

Daños sísmicos probables en el Hospital Universitario de Los Andes usando el método del espectro de capacidad

Probable seismic damages in Los Andes University Hospital using the capacity spectrum method

Adriana Grassi de De Barcia* e Iria Rivera de Uzcátegui.
Departamento de Estructuras, Facultad de Ingeniería, ULA.
Mérida 5101, Venezuela.
*gadriana@ing.ula.ve

Resumen

En este trabajo se evalúa el comportamiento en el rango inelástico de doce pórticos del Sector C1 del Hospital Universitario de la Ciudad de Mérida, ante el efecto de tres sismos probables: el de El Centro Norte-Sur 1940, Taft 1952 y Caleta 1985. Estos últimos modificados para tener en cuenta la profundidad del estrato rocoso. Para el análisis se usó el programa IDARC, aplicando el método del espectro de Capacidad. Debido a las grandes luces y cargas del edificio, se dividieron las vigas en tres tramos. Del estudio se observó una mayor concentración de energía en los puntos intermedios de las vigas, lo que hace que la distribución de daños se presente en forma diferente a la encontrada en un análisis elástico lineal normal, o por uno inelástico que no tome en cuenta la posibilidad de formación de articulaciones plásticas en los puntos antes citados. Para la determinación de la curva de capacidad de la estructura se consideró inicialmente el efecto de las cargas verticales y se encontró que estas afectan muy poco la curva. En la mayoría de los pórticos se observó que la mayor deriva ocurre en el segundo piso y ante el sismo de El Centro, indicando que la edificación presentará más daños ante la acción de este sismo. Las mayores energías de disipación ocurrieron entre los niveles 1 y 2. De los resultados obtenidos se concluye que el Sector C1 del Hospital Universitario de los Andes presentará daños muy grandes ante el efecto de un sismo como El Centro y excesivos daños a elementos no estructurales y equipo bajo la acción de todos los sismos estudiados

Palabras Claves: evaluación, rango inelástico, sismos, deriva, energía de disipación.

Abstract

This study evaluates the behavior in the inelastic range of twelve frames from Sector C1 of the University Hospital located in the city of Mérida, during three probable earthquakes: El Centro North-South 1940, Taft 1952 and Caleta 1985. The last two were modified to account for the depth of the rock stratum. The program used for the analysis was IDARC, applying the Capacity Spectrum Method. Due to the large spans and weights acting on the building, the beams were divided in three spans. From the study it was observed that a greater concentration of energy occurred in the intermediate points of the beams, this shows a damage distribution pattern quite different from the one found in a normal elastic analysis, or in an inelastic analysis which does not consider the possibility of hinge formation in the points mentioned above. To determine the capacity curve of the structure, initially, the vertical forces were considered, but it was found that they have little influence on the curve. It was observed in most of the frames that the greater drift occurred in the second floor, and the biggest values were found with El Centro earthquake, which indicates that the building will undergo more damage under the effect of this earthquake. The biggest dissipation energies occurred between the first and second floors. From the results, it can be concluded that Sector C1 of the University Hospital will show great damage under the effect of El Centro earthquake and excessive damage to non-structural elements under the effect of all the earthquakes studied.

Keywords: evaluation, inelastic range, earthquake, drift, dissipation energy

1 Introducción

Las lecciones aprendidas de sismos anteriores, han demostrado la vulnerabilidad que presentan los centros hospitalarios ante la acción de sismos severos.

La filosofía en la mayoría de los códigos de diseño es tener estructuras que resistan la acción de sismos severos sin colapsar, aunque presenten daños estructurales importantes. Esto implica que las edificaciones deben tener la capacidad de disipar energía mediante deformaciones inelásticas. El hospital fue construido en 1962 y diseñado bajo normas que tenían muy pocas restricciones sísmicas tales como elementos estructurales sin confinamiento, construcciones detalladas para resistir mayormente cargas

verticales, vigas diseñadas sin considerar la inversión de cargas sísmicas y con capacidad de disipación de energía y ductilidad pequeñas (Rivera, 1997).

En los hospitales es importante además de que la estructura no se desplome, que se eviten las grandes deformaciones que producen la caída de equipos haciéndolos inservibles, el agrietamiento de las paredes, la caída de los cielos falsos, que producen un colapso funcional, además de las pérdidas económicas, que pueden llegar a ser tan altas que resulte antieconómica la reparación (Grassi, 1997).

El objetivo de este trabajo es evaluar la seguridad sísmica que pueda presentar el Sector C1 del Hospital Universitario de la ciudad de Mérida, ante la acción de sismos severos que pudieran ocurrir en el sitio

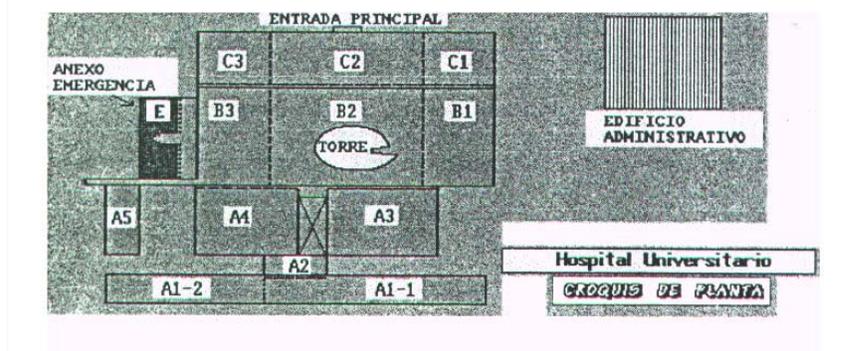


Fig. 1. Sectores del hospital.

2 Generalidades.

El hospital consta de trece sectores, separados estructuralmente por juntas de construcción. (Ver Fig. 1). La mayor parte de ellos tiene entre uno y seis niveles. El primero y el segundo nivel tienen una altura de 4 m. y los siguientes de 3.2 m. Las luces están moduladas entre 6 y 9 m. con volados de 3 m. Las paredes son de bloques de arcilla huecos de 10 y 15 cm. de espesor.

La estructura es de concreto armado, con losas macizas de 10 cm. de espesor, armadas en dos direcciones, que apoyan sobre nervios de 25 cm. x 50, 55 o 60 cm., formando una retícula de 3 m. x 3 m. La estructura está constituida por 12 pórticos de concreto armado, apoyados sobre fundaciones aisladas, unidas por vigas de riostra bastante fuertes. Las vigas y columnas son rectangulares. La Fig. 2 muestra algunos de los pórticos en sentido Este-Oeste

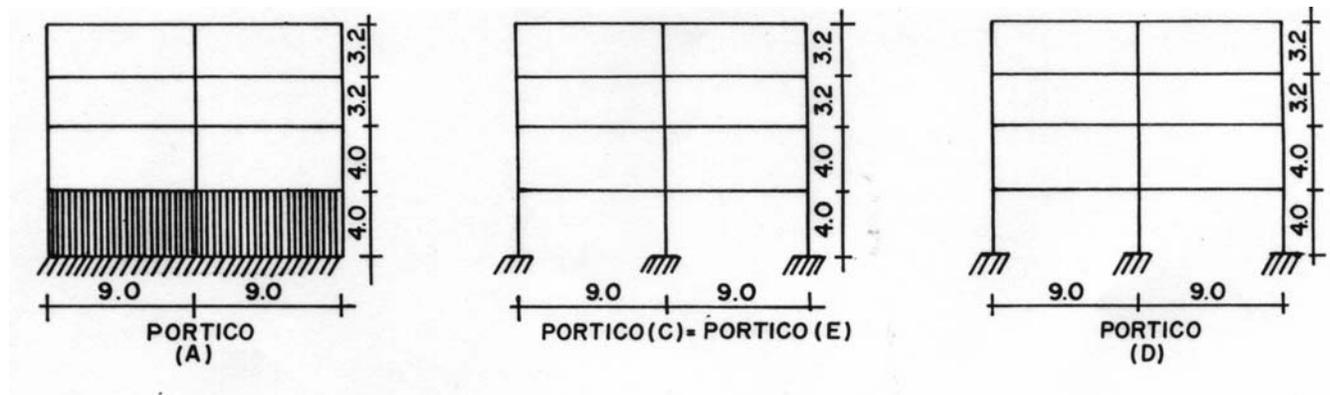


Fig. 2. Pórticos en sentido Este-Oeste.

3 Análisis Estructural.

En base al Estudio de Microzonificación Sísmica de la Ciudad (Ministerio de Obras Públicas, 1976), se escogieron tres sismos probables máximos para el análisis: El Centro Norte-Sur 1940, Taft 1952 y Caleta, México 1985. Estos últimos se aumentaron 1,5 veces para tomar en cuenta la amplificación del suelo con respecto a la roca en los primeros 10 m. de profundidad, que es la distancia estimada para la profundidad de suelo casi rocoso en la ciudad.

Debido a las grandes luces y cargas muertas y para tomar en cuenta la cantidad de acero real que tienen las vigas de estos pórticos, se dividieron las mismas en tres segmentos, uno central de longitud $\frac{1}{4}$ de la luz y dos laterales de $\frac{3}{8}$ de la luz; esto permite tomar en cuenta la posible formación de un mecanismo de falla de viga o combinado (Rivera, 1997; Grassi, 1997).

El análisis se realizó usando el método del Espectro de Capacidad, desarrollado por Sigmund Freeman (Freeman, 1994, 1995). Este método consiste en comparar la capacidad resistente de una estructura, representada por medio de una curva carga-desplazamiento llevada a valores espectrales, con la demanda de un sismo, representada por su espectro de respuesta. La intersección de la curva de capacidad con la curva de demanda afectada por el amortiguamiento, da el punto de comportamiento de la estructura para ese sismo. Si la curva de capacidad se extiende más allá de la curva de demanda, la estructura resiste la acción del sismo. Para ese punto de comportamiento se obtienen los valores de energía por piso, deriva de entrepisos y el daño global y por piso para diferentes valores de tiempo (Freeman, 1994).

El programa utilizado para obtener la curva de capacidad fue el IDARC en su opción Pushover (Kunnath y otros, 1992), suponiendo una carga lateral en forma de triángulo

invertido, hasta alcanzar un valor de la deriva cercano a 0.02. Estas curvas se obtuvieron de dos maneras, considerando la acción de las cargas verticales y sin la acción de ellas, a objeto de observar su efecto en la curva de capacidad.

Los espectros de demanda se desarrollaron usando el programa SISTEMA, versión modificada (Rivero, 1996) y aplicando la excitación registrada de los sismos de El Centro 1940, Taft 1952 y Caleta 1985, para dos niveles de amortiguamiento: elástico (5%) e inelástico (10%).

Para el punto de comportamiento encontrado, se obtienen las derivas, la cantidad de energía absorbida por los diferentes elementos y el daño global por pórtico.

El daño se calcula mediante el modelo desarrollado por Park, Ang y Wen (Park y otros, 1984) y posteriormente modificado. Ellos calcularon el daño en una serie de edificios mediante la expresión propuesta en su trabajo (usada en el programa IDARC) y luego corroboraron con los daños reales sufridos por dichos edificios en diferentes sismos. En base a esto, sugieren la siguiente clasificación de acuerdo al índice de daños D_T que se obtenga:

$D_T \leq 0.4$ representa daños reparables

$D_T \geq 0.4$ representa daños más allá de la reparación.

$D_T \geq 1.0$ representa colapso total.

Esta clasificación refleja el daño presente en los pórticos y su posibilidad de reparación

4 Resultados.

Al comparar las respuestas de las curvas de capacidad tomando en cuenta el efecto de las cargas verticales y sin ellas, se observa que para algunos pórticos las curvas coinciden y en otros la diferencia es muy pequeña, por lo que se considera que la acción de las cargas verticales sobre la curva de capacidad es despreciable.

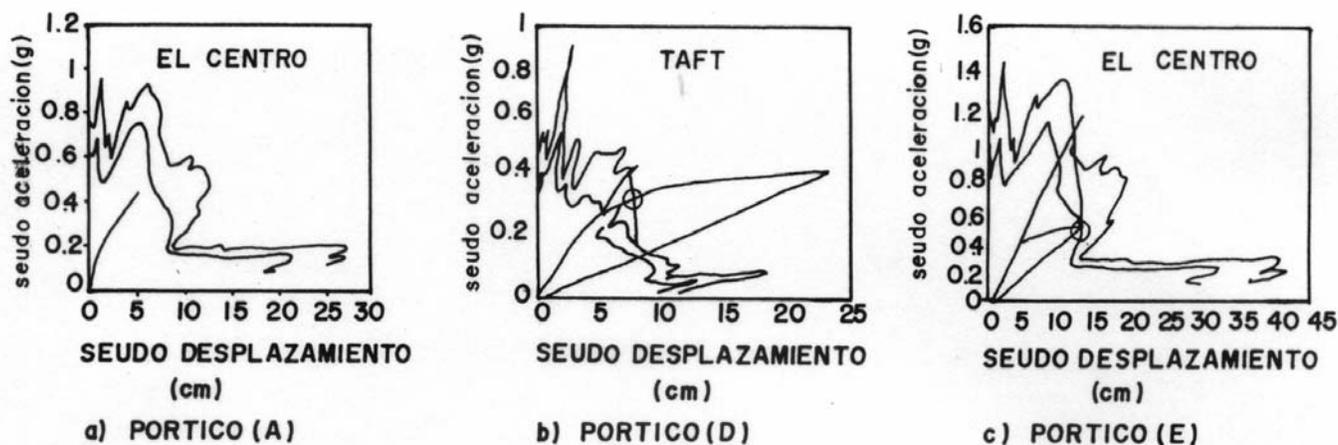


Fig 3. Espectros Demanda-Capacidad.

La Figura 3 presenta las curvas de capacidad y de demanda, ambas en forma espectral, para tres de los doce pórticos analizados. En las mismas se indica el punto de comportamiento.

Se observa que el pórtico A (Fig. 3-a) bajo la acción del sismo de El centro no es capaz de resistirlo ya que la curva de capacidad cae por debajo de la demanda y no existe punto de comportamiento. En este caso la estructura colapsa. Bajo la acción de los sismos Taft y Caleta, la curva de capacidad es un poco mayor que la demanda y el punto

de comportamiento está cerca del desplazamiento máximo, pero sin llegar a este. En el pórtico D (Fig. 3-b), el punto de comportamiento es aceptable ante la acción de los tres sismos. En el pórtico E (Fig. 3-c), bajo la acción del sismo de El Centro, el punto de comportamiento coincide con el valor máximo del desplazamiento, indicando colapso de la estructura. Ante la acción de los sismos Caleta y Taft tiene un punto de comportamiento aceptable. En el resto de los pórticos analizados el punto de comportamiento es aceptable.

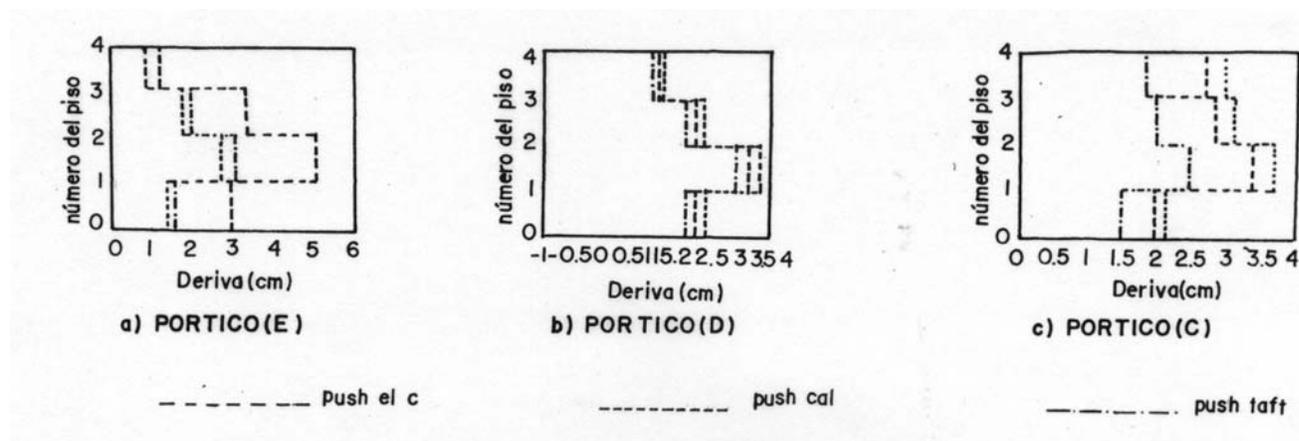


Fig. 4. Derivas por piso.

En la Fig. 4, se presentan las derivas por piso de tres de los pórticos analizados, correspondientes a los puntos de comportamiento encontrados para los tres sismos. En la mayoría de los pórticos se observa que la mayor deriva ocurre en el segundo piso y los mayores valores ocurren bajo la

acción del sismo de El Centro, indicando que la edificación presentará más daños con el efecto de este sismo y que estos daños se concentrarán mayormente en el segundo piso. Este comportamiento se repite para los demás pórticos estudiados.

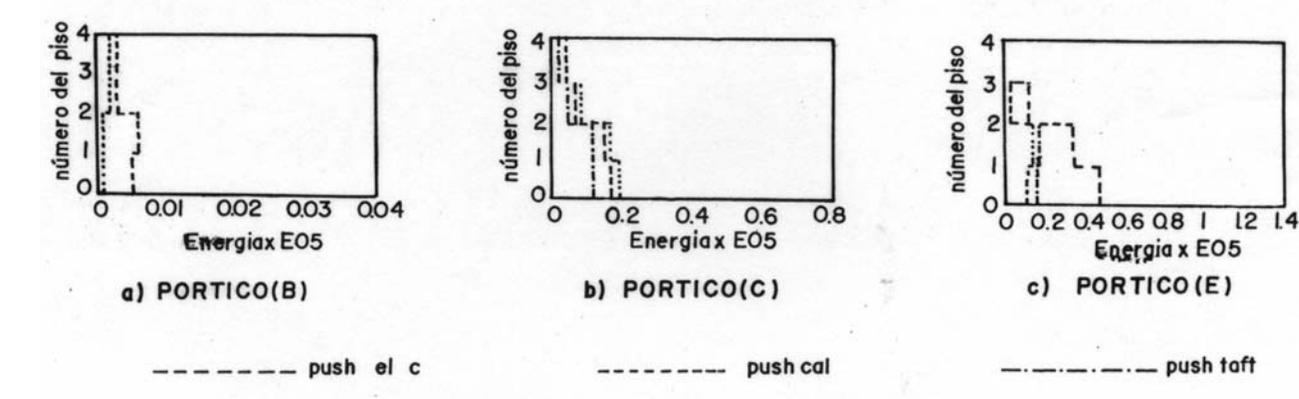


Fig. 5. Demanda de energía por piso

En la Fig. 5 se presenta la energía por piso de tres de los pórticos analizados, correspondiente a los puntos de comportamiento encontrados para los tres sismos. En la misma se observa que la mayor concentración de energía se produce en los dos primeros pisos de todos los pórticos ana-

lizados, correspondiendo los mayores valores al sismo de El Centro. Estos valores indican que los mayores daños se localizarán en los dos primeros pisos y que el sismo de El Centro producirá mayores daños que los otros dos sismos.

En la Fig. 6 se presenta el índice de daños global para cada pòrtico. De esta figura se observa que los pòrticos B, D, F, 3A, 3D y 3F tienen valores del índice de daños menor que 0.4 bajo la acción de los tres sismos, indicando que los daños son pequeños o reparables. Bajo la acción del sismo de El centro, el pòrtico A colapsa y los pòrticos C, E, G y 4 quedan económica-

mente sin reparación. Ante la acción del sismo Taft los pòrticos A y G resultan econòmicamente irreparables. Con el efecto del sismo Caleta los pòrticos A, C y G resultan econòmicamente irreparables. Estos resultados indican que ante la acción de los tres sismos el edificio puede verse bastante afectado, especialmente en la dirección Este-Oeste.

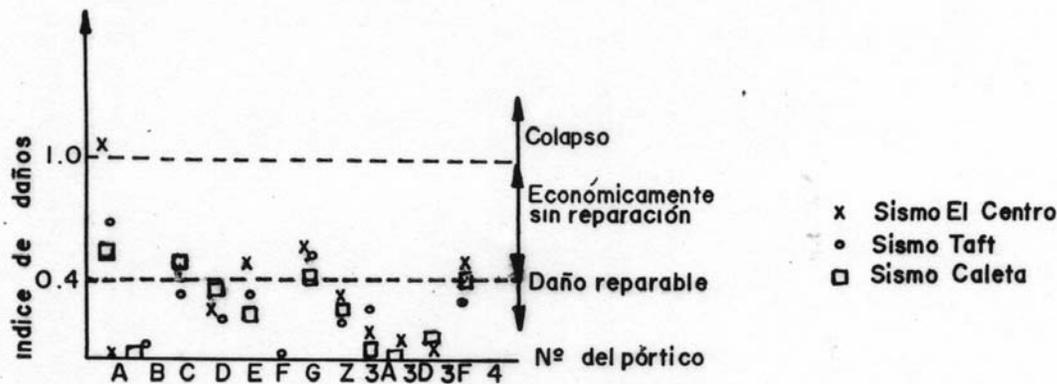


Fig 6. Índice de daños global.

5 Conclusiones

En este trabajo se evaluó el Sector C1 del Hospital Universitario de Los Andes para determinar el comportamiento inelástico del mismo ante el efecto de sismos intensos, con la aplicación del Método del Espectro de Capacidad. Se estudió el efecto de tres sismos diferentes. Se determinaron las derivas de entrepisos, las energías disipadas y los índices de daños de los diferentes pòrticos. Del trabajo se puede concluir lo siguiente:

Dividir las vigas de grandes luces en tramos intermedios, permite colocar el acero real que existe en los diferentes puntos de las mismas y predecir la falla por efecto de mecanismos de viga.

Las cargas verticales no influyen en los resultados de las curvas de capacidad, por lo tanto, no se tomaron en cuenta en el análisis posterior realizado.

En la mayoría de los pòrticos se observa que la mayor deriva ocurre en el segundo piso y los mayores valores ocurren bajo la acción del sismo de El Centro, indicando que la edificación presentará más daños ante la acción de este sismo.

Las mayores energías de disipación ocurren entre los niveles uno y dos. Los valores mayores de energía disipada coinciden con la formación de gran número de rótulas plásticas y mayor demanda de ductilidad.

El Sector C1 del Hospital Universitario de Los Andes presentará daños muy grandes ante el efecto de un sismo como El Centro y excesivos daños a elementos no estructurales y equipo bajo la acción de todos los sismos estudiados.

Referencias

- Freeman, S., 1994, Capacity Spectrum Method. SEAONC, (1994). Fall Seminar. "The Developing Art of Seismic Engineering". Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. Emeryville, California.
- Freeman, S., 1995, Chapter 7, "Analysis Procedure Recommended Methodology for Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Buildings". Applied Technology Council. Rough Draft June 14.
- Grassi de De Barcia, A., 1997, "Estudio de los daños ocasionados por sismos severos en el Hospital Universitario de Los Andes, considerando el comportamiento inelástico de edificación". Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Grupo de Evaluación Sísmica, 1987, "Evaluación Primaria del Hospital Universitario de Los Andes". Departamento de Estructuras. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Kunath, S., Reinhorn, A. and Lobo, R., 1992, "IDARC Version 3.0: A program for the Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Structures". Technical Report NCEER-92-002, State University of New York at Buffalo.
- Ministerio de Obras Públicas, 1976, "Microzonificación Sísmica de la Meseta de Mérida". Tomo II. Caracas, Venezuela.
- Park, Y., Ang, A. y Wen, Y., 1984, "Seismic Damage Analysis and Damage Limiting Design of R. C. Buildings". Civil

Engineering Studies. Technical Report N° SRS 516, October. University of Illinois, Urbana.
Park, Y., Ang, A. y Wen, Y., 1985, "Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings". *Journal of Structural Engineering*. Vol. 111, N° 4, April.
Rivera de Uzcátegui, I., 1997, "*Evaluación Pre-Sísmica de Edificaciones Bajas de Concreto Armado. Diseño Sismo-*

rresistente. Especificaciones y Experiencias en Venezuela". En publicación.

Rivero, P., 1996, *Versión Modificada Programa SISTEMA*. Tesis de Postgrado en Ingeniería Estructural. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela