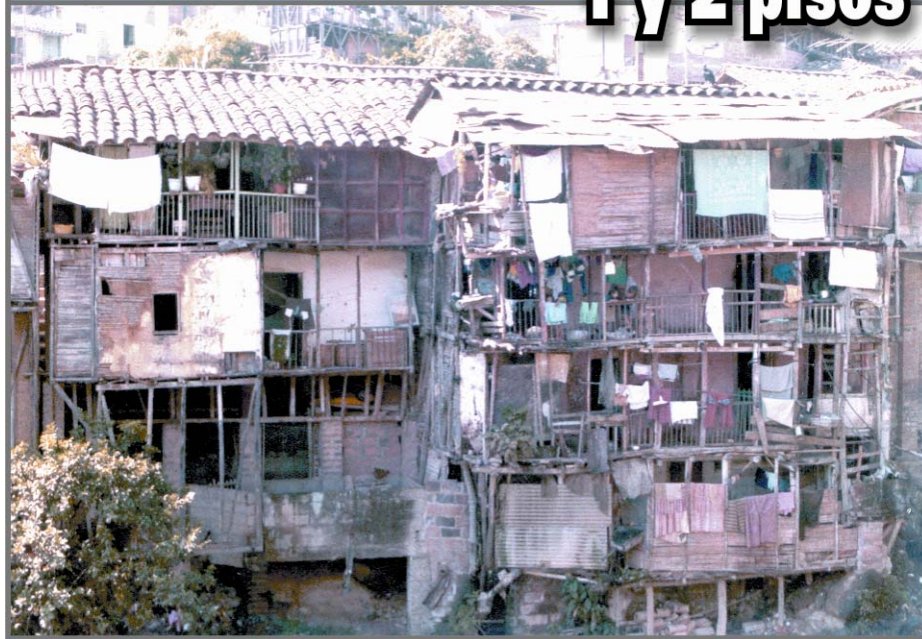


Notas acerca del Diseño Sismoresistente para casas de **1 y 2 pisos**



**Notas acerca del
Diseño Sismoresistente para casas de
1 y 2 pisos**



**Por
I. C. Luis Gonzalo Mejía Cañas**

*Imágenes y Diagramación
Carlos Federico Mejía Valencia*

Es propiedad del autor.
Este Folleto o cualquiera de
sus partes no puede ser
reproducido sin autorización.


Luis Gonzalo Mejía & Cia.
Ingenieros Estructurales

e-mail: lgm@une.net.co
Medellín - Colombia

Introducción

La construcción de viviendas seguras y económicas en zonas sísmicas, representa un reto, no sólo para quienes participan en su diseño y construcción, sino para aquellas entidades o personas que tienen que tomar alguna decisión en las etapas previas de un proyecto.

Hoy en día no hay pretexto para alegar ignorancia en este campo, pues existe suficiente información sobre el tema, y por lo tanto y por las consecuencias que un evento sísmico puede ocasionar, no sería sostenible desde el punto de vista ético y profesional, pasar por alto las recomendaciones actuales que permiten construir viviendas seguras para quienes habitan en esta “Terra Non Firma”.

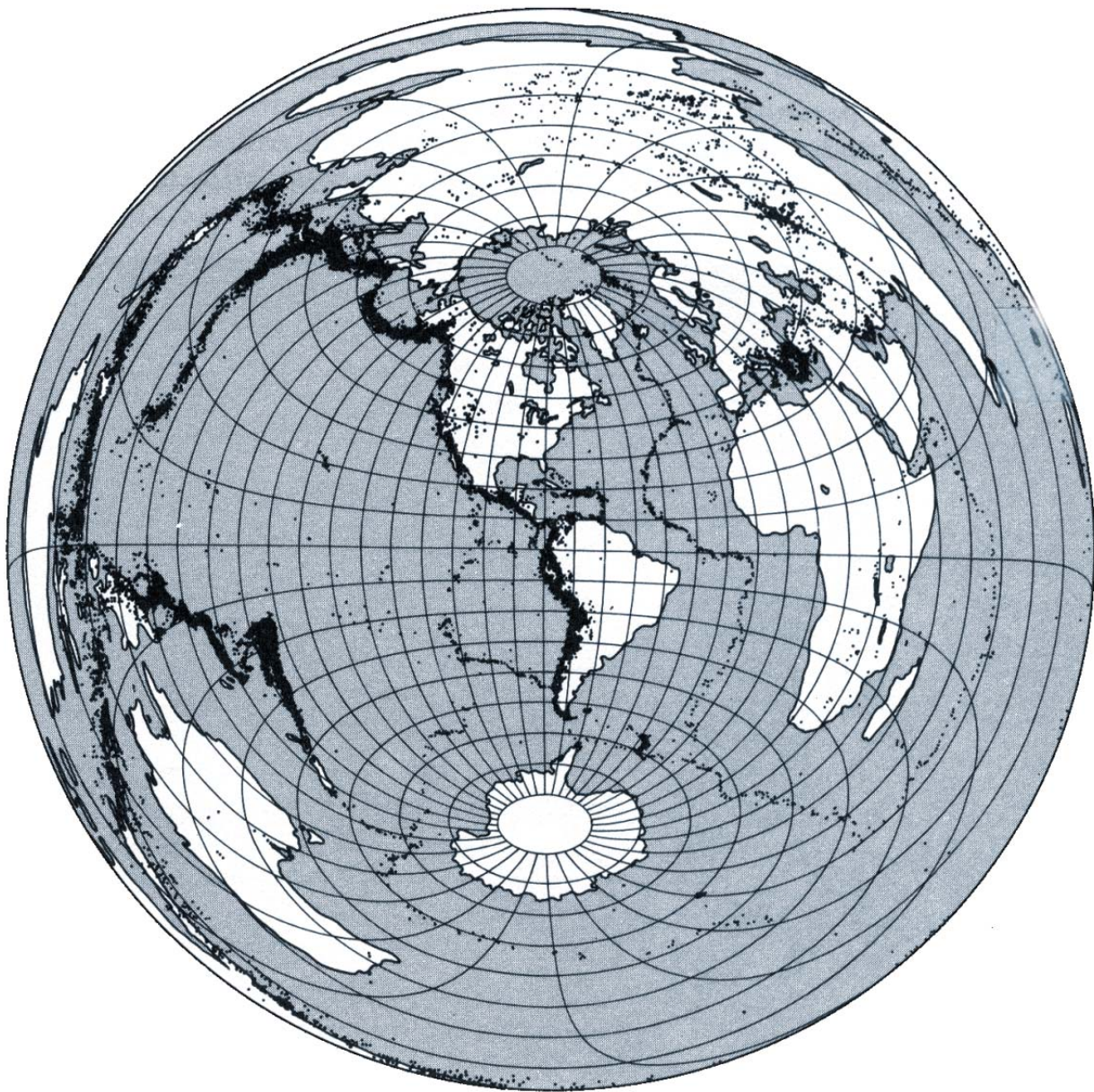
Estas notas buscan contribuir al conocimiento y entendimiento de los fenómenos que se presentan cuando ocurre un sismo y cuales son las medidas que se pueden tomar para mitigar sus efectos.

Por último quiero agradecerle a mi hijo Carlos Federico por la paciencia en el desarrollo de las imágenes y diagramación de este folleto.

Luis Gonzalo Mejía Cañas
Medellín, Julio del 2009

Contenido

Introducción	5
Objetivo	6
Nociones Básicas	7
¿Cómo se Originan los terremotos?	8
Naturaleza de las Fuerzas Sísmicas	9
¿Qué es una Estructura?	10
¿Cómo se «Calculan» las Fuerzas Sísmicas?	12
¿Qué es un Diafragma?	14
Algunas Nociones sobre resistencia de Materiales	15
Acerca del Comportamiento de los Materiales	16
¿Cómo se Agrieta una Casa Durante un Sismo?	17
¿Qué Otros Refuerzos Necesita una Casa?	19
Resumen de Las 10 reglas basicas de la construcción sismoresistente para casas de 1 y 2 pisos	19
Referencias	20



Sismicidad mundial. Están representados los epicentros de los terremotos de magnitud o igual a 4,5 ocurridos entre 1963 y 1973. (Cortesía del Centro Nacional de Datos Geofísicos, NOAA:). (Referencia. 17).

$$Y(t) = \frac{2}{n} \sum_{p=1}^N \sin \frac{jP\pi}{n} \left\{ \sum_{k=1}^N \sin \frac{kP\pi}{n} \left[Y_k \cos \left(2 K_t \sin \frac{P\pi}{2n} \right) + V_k \frac{\sin \left(2 K_t \sin \frac{P\pi}{2n} \right)}{2 K \sin \frac{P\pi}{2n}} \right] \right\}$$

Solución matemática de un problema estructural

Introducción

Hace 250 años, un matemático llamado Lagrange estudiaba los fenómenos que se presentan en una cuerda que se pone a vibrar y entre otros encontró la ecuación indicada, que describe el movimiento de la cuerda en cualquier momento. Eran tiempos en los que se vivía una gran euforia matemática y en los cuales, a su vez, se construían las bases de la moderna teoría de las estructuras.

Aunque las matemáticas son una valiosa herramienta en la solución de muchos problemas, su aparente complejidad ha llevado a que muchas personas identifiquen cualquier tarea estructural con este enfoque matemático de competencia únicamente del Ingeniero.

Afortunadamente existe un enfoque conceptual adoptado en este manual, que sin necesidad de utilizar las matemáticas, permite a las personas no especializadas, a quien va dirigida esta publicación, comprender los conceptos básicos del comportamiento de las estructuras cuando se ven sometidas a cargas horizontales como las que ocasionan los terremotos y sirve como complemento a la publicación "Manual de Especificaciones para Construcciones de 1 y 2 Pisos" (Ref. 14).

En la elaboración del manual se buscó utilizar en lo posible un lenguaje gráfico con figuras que aclararán los conceptos. De esta forma se busca que la imagen, transmita la idea que se quiere aclarar.

Los conceptos aquí explicados son igualmente válidos para construcciones de más pisos y su comprensión será de gran utilidad para quienes las proyectan y construyen.

Nota: Las palabras sismo, temblor o terremoto, se utilizarán indistintamente, pues desde el punto de vista técnico son equivalentes.



Objetivo

Esta publicación busca transmitir los conocimientos básicos, la mayor parte de ellos intuitivos, que permiten a una persona no especialista entender los factores que pueden influir en el comportamiento de una casa cuando se ve sometida a la acción de las enormes fuerzas que genera un terremoto y de esta forma adquirir conciencia de la razón e importancia de las recomendaciones contenidas en las Normas Sismo Resistentes, para que así puedan participar en la construcción de nuevas viviendas especialmente de Interés Social, resistentes a sismos, pues de nada sirve una casa con bonitos colores si pende de un hilo. Hay 3 formas de enfocar el proyecto y construcción de una casa :

La Empírica

En la cual se desconoce por completo lo que sucede y se sigue construyendo “como toda la vida”, como lo hicieron los abuelos.

La Ingenieril

Utiliza los conocimientos actuales y con herramientas del diseño y análisis estructural proyecta con seguridad y economía las viviendas y es el procedimiento utilizado por los ingenieros.

La Práctica

Combina una alta dosis de conocimientos sobre los fenómenos que inciden en el comportamiento de las construcciones, de sentido común y de conocimientos acerca de las ayudas contenidas en las normas para este tipo de construcciones.

A la luz de los conocimientos actuales, el trabajo empírico conducirá sin duda alguna al colapso de las casas ante un evento sísmico y debería prohibirse definitivamente.

El enfoque ingenieril requiere de especialistas en cálculo y se usa normalmente para grandes proyectos. El enfoque práctico constituye una valiosa herramienta para la construcción de viviendas sismo resistentes seguras por personal no especializado.

Las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente incluyen un título, el E “ Casas de 1 y 2 pisos”, dedicado a quienes utilizan este enfoque y estas notas, como ya se dijo, buscan que quienes las utilicen tengan mejores herramientas para su correcta aplicación.



Sólo el entendimiento de los fundamentos básicos del comportamiento sísmico de las casas, permitirá proyectarlas y construirlas con seguridad. De lo contrario continuarán colgando de un hilo, arriesgando la vida y patrimonio de las familias que las habitan.

Nociones Básicas

La tierra se compone de varias capas, de las cuales sólo la exterior, que a su vez es la mas delgada, es sólida. El conocimiento del interior de la tierra se ha hecho por medio de estudios de ondas. Las capas interiores se componen de material fundido por las altas temperaturas y presiones. (Figura 1).



Figura 1. La tierra esta formada por capas. La exterior sólida “flota” sobre las interiores plásticas. (Ref. 1).

Hasta hace unos 200 millones de años, la corteza terrestre conformaba un bloque único llamado en 1912 Pangea por el científico alemán Alfred Wegener (Figura 2). A partir de ese momento empezó un proceso de ruptura de la corteza sólida en varios bloques llamados placas (Figura 3), los cuales empezaron a desplazarse y a interactuar entre sí en forma compleja a lo largo de las superficies de contacto llamadas fallas.



Figura 2. El gran continente llamado Pangea. (Ref. 2).

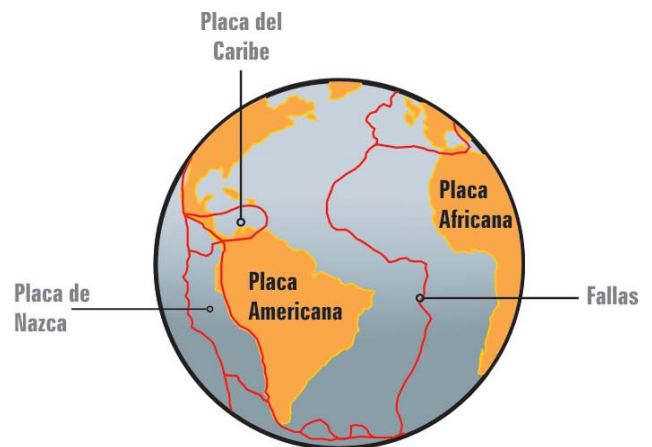


Figura 3. Hace 200 millones de años la corteza sólida se partió en grandes placas, las cuales comenzaron a desplazarse en diferentes direcciones interactuando entre sí. (Ref. 1).

Hoy en día se sabe que la existencia de las llamadas corrientes de convección, que ocurren en el material fundido en el interior de la tierra, han ocasionado los fenómenos descritos (Figura 4).

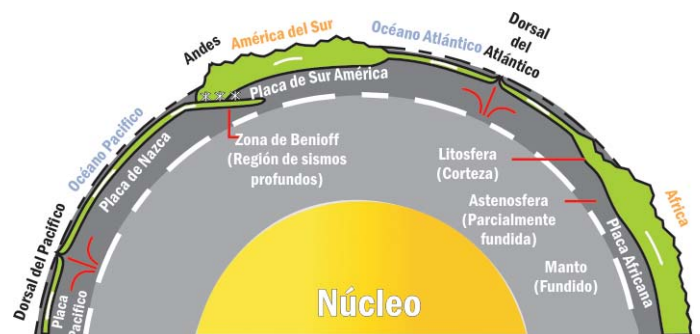


Figura 4. Las corrientes de convección mueven la corteza terrestre en diferentes direcciones produciendo en algunos casos separación de las placas y en otros choques. En este caso, una placa puede meterse por debajo de la otra como ocurre en Colombia. (Fenómeno llamado subducción por los especialistas). (Ref. 3).



¿Cómo se originan los terremotos?

Ya sabemos que las diferentes placas sólidas flotan y se desplazan en diferentes direcciones, empujándose con fuerzas enormes entre sí, las cuales se van acumulando con el paso del tiempo y en determinado momento producen una ruptura súbita y violenta de la roca, liberando una gran cantidad de energía (Figura 5), la cual se dispersa en ondas produciendo el movimiento del terreno, que es lo que conocemos con el nombre de terremoto, sismo o temblor.

Este movimiento del suelo tiene una característica importante y es que es muy irregular (Figura 6), por lo cual las construcciones pueden verse afectadas por fuerzas sísmicas actuando en cualquier dirección.

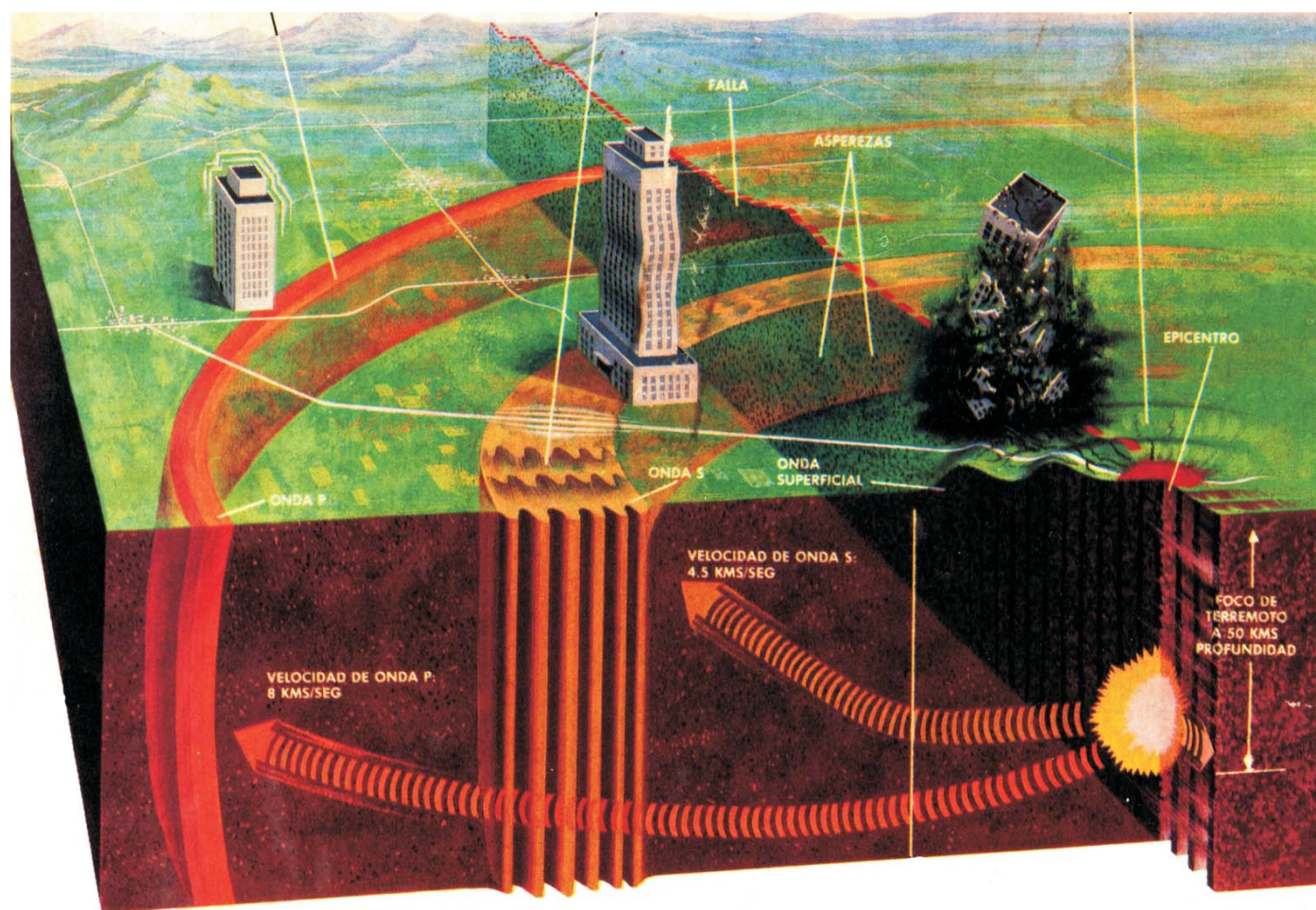


Figura 5. Las enormes presiones que se producen en el choque de las placas, producen en algún sitio a lo largo de la falla llamado hipocentro o foco, la ruptura de la roca liberando energía. (Tomada de un artículo de la revista Mecánica Popular).

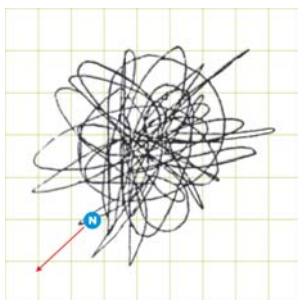


Figura 6. El registro de un terremoto indica la complejidad de los movimientos que produce un terremoto en la corteza terrestre y en las construcciones. (Ref. 4).

Naturaleza de las Fuerzas Sísmicas

El concepto de fuerza es intuitivo para todos y por esto son usuales frases como: “el viento empuja con mucha fuerza” o “se necesita mucha fuerza para levantar esa caja”, etc. Sin embargo existe un tipo de fuerza que actúa sobre un cuerpo cuando se trata de cambiar el estado en que él se encuentra. Estas fuerzas llamadas inerciales fueron un verdadero enigma para filósofos, matemáticos y físicos y fue sólo en 1687 cuando un físico brillante llamado Newton, quien en un libro que hizo historia llamado Principia, definió lo que es la inercia y en el primero de sus axiomas estableció “Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta a menos que sea forzado a cambiar ese estado por fuerzas que actúan sobre él”. La figura 7 aclara este concepto, que es cotidiano y lo experimentamos cuando al arrancar o frenar un vehículo nuestro cuerpo siente estas fuerzas que no se ven, pero que existen y son debidas a la inercia.



Figura 7. Si imaginamos una caja de cereal colocada sobre un tapete, la cual se encuentra en reposo (a) y en determinado momento movemos el tapete, es claro que la caja trata de voltearse sin que la estemos empujando directamente. Este mismo resultado lo podríamos lograr aplicando las fuerzas horizontales indicadas en (b), las cuales son justamente las denominadas fuerzas inerciales (Ref. 3).

Las construcciones por tener masa, se ven afectadas por estas mismas fuerzas inerciales (sísmicas) cuando se mueve el terreno donde están cimentadas (Figura 8).

Dada la compleja naturaleza de los movimientos sísmicos (Figura 6), las construcciones tienen que resistir fuerzas que actúan en todas las direcciones (Figura 8a), asumiéndose en el diseño en forma simplificada, que estas acciones ocurren en dos direcciones ortogonales produciendo en cada una los efectos indicados en las figuras 8b y 8c.

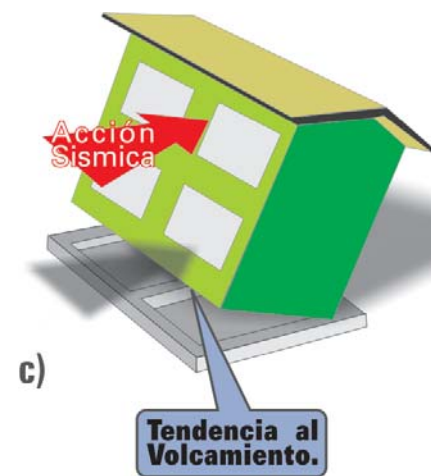
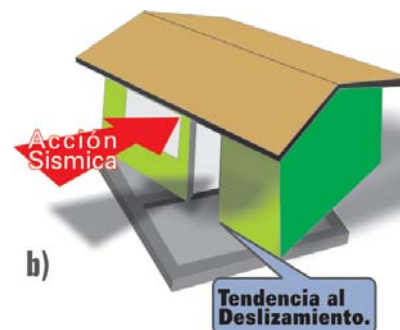


Figura 8. Al moverse el terreno sobre el cual están cimentada las construcciones, aparecen fuerzas inerciales que actúan sobre éstas, dañándolas severamente o aún produciendo su colapso si no están diseñadas para resistirlas. (Fig. 8b y 8c Ref. 5).



¿Qué es una estructura?

Una estructura es un elemento o conjunto de elementos cuya función es transmitir cargas. Y es que, aunque no lo parezca, las estructuras están llenas de vida: un flujo permanente de fuerzas circula por ellas (Figura 9.1).

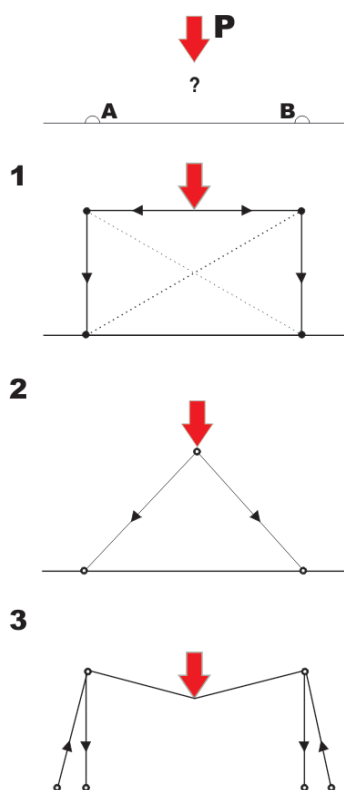


Figura 9.1. La fuerza P “viaja” por la estructura hasta llegar a los apoyos A y B . Como se ve, para trasladar esta fuerza existen muchas alternativas. (Tomada de notas del curso de estructuras para arquitectos de la U. de Karlsruhe, Alemania).

El ingeniero trata de determinar con la mejor aproximación cuál es la magnitud de las fuerzas que pueden actuar sobre determinada estructura y así dimensionar sus elementos para que puedan transmitirlas en forma segura. Usualmente las Normas de cada país dan recomendaciones obligatorias, que permiten calcular los diferentes tipos de fuerzas y garantizar con esto un mínimo de seguridad para las condiciones específicas de cada lugar. En general las estructuras de las casas o edificios para vivienda están conformadas por pórticos o por muros estructurales (Figura 9.2).

En algunas ocasiones, especialmente para casas en estratos altos se utilizan los pórticos como estructura pues permiten utilizar espacios más grandes, pero en general, la mayor parte de las casas utilizan los muros como estructura.

Como se explicará más adelante los muros en zonas sísmicas tienen que ser reforzados, existiendo varias formas de hacerlo, una de ellas consiste en colocar refuerzo en las celdas (que posteriormente se inyectan) y en las pegas, sistema que constituye la llamada mampostería estructural, la cual tiene unos procedimientos de cálculo definidos en la norma y por esto hace parte del campo de diseño del Ingeniero. Otra forma consiste en “confinar” los muros por medio de columnas y vigas de amarre, método ampliamente utilizado en el País y que corresponde al procedimiento utilizado en el título E “Casas de 1 y 2 pisos” de la Norma Sismo Resistente - 98, especialmente adecuado para el enfoque práctico del diseño y construcción de casas, y por este motivo esta publicación hará énfasis sobre dicho sistema estructural, el cual ha sido investigado en muchas partes del mundo y en el País, por el equipo de la Universidad de los Andes.

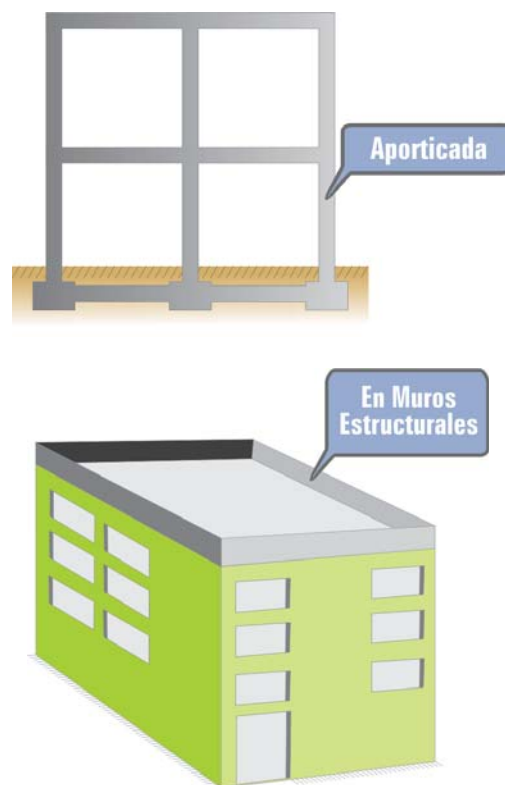


Figura 9.2. Sistemas estructurales convencionales normalmente utilizados en la construcción de vivienda.

Para que la estructura pueda efectuar bien su trabajo, además de estar bien diseñada, debe estar bien construida y con materiales de primera calidad. De estos requerimientos podríamos concluir una *primera regla* básica de la construcción sismo resistente:

Regla 1

Una casa se comportará más como se construyó que como se diseñó y de ahí la importancia de unos buenos materiales y de una excelente construcción.

Como ya se mencionó (ver Figura 6) un sismo produce fuerzas que actúan sobre una estructura en todas las direcciones. Como una aproximación a este fenómeno tan complejo, se acepta que una construcción con estructura suficiente en al menos dos direcciones perpendiculares (Figura 10c) se comportará satisfactoriamente aún en eventos severos. La segunda regla para casas sismo resistentes sería:

Regla 2

En toda casa, deben disponerse suficientes muros en dos direcciones perpendiculares entre sí.

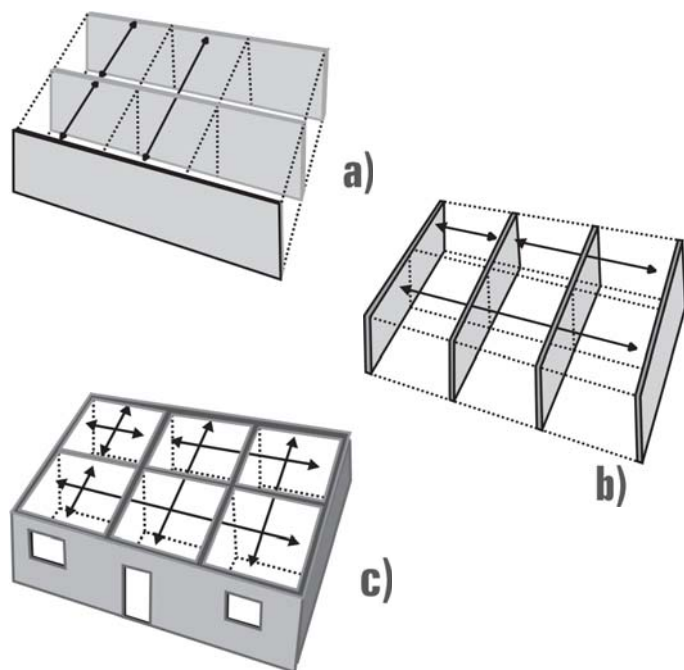


Figura 10. Las casas (a) y (b) son inestables para las solicitaciones perpendiculares a los muros. La casa debe tener por lo tanto muros o pórticos en ambas direcciones como se indica en la casa (c). (Tomada de notas del curso de estructuras para arquitectos de la U. de Karlsruhe, Alemania).

Los muros deben cumplir algunos requisitos para que sean eficientes: Deben reforzarse, estar bien contruidos, pero además debe existir una trayectoria clara en la transmisión de fuerzas (Figura 11), lo que significa que debe existir continuidad entre los muros estructurales del primer y segundo nivel. De aquí la tercera regla:

Regla 3

Los muros estructurales deben ser continuos (colineales) en primer y segundo piso.

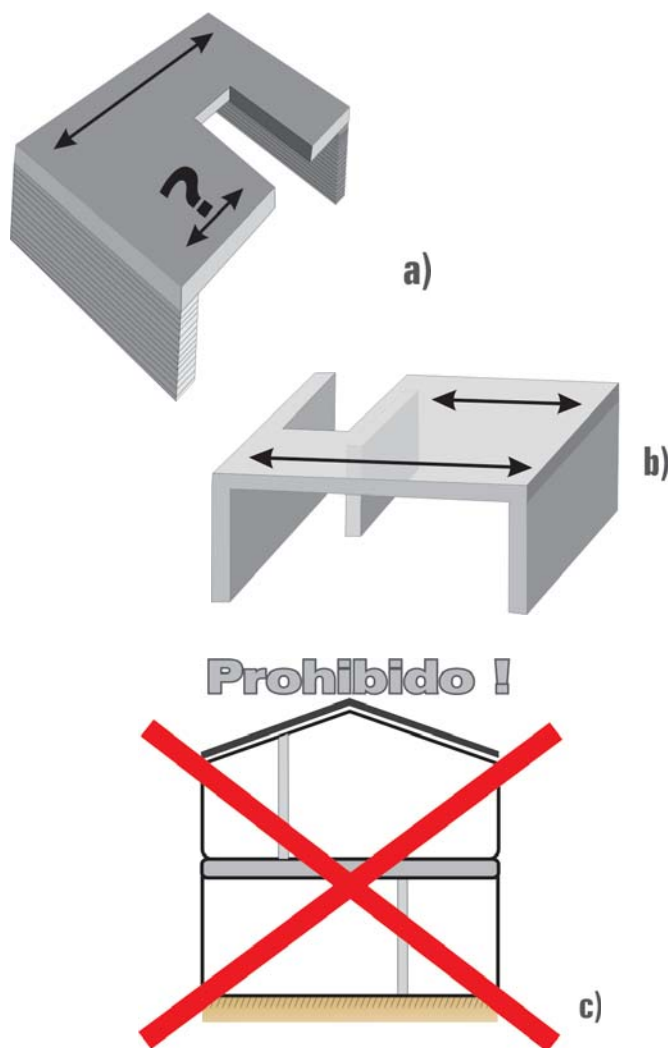


Figura 11. Es intuitivo en la figura a), que la parte de la losa al lado del vacío de escaleras, no tiene apoyo y por lo tanto no hay una trayectoria clara en la transmisión de cargas. Con la colocación de un muro de apoyo adicional (figura b), queda resuelta esta situación. Deben evitarse casas sin continuidad en los muros estructurales (figura c). (Tomada de notas del curso de estructuras para arquitectos de la U. De Karlsruhe, Alemania).



Como se indicó (Figura 9), las cargas “viajan” por la estructura hasta las fundaciones y allí deben encontrar un terreno y una cimentación suficientemente resistentes para que pueda existir un equilibrio (Figura 12) y por lo tanto podemos concluir que casas mal cimentadas son muy propicias a daños y colapsos.

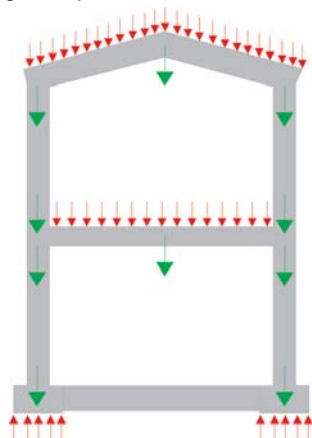


Figura 12. A nivel de cimentación debe existir equilibrio entre las cargas que “viajan” por la estructura y llegan a la cimentación y la reacción ejercida por el suelo. Casas mal cimentadas por ejemplo en suelos de rellenos, aumentan la posibilidad de daños y de colapsos. (Tomada de notas del curso de estructuras para arquitectos de la U. de Karlsruhe, Alemania).

De ahí tendríamos una cuarta regla :

Regla 4

Una buena cimentación es fundamental para lograr un buen comportamiento sísmico.

Una buena cimentación se garantiza con un apoyo en suelos firmes (Figura 12) ya sea en forma directa o por medio de pilotes o pilas, con un refuerzo adecuado (Ref. 14) y amarres suficientes (Figura 13.)

Figura 13. El amarre de las fundaciones garantizan un mejor comportamiento sísmico de la construcción. (Adaptado sin referencia).



¿Cómo se “calculan” las fuerzas sísmicas?

Cuando se empezaron a aplicar los primeros requisitos de diseño sísmico para edificaciones hace unas décadas y no existían las facilidades computacionales de hoy en día, las fuerzas que un sismo producía sobre una estructura se determinaban con una expresión, que por su simplicidad utilizamos para aclarar los factores que intervienen en el cálculo de esta fuerza. Hoy en día su determinación es diferente y debe efectuarse de acuerdo con la norma vigente.

$$V = ZIKscW$$

La fuerza total V debida a un sismo que actúa sobre una edificación según el código SEAO de 1.974 dependía de los siguientes factores:

Z : Localización geográfica, pues hay regiones que tienen mayor amenaza sísmica que otras.

En las zonas muy sísmicas $Z = 1,0$

I : Depende de la importancia del edificio por ejemplo 1,5 para hospitales y 1,0 para casas.

K : Depende del tipo de estructura 0,67 para pórticos y 1,33 para casas con muros.

S : Considera la amplificación del suelo y sería 1,0 para roca y 1,5 para arenas o arcillas.

C : Depende del número de pisos de la construcción.

De multiplicar estos factores finalmente se podría obtener, por ejemplo para un caso específico que $V = 0,2 W$, es decir que al producirse un sismo, aparecerían unas fuerzas inerciales (ver Figura 7.) iguales al 20% del peso de la construcción y que ésta debería estar en capacidad de transmitir esta fuerza o de lo contrario se produciría su daño o colapso.

Es claro que existe un factor que incide de manera importante en las fuerzas que debe soportar una construcción y es su peso (W en la expresión) : Para un mismo sismo, mientras más liviana sea la construcción menores serán las fuerzas sísmicas que actuarán sobre ella y por ser éste un factor que depende del proyectista, podemos, por lo tanto, enunciar la quinta regla básica para construcciones sismo resistentes:

Regla 5

Debe disminuirse al máximo el peso de la construcción.

Es importante anotar que además de los factores indicados, existe otro que tiene gran influencia en la respuesta de una casa ante un sismo y es su forma: casas con plantas o elevaciones irregulares (Figura 14) son más susceptibles a sufrir daños y de ahí sale la sexta regla básica:

Regla 6

Debe buscarse uniformidad y simplicidad en el planteamiento de las casas.

Recomendable	
Si	No

Figura 14. Las casas con formas regulares y simples presentan mejor comportamiento y menos posibilidad de daños que las casas irregulares. Si se quiere trabajar con plantas irregulares es conveniente separar las partes con juntas sísmicas.

Otro factor de enorme importancia es “ S ” pues considera el efecto de amplificación local del suelo. Pero, ¿qué significa esto? Los sismos ocurren por fractura de la roca y las ondas viajan por esta hasta llegar a los suelos localizados debajo de las estructuras. Al pasar por ellos sufren una amplificación dependiendo del tipo de suelo que puede aumentar drásticamente las fuerzas que actúan sobre la estructura (Figura 15.1). En general suelos de relleno o de lagunas son especialmente desfavorables. Para comprender el poder destructor de la amplificación examinemos la gráfica de la (Figura 15.2) llamada “espectro de respuesta” por los especialistas y corresponde a las medidas de 2 estaciones sísmológicas de Ciudad de México durante el sismo de 1985.

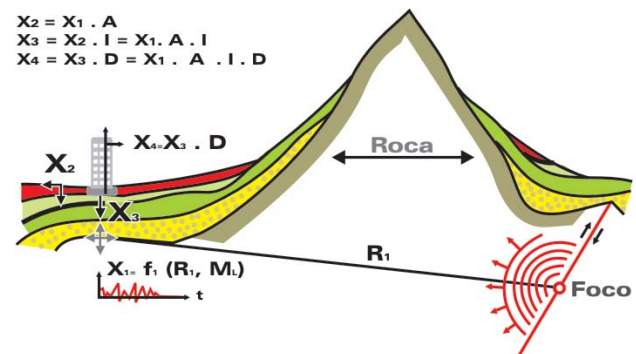


Figura 15.1. Las ondas sísmicas viajan por la roca (x_1) y son amplificadas por las capas de suelo localizadas debajo de las casas (x_2). Ya amplificadas interactúan con la estructura (x_3) produciendo las fuerzas inerciales de diseño (x_4) (Ref. 6).

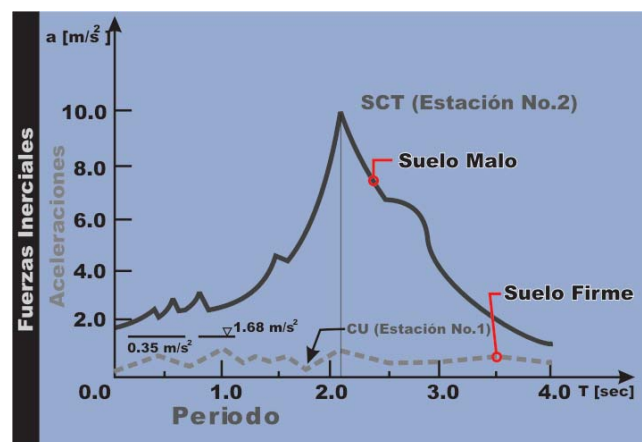


Figura 15.2. Cada construcción tiene un periodo de vibración. Como se desprende de la figura, para cualquier periodo, el registro de la estación SCT en suelo malo fue muchas veces superior al de la estación CU en suelo firme y por lo tanto las fuerzas ocasionadas por el sismo en los edificios en suelos malos fue muchas veces mayor que en los suelos buenos (Ref. 7).



No es necesario entrar en detalles, pero se ve fácilmente que el registro de la estación SCT es muchísimas veces mayor que el de la estación CU. Como se dijo, las dos estaciones estaban localizadas en la misma ciudad, pero la SCT en la zona de la antigua laguna donde está todo el centro de la ciudad y la CU en las montañas rocosas que bordean el valle. Obviamente los edificios y casas del centro se vieron afectados por fuerzas muy superiores a las localizadas en las colinas y como era de esperarse, el daño se concentró prácticamente en el centro donde se derrumbaron 5000 estructuras. ¿Cuál fue la razón para que esto sucediera? La respuesta es que hay suelos que amplifican enormemente los sismos y con ello someten las estructuras a fuerzas muchas veces mayores que las de diseño. Parece entonces lógica la siguiente regla :

Regla 7

Deben evitarse las construcciones en suelos de rellenos o que por estudios se conozca que amplifiquen irregularmente los sismos.

Si llamamos T_s el período del suelo y T_e el de la estructura, de la gráfica 15.3 se puede ver en qué forma se amplifican las fuerzas. Cuando $T_s/T_e = 1,0$ esta amplificación es de 5 y se tendría el fenómeno llamado resonancia, el cual causaría enormes daños o la falla a la construcción.

El ejemplo de la figura 15.4 nos ayuda a entender el concepto de período y para el efecto supongamos que empezamos a halar el poste el cual se deforma, al soltarlo, se deformará en un movimiento de vaivén. Si tomara 1 segundo en ir y volver al punto inicial, diríamos que el período es de 1 segundo. De esta forma, si quisiéramos tumbarlo, rápidamente aprenderíamos cual es su forma "natural" de vibrar y con pequeñas fuerzas iríamos produciendo grandes deformaciones, hasta que finalmente fallaría.

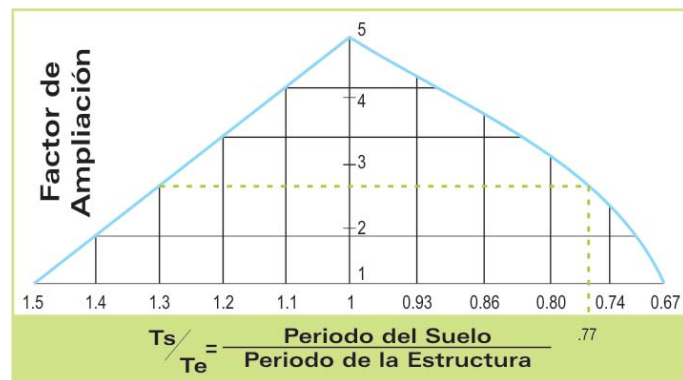


Figura 15.3. Mientras más se acerque el período de la construcción al del suelo mayores serán las amplificaciones de las fuerzas sísmicas y con esto los daños y colapsos. Como no se puede modificar el período del suelo, debe tratarse que el período de la estructura T_e , el cual si podemos manipular, difiera del correspondiente al suelo T_s (Ref. 4).

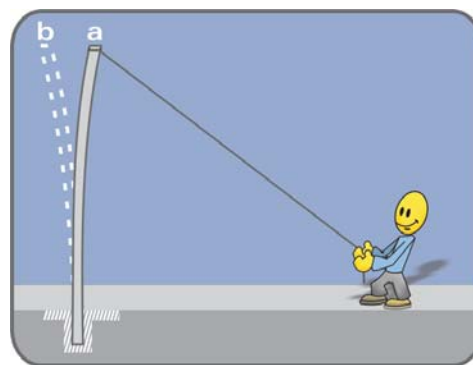


Figura 15.4. El tiempo que el poste tarda en recorrer el camino a - b - a es llamado su período "natural" de vibración. La palabra "natural" se usa para indicar que es una propiedad natural de la estructura que depende de su rigidez y masa (Ref. 4).

¿Que es un diafragma?

Con frecuencia se oye mencionar en la terminología sísmica que una losa, una cubierta o las cimentaciones deben comportarse como un diafragma rígido en su plano. Lo que aquí se pide es que todas las piezas que conforman el elemento, por ejemplo, los prefabricados de una losa, estén debidamente unidos entre sí, para que al verse actuados por una fuerza sísmica se comporten como una unidad y puedan permitir sin contratiempos el "viaje" de las cargas (Figura 16).

La octava regla sismo resistente sería :

Regla 8

Las fundaciones, la losa y la cubierta deben unirse (amarrarse) debidamente de tal forma que actúen como una unidad (efecto de diafragma).



Figura 16. Si las tablas que conforman la mesa estuvieran sueltas entre sí, al empujarlas cada una se desplazaría en forma diferente. Si las unimos de tal forma que estén obligadas a desplazarse en conjunto, decimos que hemos logrado que la tapa de la mesa se comporte como un diafragma.

Algunas nociones sobre resistencia de materiales

Como se mencionó, una casa debe tener muros (o en casos excepcionales pórticos) resistentes por lo menos en dos direcciones perpendiculares. En general, en las casas, los muros longitudinales son largos y suficientes y no plantean ningún problema. No sucede lo mismo con los muros transversales generalmente pocos y muy cortos. Pero, ¿que importancia tiene la longitud de los muros? La respuesta es: ¡mucho!. El ejemplo de la figura 17 aclarará este importante aspecto. Para el caso específico de los muros de una casa la figura 18 cuantifica, cuánto más eficiente es una pared por ejemplo de 2,0 m de longitud con relación a una de 1,0 m.

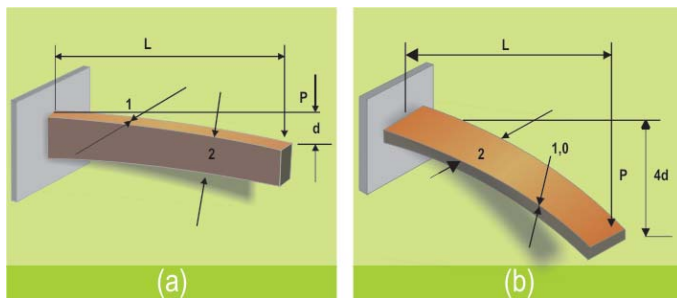


Figura 17. Si observamos con detenimiento las vigas de las figuras a y b, de igual luz L, igual sección 1 x 2, del mismo material y que deben soportar la misma carga P, es intuitivo que la viga a) resiste mejor las cargas que la b), a pesar de que son iguales y lo único que hemos variado es su posición. ¿Cual es la razón de esto? El ingeniero sabe que la resistencia depende de una propiedad geométrica llamada "momento de inercia I" quien es la responsable de este aumento en la resistencia. Para elementos rectangulares I es igual a:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

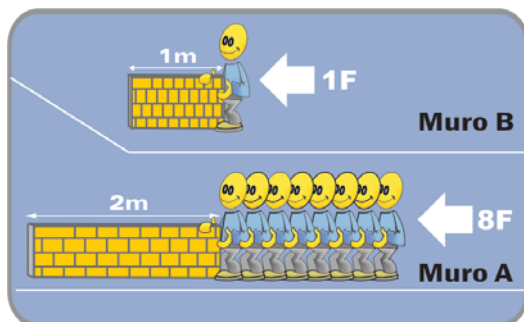


Figura 18. Eficiencia de muros

Relación I muro A = 0,15 = 8
 I muro B 0,01875

El muro A, con sólo un metro más de longitud que el B, resiste una fuerza 8 veces mayor.

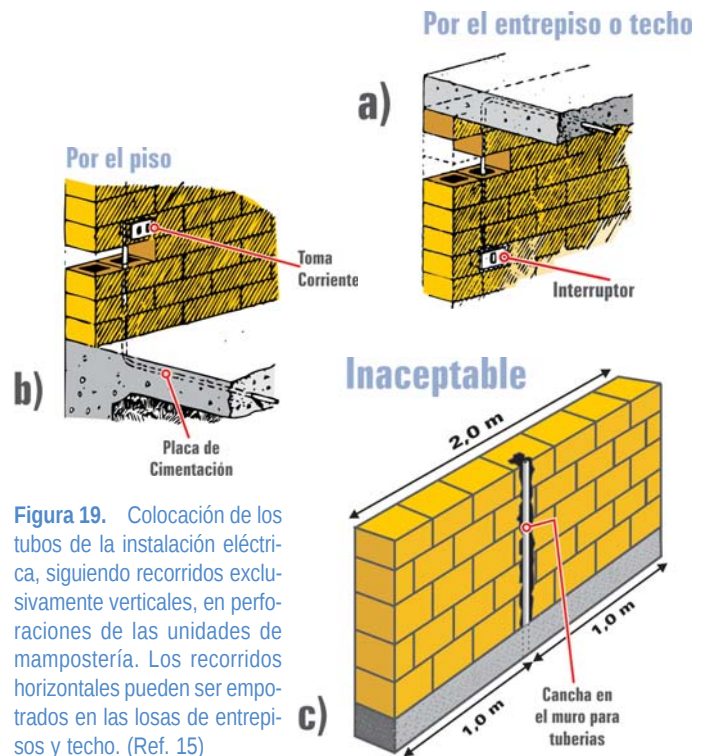


Figura 19. Colocación de los tubos de la instalación eléctrica, siguiendo recorridos exclusivamente verticales, en perforaciones de las unidades de mampostería. Los recorridos horizontales pueden ser empujados en las losas de entrepisos y techo. (Ref. 15)

Parece increíble, pero con sólo aumentar en 1,0 metro el muro, es decir, duplicando su longitud, hemos aumentado en 8 veces su resistencia, es decir su capacidad de resistir las fuerzas horizontales inducidas por los sismos.

Visto de otra forma, si en un proyecto determinado el calculista contó con un muro de 2,0 metros de longitud para resistir los sismos y por el sistema constructivo se hace una cancha en el muro que lo divide en dos de 1,0 metro, (Figura 19c). su eficiencia se reduce a la cuarta parte, y la casa, durante el sismo de diseño quedará severamente dañada o fallará.

Quedamos algo perplejos pero si entendemos esta propiedad podremos hacer más eficientes nuestros proyectos y es lógica entonces la novena regla sismo resistente:

Regla 9

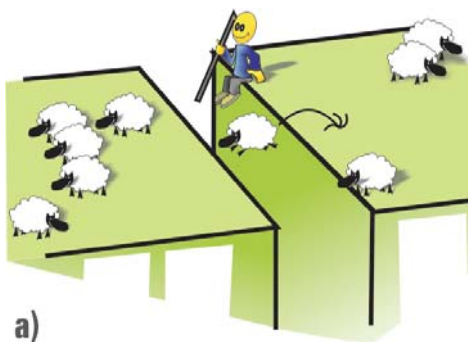
Debe procurarse que los muros estructurales sean lo más largos posibles ojalá 1,5 metros o más, pero nunca menos de 1,0 metro.

Esta regla indirectamente nos está recomendando limitar al máximo las dimensiones de puertas y ventanas con el fin de lograr que las paredes queden lo menos perforadas posibles y por lo tanto sean más eficientes.

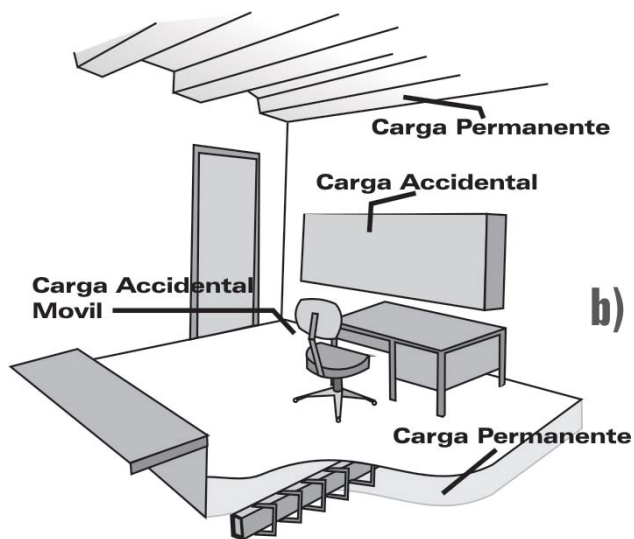




Fuera de las cargas horizontales ocasionadas por los temblores (o vientos) las casas se ven actuadas por cargas verticales ya sean el peso propio, acabado, particiones o las cargas de uso o vivas (Figura 20). Igual que para las cargas sísmicas una buena cantidad y disposición de muros mejora el comportamiento para cargas verticales, evitando por ejemplo con vanos pequeños la presencia de grandes presiones en las esquinas (Figura 21.) que pueden inducir agrietamientos y con esto debilidades en los muros rebajando su eficiencia para resistir las fuerzas sísmicas.



a)



b)

CARGAS VIVAS

Figura 20. Además de las fuerzas horizontales, las casas deben resistir fuerzas verticales. (Fig. 20b , Ref. 8)

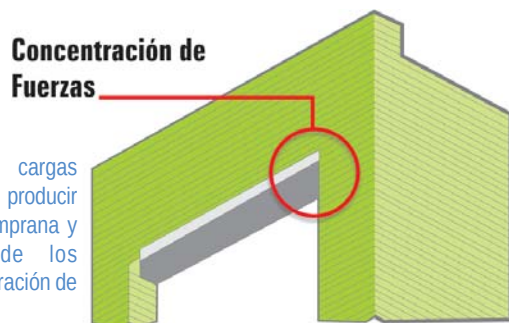
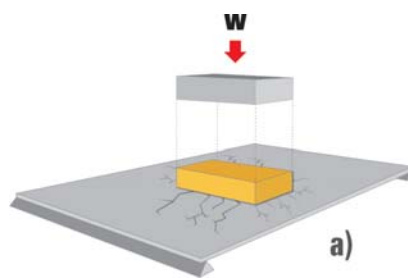


Figura 21. Las cargas puntuales pueden producir una fisuración temprana y debilitamiento de los muros, por concentración de fuerzas.

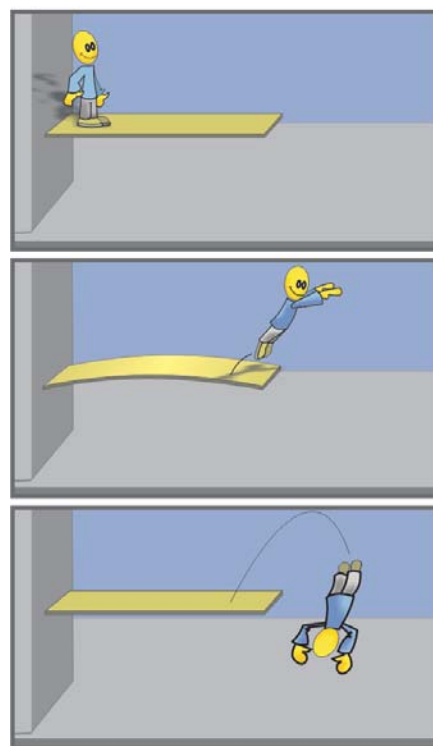
Acerca del comportamiento de los materiales :

Ductilidad - Capacidad de disipación de energía

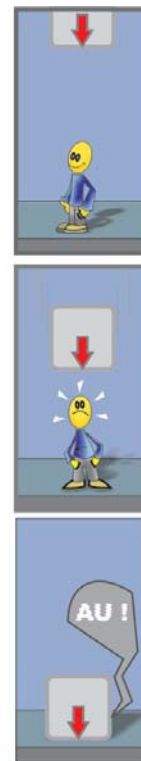
La forma como responden los materiales cuando se les aplica una carga no es uniforme. Algunos materiales llamados frágiles como el vidrio, el concreto y la mampostería no reforzada fallan sin "avisar" por medio de deformaciones, que lo van a hacer. Otros por el contrario, llamados dúctiles se deforman "avisando" la falla y tienen además la propiedad de disipar energía, una característica de enorme importancia en construcciones sismo resistentes. Estos últimos se llaman elásticos si recuperan su forma después de retirar la carga o plásticos si no lo hacen (Figura 22).



a)



b)



c)

Figura 22. Los materiales pueden ser frágiles (a) o dúctiles (b) y (c). La utilización de estructuras frágiles en zonas sísmicas es peligroso, pues fallan sin aviso.

Dos de los materiales más ampliamente utilizados en construcción, el ladrillo y el concreto son materiales frágiles, sin embargo cuando se refuerzan debidamente cambian su comportamiento frágil a dúctil :

El refuerzo, además de resistir las fuerzas de tracción que es su función principal, dota a las construcciones de esa ductilidad permitiéndoles que disipen energía. Pero, ¿porqué es importante que una estructura disipe energía? La respuesta se obtuvo después de analizar muchas construcciones debidamente reforzadas que resistieron sismos mucho mayores que los de diseño, aspecto que intrigó a los investigadores durante mucho tiempo. Hoy en día se conoce, que esta mayor resistencia se debe a que por mecanismos internos, la estructura disipa parte de la energía que le transmiten los sismos. Esta propiedad juega un papel fundamental en el diseño sismo resistente moderno.

Como conclusión lógica tendríamos la siguiente décima regla:

Regla 10

En zonas sísmicas todos los muros de las casas deben ir debidamente reforzados.

La madera presenta buenas condiciones de disipación de energía y es un material adecuado para construcción en zonas sísmicas, siendo de fundamental importancia una correcta ejecución de las uniones, con detalles que garanticen una acción en conjunto de toda la estructura y permitan que esta exhiba su capacidad de disipación de energía.

Aunque los detalles de unión puedan variar en cada región y según el tipo de madera, hay algunas que se han estandarizado, siendo prácticamente obligatorio su uso, por ejemplo los conectores de anillo (Figura 23).



Figura 23. Las estructuras de madera para su correcto funcionamiento requieren de detalles especiales, tales como los llamados conectores de anillo que garantizan un trabajo adecuado, sin desgarramiento de las uniones. (Ref. 9).

¿Como se agrieta una casa durante un sismo?

Los sismos normalmente producen en las casas agrietamientos típicos como se indica en la figura 24.

Analicemos un poco más el comportamiento en la casa de un piso, considerando inicialmente que no tiene cubierta, ya sea porque falló por estar mal anclada a los muros, o porque no existen vigas de amarre debidamente traslapadas sobre los muros. En este caso (Figura 25a) al actuar la fuerza sísmica sobre la pared A, rápidamente se forman grietas de flexión haciendo completamente ineficientes estas paredes, las cuales fallan fácilmente, debiendo ser resistidas las fuerzas únicamente por la paredes B, las cuales a su vez tienden a fisurarse como se indica en la (figura 25b). La casa así agrietada tiene una alta probabilidad de colapso. La falta de amarre superior conduce además a fallas en dirección de la fuerza como se muestra en la figura 26.

Figura 24. Los agrietamientos producidos por los sismos son típicos. Su análisis nos permite concluir qué refuerzos son necesarios para evitar que se propaguen y causen el colapso de la vivienda. (Ref. 10).

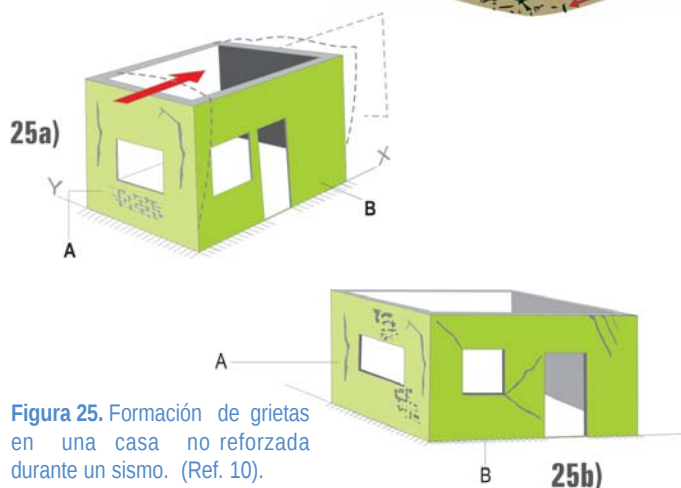
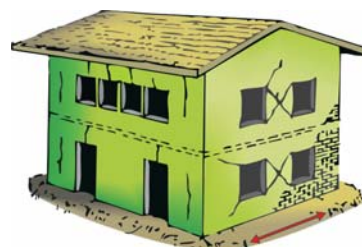


Figura 25. Formación de grietas en una casa no reforzada durante un sismo. (Ref. 10).

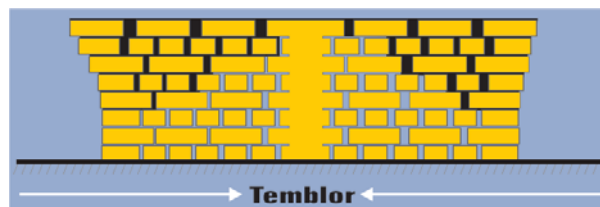


Figura 26. Un muro sin viga de amarre superior, aún sin vanos, falla de la forma indicada. (Ref. 11)



En la formación de grietas y su incremento, influyen muchos factores adicionales a la ausencia de un amarre superior, entre otras la presencia de grandes vacíos para puertas y ventanas, una mala calidad de los materiales y una mala construcción, lo cual ha sido corroborado en ensayos de laboratorios (Figura 27).

Observaciones postsismos, ensayos de laboratorio y estudios teóricos (Figura 28) indican con claridad que la resistencia de las casas se aumenta significativamente, cuando todos los muros se coronan con vigas de amarre debidamente traslapadas en sus uniones de tal forma que con la cubierta formen un diafragma que obligue a todos los muros a trabajar conjuntamente (efecto de cajón Ver regla 8.)



Figura 27. Con el fin de complementar los estudios teóricos, en los laboratorios de todo el mundo se ensayan paredes, tratando de considerar el mayor número de variables y poder de esta forma proponer metodologías de diseño (Ref. 12).

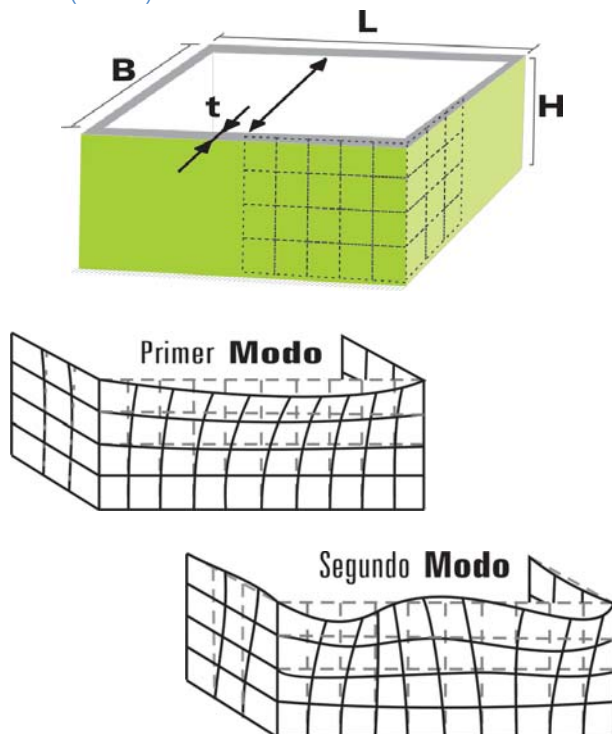


Figura 28. Estudios teóricos confirman los resultados experimentales (Ref. 13).

Además de las vigas de amarre es fundamental que la cubierta quede unida a ellos (Figura 29) por un lado para garantizar la acción de diafragma y por el otro para evitar la falla prematura de las cubiertas (Figura 30). Es importante mencionar que en casas con planta irregular, se producen además torsiones que empeoran sensiblemente los procesos de agrietamiento y falla aquí descritos y por esto, como ya se mencionó, deben evitarse en zonas de amenaza sísmica media y alta (Figura 31).

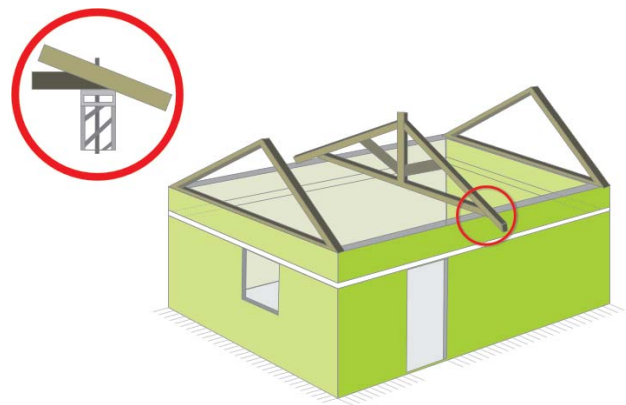


Figura 29. La cubierta debe unirse a los muros y vigas de amarre para poder garantizar un trabajo en conjunto de toda la casa y lograr el "efecto cajón" uno de los principales aspectos requeridos para la supervivencia de una casa en un sismo severo. (Ref. 10).

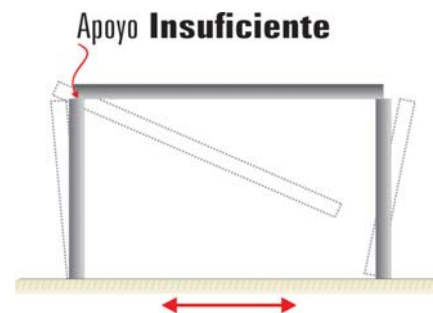


Figura 30. La caída de la cubierta o losa por mal amarre o anclaje, obliga a los muros a trabajar en forma independiente, perdiéndose con esto enormes reservas de resistencia. (Ref. 10).

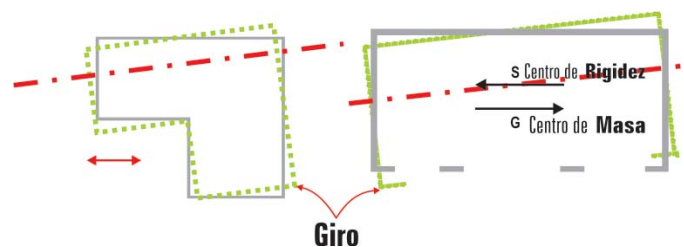


Figura 31. La irregularidad en la planta y con esto en los elementos resistentes produce torsiones, además de las traslaciones normales en las casas, las cuales pueden acelerar el proceso de agrietamientos y fallas. (Ref. 10).

¿ Que otros refuerzos necesita una casa ?

La observación de los agrietamientos de las figuras 24 y 25 fácilmente nos permiten concluir en qué sitios deben reforzarse las casas. La figura 32 da indicaciones al respecto. Es importante mencionar que la presencia de las columnas de amarre es fundamental para el trabajo de los muros como mampostería confinada (Ref. 14).

Es pertinente mencionar en este punto, que las construcciones existentes que muestran algún grado de deterioro (Figura 33) deben reforzarse con el fin de evitar que un próximo sismo las destruya.

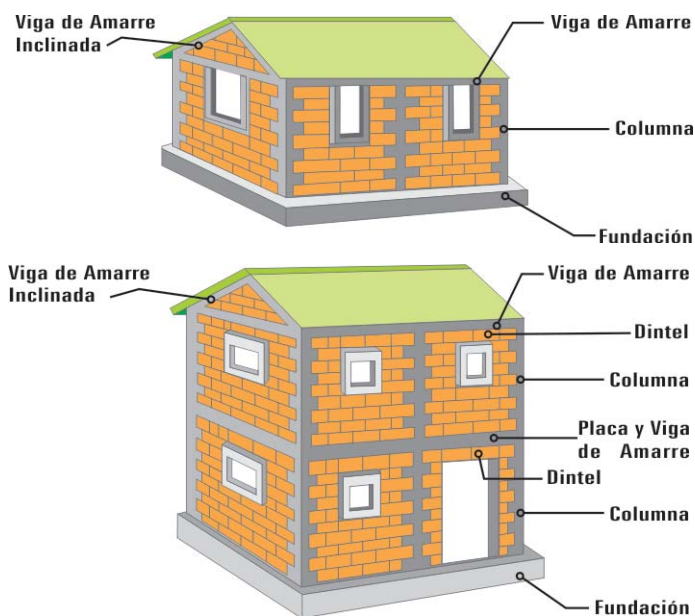


Figura 32. Disposición típica de columnas y vigas de amarre en casas de 1 y 2 pisos.



Figura 33. Casas agrietadas por procesos normales de envejecimiento o por defectos de construcción son mas susceptibles de ser dañadas severamente o colapsadas durante un sismo (Sin referencia).

Resumen de las 10 reglas basicas de la construccion sismoresistente para casas de 1 y 2 pisos.

Regla 1

Una casa se comportará más como se construyó que como se diseñó y de ahí la importancia de unos buenos materiales y de una excelente construcción.

Regla 2

En toda casa, deben disponerse suficientes muros en dos direcciones perpendiculares entre sí.

Regla 3

Los muros estructurales deben ser continuos (colineales) en primer y segundo piso.

Regla 4

Una buena cimentación es fundamental para lograr un buen comportamiento sísmico.

Regla 5

Debe disminuirse al máximo el peso de la construcción.

Regla 6

Debe buscarse uniformidad y simplicidad en el planteamiento de las casas.

Regla 7

Deben evitarse las construcciones en suelos de rellenos o que por estudios se conozca que amplifiquen irregularmente los sismos.

Regla 8

Las fundaciones, la losa y la cubierta deben unirse (amarrarse) debidamente de tal forma que actúen como una unidad (efecto de diafragma).

Regla 9

Debe procurarse que los muros estructurales sean lo más largos posibles ojalá 1,5 metros o más, pero nunca menos de 1,0 metro.

Regla 10

En zonas sísmicas todos los muros de las casas deben ir debidamente reforzados.

REFERENCIAS

1. Alan Davis , "El Interior de la Tierra", 2ª Edición - Sigmar, Buenos Aires, 1976.
2. Selecciones de Scientific American con Introducciones de J. Tuzo Wilson, "Deriva Continental y Tectónica de Placas", 2ª Edición - H. Blume, 1974.
3. James M. Gere & Haresh C. Shah, "Terra Non Firma", W. H. Freeman and Company, New York, 1984.
4. José Creixell M. "Construcciones Antisísmicas y Resistentes al Viento", 3ª Edición - Limusa, México, 1993.
5. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento, "Asismicidad en Viviendas Económicas", 1ª Edición - Bogotá 1959.
6. Egor P. Popov, "Structural Engineering and Structural Mechanics" , Prentice - Hall, 1980.
7. Thomas Paulay, Hugo Bachmann & Konrad Moser, "Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten", Birkhäuser 1990.
8. Mario Salvadori & Robert Heller, "Le Strutture in Architettura", 1ª Edición - Etas Kompass, 1964.
9. Linton E. Grinter, PH.D., C.E., "Elementary Structural Analysis and Design", The Macmillan Company, New York, 1942.
10. The International Association for Earthquake Engineering, "Basic Concepts of Seismic Codes", Vol. I, 1980.
11. Attilio Arcangeli, "La Estructura en la Arquitectura Moderna", Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1965.
12. Jack R. Benjamin, A. M. ASCE & Harry A. Williams, " Muros Confinados y Propiedades de Muros", Journal of the Structural Division, July 1958.
13. Enrique Bazán, Marciano Padilla & Roberto Meli, "Seguridad de Casas de Adobe ante Sismos", Universidad Nacional Autónoma de México, Junio 1980.
14. Mejía C. Luis Gonzalo, "Manual de Especificaciones para Construcciones de Uno y Dos Pisos", Medellín, 1999.
15. Gallegos, Hector "Albañilería Estructural", Pontificia Universidad Católica del Perú, 1991.
16. Profesor Wenzel, "Estructuras para Arquitectos" U. de Karlsruhe 1974.
17. Bolt, A. Bruce "Serie Reverté Ciencia y Sociedad", Terremotos, Editorial Reverté, S. A., España, 1981.

Notas acerca del Diseño Sismoresistente para casas de **1 y 2 pisos**



Composición Artística del sabio Chang-Heng (año 132 D.C.) observando su sismoscopio, es decir, el primer "registrador de terremotos. (Referencia 17.).