos de poca altura, por lo tanto se confía en que los "muros de corte" resuelvan el problema, despreciando el hecho de que existen mecanismos que durante la concepción pueden reducir el riesgo de colapso, o daño.

En otro tipo de objetos arquitectónicos se deja en manos del estructural cualquier transformación que tienda a volverlo sismorresistente, lo cual va modificando el diseño arquitectónico original.

B.3.2. EL OBJETO ARQUITECTONICO COMO CONJUNTO

No se puede deslindar la concepción arquitectónica del fenómeno sismo, lo cual implica que deben introducirse criterios sismorresistentes durante su desarrollo, los que no necesariamente son de orden estructural. Por lo tanto en el momento de la fase de diseño arquitectónico deben introducirse las variables sísmicas en forma integral, preconcebirse el sistema estructural y hacer una distribución homogénea de esos elementos, que en su conjunto harán que un objeto arquitectónico sea sismorresistente, que pueda soportar fuerzas de sismo sin llegar a colapsar, aunque no necesariamente sin daño.

De esa manera, no puede verse un objeto arquitectónico de una manera

aislada, solo desde el punto de vista de la arquitectura, o solo desde el estructural. Debe de trabajarse en forma integrada con las variables geológico tectónicas y sísmicas, por las condiciones y riesgos de sismo de Guatemala. Lo anterior tenderá a obtener objetos arquitectónicos más eficientes y económicos con capacidad de resistir fuerzas de sismo.

ELEMENTOS.

B.3.3. LA CONFIGURACION. criterio AR1.

La configuración está definida aquí, por la naturaleza del objeto arquitectónico, su tamaño, localización, forma, proporción, simetría y naturaleza de elementos estructurales y no estructurales, (paredes, columnas, entresijos, ductos, gradas, tabiques), y la forma en que paredes o muros exteriores se perforan para la creación de vanos, y su acción en la ocurrencia de sismos.

La configuración, por lo tanto, es el resultado de un proceso de toma de decisiones que resuelve los requerimientos y conflictos en un resultado sencillo, durante el desarrollo del diseño del objeto arquitectónico.

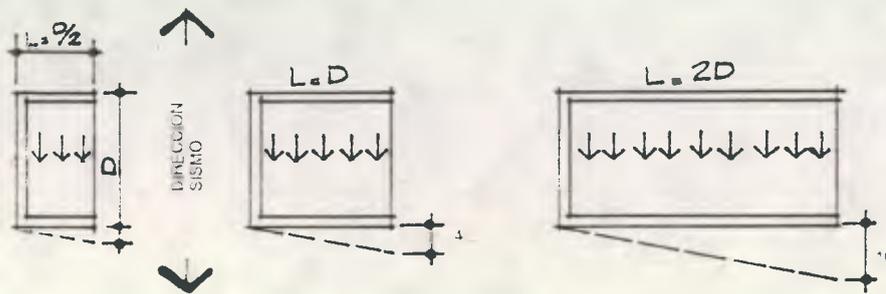
CRITERIO AR 1



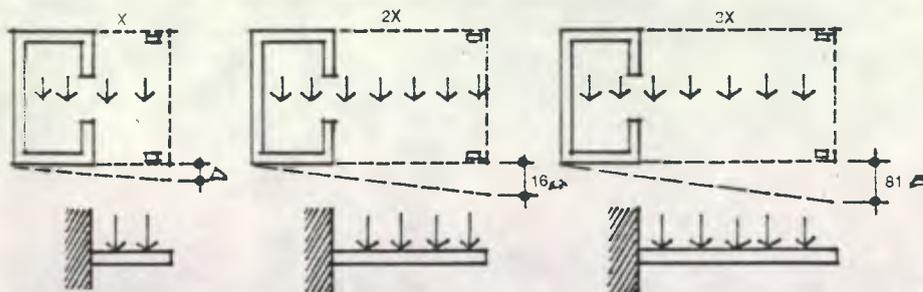
B.3.4. SIMETRIA. criterio AR2.

El término simetría en sismorresistencia denota en un objeto arquitectónico la coincidencia de los centros de masa y rigidez.

menos dinámicos que en una planta. Las formas simétricas son más adecuadas porque tienden a no provocar excentricidades que ocasionan torsión, aunque no necesariamente son las formas asimétricas las que lo provocan, pudiendo ser variaciones en la distribución del peso. La asimetría tiende a provocar concentraciones de tensiones. (relacion entre largo y ancho).

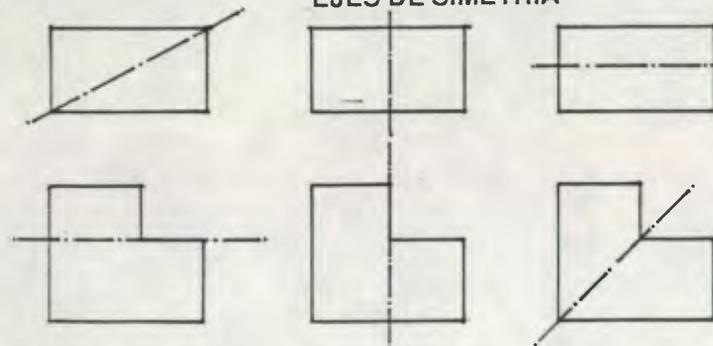


DEFLEXION TORSIONAL EN FRENTE SIN PARED FRONTAL



DEFLEXION TORSIONAL DEL DIAFRAGMA, COMO VIGA EN VOLADIZO

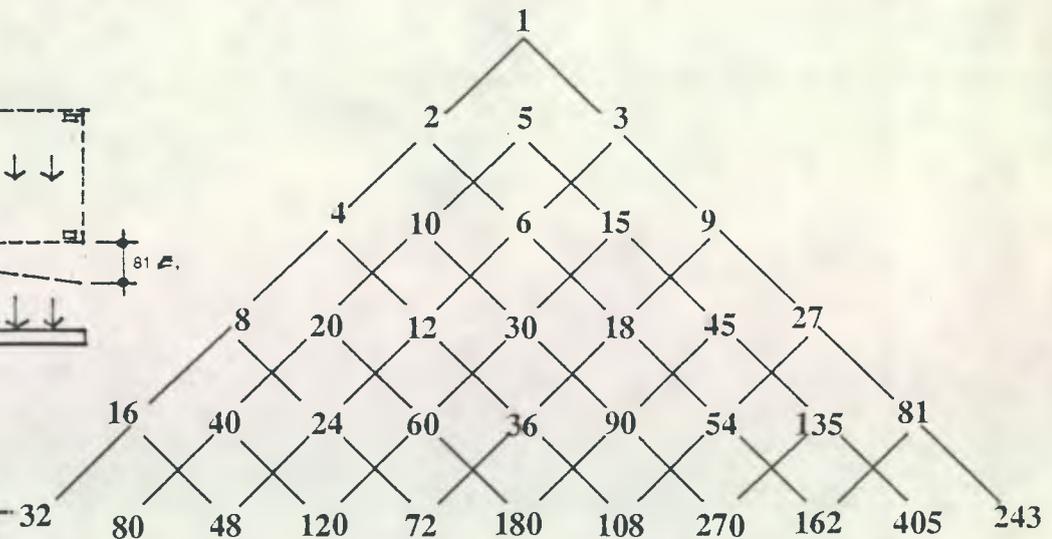
EJES DE SIMETRIA



B.3.5. PROPORCION. criterio AR3.

Debe guardarse relación entre las formas bi y tridimensionales para crear equilibrio, ya que las formas equilibradas en los objetos arquitectónicos a través de ejes de simetría, son más estables y soportan mejor las fuerzas horizontales, obteniendo así unidad por la proximidad entre los centros de masa y rigidez.

En sí, la proporción es la unidad de relación en armonía que guarda un objeto arquitectónico con las partes que lo forman y con quienes lo consumen. Por lo tanto, la proporción estará dada por la relación de escala guardada entre los ejes que se utilicen. Las series numéricas sistemáticas han dado origen a escalas de magnitudes correlativas con dimensiones armónicas para proporcionar elementos, lo que resulta una medida adecuada para el efecto.



Proyecto 174 AEP

DIAGRAMA NUMERICO Y MODULAR EN BASE AL VALOR 1mt= 10cm,

Fuente: A. Petrigiani. TECNOLOGIA DE LA ARQUITECTURA. Ed. Gustavo Gili. Barcelona, Espana.

B.3.3. ALTURA. criterio AR 4

Para proporcionar la altura de elementos arquitectónicos, además de las condiciones de relación antropométrica para obtener ambientes "humanos", es necesario crearle condiciones que lo hagan estable y soportar fuerzas horizontales de sismo, por lo que debe mantenerse proporcionalidad entre su altura y el lado menor del mismo, en virtud de que entre más alto sea un elemento, mayor será su tendencia al pandeo (esbeltez), porque los elementos altos y delgados fallan por flexión y no por aplastamiento como en los elementos cortos, al sufrir aplicación de cargas.

Por lo general, a mayor área de base para un objeto arquitectónico y menor altura, hay mayor capacidad para soportar fuerzas laterales, por lo que debe lograrse una relación no mayor de 4 a 1, siendo esta menor que 0.5, ya que de lo contrario las deflexiones torsionales se incrementan rápidamente pudiendo ocurrir daños en los muros con vanos, (CRITERIO AR4.1)

Para muros puede tomarse la siguiente especificación para determinar su espesor y guardar una buena relación de esbeltez, que impida pandeo:

$$\text{ESPESOR MURO (t)} = \frac{h \text{ (altura)}}{20} \quad \text{(tomando el inmediato superior)}^{(19)}$$

CRITERIO AR4.2

CUADRO RESUMEN DE ESPESORES DE MUROS EN RELACION A LA ALTURA, s/FHA. criterio AR4.3

No.	TIPO DE ELEMENTO				
1	Vivienda de un nivel	11 cm	no mayor de 25	Para mayor altura, imposibilitar pandeo	503-2a/5-08
2	Vivienda de dos niveles	14 cm	no mayor de 20	Para mayor altura, imposibilitar pandeo	503-2b/5-08
3	Vivienda de 1 nivel ladrillo limpio			2.70 altura máxima	503-4d/5-12
4	Paredes aisladas sin apoyo transversal			Deben resistir momento por sismo perpendicular al plano del muro	504-a/5-16
5	Para muros hasta 2.00 mt. alto			Coefficiente sísmico ≤ 0.17	504-b/5-16
6	Estructuras / concreto			Columnas aisladas, lado menor igual a 20 cm.	505-a/5-17
7	No deben diseñarse elementos que confienen lateralmente a las columnas de marcos rígidos que ocasionen que su altura libre sea menor que el triple de su peralte.				505-b/5-17

Para casos específicos el FHA (*), dicta normas para muros.

Para proporción de altura se utilizan fórmulas empíricas y tablas para cargas dinámicas horizontales (viento y sismo). Suele usarse en "pilares" un grueso de 1/8 a 1/10 de la altura si son de ladrillo de barro cocido, y de 1/16 si son de piedra (Petrignani, 1979).

La fórmula empírica de Rondelet, proporciona el grueso del muro respecto a su altura y a las dimensiones del ambiente.

$$S = \frac{1}{12} \frac{Lh}{(L^2 + h^2)} \quad \text{CRITERIO AR 4.4.}$$

L = longitud del muro

h = altura del muro

Puede usarse también la relación $h > 2.5 \frac{L}{L}$ CRITERIO AR 4.5

Para estructuras mayores los reglamentos recomiendan el acero para la estructura del objeto arquitectónico, ya que resiste esfuerzos dinámicos ocasionados por viento sismo y trepidaciones provocadas por tránsito pesado, maquinaria, sismo, etc.

Los reglamentos americanos establecen que para el acero, la flecha elástica de un objeto arquitectónico alto no debe exceder 1/500 de su altura.

(19) Curso DISEÑO ESTRUCTURAL, Primer Semestre 1985, F.C. UNL, UNAC.
(20) Peter. Hays, MECÁNICA Y RESISTENCIA DE MATERIALES DE LAMINA, STEVEN D.F. 1979, p. 103.

B.3.7. CENTRO DE MASA. criterio AR5.

"El centro de Masa de un sólido, es un punto imaginario en el que se puede considerar concentrado todo su peso" (20). Si el área es simétrica, el centroide o centro de masa estará sobre el eje de simetría, y si existen 2 ejes estará en su intersección. Por lo tanto el centro de masa de un objeto arquitectónico es el punto geométrico donde se localiza la resultante de las fuerzas gravitacionales para obtener un sistema estáticamente equivalente.

"Las fuerzas horizontales estarán aplicadas en el centro de gravedad".

B.3.8. CENTRO DE RIGIDEZ. criterio AR6.

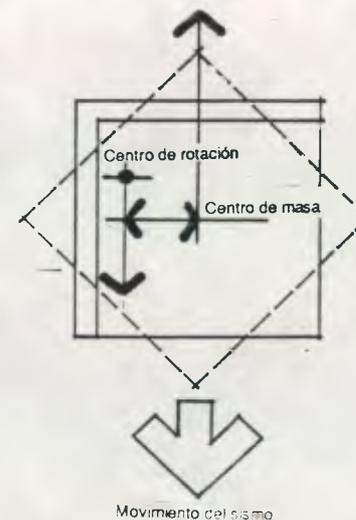
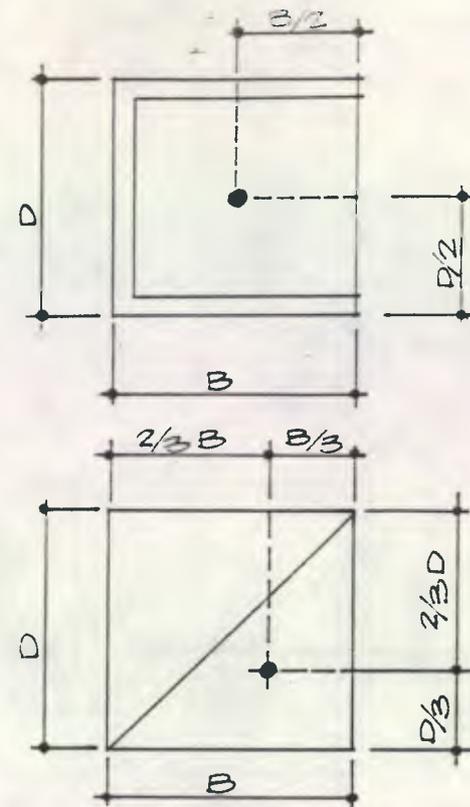
Es el punto geométrico en que si se aplica una fuerza al objeto arquitectónico, sólo se producen traslaciones, y si se aplica un par de fuerzas, el objeto gira a su alrededor. Ya que la fuerza resultante de sismo se aplica en el centro del objeto arquitectónico, se producen torsiones si éste no coincide con el centro de rigidez.

La rigidez es la capacidad de resistir (u oponerse) a la deformación.

La rigidez de un elemento para determinada deformación es la fuerza necesaria para producir un desplazamiento unitario en la dirección y sentido de la deformación considerada.

Para el caso de la acción sísmica a distribuir, la deformación será el desplazamiento relativo entre el plano de distribución y el plano de la base. Según sea la dirección del desplazamiento, será distinta la rigidez correspondiente del elemento.

Si se provoca una traslación a una losa en una dirección cualquiera, aparecerá una reacción, cuya dirección no será en general coincidente con la traslación. Si se provoca una nueva traslación en otra dirección aparecerá otra reacción como consecuencia, de los desplazamientos. Las rectas de acción de las reacciones, se cortan en un punto único, llamado CENTRO DE RIGIDEZ. Dicho punto coincide con el centro de rotación de la losa cuando se le aplica un par de fuerzas. Si una fuerza exterior estuviese aplicada en el centro de rigidez sólo provocaría traslaciones a la planta.



B.3.9. MCDULACION. criterio AR7.

La modulación es el proceso por medio del cual se desarrollan elementos con las mismas dimensiones convencionales, siendo sus objetivos fundamentales:

A.-La Coordinación Modular que busca establecer las bases de los elementos en el conjunto.

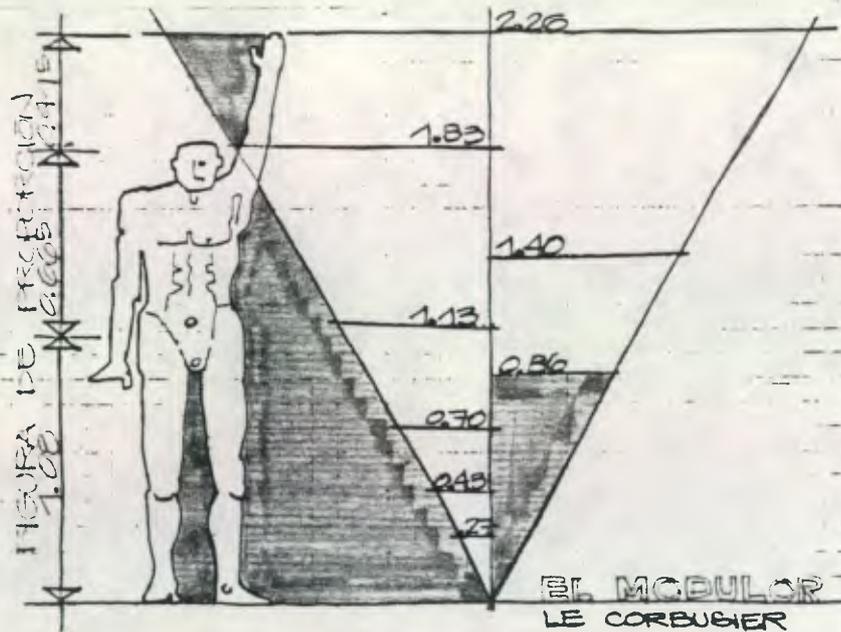
B.-La estandarización, ya establecida la coordinación modular, para reunir los grupos de elementos.

C.- La normalización que luego de establecidos los criterios anteriores tiende al acortamiento de los elementos en base a su estudio funcional al intercambio e interrelación entre ellos para establecer un patrón que reduzca la posible variedad de elementos a la unidad dentro del conjunto.

Pretende crear integración, que permita tener objetos arquitectónicos armónicos que puedan soportar mejor, a través de figuras (elementos) conocidos de formas más estables, los efectos de los sismos.

Para poder hacer uso de la modulación, es necesario establecer inicialmente el MODULO BASE, como unidad de medida y factor numérico, con las siguientes características:

1) Las medidas deben ser lo suficientemente grandes, para correlacionar las dimensiones modulares de los componentes y los espacios modulares del objeto arquitectónico.



2) Dentro del concepto anterior, ha de ser pequeño, para que sus múltiplos puedan corresponder a medidas modulares próximas a él y poder si el caso lo requiere ajustar dimensiones de lo proyectado.

3) Debe luego escogerse las medidas mayores posibles para lograr la máxima dimensión de elementos.

4) El módulo debe expresarse en números enteros y guardar relación con un sistema de medidas conocido.

Los elementos a los que se refiere el párrafo anterior pueden ser ambientes, elementos constructivos, detalles arquitectónicos, alturas, espacios, elementos estructurales, etc.

SISTEMA DE REFERENCIA:

La operación para representar las dimensiones modulares y sus relaciones es LA RETICULA. La misma debe proyectarse sobre los tres planos ortogonales (tridimensional), tener como intervalo el Módulo Base, haciéndola una sistema gráfico de referencia, estableciendo todas las posiciones que se necesiten en un modelo arquitectónico, permitiéndole ser más unificado y a la vez compacto, y brindar mayor rigidez.

EL MODULOR de Le Corbusier es una escala de dimensiones armónica fundada en las series de tipo Fibonacci cuya razón es 1.61803398, límite notable al cual tiende la razón AUREA.

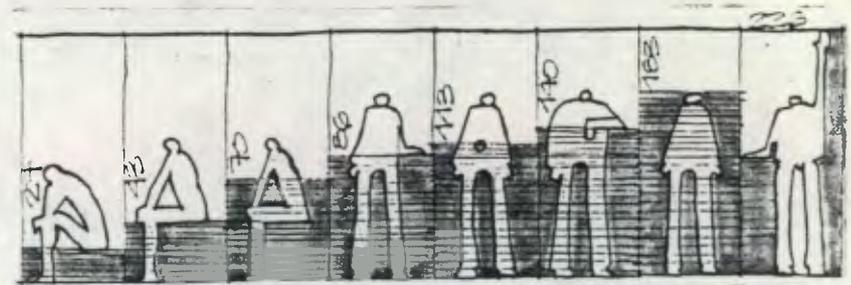
La secuencia está dada por los valores 113, 70 y 43 cm. que están en razón áurea entre sí y que se han deducido de medidas típicas del hombre. Sumando las tres medidas base de posiciones típicas del hombre se obtiene "La malla base" que cubre la altura de un hombre de 1.83 Mt de alto que es igual a 6 pies en el espacio.

113: 1.61803 = 70

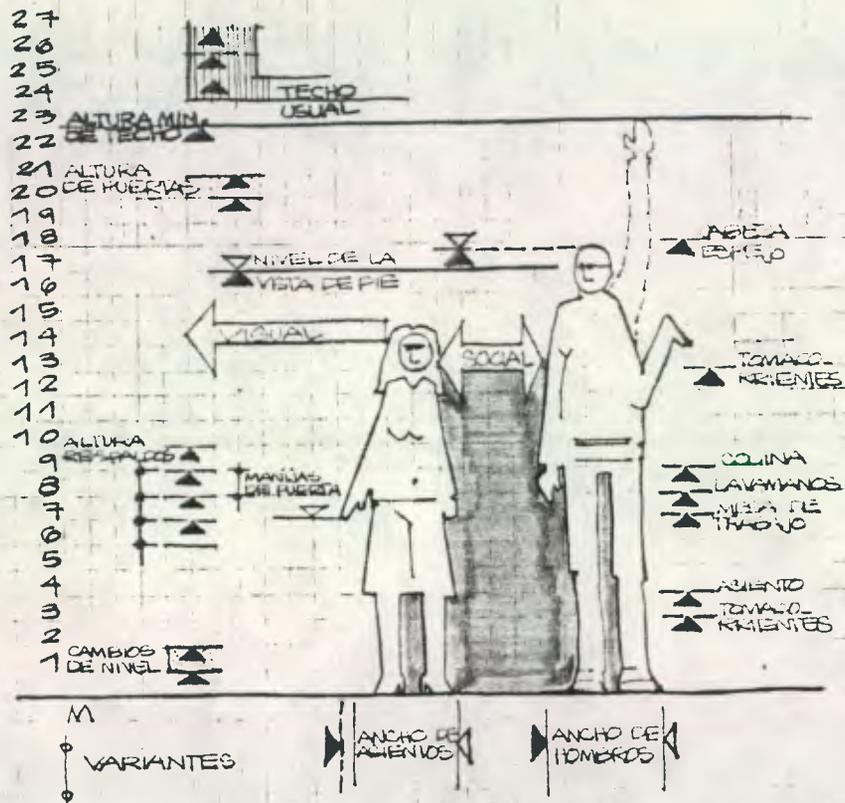
70: 1.61803 = 43

32: 1.61803 = 27

La tabla con la serie roja y la serie azul, que son los valores del doble de la roja, fueron usados por Le Corbusier para dimensiones preferenciales idóneas para diseñar espacios.



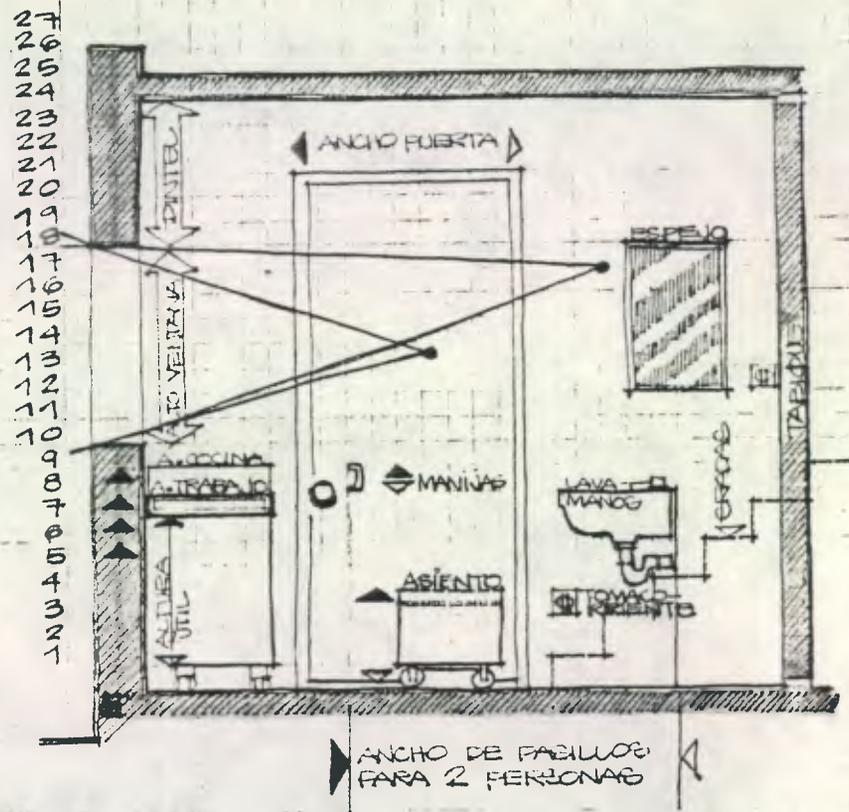
FUENTE: Neufert, Ernst. EL ARTE DE PROYECTAR EN LA ARQUITECTURA. ED. GUSTAVO GILI, S.A. Barcelona, España. 1973. p. 30.



▲ MÍNIMO
▼ MÁXIMO

MÓDULO (M) = 10 CM.

DIMENSIONES RELATIVAS A UN HOMBRE DE 1.70 MT. DE ALTURA, Y UNA MUJER DE 1.50 DE ALTURA.

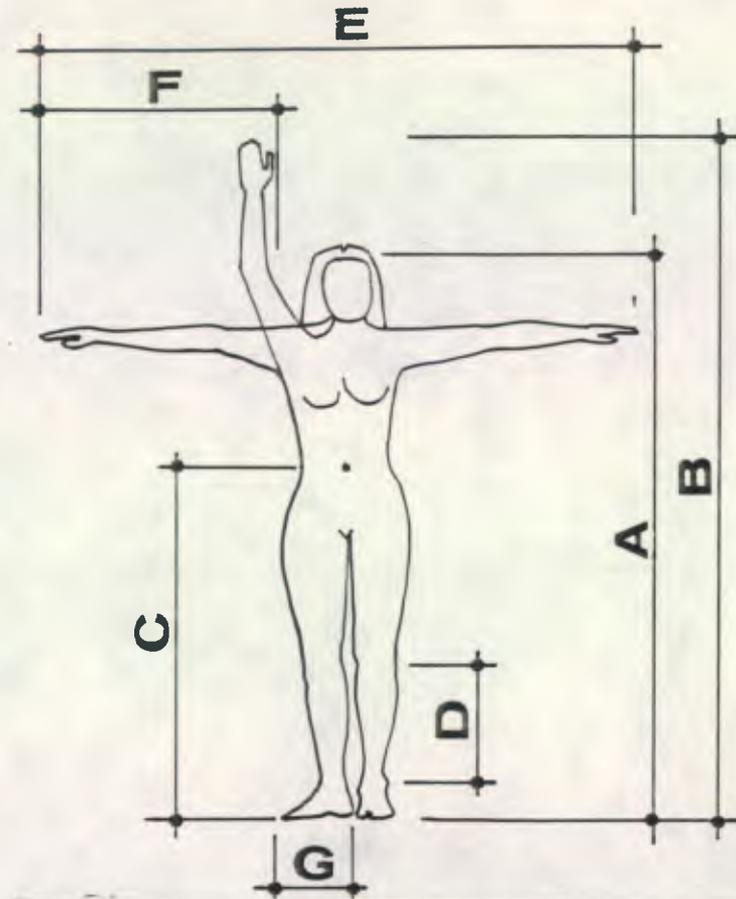
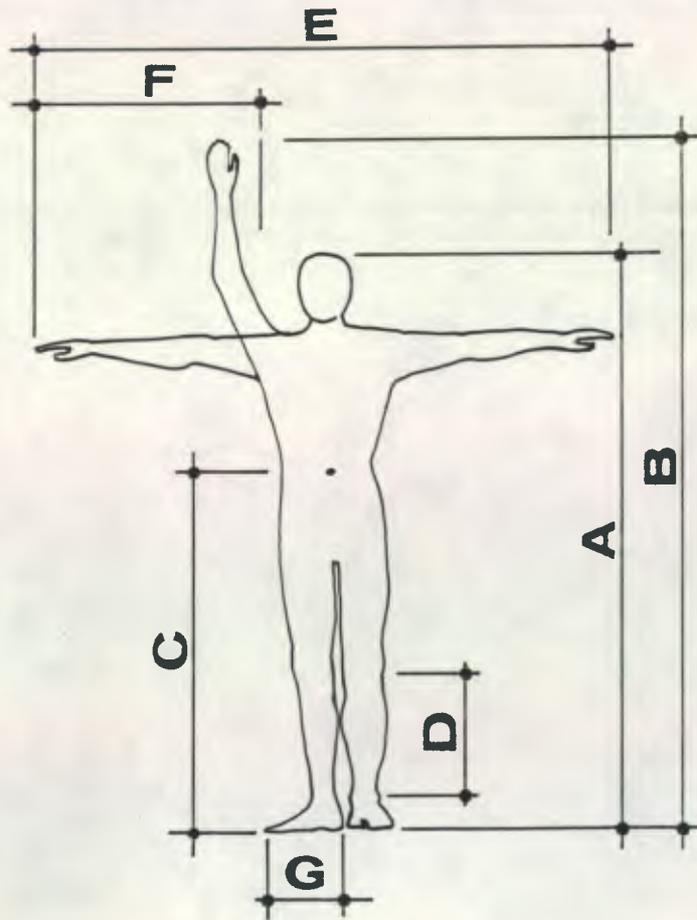


● ANÁLISIS DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS según el módulo M=10CM OECE

TOMADO DE: A. Fontijnari. TECNOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, España. pag. 224. 1974

Criterio AR7

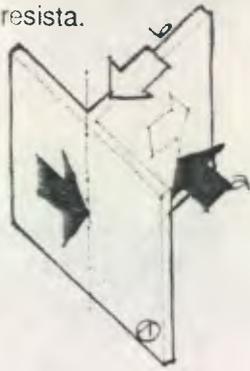
Los siguientes son medidas basadas en un estudio antropométrico para establecer modulación base en parámetros nacionales en las 7 regiones climáticas en que fue dividido el país en el PNI, según muestra al azar establecida de acuerdo a la población. Habiéndose evaluado un total de 3,320 casos, en los lugares representativos de cada región.



SEXO	EADADES					
	12		19		29	
	M	F	M	F	M	F
A	1.2875	1.285	1.6079	1.324	1.6505	1.5601
B	1.8025	1.799	2.251	1.854	2.3105	2.184
C	0.806	0.804	1.01	0.828	1.03	0.976
D	0.322	0.321	0.401	0.33	0.41	0.39
F	1.28	1.28	1.6079	1.324	1.65	1.56
H	0.515	0.514	0.643	0.529	0.66	0.624
G	0.215	0.214	0.267	0.22	0.275	0.26

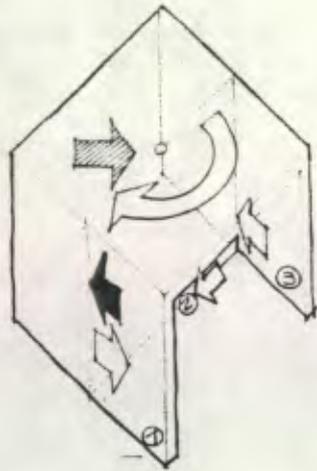
B.3.10. PLANOS. criterio AR 8.

Los muros pueden considerarse planos, cuando exista una fuerza horizontal, que pueda contrarrestarse con un plano vertical que la resista.



A 2 planos resisten fuerzas horizontales en cualquier dirección, siempre y cuando pasen por el eje de intersección.

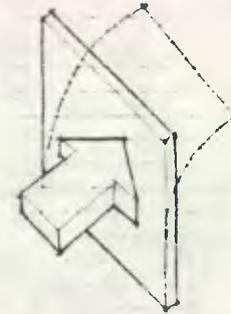
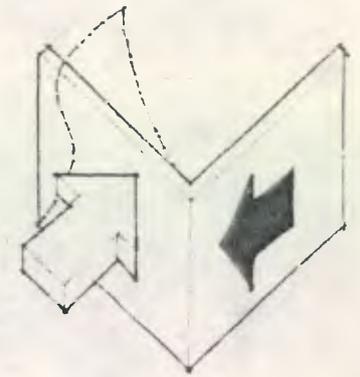
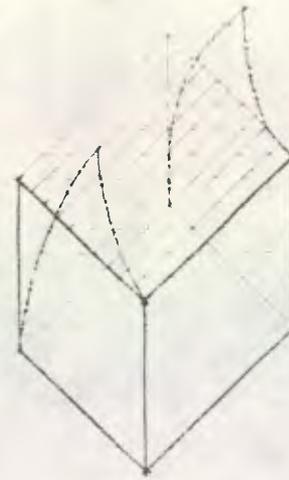
B Para resistir fuerzas horizontales en cualquier posición son necesarios tres planos



Criterio A R 8.1

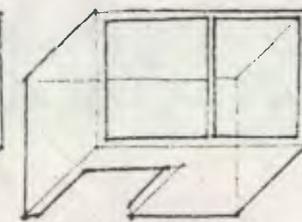
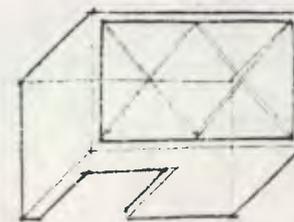
A y B son el sistema mínimo de planos verticales para resistir acciones horizontales.

C. Sistema mínimo de resistencia. Con 4 planos que pueden resistir las fuerzas indicadas en B.



Vinculación entre planos verticales debida a TECHOS NO RIGIDOS.

CONDICIONES DE VINCULACION DE PLANOS VERTICALES.



Plano horizontal triangulado

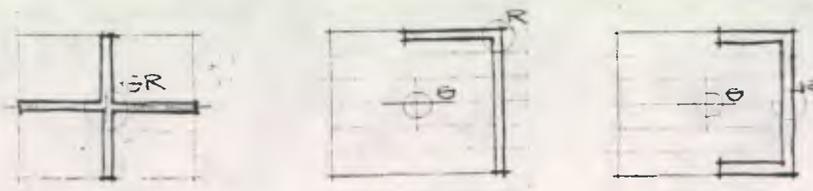
Marco Horizontal

criterio AR 8.

Fuente: Arribas, Augustin. MANUAL DE CONSTRUCCION SIMBOLIZANTE EN LA VIVIENDA EN ZONAS ARIDAS. CEA Buenos Aires, Argentina, 1975. pp 2-28-51.

3.3.10.1 INFLUENCIA DE LA POSICION DE LOS PLANOS VERTICALES
INFLUENCIA RELATIVA DE LOS PLANOS Y SU MEJOR APROVECHAMIENTO EN EL ESPACIO ⁽²¹⁾

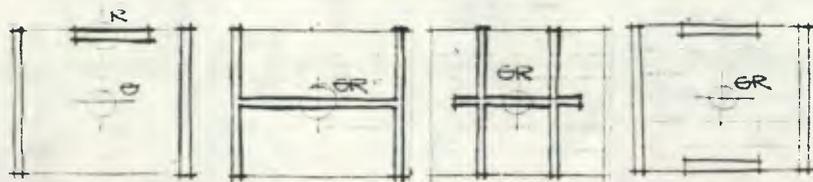
Considérese todas figuras como muros en planta, con la ubicación del centro de masa **G** y centro de rigidez **R**.



NO ADMISIBLE
Falta un plano.

NO ADMISIBLE
No hay resistencia torsional, falta un plano

NO ACONSEJABLE
Excentricidad excesiva



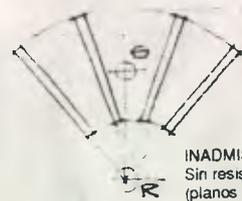
ACONSEJABLE
Hay resistencia torsional

BUENO
Excentricidad teórica nula.

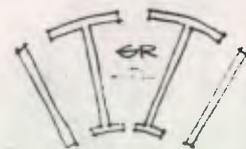
ACEPTABLE
Excentricidad teórica nula con poca resistencia torsional.

OPTIMO
Buena resistencia torsional con excentricidad teórica nula

Criterio AR 8.2.



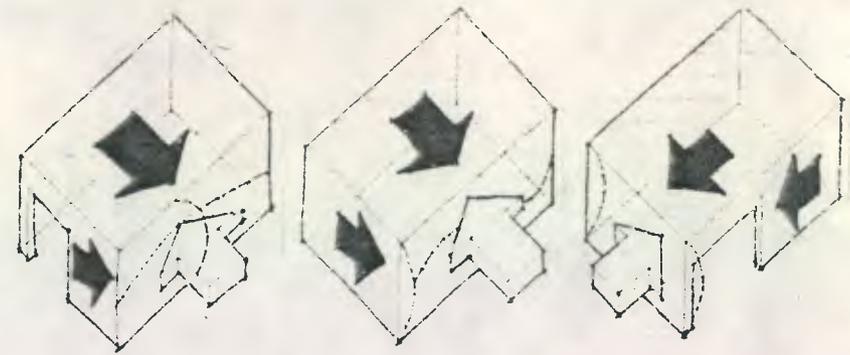
INADMISIBLE
Sin resistencia torsional (planos concurrentes)



BUENO
Excentricidad teórica nula. Con resistencia torsional aceptable.

Es importante ubicar en planta los planos verticales, para poder ubicar los centros de masa y rigidez. Las fuerzas horizontales se aplican al centro de gravedad de los planos. Cuando el centro de rigidez coincide con el centro de gravedad, los planos resistentes soportan esfuerzos en proporción a sus rigideces relativas y sus extremos sólo experimentan traslaciones. Cuando no coinciden se origina un par de fuerzas de torsión que debe ser resistido por la redistribución de esfuerzos que la rotación de los planos ocasiona.

⁽²¹⁾ MANUAL de pág 27



Criterio AR 8.3 La acción conjunta del objeto arquitectónico es imposible si no puede resistir fuerzas horizontales, e impedir los movimientos relativos entre las piezas verticales. Esto se puede lograr a través de muros, triangulaciones, marcos o planos horizontales en cubiertas o entrepisos. Los planos horizontales se pueden rigidizar con triangulaciones o marcos horizontales.

B.3.11. JUNTAS DE DILATACION. criterio AR 9

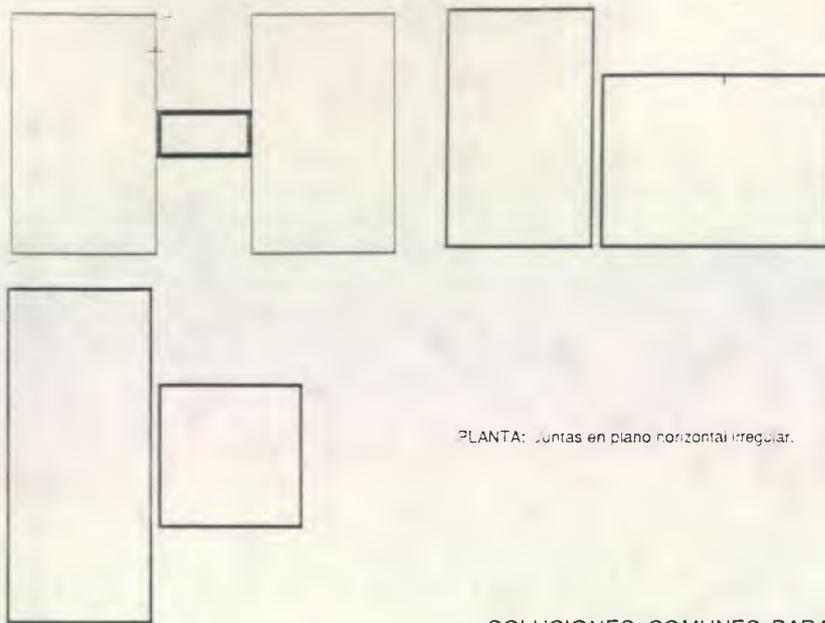
Cuando los planos horizontales son irregulares, es aconsejable separar el objeto arquitectónico en cuerpos de comportamiento uniforme, a través de JUNTAS de separación o movimiento.

Para objetos arquitectónicos con diferentes rigideces o alturas, "lo conveniente es separarlos a través de juntas para que funcionen como unidades estructurales independientes. Las juntas se calculan separadamente para cada una de las partes, puesto que cada una tendrá diferentes rigideces para cada dirección particular de sismo, de acuerdo a las deformaciones elásticas y plásticas como elementos antisísmicos." ⁽²⁵⁾

Las funciones principales de las juntas son:

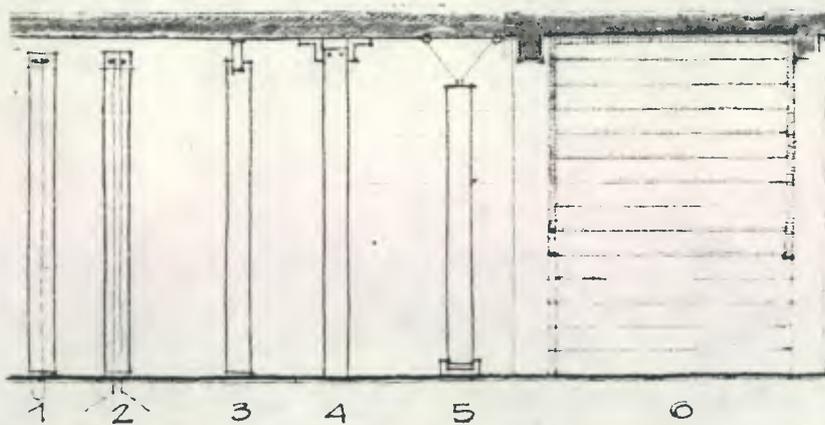
- a. - disminuir o controlar la influencia de las variaciones de temperatura o retracciones,
- b.- dividir el objeto arquitectónico en cuerpos de comportamiento dinámico homogéneo, y
- c.- los movimientos que se desean transmitir entre los cuerpos.

El choque entre edificios debe evitarse dejando franjas y colindancias suficientemente anchas, así como la inclinación debida a asentamientos diferenciales de la estructura y objetos arquitectónicos subyacentes. Las separaciones deben ser como mínimo **0.006H**.



PLANTA: Juntas en plano horizontal irregular.

SOLUCIONES COMUNES PARA AISLAR MUROS INTERIORES



1. Junta de dilatación, con pines de anclaje.
2. Junta de dilatación, con doble pineado de anclaje.
3. Unión a través de placas metálicas de anclaje, con junta.
4. Unión a través de escuadras a intervalos, con junta.
5. Junta de dilatación y unión por armadura de acero, con pie de riel o durmiente.
6. Junta de dilatación perimetral, con relleno de material flexible.

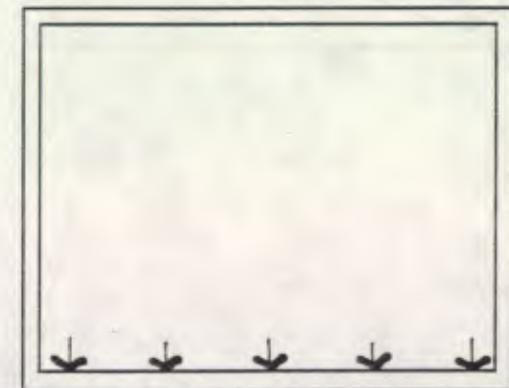
FUENTE: TOMADO DE NEWMARK 7 R, op. cit. p 644.

3.3.12. MUROS. criterio AR 10

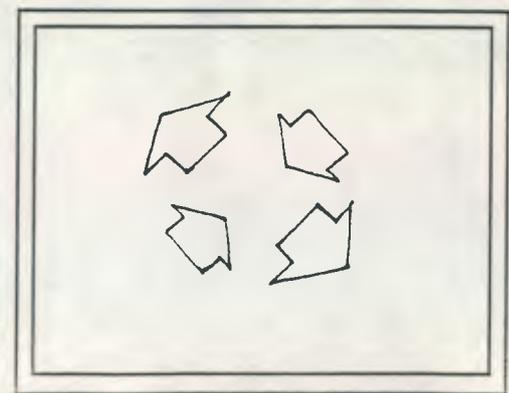
Desde el punto de vista de la sismorresistencia, los muros son elementos cuya función tradicional es la rigidización de un objeto arquitectónico. La existencia y espaciamiento de gran número de ellos en construcciones pequeñas, sobre todo en viviendas, permitió desentenderse, -hasta cierto punto,- del diseño estructural de muros, ya que esos conjuntos así diseñados poseen cierta homogeneidad y los requerimientos por acción sísmica no alteran sustancialmente las condiciones para cargas estáticas. Sin embargo, en la actualidad han disminuido la cantidad de muros que resisten la acción horizontal y se han sustituido por elementos divisorios no portantes, aunque en ocasiones de rigidez elevada.

En síntesis un muro es una estructura laminar, con condiciones para resistir acciones en su plano. Las condiciones se complican cuando hay cargas concentradas u horizontales, ya que aparecen requerimientos por flexión y corte.

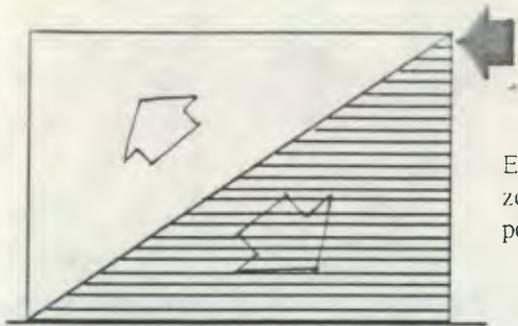
Si la longitud del muro aumenta en relación a su altura, las tensiones por flexión son menos importantes respecto de las tangenciales.



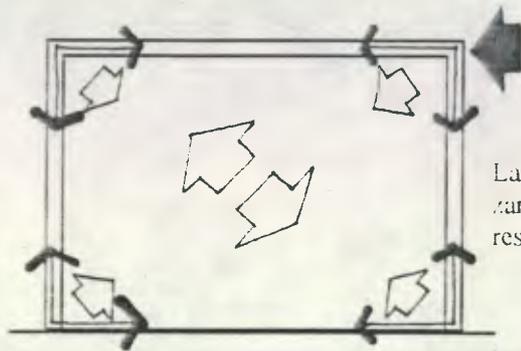
Necesidad de anclaje de elementos verticales en cimiento para usar su peso como lastre que impida el volteo.



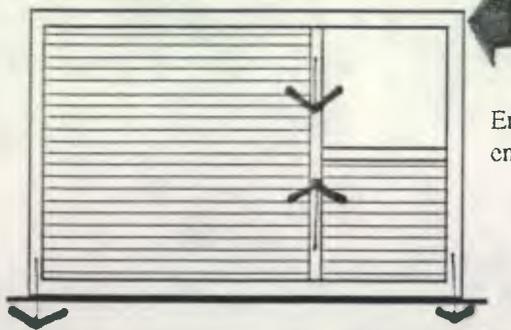
Acción de la mampostería en muros.



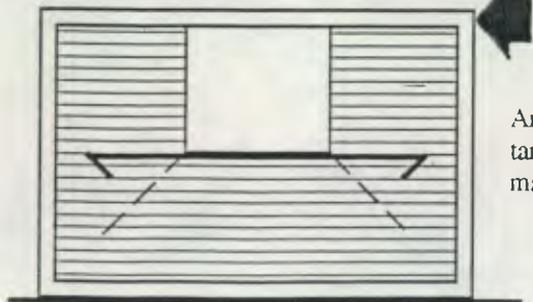
Efecto de las acciones horizontales dinámicas en mampostería simple.



Las cargas verticales estabilizan el muro y aumentan su resistencia a corte.



Enmarcado correcto de vano en un muro.

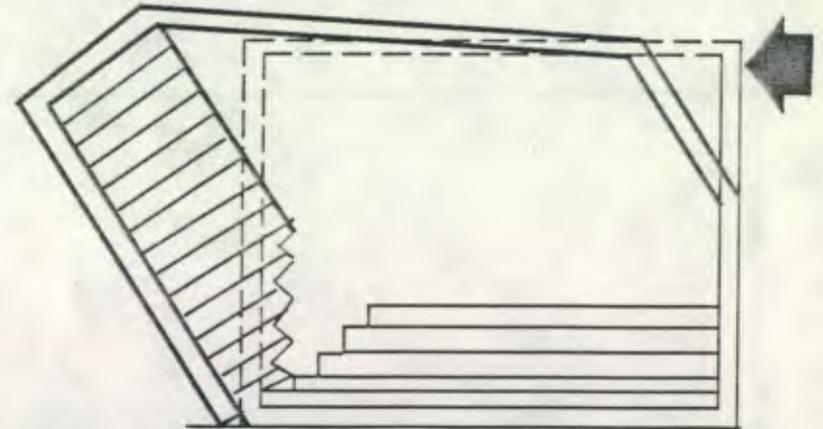


Armadura necesaria para evitar fallas por corte en vano sin marco.

El sistema muro - marco puede deformarse prácticamente sin límite mientras no falle el marco. En ciclos de carga sucesivos disminuye poco la resistencia, salvo en muros muy delgados o en ladrillo hueco. Aun en los muros de mampostería simple se presenta una pérdida drástica de rigidez y de capacidad para absorber energía.

CONEXIONES ENTRE MUROS Y ESTRUCTURA

Después de haber sido dañados por la acción de los movimientos contenidos en su propio plano, los muros sin refuerzo tienen poca resistencia a las aceleraciones en dirección perpendicular y pueden caerse fácilmente, especialmente cuando son de ladrillo hueco. Después de esto, los muros prácticamente no ofrecen resistencia en sus propios planos. El caso es crítico en fachadas porque al caer escombros pueden herir a peatones o causar muertes. No es muy común en la práctica el agrietamiento diagonal en esquinas de los marcos perimetrales, porque están protegidos por la presencia de cargas verticales importantes. Las grietas aparecen en vigas y columnas de concreto reforzado a veces antes que las grietas visibles en los muros y empiezan cerca de los nudos de las vigas y columnas.

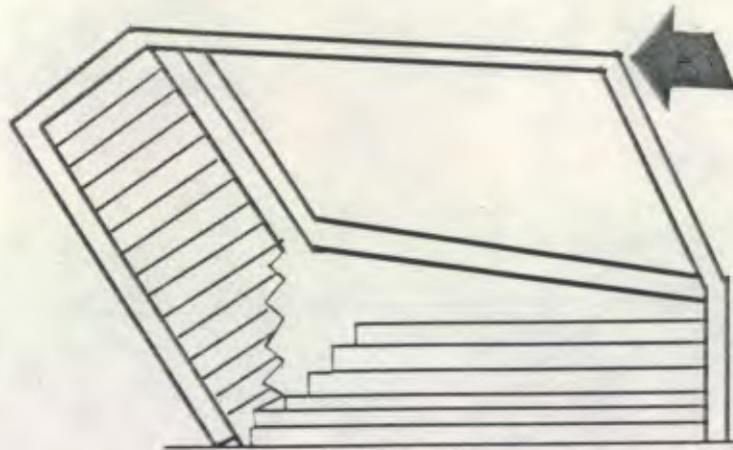


Daño por sismo en muro no completo dentro de un marco.

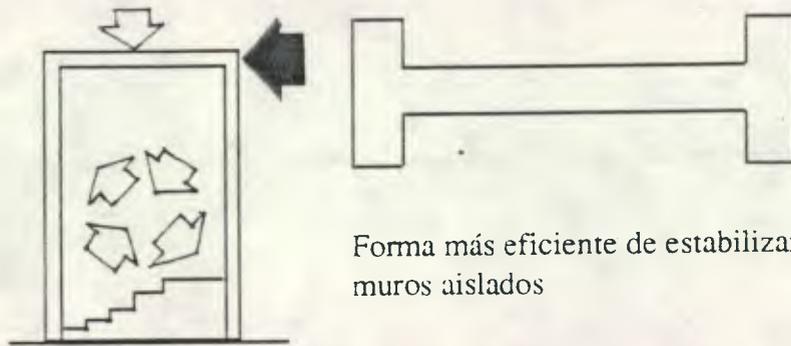


Ineficacia del refuerzo en paredes muy altas.

ESTABILIZACION DE MUROS
CRITERIO AR 10.1



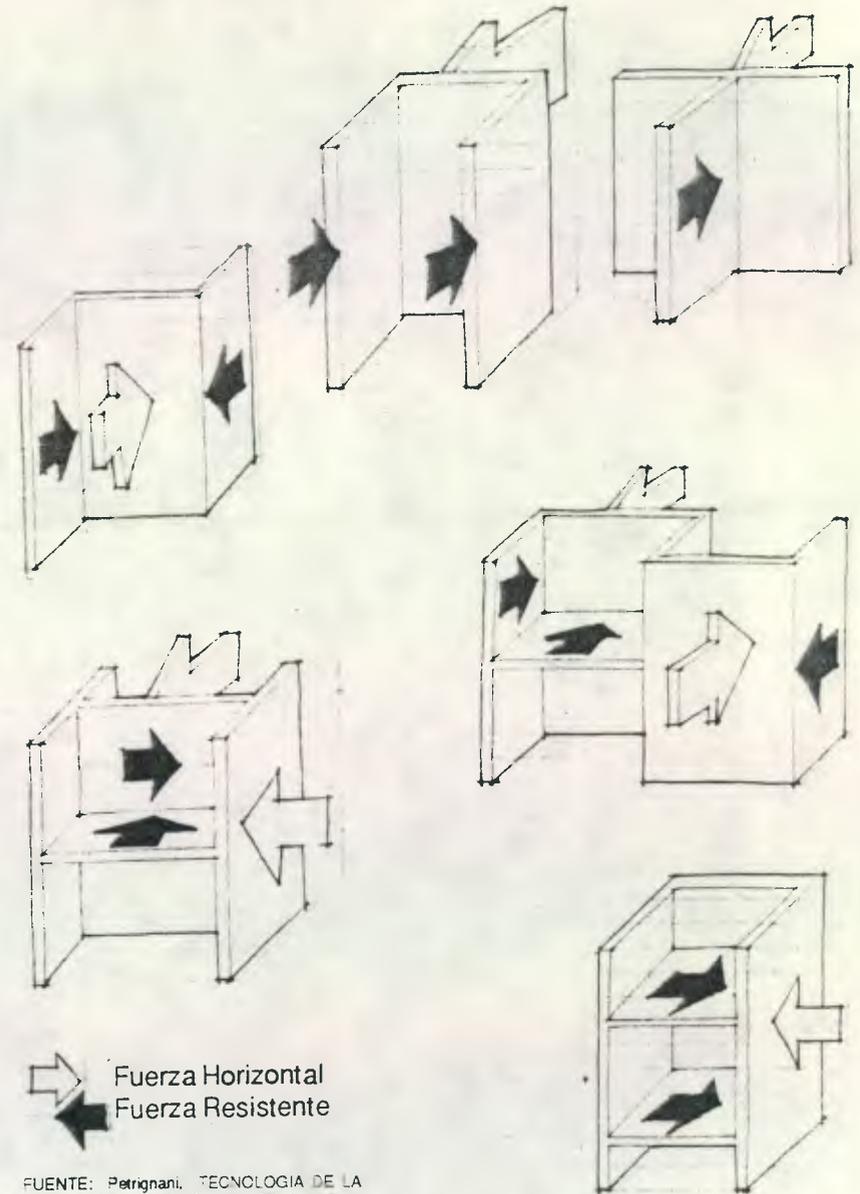
Las paredes de relleno en escuadra son ineficaces.



Forma más eficiente de estabilizar
muros aislados

Vano pequeño mal proporcionado (Concentración de tensiones).

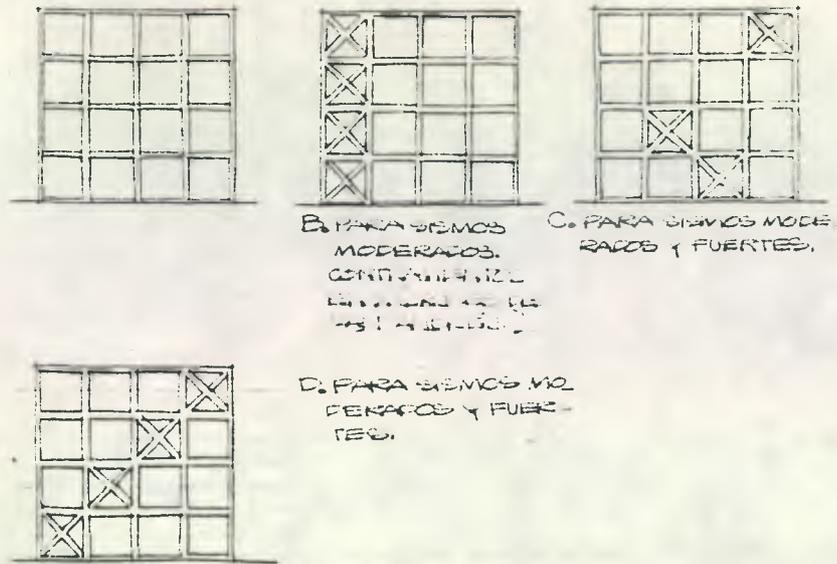
El objeto principal para limitar el desplazamiento durante los sismos es reducir el daño a elementos no estructurales (muros, acabados, ventanería, instalaciones), y evitar que causen daños personales. Si se modifica el diseño, puede elegirse entre hacer la estructura más rígida, -generalmente aumentando el costo-, o cambiando los detalles de sus conexiones con los elementos no estructurales o incluso cambiando la naturaleza de éstos. En muros divisorios "flotantes" resultan económicos al colocarlos en planos que no contienen columnas. Así sólo requieren tratamiento en su base y lecho superior para permitir que haya juego entre ellos y la estructura, y llenarse con algún "amortiguador".



Fuerza Horizontal
Fuerza Resistente

FUENTE: Petignani. TECNOLOGIA DE LA ARQUITECTURA. Ed. Gustavo Gili, Barcelona España. 1979 p 159.

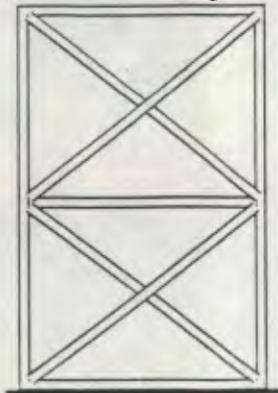
MURCS CONTRAVENTEADOS, Criterio AR 10.2



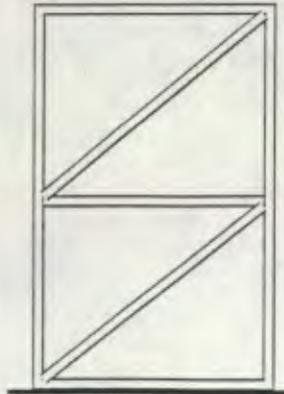
FUENTE: Tomado de Newmark & Rosenblueth. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA SISMICA. Ed. Diana, México, D.F. 1976, p. 555.

B.3.13. TRIANGULACIONES . criterio AR 11.

"Cuando la unión entre los planos cuyo movimiento relativo se quiere impedir, se usan triangulaciones (breizas), ya que resultan más livianas y económicas. Debe evitarse el uso de ángulos agudos para evitar deformaciones, ya que al aumentar el peralte se reducen los esfuerzos, debido a que la componente en sentido de la fuerza exterior, es más grande". (26)



Diagonales cruzadas



Diagonales simples

(26). Escobar, Jorge. SISTEMAS ESTRUCTURALES EN ARQUITECTURA. Colección Aula. Ed. Universitaria. USAC. Guatemala, 1975, p. 24.

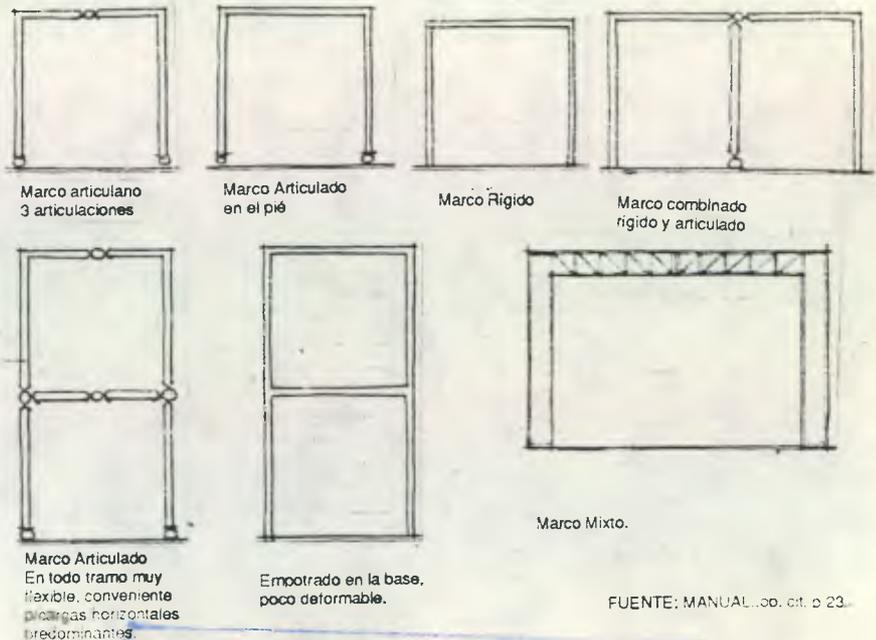
B.3.14. CONTRAFUERTES . criterio AR 12

Son elementos que sirven para proporcionar rigidez en una dirección a otros elementos arquitectónicos en forma perpendicular, y así soportar fuerzas laterales por sí mismos. Son apropiados para rigidizar bóvedas en cada pliegue en sus extremos o en el apoyo central.

B.3.15. MARCOS. Criterio AR 13.

Quando un objeto arquitectónico por su forma se basa en la unión de planos horizontales y verticales, éstos deben unirse con marcos, columnas y vigas respectivamente -, creándole la posibilidad además de soportar verticales, soportar cargas horizontales (fuerzas de sismo), para lo cual se rigidizan las uniones. "En general, los sistemas de marcos son más difíciles de analizar y las uniones son más complejas que las de los sistemas articulados" La característica fundamental de los marcos es la continuidad.

MARCOS DE UN TRAMO ISOSTATICOS MAS COMUNES



FUENTE: MANUAL... cit. p. 23.



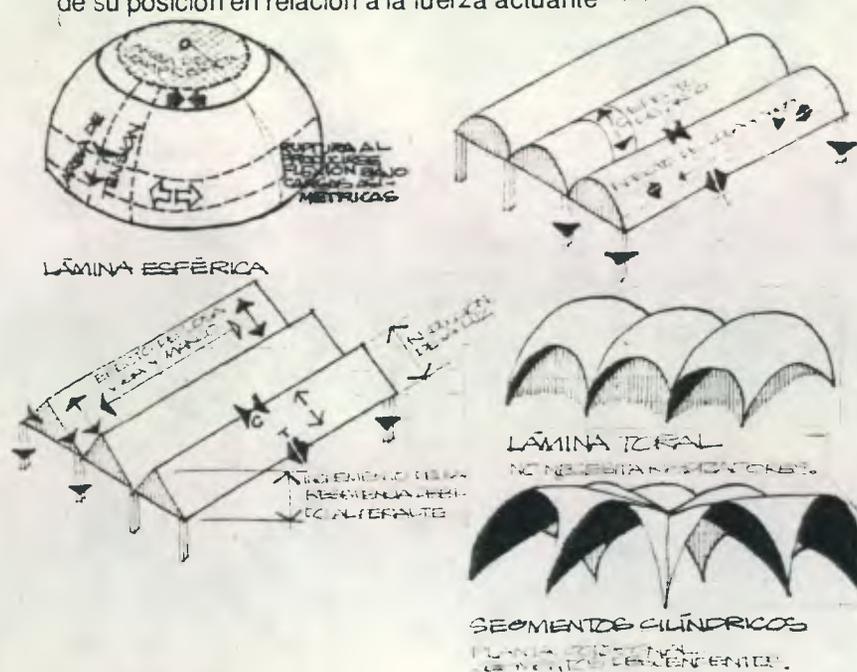
B.3.16. SISTEMAS ESTRUCTURALES QUE TRABAJAN POR SU FORMA. CUBIERTAS NO PLANAS.

criterio AR 14.

Las cubiertas no planas son aquellas que cubren "grandes luces", como estructuras laminares de curvatura simple o doble, plegados ó bóvedas, distinguiéndose los "largos y cortos" por la relación que guardan entre sus dimensiones de pliegue (radio y ancho en las cilíndricas) y la longitud. Las cortas funcionan como techos planos y las largas de doble curvatura no pueden asegurar un comportamiento satisfactorio (Reboredo, 1976).

Los dos efectos que deben considerarse en este tipo de cubiertas son: el funcionamiento del mismo para transmitir la acción horizontal a sus apoyos y su funcionamiento como parte del conunto para completar el mecanismo sismorresistente del objeto arquitectónico. En general, son eficientes para soportar cargas verticales (peso propio), por ser muy livianas. Las cargas de sismo no alteran radicalmente las tensiones en su superficie debiendo cuidarse en especial, los apoyos y uniones porque la acción resultante puede ser de gran magnitud.

"Su capacidad de hacer cambiar de dirección a las fuerzas, depende de su posición en relación a la fuerza actuante" (23).



(23) Escobar, Jorge op. cit. p 33

FUENTE: SISTEMAS -- op. cit. pp. 35, 36, 38, 40, 41.

B.3.17. COLUMNAS CORTAS. criterio AR 15.

Por lo general, sólo se da énfasis al problema resistente, y se descuida la protección de elementos secundarios (recubrimientos, ventanería, etc.)

Un problema frecuente en objetos arquitectónicos, es el uso de marcos dúctiles con relleno de mampostería rígida, lo que normalmente provoca el efecto de columna corta, el cual consiste en que a los elementos verticales del marco (columnas), se les adosan elementos de mampostería rígida, -generalmente para formar vanos de ventanería-, haciéndola fallar por torsión.

Usualmente los marcos integrados a la mampostería fallan a corte, (Husid, Arias). Los elementos secundarios (rellenos de mampostería para vanos) integrados a los marcos, atraen toda la fuerza sísmica, haciéndola fallar, (Franz Auter, 1987).

En el diseño sismorresistente se debe cuidar el diseño de mampostería y las instalaciones, tomando en cuenta que del 30 al 40% de un objeto arquitectónico, es la estructura (F. Auter), debe diseñarse no sólo para salvar el resto de elementos, sino que la mampostería se debe separar de la estructura, o bien integrarla en el diseño o buscando sustituirla

B.4. TIPOS DE DAÑOS EN OBJETOS ARQUITECTONICOS POR ACCIONES SISMICAS (24).

Para entender mejor su relación con el diseño, se clasifican los daños que la acción sísmica puede producir en los objetos arquitectónicos, según Reboredo, así:

B.4.1. COLAPSO POR FALTA DE ESTRUCTURA RESISTENTE

El riesgo más notable se debe a los componentes horizontales del movimiento, debido a la falta de consideración del fenómeno sísmico durante el diseño. El mecanismo resistente "espontáneo" se da generalmente en construcciones bajas con el uso de muros medianeros que proveen alguna reserva.

El segundo riesgo ocurre cuando las condiciones supuestas en el análisis estructural no se materializan, dejándose de cumplir las leyes del EQUILIBRIO y no existe estructura o es diferente de la calculada.

El tercer riesgo se da cuando se tiene una deformabilidad tan grande que antes de haber transferido los esfuerzos horizontales a los sistemas estructurales que debían resistirlos, el objeto ya ha entrado en colapso. Sucede así con los objetos arquitectónicos

(24) MANUAL. op. cit.

entrado en colapso. Sucede así con los objetos altos de plantas excesivamente alargadas o irregulares, en la que los planos de resistencia están más distribuidos, o cuando son bajos con techos no rígidos, y los planos horizontales son mucho más deformables que los verticales, y no se les toma en cuenta para la distribución de esfuerzos.

B.4.2. COLAPSO O DAÑOS POR INTERFERENCIA DE ELEMENTOS SECUNDARIOS NO ESTRUCTURALES

Sucede cuando elementos constructivos sin características portantes, son más rígidos que la estructura dispuesta, para resistir la acción sísmica. Si la energía que absorban supera su capacidad resistente, se producirá su rotura transfiriéndola a la estructura, si no ha ocurrido ya colapso. Sucede con los cerramientos no portantes si están vinculados a la estructura restringiendo su movimiento. La interferencia con la estructura portante, genera un mecanismo portante diferente, cuya estabilidad es imposible, cambiando la distribución de los esfuerzos al grado que ésta resulta insuficientemente dimensionada y entra en colapso.

En construcciones bajas sucede por cambios notables en la posición efectiva del centro de rigidez, provocando movimientos torsionales en los elementos que deben absorber la acción sísmica, quedando sobrecargados haciéndolos fallar.

B.4.3. DAÑOS EN PARTES DEL OBJETO ARQUITECTÓNICO.

Algunas partes del objeto arquitectónico pueden fallar sin ocasionar colapso en la estructura, tales como tanques elevados, balcones, muros de cerramiento, cornisas, cenefas, voladizos, parteluces, etc., por encontrarse más expuestos, y las vibraciones se amplifican en ellos agravando localmente el efecto del sismo, y por eso sus dimensiones y anclajes deben estudiarse considerando el efecto amplificador, ya que son causa de muertes por desprendimientos.

B.4.4. DAÑOS DEBIDOS A LOS CIMIENTOS.

Pueden deberse al comportamiento del suelo o al sistema de cimientos. El primero se produce cuando el objeto arquitectónico está sobre una falla activa en movimiento pudiendo haber colapso total. Se puede producir desplazamiento de los cimientos por asentamiento o licuefacción del suelo provocados por la vibración del mismo, cuando el terreno lo constituyen arenas o limos sueltos, rellenos mal compactados, basureros, rellenos sanitarios, capas vegetales grandes, o si están saturados por una napa freática.

Si no se diseñan empotramientos adecuados, la superestructura transmite momentos importantes a los cimientos, para los que no fueron diseñados. Si las dimensiones de los cimientos no son suficientes quedarán dañados por excesos con riesgo de colapso.

Desplazamientos y deformaciones del sistema producidos al entrar en carga pueden alterar el funcionamiento de la superestructura modificando las condiciones de trabajo supuesto.

B.4.5. DEFECTOS CONSTRUCTIVOS.

En general se deben a la mala calidad de ejecución, falta de mano de obra y a prácticas constructivas para regiones no sísmicas provocadas por desconocimiento del fenómeno sobre los objetos arquitectónicos. Por otro lado la falta de reglamentación inicial, su control después y falta de supervisión, derivan en defectos constructivos.

La lista de defectos sería innumerable, pero baste agregar algunos ejemplos más: "cimentación inapropiada, muros sin refuerzo, mala utilización de laderas donde se destruye la cubierta vegetal provocando erosión y amenazando la estabilidad de la superficie"⁽²⁷⁾

Para objetos arquitectónicos de concreto reforzado los defectos más comunes son: falta de ganchos en las barras, longitudes de desarrollo no calculadas, estribos insuficientes en los nudos, a pesar de estar sometidos a una carga tensional compleja, concreto mal dosificado y deficientes funciones del mismo.

En mampostería los defectos más frecuentes son: inapropiada relación de esbeltez, unión deficiente en las juntas, anclaje inadecuado, mortero de mala calidad, rellenos incompletos, ladrillos poco mojados, mortero mal curado, falta de refuerzo.

En estructuras metálicas los daños más frecuentes son en las uniones de piezas. Concentraciones de tensión agravada, cruces de cordones de soldadura, dimensionamiento insuficiente de las uniones, excentricidades, remaches flojos.

B.5. VARIABLE ESTRUCTURAL

Es parte fundamental y unitaria de la Variable Arquitectónica, ya que debe estar definida a nivel conceptual durante la concepción de la configuración. Los elementos más importantes para tomar en cuenta durante el proceso sismorresistente son:

B.5.1.. INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ Criterio ES. 1.

Siendo la rigidez la capacidad que tienen los cuerpos de absorber energía, los objetos arquitectónicos flexibles se comportan mejor en suelos rígidos y por el contrario en suelos deformables se comportan mejor las construcciones rígidas. Ello hará que el objeto no tienda a amplificar los movimientos de suelo y pueda mantenerse en "sintonía" en el momento del sismo (resonancia) (Ver movimiento ondulatorio). Para poder establecer la rigidez que se necesita de acuerdo al tipo de suelo, depende de la altura (ver Variable Arquitectónica, altura), de la tipología estructural y sistema y método constructivo.

(27) Davis, J.R. ARQUITECT. DE EMERGENCIA. Ed. Gustavo Gili S.A. Barcelona, España, 1980. pp 34,35.

B.5.2. INFLUENCIA DEL PESO Criterio ES. 2

Si se toma en cuenta que el 85% de las cargas verticales totales de un objeto arquitectónico tradicional corresponden al peso propio de los elementos constructivos ⁽²⁸⁾ es necesario que los mismos sean "livianos", lo que hará un conjunto más uniforme ya que las acciones de las fuerzas sísmicas son mayores en tanto más pesado sea el objeto.

B.5.3. INFLUENCIA DE LA DUCTILIDAD Criterio ES. 3

Ante la acción de las fuerzas sísmicas, es necesario utilizar sistemas que puedan soportar sobrecargas sin entrar en colapso y con capacidades de trabajar en "régimen plástico", para que pueda haber suficiente disipación de energía, lo que amortiguara la acción sísmica.

"Es conveniente evitar los sistemas estructurales que tiendan a amplificar el movimiento ⁽²⁸⁾ (voladizos, salientes horizontales o verticales), lo que hace que sea indispensable la escogencia de la tipología estructural.

B.5.4. EL CONJUNTO ESTRUCTURAL Criterio ES. 4

El sistema resistente escogido debe conformar un mecanismo completo para la distribución de esfuerzos, producto de la acción sísmica. En principio la homogeneidad a través de la simetría estructural evita los desplazamientos torsionales, aunque pueden darse sobrecargas asimétricas durante sismos provocando movimientos torsionales.

B.5.5. CONCENTRACION Y DISPERSION Criterio ES. 5

Siendo que cuanto más directo sea el recorrido de las fuerzas que por acciones sísmicas se generan, más económica resulta la estructura, y se vuelve entonces conveniente el principio de concentración desde el punto de vista del ahorro de materiales hacia elementos principales, transmitiéndoles los esfuerzos a través de elementos secundarios. Si al concentrar los elementos principales aumentan considerablemente sus dimensiones, deberá entonces optarse por el criterio opuesto, DISPERSION, para volver más esbeltos los elementos.

C.1. MODELO SISMORRESISTENTE PARA ARQUITECTURA

El resumen de aplicación de criterios a continuación se desarrolla en un modelo con su aplicación y elementos contenidos en este estudio, introduciendo al final un apéndice para el diseño y cálculo de la cimentación.

FASE 1 MACRODISEÑO, Estudio Preliminar.

1. Determinar el Sistema Geológico al cual pertenece el sitio de ubicación del objeto arquitectónico.

2. Según el Sistema al que pertenezca, identificar si pertenece a alguna

zona peligrosa de acuerdo a los mapas 14 y 16, y fijar el grado de sismicidad que le pertenezca.

3. De acuerdo a los mapas 17 y 18, buscar en qué área de suelos se encuentra y verificar su riesgo.

4. Estudiar mapa de fallas general, y específico si lo hubiera, para establecer posible proximidad.

5. Si existieran laderas, aplicar criterio F1.

FASE 2. MICRODISEÑO, Objeto Arquitectónico

1. La Configuración. Aplicar Criterio AR 1, en forma general.

2. Simetría. aplicar Criterio AR 2.

3. Para dimensionamiento preliminar, usar Criterio AR3, Proporción. Para proporcionar la Altura, aplicar Criterio AR 4, AR 4.1, AR 4.2, o AR 4.3.

4. Se debe verificar ubicación del Centro de Masa, aplicando Criterio AR5 5. Aplicar Criterio AR 7, Ubicar Centro de Rigidez, comprobando su coincidencia y proximidad con AR 6. De existir proximidad, aplicar Criterio AR2 Simetría y AR 14 Juntas.

6. Ajustar dimensionamiento a medidas modulares, Criterios AR 7 y AR 7.1.

7. Para vinculación de Muros y sistema mínimo sismorresistente aplicar criterios AR 8. AR 8.1 y AR 8.2. De ser necesario aplicar AR. 3.3.

8. Si el caso requiere juntas, aplicar Criterio AR 9.

9. Para Muros y su estabilización aplicar Criterios AR 15, AR 16 y si las circunstancias lo requieren, aplicar AR 17 y AR 18. Revisar luego Criterio AR 19 Muros de Corte.

10. Donde sea necesario, aplicar Criterio AR 20 Triangulaciones.

11. Si se requiere se puede aplicar Criterio AR 21 Contrafuertes.

12. Cuando sea necesario el uso de marcos, aplicar Criterio AR 22.

13. En casos especiales, por sus dimensiones y forma aplicar Criterio AR 23 Cubiertas no Planas.

14. Debe evitarse el efecto de Columna Corta a toda costa, usar criterio AR 24.

FASE 3. DISEÑO ESPECÍFICO.

CRITERIOS ESTRUCTURALES.

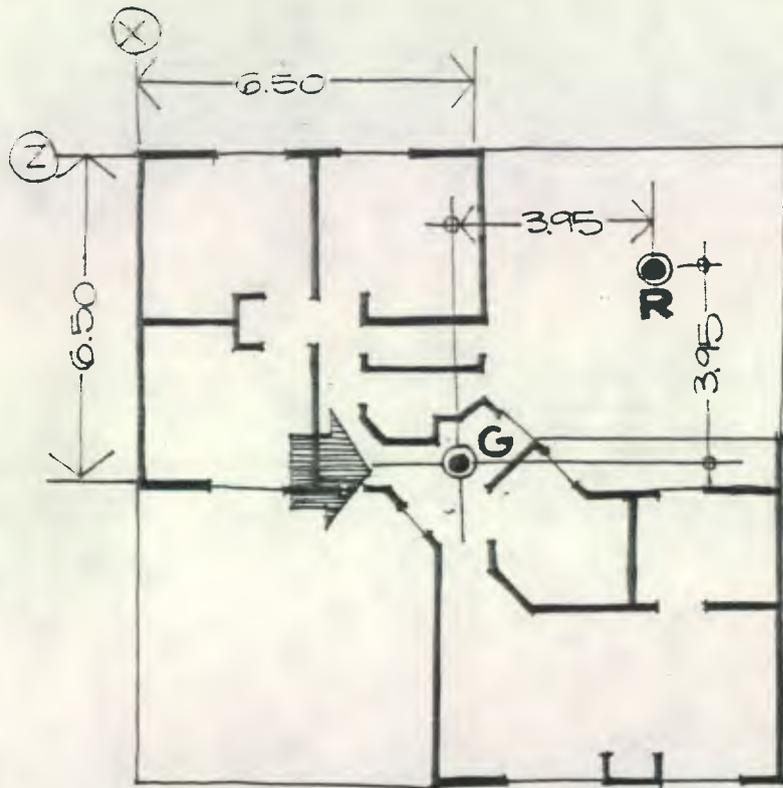
1. De acuerdo al tipo de suelo y tipología del objeto arquitectónico, determinar su rigidez aplicando Criterio ES 1.

2. Debe "minimizarse" la influencia del peso, según Criterio ES 2.

3. Para evitar sistemas que amplifiquen la "resonancia", aplicar criterio ES 3.

4. Para mantener homogeneidad en el Conjunto Estructural aplicar Criterio ES 4.

5. Para mantener economía estructural revisar Criterio ES 5.

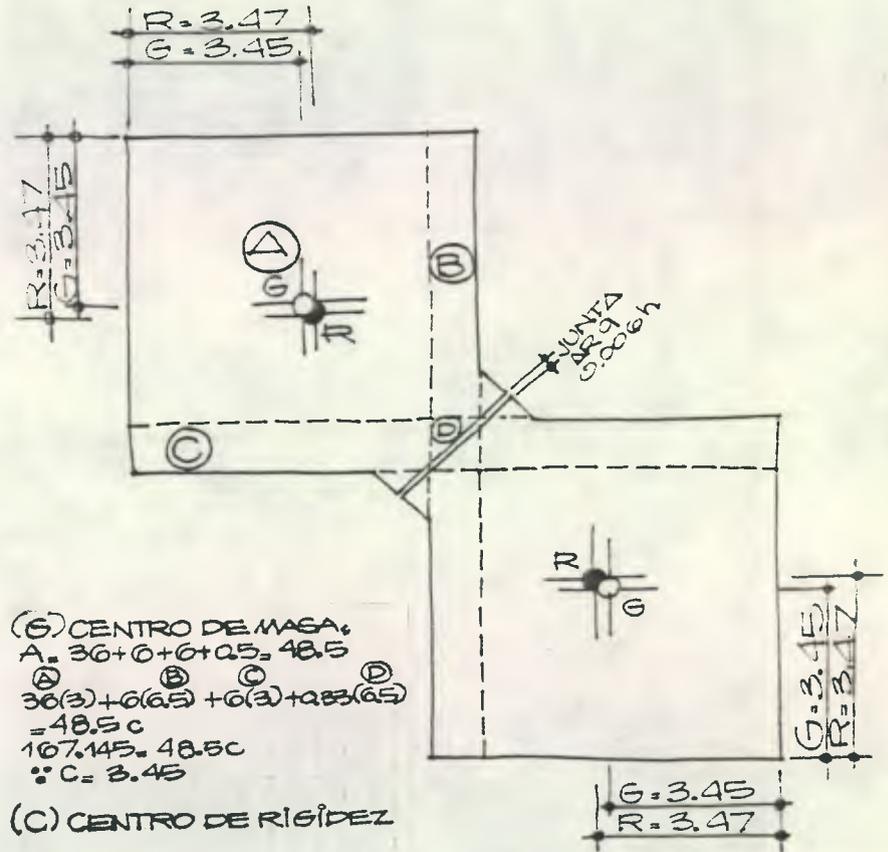


1) SI UN AREA TIENE 2 EJES DE SIMETRIA, EL CENTRO DE MASA ESTARA EN SU PUNTO DE INTERSECCION. CRITERIO ARG. PLANTA

2) CENTRO DE RIGIDEZ. $K = \frac{I}{L} \Rightarrow I = \frac{bd^3}{12}$. $I_1 = \frac{7(2)^3}{12} = 200.08 \text{ m}^4 \times 2$
 CRITERIO ARG
 $= 400.16 \therefore K = \frac{400.16 \text{ m}^4}{8.5 \text{ m}} = 61.56 \text{ m}^2 \Rightarrow \sqrt{61.56 \text{ m}^2} = 3.95 \text{ m}$

\therefore el centro de rigidez está muy retirado del de masa lo que provocará rotación al aplicarse fuerza de sismo.

Por lo anterior, lo recomendable es dividir la figura a través de una junta y calcular de nuevo los centros de masa y rigidez, para determinar si hay proximidad entre ellos.



(G) CENTRO DE MASA:
 $A = 36 + 0 + 0 + 0.5 = 48.5$
 $36(3) + 0(6.5) + 0(3) + 0.5(6.5)$
 $= 48.5 \text{ c}$
 $167.145 = 48.5 \text{ c}$
 $\therefore C = 3.45$

(C) CENTRO DE RIGIDEZ

$$K = \frac{I}{L} \Rightarrow I = \frac{bd^3}{12}$$

$$\text{A) } \frac{6(6)^3}{12} = 108 \text{ m}^4$$

$$\text{C) } \frac{1(6)^3}{12} = 18 \text{ m}^4$$

$$\text{D) } \frac{1(1)^3}{36} = 0.03 \therefore I_T = 108 + 18 + 18 + 0.03 = 144.03 \text{ m}^4$$

$$\therefore K = \frac{144.03 \text{ m}^4}{3.45 \text{ m}} = \sqrt{41.74 \text{ m}^3} = 3.47 \text{ m}$$

\therefore al ser casi coincidentes ambos centros no había traslación en las 2 figuras al aplicarse fuerza de sismo, siendo más eficientes.

D. CONCLUSIONES

D.1. La geología y la tectónica de placas, son el punto de partida para el conocimiento de la sismorresistencia, ya que son las que originan el fenómeno sísmico y lo condicionan, porque en alguna medida debido a la conformación de la Tierra supeditan también no sólo el uso del suelo, sino el tipo de problema que en él pueda sucederse.

D.2. Cada evento sísmico suele sucederse diferente a otro, sobre todo en sus efectos sobre los objetos arquitectónicos, lo que permite obtener nuevos conocimientos que desarrollarán nuevas conclusiones que aportarán mejores soluciones para contrarrestar esos efectos.

D.3. La ocurrencia de sismos tectónicos en Guatemala es alta, por su ubicación geológica en la intersección de las placas continentales y oceánica y sus movimientos relativos.

D.4. Existen en Guatemala al menos 4 zonas bien definidas que originan sismos, que se mantienen latentes, pudiendo entrar en acción en cualquier momento, lo que hace a la mitad sur del país tener una alta sismicidad con zonas de mayor riesgo.

D.5. Para la mejor comprensión del fenómeno sísmico, es necesario partir del estudio de la teoría de ondas.

D.6. Si la probabilidad de ocurrencia de los sismos es constante, la respuesta de las catástrofes debe buscarse en la creciente vulnerabilidad de la población, ya que el rápido, desordenado y sin control proceso de urbanización sugiere daños a gran escala, porque la periodicidad del fenómeno generalmente impide tomar provisiones agravado por la resistencia de las personas al traslado en caso de riesgo, al cambio de tecnologías y al proceso educativo, debido a que el fenómeno de transculturación desarrolló técnicas que no se han adaptado al fenómeno natural, ocasionando riego, destrucción y muerte, porque las personas construyen de acuerdo a sus recursos, necesidades y modelos culturales en los lugares que le son accesibles.

D.7. Para la prevención de destrucción por terremotos las alternativas son: obtener objetos arquitectónicos sismorresistentes o trasladar los centros de vivienda a lugares con poco riesgo sísmico. Para la primera alternativa, no debe concebirse el objeto arquitectónico en forma aislada sólo desde el punto de vista de la arquitectura o sólo desde el estructural. Debe desarrollarse en forma integral con el grupo de las variables aquí anotadas, para obtener objetos arquitectónicos que se comporten mas

eficientemente durante un sismo. Para la segunda, se da un desarraigo natural que supone casi otra catástrofe por la readaptación.

D.8. El uso del suelo, está determinado por el tipo de propiedad y la poca regulación existente, la especulación y la tradición. Normalmente el blanco de los terremotos son personas de escasos recursos que habitan en condiciones vulnerables, ya que ocupan las tierras menos indicadas en las zonas más densas y peligrosas de algunos centros urbanos, y por eso las víctimas y daños aumentan con el proceso de urbanización y las medidas para prevenir desastres por terremotos no se han desarrollado paralelamente a la rapidéz del crecimiento urbano.

D.9. No existe en nuestro medio ningún mecanismo que impida la reducción del riesgo en el uso del suelo

D.10. El tipo de estructura condicionada por las características del modelo arquitectónico puede definir en términos generales el comportamiento del mismo, dependiendo de las características del suelo, y el tipo de daños que puede sufrir al ser afectado por sismo.

D.11. Para poder comprender los efectos ocasionados por un sismo a un objeto arquitectónico, sólo se usan en nuestro medio las escalas de MAGNITUD (Richter) y de intensidades (Mercalli MM). La primera para deducir la cantidad de energía liberada y la segunda para conocer los efectos sufridos por los objetos arquitectónicos, la naturaleza y el hombre.

D.12. Son diferentes los tipos y origen de los sismos que pueden afectar un objeto arquitectónico.

D.13. Normalmente las soluciones post-terremoto tienden a cambiar los modelos, generalmente en contra de la voluntad de los ocupantes, por lo que debiera respetarse los modelos originales, tomando en cuenta los grupos de variables aquí propuestos.

D.14. Son diversos los elementos que en un objeto arquitectónico pueden entrar en juego en el momento de un sismo, y son diversas también las causas que lo pueden hacer fallar, pero al armonizarlos, se tienden a obtener un mejor comportamiento del mismo, que le permita no entrar en colapso, aunque no necesariamente sin daño. Por lo tanto, deben concebirse como un conjunto de elementos y no como hechos aislados cada uno.

D.15. El objeto arquitectónico es un ente variable en continuo proceso de cambio, y no un ente completamente acabado, por lo que hay que

considerar en el diseño su versatilidad tomando en cuenta los elementos sismorresistentes a través de la aplicación de los criterios aquí expuestos.

E. RECOMENDACIONES

E.1. Debe seguirse investigando el fenómeno geológico-tectónico en Guatemala, desde el punto de vista de la arquitectura, para encontrar mejores respuestas y soluciones por ser el presente estudio sólo un punto de partida de recopilación de información útil para el efecto.

E.2. Estudiar con mayor profundidad las zonas que originan sismos en Guatemala para poder llegar a tener mapas más específicos del riesgo sísmico, fallas, laderas, etc. Estudiar teorías de ondas.

E.3. Estudiar la legislación existente sobre regulación urbana para poder sugerir el mejor aprovechamiento del suelo evitando el crecimiento desordenado que hace invadir sobre todo las laderas, y proponer medidas restrictivas que impidan riesgo y pérdidas materiales y humanas con una mejor utilización de los tipos de suelo.

E.4. Involucrar las variables propuestas en el desarrollo del modelo arquitectónico para que lo hagan resistir más efectivamente las fuerzas de sismo, introduciéndolas en el proceso de diseño, y esté a la altura de los riesgos.

E.5. Aprovechar el conocimiento de cada evento para readaptar tecnologías y legislar al respecto de ellas y al mejor uso del suelo, ya que generalmente sólo se hace cuando las catástrofes tienen una periodicidad frecuente.

E.6. Los diseñadores deben de trabajar de común acuerdo con las poblaciones afectadas, para no introducir cambios que supongan rechazo, inadaptación, pero que permitan involucrar conceptos sismorresistentes, adaptando técnicas y uso de materiales.

E.7. Un objeto arquitectónico no es una entidad estática y acabada, sino por el contrario, es dinámica y está en constante evolución, por lo que para su diseño debe preverse esta condición tomando en cuenta la última fase de su proceso evolutivo y no permitir que las adaptaciones interfieran en su comportamiento durante el sismo.

E.8. Estudiar casos específicos de comportamiento de objetos arquitectónicos durante sismo, para adaptar los resultados al conocimiento de la sismorresistencia.

E.9. Que la sismorresistencia, sea objeto de estudio específico en el pénsium de estudios.

E.10. Debe educarse a la población sobre los riesgos que ocasionan el suelo y los objetos arquitectónicos que no cumplen condiciones resistentes durante un sismo.

*Hiciste temblar la Tierra, la has hendido, sana sus grietas,
porque titubea.*

Salmo 60.2

*No saben, no entienden, andan en tinieblas: vacilan todos los
cimientos de la Tierra.*

Salmo 82.5

el cual mira a la Tierra, y ella tiembla; toca los montes y humea.

Salmo 104:32

CIMENTACION:

Para el caso de viviendas cuya estructura básicamente está formada por muros.

1- Requisitos para el cimiento

Condiciones de de estabilidad:

1. Estable contra volteo
2. Estable contra deslizamiento horizontal
3. Que no sobrepase la capacidad soporte del suelo
4. Forma acorde a los requisitos anteriores
5. Dimensiones suficientes que satisfagan los requisitos anotados
6. Economía
7. Materiales a usar
8. Flexión
9. Torsión
10. Corte

2. Dimensionamiento

La función del cimiento es transmitir el peso que la estructura ejerce sobre el muro hacia el suelo en que se apoya axialmente, siguiendo el plano que contiene al muro. Para determinar el esfuerzo aplicado al suelo se usa la fórmula:

$$f_1 = \frac{W}{A} = \frac{\text{carga total}}{\text{área de apoyo}} = \frac{\text{(fuerza o carga axial)}}{\text{área de apoyo}}$$

Para la introducción de carga de sismo se considerará que los muros contribuyen a resistir las cargas laterales, por lo que la mayor resistencia estará contenida en el plano del muro, y sólo esa se tomará en cuenta. La carga horizontal (sismo), se considerará aplicada en la esquina superior del plano del muro. Si los elementos soportados por el muro (verticalmente) son livianos, casi sólo actúa su propio peso, por lo que acción será en el centro de masa.

Por considerarse más seguro para este caso se tomará la acción de la carga horizontal en la esquina superior del muro.

De acuerdo al UNIFORM BUILDING CODE (UBC), 1982, debe usarse para la determinación de las cargas por sismo, -cortante en la base de la edificación en el eje principal de la estructura,- la expresión:

$$V = Z I K C S W \rightarrow \text{UBC 1982 Tabla 12-I}$$

UBC, 1982. Tabla 23 J
UBC, 1982 TABLA 23-I
UBC, 1982 Tabla 23-K
Ver mapa No. 14 Riesgo sísmico

V = Fuerza de sismo aplicada

Z = coeficiente de riesgo sísmico. Valor de zonificación, según sismicidad de la región, según mapa No. 14. Riesgos Sísmicos de Guatemala.

I = Factor de Importancia. Según el uso del edificio durante un desastre. A mayor factor, mayor fuerza sísmica y mayor costo por ser una estructura más grande. (Tabla 23. K, UBC, 1982). Según el Código usar: 1. Para hospitales, bomberos, I = 1.5; 2. Para el resto de edificios, I = 1.00

K = Factor que depende de la forma de estructurar el edificio. coeficiente de la estructura atendiendo a su forma (según tabla 23-I UBC, 1982)

C = coeficiente de corte en la base. Dependiente del período de vibración del objeto arquitectónico en relación con su altura y su ancho. **C** no debe exceder de 0.12, según la expresión $C = \frac{1}{15 T}$,

varía de 0.11 para muros largos, hasta 0.07 para muros cortos y esbeltos. Ver Tabla 23-J, UBC-1982).

S = Factor para tomar en cuenta la resonancia entre el período de vibración del suelo y el del edificio. Varía entre 1.00 y 1.50. Cuando el período de vibración del suelo (Ts) no es establecida correctamente, usar **S=1.50**.

CS no debe ser mayor de 0.14

$$C = \frac{1}{15 T}$$

T = Período de vibración del edificio

$$T = 0.05 \frac{H_n}{D}$$

D

Hn = alto del edificio en pies

D = ancho edificio en pies en dirección pa-

W = peso de la estructura. Ver Tabla 23-A, UBC - 1982.

CASO DE ESTUDIO:

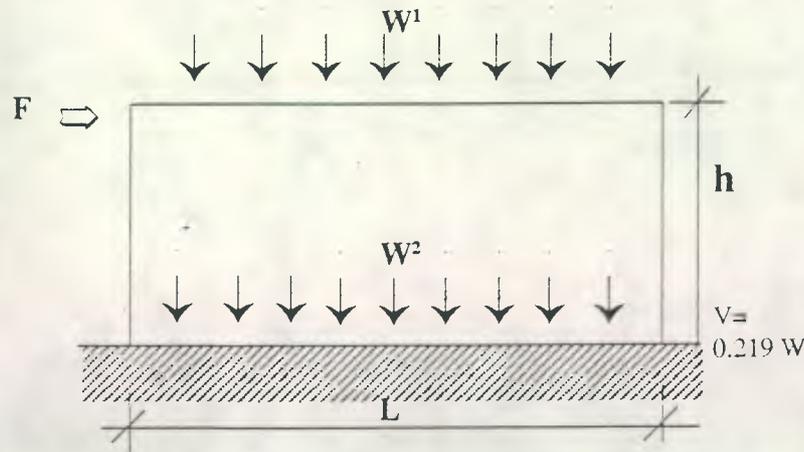
$$T = \frac{0.05 (2.50) (3.28)}{(7) (3.28)} = 0.085$$

$$C = \frac{1}{15 \cdot 0.85} = 0.2279$$

Usar $C = 0.11$
 $S = 1.5$

$$V = 1.00 \times 1.00 \times 1.33 \times 0.11 \times 1.50 W$$

$$V = 0.219 W$$



w_1 = Carga Total aplicada
 w_2 = Carga total debida al peso del muro
 h = altura del muro
 L = largo total del muro.
 $V = 0.219 W = 0.219 (0.935 \text{ ton/mt}) = 0.205 \text{ ton/mt}$

El efecto de la carga de sismo puede medirse por la expresión:

$$f_2 = \frac{\text{momento flexionante x distancia a fibraextrema}}{\text{momento de inercia de la sección del muro}}$$

$$f_2 = \frac{My}{I} = \frac{6 FhL}{bL^3} = \frac{6Fh}{bL^2} = \frac{6 \times 0.15 Wh}{bL^2} = \frac{0.9 Wh}{bL^2}$$

b = ancho del cimiento

Para determinar el máximo esfuerzo aplicado al suelo:

$$f_t = f_1 + f_2$$

$$f_t = \frac{W}{A} + \frac{0.9Wh}{bL^2} = \frac{W}{bL} + \frac{0.9Wh}{bL^2} = \frac{W(1+0.9h)}{bL}$$

Sustituyendo $W = w_1 + w_2$

$$f_t = \frac{L(w_1 + w_2)}{bL} (1 + 0.9 \frac{h}{L}) = \frac{w_1 + w_2}{b} (1 + 0.9 \frac{h}{L})$$

$$b = \frac{w_1 + w_2}{f_t} (1 + 0.9 \frac{h}{L})$$

Expresión con la que se puede encontrar el ancho del cimiento necesario para transmitir las cargas en el muro al suelo, ya que este depende no sólo de las cargas sino de la relación altura-largo, creciendo con ella.

b = ancho del cimiento
 w_1, w_2 = carga por unidad de largo del muro
 f_t = capacidad soporte del suelo
 h = altura del muro
 L = largo del muro

Para el modelo, se usará:

$L = 7.00 \text{ mt.}$
 $h = 2.50$, para determinar el ancho del cimiento.
La estructura que soportará el muro tiene una carga de 560 kg/mt , y es de ladrillo con un peso de 150 Kg/mt^2 .
 $w_1 = 560 \text{ Kg/mt}$
 $w_2 = 150 \times 2.50 = 375 \text{ kg/mt}$
 $w_1 + w_2 = 560 + 375 = 935 \text{ kg/mt} = 0.935 \text{ ton/mt}$

$$\text{relación } \frac{h}{L} = \frac{2.50}{7.00} = 0.36$$

$$b = \frac{0.935 (1+0.36)}{f_t} = \frac{1.27}{f_t}$$

capacidad soporte (ton/m ²)	ancho cimiento (mt)
5	0.25
10	0.13
15	0.08

El cimiento debe tener como mínimo el ancho del muro que soporta pues así transmitirá su carga.

para el caso se usará un ancho $b = 0.15$ en la base de contacto con el muro, y sección rectangular.

CALCULO Y DISEÑO DE VIGA DE CIMENTACION

1. Viga de cimentación

1.1 Dimensionamiento

Sección asumida = 0.15×0.30

El lado menor escogido obedece al espesor del muro, y la sección obedece a que las secciones rectangulares trabajan mejor a flexión.

$$f'_c = 3 \text{ kg/pulg}^2$$

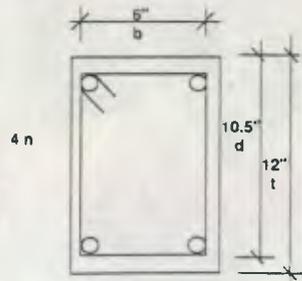
$$f_y = 40 \text{ kg/pulg}^2 = 40,000 \text{ \#/pulg}^2$$

$$b = 0.15 = 5.90'' \text{ } 6''$$

$$t = 0.30 = 11.81'' \text{ } 12''$$

$$d = t - \text{recubrimiento} - \text{estribo} - \frac{\text{refuerzo}}{2}$$

$$d = 12 - 1 - 1/4 - \frac{1/2}{2} = 10.50$$



1.2 Area de acero

Por ser una viga sometida a esfuerzos sísmicos, según el código (ACI-

317-78) debe usarse 2 barras corridas arriba y 2 abajo con el porcentaje mínimo de acero.

$$P_{\text{min}} = \frac{200}{f_y (\text{\#/pulg}^2)} \frac{200}{40,000} = 0.0050$$

$$A_{s \text{ min}} = P_{\text{min}} b d = 0.005 (6'') (10.50) = 0.315 \text{ pulg}^2$$

$A_{s \text{ min}} = 0.315 \text{ pulg}^2 \rightarrow 4 \text{ No. 3 } (0.44 \text{ pulg}^2 - A_s)$ 2 arriba y 2 abajo corridas

1.3 Chequeo Area Acero Para Sismo

$$P_{\text{max}} = 0.50 P_b \text{ (sismo)}$$

$$P_{\text{max}} = 0.50 (0.85 \beta_1) \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{87}{87 + f_y}$$

$$P_{\text{max}} = 0.50 \times 0.85 \times 0.85 \times \frac{3}{40} \times \frac{87}{87 + 40} = 0.0186$$

$A_{s \text{ max}} = P_{\text{max}} b d = 0.0186 \times 6 \times 10.50$ (Máxima cantidad de acero que se le puede colocar a la viga)

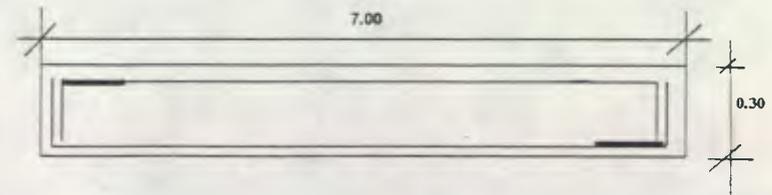
$A_{s \text{ max}} = 1.1718 \text{ pulg}^2$ El área de acero ($A_{s \text{ min}}$) es menor que el $A_{s \text{ max}}$, por lo que tiene FALLA DUCTIL y se puede usar.

1.4 Longitud de Desarrollo

$$\text{Barras No. 3} \text{ ----- } A_b = 0.11 \text{ pulg}^2 \quad d_b = 12/8''$$

$$A_{c1} = L_d = \frac{0.04 A_b f_y (\text{\#/pulg}^2)}{f'_c} = \frac{0.04 \times 0.11 \times 40,000}{3000} = 3.21''$$

$$A_{c1} = L_d = 0.0004 d_b f_y = 0.0004 \times 12/8'' \times 40,000 = 24'' \quad \text{se usará el mayor.}$$



1.5 Estribos

Mínimo No.2 de 2 ramas a lo largo de toda la viga a una separación máxima de $d/2$

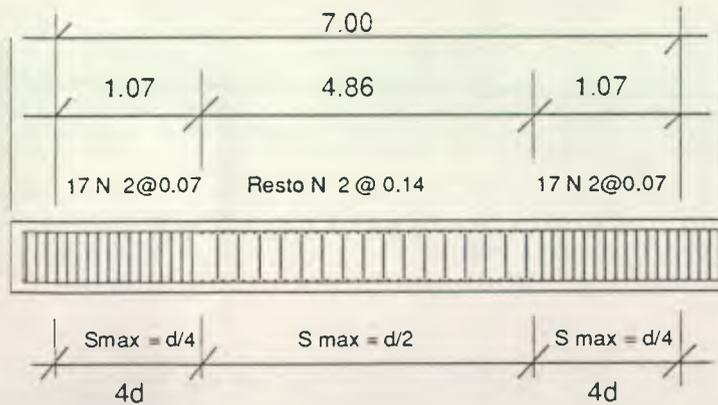
$$1.5.1. S_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{10.50}{2} = 5.25''$$

$$1.5.2. S_{\max} = \frac{A_v}{0.0015b} = \frac{0.22}{0.0015(6)} = \frac{0.22}{0.0090} = 24.44''$$

Se usará la menor distancia

1.5.2.1. Estribos de confinamiento

En área adyacente a las columnas a una distancia $4d$ y una separación máxima de $d/4$.



1.5.2.1.1. Distancia a Confinar

$$4d = 4(10.50) = 42''$$

1.5.2.1.2. Espaciamiento Máximo entre Estribos

$$S_{\max} = \frac{d}{4} = \frac{10.50}{4} = 2.63''$$

$$\frac{42''}{2.63''} = 15.97 \quad 16 \text{ espacios @ } 0.07 \text{ mt.}$$

... y temblarán los fundamentos de la Tierra

Quebrantarás del todo la Tierra, enteramente desmenuzada será la Tierra, en gran manera será la Tierra conmovida.

Temblará la tierra vacilando como un boraccho y será removida como una choza;...

Isaías 24. 18,19,20.

Y temblará la Tierra y afligirase;...

Jeremías 51.29

BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

1. Aguilar A., Eduardo. Arq. ESTUDIO DE LA VIVIENDA RURAL EN GUATEMALA. Editorial Universitaria USAC. Guatemala, 1980.
2. Autores Varios. Recopilación. APUNTES DE TECNICAS DE INVESTIGACION. Editado por la Cooperativa de Servicios Varios, Facultad de Ciencias Económicas, USAC. Guatemala. 1986.
3. Beer, Ferdinand; Johnston, Rousell. ESTADICA. MECANICA VECTORIAL PARA INGENIEROS. Editorial Mc.Graw Hill Latinoamericana, S.A.
4. Beiser, Arthur. LA TIERRA. TIME-LIFE. Litto Offset Latina, S.A. México, D.F. 1976.
5. Creixell M. José. CONSTRUCCIONES ANTISISMICAS. CRITERIO PARA SU DISEÑO Y CALCULO. Cía. Editorial Continental, S.A. México, D.F. 1982. Segunda Edición.
6. Davis, Ian. ARQUITECTURA DE EMERGENCIA. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España. 1980.
7. De Gortari, Eli. EL METODO DIALECTICO. Colección 70, No. 93. Editorial Grijalbo. México, D.F. 1970
8. Donahue, Miller y Shikluna. INTRODUCCION A LOS SUELOS Y AL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS. Editorial Prentice- Hall Internacional. Madrid, España. 1981.
9. Escobar Jorge, Arq. SISTEMAS ESTRUCTURALES EN ARQUITECTURA. Editorial universitaria. Volumen 13. USAC. Guatemala. 1975.
10. Housner, G.W, Jennings, P.C. EARTHQUAKE DESIGN CRITERIA. Earthquake Engineering Research Institute. EERI. National Science Foundation, Berkley, California, EUA. 1982.
11. IPGH-OEA. TEMBLORES DE TIERRA. Publicación No. 363. México. D.F. 1977.
12. Legget, Robert F. GEOLOGIA PARA INGENIEROS. Fotocopias.
13. Marroquín Hermes y Gándara, J.L. LA VIVIENDA PUPULAR EN GUATEMALA. ANTES Y DESPUES DEL TERREMOTO DE 1976. Tomos 1 & 2. Editorial Universitaria, USAC. Guatemala. 1982.
14. Newmark, N.M. y Rosenblueth, E. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA SISMICA. Editorial Diana, México, D.F. 1976.
15. Postigo, Luis. CIENCIAS FISICA Y NATURALES. Editorial Ceperra, S.A. Barcelona, España. 1960

MANUALES

1. Armheim, James E., S.E. EMIA. GROUT. THE THIRD INGREDIENTE. Fotocopia.

2. Applied Tehonology Council, ATC. NBS. NSF. Structural Engineers Association of California. TENTATIVE PROVISIONS FOR DEVELOPMENT OF SEISMIC REGULATIONS FOR BUILDINGS. California. USA. 1978.
3. Correa, Ruperto. PUNTO CLAVE SISMO RESISTENTE. PNUD-INTECAP, PRO-GUA 76-007. ONV. 1978
4. Dirección de Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia. MANUAL DE SANEAMIENTO, AGUA, VIVIENDA Y DESHECHOS. Editorial Limusa, S.A. México. D.F. 1978.
5. Ferraté Felice, Luis Alberto. METODO PARA CLASIFICACION DE LAS CLASES DE TIERRA. Fotocopia. Guatemala, 1981. Curso de Ecología 1 Facultad de Arquitectura, USAC.
6. International Conference of Building Officials, Whittier. UNIFORM BUILDING CODE. California, EUA. 1982.
7. Flores, Rolando. REPARACIONES ESTRUCTURALES EN EDIFICIOS. Fotocopia. Guatemala, 1976
8. Monzón D. Héctor. INFORME SOBRE LA FASE 2. Programa de Cooperación Técnica en Ingeniería de Terremotos. GTZ-INDE. Guatemala, 1984. Fotocopia.
9. S/a. RECOMENDACIONES PRA SISMOS. Maestría en Estructuras. Universidad del Valle. Guatemala, 1986. Fotocopia
10. Sesimology Comitce, Structural Engineers Association of California. SEAOC. RECOMMENDED LATERAL FORCE REQUERIMENTS AND COMENTARY. San Francisco, Calif. U.S.A. 4th edition. 1975.
11. Reboredo. Augustín, y colabs. MANUAL DE CONSTRUCCION SISMORRESISTENTE DE LA VIVIENDA EN ZONAS ARIDAS. Mendoza, Argentina. 1976.
12. Varios Autores. American Concrete Institute. ACI. REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO. (ACI, 318-71) Y COMENTARIOS. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México, D.F. 1976.

TESIS

1. Alonzo Santos, Melvin Ramón. LOS DESASTRES EN GUATEMLA. Causas y Directrices para su Atención. Tesis de Grado. Facultad de Arquitectura. USAC. Guatemala. 1988
2. Morales M., Rudy F. DISEÑO SISMO RESISTENTE. (Concreto y Mampostería). Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, USAC. 1984.
3. Sandoval, Juan F. LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS Y PEQUEÑAS EDIFICACIONES EN ZONAS SISMICAS. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. USAC. Guatemala. 1974.
4. Ventura, Estuardo. RECOMENDACIONES PARA LA ELABORACION DE UN CODIGO DE DISEÑO ANTISISMICO PARA GUATEMALA.

Fotocopia. 1978.

5. Sáenz Calderón, Manrique. ESTUDIO DE LA VIVIENDA RURAL DE BAJAREQUE E HISTORIA SISMICA DE HUEHUETENANGO. Tesis de grado. Facultad de Arquitectura, USAC. Guatemala, 1987.

REVISTAS Y BOLETINES

1. Alexander, George. ANATOMIA DE LOS TERREMOTOS. Artículo. Revista Facetas No. 60: 2/83. Tomado de Science 82.
2. Calderón, Bernardo. DISEÑO DE ESTRUCTURAS ARQUITECTONICAS RESISTENTES A TEMBLOR. Revista de Arquitectura. ENA. Año 5, No. 1. México D.F. 1961.
3. Chavarría S., Francisco. Arq. ASENTAMIENTOS HUMANOS Y SU RELACION CON LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR EL TERREMOTO DEL 4 DE FEBRERO DE 1976 EN GUATEMALA. BANVI. Guatemala. 1976.
4. Dirección General de Estadística. Ministerio de Economía. INVESTIGACION DE CAMPO SOBRE LOS DAÑOS OCASIONADOS EN LAS VIVIENDAS POR EL SISMO DEL 4 DE FEBRERO DE 1976. (Municipio de Guatemala, Ciudad Capital). 1a. Edición. Guatemala. 1976.
5. Escala No. 73. VIVIENDA DE EMERGENCIA. Bogotá, Colombia.
6. Escala No. 52-53. AGRUPACIONES DE VIVIENDA. VIVIENDA BAJA DE ALTA DENSIDAD. Bogotá, Colombia.
7. González Marcelino. USPANTAN UNA LECCION PARA EL PROXIMO DESASTRE. Ponencia III Congreso Nacional de Arquitecto de Guatemala. 1986.
8. Molina, Diego....Y LA TIERRA HIRIO A GUATEMALA. Editado por Producciones DIMA. Guatemala. 1976.
9. Monzón D., Héctor. SOBRE LA SISMICIDAD EN GUATEMALA Y "PERSPECTIVAS FUTURAS. Artículo. Revista Arquitectura. Colegio de Arquitectos de Guatemala. Volumen 13, No. 1. Noviembre-Diciembre. 1986.
10. Rodríguez, Juan José. ARQUITECTURA SISMICA. Artículo Revista Construcción, Cámara Guatemalteca de la Construcción, No. 39. Guatemala, 1978.
11. Siegel, Lee. AP. ICT. Science, California EVA. TEMPERATURA DE LA TIERRA. Tomado de Prensa Libre. 13 de abril de 1987. Pag. 50.
12. Vassaux P., José. CINCUENTA AÑOS DE SISMOLOGIA EN GUATEMALA. Ponencia IX Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Washington. EUA 1969.
13. IX Confrontación de Estudiantes. HABITAR DE EMERGENCIA. XII Congreso Mundial de la Unión Internacional de Arquitectos, U.I.A. Madrid. España. 1975.

VARIOS

1. EPS, PPM. GUIA PARA EL DESARROLLO DEL TERCER ENSAYO DE INVESTIGACION. (Tesis de Grado). Programa de Extensión, Unidad 3.3 Facultad de Arquitectura, USAC. Guatemala, 1986.
2. Gall, Francis. DICCIONARIO GEOGRAFICO DE GUATEMALA. Instituto Geográfico Nacional. Tipografía Nacional de Guatemala. Guatemala 1984 IV tomos.
3. Varios Autores. MEMORIAS. SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE EL TERREMOTO DE GUATEMALA DEL 4 DE FEBRERO DE 1976 Y EL PROCESO DE RECONSTRUCCION. Guatemala. Tomos 1 & 2. 1978.
4. Varios Autores. MEMORIAS. PRIMER SEMINARIO SOBRE ATENCION DE DESASTRES. Coordinado por el Colegio de Arquitectos de Guatemala. Guatemala. 1984.
5. INSIVUMEH. BOLETIN SISMOLOGICO AÑO 1982. Sección de Sismología, Departamento de Sistemas Geofísicos. Año 6 Volumen 1. Guatemala 1982.
6. Instituto Geográfico Nacional. ATLAS NACIONAL DE GUATEMALA. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Taller Litográfico IGN. Guatemala. 1972.

APROBADO

Magally Soto C
Arq. Magaly Soto
Asesor

SUSTENTANTE

Sergio Bernal de León López
Sergio Bernal de León López

IMPRIMASE

Francisco Chavarría Smeaton
Arq. Francisco Chavarría Smeaton
Decano