

8.0 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE HIROSAWA

Existen diversas metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios propuestos por diversos investigadores. La aplicación de algunos de estos métodos está relacionada con el tipo de sistema estructural que posee el edificio. Métodos como el de Shiga (1977), Iglesias (1992), Kuroiwa(1992), Lázares & Ríos(1996) están basados en el criterio de la densidad de elementos estructurales como columnas y muros y son de gran utilidad en el caso de contar con poca o nula información de planos estructurales. Estos son aplicables solo en el caso que se tenga una gran densidad de muros en el sistema estructural proveyendo de una estimación bastante cercana a los valores que usualmente

podrían hallarse a partir de un análisis estructural riguroso; sin embargo en el caso de edificios que posean solamente elementos estructurales viga-columna las metodologías descritas anteriormente expresan una tendencia vaga de la vulnerabilidad del sistema siendo los resultados obtenidos muy preliminares.

Debido a lo expuesto, en el presente estudio se ha considerado el cálculo de la vulnerabilidad estructural a partir del índice estructural de Hirosawa(1992) de segundo orden, que puede situarse como un método capaz de predecir el riesgo y daño del edificio y que fue calibrado basado en la experiencia japonesa frente a los eventos sísmicos. Este método ha sido adoptado por el Ministerio de Construcción del Japón en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de concreto reforzado. El método consta de tres niveles de análisis, cada uno de ellos más preciso según el orden, basados primordialmente en el estudio del comportamiento y resistencia de los sistemas estructurales. El método de primer orden permite una evaluación de un diagnóstico del riesgo del sistema estructural basado en la geometría de los elementos estructurales. El método de segundo orden se basa en la estimación de la resistencia última de la estructura asumiendo un comportamiento de edificio cortante para el sistema estructural. Esto presume que debido a la existencia de un diafragma rígido (losa aligerada) el mecanismo de colapso será del tipo panel fallando las columnas al momento de alcanzar la capacidad máxima del sistema calculado a partir de un análisis espectral del sistema. El método considera también la geometría y morfología del sistema así como el nivel de daño existente, deterioro en el tiempo del sistema estructural e influencia de las condiciones locales de la zona donde se encuentre el edificio.

El método de tercer orden considera exactamente los mismos criterios presentados en el método de segundo orden con el adicional de la consideración del mecanismo real de falla del sistema estructural evaluado a partir del análisis tiempo historia y condiciones de no-linealidad material de la estructura.

En el Perú la mayor parte de los edificios de hospitales han sido construidos utilizando losas rígidas y sistemas aporticados con muros no-estructurales.

(tabiquería) de relleno

Se ha considerado en este estudio el uso del método de segundo orden de Hiro-sawa para la evaluación del índice de vulnerabilidad estructural “ I_s ”, este índice es calculado a partir de la siguiente expresión:

$$I_s = E_o G S_d T$$

donde. E_o : subíndice sísmico de la estructura

G subíndice sísmico del terreno

S_d . subíndice sísmico del comportamiento estructural.

T subíndice sísmico del deterioro de la estructura.

En el presente estudio la evaluación del índice I_s , se ha hecho con la ayuda de una hoja de calculo siguiendo el procedimiento adecuado para el calculo de cada uno de los subindices que evalúan I_s .

El comportamiento estructural de un edificio frente a sismo puede evaluarse comparando el índice de vulnerabilidad sísmica de la estructura I_s , con el índice de juicio estructural I_{s0} , el calculo de este índice esta basado en la máxima respuesta espectral esperada para las condiciones locales donde se encuentre el edificio, este índice esta dado por.

$$I_{s0} = E_s Z G U$$

donde:

E_s índice de juicio estructural; que para el caso de orden 2 será $E_s=0.6$

Z : factor de zona dado en el código sismorresistente. $Z=1$ para el caso de Lima

G : índice del terreno y topografía, para un caso general $G=1$

U : coeficiente de importancia de la estructura; según RNC-E70 $U=1.3$

en el caso de hospitales

Para el caso del hospital en estudio:

$$I_{s0} = 0.78$$

resultado producto de utilizar los índices del reglamento sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (RNC)

Basado en estos dos índices se puede expresar un juicio de la vulnerabilidad de la estructura de acuerdo a la siguiente comparación:

$I_s > I_{s0}$ el edificio se debe considerar como seguro frente a sismos

$I_s < I_{s0}$ el edificio es inseguro frente a la ocurrencia de sismos

Los resultados obtenidos para cada una de las edificaciones estudiadas fueron las siguientes.

Pabellón A: Edificio Central	$I_s = 0.70 < 0.78$
Pabellón A: Edificio Ala Este	$I_s = 0.75 < 0.78$
Pabellón Administrativo: Edificio Ala Este	$I_s = 0.60 < 0.78$

Los resultados nos indican que estas edificaciones presentan inseguridad ante un sismo, corroborándose lo obtenido del análisis dinámico mediante modelos matemáticos

Se presenta en el anexo C el procedimiento para la obtención de los resultados presentados en este ítem

9.0 OTRAS INSTALACIONES IMPORTANTES

Dado las limitaciones de tiempo, recursos y falta de información para el estudio de este hospital, algunas otras instalaciones fueron estudiadas de manera preliminar, a continuación se detallan las características y actual estado en que se en-

cuentran las edificaciones de estas instalaciones

9.1 CASA DE FUERZA

Es una edificación de concreto armado en la que se ubican los calderos y otros equipos, la estructura esta compuesta por columnas y vigas peraltadas en ambas direcciones, el techo es del tipo losa maciza de concreto armado, existen muros de albañilería en el perímetro. Se encuentra en un regular estado de conservación. Es necesario recalcar que se debe evitar colocar algún equipo en los elementos estructurales mencionados (columnas, vigas y techo) a fin de evitar vibraciones en estos elementos o restringir su libre desplazamiento de manera que puedan afectar el comportamiento normal de la estructura ante un sismo.

9.2 GRUPO ELECTROGENO

El grupo electrógeno se encuentra ubicada en una edificación compuesta por columnas, vigas y techo aligerado, tiene ventanas altas que producen la presencia de columnas cortas pero que no entraña mucho peligro al ser solo una edificación de un piso. En general presenta un buen estado de conservación.

9.3 CORREDORES

Es una zona importante del hospital, ya que son las áreas que conectan a los pabellones de administración, pabellón A, pabellón B y otras zonas. El corredor que conecta al pabellón de administración con el pabellón A es de 4 niveles (1 sótano mas 3 pisos superiores), el que conecta al pabellón A con el pabellón B es de 6 niveles (1 sótano mas 5 pisos superiores) y el que parte del pabellón B a otros sectores es de 3 niveles (1 sótano mas 2 pisos superiores). No se pudo obtener la información completa de estos ambientes, solo se encontró planos estructurales que corresponden al sótano del corredor entre los pabellones A y B y el sótano y primer piso del corredor entre el pabellón A y

el de Administración, lo que nos permite pensar que los demás pisos han ido construyéndose con el transcurrir del tiempo, según los planos mencionados el corredor del sótano tiene las paredes y el techo de concreto armado, desconociéndose el material y sistema constructivo para los pisos superiores. Muestra un buen estado de conservación, sin embargo hay que mencionar la existencia de ciertas grietas en algunas partes de las paredes del sótano.

9.4 Pabellón Administrativo: Edificio Central

Este pabellón está constituido principalmente por consultorios ubicados en los diferentes niveles, en él también se encuentra la entrada principal del hospital y el acceso al corredor que comunica a los demás pabellones.

Mediante el promedio de esfuerzos cortantes y la densidad de muros, se obtuvieron valores que nos pueden dar una idea de la seguridad ante un sismo de esta edificación, estos son.

Dirección X

$$\text{Area columnas} = 150,562.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area muros de corte} = 8,902.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Peso total} = 1,928,543.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Prom. de Esfuerzos Cortantes: } I_t = 12.09 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Densidad de Muros: } I_1 = 7.16 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Dirección Y

$$\text{Area columnas} = 150,562.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area muros de corte} = 15,830 \text{ cm}^2$$

$$\text{Peso total} = 1,928,543.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Prom. de Esfuerzos Cortantes: } I_t = 11.59 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Densidad de Muros: } I_1 = 12.73 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Se puede concluir que esta edificación no es segura ante un sismo. Es necesario realizar un estudio más detallado similar a lo realizado en las otras edificaciones a fin de poder tener mayor precisión de la seguridad o no de esta edificación ante un sismo.

10.0 CONCLUSIONES

- Los valores de aceleración obtenidos del estudio geotécnico han sido reajustados para los cálculos del análisis estructural, siendo estos valores $a = 250$ gals para un período de retorno de 250 años y $a = 350$ años para un período de retorno de 100 años.

- En base a una gráfica que relaciona aceleración con intensidad sísmica M M propuesto por Deza et al (1982), se pueden proyectar las posibles intensidades con las aceleraciones utilizadas que serían:

$a = 250$ gals	Intensidad VI - VII M.M
$a = 350$ gals	Intensidad VII - VIII M.M.

Estos valores de intensidades deben ser tomados sólo como referenciales a fin de tener una idea del posible escenario sísmico que pueda ocurrir.

- Se considera para este estudio que el sismo extremo que puede presentarse corresponde a la aceleración de $a = 350$ gals para un período de retorno de 100 años.

- Para obtener una primera idea del nivel de vulnerabilidad que podían presentarse en las edificaciones seleccionadas, se empleó los índices del promedio de esfuerzos cortantes y densidad de muros, dando valores que mostraban una tendencia a no ser seguras ante un sismo. Se procedió a realizar un análisis más detallado mediante modelos matemáticos de manera de poder comparar la capacidad de las edificaciones ante las demandas sísmicas.

propuestas en base a las aceleraciones de $a=250$ gals y $a=350$ gals para 50 y 100 años de periodo de retorno respectivamente.

- Respecto a la Edificación Central del Pabellón "A", para el nivel de demanda sísmica de $a = 250$ gals, la estructura tiende a ser segura, mientras que para el nivel de demanda sísmica $a = 350$ gals, la estructura es vulnerable. Un valor máximo al que se llegaría de distorsión en este caso es de $1/334$ con lo que se alcanzaría niveles de daño no estructural.

- Respecto al edificio Ala Este del Pabellón "A", para el nivel de demanda sísmica de $a = 250$ gals, la estructura tiende a ser segura, mientras que para el nivel de demanda sísmica $a = 350$ gals, la estructura es vulnerable pero sólo en la dirección X-X. Un valor máximo al que se llegaría de distorsión en este caso es de $1/476$ con lo que se alcanzaría agrietamientos iniciales en los muros de tabiquería

- Respecto a la Edificación Ala Este del Pabellón de Administración, para el nivel de demanda sísmica de $a = 250$ gals, la estructura tiende a ser segura, mientras que para el nivel de demanda sísmica $a = 350$ gals, la estructura es vulnerable en la dirección X-X. Un valor máximo al que se llegaría de distorsión en este caso es de $1/483$ con lo que se alcanzaría agrietamientos medios en los muros de tabiquería.

- Mediante el Metodo Indicial de Hirosawa, se obtuvieron valores que muestran a estas edificaciones como inseguras frente a un sismo, corroborando los resultados obtenidos del análisis estructural mediante modelos matemáticos.

- Como conclusión final, las edificaciones estudiadas no son capaces de resistir en su totalidad el sismo máximo probable que se ha considerado con un periodo de retorno para 100 años y una aceleración de 350 gals., los daños que se producirían serían del tipo estructural y no estructural, por lo tanto se recomienda rigidizar estas edificaciones a fin de evitar los desplazamientos que se generarían en las actuales circunstancias.

11.0 RECOMENDACIONES

- Se recomienda incorporar elementos estructurales que proporcionen mayor rigidez a estas edificaciones, el elemento más apropiado para ello son placas de concreto armado.
- La ubicación de estos elementos será en función de un re-análisis del modelo estructural donde se consideren este tipo de elementos adicionados al modelo original. La posición de estos elementos se hará mediante el procedimiento de tanteos de manera que no se afecten el comportamiento global del sistema buscando la no existencia de torsiones y reducción de los desplazamientos de entrepiso.
- La rigidización permitirá también evitar los daños que se presentarían en los elementos no-estructurales