

*Todo esfuerzo que se realiza por
grande que este parezca es
insignificante si se logra que
las estructuras sean más seguras.*

*Roberto Aguiar Falconí
"Grandes sismos a nivel mundial
registrados en 1999".*

CAPÍTULO 6

EL HOSPITAL DEL TENA

RESUMEN

Se analiza el comportamiento que tuvo el Hospital "José María Velasco Ibarra" de la ciudad del Tena, durante el sismo del 2 de octubre de 1995. Luego se presenta la filosofía de diseño de hospitales de acuerdo al SEAOC-95 y finalmente se indican los aspectos más importantes del reforzamiento estructural realizado en el Hospital del Tena.

En el reforzamiento realizado se indica el desempeño estructural para los sismos denominados *raro* y *muy raro* por la guía NEHRP y VISION 2000. El desempeño esperado se presenta en la curva de capacidad resistente.

A manera de ejemplo, se indica la secuencia de los lugares que van a ingresar al rango no lineal, en un pórtico del hospital, cuando la estructura se encuentre sometida al sismo denominado *muy raro*. Se muestra la reserva de ductilidad por curvatura que tiene cada una de las secciones que ingresan al rango no lineal.

Se destaca, la importancia de cuantificar el comportamiento no lineal de la estructura, no es suficiente saber que sitios van a sufrir daño sino el grado de daño. Por otra parte, es fundamental conocer cual es el grado de resistencia de las estructuras, saber cual es la reserva de energía sísmica que ella tiene. Toda esta información se la obtiene de la curva de capacidad resistente.

6.1 EFECTOS DEL SISMO DEL 2 DE OCTUBRE DE 1995 EN EL TENA

El principal daño del sismo del 2 de octubre de 1995, se registró en el Hospital José María Velasco Ibarra de la ciudad del Tena. En efecto, algunas viviendas y edificios públicos de la ciudad únicamente presentaban rajaduras a nivel de mampostería, rajaduras que en la mayor parte de los casos se daban en un lado de la pared con un espesor aproximado de 1 mm. Estas rajaduras no llegaban a pasar el ancho de la pared, es más la mayor parte de ellas eran a nivel de enlucido.

Existen edificaciones que no son sismo resistentes en la ciudad del Tena, que tuvieron ligero daño a nivel de mampostería, como el descrito en el párrafo anterior, a pesar de la falta de mantenimiento de su estructura. Una de ellas es la Dirección de Educación, que en octubre de 1995, estaba siendo remodelada, en esas condiciones sintió el sismo esta edificación irregular en planta y elevación cuyas losas en varios lugares dejaban ver la armadura longitudinal, la misma que estaba oxidada, a pesar de todo ello el daño fue ligero en la Dirección de Educación a nivel de mampostería.

Una de las causas, para que el Hospital del Tena haya tenido el mayor daño fue el hecho de que este hospital se halla cimentado en un suelo blando. En consecuencia hubo amplificación de las ondas sísmicas.

6.2 DAÑO REGISTRADO EN HOSPITAL DEL TENA

El sismo del 2 de octubre de 1995, no afectó a la estructura del Hospital José María Velasco Ibarra, de la ciudad del Tena pero *si afectó a los elementos no estructurales, concretamente la mampostería de los primeros pisos tuvo daño*. Lamentablemente a los cuatro años del sismo todavía se aprecian las fisuras dejadas en las paredes del hospital, especialmente a nivel de fachadas. A los cuatro años, únicamente se repararon las fisuras de las paredes interiores del Hospital.

6.2.1 Daño en Mampostería exterior

Es importante destacar que este hospital fue afectado por el sismo de Baeza del 5 de Marzo de 1987, de tal forma que la estructura quedó sentida, con este nuevo sismo volvió a dañarse más que en el sismo de 1987. En la figura 6.1, se indica la fachada principal del hospital del Tena, se aprecia además la grada de emergencia, que es una estructura de acero, que en 1999 presenta una gran corrosión. En la figura 6.1 se aprecia el daño en la mampostería de los dos pisos inferiores.

Durante el sismo de octubre de 1995, la fachada lateral izquierda a nivel del corredor fue afectado en las paredes del segundo y tercer piso. *El daño de las paredes de este sector se ha incrementado como resultado de los temblores de pequeña intensidad que se han sentido en el Hospital desde 1995.*



Figura 6.1 Fachada principal del Hospital del Tena, luego del sismo de 1995. Se aprecia daño en la mampostería en los dos pisos inferiores.

6.2.2 Estructura en planta y elevación

En la figura 6.2 se describe la geometría en planta, de los bloques estructurales del Hospital del Tena. Se aprecia que los bloques uno y dos son simétricos en forma de “L”; el bloque tres tiene una forma de “T” y el bloque cuatro es rectangular.

Es conocido que los edificios en formas de “L” y “T” son muy vulnerables a las acciones sísmicas, la porción del ala a menudo sufren gran daño ante la acción de un sismo severo. Por otra parte, la estructura es irregular en elevación como se observa en la figura 6.3, la forma en “T” del bloque 3 se mantiene en los cuatro primeros pisos y en el quinto se convierte en forma rectangular.

6.2.3 Golpeteo de los diferentes bloques estructurales

Los bloques estructurales del Hospital del Tena, tienen juntas de construcción muy pequeñas, menores a los 5 cm, de tal manera que cuando vibran con un sismo, chocan entre sí, debido a que los diferentes bloques estructurales tienen diferentes propiedades dinámicas. La estructura en forma de “T”, es la más alta y tiene mayores desplazamientos laterales que la estructura en forma de “L”, produciéndose el choque de los volúmenes de construcción que están adyacentes.

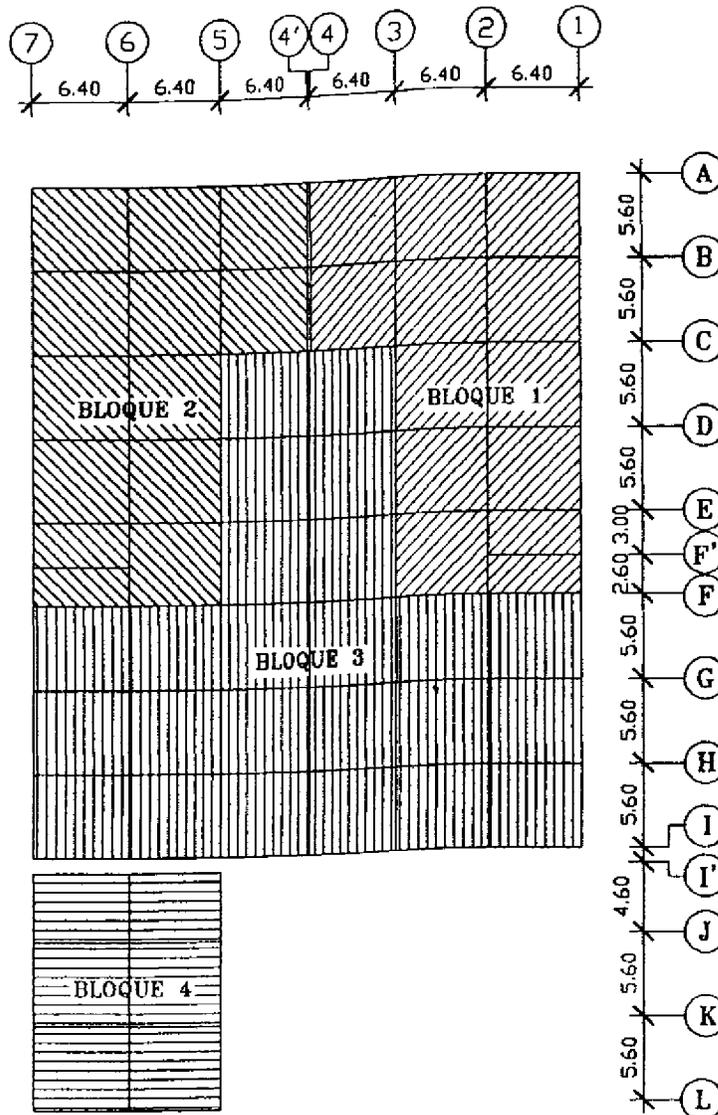


Figura 6.2 Configuración en planta del hospital José María Velasco Ibarra de la ciudad del Tena.

Durante el sismo de 1995, se registró daño en la unión de las juntas de construcción de los bloques en forma de "T" y "L" a nivel de fachadas.

6.2.4 Daño en Mampostería interior

Internamente, en el primer piso se presentaron fisuras diagonales en las paredes, en los dos sentidos, en forma de una cruz inclinada. Esto se presentó por ejemplo en el área de Neonatología. La causa fundamental del mal comportamiento de la mampostería es debido a que se construyen grandes áreas de mampostería sin confinamiento con elementos de hormigón armado. Es fundamental que se construyan columnetas y viguetas para confinar la mampostería.

En la reconstrucción del edificio Salango, ubicado en Bahía de Caráquez, cuyas paredes fueron afectadas por el sismo del 4 de agosto de 1998 la mam-

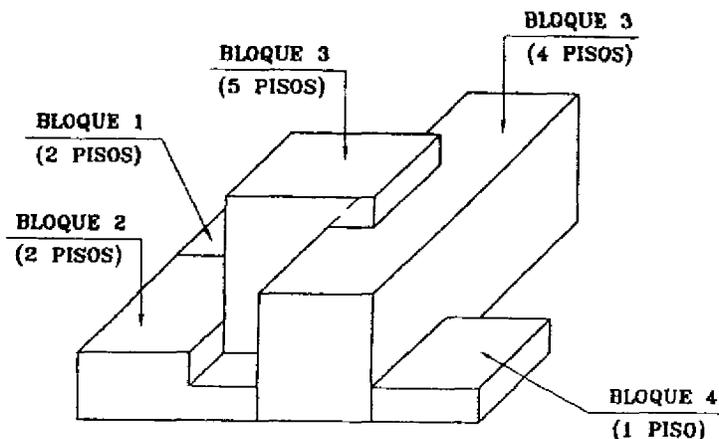


Figura 6.3 Configuración en elevación del hospital

postería ha sido reconstruida con viguetas que van a la altura, de la mitad del entrepiso el mismo que tiene una altura de alrededor de los 3.0 m. *En otras palabras, aproximadamente a 1.50 m. de altura de piso se han construido vigas de hormigón armado que se denominan viguetas.* A más de esto se han construido columnetas que no están muy separadas unas de otras de tal forma que se tienen áreas muy pequeñas de mampostería confinadas. Esto se ha realizado en un edificio destinado a vivienda, con mayor razón debe realizarse en un Hospital. Se destaca además que el edificio Salango fue reforzado mediante un encamisado de todas las columnas y la creación de muros de corte.

De acuerdo a referencia (1), la mampostería del Hospital José María Velasco Ibarra, de la ciudad del Tena es de mala calidad, su resistencia promedio está entre 20 y 40 kg/cm². Por lo tanto, se tienen paredes de mala calidad y que no están confinadas.

Por otra parte, se debe indicar que durante el sismo del 2 de octubre de 1995, el fluido eléctrico se suspendió en el Hospital al igual que el uso del ascensor por desperfectos mecánicos. Hubo rotura de vidrios y el desprendimiento del cielo raso falso. Es fundamental contar con una estructura más rígida para que esto no suceda toda vez que causan inconvenientes en el normal desarrollo de las actividades de un Hospital.

6.3 ESTIMACIÓN DE LA ACELERACIÓN EN EL TENA

Para estimar la aceleración máxima en roca, en la ciudad del Tena por efecto del sismo del 2 de octubre de 1995, se procedió en forma similar a la indicada en el capítulo uno, para encontrar la aceleración en la ciudad de Macas.

La intensidad estimada, en la escala de Mercalli, para la ciudad del Tena es VI y la distancia epicentral está cerca de los 190 Km. *En base a estos datos*

se encuentra que la aceleración máxima del suelo en roca, en la ciudad del Tena es 0.06 g.

6.4 COMPORTAMIENTO DEL HOSPITAL DURANTE EL SISMO

El comportamiento del Hospital José María Velasco Ibarra, de la ciudad del Tena, no fue el adecuado durante el sismo del 2 de octubre de 1995. Para un sismo cuya aceleración máxima en roca es 0.06 g no debió haber existido ningún daño en los elementos no estructurales. El daño se produjo debido a las siguientes causas:

- Mala estructuración en planta y elevación.
- Mala calidad de los materiales empleados en la mampostería.
- Existencia de grandes áreas de mampostería sin elementos confinantes.
- Ya fue afectado por el sismo de 1987, sin que se haya realizado una reparación adecuada.

6.5 ACCIONES SÍSMICAS PARA EL REFORZAMIENTO DEL HOSPITAL DEL TENA

En el capítulo tres se indicó los sismos de análisis de acuerdo al SEAOC 1995 y al ATC-33. Se definieron cuatro sismos de análisis denominados: frecuente, ocasional, raro y muy raro. La peligrosidad sísmica de cada uno de estos eventos está en función de la vida útil de la estructura y de la probabilidad de excedencia de los movimientos del suelo.

6.5.1 Peligrosidad sísmica del Tena

Del estudio de Peligrosidad Sísmica⁽²⁻⁴⁾ realizado para la ciudad del Tena, se ha encontrado que los parámetros β y k , que definen la distribución de valores extremos tipo II, son 3.83 y 0.023981, respectivamente.

$$F(A) = e^{-(kA_{max})^{-\beta}} \quad (6.1)$$

siendo $F(A)$ la probabilidad de no excedencia de la aceleración máxima A_{max} , en un año. Ahora para el caso de una vida útil t , la ecuación (6.1) se transforma en la ecuación (6.2), donde se ha despejado la aceleración máxima del suelo en roca.

$$A_{max} = \frac{[-\ln F(A)]^{-\frac{1}{\beta}}}{k} t^{\frac{1}{\beta}} \quad (6.2)$$

Al reemplazar los valores de k y β indicados, en la ecuación (6.2) y al sustituir los diferentes valores de vida útil y probabilidad de excedencia indicados en el capítulo tres, se obtienen las aceleraciones máximas del suelo en roca

para cada uno de los cuatro sismos. Los valores encontrados se indican en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Aceleración máxima del suelo en roca para la ciudad del Tena.

SISMO	ACELERACIÓN
Frecuente	0.114 g
Ocasional	0.130 g
Raro	0.213 g
Muy raro	0.255 g

La aceleración máxima del suelo en roca, estimada en el hospital José María Velasco Ibarra, fue de 0.06 g, cantidad menor a la que se espera con el sismo frecuente y causó un daño considerable en la mampostería, lo que no debía suceder, razón por la cual se procedió a realizar los estudios para reforzar la estructura.

6.5.1 Espectro elástico considerado

En base a la forma espectral de la Normativa de Colombia NSR-98⁽⁵⁾ se obtuvo para el Ecuador la forma del espectro de diseño elástico⁽⁶⁾, considerando los registros de los sismos del 7 de noviembre de 1981 y del 3 de marzo de 1985^(7,8) registrados en Chile. Es decir se consideró como hipótesis de cálculo la probabilidad de que sismos de estas características se presenten en el Ecuador. Con estas consideraciones la forma del espectro elástico considerado para el reforzamiento del Hospital del Tena, es la indicada en la figura 6.4.

$$T < T_0 \quad A_d = \alpha A_0 (1.0 + 5.0T) \quad (6.3)$$

$$T_0 < T < T^* \quad A_d = 2.5\alpha A_0 \quad (6.4)$$

$$T^* < T < T^+ \quad A_d = \frac{1.2\alpha A_0 S}{T} \quad (6.5)$$

$$T > T^+ \quad A_d = \frac{\alpha A_0}{2} \quad (6.6)$$

El coeficiente de amplificación por efecto del suelo, se indica en la tabla 6.2. Los valores de T^* , y T^+ vienen definidos por la ecuación (6.7). Se destaca que el valor de T^* es diferente con relación al indicado en la normativa colombiana⁽⁵⁾.

$$T^* = 0.54S \quad T^+ = 2.4S \quad (6.7)$$

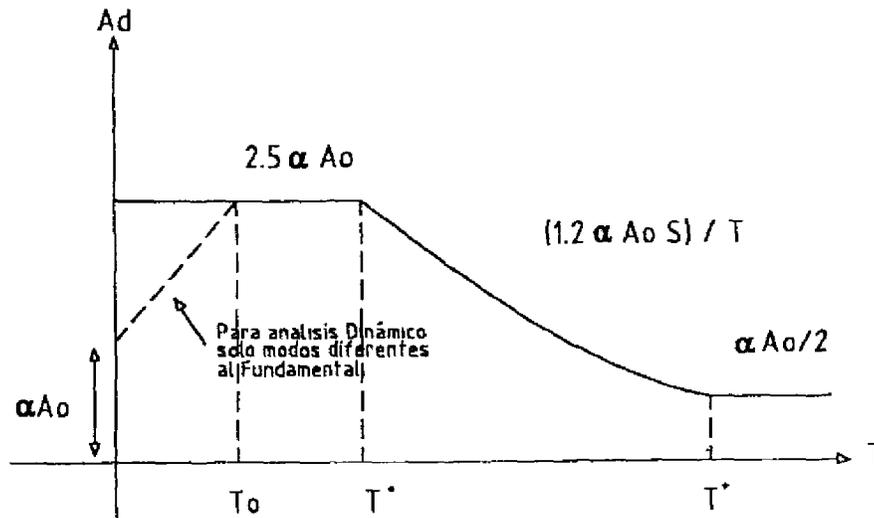


Figura 6.4 Espectro elástico de diseño considerado para el Ecuador⁽⁶⁾. Para un coeficiente de amortiguamiento del 5%

Tabla 6.2 Valores del coeficiente de sitio S.

SUELO TIPO	S
S1 (Duro)	1.0
S2 (Semiduro)	1.2
S3 (Blando)	1.5
S4 (Muy blando)	2.0

El coeficiente de importancia α de la normativa colombiana⁽⁵⁾, varía entre 1.0 y 1.3 de acuerdo al uso de la estructura. En la tabla 6.3 se indican estos valores

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de importancia α .

EDIFICACIONES	α
IV (Indispensables)	1.3
III (Atención comunidad)	1.2
II (Ocupación especial)	1.1
I (Ocupación normal)	1.0

Los hospitales en la normativa colombiana son edificaciones indispensables. En consecuencia, el valor de α que debe considerarse de acuerdo a esta normativa es de 1.3 Si se multiplica este valor por el valor de A_0 correspondiente

a la aceleración máxima del suelo debido al sismo raro, se obtiene la aceleración máxima del suelo debido a un sismo muy raro.

En base al caso práctico desarrollado y cuyos resultados se indican en la tabla 6.1, el valor de $\alpha = 1.3$ es alto, suficiente es considerar $\alpha = 1.25$ para las edificaciones indispensables como es el caso de los hospitales.

Para el caso del sismo frecuente y ocasional, se utilizará el espectro de diseño elástico. En cambio para el caso del sismo raro y muy raro se debe emplear un espectro de diseño inelástico. Se destaca que la demanda de ductilidad para el sismo raro es menor que la demanda de ductilidad para el sismo muy raro.

6.6 NIVELES DE COMPLEJIDAD DE ATENCIÓN MÉDICA

La atención médica del Ecuador está a cargo del Ministerio de Salud, de las Fuerzas Armadas y Policía y del sector privado, fundamentalmente. El Ministerio de Salud cuenta con hospitales, centros y subcentros. Las Fuerzas Armadas y Policía, con hospitales y dispensarios. Finalmente, a cargo del sector privado se tienen hospitales, clínicas y centros. En base a la atención que estos dan a la comunidad, se acostumbra clasificarlos en tres niveles, que son:

- Nivel I, dan atención médica básica, de poca complejidad. comparados con la atención médica que dan los de los niveles II y III. Aquí se encuentran los centros, subcentros y dispensarios médicos.
- Nivel II, prestan servicios más especializados que el nivel I, como hospitales en los cuales se pueden atender ciertos tipos de problemas quirúrgicos pero no tienen los equipos adecuados para intervenciones muy complejas. Por ejemplo, el Hospital del Tena, que tiene una capacidad de 120 camas puede considerarse en este nivel.
- Nivel III, las instalaciones hospitalarias de este nivel cuentan con una infraestructura y equipos que les permite afrontar en forma eficiente cirugías de alto riesgo. Por ejemplo, en Quito el Hospital Metropolitano, el Hospital de las Fuerzas Armadas, pertenecen a este nivel, entre otros hospitales que existen en la ciudad.

La Normativa Colombiana⁽⁵⁾, considera como edificaciones indispensables a los hospitales de niveles de complejidad 2 y 3 y centrales de operación y líneas vitales.

6.7 FILOSOFÍA DE DISEÑO DE HOSPITALES

En el capítulo cuatro, se presentó la filosofía de diseño de acuerdo a las publicaciones VISION 2000 y NEHRP, en forma general, razón por la cual en el presente apartado se indica en forma detallada la filosofía de diseño sísmico de hospitales y para ver las diferencias que se tiene con el diseño de edificios en general, en la tabla 6.4 se presentan los comportamientos esperados por estos dos tipos de edificaciones.

Tabla 6.4 Nivel de diseño y acción sísmica para Hospitales y Edificios en general.

ACCIÓN SÍSMICA	NIVEL DE DISEÑO PARA HOSPITALES	NIVEL DE DISEÑO EDIFICIOS EN GENERAL
FRECUENTE 30 años y 50%	Totalmente Operacional	Totalmente Operacional
OCASIONAL 50 años y 50%	Totalmente Operacional	Operacional
RARO 50 años y 10%	Operacional	Protección de la vida
MUY RARO 100 años y 10%	Protección de la vida	Protección del colapso

En la tabla 6.4 se aprecia que el daño que se espera en un hospital es mucho menor que el daño que se espera en una edificación destinada a vivienda u oficinas. En ningún caso se espera que un hospital se encuentre cerca del colapso; para un sismo calculado para una vida útil de 100 años y con una probabilidad de excedencia del 10%, que es un sismo muy raro el comportamiento del hospital esperado es similar al de un edificio común pero sometido este a un sismo de 50 años de vida útil y 10% de probabilidad de excedencia. Los niveles de diseño, para edificaciones hospitalarias, definidos por el ATC-33⁽⁹⁾ se indican a continuación.

- **Totalmente operacional:** La edificación trabaja en el rango elástico y no se esperan daños a nivel de elementos no estructurales. Los sistemas de abastecimiento y líneas vitales deben quedar en funcionamiento para ello es probable que se requieran equipos de emergencia para que el hospital opere normalmente. Se recomienda una inspección rigurosa de los sistemas eléctricos y mecánicos para garantizar de que todo está en perfectas condiciones luego del sismo.
- **Operacional:** Se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y la estructura resistente a sismo y carga vertical trabaja en el rango elástico es decir no hay daño. El daño en los elementos no estructurales es mínimo de forma tal que las puertas se pueden abrir, los ascensores funcionan lo propio con las luces de emergencia, alarmas contra incendio, escaleras de emergencia y de uso corriente, etc. Es probable que se vaya la luz, en la ciudad en ese caso será operacional el hospital si cuenta con una planta propia. Si se espera un daño mínimo en mampostería, es probable que exista rotura de vidrios y daños menores en lamparas. Lo importante es que el servicio hospitalario se puede re-instalar en forma inmediata aunque con ciertas restricciones, claro está

que deben hacerse una limpieza de los pequeños escombros que pueda existir para evitar accidentes al igual que se debe hacer una inspección de todos los sistemas que conforman el hospital, es probable que alguno de estos sistemas requiera una intervención menor, como una calibración, alineación o un daño que requiere mayor atención. Antes de volver a operar el hospital deben realizarse todos los correctivos que el caso ameriten aunque esto demande cierto tiempo. Lo fundamental es que la edificación se encuentra en condiciones de operar inmediatamente.

- **Protección de la vida** A este nivel de diseño también se conoce como *estado límite de diseño*, en el cual se espera daño en los elementos estructurales y no estructurales. Pero el daño que se espera en la estructura es de tal magnitud que es factible reparar la misma sin complicaciones. La estructura a este nivel tiene todavía una gran reserva de energía sísmica^(2,10-12), esta muy lejos del colapso si se trata de una estructura sísmo-resistente. El daño es considerable pero la estructura es segura, las rutas de evacuación permanecen operacionales aunque con limitaciones en su uso por el daño que existe en el entorno. Es probable que existan heridos en la edificación por efecto del sismo pero en ningún momento muertos. En este nivel de daño hay que pensar no únicamente en reparar la edificación sino en reforzarle es decir darle una mayor capacidad resistente, es probable que la reparación y reforzamiento sea más costoso que construir un nuevo hospital.
- **Protección del colapso:** La estructura se encuentra en una situación entre el estado límite de diseño, indicada en el párrafo anterior y el estado de fallo o colapso⁽²⁾ de la estructura. La estructura se encuentra entre estos dos límites con un daño muy considerable que lo más probable sea después derrocar la edificación. Es un peligro habitar en una estructura que ha llegado a este nivel de diseño porque puede colapsar con las réplicas que se presentan posterior al sismo o sino es así pueden caerse paredes o elementos que están a punto de desprenderse. Lo importante es destacar que la estructura no colapsa, en las referencias (2,13-14) se presentan varios criterios que sirven para definir el colapso de una edificación, algunos de ellos definen el colapso de una estructura en función del desplazamiento lateral máximo o de acuerdo a la ubicación de las articulaciones plásticas.

6.8 REFORZAMIENTO DEL HOSPITALES DEL TENA

El Hospital del Tena, tiene una área de construcción de 5017 m², con una capacidad de 200 camas y un nivel de complejidad de servicios del tipo 2. Se destaca que es el único hospital que existe en la región, razón por la cual para el reforzamiento se optó por una técnica que permita continuar con la operación del hospital mientras se realizan los trabajos de reforzamiento.

Por el sistema constructivo empleado, en el cual se aprecia que los diferentes bloques estructurales no tienen una independencia entre sí, se consideró que lo más conveniente es acoplarlos, para ello se van a encamisar las colum-

nas que estan ligeramente separadas por las juntas de construcción. Por otro lado, la resistencia extra que el hospital requiere, se la proporciona mediante la incorporación de muros de cortante. En la figura 6.5, se indica la ubicación en planta de los muros de corte que se han implementado en el reforzamiento estructural.

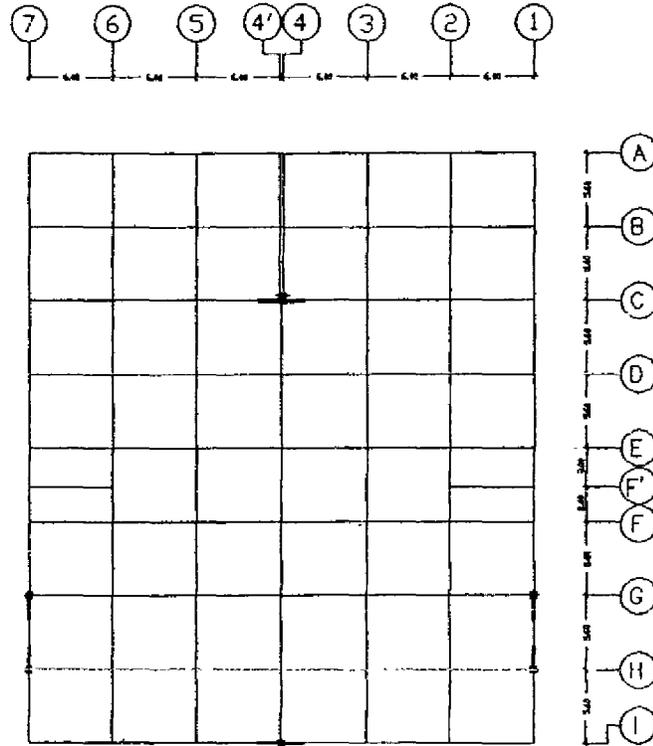


Figura 6.5 Descripción en planta de la geometría del hospital y la ubicación de los muros de corte implementados.

En los ejes I y C, se colocan dos muros de corte a cada lado de la columna, estos tienen una longitud de 1.50 m. y un ancho de 0.20 m. cada uno. A estos muros se denominan tipo 1. Por otra parte, en el sentido ortogonal, en los ejes 1 y 7 se han colocado otros muros que se denominan tipo 2.

En la figura 6.6, se presenta la curva de capacidad resistente del hospital sin y con el reforzamiento estructural obtenido, aplicando la técnica del pushover^(2,15), para el caso de que las fuerzas laterales actúan en el sentido cuyos pórticos están identificados por las letras del alfabeto.

La estructura sin reforzamiento está conformada por vigas y columnas, en cada uno de los ejes que se indican en la figura 6.5. En cambio, la estructura reforzada contempla la incorporación de los muros de corte que se detallan en la mencionada gráfica.

En la figura 6.6 se aprecia que los puntos notables del hospital con reforzamiento están bastante distantes del punto de fallo. *En consecuencia, el hospital reforzado está en capacidad de soportar un sismo más severo que el sismo raro sin tener un daño significativo.*

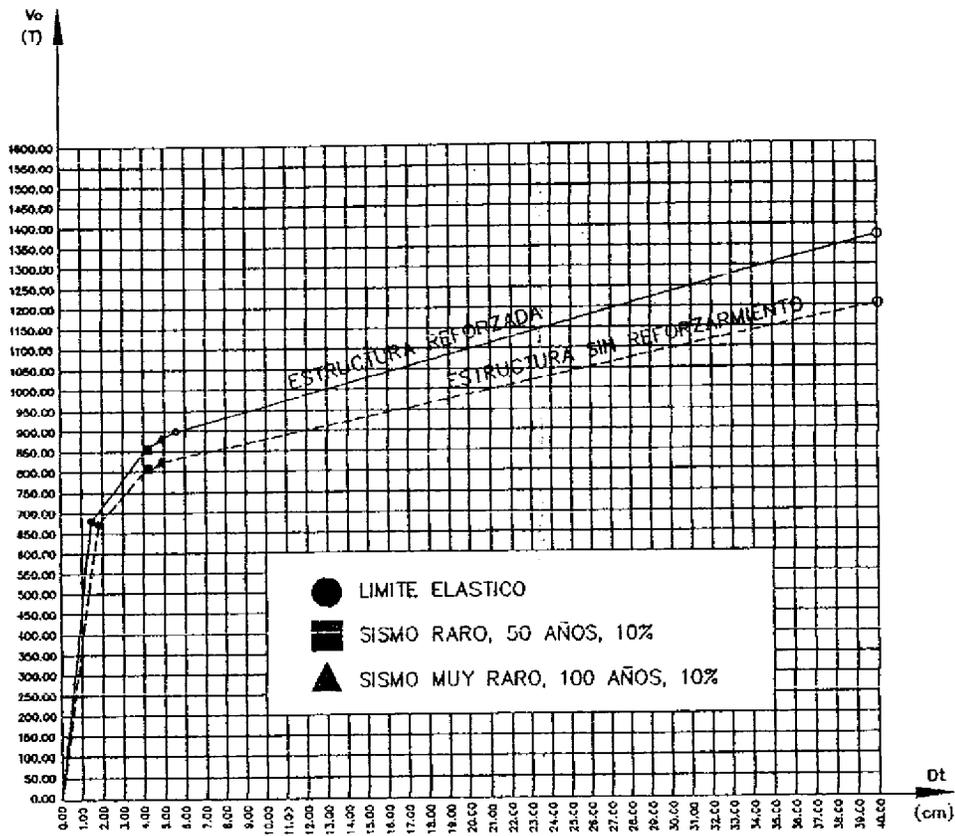


Figura 6.6 Curvas de capacidad resistente y puntos notables para estructura sin y con reforzamiento del hospital del Tena. Análisis en sentido X.

En la figura 6.6, se presenta el probable desempeño esperado en la estructura a nivel macro, para la dirección X. En el reforzamiento de una edificación esta información es importante pero más importante aún es analizar con detenimiento el desempeño estructural para cada uno de los pórticos y comparar este desempeño con el comportamiento estipulado por el las publicaciones VISION 2000 y NEHRP.

Para el sismo muy raro, en la figura 6.7, se indica el comportamiento esperado para el pórtico I de la estructura reforzada. Se indican las secciones que van a ingresar al rango no lineal, es decir que van a tener daño. En esas secciones el momento actuante es mayor que el momento a nivel de fluencia. Por lo tanto tienen una reserva de ductilidad por curvatura, la misma que se indica en la figura 6.8, para las primeras diez secciones que ingresan al rango no lineal.

Al comparar la reserva de ductilidad por curvatura para el sismo muy raro, con la capacidad de ductilidad que tiene el pórtico I, se observa que existe una pérdida de ductilidad del 25%, cantidad que se considera aceptable. Por lo tanto, para el sismo denominado muy raro que tiene un período de retorno

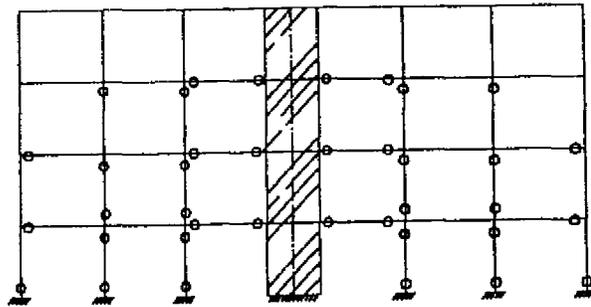


Figura 6.7 Secciones afectadas para sismo muy raro en el pórtico I de la estructura reforzada del Hospital del Tena.

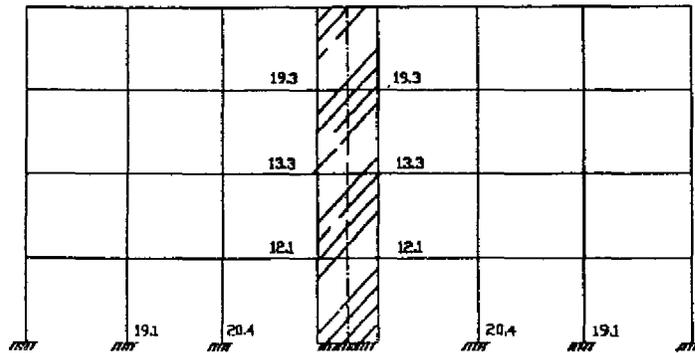


Figura 6.8 Reserva de ductilidad por curvatura, esperada en el pórtico I para las primeras diez secciones que van a ingresar al rango no lineal. Estructura reforzada del Hospital del Tena.

muy alto de 970 años, se espera daño en la estructura del hospital en varios sitios, como lo ilustra la figura 6.7 para el pórtico I pero la magnitud de este daño no es considerable. *La estructura seguirá operando luego de que se hagan las reparaciones del caso.* Para el sismo raro, que tiene un período de retorno de 475 años el desempeño estructural esperado es mejor.

6.9 CONCLUSIONES

Varios son los objetivos que se han delineado en la realización del presente estudio, todos ellos tienden a asegurar un buen desempeño de los hospitales luego de un sismo o terremoto ya que son edificaciones indispensables a donde acudirá la población en busca de ayuda luego de un desastre natural. Del estudio realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

- El hospital José María Velasco Ibarra de la ciudad del Tena, durante el

sismo del 2 de octubre de 1995 tuvo un daño considerable en la mampostería a pesar de que la aceleración máxima estimada fue de 0.06 g, cantidad más baja que la que se espera con el sismo frecuente, para este sismo no se espera ningún daño. Por lo tanto, es importante reforzar la estructura.

- La mayor parte de los códigos de construcción, presentan los mapas de peligrosidad sísmica en función de la aceleración máxima del suelo en roca, calculado para el sismo denominado, por el SEAOC 1995, raro. En base a este valor es muy difícil encontrar la aceleración correspondiente para los sismos: frecuente, ocasional y muy raro. Lo más conveniente es que se indiquen las tasas anuales de ocurrencia para diferentes niveles de aceleración, para que el proyectista estructural pueda calcular las aceleraciones indicadas con la mejor función de distribución que considere.
- Si bien es cierto existen varias filosofías de diseño sísmico de estructuras, una de ellas es la del SEAOC 1995, que se ha utilizado en el presente trabajo, no es menos cierto que todavía no están bien definidos la forma de verificar el desempeño estructural cuando la estructura ingresa al rango no lineal. En parte se debe a lo complejo e incierto que resulta dar procedimientos sencillos para resolver problemas no lineales y porque no decirlo, todavía hay mucho que investigar en el comportamiento inelástico.
- La curva de capacidad resistente que se obtiene con la técnica del push-over, ayuda notablemente al diseño y reforzamiento de estructuras, pues de ella se obtiene información muy valiosa ya sea directamente de la curva o indirectamente del análisis pushover. En este contexto, es importante saber encontrar dentro de la curva la ubicación de los puntos asociados al desempeño estructural que tendrá la edificación para los sismos denominados raro y muy raro.
- Al encontrar los puntos notables en la curva de capacidad resistente, el proyectista estructural sabe el probable desempeño que va a tener una edificación ante la acción de terremotos, sabe que factores de seguridad tiene y con que reservas de energía cuenta. Determina los sectores de la edificación que son más vulnerables y los más seguros.
- La verificación del desempeño estructural esperado, debe realizarse en todas las estructuras y con mayor razón en las destinadas a la atención médica como son los hospitales, porque son edificaciones indispensables luego de un desastre natural.
- Las normativas exigen que un hospital este en condiciones de funcionar inmediatamente luego de un sismo frecuente u ocasional. Que pueda dar servicio lo más pronto posible luego de un sismo raro y que luego de realizar las reparaciones del caso pueda volver a dar atención médica cuando se tenga un sismo muy raro. Todas estas condiciones de servicio dependen del grado de daño esperado en los elementos no estructurales y estructurales del hospital y deben ser verificados por los proyectistas estructurales. La verificación debe hacerse a nivel macro en forma espacial,

a nivel micro cuando se analiza en dos dimensiones y a nivel de detalle cuando se analizan los resultados elemento por elemento, todo esto es posible hacerlo con la ayuda de los ordenadores.

REFERENCIAS

1. G. Sierra y J. Argudo, "Diseño del reforzamiento del Hospital José María Velasco Ibarra de la ciudad de Tena, Ecuador", *XI Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*, Vol 1, 16 pp, Guayaquil, 1997.
2. R. Aguiar, "Acciones para el diseño sísmico de estructuras", *Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Monografías de Ingeniería Sísmica, IS-30*, 122 pp, Barcelona, España, 1998.
3. S. T. Algermissen y D. Perkins, "A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States U.S.", *Geological Survey*, 1976.
4. R. McGuire, "Fortran computer program for seismic risk analysis", *United States Department of the Interior Geological Survey*, 1976.
5. NSR-98, "Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente", *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*, Tomo 1, 1998.
6. R. Aguiar, "Forma del Espectro Elástico para el Análisis Sísmico de Estructuras en el Ecuador", *Revista CIENCIA. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, 1 (1), 19-30, Valle de los Chillos, Ecuador, 1998.
7. P. Benzanilla y R. Riddell, "Sistema de archivo y catálogo de registros de aceleración de terremotos", *Departamento de Ingeniería Estructural, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile*, 1989.
8. E. García, "Espectro de energía disipada por histéresis y su aplicación al diseño sismorresistente", *X Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural*, Riobamba, 1996.
9. ATC 33-03, "Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings", *75% Submittal, Third Draft*, 3 Volúmenes, Redwood City, 1995.
10. J. A. Blume, "Earthquake parameters for design of major project - Allowable stresses and earthquake performance", *Proceedings of the 6 WCEE*, New Delhi, Panel 4, 4.4-01 - 4.4-10, 1977
11. G. W. Housner and P.C. Jennings, "Earthquake design criteria", *Earthquake Engineering Research Institute, University of California at Berkeley*, California, 1982.
12. V. Bertero, "Evaluation of response reduction factors recommended by ATC and SEAOC", *Proceedings, 3rd U.S. NCEE, Vol III*, 1663-1674, Charleston, South Carolina, 1986.
13. M. Roufaiel y C. Meyer, "Analytical modelling of hysteretic behaviour of R/C frames", *Journal of Structural Division, ASCE* 113 (3), 429-444, 1987.

14. J. E. Stephens y J. T. P. Yao, "Damage assessment using response measurements", *Journal of Structural Division*, ASCE, **113** (4), 787-801, 1987.
15. R. Aguiar, "Capacidad resistente de estructuras sometidas a cargas laterales: Programa CEINCI2", *Cuarto Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la construcción. Universidad Nacional del Cuyo, 4-EIPAC-99*, 84-90, Mendoza Argentina, 1999.