



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS Y
MITIGACION DE DESASTRES



Texto de la Conferencia presentada en el Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas
Realizado en Lima - Perú, del 20 de Agosto al 9 de Setiembre de 1989

" FILOSOFIA BASICA EN EL DISEÑO SISMO-RESISTENTE
PARA EQUIPOS MEDICOS Y FACILIDADES "

Dr. Makoto Watabe

Profesor de la Universidad de Tokyo Metropolitan,
Departamento de Arquitectura, Facultad de Ingeniería

I. RESUMEN.-

Sobre el concepto de consideración especial de equipos y facilidades médicas para el diseño sismo-resistente se hace primero una introducción. Basada en la experiencia del personal médico debido a los sismos severos pasados, estudios experimentales y análisis dinámicos, el comportamiento de facilidades médicas, equipos y estructuras así como el comportamiento de personas son estimados. Luego se propone una clasificación de facilidades, equipos y estructuras. De acuerdo con esta clasificación los niveles de los movimientos sísmicos del suelo son definidos. Se presentan algunos procedimientos para estimar o para obtener parámetros de diseño de movimiento del terreno en sismos tales como amplitudes picos, duración y características del espectro así como el concepto de ejes principales de los sismos. Es propuesto el criterio de diseño sismo-resistente para facilidades médicas, equipos y estructuras, explicaciones y tablas concluyen este artículo.

2. INTRODUCCION.-

En caso de gran desastre, una de las funciones claves y facilidades para rescate es la médica, tal como un hospital. Sin embargo, las facilidades médicas no deben estar sujetas a daños sustanciales los cuales pueden hacer perder las funciones médicas necesarias en caso de emergencia debido a un terremoto fuerte. Primero que todo, imaginemos el desastroso daño de hospitales, desde varios aspectos, debido a un severo movimiento sísmico. Luego es propuesto la filosofía básica para el diseño sísmico de estructuras Y facilidades así como de equipos.

3. COMPORTAMIENTO DE EQUIPOS MEDICOS E INSTALACIONES DURANTE UN SISMO SEVERO

3.1 Movimiento del suelo por sismo.-

Existen varias evidencias que muy pocas personas jóvenes podían percibir o por decir, predecir los movimientos sísmicos unos pocos segundos antes de la real percepción (por la mayoría de gente) de los movimientos verticales. Debido a la fractura de la falla, ondas P y S son transmitidas, luego son generadas las ondas superficiales Love y Rayleigh. Los movimientos sísmicos catastróficos generalmente empiezan con fuertes movimientos verticales causados principalmente por las ondas P las cuales viajan con mayor rapidez que las ondas S. Si el fallamiento es bastante cerca al lugar (este tipo de sismo es llamado "sismo cerca al campo") la intensidad de la componente vertical es más grande que la componente horizontal. La aceleración pico, debido a este sismo cerca al campo con magnitud, por ejemplo, de 6.5, puede ser no menos de 500 cm/seg^2 , sin embargo, el periodo predominante de las ondas P debido a este tipo de sismo cerca al campo no es más de 0.2 segundos. Luego las ondas S con amplitudes grandes actúan en el subsuelo y las estructuras. La aceleración pico, velocidad y desplazamiento debido a terremotos mayores se estima que son del orden de 500 cm/seg^2 , 50 cm/seg y 50 cm . respectivamente. La duración de las ondas S está muy correlacionada a la magnitud del sismo y usualmente menos de 1 minuto. Luego continúan las ondas de superficie. Principalmente el periodo predominante de ondas superficiales son bastante grandes con grandes amplitudes de desplazamiento, aunque con menos aceleración pico, en com

paración con las ondas S. La duración de las ondas superficiales pueden razonablemente exceder dos o tres minutos debido a sismos mayores. En caso de magnitudes grandes, 7 o 8, el periodo predominante de las ondas S y de superficie en terminos de aceleración estan dentro de un rango de 1 a 2 segundos y entre 2.5 a 5 segundos respectivamente.

3.2 RESPUESTA DE EDIFICIOS MEDICOS

Algunos resultados analíticos de respuesta de dos hospitales debido a movimientos sísmicos severos se hará una introducción aquí. Ambos son dos hospitales de Unviersidades, uno ubicado en Tokyo y el otro en Osaka y llamemos a estos, el hospital TKY y el hospital OSK respectivamente, el número de pisos es de 17 pisos el hospital TKY y de 14 pisos el hospital OSK y las estructuras son de acero y de acero y concreto armado (compuesto) respectivamente. Los periodos característicos de ambas estructuras son presentados en la Tabla 1. Requisitos de sismos grabados fueron seleccionados para ser usados en el análisis de las estructuras. Se tuvo dos niveles de sismos severos, los de bajo nivel de movimiento sísmico son aquellos los cuales se esperan ocurran razonablemente durante el tiempo de vida de los edificios. 50 años de periodo de retorno, y los de alto nivel, son los máximos posibles que pueden ocurrir en el lugar.

Las velocidades y aceleraciones pico, con nombres de identificación de los acelerogramas son presentados en la Tabla 2. Debido a las ondas P en la componente vertical transmitida por fuerte sismo cerca al campo, pequeñas sustancias tales como las botellas de medicina se caerán, sin embargo no se pueden anticipar daños serios en las estructuras. Las ondas S siguientes actúan principalmente en el modo fundamental (primer) de vibración en el rango elástico en el para el nivel 1 y en el rango más alla de la capacidad de rotura de elemento de concreto armado para el nivel 2, indicados en la Tabla 2.

En la Tabla 3 son calculados y presentados los valores picos de respuestas de aceleración, velocidad y desplazamiento en la mitad del edificio y cercano a los niveles más altos. En las figuras 1 y 2 se

ilustran los gráficos tiempo-historia de respuesta de aceleración y desplazamiento respectivamente del piso 16 del hospital TKY. De acuerdo con estas tablas y figuras la máxima aceleración de respuesta puede exceder los 1000 cm/seg² en los pisos últimos del hospital, mientras que la máxima velocidad y desplazamiento de respuesta en el mismo nivel se pueden estimar cercanos a 200 cm/seg y 50 cms. respectivamente. La duración para alcanzar estos valores picos toman no más de 10 segundos desde que son captados por los acelerógrafos. Es también posible observar en la figura 1 de respuesta de aceleraciones que la respuesta de la estructura del hospital es contribuida casi por el modo fundamental y en menor contribución por el segundo y tercer mundo. La duración total de la respuesta principal es menor de 1/2 minuto para este caso analítico. Se estima el factor de ductibilidad en 1.65 para el hospital TKY en el piso 15, como se muestra en la figura 3. Las conexiones con pernos de alta resistencia en vigas rechinan y luego suena estruendosamente como una arma de fuego en cada pequeño deslizamiento entre 2 planchas empernadas. En la figura 4, la relación entre la máxima fuerza cortante de piso y el desplazamiento de piso, se muestran. En esta figura (4) el primer punto en la esquina corresponde a la capacidad de rotura de elementos de concreto armado del hospital OSK. Debido a un sismo severo, sonidos de aplastamiento y roturas en las conexiones de vigas y columnas pueden ser escuchados. Elementos no estructurales tales como cielo-raso, tabiques y puertas pueden estar sujetas a daños menores.

3.3 RESPUESTA DE EQUIPOS MEDICOS Y FACILIDADES

Dos comentarios de enfermeras en labores durante el terremoto de Nihonkai Chubu en 1983 serán presentados primeramente. " Desde la mañana, estaba siendo realizada una operación de estrechez congénita, la paciente, una bebe de 26 días de nacida estaba con anestecia general.

Luces de lámpara astral enfocaban los pequeños órganos y monitores, habían bolsas de oxígeno también cerca del mediodía, se iniciaron unos movimientos verticales, movimientos sísmicos movieron los brazos de las lámparas astrales cerca de 180° grados, mesas mecánicas y mesas de limpieza con garruchas se movieron alrededor de

la amplitud de las ondas sísmicas, un sujetador ayudó a que la botella de goteo de infusión y la lámpara astral se movieran. Personal en el trabajo de operación se estuvieron mirando unos a otros para confirmar la intensidad del movimiento. La duración del terremoto me pareció muy largo ". " Justamente después de terminar el reparto de los almuerzos y los pacientes empezaron a almorzar, se sintió grandes ruidos y vibraciones, se fracturaron ventanas, frascos planos se desparramaron y se volcaron muebles, yo no pude moverme por un momento. El personal se desplazó para proteger a los pacientes gravemente enfermos o con infusión por goteo, se volcaron esterilizadores termilos medidores de oxígeno, relojes fueron fracturados, especialmente muchos de los televisores se derrivaron, una joven madre, de pocos días de alumbramiento estuvo tratando de proteger a su bebé recién nacido". En la sala de operaciones, empezaron a caerse, moverse o sacudirse violentamente la mesa de operación, lámparas astrales, mesas mecánicas, varios monitores, tuberías o sondas de oxígeno o de gas de anestesia, soportes de goteadores de infusión, etc. Los filtros hepa para limpiadores biológicos, el departamento central de abastecimiento de esterilizadores (CSSD) o la unidad abastecedora de esterilizadores (TSSU) deberán funcionar durante y después de un sismo severo. Las incubadoras de las unidades de cuidados intensivos de los recién nacidos (NICU) se pueden mover y chocar entre ellas, algunos de los cuales puede volcarse con infantes. Las facilidades médicas de alta tecnología médica, tales como aceleradores lineales, exploradores tomográficos computarizados, resonancias magnéticas nucleares e imágenes de resonancia magnética podrían parar su funcionamiento inmediatamente de manera de prevenir el mal funcionamiento de esta, los cuales pueden ser peligrosos para los pacientes y cirujanos, como se ilustró en la (figura 4), la deformación de piso puede ser 2 o 3 cm y las mayólicas de las paredes y los tabiques en los cuartos de operaciones o bio-limpieza pueden agrietarse, los cuales pueden causar la contaminación del ambiente. Dos pacientes con enfermedades mentales en el departamento de psiquiatría quienes se encuentran extraviados fuera de sus cuartos de confinamiento pueden traer como consecuencia un incremento de confusión. Principalmente debe suprimirse el abastecimiento de energía eléctrica y algunas líneas eléctricas esen

ciales deberán ser abastecidas con un generador interno a petróleo. Líneas vitales como el servicio telefónico, agua, gas podría interrumpirse el abastecimiento. De acuerdo con algunos recientes trabajos de investigación sobre los fenómenos de deslizamiento y volteo debido a las vibraciones random⁺² el criterio de los valores de entrada para tales fenómenos pueden ser definidas como se explican en la (figura 5). Otro trabajo experimental de investigación en evaluación de riesgo sísmico de equipos médicos con ruedas^{*3} sugiere que los equipos médicos con 4 ruedas tales como incubadoras se deben prevenir el volteo mediante la sujeción de dos ruedas ubicadas diagonalmente mientras que las otras dos deben permanecer libres (figura 6), aunque para mayores distancias ellas pueden deslizarse o rotar horizontalmente (figura 7) con el riesgo de colisión unas a otras. En la figura 6, B/H es la relación de la mitad del ancho entre la altura al centro de gravedad, los valores se encuentran en un rango de 0.12 a 0.27 en el caso de equipos médicos principales. Las ruedas de vehículos así como las personas en ellos parecen ser protegidas contra los movimientos severos de acuerdo con algunos estudios experimentales.

3.4 COMPORTAMIENTO HUMANO

El pánico es el factor más crítico en el comportamiento humano durante o después de un sismo severo. Aún una persona normal será poseída por pánico, si él escucha chirridos de sonidos de rotura de muros de concreto armado o un sonido como un disparo debido al deslizamiento de la fricción entre pernos de alta tensión y observa muchos muebles, tales como camillas y gavetas con televisión que se voltean y se deslizan con olor a humo. Sonidos, escenarios críticos y olores pueden efectivamente incrementar el temor al movimiento sin alguna información y dirección.

Mientras tanto la gente puede ser racional si está preocupada por la idea de que el edificio es suficientemente capaz de resistir sismos severos y se puede conducir en una manera normal. Con la misma intensidad del movimiento, en un hospital, los pacientes pueden comportarse con bastante calma con ayuda del personal y si algunos de los pacientes se quedan en el lugar y otros son evacuados a los lugares de emergencia asignados y en el otro hospital algunos de los pacien

cientes van a prisa a las escaleras de manera de escapar del edificio y otros pacientes, algunos impedidos seriamente, tratan de ir a prisa a las escaleras y salir debido a que no hay información ni dirección o guía. Eventualmente muchos pacientes corren hacia las escaleras, resultando una tragedia con muchos de ellos heridos por otros pacientes. De modo que el último de los hospitales no puede tener capacidad para aceptar en emergencia a víctimas del terremoto esperados que sean traídas de afuera, porque dentro del hospital puede estar lleno de víctimas debido a la mencionada confusión en el hospital.

4. FILOSOFIA DE DISEÑO

4.1 Clasificación de equipos y facilidades médicas para el diseño sismo-resistente.

Para el diseño sismo-resistente de equipos y facilidades médicas, ellos deben ser clasificados en tres clases:

Clase A: Equipos y facilidades, la pérdida de la función, la cual puede causar efectos fatales directa e inmediatamente a la vida humana y a las estructuras para soportar aquellos equipos y facilidades.

Clase B: Equipos y facilidades, la pérdida de la función lo cual puede tener efectos serios a la vida humana o mantener la vida humana y estructuras para soportar aquellos equipos y facilidades.

Clase C: Otros que A y B

Algunos ejemplos de esos equipos y facilidades se indican en la tabla 4. Como la naturaleza esencial de las facilidades médicas, esto puede soportarse en mente y las actividades de tratamiento médico será repentinamente incrementadas después de el desastre y este factor se podría incluir para una clasificación relevante.

En la Tabla 5 , requerimientos básicos para criterios de diseño como para la deformación y resistencia son referidas. Este criterio ha sido propuesto acá en vista de los muchos factores presentados en el capítulo 3. Algunos otros métodos de clasificación de equipos médi

cos es propuesto seguidamente, *2

I. Tipos Dañinos

Equipos los cuales pueden herir pacientes o personal médico tales como CT scanner, rayos X, incubador NICU, lámparas astrales, camas de operación y camillas.

II Tipos Emergencia.-

Equipos, los cuales pueden causar efectos críticos a la función o examinación médica y no tienen alternativa tales como autoclave, purificación de agua, dialisis, monitor ICU y aparatos de anestesia.

III Tipo Función

Equipos, los cuales son bastante similares al tipo II pero tienen alternativas tales como respirador y un scanner ultrasónico.

IV Tipos Caos.-

Equipos los cuales pueden causar confusión en los alrededores, tales como cama dental, cama de otorinolaringólogo y tubo de baño para un paciente impedido.

4.2 DISEÑO SISMICO

4.2.1 Intensidad del diseño sísmico.-

Basado en la clasificación de los equipos y facilidades, las intensidades del diseño sísmico como las introducidas para análisis estático o dinámico deberán ser determinados, ambos por los modos estocásticos o determinísticos.

Es generalmente aceptado que las fuerzas de diseño sísmico podrían ser estimados (1) para prevención daños estructurales y minimizar otros daños en sismos moderados los cuales ocurren ocasionalmente (nivel 1), y (2) para evitar el colapso o daños serios en sismos severos los cuales ocurren raramente (nivel 2) y luego (3) por una consideración especial en el campo médico, la máxima intensidad creíble o límite superior de intensidad de movimiento sísmico en el lugar de las facilidades médicas se definió (nivel 3) En el modo estático, probabilidad de excedencia para nivel 1, ni

vel 2 y nivel 3 puede ser del 10% - 20%, 1 - 2% y 0.1 - 0.2% para el tiempo de vida (siendo 50 años) de las facilidades médicas relevantes, respectivamente como las indicadas en la tabla 5.

a) Derivación del nivel 1 de diseño sísmico.-

El nivel 1 deriva de la base de sismos históricos que afectaron el área, este puede expresarse como movimiento del terreno teniendo una probabilidad definida o no siendo excedida (20 - 10%) y puede ser derivada usando una aproximación probabilística, o por una falla activa sísmicamente, la cual es evidente a ser activa en años históricos. Este nivel 1 es equivalente a un postulado de el reglamento nacional antisísmico para edificios normales.

b) Derivación del nivel 2 de movimiento sísmico.-

El procedimiento es bastante similar al del nivel 1 en la base de sismos históricos, sin embargo la probabilidad de excedencia puede ser 2 - 1% en lugar de 2 - 10%. La aproximación puede incluir consideraciones sismotectónicas (combinado aproximaciones probabilísticas y sismotectónicas). Si la existencia de una falla activa sísmicamente es evidente la cual puede ser detectado por observaciones microsísmicas o por algunas evidencias que la razón de deslizamiento de la falla es más de 1000 mm. por 1000 años.

c) Derivación del nivel 3 de movimiento sísmico.-

Para aproximación estocástica, el nivel 3 puede ser obtenida por la probabilidad de excedencia de 0.2 - 0.1 % para 50 años, de modo que el periodo de retorno del nivel 3 de los movimientos sísmicos puede ser del orden de miles de años. El nivel 3 puede ser también determinado tomando en cuenta (1) El máximo potencial sísmico dentro de la provincia sismotectónica del área asociada con estructuras tectónicas específicas, (2) El máximo potencial sísmico dentro de la provincia sismotectónica del área no asociada con estructuras tectónicas específicas (3) El máximo potencial sísmico para las provincias sismotectónicas adjuntas asociadas con estructuras tectónicas específicas, (4) El máximo potencial sísmico para las provincias sismotectónicas adjuntas no asociadas con estructuras tectónicas específicas.

4.2.2 Características de los parámetros de movimientos sísmicos

- a) Aspectos generales de las investigaciones de las intensidades de los movimientos sísmicos .-

Bajo el reconocimiento que las características de los movimientos sísmicos son dependientes de los mecanismos fuentes de sismos y de las estructuras a través de las cuales pasan las ondas sísmicas, los valores picos (denotación general por "P") tales como los de aceleración, velocidad y desplazamiento de los movimientos del suelo han sido asumidos en función de la magnitud del sismo (M) y de la distancia al hipocentro (X) o distancia epicentral. Esas relaciones son resumidas como:

$$\log P = a M - b \log x - c \quad (1)$$

donde los coeficientes "a" y "b" están generalmente entre los rangos de (0.5, 1.0) Y (1.0, 2.0) respectivamente.

- b) Máximos valores de movimientos sísmicos en lugares rocosos.

Analizando los 75 registros sísmicos obtenidos en lugares rocosos en Japón, la máxima aceleración horizontal (A^h) y velocidad (V^h) fueron expresadas en término de magnitud sísmica y distancia hipocentral. *4

$$A^h = 10^{0.44 M - 1.38 \log x + 1.04} \quad (\text{en gals}) \quad (2)$$

$$V^h = 10^{0.607 M - 1.19 \log x + 1.4} \quad (\text{en cm/seg}) \quad (3)$$

donde el índice "h" indica la componente horizontal. Por otro lado el radio (D Km) del movimiento secundario es expresado en términos de la magnitud (M);

$$D = 10^{0.353 M - 1.134} \quad (\text{en Km}) \quad (4)$$

Asumiendo que la mitad del valor D es la profundidad del centro de energía liberando y usando la ecuación (2) y (3), la relación entre los valores máximos de aceleración y velocidad y la distancia al epicentro pueden ser expresados como se muestran en las figuras 8 y 9 respectivamente.

- c) Tiempo de duración y función intensidad determinística .-

Como la magnitud de un sismo se hace grande, la longitud de la fa

lla se hace grande, considerando que la velocidad de ruptura de la falla es de valores bastante constantes. Sin embargo, el tiempo de duración de los movimientos sísmicos está cercanamente relacionado con el tamaño del sismo o magnitud del sismo. Muchas definiciones del tiempo de duración han sido propuestas de acelerogramas observados; una de las relaciones entre el tiempo de duración (T_d en seg.) y la magnitud del sismo es;

$$\log T_d = 0.31 M - 0.77 \quad (5)$$

El tiempo de duración de esta ecuación (Hisada y Ando) es el tiempo después del cual el valor pico no excede del 10 por ciento del máximo valore pico de aceleración. La relación de la ecuación (5) es mostrada en la figura 10.

d) Características espectrales de movimientos sísmicos en roca en componentes horizontal y vertical.-

La forma espectral de los registros de movimientos en la superficie rocosa puede ser influenciado por el mecanismo fuente del sismo y la estructura a través del cual pasa la onda sísmica. El espectro de respuesta de velocidad $S(M, X, T)$ de una relación de 5% de amortiguamiento en la superficie rocosa expuesta se asume que es función de la magnitud M y la distancia hipocentral X (Km) en adición al periodo T (seg)

$$\log S_v(M, X, T) = A(T)M - B(T)\log x - C(T) \quad (\text{en cm/seg}) \quad (6)$$

Usando 75 acelerogramas de componentes horizontales obtenidos en superficies rocosas expuestas, los coeficientes $A, B,$ y C para cada periodo son computados a través del análisis de regresión. Las líneas sólidas en la figura 11 muestran los coeficientes $A, B,$ y C para un espectro de respuesta de velocidad de una relación de 5% de amortiguamiento. La línea sólida en la figura 12 son algunos ejemplares de espectro de respuesta de velocidad para una distancia hipocentral de 50 Km. con varios valores de magnitud de sismo. Como para la componente vertical, la relación del espectro vertical al espectro horizontal son investigados. Desde que el número de datos para componentes verticales es limitado, los resultados obtenidos por el uso de 8 acelerogramas es mostrado por la línea partida en la fi

gura II. Esta muestra que el periodo predominante del espectro de componente vertical es menor que el de componente horizontal. El espectro de respuesta con una relación de amortiguamiento diferente a 5% para ambas componentes horizontal y vertical basado en el espectro de respuesta propuesto con 5% de amortiguamiento puede obtener multiplicando el coeficiente de amplificación 7 por la siguiente ecuación; *5

$$\frac{1}{\sqrt{1 + 17 (\xi - 0.05) \exp(-2.5 T/T_0)}} \quad \text{para } T > 0.1 \text{ seg.}$$

$$1.0 \quad \text{para } T \leq 0.02 \text{ seg}$$

Interpolación lineal entre los 2 anteriores valores para $0.02 < T < 0.1 \text{ seg.}$

donde T_0 : tiempo de duración equivalente del movimiento sísmico como función de la magnitud M

$$\log T_0 = 0.31 M - 1.20$$

ξ : relación de amortiguamiento

e) Concepto de ejes principales de movimientos del suelo.-

En este reporte solo un esbozo del concepto de ejes principales de movimiento de suelos es presentado. ** Eje principal es el eje a lo largo del cual no cruzan periodos de covarianza existente y 3 variaciones de periodos diagonales sean el máximo, mínimo e intermedio. Esta propiedad sugiere que es posible simular las tres componentes ortogonales del movimiento del terreno a lo largo de los ejes principales. Los parámetros importantes en el análisis de ejes principales son las direcciones de los ejes principales y la variación de cada componente como para la dirección de los ejes principales, la dirección horizontal o la intermedia o mayor dirección de eje a través de la falla se desliza la zona. También las propiedades estocásticas de las relaciones resultante de variaciones principales menores e intermedias a la variación principal mayor es mostrada en la tabla 6.

f) Parámetros estocásticos para evaluación de diseño sismo-resistente.-

El espectro de respuesta de Velocidad $S_v(M, X, T)$ en la roca puede ser obtenido como se presentó en la ecuación (6). El espectro de respuesta de velocidad como el diseño sismo-resistente en superfi-

cies normales del terreno, sea $S_v(T, \xi)$; puede ser obtenido multiplicando $G(T)$ a S.V. (M, X, T) ;

$$S_v(T, \xi) = S_v(M, X, T) \cdot G(T)$$

donde ξ es la relación de amortiguamiento, T el periodo y $G(T)$ es la función de transferencia de los estratos del subsuelo.

Debido a la fluctuación de la magnitud M y a la distancia hipocentral x , las propiedades de propagación y mecanismo de fuente, variación de $S_v(M, X, T)$ es estimado no menor que 0.7. Variación de $G(T)$ es 0.4, sin embargo, la variación total Var para el espectro de respuesta de diseño puede ser estimada no menor que

$$Var = \sqrt{0.7^2 + 0.4^2} = 0.8$$

4.3 Criterio de diseño.-

- a) Estructuras y facilidades de clase c pueden ser diseñados de acuerdo al código de especificaciones local para estructuras de edificios normales. Estas especificaciones usualmente dan el criterio de diseño tomando en cuenta el nivel I de movimiento sísmico (nivel I EGM). En general, la estructura no colapsará en el nivel 2. La limitación del desplazamiento de peso debido al nivel I EGM puede ser definido al menos como 1/100. Considerando las actividades de rescate después del desastre, estructuras y facilidades de clase c no deben interrumpir o disturbar las actividades de rescate, nuevamente el criterio ha sido resumido en la tabla 5.

- b) Estructuras, equipos médicos y facilidades de clase B pueden ser diseñados principalmente dentro de la resistencia de fluencia contra el nivel I EGM, al menos 10 - 15% sobre la fluencia se puede aceptar, no se debe esperar daños después del nivel I EGM para el nivel 2 de movimientos sísmicos (nivel 2 EGM), la resistencia última puede ser aceptable, sin embargo, la función principal debería mantenerse contra el nivel 2 EGM. Las partes de los elementos estructurales, los cuales tienen menos redundancia tales como, anclaje de pernos serán recomendados se diseñan dentro de la resistencia a la fluencia contra el nivel 2 EGM. Debido al Terremoto de San Francisco - Los Angeles en 1971, colapsaron los garages de las ambulancias, los cuales no pudieron disponerse cuando realmente se necesitaban.

c) Estructuras, equipos médicos y facilidades de clase A puede ser principalmente diseñados dentro de la resistencia a la fluencia contra el nivel 2 EGM, sin embargo, hasta el 20% sobre la fluencia puede ser permitido. El abastecimiento de energía eléctrica es indispensable para mantener el funcionamiento de las facilidades de alta tecnología. Por lo tanto los soportes para baterías deberán ser fijados fuertemente a la pared y la losa de piso y un adicional generador de energía a petróleo deberá prepararse así como una buena cantidad de petróleo deberá almacenarse de manera que los generadores puedan funcionar al menos por una semana, para los períodos de abastecimiento Normal de energía , el abastecimiento de petróleo no será necesario. Para el nivel 3 de movimiento sísmico (nivel 3 EGM), el diseño por resistencia última es aceptable. Se podrá notar que para el nivel 3 EGM, la deformación de piso permisible será hasta 1/100, sin embargo, tuberías o equipos tales como Filtros Hepa o fuentes de vidrio alrededor de la sala de operación deberán ser diseñadas para soportar la fuerza de deformación de 1/100 de las estructuras del edificio, los cuartos herméticos con aire contra la contaminación o el aire tales como el de la sala de limpieza-bio o la sala de operaciones pueden requerir acabados específicos o materiales para las paredes y techos como elementos no estructurales porque los muros estructurales pueden tener posiblemente fisuras debido a la deformación del piso de 1/1000, nuevamente partes de elementos, los cuales tienen menos redundancia tales como pernos de anclaje para lámparas astral o generadores diessel se recomiendan diseñar dentro de la resistencia a la fluencia contra el nivel 3 EGM. Resistencia propuesta, deformación de piso y requerimientos de ductilidad son definidos en la tabla 5 .

d) Como consideraciones generales, un factor importante para las facilidades médicas puede estar dentro del rango de 1.5 y 2.0 y este valor debe ser capaz de tener concenso en la sociedad concerniente. Para el mejoramiento del comportamiento humano durante y después de sismos severos, entrenamiento, antes que todo, al personal médico de como comportarse y guiar a los pacientes en una emergencia se recomienda practicar al menos una vez por año de acuerdo con el escenario asumido, los cuales se planearan mediante una discusión seria con el personal médico, arquitectos e ingenieros sísmicos. Se

deberá recordar bien que el alto porcentaje de introducción de aparatos o equipos de alta tecnología para el sistema médico, el más vulnerable se convierte en el sistema médico contra sismos severos.

RECONOCIMIENTO

Mucha clase de información fue proporcionada por el profesor JUN, VENO, Universidad de Tokyo Metropolitan, materiales muy útiles en las investigaciones de problemas sismo resistente para equipos médicos fueron sugeridas y proporcionadas por el Dr. Hatsukozu Mizuno, Instituto de Investigación de edificaciones, Japón. Excelentes arreglos por el Dr. Ishiro Tanahashi me fueron remitidos para presentar este reporte en un seminario. Quiero expresar mi sincero aprecio a estos tres excelentes investigadores.

REFERENCIAS

- *1 Mizuno H, M Iiba, N. Yamaguchi, H. Okano "Ensayos en mesa vibratoria sobre resistencia sísmica de equipos médicos", Reporte N° 108 del Instituto de Investigación de Edificaciones, 1986.
- *2 Ishiyama Y., "Criterios sobre la volcadura de cuerpos por excitaciones sísmicas", Transacción de AIJ N° 317 Julio de 1982, pp - 1-114.
- *3 Mizuno H, M Iiba, N. Yamaguchi, "Comportamiento sísmico y evaluación de riesgo de equipos médicos con ruedas", 9 WCEE, Vol. VI, Agosto de 1988, Tokyo.
- *4 Watabe M., "Investigaciones de diseño sísmico ", Instituto de Investigación de Edificaciones, Ministerio de construcción, Japón, reporte de Investigación N° 67, 1976
- *5 Hisada T, Y. Ohsaki, M. Watabe y T. Ohta, "Espectro de diseño para estructuras rígidas sobre rocas", proc. 2a conferencia internacional en Microzonificación, Res y App. , 3
- *6 Penzien J. y M. Watabe, "Características de movimientos sísmicos tridimensional", J. Ingeniería Antisísmica y Dinámica Estructural, Vol. 3, 1975.

Tabla 1 Períodos Característicos de los hospitales TKY y OSK

(en segundos)

	Hospital TKY 17 Pisos			Hospital OSK 14 Pisos		
	1° Modo	2°	3°	1°	2°	3°
Longitudinal (seg.)	1.88	0.75	0.44	1.07	0.43	0.27
Transversal (seg.)	1.91	0.77	0.45	1.24	0.50	0.33

Tabla 2 Aceleración Pico, Velocidad y nombre de las aceleraciones inducidas

Nombre	Hospital TKY				Hospital OSK--			
	Acelerac. Pico (cm/seg ²)		Veloc. Pico (cm/seg)		Acelerac. Pico (cm/seg ²)		Veloc. Pico (cm/seg)	
	LEVEL 1	2	1	2	1	2	1	2
EL CENTRO NS	255	511	25	50	204	408	20	40
TAFT EW	248	497	"	"	199	398	"	"
TOKYO 101 -NS	242	485	"	"				
HACHINOHE NS	165	330	"	"	132	264	20	40
AKASHI EW					163	326	"	"

Tabla 3 Valores picos de respuesta

	Hospital TKY		Hospital OSK	
	6to. Piso	16vo. Piso	6to. Piso	16vo. Piso
NIVEL 1	Aceleración Pico (cm/seg ²)	260 (TAFT-EW)	460 (TAFT-EW)	105 (TAFT-EW)
	Velocidad Pico (cm/seg)	56 (TAFT-EW)	110 (TAFT-EW)	30 (TAFT-EW)
INGRESO	Desplazamiento Pico (cm)	12 (TAFT-EW)	26 (TAFT-EW)	8 (TAFT-EW)
	Aceleración Pico (cm/seg ²)	380 (TAFT-EW)	800 (TAFT-EW)	320 (TAFT-EW)
NIVEL 2	Velocidad Pico (cm/seg)	83 (TAFT-EW)	210 (TAFT-EW)	75 (TAFT-EW)
	Desplazamiento Pico (cm)	18 (TAFT-EW)	54 (TAFT-EW)	16 (TAFT-EW)
INGRESO	Desplazamiento Pico (cm)	18 (TAFT-EW)	54 (TAFT-EW)	16 (TAFT-EW)
	Desplazamiento Pico (cm)	18 (TAFT-EW)	54 (TAFT-EW)	16 (TAFT-EW)

CLASIFICACION DE EQUIPOS Y FACILIDADES MEDICAS PARA DISEÑO
SISMO-RESISTENTE

A B C

DEFINICION

La perdida del funcionamiento o el mal fun
cionamiento puede causar efectos fatales
directamente o inmediatamente en las vidas
humanas. Las estructuras para soportar
los anteriormente mencionadas facilidades
y equipos.

La perdida del funcionamiento o el mal fun
cionamiento puede causar serios efectos en
las vidas humanas. Las estructuras para
soportar las anteriormente mencionadas fa
cilidades y equipos.

Otros
que
A y B

- Sala de Operaciones
- Sala de limpieza-blo
- Unidad de cuidados intensivos (ICU)
- ICU Prenatal (NICU)
- Unidad de cuidados coronarios (CCU)
- Unidad de Abastecimientos de asutnos este
riles (TSSU)
- Departamento de Abastecimiento y central
esterilizadora (CSSD)
- Banco de sangre

- Sala de entrega
- Guarda convescente:
- Centro de información y prevención de de
sastres.
- Centro de Anestias
- Transporte vertical y horizontal para pa
cientes. (elevadores, corredores).

FACILIDADES

- Lampara astral
- Incubadora en NICU
- Camas para ICU, CCU
- Filtros hepa para sala de limpieza-blo
- Generador de energía eléctrica Diesel (y
combustibles para una semana).
- Baterias para sistema de emergencia
- Asesora del Banco de Sangre
- Abastecimiento de agua de emergencia y
sistemas de aire acondicionado para faci
lidades de clase A.

- Equipo de dialisis
- CT. Scanner
- Resonancia magnética nuclear
- Imagen de resonancia magnética
- Acelerador lineal
- Soporte para sistema de anastesia por gateo
- Lamparas guías.
- Monitor TV.
- Sistema de información
- Sistema de abastecimiento de agua para equi
pos y facilidades de clase A.

EQUIPOS

- Presa pesada para abastecimiento de esteriles (equipos) para la sala de operaci3n.

- Puertas de protecci3n contra incendio en estructuras de clase A.

- Garage de ambulancias, porton, puertas de pase, puertas para entradas de emergencia.

- Estructuras para soportar los anteriormente mencionados equipos y facilidades.

- Guarda para enfermedades de epidemias.

- Guarda para pacientes con handicapped y seniles del depart. psiquiatrico.

- Almacen para cilindros de oxigeno medicinal.

- Sala de c3mputo

- Sala de personal m3dico.

ESTRUCTURAS

* Si un sensor sismico de operaci3n autom3tica es equipado con frenos, puede ser clasificado como C.

TABLA 5 CRITERIO DE DISEÑO PROPUESTO PARA RESISTENCIA SISMICA

NIVEL	CLASE			B	C
	A	B	C		
NIVEL 3 Máximo creible de movimiento sísmico. Período de retorno: Diez mil años Consideraciones sismotectónicas Falla activa, relación de deslizamiento, la cual es menos de 2 mm. por año En Japón: 450 - 600 gals.	Resistencia	Resistencia última	Prevenición de colapso		
	Deformación	1/100 deformación de piso			
	Factor de ductilidad	4.0 para flexión 2.0 para corte			
	Comentarios específicos	mantiene la función de resistencia de soporte no debilitaciones en tuberías	no puede requerir mantener la función principal	Prevenir las obstrucciones o disturbaciones en las actividades de rescate	
NIVEL 2 Máximo posible o máximo en movimiento sísmicos históricos Período de retorno Miles de años Falla activa, relación de deslizamiento la cual es más de 1 mm. por año. En Japón: 300 - 400 gals.	Resistencia	Resistencia de fluencia o un poco menos de resistencia	Resistencia última		Prevenir colapso
	Deformación	1/200 deformación de piso o 2 cm por piso	1/100 deformación de piso		
	Factor de ductilidad	1.5 para flexión 1.2 para corte	3.0 para flexión 1.5 para corte		
	Comentarios específicos	Al menos condición normal aún durante terremotos.	mantiene la función principal	Prevenir obstrucciones en pasajes con el volteo de muebles	
NIVEL 1 Máximo posible en el tipo de vida. Período de retorno Menos de cien años Encontrado en reglamentos normales de edificaciones En Japón: 200 - 300 gals.	Resistencia	Resistencia elástica	Resistencia a la fluencia o un poco menos de resistencia	Resistencia última	
	Deformación	1/400 deformación de piso	1/200 deformac. de piso y 3 cm por piso	1/100 deformación de piso	
	Factor de ductilidad			3.0 para flexión 1.5 para corte	
	Comentarios específicos			Al menos condición normal después del terremoto	no serios daños tales como herir a los pacientes

Tabla 6: Relación de variaciones principales menores e intermedia a variación mayor

Registro		Terremoto de San Fernando	Sitio Rocoso en Japón
Principal	Inter	0.61	0.51
	Menor	0.17	0.18
Desviación	Inter.	0.18	0.17
	Menor	0.07	0.12

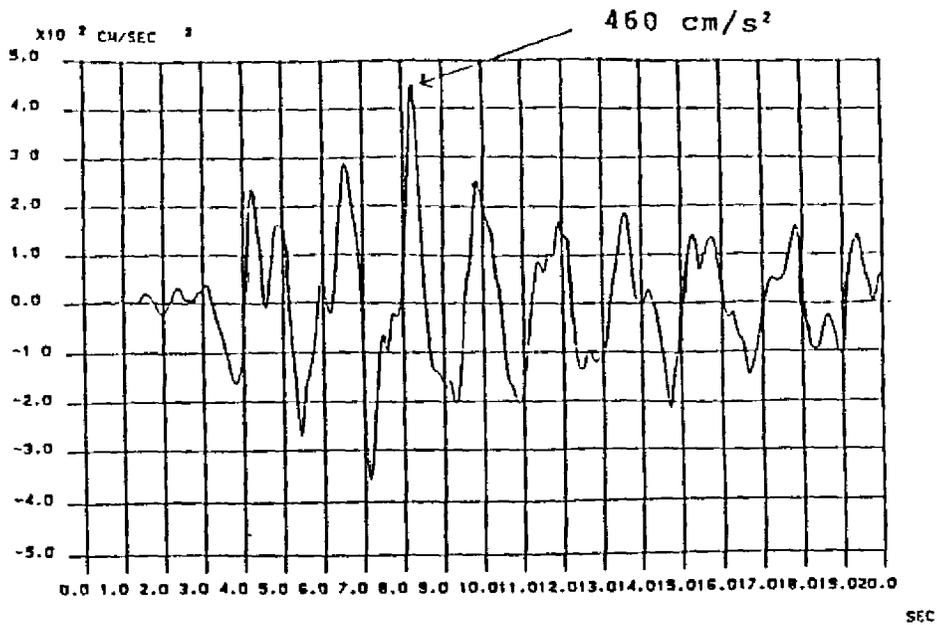


FIGURA 1. Tiempo historia de la aceleración de respuesta del piso 16 del hospital TKY debido al movimiento sísmico de ingreso TAFT-EW, velocidad pico la cual es 25 cm/seg.

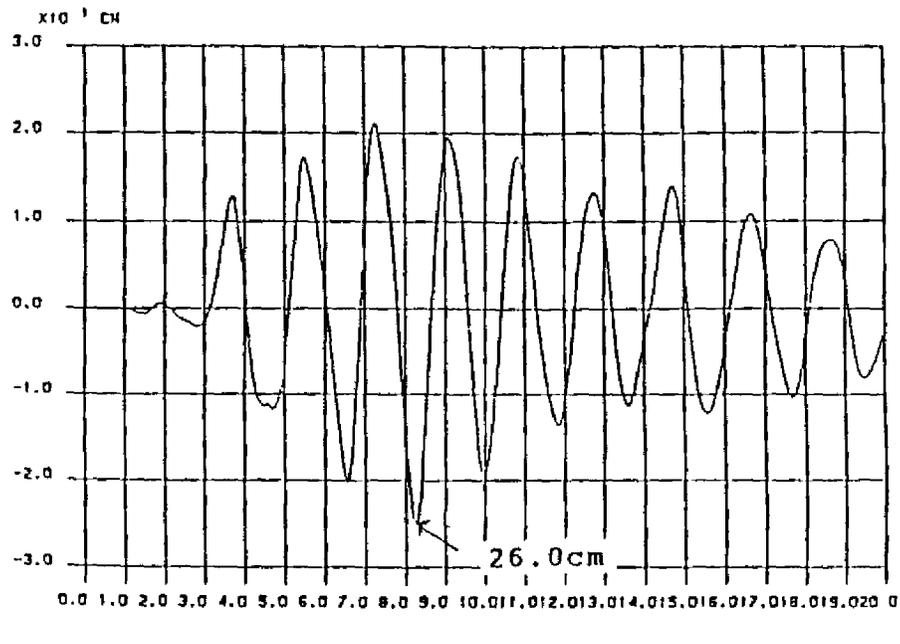


FIGURA 2. Tiempo historia de desplazamiento de respuesta del piso 16 del hospital TKY debido al movimiento sísmico de ingreso FAFT-EW, velocidad pico la cual es 25 cm/seg.

FIGURA 3.

Factores de ductilidad en cada piso debido al nivel 2 de movimiento sísmico en el hospital de TKY.

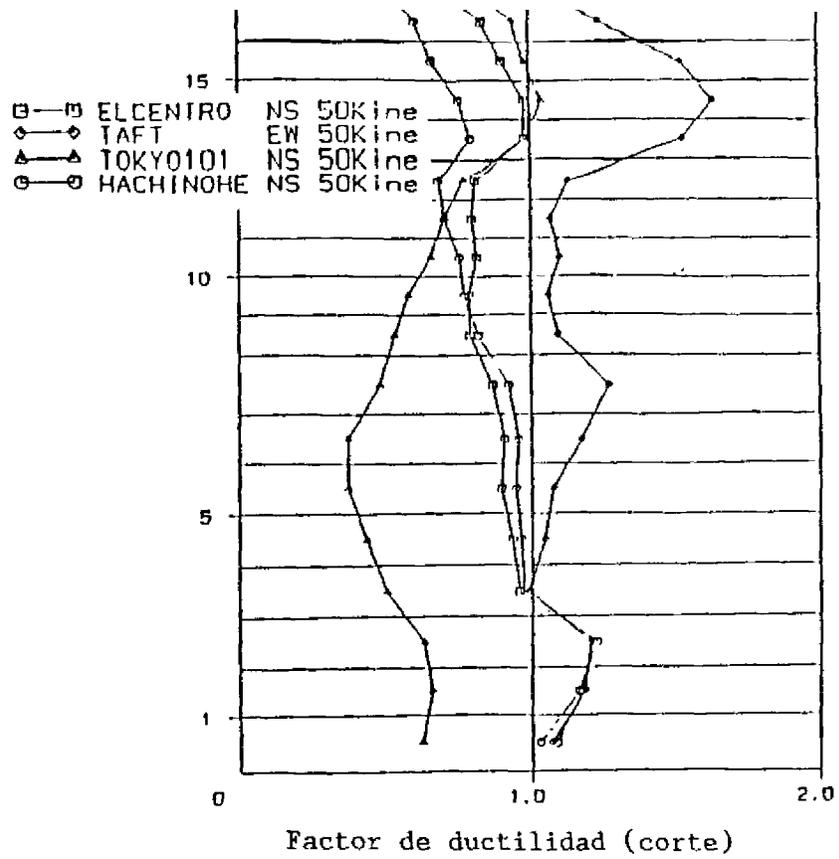
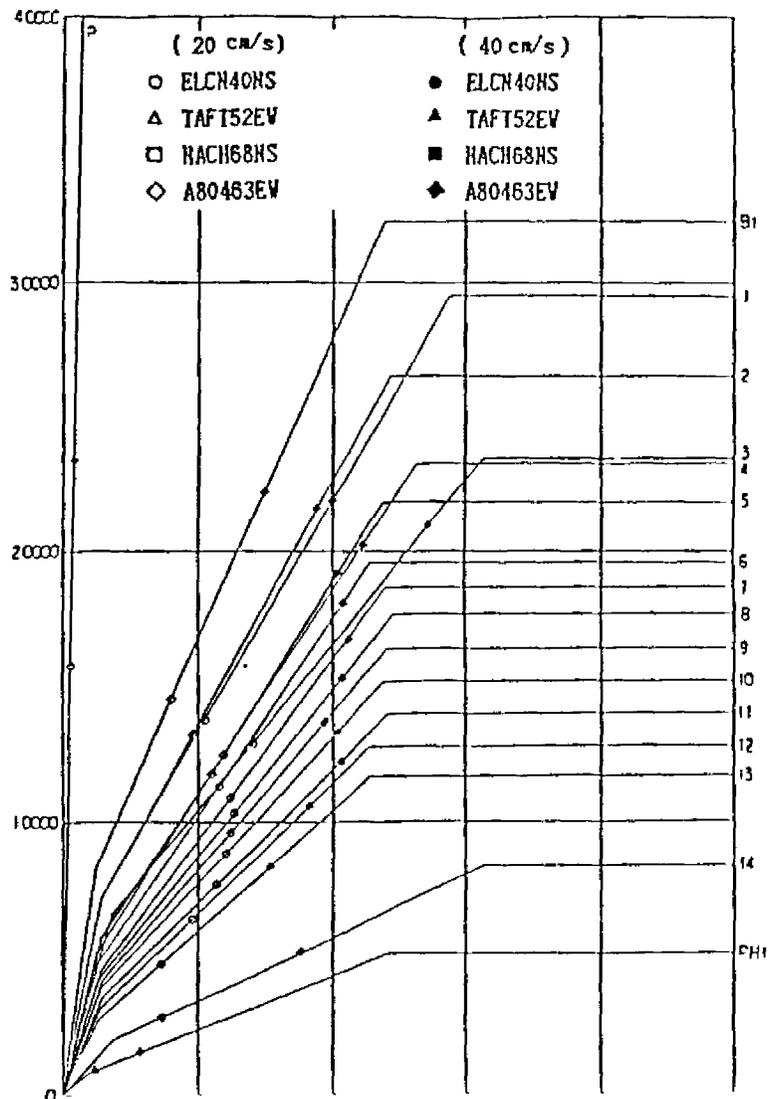


FIGURA 4.

Deformación de piso en cada nivel en el hospital OSK.



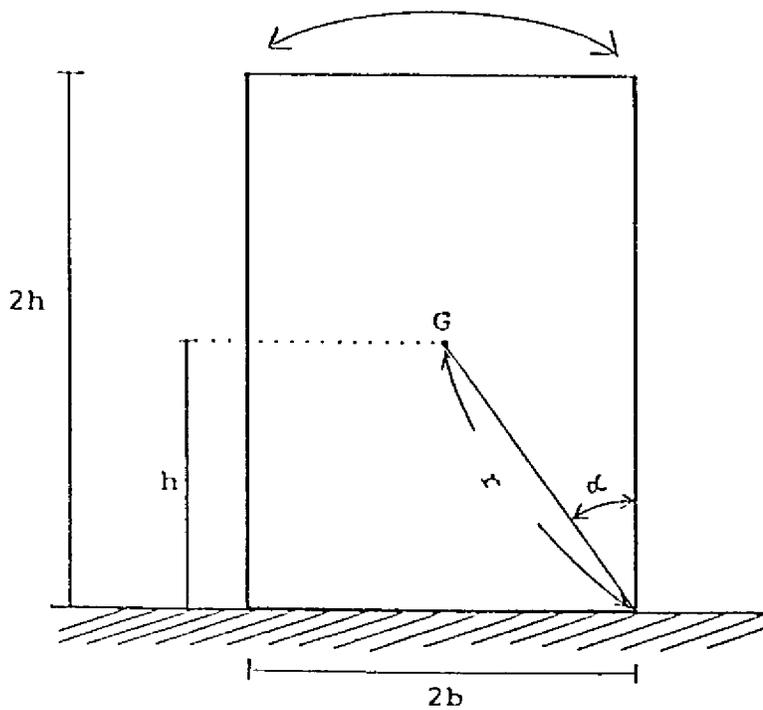
$$a_0 < \frac{b}{h} g \quad \text{Aceleración pico}$$

$$\text{Velocidad pico } v_0 < \sqrt{\frac{2g}{r} (i^2 + r^2) \frac{1 - \cos\alpha}{\cos^2\alpha}}$$

$$d_0 < \frac{v_0^2}{a_0} \quad \text{desplazamiento pico}$$

Donde: g : aceleración de la gravedad 980 cm/seg²
 i : radio de inercia alrededor del centro de gravedad $i = \sqrt{I_0/\text{Area}}$

FIGURA 5 Criterio para la determinación de valores de entrada para volteo debido a excitaciones Random



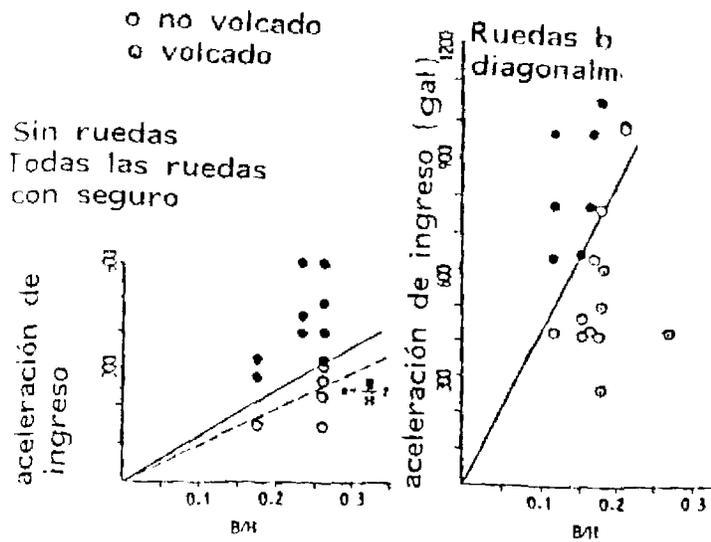


Figura 6 Relación entre relación de

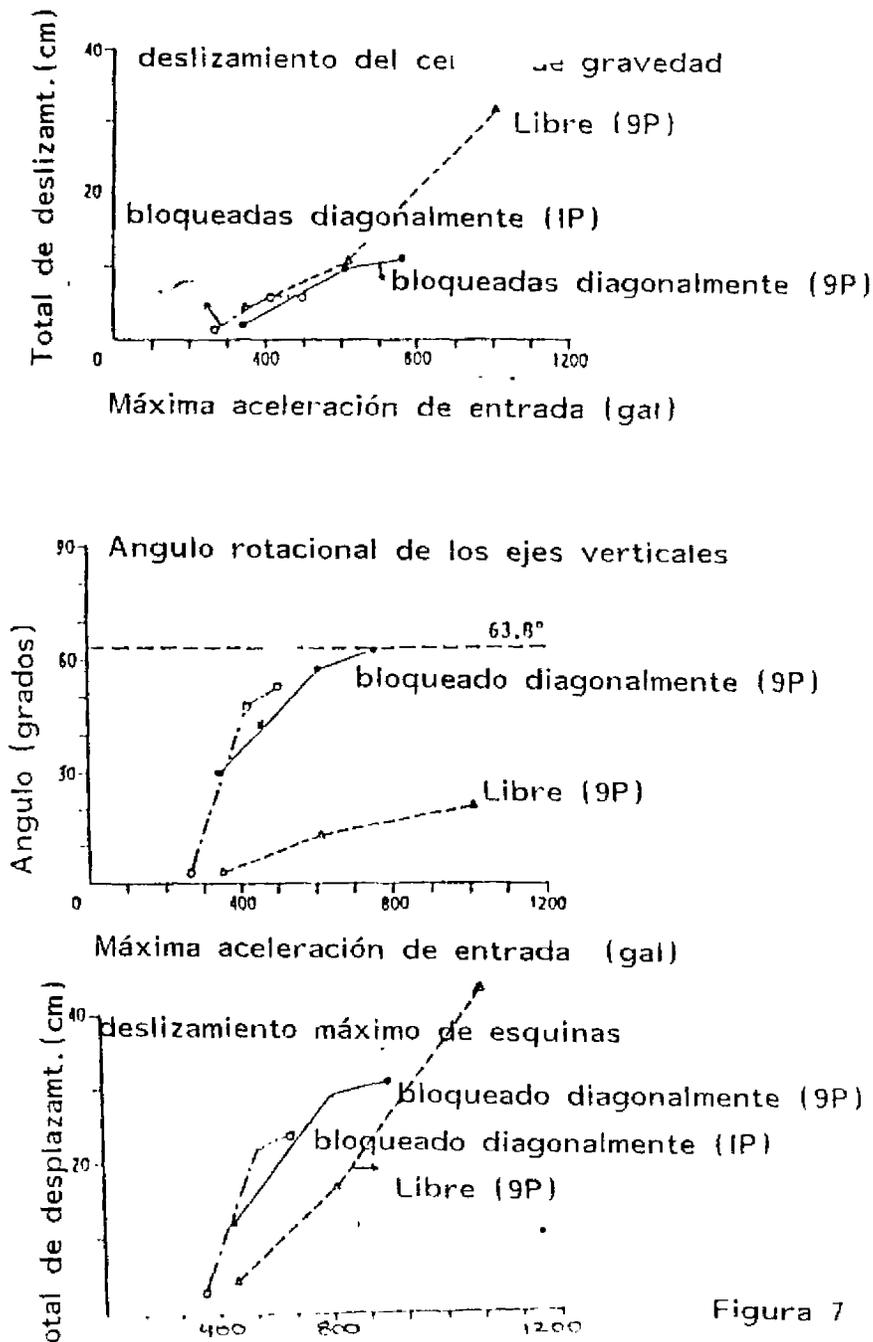


Figura 7

Valor Pico en horiz.en roca

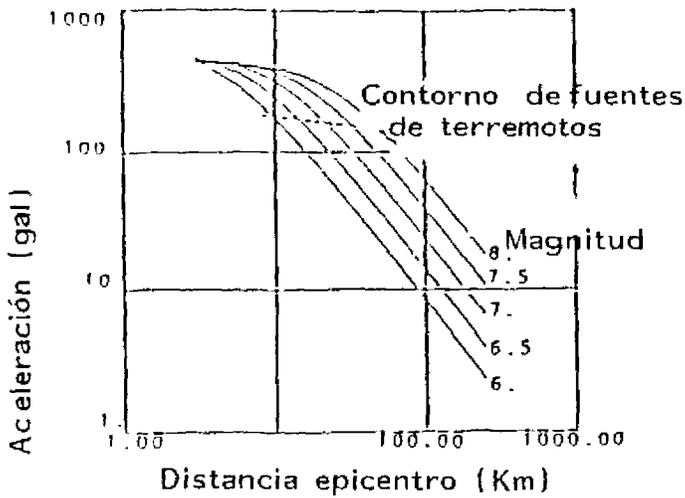


Fig. 8 Aceleración máxima en lugares rocosos

Valor pico en horiz.en roca

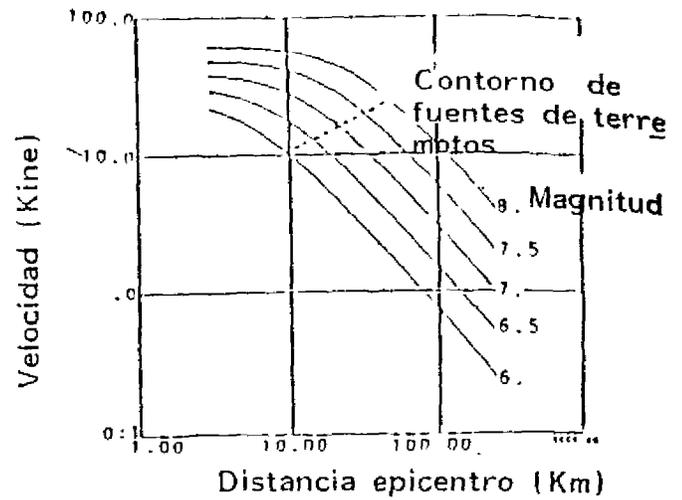


Fig. 9 Velocidad máxima en lugar rocoso

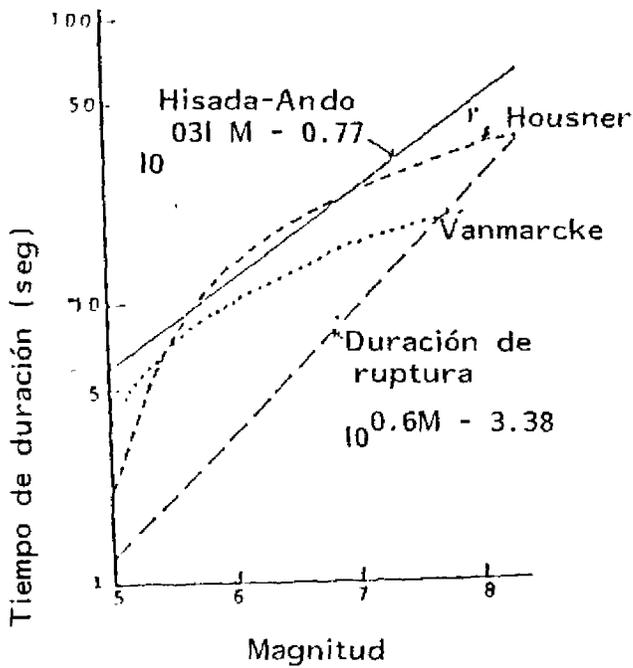


Fig. 10 Relación entre magnitud y tiempo de duración

Espectro de respuesta de velocidad $S_v(T)$ en cm/seg, $\log |S_v(T)| = A(T) M - B(T) \log(x) - c(T)$
 M : Magnitud, x + distancia hipocentral (Km)

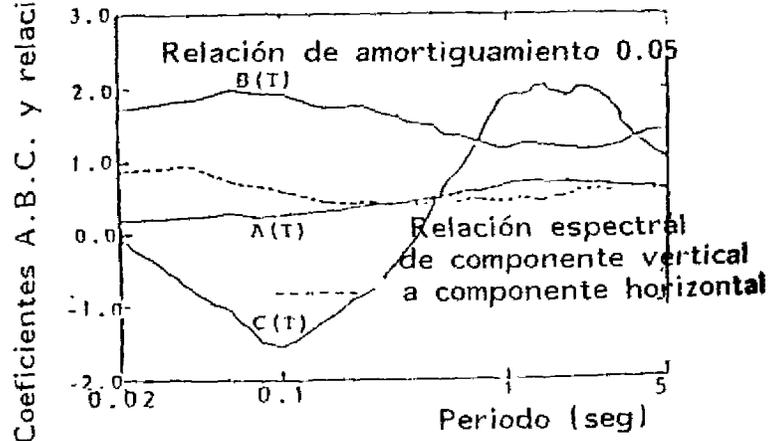


Fig. 11 Coeficientes A, B, C, (líneas sólidas) y relación de espectro de respuesta de componente vertical a componente horizontal (Línea punteada)

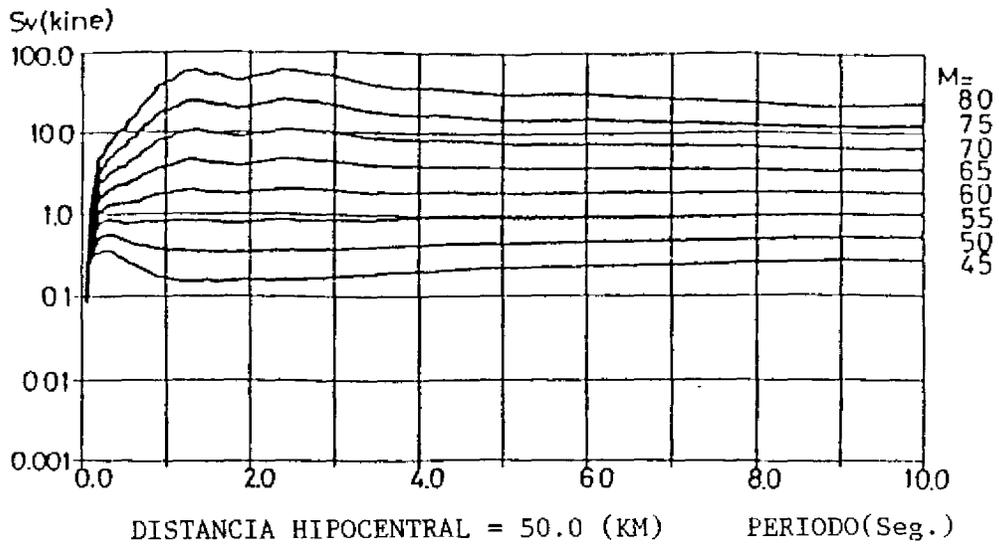


FIGURA 12

Espectro de respuesta de velocidad de movimientos de suelo en roca dura debido a un sismo de 50 Km. de distancia hipocentral.
 (Fracción de amortiguamiento crítico: 0.05)