

En este caso los problemas operativos del hospital durante la construcción fueron los más acentuados. El plazo de ejecución del trabajo tardó 34 meses, trabajo que había sido contratado originalmente para ejecutarlo en 12 meses. Hubo un período de 7 meses donde los quirófanos estuvieron cerrados y el servicio de cirugía electiva estuvo suspendido. Los daños causados y los robos a las instalaciones y acabados del edificio fueron muy grandes además se contaba con la negativa del contratista a reponerlos ya que el cartel no lo obligaba.

A pesar de los inconvenientes presentados durante las construcciones los trabajos en estos hospitales concluyeron de buena manera y actualmente prestan servicio sin contratiempos. El personal ha elevado su nivel de confianza en la estructura de los edificios y se cuenta con planes de respuesta ante emergencias en caso de sismos fuertes.

La parte no estructural ha sido considerablemente mejorada y el simple hecho de que la estructura responda apropiadamente hace que lo no estructural también se comporte de mejor manera. Esto quedó demostrado en alguna medida durante los sismos que les tocó enfrentar a dichos hospitales durante 1990 y 1991.

EL EFECTO DE LOS SISMOS DE 1990 Y 1991 SOBRE LOS HOSPITALES

Durante 1990 y 1991 se presentaron en Costa Rica tres sismos fuertes a saber: el sismo de Cóbano ocurrido el 25 de marzo de 1990 cerca de la península de Nicoya y con una magnitud Richter de 6.8 y una profundidad de 29.7 km, el sismo de Puriscal ocurrido el 22 de diciembre de 1990 con una magnitud Richter de 5.7 y a una profundidad de 25 km, y el sismo de Limón ocurrido el 22 de abril de 1991 con una magnitud Richter de 7.5 y a una profundidad de 21.5 km.

El Hospital Monseñor Sanabria en Puntarenas, que se encontraba en proceso de reestructuración, sufrió daños durante el sismo del 25 de marzo de 1990. La intensidad reportada en la zona fue VII en la escala Mercali.

El estado de la reestructuración en ese momento era la siguiente: los muros del costado oeste llegaban al décimo piso, los muros del costado este llegaban al segundo piso y los muros del costado norte llegaban al sexto piso. Esto causó desplazamientos laterales no uniformes debido a la no simetría de la estructura adicionada para la fecha.

El daño se concentró en las paredes de mampostería y hubo daños serios en los medicamentos y equipos de la farmacia. No hubo daños en la estructura principal. Es criterio profesional que la estructuración salvó al edificio; sin embargo, el no separar las paredes y el proceder no uniformemente con la reestructuración fue causa de los daños. Los daños excesivos en paredes causaron el desalojo del hospital y su capacidad fue reducida al 32%. El costo de las reparaciones, según el Instituto Nacional de Seguros ascendió a 30 millones de colones (\$300.000). Este monto sumado al desperdicio de recursos durante 5 meses supera en casi dos veces el valor de la reestructuración.

Este sismo realmente probó la reestructuración pero también mostró los grandes problemas operativos que se presentan si se dañan las paredes. Este problema de las paredes no se corrigió y en el futuro se podrían tener problemas similares.

El Hospital México fue sacudido por el sismo del 22 de diciembre de 1990 y por el sismo del 22 de abril de 1991. La intensidad del movimiento en ambos sismos en esa zona de San José se estimó como VII en escala Mercali. Durante el sismo del 22 de diciembre de 1990 la reestructuración tenía un 70% de avance. En el edificio sur-este, que tenía un 100% de avance en la reestructuración, no se presentó ningún tipo de daño. En el edificio central y en quirófanos,

donde la reestructuración no se había iniciado, hubo caída del cielo, rotura de vidrios y agrietamiento de paredes. En el edificio nor-oeste, que tenía reforzados siete de sus diez pisos, hubo caída del cielo y rotura de paredes en los pisos 8, 9 y 10. En el piso 8 hubo agrietamiento de columnas lo que mostraba el inicio del daño estructural. En este edificio las paredes no desligadas de la estructura mostraban agrietamiento tanto en la pared como en la estructura confinante. Se estima que no hubo más daño en las partes no reforzadas debido a la radiación predominante nor-oeste sur-este de las ondas sísmicas.

Durante el sismo del 22 de abril de 1991 la reestructuración estaba casi completa y no hubo daños estructurales de ningún tipo. Hubo daño no estructural como el mencionado únicamente en las áreas no reforzadas.

Estos sismos no fueron una prueba contundente de la reestructuración pero si mostraron las ventajas del refuerzo proporcionado y las deficiencias de la estructura original. También probó parcialmente el criterio de diseño adoptado que era el resistir, sin daño estructural, sismos de intensidad moderada. La actitud del personal ante eventos sísmicos ha cambiado sustancialmente y el comportamiento que se tiene es más moderado lo que evita el pánico colectivo.

El Hospital Nacional de Niños fue también sacudido por los sismos del 22 de diciembre de 1990 y del 22 de abril de 1991. A la fecha del primer sismo la reestructuración estaba totalmente concluida. El hospital no sufrió daño, salvo la caída de algunos objetos y agrietamiento menor de algunas paredes. El movimiento del terreno en la zona del hospital se consideró moderado (MM VI). El hospital respondió según la filosofía de diseño ya que no hubo daño para sismo moderado. Aunque no fueron pruebas totales, ya que el sismo fue menor que el de diseño, el comportamiento del edificio permitió apreciar las ventajas del reforzamiento e

intuir que ante sismos mayores el comportamiento será satisfactorio. El comportamiento del personal fue excelente ya que se mantuvo en sus puestos mientras duró la sacudida.

En general se pudo observar que aquellos edificios reforzados tuvieron un comportamiento satisfactorio, no así los edificios no reforzados donde, a pesar de haber experimentado sismos menores que los de diseño, se evidenciaron fallas que pondrían en peligro a los hospitales durante sismos más intensos. Durante estos sismos se pudo apreciar el efecto positivo que tuvieron las reestructuraciones.

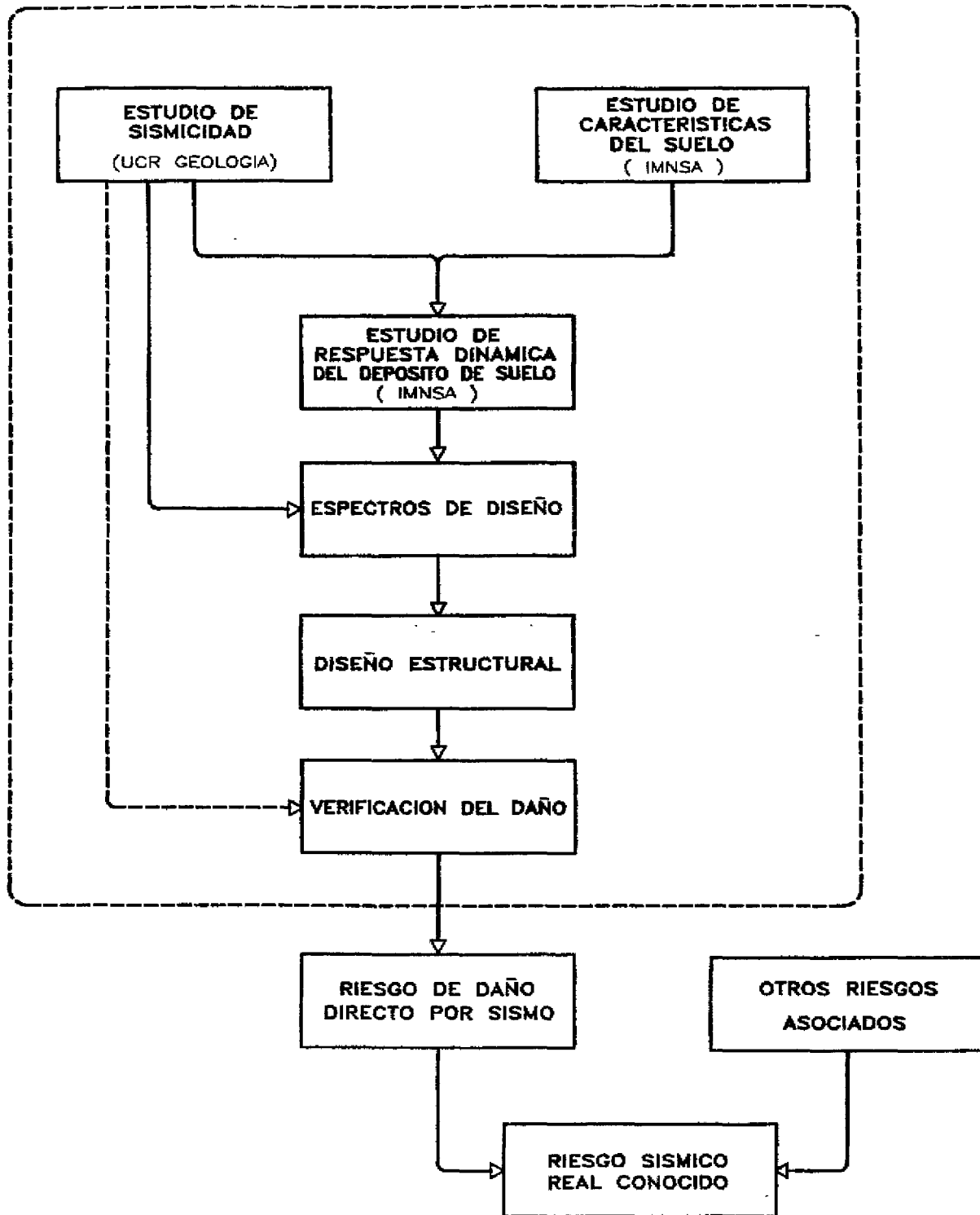
PROCESO DE DISEÑO DEL NUEVO HOSPITAL DE ALAJUELA

El diseño sismo-resistente del futuro Hospital de Alajuela representó una oportunidad para aplicar las nuevas metodologías de diseño y evitar desde el diseño mismo los defectos señalados en los otros hospitales ya mencionados. La metodología representó un proceso integrado multidisciplinario de las diferentes etapas del diseño dirigido a obtener estructuras más seguras y sin tanta incertidumbre como en los diseños convencionales.

El proceso de diseño se resume en la Figura 2 que se explica a continuación.

El estudio del riesgo se inicia con la evaluación de la amenaza sísmica. Este estudio, realizado por sismólogos, hace una revisión y análisis de los sistemas de fallamiento activo y caracteriza la sismicidad de la región central de Costa Rica con énfasis en la Ciudad de Alajuela. Se utiliza la sismicidad histórica como la reciente y se identifican las fallas que por su tamaño o su cercanía representan mayor amenaza para el hospital. También se incluye el fallamiento de la zona de subducción en la Costa Pacífica. De este estudio se obtienen las características de los sismos que se presentan en diferentes períodos de retorno. Estas características como, aceleración

FIGURA 2
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO SISMORESISTENTE
HOSPITAL DE ALAJUELA



y velocidad máxima del movimiento del terreno, duración del sismo, entre otras son luego utilizadas en el cálculo estructural del hospital.

Posteriormente se realiza un estudio de las características dinámicas del suelo, realizado por ingenieros geotecnistas, con el objeto de determinar cuanto contribuye la vibración propia del depósito de suelo en amplificar la señal sísmica. Mediante la técnica de microsísmica de pozos y resistividad eléctrica se obtienen las calidades mecánicas de las diferentes capas de suelo que componen el depósito. Una vez identificadas las características del suelo se realiza un estudio de respuesta dinámica del depósito utilizando registros sísmicos recientes introducidos en la base rocosa. Se determinó que en promedio la vibración propia del suelo amplifica en un 65% la señal sísmica introducida en la base rocosa.

Con el movimiento en la base del edificio (superficie del depósito de suelo) se realiza luego un análisis dinámico del edificio para conocer las fuerzas que la sacudida sísmica introduce en los diferentes elementos de la estructura. Con estas fuerzas se cuantifica luego la cantidad de refuerzo que deben tener cada uno de los elementos. Este proceso de diseño que es el usual en ingeniería estructural no garantiza la no existencia de daño en las diferentes partes de la estructura. En el caso del Nuevo Hospital de Alajuela se realizó un análisis del comportamiento y cuantificación del daño (análisis inelástico no-lineal). Este proceso utiliza las técnicas de análisis del daño desarrolladas por la ingeniería sismo-resistente en la última década. El procedimiento de cuantificación de daño va más allá de las metodologías indicadas por los códigos sísmicos pero está acorde con la filosofía general de dichos códigos.

Conocido el movimiento del edificio durante el sismo se conoce el efecto que este movimiento tiene sobre los componentes no estructurales. Estos efectos son luego comunicados al equipo de ingenieros electro-mecánicos para ser utilizados en el diseño de las sujeciones de los equipos e instalaciones. La ubicación de ductos y tuberías se hace considerando el

movimiento relativo de los diferentes cuerpos del hospital, suficiente holgura de movimiento se deja en las zonas de intersección.

La circulación externa e interna de vehículos y peatones se estudia en condiciones de emergencia. Se estudian los flujos y los tiempos de llegada al hospital desde diferentes puntos de la ciudad y se hacen sugerencias de modificación de la red urbana e interurbana. Las modificaciones internas plantean una red con redundancia de accesos, áreas para máquinas extintoras de incendio, área de hospital de campaña, área de helipuerto y separación total del flujo vehicular y peatonal.

Se siguió un procedimiento multidisciplinario coordinado que conduce a un diseño global seguro el cual permitió identificar los riesgos a que estaría sujeta la obra y se propusieron medidas correctivas que redujeron dichos riesgos. Se espera, por lo tanto, tener una obra segura capaz de cumplir con su cometido cuando así se le exija.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha mostrado que la vulnerabilidad sísmica de hospitales no reside únicamente en la vulnerabilidad estructural sino que involucra también la parte no estructural y operativa del hospital. Los daños más importantes en los hospitales costarricenses durante los sismos de 1990 y 1991 fueron los daños no estructurales, la pérdida del servicio y el desperdicio de recursos.

Las reestructuraciones probaron ser efectivas y en dos de los tres casos mencionados estas reestructuraciones redujeron sustancialmente los daños no estructurales. Las reestructuraciones resultan rentables si se comparan con las pérdidas sufridas durante los sismos, y por otro lado evitan el caos general ya que se mantiene el servicio hospitalario durante la emergencia.

Se recomienda que antes de iniciar un proceso constructivo se haga una planificación ordenada y coordinando con todos los sectores involucrados. Los carteles de licitación deben tener las cláusulas necesarias para evitar campos de no responsabilidad por parte del contratista. Tal es el caso de los procesos de refuerzo que a pesar de ser un trabajo principalmente estructural se deben incluir los aspectos arquitectónicos y electro-mecánicos correspondientes.

En el caso del hospital nuevo se ha seguido un procedimiento diferente al diseño convencional con tal de obtener un diseño global y una obra segura. El aspecto multidisciplinario se ha considerado desde lo sísmológico y geofísico hasta lo arquitectónico y operativo.

Estos aspectos deben tenerse todos en cuenta a la hora de realizar un diseño seguro ante todo riesgo y las autoridades responsables de la puesta en marcha de un proyecto de interés comunitario deben exigir este tipo de enfoque. Se debe velar porque cada etapa del proceso de diseño sea realizada por el personal idóneo y coordinada por un encargado de proyecto que no abandone el enfoque de seguridad en la obra, para que la misma cumpla con sus propósitos cuando las emergencias se lo impongan.

En Costa Rica el proceso se inició con los estudios básicos de vulnerabilidad, continuó con la concientización de las autoridades políticas responsables del sistema de salud y ha seguido con los procesos de diseño de refuerzo de hospitales y la incorporación de nuevas tecnologías al diseño de hospitales nuevos.

BIBLIOGRAFIA

1. Herrera G., C.E. y Quirós R., V. **"Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital México"**, Universidad de Costa Rica, San José, Diciembre 1986.
2. Cruz A., M.F. y Acuña P., R.F., **"Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital México, II parte"**. Universidad de Costa Rica, Instituto de Investigaciones en Ingeniería San José, Junio 1987.
3. Cruz A., M.F. **"Comportamiento de Hospitales en Costa Rica durante los sismos de 1990"**. Taller de Reducción de Desastres OPS-UNDRO, Bogotá, Colombia, Mayo 1991.
4. Cruz A., M.F. y Acuña P., R.F. **"Diseño Sismo-Resistente del Hospital de Alajuela, un enfoque integrador"**. Earthquake Pronostics, San José, Setiembre 1994
5. Cruz A., M.F. **"Diseño de Obras Civiles Importantes, Tarea Multidisciplinaria"**. VI Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, México D.F., Setiembre 1990.
6. Grases G., J. **"Desempeño de Instalaciones Hospitalarias durante sismos"**. VI Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, México D.F., Setiembre 1990.

Las oportunidades expresadas, recomendaciones formuladas y denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la Secretaría del DIRDN, la Organización Panamericana de la Salud, ni de sus Estados Miembros.

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración muy favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, íntegramente o en parte, esta publicación. Las solicitudes deberán dirigirse al Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, Organización Panamericana de la Salud, 525 23rd St., NW, Washington, DC 20037, USA; Fax: (202) 775-4578 o Internet: disaster@paho.org.

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Administración de Desarrollo en Ultramar (ODA), la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA) y la Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (OFDA/USAID, bajo el subsidio no. AOT-3507-G-00-3-3188-00).