“Estudio de reforzamiento estructural de hospitales sometidos a solicitaciones severas: aplicación a un caso emblemático”

Ing. Alexander Gálvez Huamán

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes.

1.1.1 Generalidades

El diseño de la infraestructura de salud debe estar orientado a la protección de la vida, de la inversión, de la función y del daño, controlado de una manera estratégica. No todos los elementos de la infraestructura pueden o deben estar protegidos en todos los aspectos. El nivel mínimo de protección es la vida de las personas. La decisión del nivel de protección dependerá de la red asistencial en la cual se encuentre inserto, sus características físicas y el objetivo funcional que posea dentro del sistema.

Las lecciones del pasado aprendidas en los sismos de México 1985, El Salvador 1986, Turquía 1999 y Gujuart en la India 2001, han llamado la atención a los estamentos de decisión de las naciones a rescatar y consolidar la importancia de la protección sísmica de los hospitales, con la finalidad que las edificaciones puedan sostener la atención de la emergencia y ayudar a salvar vidas y atender a los heridos.

En el Perú para el caso de hospitales de nivel III cuya importancia es trascendental, su infraestructura tiene como objetivo la protección de la función, por lo que deben establecerse procedimientos de control de daños que sean rigurosos y verificables. Sabido es que puede existir una protección de daño si no existe una correcta relación entre sistema estructural y no estructural y si no se establece un procedimiento de mantenimiento adecuado. En este tipo de infraestructura debe existir un diseño integrado de la estructura y los elementos no estructurales, la organización administrativa, médica y el personal asistencial.

1.1.2 Daños en Hospitales debido a terremotos

Los desastres naturales ocurridos en el mundo en los últimos 20 años han afectado a por lo menos a 800 millones de personas, causado cerca de 3 millones de muertes y ocasionando pérdidas que superan los 50.000 millones de dólares. Esta situación puede empeorar por la densificación demográfica de algunas regiones del planeta y por la urbanización de áreas hasta ahora despobladas que presentan alta vulnerabilidad. De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud, entre 1981 y 2001, más de 100 hospitales y 650 unidades de salud resultaron gravemente dañados por la acción de fenómenos de la naturaleza, generando pérdidas económicas directas de 3.120 millones de dólares.

Efectos de los terremotos sobre los Sistemas de Salud

Identificación del evento	Fecha	Magnitud	Efectos Generales
San Fernando, California	1971	6.4	Tres hospitales sufrieron daños severos y no pudieron operar normalmente cuando más se les necesitaba. Aún más, la mayoría de las víctimas se presentaron en dos de los hospitales que se derrumbaron. El Hospital Olive View, uno de los más gravemente afectados en 1971, fue demolido y reconstruido en forma tradicional, nuevamente sufrió daños graves no estructurales en el terremoto de 1994 impidiendo su funcionamiento.
Managua, Nicaragua	1972	5.6	El hospital general resultó severamente dañado. Fue evacuado y posteriormente demolido.
Guatemala, Guatemala	1976	7.5	Varios hospitales fueron evacuados.
Popayán, Colombia	1983	5.5	Daños e interrupción de servicios en el Hospital Universitario San José.
Chile	1985	7.8	79 hospitales y Centros de Salud resultaron dañados o destruidos. 3271 camas quedaron fuera de servicio
Mendoza, Argentina	1985	6.2	Se perdió 10% del total de camas de hospital en la ciudad. De 10 instalaciones afectadas, 2 fueron demolidas y 1 evacuada.
México, D.F. México	1985	8.1	Colapso estructural de 5 establecimientos hospitalarios y daños mayores en otros 22; por lo menos 11 instalaciones fueron evacuadas. Se estimaron pérdidas directas por US$ 640 millones. Los hospitales más seriamente dañados fueron el Centro Médico Nacional del Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS), el Hospital General y el Hospital Benito Juárez. Entre las camas destruidas y las que fue necesario evacuar, los sismos produjeron un déficit súbito de 5829 camas; en el Hospital General murieron 295 personas y en el Hospital Juárez 561.
San Salvador, El Salvador	1986	5.4	2.000 camas perdidas más de 11 instalaciones hospitalarias afectadas. 10 desalojadas y 1 evacuada permanentemente. Se estimaron daños por US$ 97 millones.
			El Hospital Velasco Ibarra (120 camas) sufrió daños no estructurales moderados, el agrietamiento de varias

Tena, Ecuador	1995	6.2	paredes, la ruptura de vidrios, caída de tumbados, desperfecto en el sistema de ascensores, daños en algunas tuberías para conducción de oxígeno y de agua, lo que obligó a la suspensión de sus servicios y la evacuación de las instalaciones.
Aiquile, Bolivia	1998	6.8	El Hospital Carmen López resultó gravemente dañado.
Armenia, Colombia	1999	5.8	El terremoto causó daños en 61 instalaciones de salud.
El Salvador	2001	7.6	EL terremoto dejó fuera de función a 1917 camas hospitalarias q corresponden al 39% de la capacidad del país, el Hospital San Rafael resultó severamente dañado y continuó parcialmente su función en los exteriores del edificio. El Hospital Rosales perdió su capacidad de atención quirúrgica por los daños producidos en el sector de pabellones. Los hospitales San Juan de Dios de San Miguel y San Pedro de Usulután resultaron con daños de consideración y continuaron su función sólo parcialmente en los exteriores de los recintos. El Hospital de Oncología fue evacuado completamente.

Fuente:
"La salud en las Américas", edición 2002, volumen 1, Organización Panamericana de Salud, 2002
"daños observados en los hospitales de la Red Asistencial de Salud de El Salvador en el terremoto del 13 enero de 2001, Informe Preliminar", Boroschek, K., Retamales, R., 2001.

1.1.3 Pérdidas económicas

De acuerdo a los reportes elaborados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), los desastres naturales constituyen una barrera para el desarrollo de los países. Si bien los fenómenos naturales afectan indistintamente a los países desarrollados y a los países en vía de desarrollo, sus consecuencias son muy diferentes. Como muestra de ello, se puede señalar que el 95% de las muertes asociadas a los desastres naturales ocurridos en 1998 ocurrieron en países en vías de desarrollo.
En el área de salud el efecto de un desastre natural se ve amplificado por varias razones: primero, debido a que uno de los sectores con pérdidas importantes (US$ 11.1 millones de dólares en pérdidas en la red asistencial de salud de El Salvador producto del terremoto del 13 de enero de 2001; segundo, debido a que su recuperación implica grandes desembolsos económicos, difíciles de afrontar en momentos en que el resto del país también trata de recuperarse; y tercero, por la necesidad de recuperar en forma rápida la capacidad de atención no solo de la población directamente afectada , sino por la necesidad de continuar satisfaciendo la demanda de salud del sistema.

1.2 Objetivos de la investigación.

1.2.1 Objetivos generales

- Revisión del estado del arte en la rehabilitación estructural y conocer el riesgo sísmico de hospitales.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar el déficit de resistencia y/o rigidez de los elementos estructurales de la edificación modelo.
- Proponer medidas de reforzamiento estructural de la edificación analizada, para adecuarlo a las exigencias de la actual normatividad sismorresistente.
- Evaluar el costo de inversión de reforzamiento de la edificación modelo.

1.3 Metodología

La investigación iniciará con la recopilación de información bibliográfica acerca del estado del arte en la rehabilitación estructural. Se consideran relevantes los tópicos concernientes a la evaluación de edificaciones existentes, análisis estructural e información sobre las técnicas de reforzamiento de uso actual.

La aplicación práctica requiere elaborar un modelo de análisis basado en una edificación real, la información sobre las características de los materiales constructivos se tomará de los planos de diseño obtenidos de la DGIEM (Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento del Ministerio de Salud). Se efectúa además la evaluación de los elementos no estructurales, del equipamiento y de las instalaciones a fin de determinar su influencia en la vulnerabilidad de la edificación.

El análisis estructural se efectúa siguiendo los requerimientos de la norma E030 del Reglamento Nacional de Edificaciones vigente, habiéndose determinado los parámetros Z, U, C, S, Tp y R según el emplazamiento de la edificación real y las disposiciones de la normativa, considerando dos casos: Caso 1 para edificación existente sin intervención considerando las características actuales y Caso 2 para la edificación reforzada luego de la intervención; cabe destacar que este último caso es logrado mediante un proceso de selección de alternativas tomando en consideración aspectos económicos, constructivos, arquitectónicos y estéticos.

De modo complementario se propondrán medidas de reforzamiento de los elementos no estructurales, efectuando la evaluación y/o mejoramiento de los anclajes. Finalmente, los resultados se plasman en planos generales, con los que puede realizarse una estimación de los costos de inversión de la intervención.

ANALISIS DEL CASO MODELO

4.1 Características de la edificación seleccionada.

El año 2001 la Organización Panamericana de la Salud conjuntamente con el Ministerio de Salud a través de la Oficina de Defensa Nacional, acordaron iniciar el estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de 10 hospitales en el Perú, encargando el estudio de la Vulnerabilidad Estructural de dichos hospitales al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres "CISMID" de la Universidad Nacional de Ingeniería. Dicho estudio concluyó que varios de ellos presentaban deficiencias estructurales entre las que destacan déficit de resistencia y rigidez lateral, así como características inadecuadas de los elementos estructurales que convierten al conjunto en un sistema vulnerable y con probabilidad alta de sufrir graves daños debido a sismos de probable ocurrencia.

Tomando en consideración dicha información y como parte de una labor de prevención, para los alcances el presente estudio de reforzamiento de hospitales se ha seleccionado uno de los siete pabellones del Hospital Nacional Cayetano Heredia. Este nosocomio fue inaugurado el 21 de julio de 1968 como Hospital Centro de Salud Docente del Rímac, y posteriormente en abril de 1969 abrió sus puertas al público con el nombre de Hospital General Base Cayetano Heredia; se ubica en el Departamento y Provincia de Lima, Distrito de San Martín de Porres en la Av. Honorio Delgado Cdra. 3, Urb. Ingeniería, se desarrolla sobre un área superficial de terreno de 40,160 m²; con un área construida de 32,200 m² en volúmenes de edificios que alcanzan hasta los cuatro pisos de altura; sobre esta área superficial se tienen 11,990 m² de áreas libres comprendidas por pistas, veredas y áreas verdes. Debido a la complejidad de las operaciones que se efectúan en ella y a la cantidad de personas que se atienden diariamente, es considerado como un hospital de Nivel III de acuerdo a la clasificación del Ministerio de Salud, asimismo debido a su antigüedad e importancia es también catalogado como una Institución Emblemática del Perú.

El estudio realizado por la OPS/MINSA en el Hospital Cayetano Heredia concluyó principalmente que debido a las discontinuidades de los elementos que forman los pórticos, el sistema estructural de los pabellones G, E, I e A es mucho más flexible, produciéndose mayores desplazamientos durante un evento sísmico, la que los hace más vulnerables, asimismo determinó que las edificaciones estudiadas no poseen capacidad sismorresistente, por lo que no podrían resistir el sismo máximo probable que se ha considerado, con un período de retorno para 100 años y una aceleración de 350 gal. Los daños que se producirían serían principalmente del tipo estructural, por lo que, se recomienda rigidizar estas edificaciones, en ambas direcciones utilizando placas de concreto armado, a fin de evitar los desplazamientos que se generarían en las actuales circunstancias. Complementariamente analizaron el componente funcional y organizativo de las Áreas Críticas del Hospital Nacional "Cayetano Heredia" de Lima, registrando también una vulnerabilidad de nivel alto para desastres sísmicos, principalmente debido a que el actual abastecimiento de las líneas vitales es insuficiente, agravado por la demanda creciente y por el deterioro progresivo, situación que se vería magnificada ante la eventualidad de un sismo, adicionalmente la exagerada subdivisión y ocupación de los ambientes limitan las circulaciones, situación que se ha agravado por el incremento desmesurado de su población de cobertura, lo cual agotaría la escasa reserva funcional para contingencias

El mencionado antecedente evalúo la resistencia de las estructuras o criterios de vulnerabilidad utilizando los llamados criterios de falla simplificados que se presentan generalmente en este tipo de estructuras, basados en fórmulas empíricas que consideran el refuerzo de la sección, así como la calidad de los materiales involucrados en las secciones vigas, columnas y placas existentes en la estructura. A continuación, se presentan los resultados de dicha evaluación.

Figura 4.1
Resumen de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Pabellón	Análisis Dinámico	Método de Hirosawa
X	V. ALTA	V. ALTA
G	V. ALTA	V. ALTA
F	V. ALTA	V. ALTA
I	V. ALTA	V. ALTA
IA	V. ALTA	V. ALTA
M	V. ALTA	V. ALTA
L	V. ALTA	V. ALTA

Fuente: Vulnerabilidad del HNCH, OPS/ MINSA

Figura 4.2
Vista de algunos pabellones del Hospital Nacional Cayetano Heredia

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Geología del área de estudio

El subsuelo del área en estudio tiene su origen en la época cuaternaria durante la última etapa del Pleistoceno, es decir, hace aproximadamente un millón de años; los materiales existentes pertenecen al cono de deyección del río Rímac constituido por un depósito fluvioaluvional. El material generado es un conglomerado de compacidad variable, el abanico del río Rímac tiene en la actualidad una extensión aproximada de 300 Km2, con su límite oriental cerca de Vitarte y su límite occidental sobre la línea costera; hacia el sur limita con el macizo de Morro Solar y por el norte cubre parte del abanico del río Chillón; el área de distribución de sedimentos cerca de la superficie en el abanico cortado por el río Rímac muestra generalmente capas gravosas con aglomerantes areno limosos con una amplia granulometría cuyas partículas se vuelven más finas hacia el oeste.

4.1.2 Características geotécnicas del área de estudio

De acuerdo a los estudios realizados en la evaluación de la vulnerabilidad del HNCH realizado por la OPS/MINSA, se determinó que el tipo de suelo predominante es conglomerado en estados desde sueltos a compacto, intercalados con capas de arenas medianas a finas, limos y arcillas de buena calidad para cimentaciones. Se considera conservadoramente valores de 4 kg/cm2 como capacidad de soporte de este tipo de suelo.

Debido a la homogeneidad del depósito gravoso existente en gran parte de la ciudad de Lima, verificado a través de numerosos estudios de suelos con fines de cimentación llevados a cabo por diversos consultores y también por el CISMID de la UNI, se puede concluir que a nivel de cimentación de las estructuras del mencionado Hospital predominan los suelos gravosos correspondiendo probablemente a una clasificación GP, grava pobremente graduada limpia y con matriz arenosa.

No se dispone información acerca de pozos de agua en la zona, sin embargo, se estima que el nivel freático se encuentra muy por debajo de la profundidad de influencia de las estructuras de cimentación.

4.2 Evaluación del estado actual del edificio seleccionado.

4.2.2 Evaluación estructural

La edificación que será tomada como parte de la investigación presente, corresponde al pabellón “I” de “Operaciones, cirugía y hospitalización”, la cual es una construcción regular de 4 pisos de 477.1 m2 (34.75 x 13.73 m.) y 14. 1 m. de altura. La estructura está actualmente en uso y no presenta mayor deterioro ni vestigios de daños y/o fallas por sismo pasados.

La evaluación estructural in situ de la edificación se realizó usando una ficha de campo con una lista de chequeo que considera 11 parámetros que recopilan de manera cualitativa información importante para mejorar los modelos de análisis y para identificar posibles deficiencias. En la sección de anexos del presente estudio se puede encontrar la ficha utilizada en el HNCH.

Figura 4.3
Parámetros de análisis de la ficha de evaluación in situ

Item	DESCRIPCION
1.00	Identificación
2.00	Tipo de construcción
3.00	Material predominante del sistema resistente
4.00	Proceso constructivo
5.00	Tipo y organización del sistema resistente
6.00	Calidad del sistema resistente
7.00	Diafragma horizontal
8.00	Configuración en elevación
9.00	Tipo de cobertura del piso superior
10.00	Elementos no estructurales en fachada
11.00	Estado de conservación

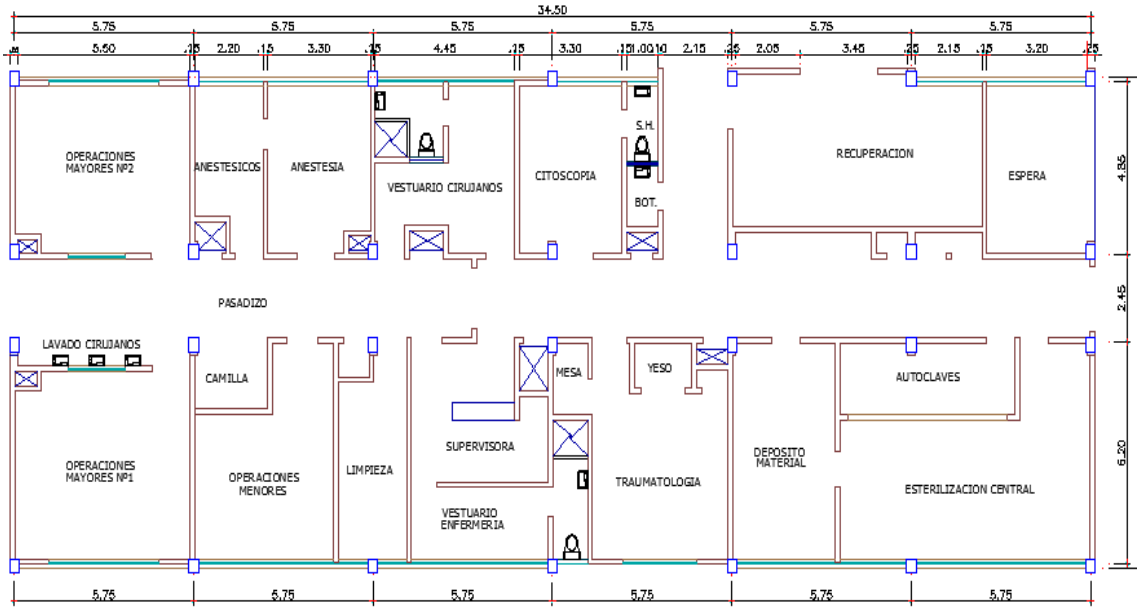
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4
Vista del pabellón "I" Operaciones, cirugía y hospitalización del HNCH

Fuente: Elaboración propia

La configuración estructural es del tipo aporticado, las fachadas presentan grandes ventanas que forman múltiples zonas de posible fallo por "columna corta", debido también a que las columnas son bastante esbeltas y típicas: en el primer piso de dimensiones 0,30 x 0,50 m. y en el resto de pisos de 0.30 x 0.40 m.

Figura 4.5
Planta de distribución del pabellón "I" del HNCH



Fuente: Planos de construcción DGIEM / MINSA - elaboración propia

La configuración en planta y elevación es regular, puede apreciarse en la figura anterior que en el eje X-X (horizontal) existen 07 pórticos cuya distancia de separación entre ejes de columnas es constante de 5.75 m. En el eje Y-Y (transversal) existen 04 pórticos con distancias entre ejes de columnas de 6.20 m, 2.45 m. y 4.85 m.

Figura 4.6
Vista en elevación de varios pabellones del HNCH

Nivel	h (m)
3 er nivel	3.25
2 er nivel	3.25
1 er nivel	3.25
Sotano	4.35

Fuente: Planos de construcción DGIEM / MINSA - elaboración propia

La altura del primer nivel es de 4.35 m. y del segundo al cuarto nivel es de 3.25 m. sin embargo cabe destacar que por la configuración topográfica del terreno del Hospital, al observar el pabellón "I" desde algunas zonas aledañas da la impresión de tratarse de una edificación con sótano, incluso en la nomenclatura de algunos planos constructivos originales se consigna el primer nivel como tal, sin embargo la vista anterior ilustra que solo se trata de la ubicación relativa del edificio en una zona más baja respecto a la zona de tránsito aledaña, esta aclaración sirve para explicar el modelo de análisis elaborado para idealizar la edificación de 04 pisos sin sótano.

Figura 4.6
Vista en elevación del pabellón "I" del HNCH

Fuente: Elaboración propia

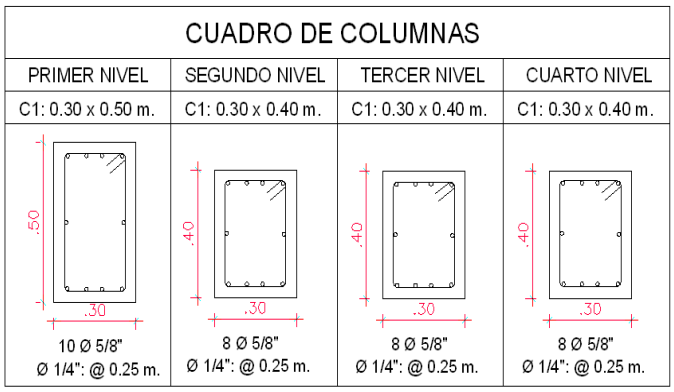
La inspección minuciosa de la edificación, así como la recopilación de información verbal de personal antiguo del hospital, nos ha permitido conocer con probable certeza que las cimentaciones de la estructura se han comportado de manera satisfactoria, no habiendo mostrado señales de asentamientos diferenciales y/o hundimientos de los elementos estructurales, así también se ha encontrado relativamente intactos los pavimentos adyacentes como señal verificable.

Figura 4.7
Vista en interior del 2do nivel del pabellón "I" del HNCH

Fuente: Elaboración propia

Las columnas del edificio son típicas y de sección rectangular, en la figura siguiente se muestra que en el primer nivel sus dimensiones son de 0.30 m. x 0.50 m. con un refuerzo longitudinal de 10 fierros de 5/8" es decir una cuantía de 1.33% mientras que el refuerzo transversal está constituido por varillas de fierro de ¼" espaciado a 0.25 m. lo cual según los requerimientos del actual RNE es inferior al refuerzo mínimo por cortante exigido. Entre el segundo y cuarto nivel la sección transversal de las columnas se reduce a 0.30 x 0.40 m. con un refuerzo longitudinal de 8 fierros de 5/8" equivalente también a una cuantía de 1.33% igualmente el refuerzo transversal también está constituido por varillas de fierro de ¼" espaciado a 0.25 m.

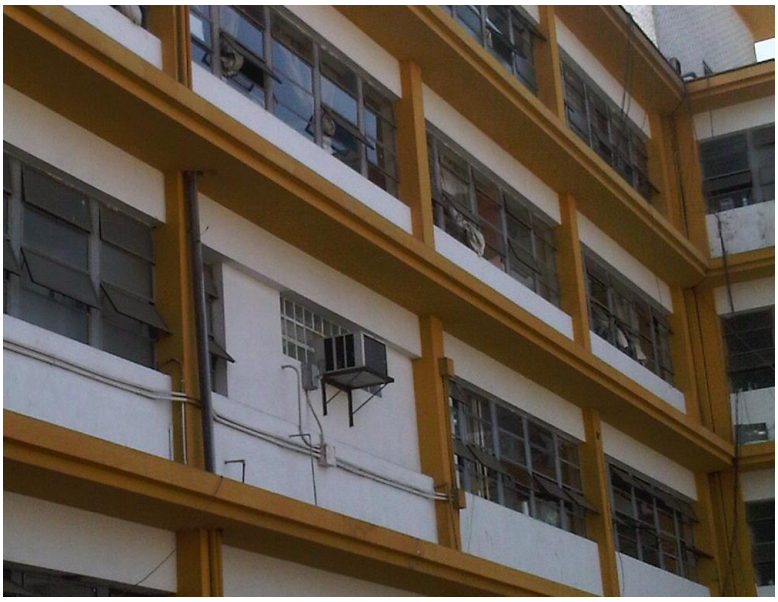
Figura 4.8
Cuadro de columnas del pabellón "I" del HNCH



Fuente: Planos de construcción DGIEM / MINSA - elaboración propia

La evaluación in situ nos ha permitido comprobar que las uniones viga-columna, y viga-losa, se encuentran intactas, no ha podido detectarse o conocerse algún defecto notorio en la edificación a este respecto.

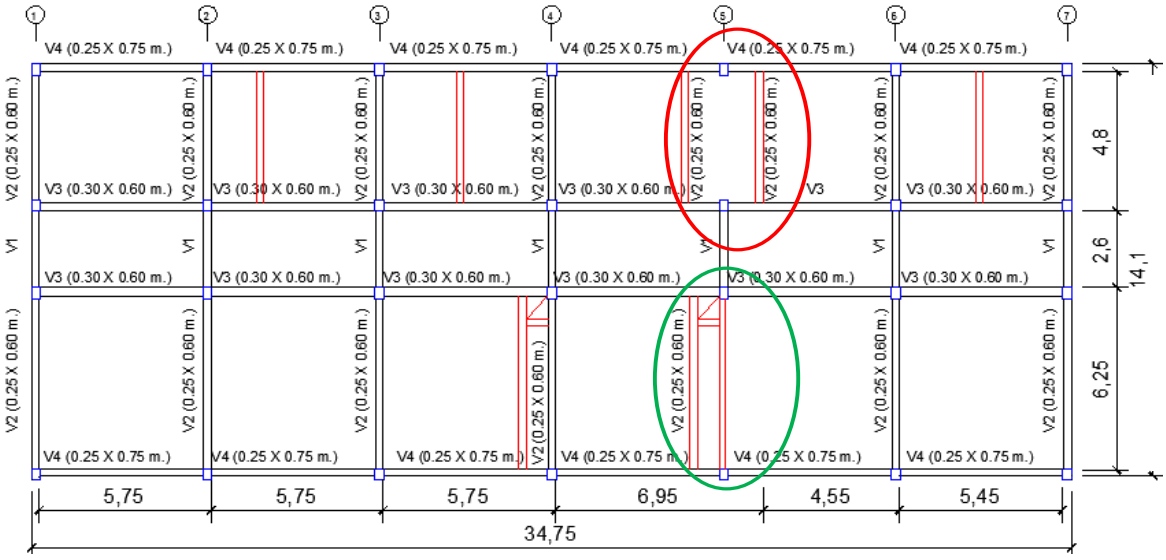
Figura 4.9
La vista muestra la integridad de las uniones viga columna



Fuente: Elaboración propia

De los planos proporcionados por la Dirección General de Infraestructura, Mantenimiento y Equipamiento del Ministerio de Salud DGIEM, se ha podido conocer las dimensiones y características de los elementos resistentes, la figura siguiente muestra el plano de techos del primer nivel, que es típico para todos los niveles.

Figura 4.10
Planta de la ubicación de la viga del primer nivel

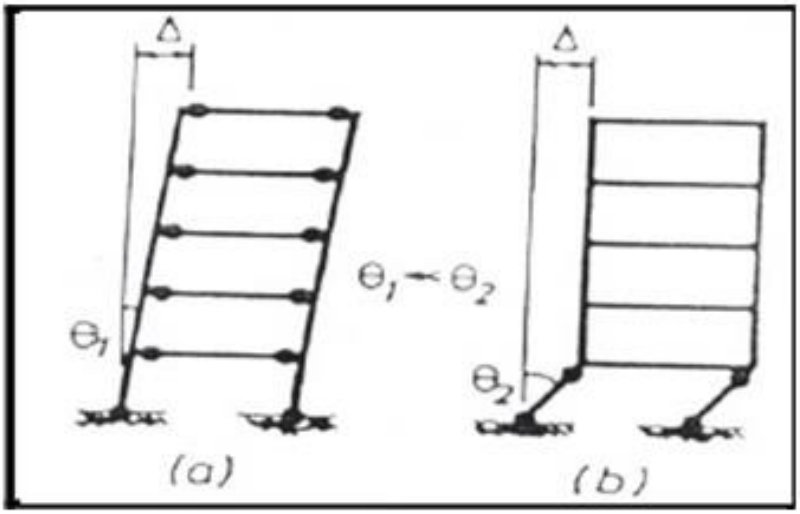


Fuente: Planos de construcción DGIEM / MINSA - elaboración propia

Revisando los planos de estructuras de techo de la edificación analizada, puede notarse que en general las dimensiones de las vigas se encuentran dentro de los rangos de pre dimensionamiento en función de la luz que cubren (aproximadamente entre L/10 y L/14), los peraltes efectivos permiten suponer el comportamiento monolítico de la edificación, sin embargo se debe hacer notar otras deficiencias como se muestra en la imagen siguiente; en el eje 5-5 existe discontinuidad de las vigas producto del diseño original, en un caso (elipse roja) esta viga que arriostra las columnas del eje transversal no está en el mismo eje sino fue reemplazado por otras dos paralelas al eje, y en el otro caso solo existe una viga chata (elipse verde). Esta situación afecta la continuidad estructural del sistema.

Lo anterior es muy importante ya que el mecanismo cinemático deseable busca que las rótulas plásticas se formen en las vigas y no en las columnas, congruente con la premisa bastante común entre los ingenieros de proporcionar a las estructuras de “columnas fuertes y vigas débiles”.

Figura 4.11
Mecanismos cinemáticos en edificaciones



Fuente: Evaluación del desempeño de edificios - Aguiar

Revisando la información consignada en los planos constructivos, se conoce que la calidad del acero es de fy=2800 kg/cm2, además se indica que la calidad del concreto especificada es de f’c= 210 kg/cm2, sin embargo los ensayos de esclerometría realizados por el CISMID para conocer la uniformidad del concreto e indirectamente la calidad del mismo arrojaron valores por debajo del valor de diseño especificada en los planos, determinándose que realmente se alcanzaron valores promedio de 175 kg/cm2. Estos resultados nos indica la necesidad de realizar ensayos de extracción de núcleos de concreto para verificar exactamente la calidad del concreto usado en la construcción.

Figura 4.12
Resistencias adoptadas para el concreto y el acero

Concreto	: f’c = 175 kg/cm2
Acero	: fy = 2800 kg/cm2

Fuente: Planos de construcción DGIEM / MINSA - elaboración propia

4.3 Análisis estructural de la estructura original.

Para la determinación de los parámetros sísmicos se usó de la norma E030.

Figura 4.13
Parámetros sísmicos utilizados para la edificación modelo

Factor	Valor	Observación
U	1.5	Edificación esencial
S	1.0	Suelo firme
Tp	0.4	Grava arenosa densa
R	10	Estructura regular

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el valor del factor Z se propuso la utilización de dos escenarios de peligro sísmico, el escenario sísmico con Z=0.5 g se usará como "solicitación severa" y actualmente está contemplado en la nueva norma de puentes así que posiblemente en el futuro se implemente también en la norma de edificaciones.

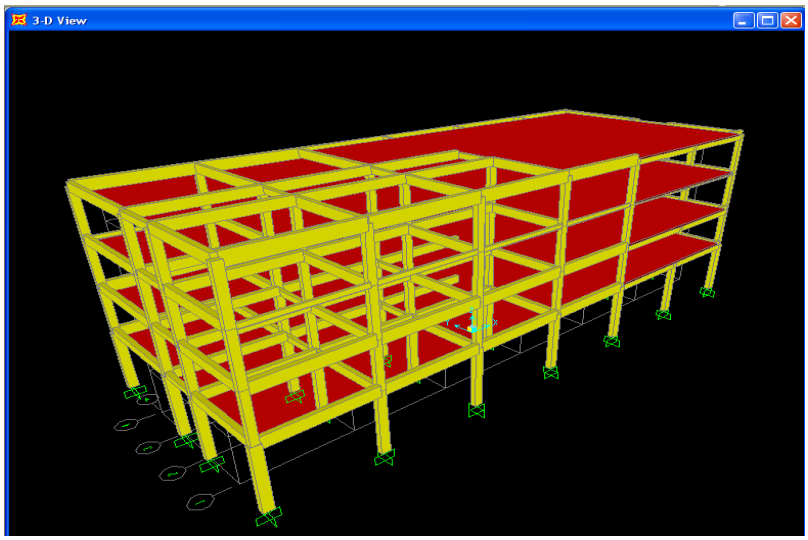
Figura 4.14
Escenario de peligro sísmico usados en el estudio

Factor	a máx. 10% de prob. excedencia en 50 años y periodo de retorno de 475 años	a máx. 10% de prob. excedencia en 100 años y periodo de retorno de 950 años
Z	0.4 g	0.5 g

Fuente: Elaboración propia

En base a la información de los planos, los resultados de la evaluación in situ, la información documentaria y estudios anteriores, se elabora un modelo para análisis usando el programa SAP 2000.

Figura 4.15
Modelo de análisis elaborado en programa computacional

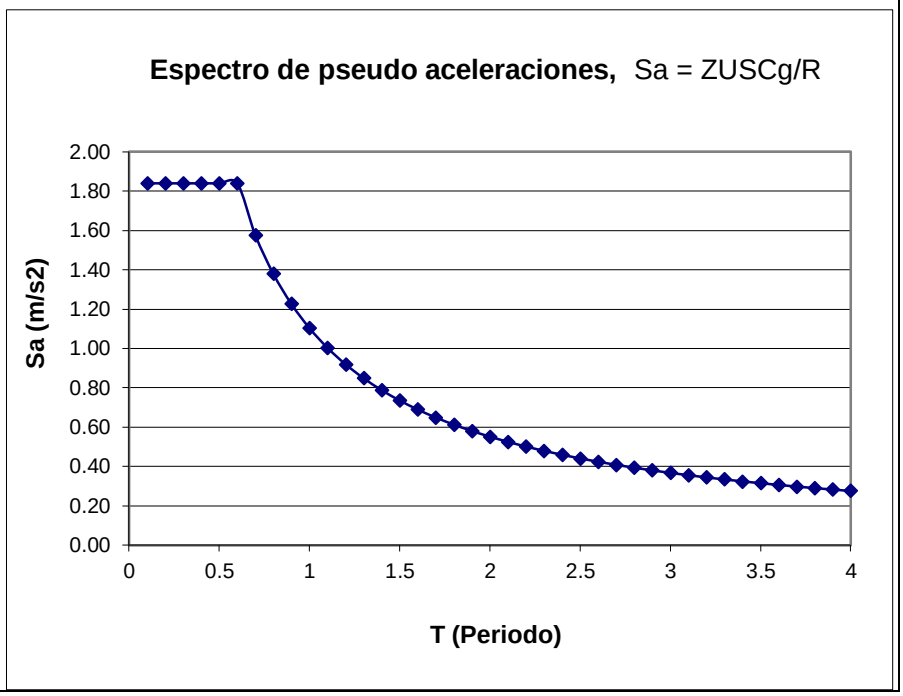


Fuente: Elaboración propia

Se efectuó un análisis modal espectral usando el espectro de la norma E030

Figura 4.16
Espectro utilizado para el análisis de la edificación modelo

Espectro de pseudo aceleraciones		
T	**C**	**Sa**
0.1	2.50	1.84
0.2	2.50	1.84
0.3	2.50	1.84
0.4	2.50	1.84
0.5	2.50	1.84
0.6	2.50	1.84
0.7	2.14	1.58
0.8	1.88	1.38
0.9	1.67	1.23
1	1.50	1.10
1.1	1.36	1.00
1.2	1.25	0.92
1.3	1.15	0.85
1.4	1.07	0.79
1.5	1.00	0.74
1.6	0.94	0.69
1.7	0.88	0.65
1.8	0.83	0.61
1.9	0.79	0.58
2	0.75	0.55
2.1	0.71	0.53
2.2	0.68	0.50
2.3	0.65	0.48
2.4	0.63	0.46
2.5	0.60	0.44
2.6	0.58	0.42
2.7	0.56	0.41
2.8	0.54	0.39
2.9	0.52	0.38
3	0.50	0.37
3.1	0.48	0.36
3.2	0.47	0.34
3.3	0.45	0.33
3.4	0.44	0.32
3.5	0.43	0.32
3.6	0.42	0.31
3.7	0.41	0.30
3.8	0.39	0.29
3.9	0.38	0.28
4	0.38	0.28



Fuente: Elaboración propia

Entre los principales resultados del análisis, se han determinado los desplazamientos de entrepiso y las distorsiones, para ser comparados con los límites establecidos por el RNE; este primer criterio de evaluación es congruente con la filosofía de diseño sismo resistente de controlar la deriva lateral de las edificaciones para controlar los daños aun en los elementos no estructurales.

Figura 4.17
Distorsiones del pabellón "I" del HNCH

Dirección X-X			T = 0.37 s
Nivel	Sismo de 0.4 g	Límites según norma E 030	Sismo de 0.5 g
	Distorsion		Distorsion
1er nivel	0.0056	0.007	0.0079
2do nivel	0.0054	0.007	0.0075
3cer nivel	0.0045	0.007	0.0062
4to nivel	0.0022	0.007	0.0030

Dirección Y-Y			T = 0.31 s
Nivel	Sismo de 0.4 g	Límites según norma E 030	Sismo de 0.5 g
	Distorsion		Distorsion
1er nivel	0.0130	0.007	0.0183
2do nivel	0.0093	0.007	0.0131
3cer nivel	0.0070	0.007	0.0099
4to nivel	0.0036	0.007	0.0051

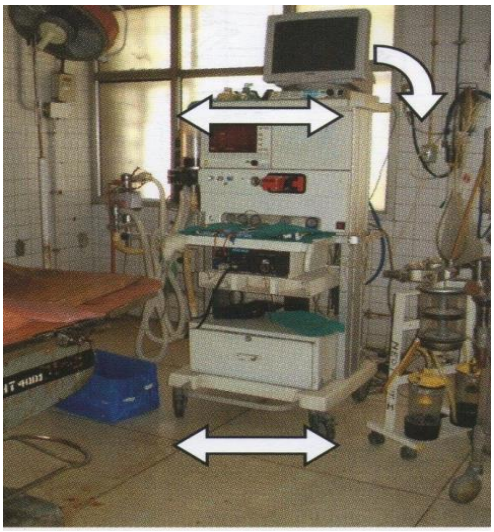
Fuente: Elaboración propia

Puede notarse que la estructura no es lo suficientemente rígida en el eje Y-Y inclusive para el escenario de Z=0.4g contemplado en la norma E030, asimismo para el escenario de 0.5g usando la misma restricción de desplazamiento según la norma E030, puede observarse que los desplazamientos superan este límite incluso para el eje X-X, entonces puede establecerse que la estructura requiere ser rigidizada en ambos ejes.

4.2.2 Evaluación de los elementos no estructurales

En los hospitales existen equipos muy valiosos cuya pérdida de operatividad luego de un sismo es incluso más importante que de la misma edificación.

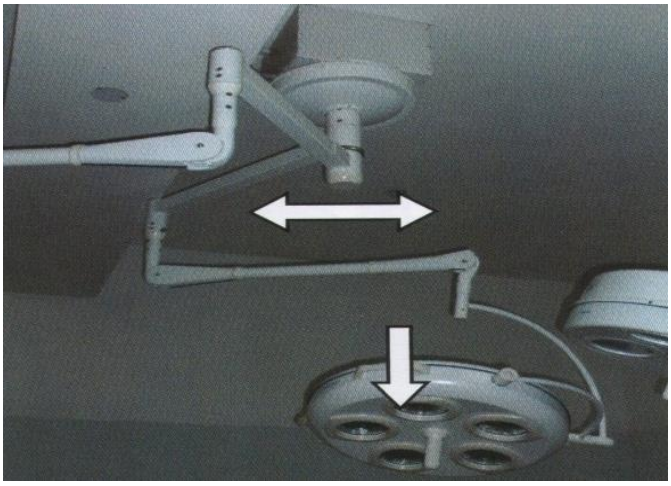
Figura 4.18
Posibilidades de daños de los equipos móviles



Fuente: Geohazards international

Muchos de estos equipos son móviles y son trasladados por el personal de hospital de un ambiente a otro, algunos sin embargo están fijos en los techos o en los muros; asimismo en el mayor de los casos estos elementos han sido adosados a la edificación mucho después de su construcción por lo que hay cierta incertidumbre acerca de su adecuado anclaje.

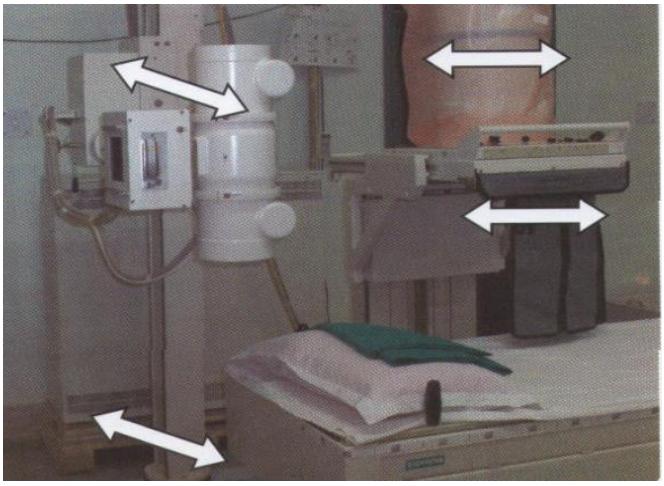
Figura 4.19
Posibilidades de daños de los equipos en techo



Fuente: Geohazards international

Las figuras 4.18, 4.19 y 4.20 muestran algunas posibilidades de desprendimiento, caída, golpeo o desplazamiento peligroso del elemento. Restringir o limitar esta posibilidad es parte del alcance del presente estudio, sin embargo, al no haber sido posible realizar una evaluación interna minuciosa por temas de autorización de la Directiva del Hospital, el estudio se limitará a plantear alternativas de reforzamiento de la fijación, anclaje y/o ubicación de los equipos y elementos no estructurales usuales en un Hospital acorde a lo establecido por la Organización Panamericana de la Salud a través de Geohazards International.

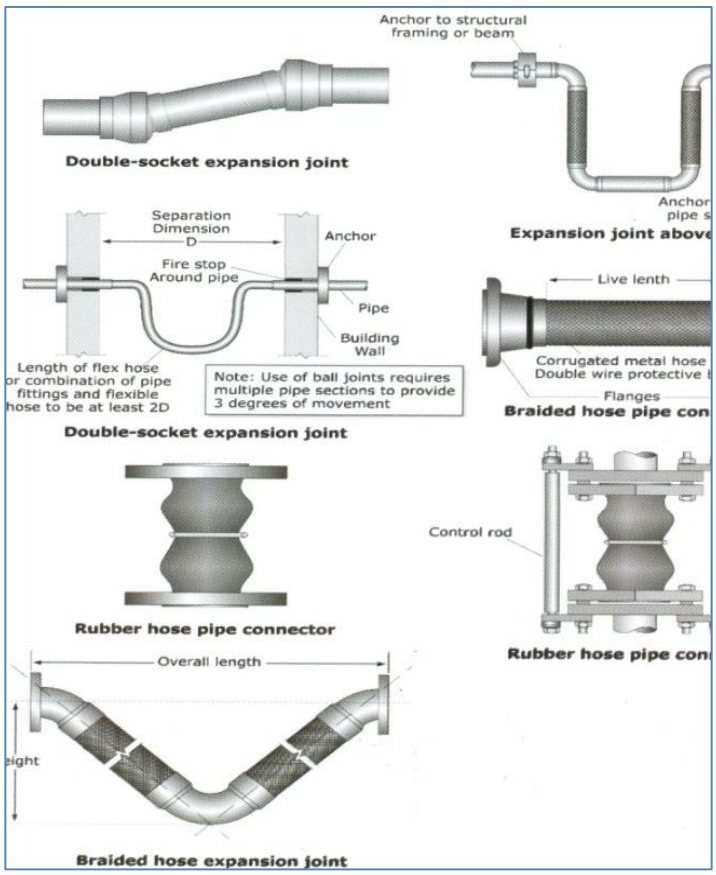
Figura 4.20
Posibilidades de daños de los equipos fijos



Fuente: Geohazards international

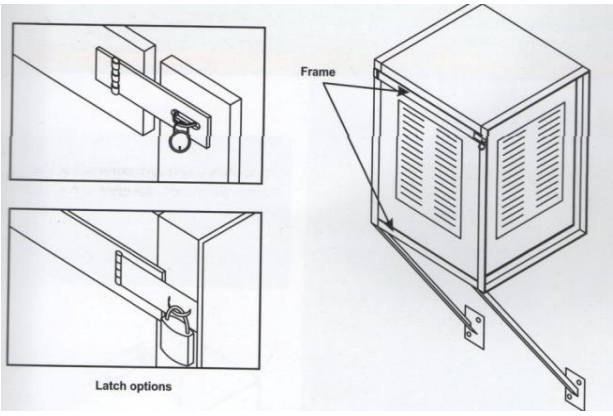
Geohazards International a través de sus publicaciones establece una serie de medidas a ser tomadas en cuenta para corregir posibles falencias en la fijación, anclaje y/o ubicación de los equipos y elementos no estructurales, con la finalidad de protegerlos y evitar que causen daños a personas durante un evento sísmico.

Figura 4.21
Elementos recomendados para fijar elementos no estructurales



Fuente: Geohazards international

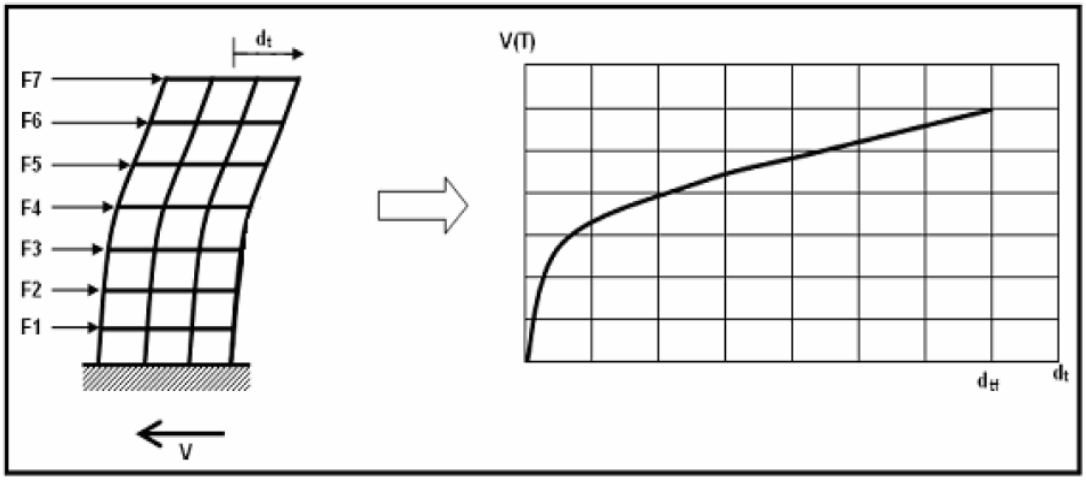
Figura 4.22
Técnica adecuada para fijar equipos en los muros



Fuente: Geohazards international

4.4 Evaluación del desempeño del edificio original.

Figura 4.23
Esquema de la técnica del Pushover



Fuente: Evaluación del desempeño de edificios - Aguiar

REFORZAMIENTO DE LA EDIFICACION MODELO

5.1 Alternativas de reforzamiento de la edificación modelo.

El análisis y el diseño del modelo estructural, así como la construcción del refuerzo, deben realizarse considerando:

1. Aspectos físicos y funcionales
El sistema de refuerzo no debe afectar la operatividad del hospital.

2. Aspectos de seguridad estructural
Reducir la vulnerabilidad a niveles aceptables que permitan el funcionamiento del hospital con posterioridad a un sismo.

3. Sistemas constructivos
El sistema de refuerzo debe considerar la utilización de sistemas constructivos que tengan el menor impacto en el funcionamiento normal del hospital, ya que éste se ejecuta por lo general en un hospital que se encuentra en operación.

De acuerdo con los datos señalados, la intervención de la estructura debe buscar la reducción de la vulnerabilidad existente, atendiendo a los problemas de comportamiento existentes. La reestructuración estructural pretende lograr:

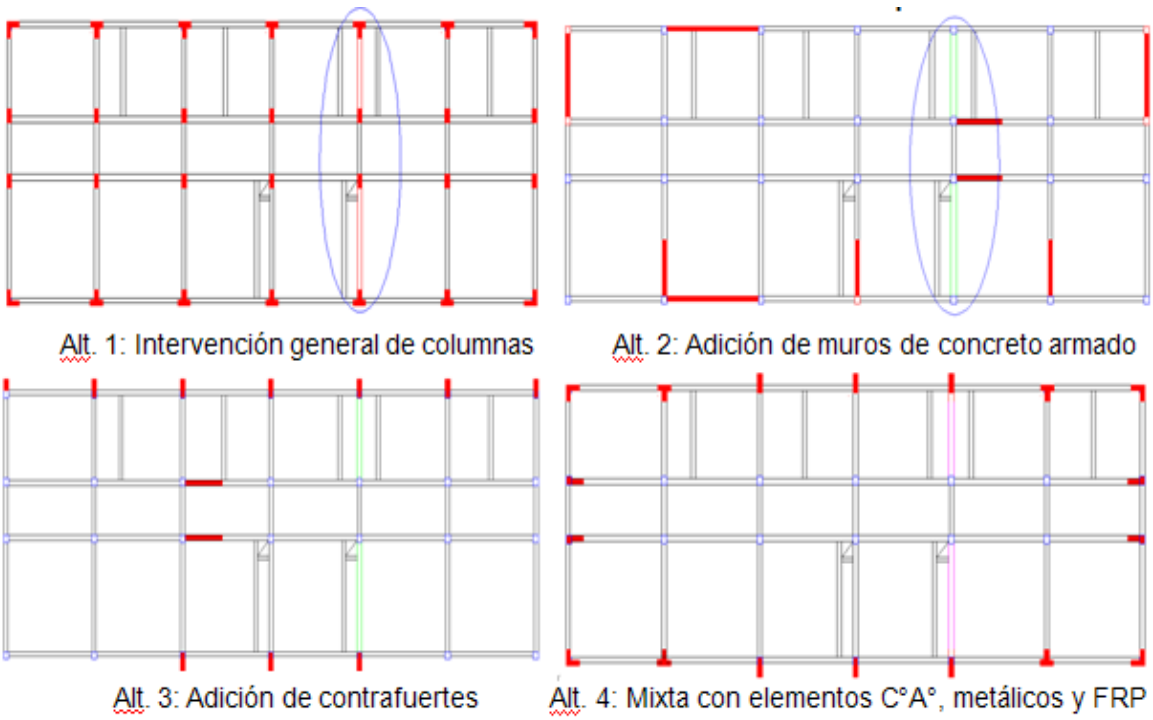
- Aumentar la resistencia.
- Aumentar la rigidez y, por lo tanto, una disminución de los desplazamientos.
- Aumentar la ductilidad.
- Lograr una distribución adecuada de las fuerzas entre los diferentes elementos resistentes, tanto en planta como altura.

Los sistemas usuales de refuerzo de estructuras suelen recurrir a la inserción de elementos adicionales o al reforzamiento de los existentes, el estado del arte actual permite además el uso de diversas técnicas y diferentes materiales para lograr resultados favorables a costos razonables.

En el caso particular de la edificación analizada en el presente estudio el pabellón "I" destinado a "Operaciones, cirugía y hospitalización" del Hospital Nacional Cayetano Heredia, considerando en los criterios de selección sus características arquitectónicas, topográficas y funcionales, se han planteado 04 alternativas para reforzar la estructura:

- Alternativa 1: Intervención general de columnas
- Alternativa 2: Adición de muros de concreto armado
- Alternativa 3: Adición de contrafuertes
- Alternativa 4: Adición de muros, elementos metálicos y FRP

Figura 4.1
Alternativas de reforzamiento planteadas para la edificación modelo



Fuente: Elaboración propia.

Para una adecuada coordinación de los trabajos de reestructuración o reforzamiento de un establecimiento hospitalario, deben intervenir los diferentes agentes involucrados en el normal funcionamiento del hospital y los profesionales directamente encargados de la ejecución de las medidas de mitigación. Por lo expuesto, en la estrategia a seguir en las obras de reestructuración, deben intervenir el director del hospital, administrador, encargados de los servicios clínicos y de apoyo que se verán afectados, jefe de mantenimiento y servicios

generales, así como todos los profesionales involucrados en el diseño y ejecución de las obras de refuerzo.

Por otra parte, las acciones de coordinación se deben realizar en el trabajo de diseño de las medidas de mitigación, en la planificación de las obras, así como en su ejecución. Se debe tratar que en los diferentes momentos de la coordinación siempre participen las mismas personas. La intervención de la vulnerabilidad sísmica, de la estructura de una edificación hospitalaria, es una tarea usualmente más compleja que la que se puede realizar en otro tipo de edificaciones. Varios son los aspectos que hacen diferente este tipo de trabajo en las instalaciones de la salud. Entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- Normalmente la edificación no se puede desocupar a efectos de llevar a cabo el refuerzo.
- La programación de los trabajos debe tener en cuenta la operación de los diferentes servicios de atención médica, con el fin de no causar graves trastornos al funcionamiento del hospital o la inoperancia injustificada de cierto tipo de servicios.
- Se debe prever que habrá un amplio número de labores imprevistas, debido a la dificultad de identificar con precisión detalles del proceso constructivo con anterioridad a la iniciación de los trabajos.
- Deben conocerse los elementos no estructurales y los efectos sobre los acabados arquitectónicos, previamente al inicio de la intervención estructural.
- Por estas razones, el desarrollo de una reestructuración debe obedecer a un programa de trabajo muy detallado que involucre aspectos relativos a la función de los servicios en cada etapa del proceso. De la misma manera, debe definirse una debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento del hospital.

5.2 Análisis estructural de la estructura reforzada.

El análisis estructural de cada alternativa se efectuó mediante un análisis modal espectral usando el espectro de la norma E030 para en primer lugar determinar que los nuevos desplazamientos y distorsiones obtenidos se encuentren dentro de los límites que establece el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Una vez que se logró cumplir la premisa de controlar de desplazamientos laterales y distorsiones de entrepiso, se analizó la estructura mediante un análisis estático pushover para analizar el comportamiento individual de cada una de las vigas, columnas y muros, considerados en las alternativas propuestas; con estos resultados se revisa el diseño de las mismas para luego proponer el tipo de reforzamiento más adecuado, los resultados concluyeron que en el mayor de los casos el déficit de diseño se presenta por cortante más que por flexión.

Con respecto a la viga ubicada en el eje 5-5, para todos los casos se pretende reforzarla construyendo un inserto de viga de concreto armado o adicionar un elemento metálico de soporte, para garantizar la continuidad estructural del sistema y corregir la existencia de zonas débiles.

Con los resultados de los análisis estructurales, se efectuó un proceso de selección de la alternativa más conveniente considerando criterios de costos de la intervención, grado de dificultad, facilidades existentes para la construcción, menor impacto en la arquitectura original, menor tiempo de ejecución, menor

impacto en las actividades del hospital. El diseño del reforzamiento de cada uno de los elementos estructurales se efectúa para la alternativa seleccionada.

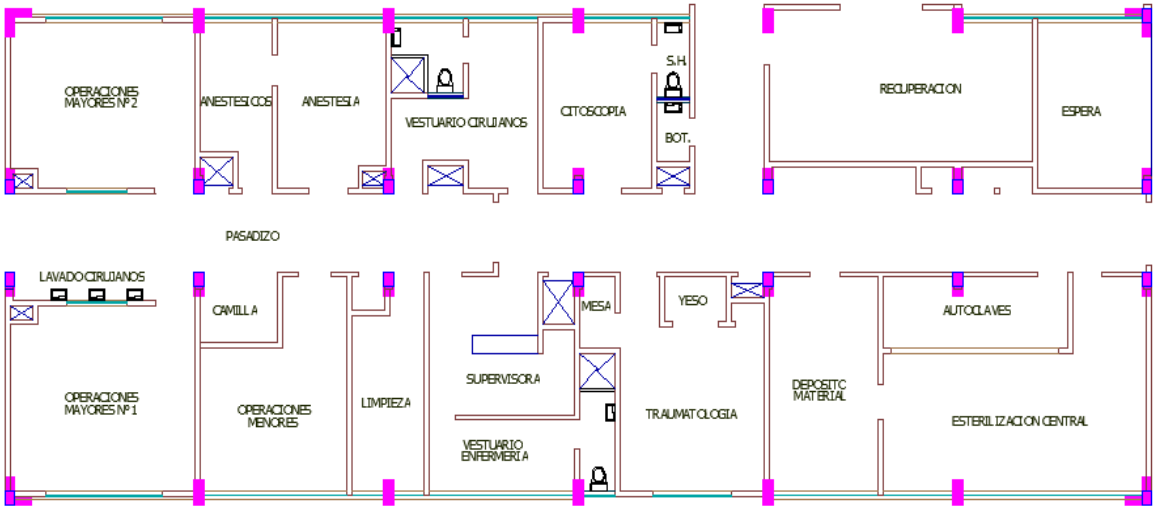
5.1.1 Alternativa 1: Intervención general de columnas

La técnica de intervención de columnas es empleada para sistemas de pórtico, este sistema se realiza generalmente sobre una gran parte de las columnas y vigas de un edificio, con el fin de aumentar tanto su rigidez como su resistencia y ductilidad.

En el caso de la presente investigación se contempla el reforzamiento total de las columnas mediante técnicas de encamisado y ensanchamiento, para lo cual se realizarán perforaciones con taladros en los elementos existentes, para el posterior anclaje de fierros con el necesario uso de pegamentos epóxicos.

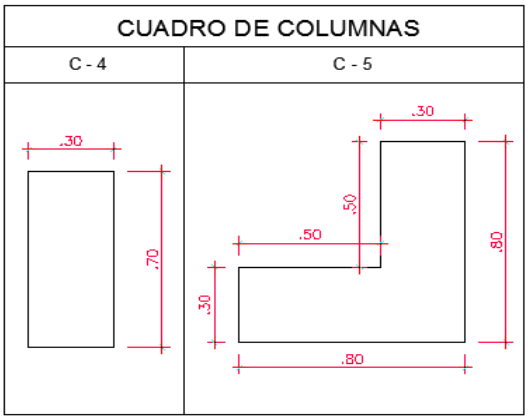
La gran ventaja de esta alternativa es que prácticamente puede mantenerse la arquitectura actual de la edificación sin grandes modificaciones además que su concepción asimismo es bastante simple.

Figura 4.2
Alternativas de intervención general de columnas



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3
Cuadro de columnas reforzadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4
Distorsiones obtenidas del análisis estructural - Alt. 1

NIVEL	Sismo de 0.4g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00309	0.00435	0.007
Segundo nivel	0.00236	0.00160	0.007
Tercer nivel	0.00196	0.00121	0.007
Cuarto nivel	0.00096	0.00061	0.007

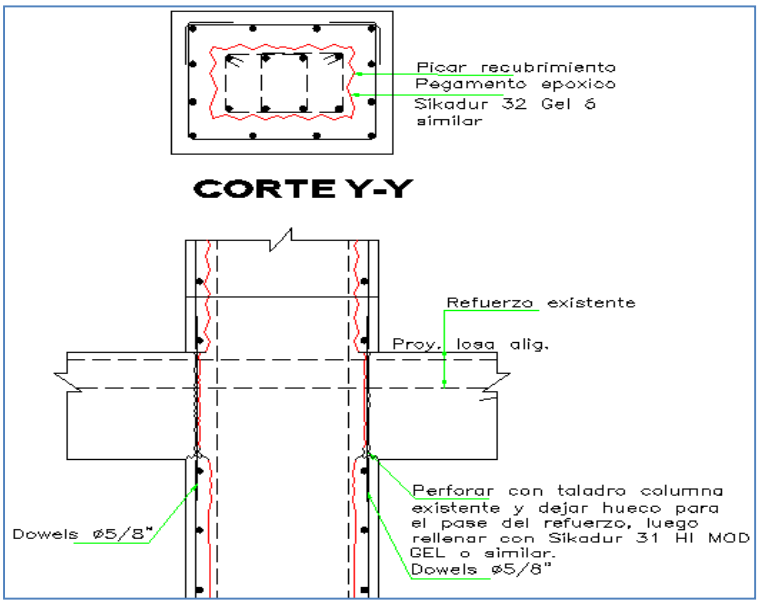
NIVEL	Sismo de 0.5g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00433	0.00611	0.007
Segundo nivel	0.00330	0.00225	0.007
Tercer nivel	0.00272	0.00170	0.007
Cuarto nivel	0.00133	0.00087	0.007

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cuadro anterior muestran que con la inserción y/o modificación de los elementos estructurales mostrados en la figura 4.3, en las ubicaciones mostradas en la figura 4.2, se logra controlar las distorsiones manteniéndolas por debajo del límite establecido por la norma E030 aun para un sismo de 0.5 g.

La gran desventaja que presenta esta alternativa es que durante el proceso constructivo las cimentaciones y las uniones viga-columna deben ser intervenidas, por lo que la ejecución es usualmente difícil y costosa, debiendo demoler parte de los muros de albañilería aledaños en todos los pisos, incrementando además los plazos de ejecución.

Figura 4.5
Detalles típicos del anclaje del elemento nuevo con el existente



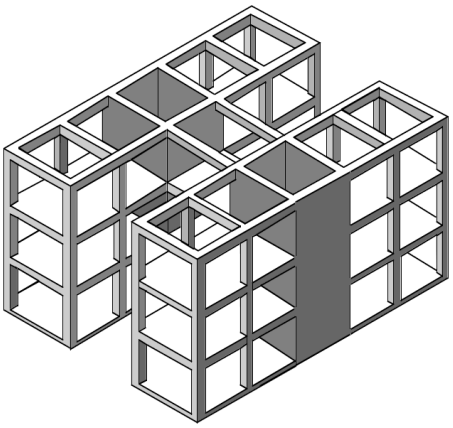
Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Alternativa 2: Adición de muros de concreto armado

Esta técnica es ampliamente difundida y usada en el reforzamiento de edificaciones existentes, debido a que los resultados obtenidos han sido bastante satisfactorios. Usualmente estos nuevos elementos incorporados vienen a constituirse como aquellos encargados de soportar las solicitaciones sísmicas, permitiendo que el resto de elementos no intervenidos cumpla mayormente funciones de arriostre y confinamiento.

El programa gubernamental de reforzamiento de las edificaciones escolares emblemáticas de nuestro país utilizó masivamente esta alternativa, principalmente debido a la confiabilidad de sus resultados y al carácter conservador de la propuesta, dado que la responsabilidad de soportar las solicitaciones sísmicas las asumen prácticamente en su totalidad los elementos o muros insertados; el principal sustento de asumir este criterio es la poca confiabilidad en el desempeño futuro de los elementos existentes así como en los métodos para determinar sus actuales características resistentes.

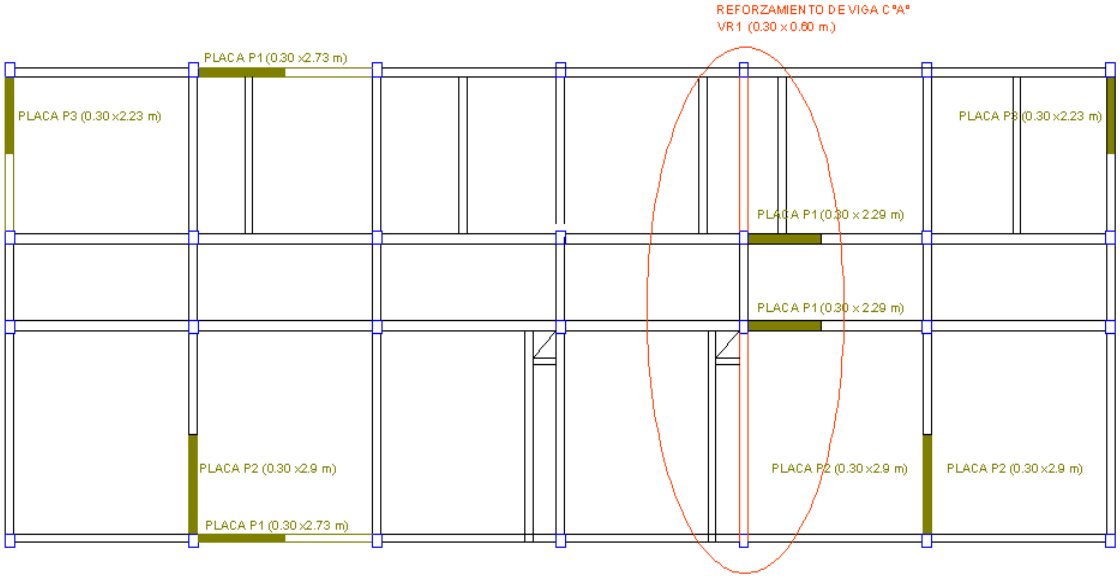
Figura 4.6
Esquema de reforzamiento con muros insertados



Fuente: "Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud" / OPS

La propuesta para edificación modelo establece la incorporación de muros de concreto desde el primer al último nivel (reduciendo en cada piso sus dimensiones de acuerdo a la solicitación). Se pretende que los nuevos elementos absorban la mayor parte de la fuerza sísmica. En el resto de columnas la intervención consistirá en mejorar el refuerzo por cortante y el confinamiento del núcleo.

Figura 4.7
Esquema de reforzamiento con muros insertados

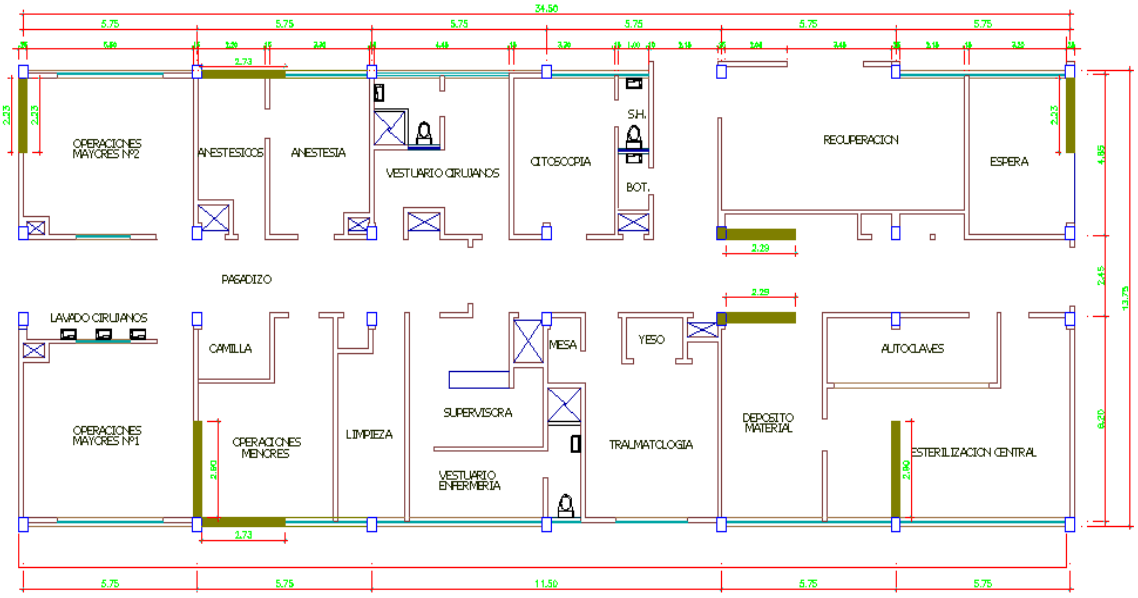


Fuente: Elaboración propia

Para la selección de la ubicación de los lugares donde serán insertados estos elementos se usaron varios criterios entre ellos aquel que permita la menor alteración de la distribución en planta y por ende que afecte la funcionabilidad.

Otro factor a considerar y que permitió descartar varias posibles ubicaciones fue la observación de la posible zona aledaña de inserción del elemento, ya que en algunos casos existían interferencias que hubieran ocasionado incrementar el tamaño de la intervención involucrando líneas vitales existentes.

Figura 4.8
Ubicación de los muros insertados



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9
Distorsiones obtenidas del análisis estructural - Alt. 2

NIVEL	Sismo de 0.4g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00061	0.00300	0.007
Segundo nivel	0.00047	0.00116	0.007
Tercer nivel	0.00039	0.00085	0.007
Cuarto nivel	0.00019	0.00042	0.007

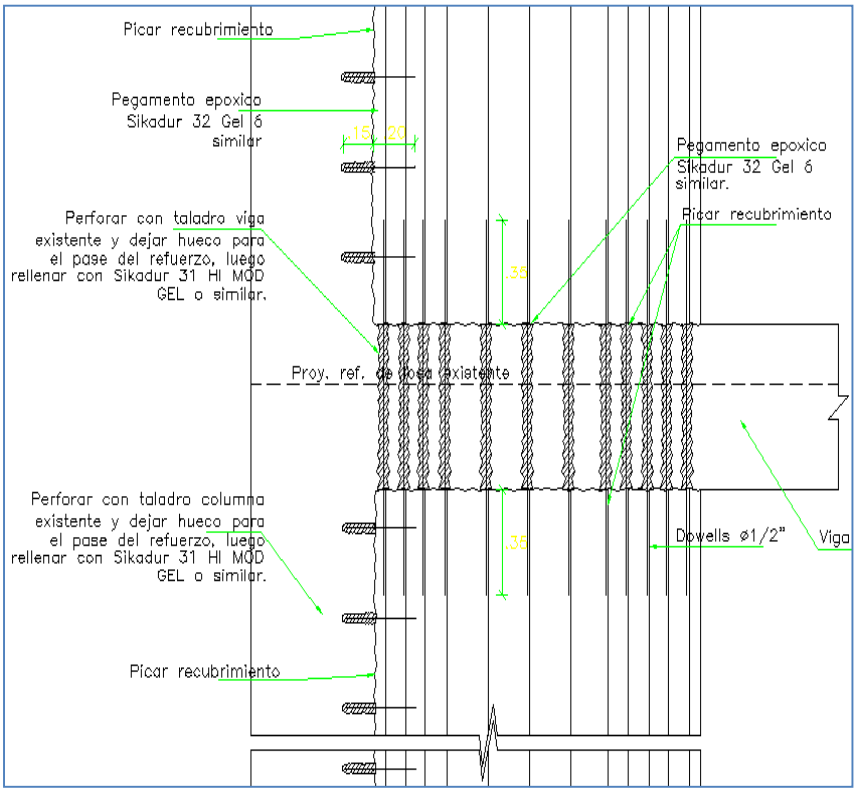
NIVEL	Sismo de 0.5g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00086	0.00421	0.007
Segundo nivel	0.00066	0.00164	0.007
Tercer nivel	0.00054	0.00120	0.007
Cuarto nivel	0.00026	0.00060	0.007

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cuadro anterior muestran que con la inserción de muros de cortante mostrados en la figura 4.7, en las ubicaciones mostradas en la figura 4.8, se logra controlar las distorsiones manteniéndolas por debajo del límite establecido por la norma E030 incluso para un sismo de 0.5 g.

Uno de sus principales inconvenientes es que durante la ejecución se presentarían dificultades al construir la conexión entre el elemento adicionado y el existente, además los costos de la intervención son normalmente altos.

Figura 4.10
Detalle del anclaje del muro insertado con el elemento existente



Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Alternativa 3: Adición de contrafuertes

A diferencia de las alternativas anteriores, la colocación de los insertos es perpendicular a la cara del edificio. Además de aportar rigidez, son útiles para tomar el momento de vuelco en edificios esbeltos. El Hospital de Cardiología del Instituto Mexicano de Seguridad Social cuenta con este tipo de refuerzo.

Figura 4.11
Hospital de Cardiología del Instituto Mexicano del Seguro Social reforzado con contrafuertes luego del sismo de México 1985

Fuente: OPS/OMS - C. Osorio

La propuesta para reforzar el pabellón “I” del Hospital Nacional Cayetano Heredia plantea ensanchar las columnas exteriores formando placas de dimensiones que

permitan otorgar la rigidez necesaria a la edificación, la figura 4.12 permite observar la ubicación de estos elementos insertados.

En nuestro caso en particular, la existencia de un estacionamiento contiguo a la edificación proporciona el espacio necesario que permitirá facilitar las labores constructivas, las mismas que involucran especialmente la intervención de las cimentaciones.

Figura 4.12
La vista muestra la ubicación de los contrafuertes en el pabellón "I" del HNCH

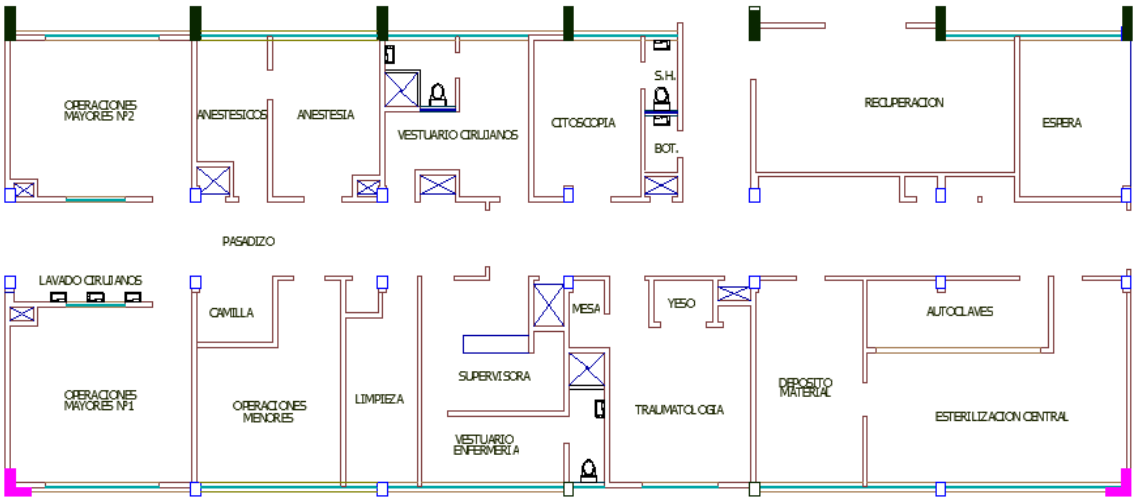
Fuente: Elaboración propia

Esta alternativa es la que modifica de manera algo agresiva la fachada de la edificación, pero permite que la mayor parte de los trabajos sean en la parte externa de la edificación minimizando la intervención en el interior y reduciendo la complejidad de las actividades. Nótese también en la figura anterior, que inclusive la inserción de los contrafuertes permitirá ocultar la existencia de ductos de ventilación.

Si el carácter estético de alguna edificación fuere determinante, podría incluso adoptarse como posibilidad el desarrollo de un tratamiento arquitectónico de fachada, puede usarse para tal caso varias técnicas usuales en nuestro medio como la inserción de elementos del tipo pantalla (vidrio, aluminio, etc.), la ejecución de enchapes decorativos o pintura artística en las placas.

Figura 4.13

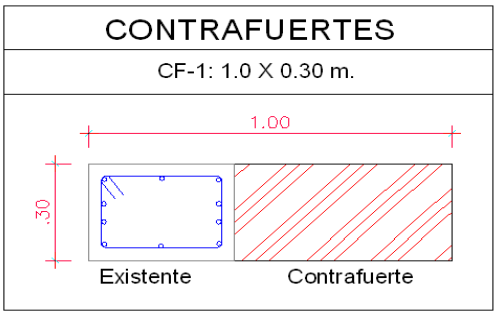
Planta de ubicación de los elementos insertados en el pabellón "I"



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura siguiente se muestra el detalle del elemento insertado para formar los contrafuertes de refuerzo. La intervención en el resto de columnas consistirá en mejorar el refuerzo por cortante y el confinamiento del núcleo, además en el eje 5-5 se pretende construir la viga de concreto armado para garantizar la continuidad estructural del sistema.

Figura 4.14
Planta de ubicación de los elementos insertados en el pabellón "I"



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15
Distorsiones obtenidas del análisis estructural - Alt. 3

NIVEL	Sismo de 0.4g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00378	0.00434	0.007
Segundo nivel	0.00289	0.00159	0.007
Tercer nivel	0.00239	0.00120	0.007
Cuarto nivel	0.00117	0.00061	0.007

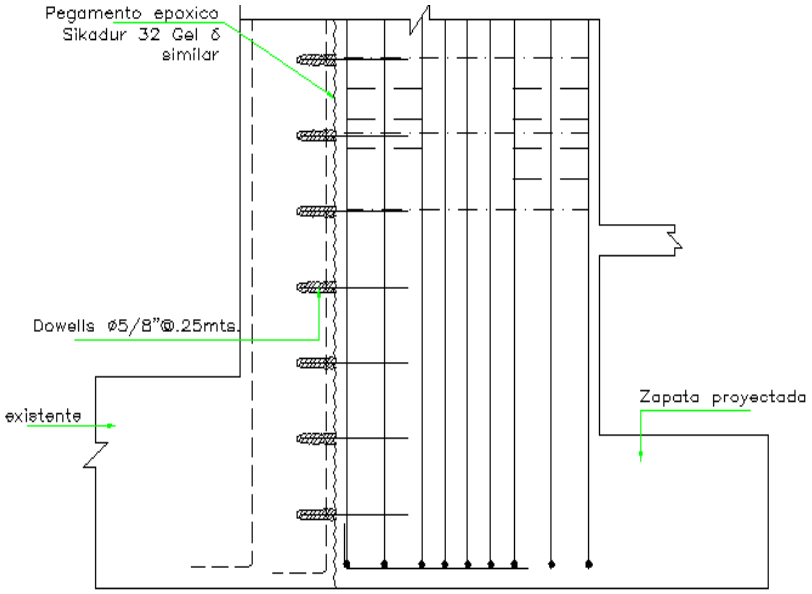
NIVEL	Sismo de 0.5g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00530	0.00609	0.007
Segundo nivel	0.00404	0.00224	0.007
Tercer nivel	0.00333	0.00169	0.007
Cuarto nivel	0.00163	0.00087	0.007

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cuadro anterior muestran que con la inserción de los contrafuertes mostrados en la figura 4.14 en las ubicaciones mostradas en la figura 4.13, se logra controlar las distorsiones manteniéndolas por debajo del límite establecido por la norma E030 incluso para un sismo de 0.5 g.

La principal ventaja es que durante la ejecución se presentarían muchas facilidades para construir la conexión entre el elemento adicionado y el existente, lo cual además permite que los costos de la intervención se reduzcan.

Figura 4.16
Detalle de anclaje del contrafuerte a la columna existente



Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Alternativa 4: Adición de muros, elementos metálicos y FRP

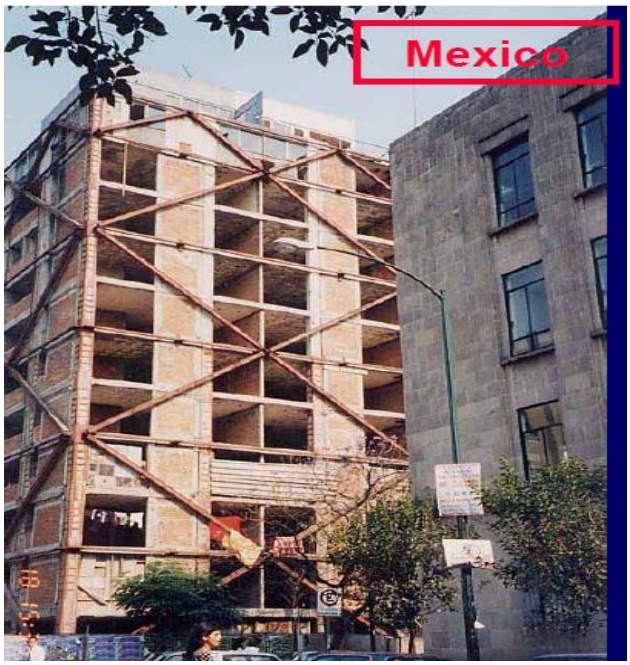
Una alternativa tecnológica para reforzar edificios existentes, la constituye aquella que involucra el uso masivo de materiales poco usuales en nuestro medio, como la inserción exterior de arriostres metálicos o el encamisado con FRP.

Figura 4.17
Reforzamiento de un edificio con elementos metálicos en Japón

Fuente: Seismic evaluation and rehabilitation in Japan - Y. Nakano

Figura 4.18

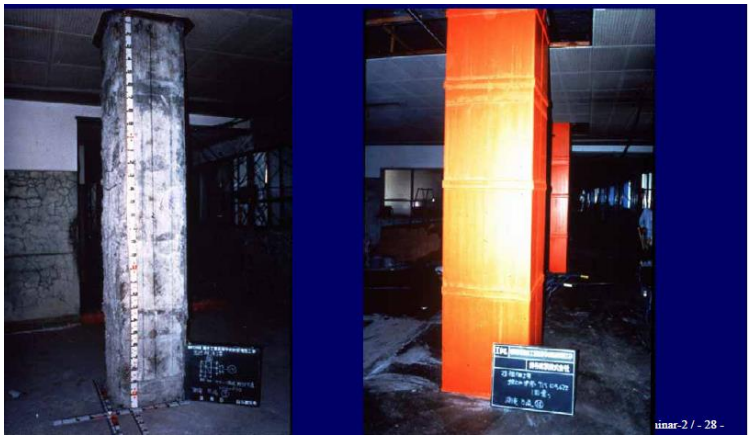
Reforzamiento de un edificio con elementos metálicos en México



Fuente: Seismic evaluation and rehabilitation in Japan - Y. Nakano

La técnica de encamisado de elementos con materiales poliméricas reforzado con fibras FRP, permite incrementar la ductilidad del mismo permitiendo mejorar su desempeño ante solicitaciones sísmicas severas que obliguen a la edificación a comportarse fuera del rango elástico.

Figura 4.18
Reforzamiento de un edificio con elementos metálicos en México

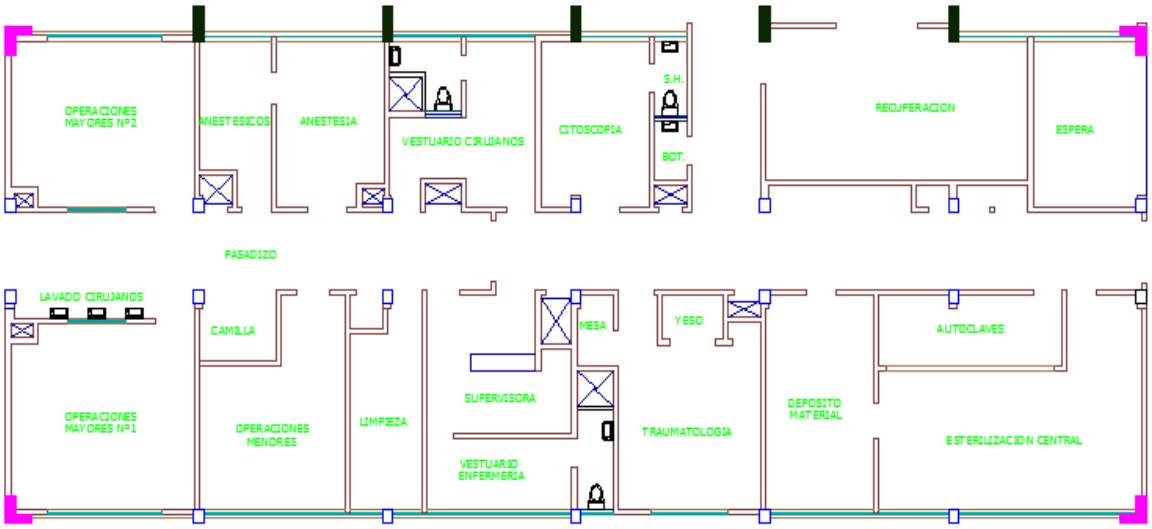


Fuente: Seismic evaluation and rehabilitation in Japan - Y. Nakano

Para la edificación en análisis, se ha planteado esta alternativa utilizando algunas de las características de las propuestas anteriores como la intervención de las columnas exteriores de esquina y el uso de algunos contrafuertes, ubicándolos de manera tal que la mayor intervención sea en la parte externa del edificio donde hay mayores facilidades para el trabajo. Definidas las columnas de borde, se procede a colocar elementos metálicos que confinen la edificación, tal como se muestra en las figuras 4.17 y 4.18.

En el resto de columnas la intervención consistirá en mejorar el refuerzo por cortante y el confinamiento del núcleo utilizando materiales poliméricos con fibras FRP. En el eje 5-5 se pretende reforzar la viga existente con la inserción por debajo de una viga metálica con perfiles H con la finalidad de corregir la deficiencia en esta zona débil.

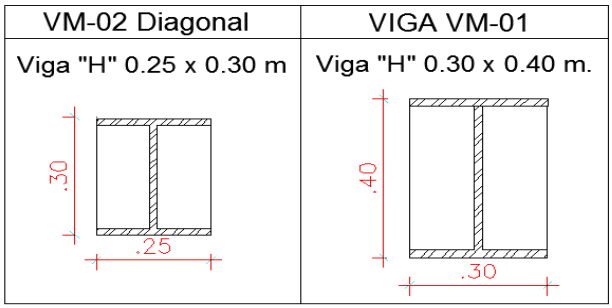
Figura 4.19
Planta de ubicación de los elementos insertados en el pabellón "I"



Fuente: Elaboración propia

La figura siguiente muestra el detalle de los elementos metálicos insertados en la estructura, en primer lugar el elemento VM-01 que corresponde a la viga de perfil H que será insertada en el eje 5-5 para corregir la debilidad en dicha zona, dicho elemento será anclado en las columnas existentes y arriostrado a la viga existente por medio de dowells perforados; en segundo lugar el elemento VM-02 que corresponde a las diagonales que serán insertadas entre marcos existentes para confinar la edificación y reducir la deriva lateral incrementando además la ductilidad global.

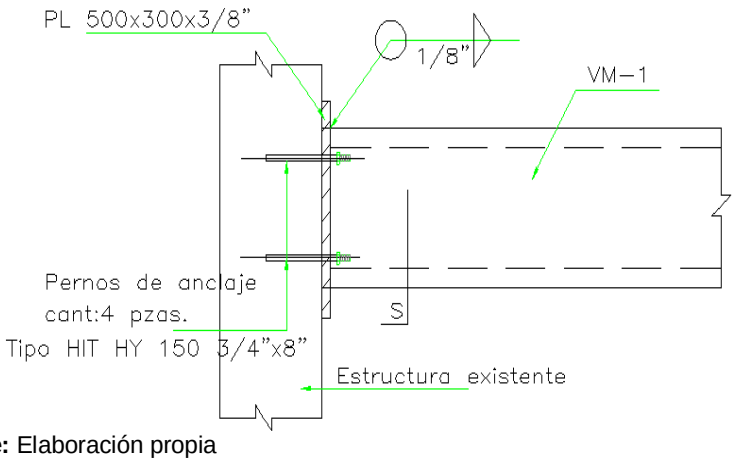
Figura 4.20
Detalle de los elementos metálicos insertados



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un detalle típico del anclaje del elemento metálico en la columna existente, será necesario el uso de equipo para practicar las perforaciones, así como de pegamentos epóxicos para el correcto anclaje. El uso de estos elementos prefabricados permite que los plazos de ejecución se reduzcan y el impacto en la zona de ejecución sea minimizado, asimismo reduce de manera considerable la necesidad de efectuar demoliciones de la tabiquería existente y de intervenir masivamente las cimentaciones de los elementos trabajados.

Figura 4.21
Detalle del anclaje de los elementos metálicos en marcos existentes



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra los resultados obtenidos con la inserción de los elementos metálicos mostrados en la figura 4.20 en las ubicaciones mostradas en la figura 4.19, puede notarse que se logra controlar las distorsiones de entrepiso manteniéndolas por debajo del límite establecido por la norma E030 incluso para un sismo de 0.5 g.

Figura 4.22
Distorsiones obtenidas del análisis estructural - Alt. 4

NIVEL	Sismo de 0.4g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00257	0.00299	0.007
Segundo nivel	0.00207	0.00117	0.007
Tercer nivel	0.00172	0.00088	0.007
Cuarto nivel	0.00084	0.00045	0.007

NIVEL	Sismo de 0.5g		Límite según E030
	Distorsiòn X	Distorsiòn Y	
Primer nivel	0.00361	0.00420	0.007
Segundo nivel	0.00290	0.00165	0.007
Tercer nivel	0.00238	0.00124	0.007
Cuarto nivel	0.00117	0.00064	0.007

Fuente: Elaboración propia

5.3 Descripción de la alternativa seleccionada.

5.3.1 Selección de alternativas

Los ítems anteriores mostraron los resultados de los análisis estructurales de las cuatro alternativas de reforzamiento propuestos para la edificación modelo correspondiente al pabellón "I" del Hospital Nacional Cayetano Heredia, con las características establecidas para cada caso, pudo resolverse el problema de exceso de deriva lateral y distorsión de entrepiso que presenta la edificación existente; sin embargo debe seleccionarse la alternativa más conveniente para el caso en particular; para lo cual se han tomado los siguiente criterios:

- Costo de la intervención.
- Plazo de ejecución.
- Complejidad en la ejecución.
- Interferencia con el funcionamiento de áreas aledañas.
- Impacto arquitectónico.
- Impacto ambiental.

Figura 4.23
Selección de la alternativa de reforzamiento más conveniente

Criterio de selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Costo de la intervención	Medio	Alto	Medio	Alto
Plazo de ejecución.	Alto	Alto	Medio	Bajo
Complejidad en la ejecución	Alta	Alta	Media	Media
Interferencia con el funcionamiento de áreas aledañas.	Alta	Alta	Baja	Baja
Impacto arquitectónico.	Baja	Baja	Media	Alta
Impacto ambiental.	Media	Media	Baja	Media

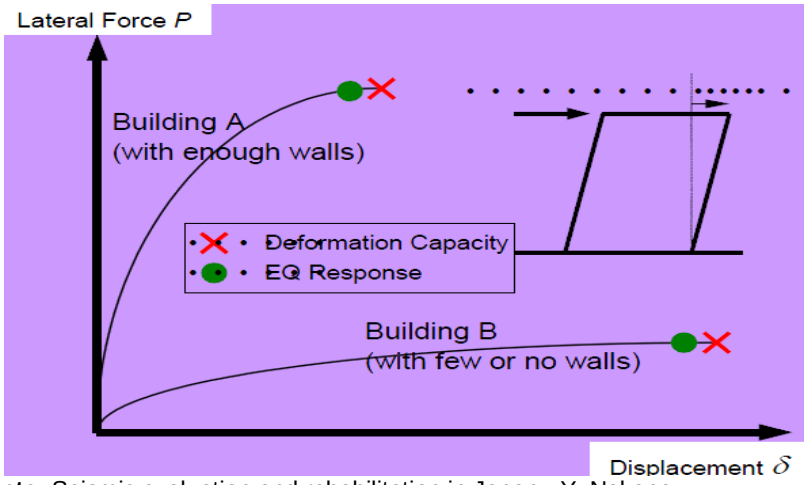
Fuente: Elaboración propia

5.3.1 Características de la alternativa seleccionada

Para el caso en que se detecten fallas en las losas aligeradas de los techos, la propuesta para corregir la deficiencia será la de incorporar vigas metálicas para reducir la luz libre de la losa, de ser necesario la solución más practica será la de incorporar placas colaborantes metálicas.

5.4 Evaluación del desempeño del edificio reforzado

Figura 4.24
Desempeño esperado de la edificación reforzada



Fuente: Seismic evaluation and rehabilitation in Japan - Y. Nakano

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

8.1 Bibliografía

- Arrieta J., et al. MEMORIAS: CURSO INTERNACIONAL DE DISEÑO Y REPARACION DE HOSPITALES EN ZONAS SISMICAS. CISMID. Lima. 1997
- Grases, J. PRINCIPIOS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL EN ZONAS SISMICAS; Organización Panamericana de la Salud. 2001
- Jurado J. y Navarro, L. REDUCCION DE LA VULNERABILIDAD EN EDIFICACIONES ECOLARES. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2009.
- Calagua, F. ESTUDIO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO EDUCATIVO FERMEIN TANGUIS. Pontificia Universidad Católica del Perú. 1999.
- Aplied Technology Council, EVALUATION OF EARTHQUAKE DAMAGED CONCRETE AND MASONRY WALL BUILDINGS FEMA 306. Federal Emergency Management Agency. 1998.
- Federal Emergency Management Agency, INCREMENTAL SEISMIC REHABILITATION OF HOSPITAL BUILDINGS. FEMA 396. 2003.
- Federal Emergency Management Agency, GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS. FEMA 273. 1997.
- Holmes, William. STATE OF ART ON STRUCTURAL REHABILITATION. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. 2004
- Arancibia, Fernando EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO NO-LINEAL PARA DETERMINAR LA DEMANDA SÍSMICA EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO. Ingeniería Sísmica y la Construcción Civil. 2010.
- Rendon, J. y Zambrano, J. REFUERZO DE ESTRUCTURAS FRENTE A SISMO, Bogotá. 2004.
- Alcocer, S. et al. EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO. American Concrete Institute. Lima 1993.

8.2 Links de sitios webs consultados

http://www.igp.gob.pe/sismologia/servicios/biblioteca_cndg/compendio/rev99_pdf/cndg_op.PDF

http://www.minsa.gob.pe/portal/ogcminsa/prensa-enlhospitales.asp

http://www.ticomperu.com/hospitales.php

http://www.essalud.gob.pe/centroasis.php

http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v26n2/a23v26n2.pdf

http://www.capeco.org/Downloads/RevistaCeI/2010/indices/rcei0110_30.pdf

http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc572/doc572_contenido.pdf

http://ingenieriasismicaylaconstruccioncivil.blogspot.com/2010/02/evaluacion-de-los-metodos-de-analisis.html

http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/aislacion.html