

"Documento original en mal estado"

ANEXO 1

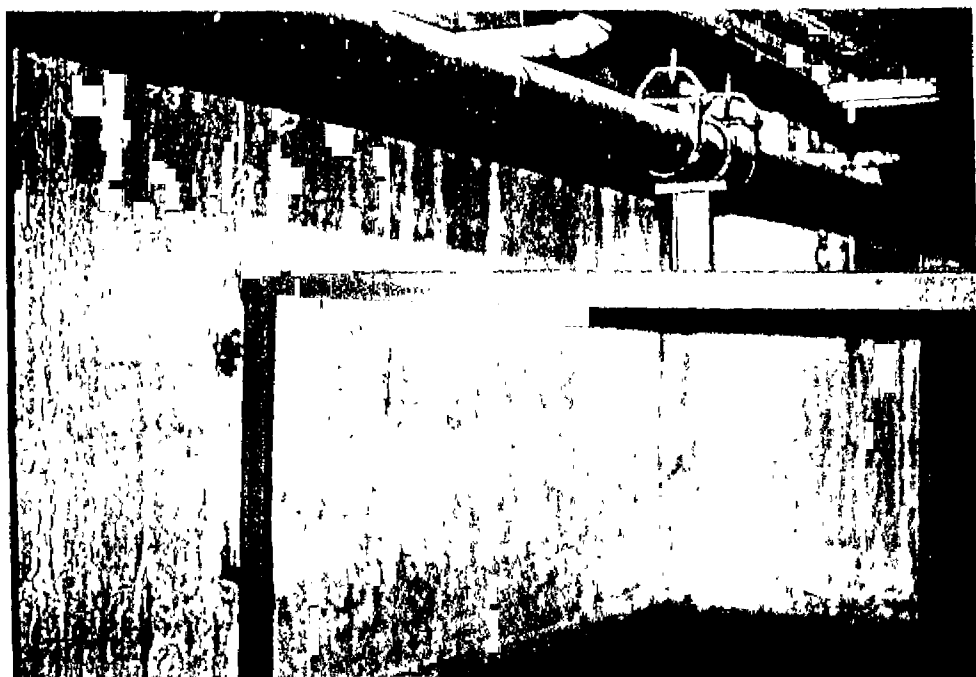


FOTO 4.5 NUEVOS SOPORTES DE TUBERIAS EN EL
 SOTANO INUNDADO DEL CUERPO A

por la cota más elevada de los sistemas de drenajes. Asentamientos del terreno estimados entre 15 y 30 cm (FOTOS 4.6 y 4.7). Se constataron drenajes naturales de agua de lluvia hacia el ante-sótano y sótano (FOTO 4.8).

- * Evidencias de asentamientos estructurales: solo apreciados en el área de laena sucia del Laboratorio Clínico, a nivel PB del Cuerpo A. No fue posible acceder a esa área, nivel sótano, por presencia de aguas estancadas provenientes de los drenajes de la cocina (PB, Cuerpo D).
- * No se identificaron riesgos tecnológicos cercanos. Dirección dominante del viento E-NE.
- * Otros riesgos locales: no se identificaron.

4.6.5 Estructura de la Edificación.

- * Cuerpo A: Sótano + PB + 5 niveles. Dos juntas de construcción simétricas en la dirección longitudinal. (5 vanos, 3 vanos; 5 vanos)
- Cuerpo B: PB + 1 nivel
- Cuerpo C, D, E: PB
- * Estructura de concreto armado tipo I (véanse FOTOS 4.1, 4.2 y 4.11).
- * Configuración vertical: regular. No se presentan rematamientos.
- * Configuración horizontal: regular. El pasillo de entrada, conectado al Cuerpo A, puede presentar problemas de torsión en planta en caso de sismos intensos.
- * Columnas contra la presencia de vigas altas y del



FOTOS 4.6 y 4.7
ASENTAMIENTOS DEL
TERRENO

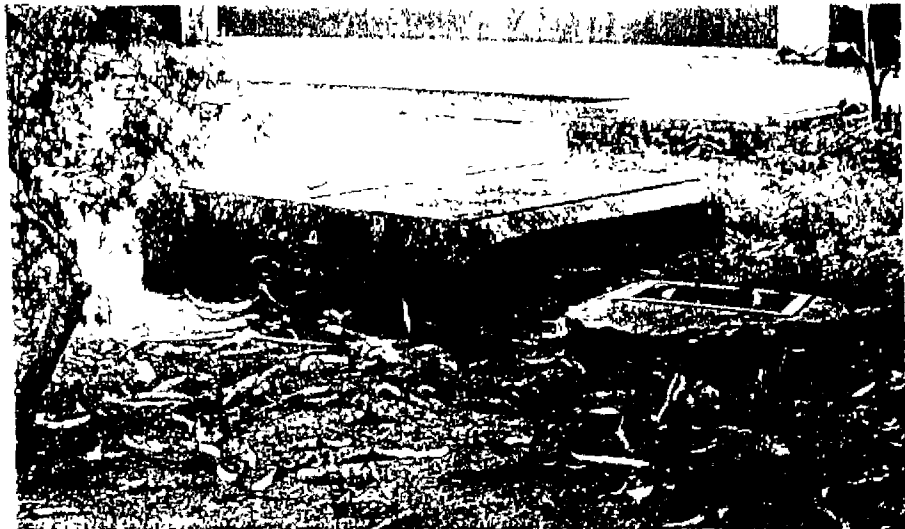


FOTO 4.8
DRENAJES NATURALES
CONECTADOS CON EL
SOTANO

antepecho, puede dar lugar a las denominadas columnas cortas, aun cuando la Sección es generosa. Este aspecto amerita evaluación (véanse FOTOS 4.1 y 4.2).

- * Fachadas: los bris-soleil de la fachada sur, constituidos por planchas prefabricadas verticales de asbesto, pueden desprenderse en caso de sismos intensos.
- * Ventanería: las ventanas basculantes de láminas de vidrio, han resultado vulnerables al uso siendo elevado el porcentaje de roturas por simple manipulación. De igual modo, no resultan eficientes para impedir la entrada de los abundantes mosquitos del área.
- * Tabiquería interior: en las áreas visitadas no se observaron particularidades al respecto.
- * Techos: platabanda de concreto armado impermeabilizada.
- * Cubierta del Cuerpo E (Sala de Máquinas): esta cubierta constituida por láminas de asbesto-cemento, soportadas por cerchas metálicas, requiere reparación por haber caído sobre ella parte de un árbol adyacente (FOTOS 4.9 y 4.10).
- * Estado general de la instalación: en general las edificaciones se encuentran en buen estado de mantenimiento salvo las observaciones hechas en este texto y recogidas en la Sección 4.7 (véanse FOTOS 4.1, 4.2, 4.11 y 4.12).
- * No se detectaron signos de corrosión en los elementos estructurales. Sí, parcialmente, en los pórticos que soportan algunas tuberías (área de sub-sótano del Cuerpo E y Cuerpo A)

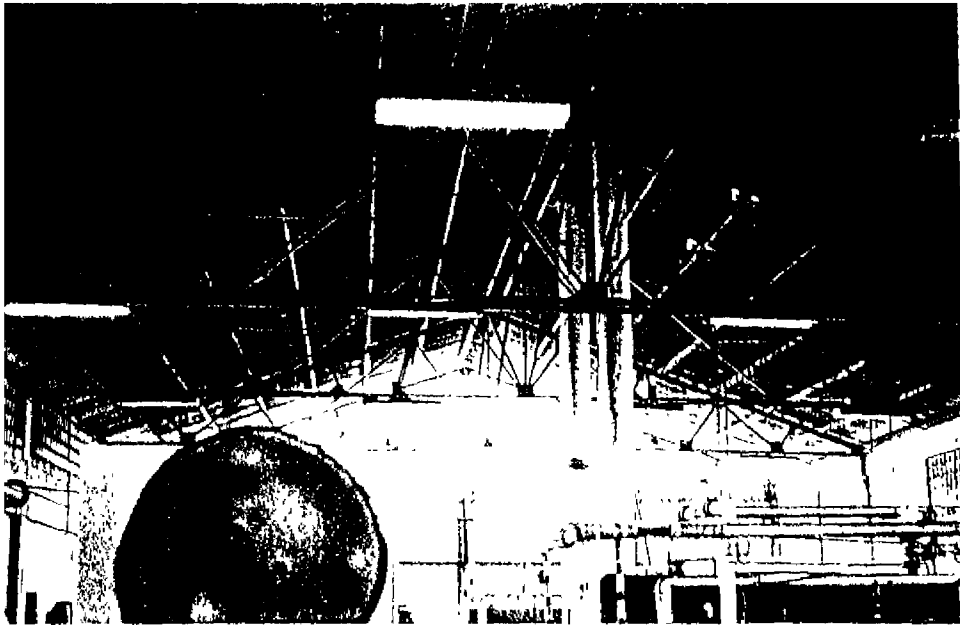


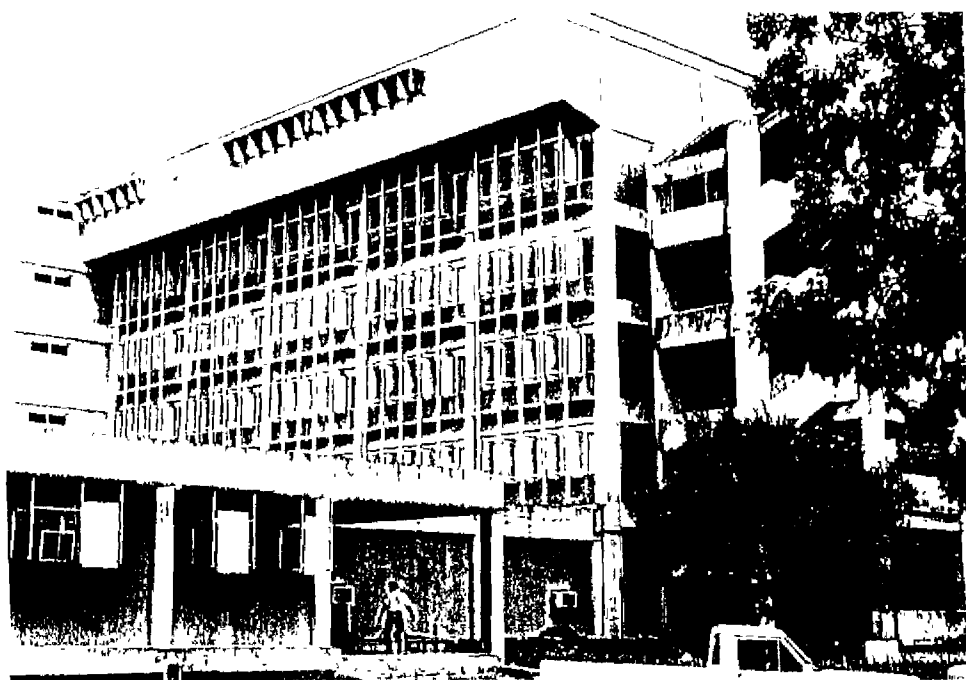
FOTO 4.9 CUBIERTA DE LA SALA DE MAQUINAS



FOTO 4.10 DAÑOS EN LA CUBIERTA DE LA SALA
DE MAQUINAS POR CAIDA DE ARBOL



FOTOS 4.11 y 4.12 BUENA
CALIDAD DE EJECUCION DE
LA ESTRUCTURA Y DE SUS
UNIONES



4.6.6. Criterios de Diseño. Calidad.

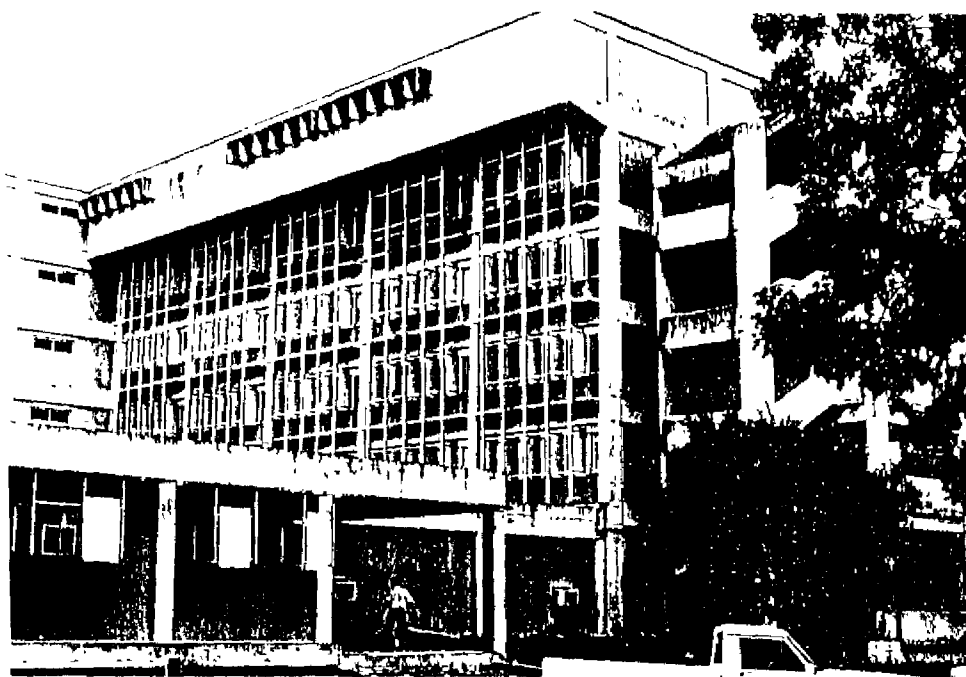
- * No se conocen detalles del proyecto estructural.
- * Planos disponibles en MINDUR
- * Calidad de ejecución de la estructura: por encima de la media de edificaciones similares.
- * Se observaron agrietamientos en algunas vigas del entrepiso PB-Nivel 1, no interpretadas. Estas grietas afectan toda la sección de las vigas y ameritan atención adicional.
- * Asentamientos: véase la Sección 4.6.4.
- * Elementos de unión: todas las uniones observadas se encontraron en buenas condiciones (FOTOS 4.11 y 4.12).
- * No se identificaron deflexiones excesivas.

4.6.7. Servicios Eléctricos, Mecánicos y suministros.

- * La S/E de alto voltaje (24Kv a 0,44Kv) es de tipo encapsulado, sin presencia de autotransformadores desplazables. Por presencia de ratas y rabipelados hubo incendio en Diciembre de 1992. De instalación reciente, la nueva S/E requiere un extractor de aire para enfriamiento; esto está agravado, por la presencia de agua libre en el sub-sótano inferior. El agrietamiento visible del piso, no fué interpretado.
- * Sistemas de comunicación internos, existen, pero no están operativos. Radio ayuda tiene alcance hasta Maracaibo.
- * Los quemadores de calentamiento en la Sala de Máquinas no poseen los anclajes necesarios. Riesgo de caída de los pedestales.



FOTOS 4.11 y 4.12 BUENA
CALIDAD DE EJECUCION DE
LA ESTRUCTURA Y DE SUS
UNIONES



- * Almacenamiento y distribución de oxígeno: si bien los tanques están debidamente situados al aire libre, no poseen los anclajes necesarios. Hay riesgo de volcamiento en caso de sismo (FOTOS 4.13, 4.14, 4.15). Igual comentario para el tanque de almacenamiento de gas.
- * Aire acondicionado central: enfriadores Westinghouse.
- * Aire comprimido medicinal (seco): PB del Cuerpo D.
- * Caldera de agua caliente: requiere el anclaje a la fundación (FOTOS 4.16 y 4.17).
- * Cuatro ascensores: PB a Nivel 5. Techo accesible.
- * Cocina: instalaciones amplias; bajo riesgo de incendio. Las tuberías de aguas servidas drenan directamente al sótano inundado (FOTOS 4.18, 4.19).
- * Generador de emergencia: unidad de 60Kw (gasoil) de arranque y parada automática, anclado. Planta diesel de 500Kw, anclada.
- * Recolección de aguas de lluvia: (véase la Sección 4.6.4). El riesgo de inundación del sótano es un hecho.

4.6.8. Riesgo de Incendio y Medidas Preventivas.

- * Sistema insuficiente de: lámpara de corriente continua, extintores y medidas preventivas para caso de incendio.
- * No se dispone de sistemas de extinción automático ni de detección de humos.
- * El riesgo de incendio se considera limitado a ciertas áreas; no parece de fácil propagación. El depósito de gas propano está al aire libre y alejado de las instalaciones (véase FOTO 4.13).



FOTO 4.13 TANQUES DE
ALMACENAMIENTO Y SUMI-
NISTRO DE OXIGENO



FOTO 4.14 ANCLAJE
APARENTEMENTE IN-
SUFICIENTE PARA RE-
SISTIR ACCIONES DE
SISMOS INTENSOS

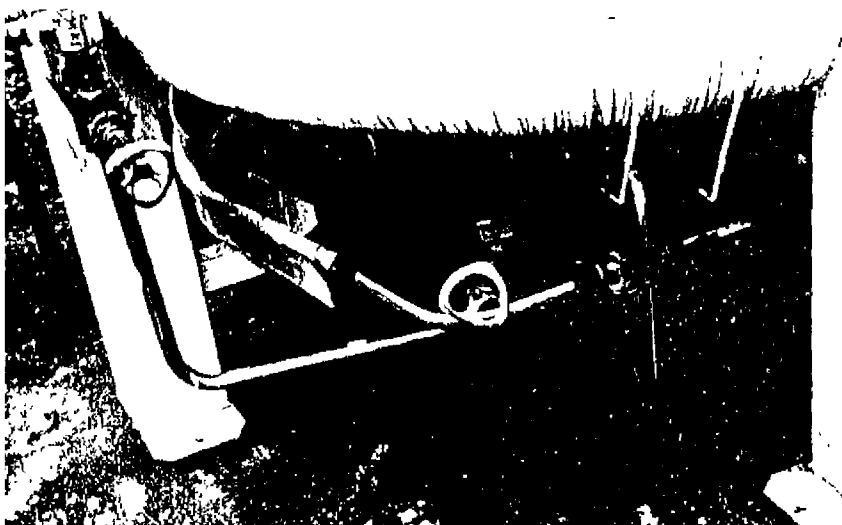


FOTO 4.15
TANQUE NO
ANCLADO

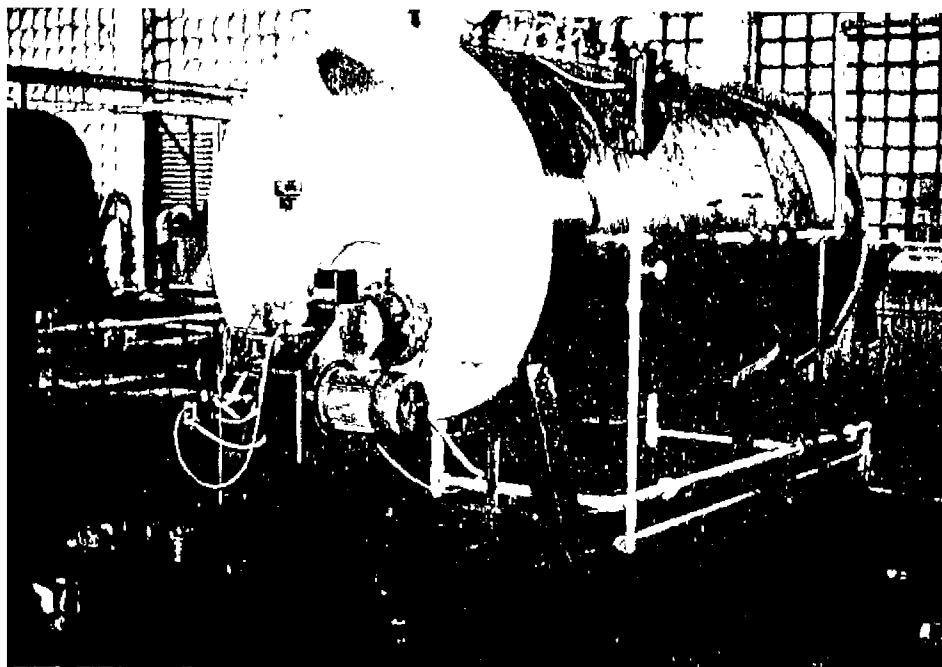
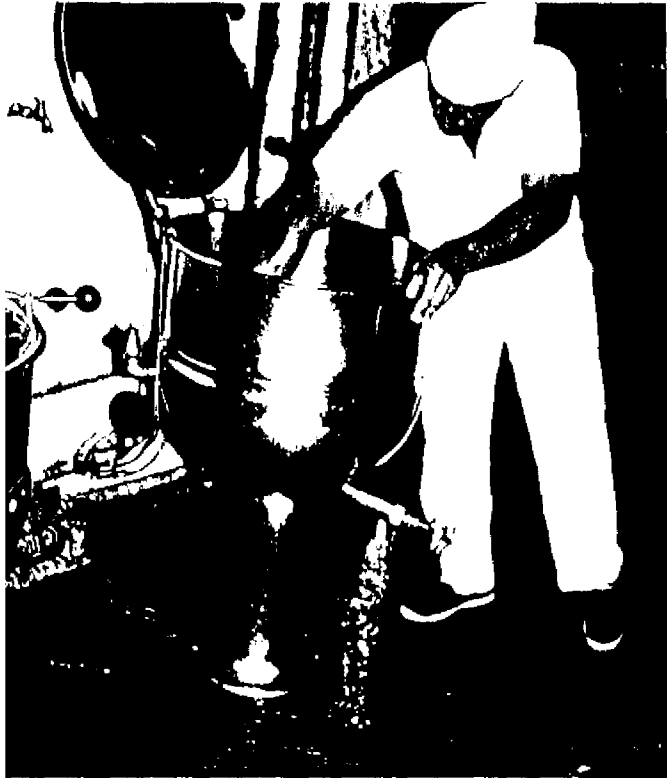


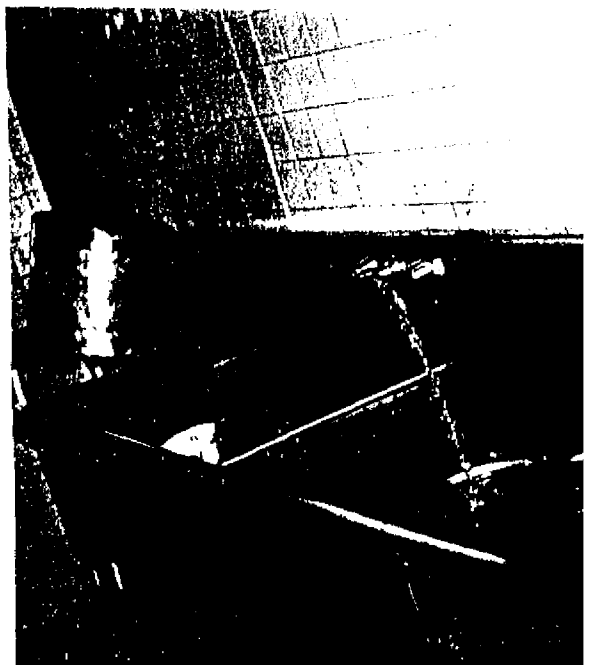
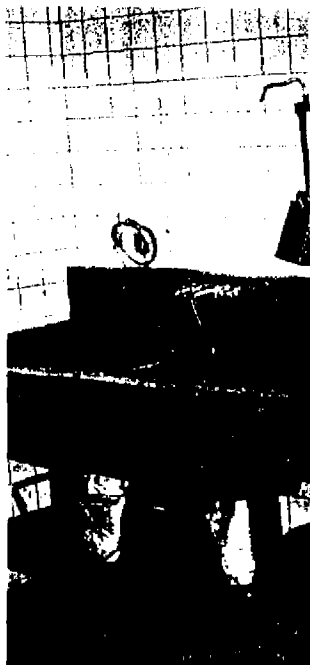
FOTO 4.16 SALA DE MAQUINAS. CALDERA NO ANCLADA



FOTO 4.17 DETALLE DEL APOYO DE LA CALDERA SOBRE
SU BASE; OBSERVESE LA FALTA DE ANCLAJE



FOTOS 4.18 y 4.19 AGUAS
SERVIDAS DE LA COCINA QUE
DRENAN HACIA EL SOTANO.
LAS CANILLAS PERMANECEN
ABIERTAS VARIAS HORAS AL
DIA



4.6.9. Estabilidad de Componentes No-Estructurales.

- * La estabilidad de componentes no-estructurales tipo mobiliario no fué evaluada de modo sistemático.
- * Los falsos techos son de configuración típica según se aprecia en la FOTO 4.20.

4.6.10. Rutas de Evacuación o Escape.

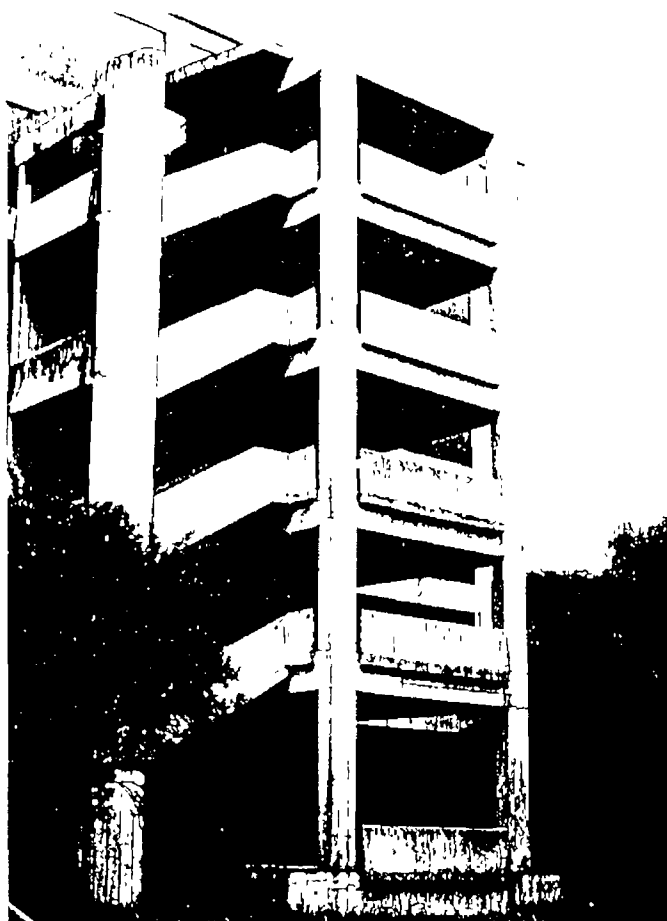
- * Las escaleras de emergencia están convenientemente dispuestas en los extremos este y oeste del Cuerpo A (Sótano + PB + 5 Niveles). El personal y pacientes del 5° nivel, no tienen acceso a las escaleras de escape; su ruta prevista es por la azotea, vía helicóptero (FOTOS 4.21 y 4.22).
- * No están indicadas las rutas de escape.
- * Las escaleras de circulación interna, adyacentes al sistema de ascensores, solo ofrecen facilidades de evacuación en horas diurnas. A partir de las 4:30 PM y hasta las 7:30 AM aproximadamente, se mantienen cerradas; la llave se encuentra en poder del Señor Vigilante.
- * Las puertas de salida son suficientemente anchas; adicionalmente, hay amplios espacios para la libre circulación.
- * No se identificaron agravantes potenciales en las áreas de escape.



FOTO 4.20 SISTEMA DE SUJECION DEL FALSO TECHO
 (PLAFONES Y LAMPARAS)



FOTOS 4.21 y 4.22 CUERPOS
DE ESCALERAS DE EMERGENCIA



4.6.11. Previsiones para Caso de Emergencia.

- * No se dispone de planes de contingencia y no se tiene prevista la estructura de mando para situaciones de Emergencia. Las autoridades mostraron mucho interés en mejorar este aspecto.
- * No hay sistema de alarmas.
- * Hay capacidad de almacenamiento refrigerado, pero no hay reservas de medicamentos.
- * El hospital dispone de dos tanques de 180 mil litros. El suministro depende del INOS, regularizado desde que este no depende de pozos.
- * No se identificaron riesgos de obstrucción de ambulancias, salvo la eventual caída de algún árbol. Se dispone de dos ambulancias; una de ellas en reparación (Foto 4.23).
- * No está prevista la prueba regular de las plantas de emergencia. Esta funcionó en la fecha de la visita.
- * Tableros de control: de fácil ubicación.

4.7. Resultados de la Evaluación de la Vulnerabilidad

4.7.1. Vulnerabilidad Estructural

Con la información disponible se aplicó la Sección 3.3.2. Los resultados son los siguientes:

- A) La configuración en planta y alzada está asociada a una vulnerabilidad reducida. El pasillo de entrada principal pudiera presentar problemas de torsión en planta en caso de sismos intensos y, eventualmente, perder su estabilidad. Los antepechos en las fachadas norte y sur



FOTO 4.23 ENTRADA DE EMERGENCIAS (CUERPO C)

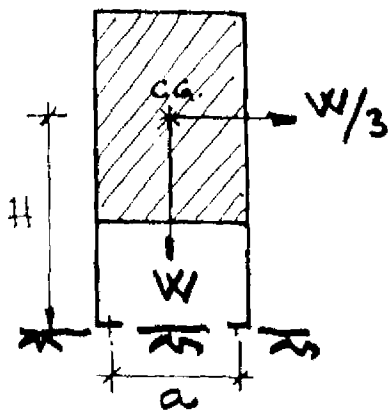
la robustez de las vigas, puede dar lugar a una condición de columna corta que requiere evaluación cuantitativa.

- B) El sistema estructural es adecuado para el número de niveles de las edificaciones que conforman este hospital.
- C) Las uniones revisadas presentan buen estado exterior; no se han evaluado los detalles de armado.
- D) El mantenimiento general es adecuado. No obstante hay tres aspectos puntuales que requieren atención:
 - i) el bote de aguas servidas y los drenajes de lluvia hacia el sótano.
 - ii) los agrietamientos en paredes del área de faenas sucias del Laboratorio Clínico, pues pudiera ser una manifestación de asentamientos incipientes.
 - iii) la fisuración vertical, a todo lo alto de la sección de algunas vigas de la PB del cuerpo A, las cuales pudieran estar relacionadas al punto ii) recién anotado.
- E) No se dispone de datos sobre las condiciones del subsuelo. De acuerdo a la información recabada el área ocupada por la instalación era una antigua ciénaga. La presencia de agua superficial hacia el sur-este (cerca del incinerador) permite presuponer un nivel freático cercano a la superficie. Este aspecto geotécnico amerita la mayor atención, pues pueden darse efectos locales de amplificación y/o licuefacción como consecuencia de sismos distantes o cercanos.

4.7.2. Vulnerabilidad Funcional

Con la información recabada en el sitio se aplicó la Sección 3.4. Los resultados son los siguientes:

- a) Eventual desprendimiento de los "bris-soleil" de asbesto y de láminas de vidrio de las ventanas. En general no representan riesgos mayores en las áreas de circulación de la Planta Baja.
- b) Falsos techos, lámparas para iluminación de pasillos y oficinas, están colgados por medio del tradicional sistema de alambres; bajo la acción de sismos intensos es previsible el desprendimiento parcial aun cuando no representa una elevada amenaza a la vida de los ocupantes.
- c) No se procedió a una inspección detallada del mobiliario y/o áreas de almacenamiento de productos. En general su volcamiento o derrame debe preverse fijando los estantes a las paredes entre sí, y disponiendo elementos de protección contra el volcamiento o derrame de productos. Esta recomendación se extiende igualmente a las bibliotecas y archivos de historias clínicas.
- d) En la Sala de Máquinas (cuerpo E), así como en el patio exterior de almacenamiento de oxígeno y de gas combustible, se identificaron instalaciones no ancladas. Estos equipos deben fijarse a sus bases por medio de pernos embutidos en ellas con un diámetro d por lo menos igual al estimado en la forma siguiente:



$$d = \frac{1}{\pi} \frac{W H}{12 a} - \frac{W}{8} \quad (\text{cm})$$

W = peso en toneladas

a y H en las mismas unidades

- e) No se identificaron áreas susceptibles de ser afectadas por material radiactivo.
- f) En las dependencias inspeccionadas, el riesgo de incendio se considera limitado; los sistemas de prevención y extinción son deficientes.

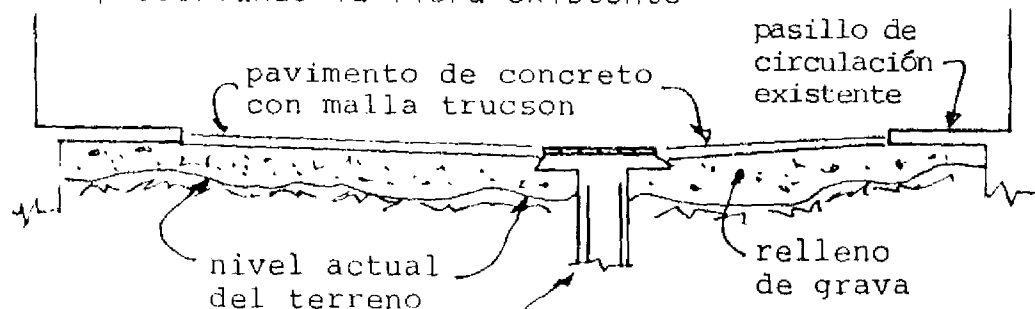
4.7.3. Recomendaciones

De la evaluación hecha se desprenden las siguientes recomendaciones:

R1. Control de Inundación de Sótanos

- * Reconstruir el sistema de aguas servidas de la cocina.
- * Elevar la cota de los patios interiores a fin de que los sistemas de recolección de aguas de lluvia operen en la forma prevista. Para ello se recomienda:

- 1) pavimentar todos los patios interiores, preservando la flora existente



- ii) evitar el acceso de aguas de lluvia de las acequias y o zanjales laterales a la edificación.
- iii) reparar el techo de la sala de máquinas.

R2. Geotécnia

- * Indagar sobre los estudios de suelos hechos en el sitio, así como sobre el registro del hincado de pilotes y su longitud total.
- * En caso de no encontrar esa información, se debe contratar un estudio de suelos, para realizar un mínimo de tres perforaciones: una en el área sur-este cerca de la tanquilla saturada, otra en el patio interior entre los cuerpos C y D, y la tercera hacia las escaleras de emergencia del cuerpo A, lado oeste.
- * Evaluar el riesgo de amplificaciones y/o licuefacción, en función de las fuentes sismogénicas conocidas en un radio del orden de 250 km.

R3. Evaluación Estructural

- * Colocar testigos de yeso en las grietas existentes de paredes, así como en las fisuras de las vigas. Anotar la fecha de colocación y llevar un cuaderno de anotaciones con las observaciones hechas, su fecha y hora. Los testigos de yeso (1:1) de unos 4 cm de largo (perpendicular a la grieta), por unos 2 de ancho aproximadamente. Proceder a una evaluación periódica de las observaciones hechas.

- * En base a la información geotécnica, proceden a un análisis conservador sobre el posible problema generado en las columnas por la presencia de antepechos.
- * Evaluar si en el pasillo de entrada se generan torsiones que puedan amenazar su estabilidad.

R4. Reducción de la Vulnerabilidad no Estructural

- * Fijar a sus bases los equipos no anclados, tal como se indicó en la Sección 4.7.2 d.
- * Sustitución progresiva del sistema actual de ventanas por otro nuevo menos vulnerable a su manejo.
- * Verificar que los estantes de productos médicos y los de equipamientos, sean estables; caso contrario fijarlos a las paredes.
- * Programar la adquisición de los extractores de aire caliente de la sala de S/E encapsulada.

R5 Prevención de Emergencias

- * Las escaleras de circulación interna deben ser de libre circulación todo el día.
- * Elaborar un plan sencillo para atender Emergencias y/o Contingencias, así como un esquema de simulacros. Este podría prepararse conjuntamente con Defensa Civil y Bomberos.

- * Como resultado de lo anterior, identificar las mejoras necesarias para el manejo interno de Emergencias: señalización, extintores, sistema de comunicación interna y externa, alarmas, reservas de medicamentos, lámparas de emergencia y programas de verificación.

R E F E R E N C I A S

1. GRASES J. Performance of Hospitals during Earthquakes. Strategy for Vulnerability Reduction. Proc. VIIIth Japan Symp. on Earthq. Engineering, Tokyo 1990, 2211-2216.
2. BACARREZA V. Instalaciones Hospitalarias de Venezuela. Informe inédito, Caracas 1989.
3. COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Edificaciones Antisísmicas. COVENIN-MINDUR, 1756-82, Fondonorma, Caracas 1982.
4. ¿Es su Hospital seguro? Desastres, Preparación y Mitigación en las Américas. Boletín #53, Enero 1993, pl.7.
5. PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION (PAHO). Disaster Mitigation Guidelines for Hospitals and other Health Care Facilities in the Caribbean. Washington, D.C. Jan 1992, 67p + annex.
6. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Hazard Identification and Evaluation in a Local Community. Tech. Rep. N°12, Paris 1992.
7. VETERANS ADMINISTRATION (VA). Study to Establish Seismic Protection Provisions for Furniture, Equipment and Supplies for VA Hospitals. Office of Construction, Washington, D.C., Feb 1980.
8. BAY AREA REGIONAL EARTHQUAKE PREPAREDNESS PROJECT (BAREPP). Reducing the Risks of Non-structural Earthquake Damage: A Practical Guide. BAREPP 85-10, 2nd edit. Oakland 1985.
9. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). Seismic Considerations: Health Care Facilities. Earthquake Hazards Reduction Series 35 FEMA 150, Washington, D.C. 1987.
10. STEWART D. Reducción de Riesgos en componentes no-estructurales de los Hospitales para casos de Terremotos. Texto de la Conferen. presentada en el Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas, Lima Agosto-Septiembre de 1989.
11. THE HOSPITAL COUNCIL OF NORTHERN CALIFORNIA. Earthquake Preparedness Guidelines for Hospitals. BAREPP, Oakland, October 1987.
12. REITHERMAN, R. Review of Earthquake Damage Estimation Methods. Earthquake Spectra, 1:4 805-847, August 1985.
13. APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC). Rapid Visual Screening of Buildings for potential Seismic Hazards. ATC-21, Redwood City, 1988.
15. ARTILES M.A. Estudio Geomorfológico de la Planicie Aluvial en la cuenca baja del río Catatumbo (Sector Venezolano) MARNR, Junio 1990.

14. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings. Earthquake Hazards Reduction Series 47, FEMA-178/June 1992.
16. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR). Informe sobre la inundación ocurrida en Santa Bárbara. Caracas 1978.
17. GONZALEZ A., MARTINEZ N. y YEPEZ M. Diagnóstico del Problema de inundaciones urbanas en el área sur del Lago de Maracaibo. Serie de Informes Técnicos DGSPOA/IT/239, Caracas, Julio 1986.
18. ISHIYAMA, Y. Security Considerations in Seismic Design of Hospitals. Trabajo presentado en el Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas, Lima Agosto-Septiembre de 1989.

unknown- undamaged ones; (b) the seismic reliability of a large percentage of the existing hospital buildings is doubtful.

This paper looks into the particular problem of the implicit or explicit design hypothesis contained in present L.A seismic design codes and suggests new ground motion selection criteria, based on the expected performance of hospital buildings under earthquake loading.

TABLE 2: CHANGES IN CODE ZONATION: VENEZUELA

PERIOD OF ENFORCEMENT	NUMBER OF SEISMIC ZONES	(AREA OF MAXIMUM SEISMIC HAZARD)/ (TOTAL COUNTRY AREA)
1947-1955	3	0,9%
1955-1967	3	5,3%
1967-1982	4	8,5%
1982-	5	13,1%

DESIGN STRATEGY OF EXISTING CODES

Hospital buildings, as well as Police stations, museums and the like, are treated in current codes as exceptionally important buildings. The differentiation from current buildings is done through the application of the 'importance factor' α , equal to 1 for normal buildings and larger than unity for hospitals as is shown in Table 3. Even if not explicitly indicated, the purpose of the α factor is to increase the design strength in order to reduce potential damage due to expected future events (Ref. 3).

TABLE 3. IMPORTANCE FACTOR FOR HOSPITAL BUILDINGS IN LATIN AMERICAN (L.A.) CODES

COUNTRY	α
Argentina	1,40
Chile	1,25
Colombia	1,20
Costa Rica	1,60
Dominican Rep.	1,30
Cuba	1,60
El Salvador	1,50
Guatemala	1,50
Nicaragua(*)	1,26
Peru	1,30
Venezuela	1,25

(*) larger for less hazardous seismic zones.

Vulnerability. Among the particularities than have to be considered in hospital installations, the following are paramount: (i) occupancy: hospitals house permanently a large number of persons (patients, visitors, medical and service staff, as well as suppliers) and many patients must be surrounded by delicate equipments; (ii) complexity: health installations combine hotel and office service with laboratory, equipments and storage, often in internal areas without natural light; (iii) dependence of vital services: power supply, water and communications are vital. Those particularities deserve full attention from the designer and add to the complicated problem of earthquake resistant design (Ref. 1).

Seismic Coefficient As well as for other buildings, seismic design codes establish the so called seismic base coefficient (C), equal to the total base shear at yield level, divided by the total weight, if design response spectra are given, it is easy to refer the base shear in terms of C. For comparison purposes, the C value will be written.

$$C = \frac{A_o \alpha \beta 0,85}{R} \quad T \leq T' \quad Ec (1a)$$

$$C = \frac{A_o \alpha \beta 0,85}{R} (T'/T)^p \quad T > T' \quad Ec (1b)$$

where. A_o = spectral acceleration for $T=0$ sec (maximum ground acceleration)(%), α = importance factor; β = dynamic amplification factor; 0,85 = shear modification factor in order to take into account higher modes (here assumed as a constant), R = ductility reduction factor (depends on type of earthquake resisting system); T' = soil type corner period (sec), T = natural period(sec), p = soil amplification factor exponent

PERFORMANCE OF HOSPITALS DURING EARTHQUAKES STRATEGY FOR VULNERABILITY REDUCTION

by

José Grases G.*

ABSTRACT

During the last 19 years, more than 100 hospital installations attending a population of 10 to 12 millions in 9 different countries of the American hemisphere, have been affected by earthquakes. One out of 5 collapsed or was demolished due to heavy damage. Hospital buildings are treated in earthquake design codes as a special class with a 20% to 60% increase of the lateral loads prescribed for normal use buildings. Large ductility demands and expected damage using this criteria, do not warrant the expected performance. This paper proposes a procedure based on the seismic hazard of the site and the desired performance of the building and its contents. Cost implications of this strategy are negligible if compared to the total cost.

INTRODUCTION

Emergency planning in seismic scenarios assume that victims are rushed into hospitals. Therefore hospital buildings are supposed to remain in operational conditions after intense earthquake shaking. This has not been however the real situation in several cases. In the American hemisphere, during the last two decades, more than 100 hospitals attending a total population in the order of 10 to 12 millions in 9 different countries, have suffered some degree of damage due to earthquakes, 1/5 of which collapsed or were damaged beyond repair (Table 1) (Ref. 1). Even if there are no precise statistics about the design criteria of the heavily damaged or collapsed buildings, many of them were built in the last decades according to standards that still are, or have until recently been, enforced.

Evolution of earthquake codes (Ref. 2), first introduced in America half a century ago, has incorporated new analytical and design criteria, and also generally enlarged areas where they must be applied. Table 2 illustrates this for Venezuela, one of the countries of the Latin American (L.A.) region; similar enlargements have occurred in other countries such as Cuba and USA, this being the result of a better seismological and tectonic knowledge. Therefore, and given that a large percentage of hospital installations have been built under seismic regulations today in obsolescence, we face a two fold problem: (a) the design criteria for new hospital installations appears to be not sound enough, even if we consider the many though

TABLE 1: HOSPITAL INSTALATIONS AFFECTED
BY RECENT EARTHQUAKES IN AMERICA

EVENT	TOTAL NUMBER	COLLAPSED OR DEMOLISHED
San Fernando, 1971	9	6
Managua, 1972	2	1
Guatemala, 1976	2	2
Cúcuta, 1981	2	-
Popayán, 1983	1	-
Mendoza, 1985	10	2
Chile, 1985	22	2
México, 1985	22	6
San Salvador, 1986	11	1
Whittier N., 1987	18	1
Quebec, 1988	2	-
Loma Prieta, 1989	7	-

* Professor, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

ge shall not impair emergency services, it must be limited, repairable and non life threatening; (ii) medical personnel and staff, patients and visitors, must remain in reasonable safe conditions during an intense earthquake. Eventual evacuation must be warranted; (iii) free entrance to hospital buildings is paramount. In extreme cases, entrance of rescue teams should not be hindered or risky.

In order to fulfil the above requirements, four performance levels (PL1 to PL4) are proposed for the selection of seismic actions (Table 6). R values are referred to framed reinforced concrete structures, this being largely the most used structural building system in Latin America; other structural systems may have different R values.

TABLE 6: PERFORMANCE LEVELS FOR THE SELECTION OF DESIGN GROUND MOTIONS REINFORCED CONCRETE HOSPITAL BUILDINGS; 45 YEARS EXPECTED SERVICE LIFE.

PERFORMANCE LEVEL	EXPECTED PERFORMANCE	R (a)	PROBABILITY OF OCCURRENCE	τ (b) (years)
PL1	Elastic response; no visible damage. Hospital fully operational.	1,0	Highly probable ground motions; exceedence larger than 60% in 45 years.	45
PL2	Minor to no damage to non-structural elements; scattered non-structural repairable damage. Hospital fully operational.	1,5	Probability of exceedence about 20% in 45 years. Intense shaking in highly seismic areas.	200
PL3	Limited structural damage; some installations may be affected, but emergency services shall remain operational.	2,0	Small probability of occurrence during service life (10% in 45 years)	430
PL4	Heavy structural damage but small probability of collapse. Non operational installation; rescue warranted.	3,0 4,0	Very small probability of occurrence (less than 5% in 45 years). May be the most intense in low seismic regions.	larger than 900

(a) ductility reduction factor for essentially complete space frames.
(b) mean return period.

Selection of design ground motions. Nowadays, routine seismic hazard studies are presented in such a way that the probability distribution function for maximum ground motions are given; i.e. the following function is known:

$$P \{A \leq a\} = F_A(a) = e^{-t(a/a^*)^{-q}} \quad \text{Ec (2)}$$

where: t = lifespan considered (years); a = specific value of the random variable A (maximum ground acceleration) (gal); a^* = characteristic value of A (gal); q = exponent dependent on the hazardousness of the site.

Figure 1 gives typical hazard evaluation results, in terms of maximum ground acceleration (as Ec (2)), for a 45 years life span. It also shows in a graphical form the application of the criteria established in Table 6. Similar results for three different sites are given in Table 7, where PL2 happens to be the critical performance level for Sites 1 and 2, and PL1 for Site 3. This result shows, among other things, that the importance factor α can not be taken as a constant.

Comparison of present seismic design codes of eleven L.A. countries has been made, assuming that the same reinforced concrete building is founded on same soil conditions and is to be designed in the highest hazardous seismic zone; the selected countries are those listed in Table 3. The

four considered situations are given in Table 4. From the comparison it has been found that design seismic coefficients, for reinforced concrete framed buildings,

show large variations among the eleven countries studied; mean values and ranges of C values are given in Table 5. Basic information is not available in order to elucidate if those large differences are reflecting seismic hazardousness exclusively (Ref.4).

TABLE 4: SELECTED CONDITIONS FOR THE CODE COMPARISON (see Table 3). CASE DESIGNATION.

SOIL CONDITIONS	Ec (1a) and (1b)			CASE DESIGNATION	
	p	T*(sec)	B	T=0,5(sec)	T=1,0(sec)
Rock	0,8	0,4	2,2	R/0,5	R/1,0
Alluvium	0,6	1,0	2,0	A/0,5	A/1,0

Maximum ground acceleration (A_0) and importance factor (α). The value of A_0 is not always given explicitly in the Codess. If not, given that C is known -generally tabulated- the corresponding A_0 value can be obtained from Ecs (1a) and (1b). For the most hazardous seismic zones, A_0 varies between 0,2g and 0,6g, and αA_0 varies between 0,26g and 0,84g. Annual probabilities of exceedence are only given in the code of Costa Rica.

TABLE 5: MEAN VALUES AND RANGES OF THE SEISMIC COEFFICIENT FOR THE FOUR CASES SHOWN IN TABLE 4. ELEVEN L A COUNTRIES.

CASE	$\bar{C}$	RANGE	C_{max}/C_{min}
R/0,5	0,130	0,065-0,206	3,17
R/1,0	0,083	0,035-0,143	4,09
A/0,5	0,176	0,106-0,287	2,71
A/1,0	0,126	0,071-0,245	3,45

Ductility Reduction factor (R). For the earthquake resistant

design of reinforced concrete hospital buildings using the same L.A. codes previously mentioned and the same conditions established in Table 4, it has been found that the R values range from 4,8 to 12; 6 being the most frequent value. It is well known that the larger the R value, the larger will be the nonelastic incursion, associated to structural and non-structural damage, hence severely impairing the operational conditions of the installation.

Results of the comparison. Summarising, from the revision and comparison of eleven L.A. earthquake resistant code regulations, the following three conclusions stand out: (a) seismic design forces required for the design of a given hospital building, in similar soil conditions and in the most hazardous seismic zones, differ by a factor as large as 4,1. It is not known how much of this difference is attributable to hazardness; (b) the importance factor α ranges from 1,2 to 1,6, and the factorized maximum design ground accelerations (αA_0) ranges between 0,26g and 0,84g; probabilistic implications are not given; (c) the authorized or inferred ductility reduction factors (R), are large enough to be associated to structural damage with a high probability of impairing the normal operation of hospital buildings under strong shaking. Therefore, if codes are to be applied in its present form, the probability of reaching the desirable performance appears to be limited.

PROPOSAL FOR THE SELECTION OF GROUND MOTIONS AND R FACTORS TO BE USED IN DESIGN AND/OR EVALUATION

Expected performance Earthquake resistant design -or retrofitting- requirements for hospital buildings, must explicitly minimise the risk of disruption. Expressed in a general form, this means: (1) the building must remain stable even after very strong shaking. Damage

installation, including equipments and facilities. Therefore, the final incidence of the increased strength do not exceed 1% of the total cost. In critical situations, where resulting loads are judged to be excessively high, other strategies may be recommendable such as: base isolation, energy dissipation devices, and the like.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1) The analysis of the statistics of twelve damaging earthquakes that have affected nine American countries during the last twenty years, reveals that the seismic performance of hospital buildings under strong shaking, do not reach the desired reliability.

2) The revision of the present code seismic design coefficients for hospital buildings of eleven Latin American countries, in their most hazardous seismic zonation, disclose large differences in the total lateral forces to be applied to the same building and soil conditions. Commonly the design criteria assume large ductility demands, which are expected to be associated to heavy structural and non-structural damage and, if not properly designed and constructed, to a non negligible risk of partial to total instability under intense earthquake shaking.

3) As in other facilities such as nuclear power plants or dams, it is proposed here that for earthquake resistant hospital buildings, design ground motions be selected according to a set of performance levels. Four levels are suggested in this paper, which can also be applied in the evaluation of existing facilities for retrofitting purposes.

4) The application of the aforementioned proposal, in normal conditions has very limited cost implications, estimated not to exceed 1% of the total ready-for-service cost. In critical situations, where resulting loads are judged to be excessively high, other strategies may be recommendable such as: base isolation, energy dissipation devices and the like.

5) Given the importance of the preceeding points, the author recommends the critical revision of actual code criteria for the earthquake resistant design of hospital buildings and the incorporation of the subject as a main goal of the international Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR).

REFERENCES

- Ref. 1 International Seminar on Planning, Design, Repair and Administration of Hospital Buildings in Seismic Zones. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), supported by JICA, PAHO and CONCYTEC, Lima, August-September 1989.
- Ref. 2 International Association for Earthquake Engineering. Earthquake Resistant Regulations. A World list. 1963 to 1988.
- Ref. 3 International Association for Earthquake Engineering, ad-hoc Commission. Basic Concepts of Seismic Codes. Tokyo 1980.
- Ref. 4 Grases, J. Desempeño de Instalaciones Hospitalarias durante Sismos. Estrategia para la Reducción de la Vulnerabilidad. Presented to the VI Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmorresistente, México, September, 1990.
- Ref. 5 Applied Technology Council. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings. Special Publication 510, National Bureau of Standards, Washington 1978.

tant amidst regions with marked hazard differences.

Seismic design coefficients. Seismic coefficients or spectral ordinates, will directly be affected by the application of the proposed criteria. If compared, for instance, with typical present criteria (see footnote (i) in Table 7), this last value in Sites 1 and 2 gives design ground accelerations 2,6 times smaller, and 3,0 times smaller in Site 3.

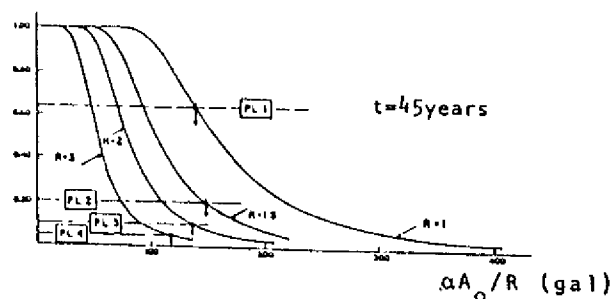


FIGURE 1: PROBABILITY OF EXCEEDENCE OF $\alpha A_0/R$ AND PERFORMANCE LEVELS GIVEN IN TABLE 6.

TABLE 7: APPLICATION OF THE CRITERIA OF TABLE 6 TO THREE SITES WITH MARKED HAZARDOUSNESS DIFFERENCES.

PARAMETERS	SITE 1: very high seismic area; near large active faults.	SITE 2: high seismic area; representative of certain locations in the Caribbean.	SITE 3: low seismic hazard; far from active sources.
a^* (gal) Ec(2)	55	45	20
q Ec(2)	2,90	3,33	5,00
A_0/R (gal) (i)	92	57	14
PL1 ; (R=1)	204	141	43 (ii)
PL2 ; (R=1,5) A_0/R	242 (ii)	147 (ii)	40
PL3 ; (R=2) (gal)	230	134	34
PL4 ; (R=3)	195	117	27

(i) ATC-3,1978 criterion (10% exceedence in 50 years); $R = 6$ (Ref. 5)
(ii) value to be chosen as design ground motion.

Going back to Tables 4 and 5, and recalling that the given seismic coefficients refer to the highest hazardous seismic zone of each of the eleven analysed codes, the proposed seismic coefficients compared to the present code values in the following manner (Table 8); Site 3 is not included in this table, since it illustrates a low seismic hazard location.

TABLE 8: COMPARISON OF PRESENT AND PROPOSED C VALUES

VALUE SOURCE		DESIGNATION ACCORDING TO TABLE 4			
		R/0,5	R/1,0	A/0,5	A/1,0
Mean of 11 L.A. codes		0,130	0,083	0,176	0,126
Using results from Table 7	Site 1	0,38	0,22	0,42	0,42
	Site 2	0,24	0,14	0,27	0,27

Table 8 shows that in order to satisfy the performance levels established in Table 6, seismic design coefficients must be increased. Design decisions in order to cope with larger shear forces, must also satisfy additional limitations in drift allowances in order to control damage to non-structural elements and equipments.

Cost implications. The application of the aforementioned proposal in normal conditions has very limited cost implications. Duplicate or triple the seismic strength of the earthquake resisting system, has a cost implication of less than 8% of its construction cost. Typical hospital's costs ratio, indicate that the structural system represents between 12% to 18% of the total ready-for-service cost of the