"Documento original en mal estado"

EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD A SISMOS DE INSTALACIONES HOSPITALARIAS

APLICACION AL HOSPITAL GENERAL DE SANTA BARBARA DEL ZULIA

INFORME TECNICO
preparado por:
Ing JOSE GRASES (CIV 3200)

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
Caracas, Junio de 1993

RESUMEN EJECUTIVO

Se identifican factores que condicionan la vulnerabilidad de Instalaciones Hospitalarias a las acciones sísmicas. Entre estas se señalan cinco, incluidas las vibraciones del terreno, que caracterizan la peligrosidad sísmica en una determinada localidad.

La cuantificación de la Vulnerabilidad Estructural en términos de la Matriz de Probabilidad de Daños, requiere conocer la información para el cálculo de la seguridad estructural. La evaluación cualitativa de dicha vulnerabilidad requiere el estudio de cinco aspectos cuyo alcance es dado en el trabajo. La Vulnerabilidad No-Estructural o Funcional tambien requiere la evaluación de cinco aspectos principales. Se llama la atención sobre las limitaciones de la confiabilidad final del pronóstico.

Para facilitar el acopio de información en el sitio se elaboró una Guía de Inspección ad-hoc. Su aplicación en un estudio piloto permitió sistematizar el procedimiento.

Como instalación se seleccionó el Hospital General de Santa Bárbara del Zulia, construido hacia 1977, con una capacidad instalada de 200 camas (actualmente operan 145), el cual tiene como área de influencia la Región Sur del Lago de Maracaibo, con una población aproximada de 124.000 habitantes. Como resultado de la evaluación se identificaron un conjunto de problemas que requieren atención, así como la necesidad de conocer mejor las características geotécnicas del sitio. Una de las conclusiones interesantes de este trabajo, es la de que la necesaria inspección de la instalación facilita la identificación de necesidades aparentemente alejadas del problema sísmico. Se confirma así la aseveración de que una edificación confiable a sismos generalmente está bien mantenida.

1. INTRODUCCION

Extensas áreas de los paises latinoamericanos se encuentran expuestas a los efectos de amenazas naturales de origen geológico o hidrometeorológico tales como: terremotos, huracanes, volcanes, inundaciones y deslizamientos. En particular, se estima que seis de cada diez habitantes al sur de Rio Grande, excluido Brasil, habitan áreas susceptibles de ser afectadas por sismos potencialmente destructores.

Adicionalmente, sismos intensos que han sacudido paises americanos a lo largo de los ultimos 22 años han afectado un total cercano a las 120 instalaciones hospitalarias y/o centros de salud en 9 paises diferentes, una quinta parte de las cuales colapsaron o sufrieron daños irreparables, con una pérdida total estimada en exceso de 10.000 camas hospitalarias (Ref 1 ANEXO 1); esto es consecuencia de la vulnerabilidad de algunas de esas instalaciones a las acciones sísmicas (vease la FIGURA 1.1). La experiencia en esos sismos, tambien ha demostrado que las acciones preventivas pueden reducir sustancialmente tal deficiencia, con lo cual las emergencias externas propias de estas acciones de la naturaleza han podido ser debidamente atendidas. La identificación de acciones preventivas requiere la evaluación de la vulnerabilidad a sismos.

En 1989 se celebró en Lima, Perú, el Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas, auspiciado

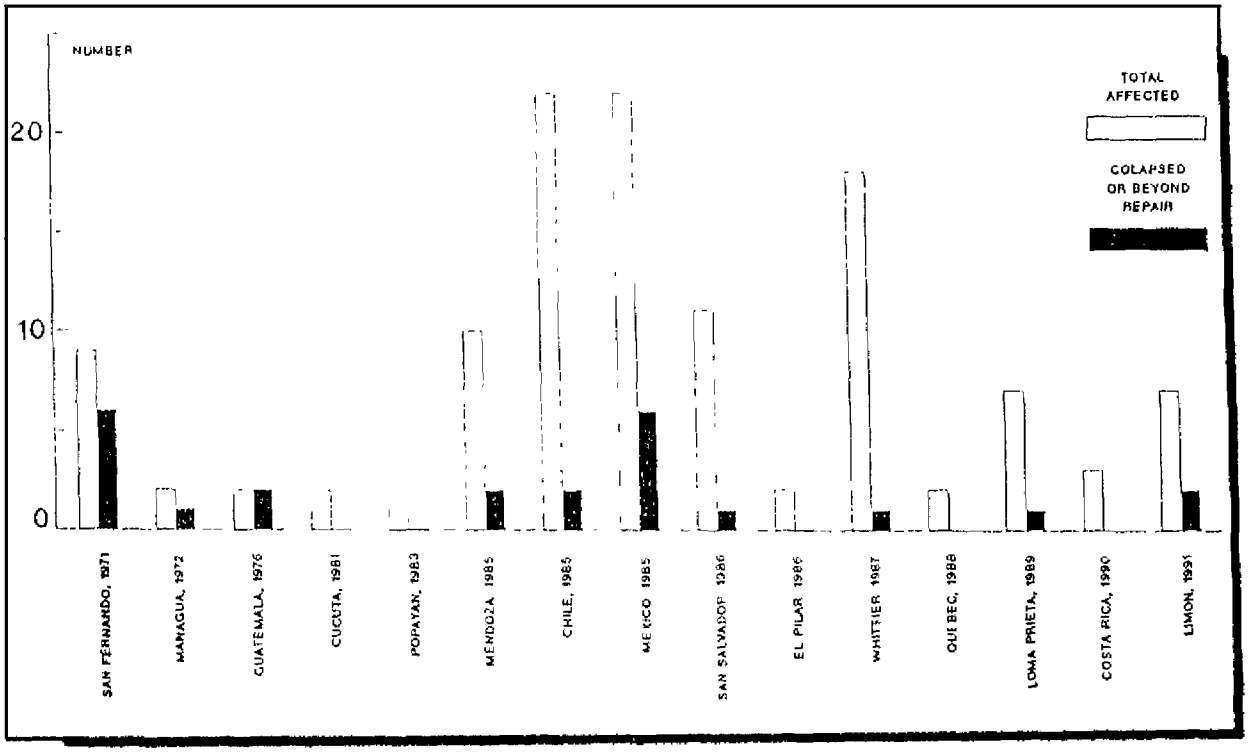


FIGURA 1.1 INSTALACIONES HOSPITALARIAS AFECTADAS POR TERREMOTOS AMERICANOS (1971-1991)(según Ref 1).

por OPS, JICA y el CISMID de Perú. A lo largo de las tres semanas que duró la reunion se examinaron en forma intensiva y extensiva los problemas propios de hospitales ubicados en regiones sísmicas; las **Conclusiones y Recomendaciones** del mismo van como ANEXO 2. Entre ellas se señala de modo reiterado la necesidad de evaluar las instalaciones hospitalarias de acuerdo a las normativas vigentes.

En el caso particular de Venezuela, el número de instalaciones hospitalarias y/o centros de salud existentes para el año 1986 era de 534 (Ref 2). En la columna 2 de la TABLA 1.1 se reproducen los datos recabados en la citada referencia, conjuntamente con las fechas en las cuales se modificaron las Normas para el Diseño Sismorresistente de Edificaciones en Venezuela (Columna 3). Tomando en consideración que tanto las normas técnicas como los Mapas de Zonificación Sísmica sufrieron cambios sustanciales a partir de 1967 (FOTO 1.1), se estima que un porcentaje no despreciable de las instalaciones hospitalarias y centros de salud de Venezuela pudieran presentar una elevada vulnerabilidad a los sismos. Esta apreciación es ratificada al analizar la distribución de camas hospitalarias en función de la zonificación sísmica vigente. En la TABLA 1.2 se dan porcentajes aproximados de camas de hospitalización en función de las cuatro zonas sísmicas de Venezuela (Ref 3); para la Zona Sísmica 0, correspondiente a áreas al sur-suroeste del río Orinoco, en la cual no se requiere tomar en consideración la acción sísmica, no se dispone de datos sobre camas de hospitalización en la documentación disponible (Ref 2).

La información anterior pone en evidencia un problema que amerita atención preventiva. Este trabajo tiene como objetivos específicos establecer metodologías y criterios para la evaluación de la vulnerabilidad, tanto estructural como funcional, a las acciones sísmicas. Estas son aplicadas

TABLA 1.1 Número de Hospitales y/o Centros de Salud (Ref 2) y años en los cuales se han modificado las Normas para el Diseño Sismorresistente de Edificaciones en Venezuela.

Instalaciones Hospitalarias y/o de Salud		Modificaciones en Normas de Diseño Sismorresistente
Año	Número	
-	-	1947
-	-	1955
-	-	1967
1969	336	-
1979	446	-
-	-	1982
1983	512	-
1986	534	-
	-	1993 (1)

(1) En discusión desde 1991

FOTO 1.1 NUMERO DE INSTALACIONES HOSPITALARIAS Y CAMBIOS EN LA ZONIFICACION SISMICA DE VENEZUELA

TABLA 1.2: Distribución de Camas Hospitalarias segun la Zonificación Sísmica con fines de Ingeniería, de Venezuela.

Zona Sísmica No	Peligrosidad	Porcentaje del Area Total del País (%)	Porcentaje del Total de Camas Hospitalarias (%)
0	Despreciable	44	-
1	Baja	12	8,3
2	Moderada	15	16,8
3	Alta	16	17,7
4	Elevada	13	57,2

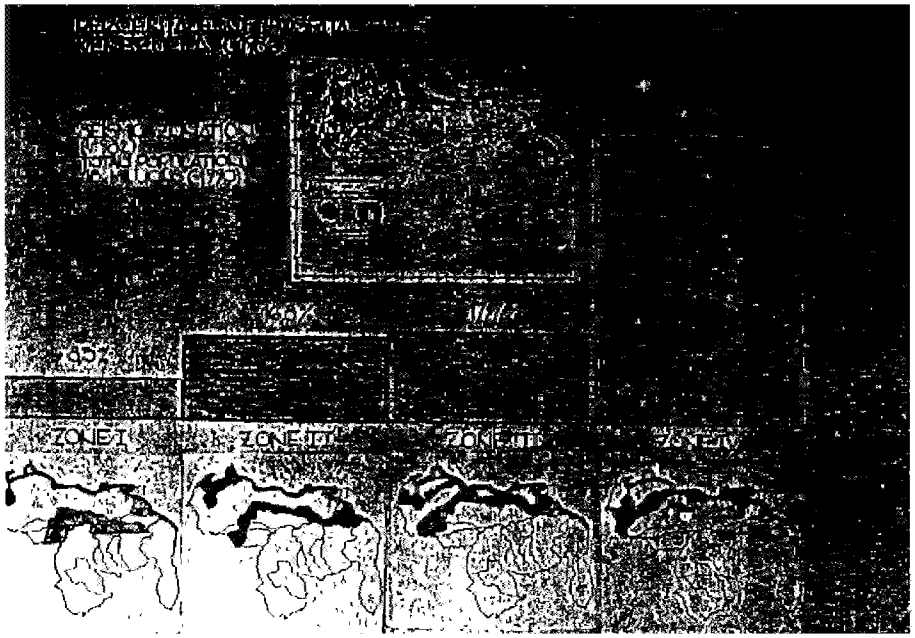


FOTO 1.2 PORCENTAJE DE CAMAS DE HOSPITALIZACION Y ZONIFICACION SISMICA

a una instalación hospitalaria piloto, Hospital de Santa Bárbara del Zulia, con el fin de identificar aspectos que ameriten correctivos (véase FOTO 1.3).

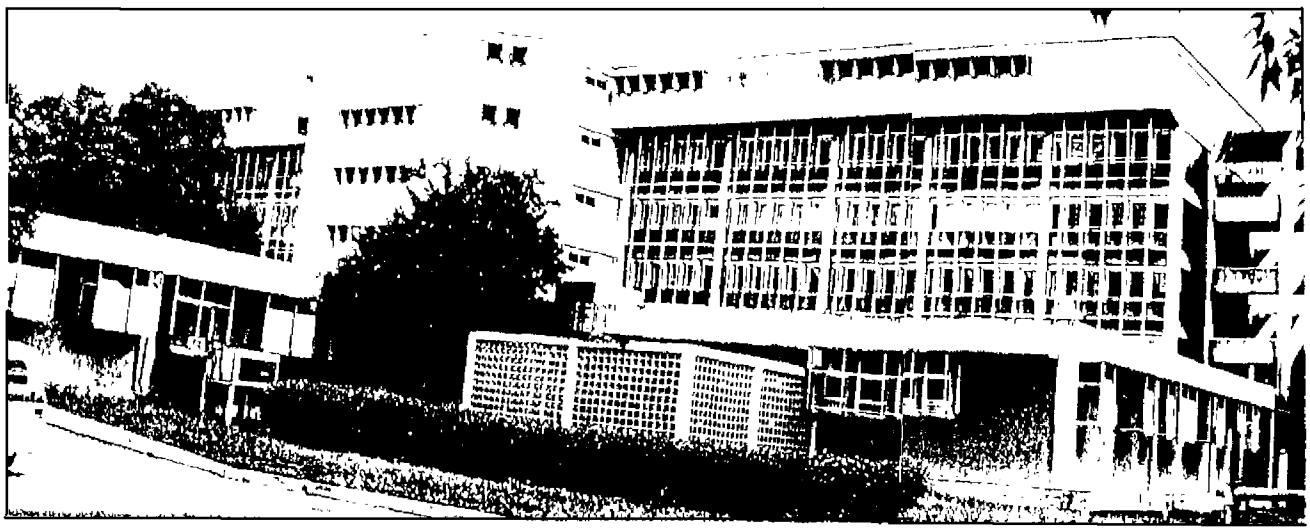


FOTO 1.3 FACHADA SUR DEL HOSPITAL DE SANTA BARBARA

2. ALCANCE

La siguiente descripción, dada en la Ref 4, es ilustrativa: "Se quiebra una ventana; una lámpara de techo, mal ajustada, se cae; se voltea un generador eléctrico mal asegurado; estantes atestados de sustancias químicas y suministros se desploman; las escaleras están bloqueadas por escombros que caen; y un tanque de oxígeno causa una explosión. Todas estas situaciones pueden ocasionar accidentes graves o fatales, perturbando por completo el buen funcionamiento de instalaciones hospitalarias en caso de que ocurra un desastre natural". De modo que, un hospital que sufra daños estructurales y deba ser evacuado, pasa a convertirse: de una ayuda, a un inconveniente. En el peor de los casos, el hospital puede ser el lugar mas peligroso como sucedió en el sismo de San Fernando, California, en Febrero de 1971.

En este trabajo se presta atención al análisis de amenazas previsibles en instalaciones hospitalarias, tomando en consideración que las situaciones de emergencia como consecuencia de un sismo intenso, pueden ser desencadenadas por causas externas (heridos), internas (daños en la instalación) o, la mas grave, por la simultaneidad de ambas. En especial, se estudian las asociadas a la vulnerabilidad sísmica de una determinada instalación hospitalaria. Dicho análisis se ha organizado de forma sistemática, eludiendo en lo posible aspectos que escapan al dominio de los

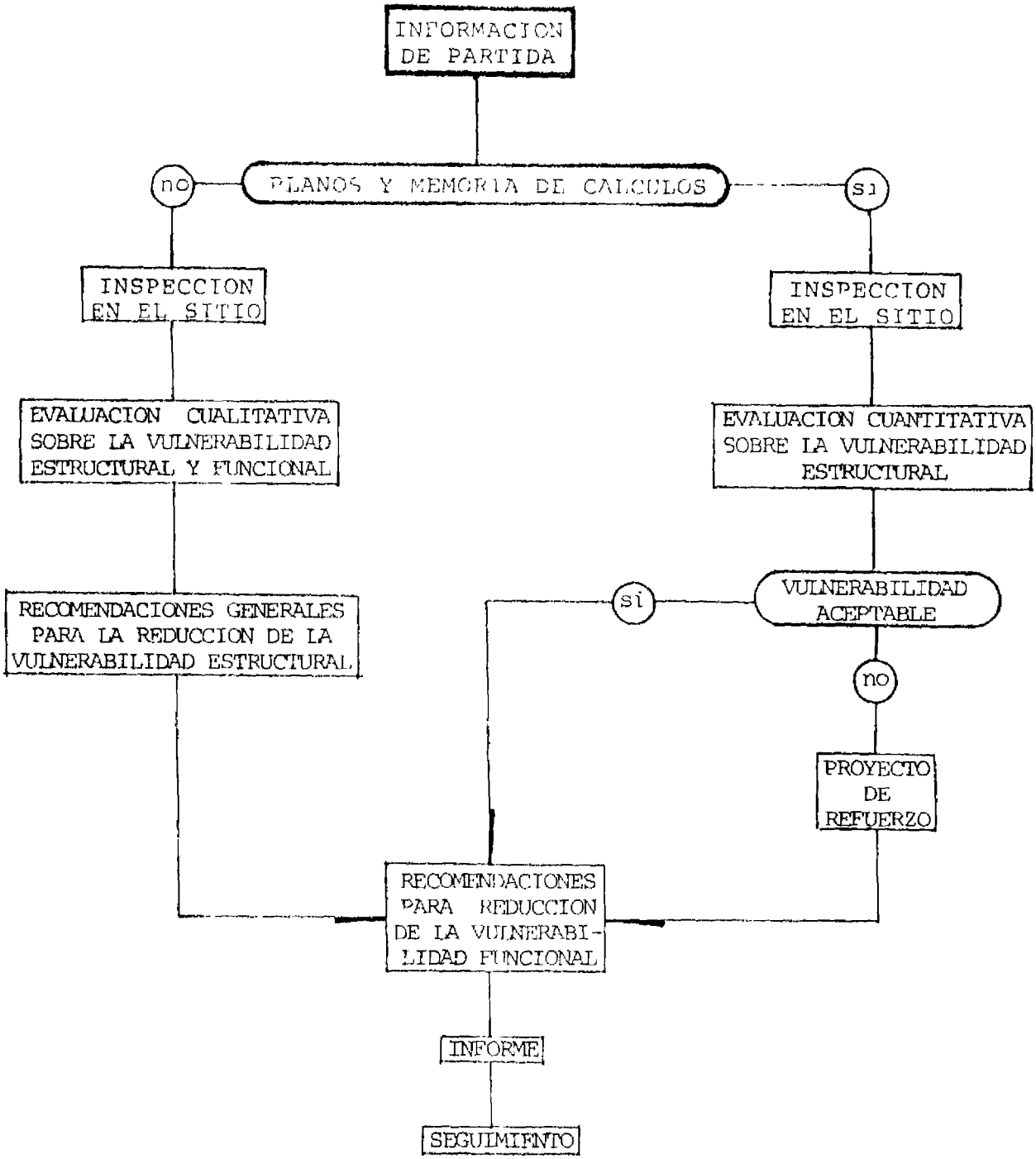
responsables de instalaciones típicas de atención de salud, y se recomiendan como metodología general.

Tal como acertadamente se indica en la Ref 4 : "El primer paso encaminado a planear medidas para evitar esos accidentes (debidos a sismos) consiste en determinar la vulnerabilidad de aquellos elementos que no forman parte de las edificaciones y establecer prioridades anticipando los riesgos fatales que pudieran ocasionar, así como determinar los costos que ocasione su reemplazo y el riesgo que implica interrumpir la prestación de servicios". "Otros elementos ... tales como los muros de división, así como los sistemas de electricidad y alumbrado, computación, elevadores, equipo y suministros de laboratorio y todos aquellos elementos que forman parte del equipo hospitalario representan un 75-80 % de su costo". Las aseveraciones anteriores resaltan la importancia de las pérdidas materiales.

En el CUADRO 2.1 se sintetiza la secuencia ordenada de decisiones, frecuente en los trabajos de campo, que han tenido por objetivo evaluar la vulnerabilidad o el riesgo a eventuales sismos futuros de una determinada edificación.

En la secuencia de decisiones descrita en el CUADRO 2.1, puede ocurrir que, como consecuencia de una Vulnerabilidad Estructural no Aceptable, proceda el Proyecto de Refuerzo. En tal sentido, en la Ref 4 se anota: "El reforzamiento de hospitales es una actividad costosa y difícil de emprender, y cuando los recursos económicos son cada vez mas escasos es vital una verdadera dedicación por parte de las

CUADRO 2.1 SECUENCIA DE DECISIONES EN LAS EVALUACIONES DE LA VULNERABILIDAD



autoridades a cargo de la planificación nacional".

En el Capítulo 3 de este trabajo se revisan los aspectos anteriores y se sugiere una metodología general para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica; por las razones que se dan en la Sección 3.7 su confiabilidad es limitada. En el Capítulo 4 se aplica a un caso específico; esto facilitó la identificación de factores no contemplados inicialmente. Por tal razón, es previsible que su empleo en otros casos permita incorporar otros parámetros no incluidos aun. De ser necesario se señalan aspectos específicos a considerar en situaciones post-sismo; ello para facilitar la decisión sobre el uso de las instalaciones evaluadas. En las Secciones 3.2 y 3.6 se describen con mas detalle los objetivos específicos y la metodología, respectivamente.

3. EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD

3.1 Amenazas a considerar

En general, el sitio de interés debe ser objeto de una cuidadosa investigación, con el fin de identificar posibles amenazas, tanto naturales (Ref 5) como tecnológicas (Ref 6).

De manera general, la peligrosidad sísmica requiere evaluar las siguientes cinco acciones asociadas al evento:

i) Vibraciones de terreno. La intensidad y características de los movimientos esperados en el sitio depende de la cercanía de las fuentes potencialmente sismogénicas, de las características geotécnicas del sitio y de su topografía.

ii) Desplazamientos permanentes. Estos pueden ser consecuencia de un sinnumero de causas: movimiento de una falla activa de sitio, consolidación del terreno, desplazamiento lateral debido a licuefacción generalizada, deslizamiento por inestabilidad de taludes y otros.

iii) Licuefacción de suelos. Edificaciones fundadas en suelos granulares saturados pueden sufrir grandes daños como consecuencia de la pérdida de capacidad portante. Este fenomeno de licuefacción puede afectar el sistema de aguas servidas.

iv) Maremotos o avenidas. En zonas costeras, los maremotos o tsunamies pueden generarse si las condiciones resultan favorables. De igual modo, en las cercanías de ríos el taponamiento temporal del cauce aguas arriba, puede dar lugar a grandes avenidas de aguas. En lagos, los desplazamientos de las líneas de playa solo son moderados.

v) Desprendimientos. Bien sea por inestabilidad de taludes o materiales sueltos en laderas cercanas, el eventual impacto de materiales desprendidos como consecuencia de vibraciones sísmicas debe ser evaluado.

A tal efecto, resulta particularmente útil revisar la historia sísmica de la localidad y áreas cercanas.

3.2 Objetivo General

El objetivo general de la evaluación de la vulnerabilidad, es el de determinar el potencial de daño de una edificación y sus instalaciones en caso de ser afectadas por las amenazas, naturales o no, previamente identificadas. En el caso de los sismos, la evaluación de la vulnerabilidad debe llevarse a cabo sobre una base técnica y rigurosa que tome en consideración las características sismorresistentes de la edificación y la influencia que las condiciones locales (subsuelo o riesgos geológicos) tienen en la amenaza sísmica.

Este análisis, aun cuando solo sea cualitativo, requiere

la participación de personas debidamente entrenadas. El análisis cuantitativo del riesgo, requiere información detallada: planos estructurales, planos arquitectónicos, estudios de subsuelo local, estudios de orden técnico que hayan tenido lugar para la construcción y/o remodelación de la edificación, etc.

La vulnerabilidad estructural se distingue de la funcional u operativa en la forma que se describe en las dos Secciones que siguen.

3.3 Vulnerabilidad Estructural

La vulnerabilidad estructural es expresada en términos de la probabilidad condicional de alcanzar determinados estados de daños. Así, caracterizados los estados de daño Dj, dado el evento sísmico Ei la vulnerabilidad correspondiente a ese evento viene dada por el vector de vulnerabilidad $Vj,i=\{P[Dj/Ei]\}$. La consideración de todos los eventos Ei conduce a la matriz de probabilidad de daños, la cual cuantifica la vulnerabilidad estructural [V].

Obsérvese que la vulnerabilidad estructural mide la susceptibilidad a las acciones vibratorias; la vulnerabilidad final a sismos pudiera resultar sensiblemente mayor, por las condiciones del entorno (edificaciones vecinas, maremotos, deslizamiento de taludes, represamientos cercanos, rotura de represas).

3.3.1 Información necesaria para su cálculo. Los algoritmos disponibles para el cálculo de [V] requieren información propia para el análisis y diseño de edificaciones en zonas sísmicas. En Venezuela, estas son las Normas COVENIN vigentes; en especial se requiere:

a) Sistema estructural (E1;E2,E3,E4)

b) Material de la estructura portante (CA ó A)

c) Subsuelo local (S1;S2;S3)

d) Función de distribución acumulada de aceleraciones máximas del terreno (FA (a))

e) Coeficiente sísmico de diseño a nivel cedente (Cy)

f) Varianza de β ($\sigma\beta^2$)

g) Condiciones de mantenimiento de la estructura portante (ME; MI; MD)

h) Número de niveles (N)

i) Grado de irregularidad en planta (IP), o en alzada (IA)

j) Nivel de Diseño (ND3; ND2; ND1)

k) Capacidad portante global Cr, referida a Cy

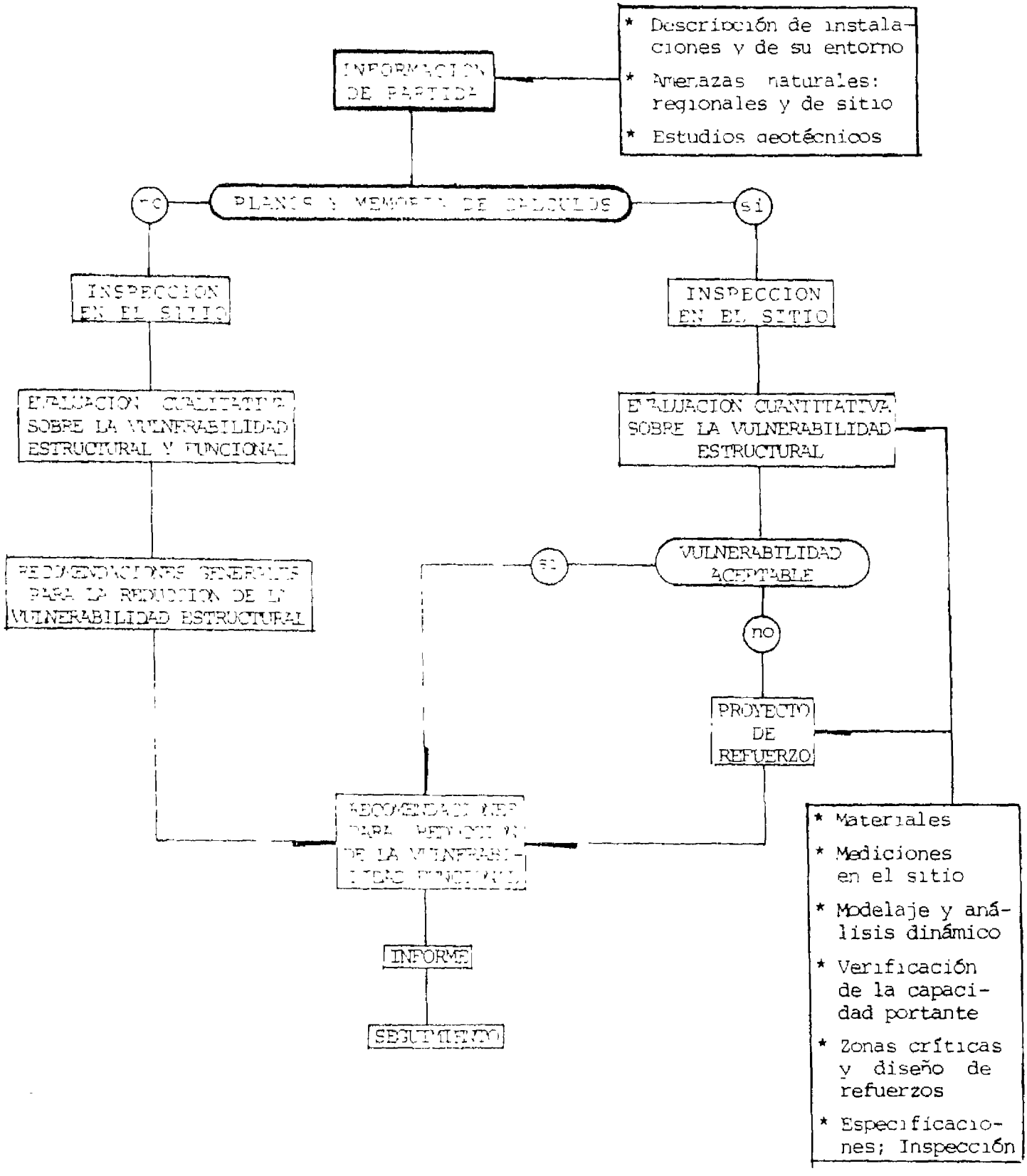
En el CUADRO 3.1 se complementa la síntesis presentada en el CUADRO 2.1, con la información anterior. En casos de información incompleta, las siguientes variables pueden ser adoptadas, complementado su resultado con la evaluacion cualitativa hecha en sitio:

b) CA

c) S2 salvo que haya sospechas de suelos saturados

d) Zona sísmica según Mapa COVENIN 1756

CUADRO 3.1 SECUENCIA DE DECISIONES E INFORMACION NECESARIA PARA EL CALCULO DE LA VULNERABILIDAD



e) Cy= 0,05 =Cr

f) $\sigma\beta^2$= 0,64

g) MI

j) ND1

Usualmente la información disponible no resulta exhaustiva y es preciso efectuar algún análisis de sensibilidad.

3.3.2 Evaluación Cualitativa o Empírica de la Vulnerabilidad Estructural a Sismos.

Son relativamente frecuentes los casos en los cuales no se cuenta con la información detallada acerca de las características de la construcción: por ejemplo, edificaciones hechas con materiales diferentes a los que se emplean actualmente y para las cuales no se dispone de los planos ni de los criterios empleados en el diseño. Si, además, la evaluación debe ser hecha por personal no especializado, es preciso establecer unos criterios de apreciación sobre aspectos reconocidamente importantes. Los cinco siguientes, de gerarquia comparable, son usualmente empleados:

A) Configuración en planta y alzada. La asimetría y falta de regularidad puede dar lugar a elevadas solicitaciones en áreas localizadas, que a su vez comprometan la estabilidad global de la edificación. Este factor toma en cuenta la forma en planta y en altura. Las plantas de forma regular (cuadrado, círculo, rectángulo no muy alargado) son menos vulnerables que las

plantas con entrantes pronunciados, como las formas de L, E, H, U. De igual modo, la regularidad vertical es deseable; los entrantes, balcones prolongados, pérgolas pesadas, tanques pesados en la parte superior de la construcción han sido fuente de problemas. La simetría de los elementos portantes, con cambios de sección graduales, son cualidades deseables para asegurar un buen comportamiento.

B) Sistema Estructural. Los sistemas conetituídos por vigas y columnas, bien proporcionados, sean de concreto armado o de acero, especialmente si son de altura moderada y de construcción reciente, ofrecen baja vulnerabilidad a los sismos. En el otro extremo, construcciones de muros portantes de albañilería, bahareque, piedras unidas con argamasa, sin vigas de arriostramiento o de amarre, con techos de caña amarga y teja, han resultado muy vulnerables a los sismos. Los tabiques o muros divisorios se distinguen de los portantes, pues sobre ellos no gravitan ni las losas de entrepisos, ni los techos o cubiertas; estas descansan sobre vigas, que a su vez transmiten estas cargas a las columnas.

C) Uniones. Atención especial ameritan las conexiones entre los elementos del sistema estructural. Tanto la unión de las cerchas metálicas, o los entramados de madera, o las uniones de entrepisos con la estructura, son puntos críticos que pueden ser el inicio de

inestabilidad. La mala calidad o inadecuado mantenimiento de estos puntos requiere penalización en la evaluación final.

D) Estado de Mantenimiento. En la calificación del mantenimiento hay aspectos importantes como: deterioros localizados por humedad y/o corrosión, fisuración o agrietamientos, hundimientos o asentamientos diferenciales, deflexiones excesivas, y, en general el estado de la construcción. Puede afirmarse que una construcción bien mantenida y cuidada tiende a un desempeño mejor. Los agrietamientos deben ser investigados y reparados.

E) Subsuelo local y fundaciones. Subsuelos anegadizos, bordes de taludes naturales, o áreas de topografía irregular, pueden dar lugar a fenómenos de amplificación o hundimientos, generalmente asociados a daños en la edificación.

Los cinco aspectos son comunes en metodologías sugeridas por diversos autores (Ref 11 a 14; 18).

3.4 Vulnerabilidad no estructural o funcional

La inestabilidad, derrumbamiento o caída de elementos no-estructurales, es decir de aquellos que no forman parte de la estructura, pueden interferir en el correcto funcionamiento de la instalación. Dado que representan un peligro potencial, aun cuando no comprometen la estabilidad de la estructura, es importante que sean evaluados (véanse por ejemplo Ref 7 a 10). Para ello debe verificarse

a) estabilidad de tabiques, fachadas y elementos divisorios; se incluye aquí la ventanería y grandes vidrios;

b) falsos techos, lamparas, ductos de aire acondicionado, sistemas de distribución;

c) elementos de almacenamiento de productos, vidriería o productos químicos, estantes para guardar drogas y mobiliario susceptible de volcamiento;

d) equipos de generacion de energia, calderas, S/E, equipos electrónicos de medición y control, computadoras, sistemas electromecánicos;

e) áreas susceptibles de contaminación o radiación (Rayos X);

La experiencia demuestra que algunos de los incendios sucedidos en edificaciones afectadas por terremotos han tenido su origen en la falla de algunos de los aspectos recien anotados.

3.5 Guía de inspección

Tal como se indica en el CUADRO 2.1, la inspección de la instalación a ser evaluada, el conocimiento del sitio y la identificación de amenazas cercanas, debe ser realizada, aun cuando se disponga de planos y de las memorias de cálculo. En consideración a lo expuesto en las Secciones 3.3 y 3.4, se ha preparado una guía de campo què contiene un listado de preguntas con el fin de planificar la inspección. Esta **Guía de Inspección** de la cual se facilita una copia en el ANEXO 3 resultó muy util en el trabajo de campo hecho en el Hospital de Santa Bárbara (vease Sección 4.6).

3.6 Metodología

Los grandes pasos a seguir en la evaluación, están esencialmente resumidos en el CUADRO 3.1, extensión del CUADRO 2.1. Destaca en ellos que la naturaleza (y el resultado) de la evaluación - cuantitativa o cualitativa - dependen, en primer lugar, de la disponibilidad de Planos y Memoria de Cálculo; en cualquiera de los dos casos, la Inspección de Sitio es un elemento fundamental de información y debe ser ejecutada.

Caso de disponer de Planos y Cálculos, la evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad estructural depende a su vez de un conjunto de datos técnicos a ser recabados, o eventualmente estimados, con la finalidad de aplicar el procedimiento descrito en la Sección 3.3.1. De esta recomendable evaluación puede concluirse la necesidad de proceder al refuerzo estructural, ajustado a las Normas vigentes.

Caso de no disponer de Planos y/o de Memoria de Cálculo, procede la evaluación cualitativa según los 5 aspectos anotados en 3.3.2. Esta evaluación, más limitada, no permite un pronunciamiento sobre refuerzos. No obstante, en adición a las recomendaciones generales para reducir la vulnerabilidad estructural, facilita la identificación en sitio de problemas potenciales que requieren acciones ulteriores conducentes a una evaluación cuantitativa.

Sobre las recomendaciones relativas a la reducción de la vulnerabilidad funcional, hay excelente literatura

ilustrativa (Ref 7 a 11) de fácil implementación.

3.7 Confiabilidad del Pronóstico

Tal como quedó dicho, en la literatura abundan los métodos propuestos para dar respuesta a buena parte de las preguntas anotadas en las Secciones anteriores (Referencias 7 a 14;18). La cuestión de fondo se traduce en un problema costo-beneficio, tanto en: (i) el objetivo de la evaluación y por tanto la metodología a ser empleada, como en: (ii) la toma de decisiones basadas en esquemas análogos a los del CUADRO 2.1, todo ello con la finalidad última de identificar aspectos críticos en el evento de un terremoto, que ameriten acciones preventivas.

Consideradas en conjunto la Vulnerabilidad Estructural y la Vulnerabilidad Funcional, la probabilidad de identificar tales aspectos críticos es, en primera instancia, función de la vulnerabilidad misma. De modo que, cuando las deficiencias que dan lugar a una situación potencialmente vulnerable no son evidentes o fáciles de identificar, lo mas probable es que la simple inspección no baste para identificar, y menos aun para cuantificar, los aludidos aspectos críticos. Esto se puede sintetizar de modo grueso en la forma que se describe en la FIGURA 3.1; en ella se ignora deliberadamente un elemento que suele ser decisorio, anotado mas arriba, cual es el costo de la evaluación. Destaca en esa figura, el hecho de que el pronóstico sobre la vulnerabilidad estructural en

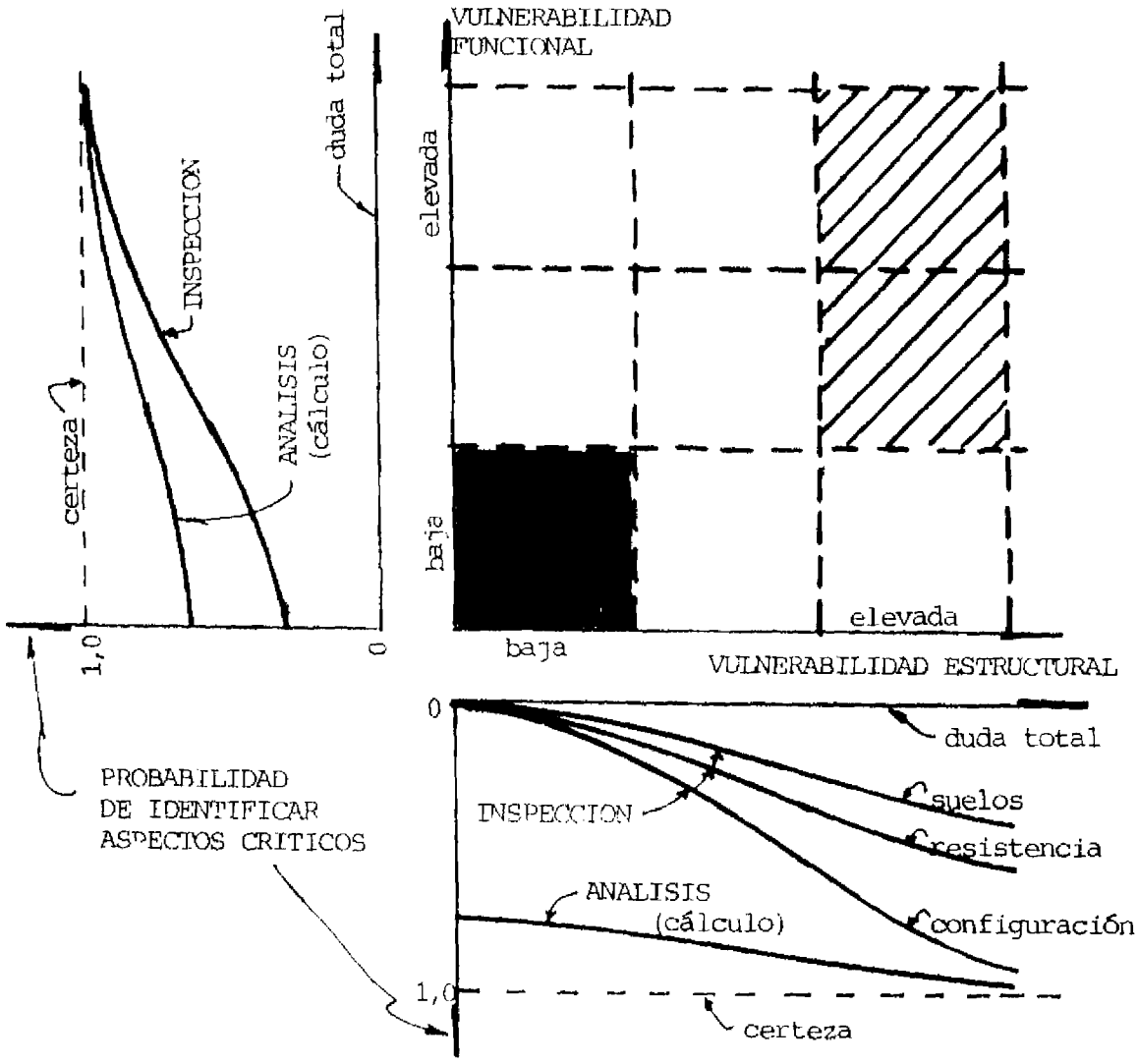


FIGURA 3.1 DESCRIPCION CUALITATIVA DE LA CONFIABILIDAD EN EL PRONOSTICO DE LA VULNERABILIDAD A SISMOS. LA ZONA OSCURA DENOTA BAJA CONFIABILIDAD EN EVALUACIONES LIMITADAS A INSPECCIONES, A DIFERENCIA DE LA ZONA SOMBREADA.

base a trabajos de inspección exclusivamente puede ser poco confiable; es el caso, por ejemplo, de la influencia de los suelos si no se dispone de estudios de sitio. Igualmente, la figura ilustra el bajo rendimiento que pueden tener

inspecciones cuando la vulnerabilidad (estructural y funcional) es baja, a diferencia del alto rendimiento de inspecciones a edificaciones de elevada vulnerabilidad.

No obstante, una de las cualidades de la figura consiste en poder ubicar rápidamente la vulnerabilidad relativa de diferentes edificaciones, lo cual es particularmente util para observadores únicos de múltiples edificaciones.