

separado, también se consideran los ejes de columnas el número de pisos y las alturas de entrepiso, esta información se la encuentra en los planos estructurales originales de diseño, la información adicional requerida se la obtiene mediante un levantamiento estructural, de esta misma forma se obtiene la ubicación real de las paredes divisorias de los ambientes, así como los antepechos de ventanas, como divisiones interiores de las distintas salas del hospital, que por su ubicación definen columnas cortas que resultan críticas en el caso de un evento sísmico. Se determina si las losas son unidireccionales o bidireccionales y si estas son planas o descargan sobre vigas descolgadas.

Con toda esta información se procede a realizar la modelación matemática de la estructura en los programas de cálculo y diseño estructural disponibles, que para este caso son el SAP-90 y el ETABS, de amplia utilización en nuestro medio y que garantizan resultados acertados, por cuanto han sido utilizados por muchos técnicos en el país en los últimos años y presentan grandes facilidades para una interpretación gráfica de los modelos, como para la obtención de resultados mediante tablas para los diferentes elementos que constituyen la estructura.

La utilización de estos dos programas se la hace por cuanto tienen ventajas distintas, en lo que respecta a la visualización gráfica de niveles de esfuerzos en paneles es recomendable usar el SAP-90, y la utilización del ETABS se debe a que es un programa realizado **específicamente** para la modelación y diseño de edificios. Sin embargo la utilización indistinta de uno de los dos programas, garantiza la obtención de resultados conforme a la modelación estructural dada.

Para la modelación mediante el programa SAP-90 se discretizan todos los elementos

del esqueleto estructural dúctil y se consideran como elementos FRAME, para la conformación de los paneles de las paredes y antepechos el programa provee de los elementos SHELL que resultan ser los más indicados para la modelación de los mismos, los resultados resultan ser más acertados mientras relativamente más pequeños se los considere, este programa realiza un análisis mediante elementos finitos. De forma similar el programa ETABS analiza a los elementos estructurales, con la única diferencia de que considera a los paneles como elementos membrana (MEMB) y presenta resultados de acciones y/o reacciones en dichos elementos, que difieren con los resultados de niveles de esfuerzos que presenta el SAP-90 para los elementos SHELL.

Posteriormente a la determinación de la geometría global de la estructura se procede a la identificación de los elementos estructurales con sus correspondientes características geométricas de sus secciones y propiedades mecánicas de los diferentes tipos de materiales utilizados en el diseño y construcción de la obra.

.- Determinación de Cargas

Luego se hace un análisis de las cargas actuantes sobre la estructura, considerando la carga muerta tanto de los elementos estructurales y no estructurales, tales como losas, vigas, columnas, mamposterías, acabados, etc., así como, las cargas vivas recomendadas por los códigos para el diseño de hospitales. Las cargas se distribuyen en las vigas considerando las áreas colaborantes de los paneles, que a su vez dependen de que si la losa trabaja unidireccional o bireccionalmente.

En este análisis también se realiza un estudio estático del comportamiento sísmico de los diferentes bloques estructurales, para lo cual se distribuyen las cargas sísmicas horizontales de acuerdo al peso y nivel de los diferentes pisos. Las losas se consideran infinitamente rígidas en su plano, para lo cual se deben hacer distintas condiciones de codificación dependiendo del programa utilizado.

.- Análisis Dinámico

También se realiza un análisis dinámico espectral, debido a que el hospital se encuentra sobre una ladera se toma el gráfico de espectro para suelo duro, en el gráfico siguiente se representan los valores de dicho espectro con las condiciones de aceleración y amortiguamiento para efectos de dañabilidad. Las masas de los elementos estructurales se consideran distribuidos a lo largo de los mismos y para el caso de las losas se definen masas puntuales ubicadas en el centroide de la misma, la incidencia del espectro se considera en los sentidos ortogonales principales de los diferentes bloques estructurales.

Para el análisis propiamente dicho de las estructuras se considera la configuración geométrica de acuerdo a su condición actual, es decir, la estructura sin intervención. Posteriormente se realiza el análisis de los bloques estructurales con las diferentes consideraciones de solución para eliminar y disminuir las posibilidades de falla de los distintos elementos, que por el análisis previo hayan resultado críticos al estar sometidos a esfuerzos para los cuales no se tenía previstos en el diseño original. Esta condición crítica se encuentra al hacer el análisis para las diferentes condiciones de carga recomendadas por los códigos de diseño.

.- Materiales

Los materiales utilizados para la modelación y análisis tienen las siguientes propiedades mecánicas:

Mampostería de ladrillo $E = 15,000.00 \text{ Kg/cm}^2$

Elementos de Hormigón $E = 210,000.00 \text{ Kg/cm}^2$

Siendo E el módulo de elasticidad.

El módulo de corte (G) se considera para todos los casos de **0.4** veces E .

Los valores de peso específico considerados para el análisis son:

Ladrillo **1.8** T/m^3

Hormigón **2.4** T/m^3

.- Estados de Carga

Los estados de carga considerados para el análisis estático son los siguientes:

$$U = 1.4 D + 1.7 L$$

$$U = 0.75 (1.4 D + 1.7 L \pm 1.87 E)$$

Donde:

D = carga muerta

L = carga viva

E = carga sísmica

También se considera la carga **dinámica** debida al análisis **modal** espectral.

En el anexo # 6 **están** representadas a manera de **muestreo** los resultados de los diferentes análisis realizados al bloque # 1, tanto de la estructura original existente, como de la estructura con las posibles propuestas de intervención.

- Evaluación del Estado Actual del Hospital y Propuestas de Anteproyecto
- La concepción del hospital en general, responde funcional y arquitectónicamente a lo que en su momento se recomendaba como adecuado para una edificación hospitalaria especializada para la cura y tratamiento de la tuberculosis , ya que en un principio este inmueble se lo construyó para ese objeto.
- Como es de esperar, la arquitectura interior de gran parte de este hospital, permite gran iluminación interior natural al no construirse paredes interiores piso-techo y ser tan solo niveles de antepecho en varias plantas de los actuales bloques densamente utilizados.
- Como consecuencia, ciertos bloques del Hospital , presentan alta vulnerabilidad debido a la presencia de columnas cortas, no solo **en** los perímetros del edificio debido a los antepechos de ventanas, sino también en los ejes interiores.

- La mayoría de los bloques en general son bien estructurados en base a marcos de hormigón armado , **formado** por columnas y vigas descolgadas en dos direcciones ortogonales , que sostienen entresijos de cosas nervadas uni y bidereccionalmente armadas.
- Los distintos bloques se encuentran al parecer racionalmente separados por juntas de dilatación y movimiento sísmico, pero debido a lo precario del detallamiento constructivo , por ser estas juntas tan mal ejecutadas en obra , han causado durante la vida útil del hospital deficiencias de serviciabilidad contra problemas de aguas lluvias , razón por la cual actualmente se encuentran selladas con hormigón, causando una gran vulnerabilidad al no permitir a los distintos bloques moverse adecuadamente durante un sismo.
- Se evidencian problemas de comportamiento sísmico en el bloque central, ya que varias mamposterías están agrietadas, a nivel de planta baja, y según versiones de usuarios de estos espacios (archivos) , se dieron luego del sismo de marzo de 1.987.
- Durante la vida útil del hospital, hace algunos años se produjo un incendio en la planta baja, donde se encontraba **la** cocina , comedores y lavanderías luego de lo cual se **reubicó** estos servicios del hospital a una nueva edificación contigua.
- Estos espacios en ese entonces demandaban instalaciones de ductos de ventilación y aire caliente en todo lo alto del bloque principal y altas y vulnerables edificaciones de chimeneas a nivel de cubierta, que actualmente ameritan ser removidas ya que a ~~más~~ de representar un gran peligro, no se las

requiere.

- A nivel de todos los elementos y sistemas no estructurales a nivel del proyecto definitivo se deberá realizar un estudio pormenorizado de seguridad y reducción de vulnerabilidad , ya que el presente estudio a nivel de anteproyecto detecta :

- Con todos estos análisis matemáticos y la correspondiente interpretación de los resultados cualitativos y cuantitativos se visualizan alternativas de reducción de vulnerabilidad a ser definidas, analizadas y detalladas a nivel de proyecto definitivo.

- En el bloque tipo representativo a nivel de muestreo evidencia la conveniencia de la eliminación de las columnas cortas interiores al interpretar la presencia de paredes piso techo, alternativa **de** reforzamiento totalmente válida y manejable.

- Las deficiencias encontradas y que se deberían solucionar a nivel de proyecto definitivo son las siguientes:

1. - Los modelos matemáticos adoptados en los análisis y diseños originales no corresponden al comportamiento real analizado debido a:

-

- Discretización extrema de las estructuras.
- **No** considera efectos de torsión en planta.
- Las columnas al parecer solo se diseñaron a carga axial.

- Las columnas fueron al parecer diseñadas sin cumplir requerimientos de confinamiento (sin ductilidad).
- Las vigas al parecer fueron analizadas y diseñadas como simplemente apoyadas sin ninguna protección o previsión de fallas frágiles.
- No consideraron la concentración de rigidez en planta y altura por la presencia de columnas cortas.

2.- En vista de que falta detallamiento por confinamiento en vigas, columnas y nudos las estructuras principales del hospital tienen poca capacidad de disipación de energía sísmica por deformación.

3.- En vista de problemas de detallamiento relativo entre vigas y columnas se pueden dar mecanismos de falla inconvenientes que pueden degenerar en colapso ya que tal como están construidas las estructuras, al parecer, se tiene un exceso de capacidad para resistir cargas verticales y poca capacidad para resistir cargas sísmicas.

4.- Se aprecian deficiencias de distribución de rigidez ya que se define en la estructura analizada:

- Losas de entrepiso y cubierta unidireccionales
- Vigas portantes de entrepiso en un solo sentido
- Ocasionalmente ausencias de vigas en la dirección paralela al armado de la losa
- Exceso de flexibilidad en la dirección paralela al armado de la

losa

5.- Debido a la falta de criterio, ubicación, detallamiento constructivo y dimensionamiento de juntas o separaciones bloque a bloque, se deduce una gran irregularidad de todo el conjunto del hospital en planta y en altura lo cual degenerará en un inadecuado comportamiento sísmico global.

6.- Se evidencia deficientes interrelaciones con el resto de sistemas no estructurales **y sus** correspondientes riesgos potenciales.

7.- Se evidencia una falta de zonificación arquitectónico funcional con consideración de riesgos de los sistemas estructurales en condiciones de servicio y bajo acciones sísmicas.

- Como premisas básicas **a** considerar en futuro estudio de proyecto definitivo de reforzamiento del hospital se recomienda.

- Elaborar un instructivo de aspectos a revisar en toda la estructura existente luego de un sismo con el objeto de identificar posibles daños **a** esperar para así poder decidir su posible evacuación en el caso de que no se haya realizado ninguna intervención de reforzamiento parcial o total.

-

- Considerar que las intervenciones de reforzamiento deberían ejecutarse sin que se desocupe la edificación.

- Considerar que las intervenciones de reforzamiento no deben interferir con la funcionalidad del hospital.
- Considerar la complejidad de los sistemas y/o elementos no estructurales.
- Considerar los muchos imprevistos que durante la intervención pueden aparecer u ocurrir.
- Si es posible programar etapas de intervención considerando:
 - Urgencia
 - Complejidad
 - Inversión
 - Afectación de funcionamiento
 - Nivel de riesgo

- Metodología propuesta para el Análisis de Vulnerabilidad de Elementos no Estructurales a Nivel Preliminar de Anteproyecto.

En el diseño de toda estructura sometida a movimientos sísmicos debe considerarse que los elementos no estructurales de la construcción, tales como cielos, paneles, puertas, ventanas , etc, así como equipos, instalaciones mecánicas y sanitarias , etc., deben soportar los movimientos de la estructura. Por otra parte, debe tenerse presente que la excitación de los elementos no estructurales, dada por dichos

movimientos de la estructura, es en general mayor que la excitación de la base, por lo cual puede decirse que la seguridad de los elementos no estructurales se encuentra más comprometida en muchos casos que la estructura misma.

A pesar de lo anterior, en el diseño sísmico de las estructuras se concede generalmente poca importancia a estos elementos, al punto de que muchos códigos de diseño no incluyen normas al respecto. Quizá debido a ello la experiencia en temblores recientes muestra en muchos casos un excelente comportamiento de la estructura diseñada de acuerdo a los modernos criterios de sismo-resistencia, acompañado por desgracia por una deficiente respuesta de los elementos no estructurales.

Sin embargo, si se tiene en cuenta las razones de seguridad de los ocupantes de una edificación y los transeúntes expuestos al riesgo de colapso de tales elementos, así como el costo de reposición de los mismos y las pérdidas involucradas en la suspensión de funciones del edificio mismo, puede comprenderse la importancia de considerar adecuadamente el diseño sísmico de los elementos no estructurales dentro del proyecto general de la edificación.

Así mismo podemos identificar también la vulnerabilidad consecuente del comportamiento humano, ya que el pánico es el factor más crítico durante o después de un sismo severo.

Aún una persona normal sería poseída por el pánico al escuchar chirridos de sonidos de rotura de muros de concreto o mampostería, o un sonido como un disparo debido al desplazamiento de la fricción entre pernos de alta tensión y al observar que muchos muebles , como camillas, se deslizan , gavetas que se voltean, escaparates que se caen, cilindros que ruedan y explotan, ocasionando un caos. **Los** pacientes **y** personal se amontonan en **las** escaleras para escapar, ocasionando un colapso con mayor número de víctimas al interior, que coparían la capacidad de atención del hospital **y** éste no podría servir a la población exterior , que luego del sismo demandaría servicio médico.

Sin embargo, si la seguridad no estructural está garantizada , el comportamiento de la gente puede ser racional, los pacientes pueden comportarse con bastante calma , con la ayuda del personal colaborando con orden en las tareas de evacuación.

Con el objeto de evaluar la vulnerabilidad no estructural a nivel preliminar, la metodología propuesta por McGavin (1.981), modificada por R. Boroschek y M. Astroza (Chile 1.994), se realiza con el siguiente procedimiento :

- Se deben determinar las actividades típicas que **se** realizan en el hospital después de una emergencia sísmica con el objeto de identificar, clasificar y calificar sistemas **y** subsistemas no estructurales dentro del edificio.

- En el caso del Hospital Pablo Arturo Suárez se definen los siguientes sistemas :

- . Administración
- . Agua Potable
- . Archivos y Biblioteca especializada
- . Bodegas (ex-comedor y cocina en planta baja)
- . Circulación vertical
- . Circulación horizontal
- . Cocina y comedores
- . Comunicación interior y exterior
- . Electricidad
- . Farmacia
- . **Laboratorios**
- . Lavandería
- . Oficina de médicos (consultorios)
- . Pabellones de hospitalización
- . Sistemas electrónicos de procesamiento de datos
- . Sistemas contra incendios
- . Residencia de médicos
- . Salas de operaciones
- . Sala de reuniones
- . -Sistema de iluminación y techos falsos
- . Sistema de tuberías

La metodología clasifica a los sistemas y subsistemas en los siguientes

grupos :

Crítico A :

Dentro de este grupo se ubican los sistemas y subsistemas (a equipos) , requeridos para el funcionamiento principal o para el apoyo de vida, o que su falla puede afectar en forma directa al funcionamiento de otro sistema o equipo crítico.

Apoyo B :

Se ubican los sistemas y subsistemas (o equipos) requeridos para el apoyo de las funciones básicas. La unidad que depende de este sistema puede funcionar en forma limitada si ocurre una falla.

Apoyo C :

-

Se ubican los sistemas y subsistemas (o equipos) requeridos para el funcionamiento prolongado del hospital.

Apoyo D:

Todo sistema , subsistema (o equipo) portátil **no** incluido en el grupo "Crítico A" .

Miscelaneo **E** :

Todos los demás sistemas, subsistema, equipos y **misceláneos**.

Luego de identificar y clasificar los sistemas y subsistemas se procede a clasificarlos en función de su vulnerabilidad , la misma que depende de factores como :

- . Función
- . Demanda
- . Características de diseño
- . Vida Útil
- . Experiencias previas
- . Proximidad y relación del sistema con otros sistemas

La metodología propuesta por **McGavin** , recomienda dos formas básicas de calificación :

- La especificación de diseño (calificación) **I** , asociado a sistemas o equipos clasificados como A y B.

- La especificación de diseño (calificación) 11, asociado a sistemas o equipos de clasificación C, D, E.

Según la metodología la clasificación 1 debe basarse en los siguientes procedimientos :

- Pruebas de mesa vibratoria
- Análisis matemático estático y dinámico
- Experiencia previa
- Criterio del grupo de expertos
- Combinación de los anteriores.

El objetivo del criterio 11 , es asegurar que el sistema o equipo analizado permanezca fijo durante la emergencia. Para esta evaluación se recomienda el uso de un coeficiente sísmico y un análisis estático . En situaciones especiales se puede requerir los procedimientos establecidos en el Criterio 1.

Para el caso que nos ocupa , al tratarse de un estudio preliminar de vulnerabilidad no estructural, la metodología a utilizar será la basada en experiencias anteriores con equipos y sistemas similares , en conjunto con la evaluación de un grupo de expertos.

Para esto, la vulnerabilidad no estructural de cada sistema o subsistema analizado, se clasifica en tres grupos : Baja, Media y Alta y

finalmente se indica , utilizando la misma escala, el riesgo que representa esta vulnerabilidad para el hospital .

La metodología establece con esto , que si la vulnerabilidad es baja, el riesgo de que un sistema sea dañado, cause daño o **salga** de funcionalidad es bajo, y al contrario.

Debemos sin embargo aclarar **los** siguientes aspectos :

- Que esta definición no involucra criterios económicos, es decir que una vulnerabilidad alta no implica una pérdida económica alta, ni un costo elevado de mitigación o reducción del riesgo alto.
- Que en la ejecución del o los métodos de protección de sistemas en hospitales deben prevalecer las variables del peligro directo o indirecto de falla de un sistema y no un criterio económico.
- Debe existir una desición del grupo de usuarios o de los encargados de la mitigación del riesgo , con referencia a definir prioridades, realizando estudios costo-beneficio.
- Se-recomienda que las tareas de reducción de vulnerabilidad de un sistema no impliquen una limitación de su uso.
- Se deben identificar sistemas , equipos o elementos con

características peligrosas , para lo cual se recomienda usar el criterio desarrollado por la Administración de Hospitales para Veteranos de EEUU. , quienes consideran las siguientes situaciones, que generan riesgos para la seguridad de las personas :

1.- Impacto de objetos bajo 5 kg. de peso con bordes afilados o de vidrio.

2.- Impacto con objetos sobre 5 kg. de peso que se deslizan o ruedan por el piso.

3.- Impacto con objetos sobre 25 kg. de peso que se deslizan o ruedan por el piso.

4.- Contacto directo o inhalación de contaminantes o sustancias tóxicas .

5.- Desconexión o falla del sistema de mantenimiento de vida.

6.- Contacto o exposición a servicios como electricidad, vapor, gases etc.

7.- Imposibilidad de alcanzar o utilizar equipo esencial o provisiones.

8.- Imposibilidad de evacuar áreas peligrosas.

- Se deben realizar listados , con la ayuda de personal autorizado, de los servicios , de la localización de los equipos, registrado marca, modelo, número de inventario, número de serie y su estado de funcionamiento y apariencia.

- Se debe proceder a realizar la selección y evaluación de sistemas, para lo cual se recomienda elaborar cuadros para calificación de los grupos de sistemas y subsistemas de la siguiente manera :

En este caso tomamos como ejemplo el equipo de rayos X, en el cual se evidencian las siguientes vulnerabilidades :

. Como se aprecia en las fotografías #7 y 17 (Anexo 4) , los sistemas de sujeción dependen de la estabilidad lateral de las paredes a las que se anclan los equipos , las mismas que se encuentran sentidas y desconectadas de los elementos estructurales que las confinan en su plano y las soportan lateralmente.

. Esto indica que la vulnerabilidad se la puede calificar como ALTA , y tratándose de un equipo tan importante en especial en casos de emergencia , también involucra un **riesgo** alto para **el** hospital.

Tomando como ejemplo el sistema de almacenamiento y distribución de combustibles , se evidencian las siguientes vulnerabilidades :

. Si se aprecian las fotografías # 25 y 26 (Anexo 4) , se evidencia la

vulnerabilidad en la estabilidad de los tanques de almacenamiento, los que se ubican sobre soportes que no se fijan en su base sobre plataformas altas , que en un sismo al voltearse caerían sobre otro sistema contiguo, que en este caso son los calderos, lo que causaría explosiones e incendios graves.

. Si se aprecian las fotografías # 31 y 32 (Anexo 4), se observa que incluso en unidades de almacenamiento de combustible enterradas , que como criterio de diseño son más adecuadas , el poco control y la falta de detallamiento en las instalaciones de entrada y bombeo , ocasionan gran vulnerabilidad ya que el combustible se derrama, causando graves peligros de incendio, inclusive en condiciones normales.

. Si se aprecian las fotografías # 29 y 30 (Anexo 4), se puede observar que incluso los subsistemas de distribución de consumo diario de combustible presentan gran vulnerabilidad , ya que no se encuentran fijados contra volcamiento en caso de un sismo, pudiendo producirse incendios y la total paralización de otros sistemas , como el grupo electrógeno de emergencia , que se aprecia en la fotografía # 29 y los calderos de la fotografía # 30, con lo cual el hospital perdería su capacidad de asepsia por falta de vapor, agua hervida y agua caliente.

Con esto se deduce que este sistema tendría una calificación de Vulnerabilidad Alta y un riesgo para el hospital también Alta.

Con esta metodología se propone elaborar un cuadro de calificación como