

# ESTUDIO DE DEMANDA / CAPACIDAD SÍSMICA DEL HOSPITAL INTEGRADO DEL MUNICIPIO DE LANDAZURI, SANTANDER

---

**ESPERANZA MALDONADO**

*Profesora Asociada  
Universidad Industrial de Santander  
emaldona@uis.edu.co*

**AVELINO AMADO LAMUS**

*Ingeniero Civil UIS  
Integrante Grupo de Investigación INME  
Universidad Industrial de Santander  
avelino@latinmail.com*

## RESUMEN

*En el presente trabajo se estudia el comportamiento sísmico del sistema estructural de las edificaciones que conforman el Hospital Integrado del Municipio de Landazuri, ubicado en el departamento de Santander, Colombia. El estudio se realiza analizando la relación entre la demanda que puede producir un posible sismo fuerte y la capacidad con la que cuentan las edificaciones ante esa acción. De esta manera, se llega a conocer el potencial de posibles fallas estructurales del hospital, ante un evento sísmico fuerte. Este análisis se realiza siguiendo los lineamientos presentados en la Norma Sismorresistente Colombiana NSR-98 para las edificaciones indispensables.*

**PALABRAS CLAVE:** Edificaciones indispensables, Hospital, Comportamiento sísmico, Vulnerabilidad sísmica, Relación Demanda/Capacidad.

## ABSTRACT

*The study was focused on the seismic performance of the structure of Landazuri Integrated Municipality Hospital, located in the Department of Santander, Colombia. The study was carried out by analyzing the seismic Demand/Capacity ratios of the structure. This way, one can assess the possible structural flaws of the hospital, before a strong seismic event. This analysis was carried out following the specifications presented in the Colombian Resistant Earthquake Code, NSR-98, for essential facilities.*

**KEY WORDS:** Essential facilities, Hospital, Seismic performance, Earthquake vulnerability, Demand/Capacity ratios.

## INTRODUCCIÓN

La planeación, el diseño y la construcción de hospitales en zonas del riesgo sísmico ofrecen múltiples desafíos a los diferentes profesionales involucrados, debido a la importancia que tienen dichas construcciones en la

vida usual de una comunidad y, en mayor medida, a la que adquieren en caso de que sea necesario atender las víctimas de un desastre. Dada esta relevancia de los hospitales para la recuperación de una comunidad afectada, en caso de un terremoto fuerte, la estructura de estas instalaciones se debe someter a un riguroso estudio de resistencia de cada

uno de los elementos que lo componen, para de alguna manera garantizar el funcionamiento de la estructura y brindar seguridad a sus ocupantes.

En el territorio colombiano las nuevas Normas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Ley 400 de 1997, Decreto-Ley 33 de 1998) [1] establece que los hospitales existentes de mayor nivel de complejidad localizados en las zonas de más alta amenaza sísmica, deben ser evaluados en su vulnerabilidad e intervenidos o reforzados en un lapso de tres y seis años respectivamente. Razón por la cual los directivos del Hospital Integrado de Landazuri han tomado conciencia de la importancia de realizar el estudio indicativo de vulnerabilidad sísmica, para determinar el estado actual de esta edificación.

Identificada la relevancia de desarrollar este tipo de estudios, se procede a su realización por medio del Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras de Construcción, INME de la Universidad Industrial de Santander. Este trabajo se realiza en cuatro etapas, en la primera se recopila la información sobre el estado actual de la edificación, en la segunda se realiza la caracterización de los materiales utilizados en su construcción, en la tercera se define la acción sísmica, y en la cuarta se realiza el análisis de vulnerabilidad sísmica, es decir se modela la estructura, se calcula su demanda y su capacidad, y con ello se determina el estado de la estructura.

#### DESCRIPCIÓN DEL HOSPITAL

El Hospital Integrado de Landazuri se encuentra localizado en el área urbana del Municipio de Landazuri en

el Departamento de Santander en el nororiente colombiano, ver Figura 1. Fue fundado en 1948 y desde su creación el hospital ha ido aumentando su área de servicio. Hoy en día es un hospital de segundo grado, el cual presta servicios de consulta externa, hospitalización, laboratorio clínico, pequeñas cirugías y curación, odontología, vacunación, prevención de enfermedades tropicales y farmacia; beneficiando a toda la zona urbana y rural de Landazuri, e incluso a otros municipios vecinos.

La edificación ocupa un área aproximada de 849.27 m<sup>2</sup>, en su mayoría correspondiendo a una estructura de un nivel; predominando en ella el sistema estructural de muros de mampostería no reforzada. La edificación la conforman diferentes estructuras unidas entre sí, dando la apariencia de una sola; sin embargo al someterla a una acción sísmica, ella tiende a comportarse independientemente.

Por consiguiente, en el hospital se identifican cinco módulos, ubicados en como se muestra en la Figura 2. Las características, más relevantes, de cada módulo son las siguientes:

*El Módulo 1* ocupa un área de 255,03 m<sup>2</sup>, albergando la administración, la farmacia, los laboratorios, el consultorio odontológico, la inyectología, el consultorio médico y una sala de descanso en el segundo nivel de la administración. Su sistema estructural predominante son los muros de mampostería no reforzada, de un espesor aproximado de 30 cm, construidos con unidades de mampostería maciza. Es el único módulo que cuenta con un segundo nivel, siendo su sistema de piso en madera. La cubierta de este módulo esta constituida una parte por correas metálicas y otra por correas en madera, con teja de asbesto cemento.

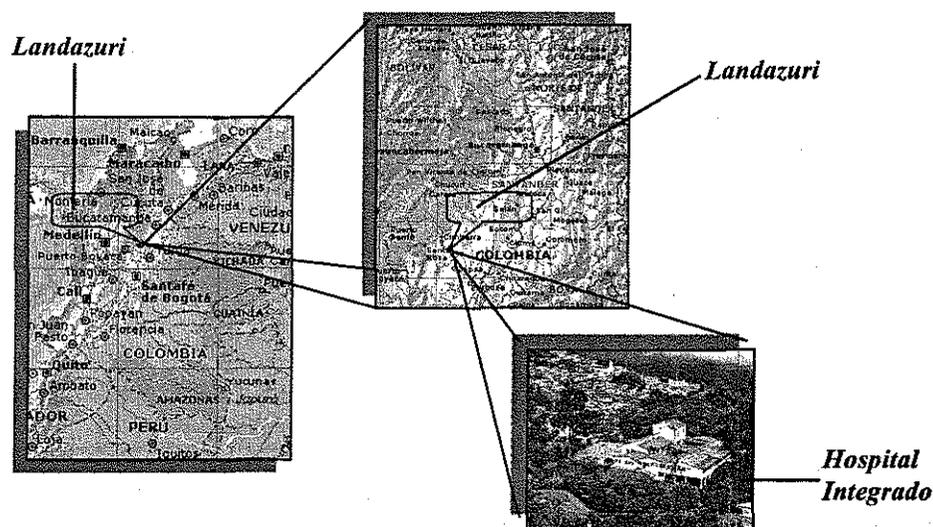


Figura 1. Localización del Hospital Integrado de Landazuri.

El Módulo 2 abarca un área de 46,75 m<sup>2</sup> y en él se encuentra la sección de urgencias y los dormitorios para el equipo médico. La estructura esta constituida en su mayoría por muros de mampostería no reforzada, de un espesor de 15 cm, compuestos por unidades de mampostería maciza. Una parte del módulo esta cimentada sobre ladera, requiriendo la utilización de columnas y vigas en concreto reforzado, en dimensiones que van de 25 a 45 cm. Este módulo cuenta con una cubierta liviana en correas metálicas y teja de asbesto cemento.

En el Módulo 3 se encuentra la sección de hospitalización ocupando un área construida de 201,95 m<sup>2</sup>. Su sistema estructural corresponde a muros de mampostería no reforzada, de aproximadamente 15 cm de espesor, conformados por unidades de mampostería hueca. Al igual que el anterior módulo, una parte de él se encuentra sobre ladera, cambiando el sistema estructural a columnas y vigas en concreto reforzado, con una placa maciza de 20 cm de espesor. La cubierta esta conformada por correas metálicas y teja en asbesto cemento.

En el Módulo 4 se encuentra la sección de esterilización, sala de partos, sala de recuperación y cirugía, ocupando un área aproximada de 157,6 m<sup>2</sup>. El sistema estructural esta constituido por muros de mampostería no reforzada, de aproximadamente 15 cm de espesor, construidos con unidades mampostería maciza. En este módulo se utilizan dos tipos de cubierta; en la sala de cirugía se presenta una placa maciza de concreto reforzada y en el resto se utiliza una cubierta liviana en correas metálicas.

En el Módulo 5 se encuentra el depósito general, depósito de alimentos, cocina, comedor, lavandería, ocupando un área aproximada de 187,94 m<sup>2</sup>. El sistema estructural, al igual que el resto de los módulos, son los muros de mampostería estructural, de 15cm de espesor, construidos en unidades de mampostería hueca. La cubierta es liviana conformada por correas metálicas y teja de asbesto cemento.

### LEVANTAMIENTO DE CAMPO

El levantamiento de la información existente, acerca del diseño y construcción, requerida para la evaluación de la vulnerabilidad del hospital de Landazuri, se realiza mediante una inspección visual, verificando cualitativamente el estado de la estructura con respecto a tres aspectos:

a) Calidad del diseño original y de la construcción. Se tiene en cuenta la distribución irregular de masas y rigidez, la existencia o ausencia de diafragmas, anclajes, amarres, y otros elementos que influyen en el comportamiento dinámico de la estructura, como tanques elevados y muros no estructurales.

b) Estado de mantenimiento y conservación. Se basa en la identificación de fisuras o grietas, corrosión en armaduras, hongos en la estructura de madera, asentamientos diferenciales, deflexiones excesivas, estados de los elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual.

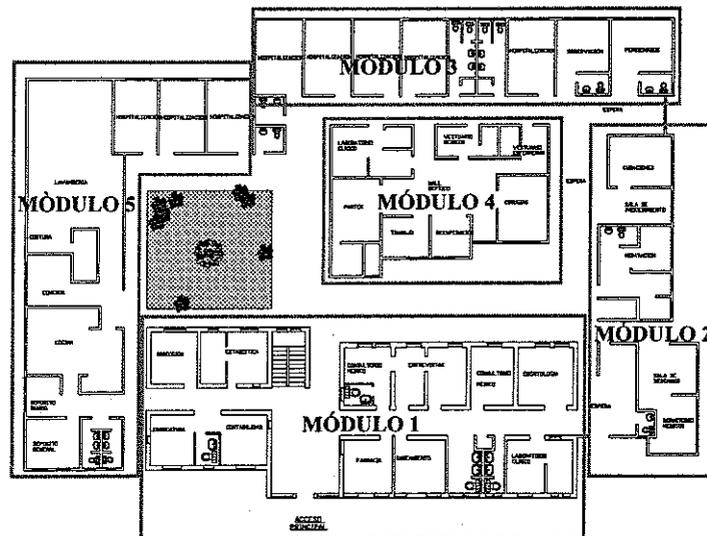


Figura 2. Módulos de la Planta del Hospital Integrado del Municipio de Landazuri.

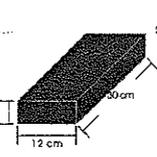
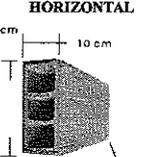
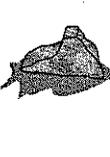
c) Materiales empleados en la construcción. Se identifican los materiales utilizados en la construcción de los elementos que componen la estructura.

### CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Realizado el levantamiento de los módulos que conforman el hospital, es necesario caracterizar los materiales que lo componen, y para ello es importante identificar los materiales utilizados de acuerdo a los elementos estructurales. Luego, de acuerdo a la inspección visual se identifica la mampostería no reforzada en los muros, el concreto reforzado en las columnas y vigas, el acero y la madera en la construcción de la cubierta. Las características asumidas en cada uno de los materiales son las siguientes:

a) Mampostería no reforzada. La mampostería no reforzada que compone todos los muros de estas edificaciones, están construidas por unidades de cerámica (arcilla cocida), adheridas por medio de mortero de pega tipo N con sus respectivas especificaciones ICONTEC, 1963; [2]. En la edificación se encontraron muros con espesores de 15 y 30 cm formados por unidades macizas (tolete), y muros de 15 cm de espesor construidos en unidades de perforación horizontal. En la Tabla 1 se presenta las especificaciones de las unidades macizas (tolete) y de perforación horizontal (bloque).

Tabla 1. Propiedades mecánicas de las unidades de mampostería.

PROPIEDADES MECANICAS	LADRILLO MACIZO TOLETE	BLOQUE PERFORACIÓN HORIZONTAL	MORTERO DE PEGA TIPO 'N'
			
Resistencia a Compresión $f'_{cu}$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	70	30	20
Absorción / Retención de Agua [%]	8	8	75
Peso Especifico $\gamma$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1850	1300	2100

En base a la calidad de los materiales se calcula la resistencia a compresión de la mampostería, dependiendo del tipo de unidad utilizada [1], de la manera expuesta a continuación:

Para muros en Mampostería maciza (tolete)

$$f'_m = 0.75 * R_m \text{ (MPa)} \quad (1)$$

$$R_m = \left( \frac{2h}{75 + 3h} \right) * f'_{cu} + \left( \frac{50k_p}{75 + 3h} \right) * f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu} \quad (2)$$

Donde  $f'_m$  es la resistencia nominal a la compresión de la mampostería en MPa,  $f'_{cu}$  es la resistencia específica a la compresión de las unidades de mampostería en MPa,  $f'_{cp}$  es la resistencia específica a la compresión del mortero de pega en MPa,  $h$  es la altura de la unidad de mampostería en mm y  $K_p$  es el factor de corrección por absorción de la unidad de mampostería, para unidades de arcilla se toma 0.8.

Para muros en Mampostería de perforación horizontal (bloque)

$$f'_m = 0.75 [rR_m + 0.9(1-r)f'_{cr}] \leq 0.94 R_m \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Siendo  $r$  la relación entre el área neta y el área bruta de las unidades de mampostería,  $f'_{cr}$  es la resistencia a la compresión del mortero de relleno en MPa.

Otra de las propiedades mecánicas requeridas para el análisis de la estructura es el módulo de elasticidad y el módulo de cortante de la mampostería, las cuales se pueden calcular por medio de las siguientes expresiones:

$$E_m = 500 f'_m \leq 10000 \text{ (MPa)} \quad (4)$$

$$G_m = 0.4 E_m \text{ (MPa)} \quad (5)$$

Donde  $E_m$  es el módulo de elasticidad de la mampostería en MPa y  $G_m$  es el módulo de cortante de la mampostería en MPa.

Luego de las anteriores expresiones se determinan las propiedades mecánicas de los muros que conforman el hospital, ver Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los muros en mampostería.

PROPIEDADES MECANICAS	MAMPOSTERÍA MACIZA (TOLETE)		MAMPOSTERÍA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL (BLOQUE)
	Espesor =30cm	Espesor =15cm	
Resistencia a Compresión $f'_{cu}$ [MPa]	2.811	3.034	0.853
Módulo de Elasticidad $E_m$ [MPa]	1405.62	1517.22	426.66
Módulo de Cortante $G_m$ [MPa]	562.30	606.9	170.7

b) Madera. El propósito de la clasificación estructural es garantizar los valores de resistencia y rigidez mínimos de las piezas que forman la estructura. Esto permite identificar que la madera en uso se encuentra en el grupo A [1], [3], el cual corresponde a maderas con densidad básica superior a  $710 \text{ kg/m}^3$ . Con base en la densidad se definen las propiedades mecánicas requeridas para el análisis, ver Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de la madera.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Resistencia a Compresión $f_c$ [MPa]	145
Módulo de Elasticidad E [MPa]	9500
Peso Específico $\gamma_{seca}$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	750

ACCIÓN SÍSMICA

Luego de realizar la caracterización de los materiales en base a la información reunida, el siguiente paso es la definición de acción sísmica. Para ello, se utiliza el espectro propuesto para el territorio colombiano [1]; construyéndose de la siguiente manera:

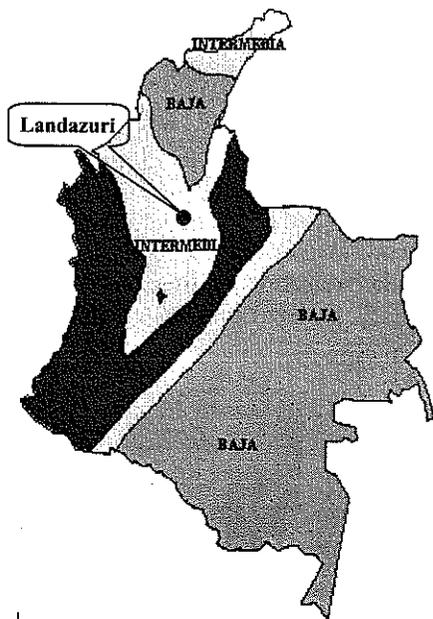
**Definición de la zona de amenaza.** A falta de estudios detallados de amenaza para el Municipio de Landazuri, se toma el estudio de amenaza sísmica para todo el país, el cual se presenta en las Normas Sismo Resistente [1].

Luego, de acuerdo al mapa de amenaza sísmica, el hospital se localiza dentro de la zona de amenaza sísmica intermedia con un coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño de  $A_d$  igual a 0.2 y para el umbral de daño de  $A_d$  igual a 0.04, ver Figura 3.

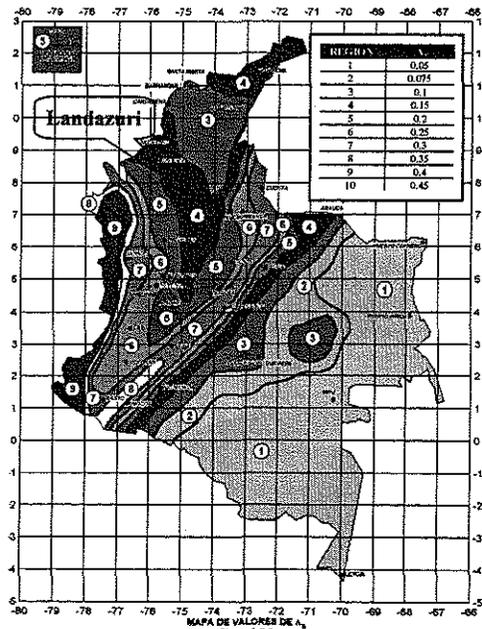
**Coefficiente de sitio, S.** Para tomar en cuenta los efectos locales se utiliza el coeficiente S cuyos valores se obtienen de acuerdo al perfil del suelo. Para el hospital, el coeficiente de sitio  $\bar{S}$  se asume igual a 1.5 para diseño y para el umbral de daño el coeficiente de sitio es igual a  $1.25 * S$  o  $1.875$ .

**Coefficiente de importancia, I.** Este factor depende del grupo de uso en el cual la edificación se encuentre, en este caso corresponde al grupo IV, es decir a una edificación indispensable, correspondiendo a un coeficiente de importancia I igual a 1.3.

**Espectro elástico umbral de daño.** Con los parámetros anteriores se construye el espectro elástico de aceleraciones del umbral de daño, para un coeficiente de



a) Zonas de amenaza sísmica.



b) Mapa de valores de aceleración pico efectiva.

Figura 3. Ubicación del Municipio de Landazuri en el mapa de amenaza Sísmica en el territorio Colombiano.

amortiguamiento crítico del dos por ciento 2%, ver Figura 4.

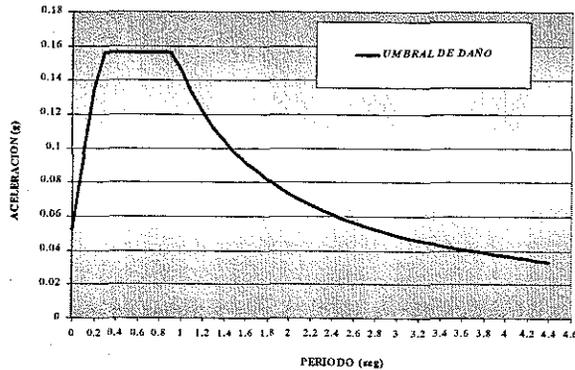


Figura 4. Espectro elástico umbral de daño.

### ESTUDIO DE VULNERABILIDAD

Realizando la caracterización de los materiales y definidas la acción sísmica se pasa al cálculo de la vulnerabilidad sísmica, mediante la relación Demanda / Capacidad de cada uno de los elementos estructurales. De esta manera, se calculan los índices de sobre-esfuerzo y de flexibilidad, los cuales indican qué tanto puede soportar y responder la estructura existente a las solicitaciones sísmicas de la región. [4]

**Modelamiento Dinámico.** El análisis se efectúa modelando la estructura, en tres dimensiones mediante elementos finitos. Utilizando los elementos FRAME para vigas y columnas en la parte de la edificación que se encuentra en ladera, y los elementos SHEEL para modelar los muros en mampostería no reforzada que componen el sistema estructural predominante. A su vez, las correas que forman la estructura de la cubierta se modelan como elementos FRAME, y las losas se idealizan como diafragmas rígidos [5]. El modelo del hospital completo se ilustra en la Figura 5.

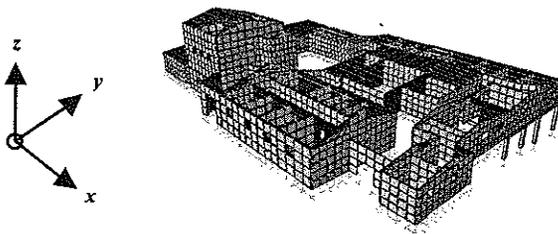


Figura 5. Modelo tridimensional del Hospital de Landazuri.

A cada uno de estos elementos estructurales se le asigna el tipo de material que lo conforma y el tipo de cargas consideradas, es decir, cargas de carácter estático como son las muertas y vivas, y cargas de carácter dinámico como es el efecto del evento sísmico más probable.

**Cálculo de la demanda.** Calcular la demanda es evaluar los esfuerzos y deformaciones que se producen en la estructura debido a una acción determinada.

Por consiguiente, para el estudio del hospital se calculan los esfuerzos y deformaciones por medio de un análisis dinámico modal espectral idealizando la acción sísmica mediante el espectro de umbral de daño, expuesto en el numeral 3, y utilizando la herramienta computacional SAP2000, [6]. El análisis sísmico se realiza a cada módulo por separado, debido a que toda la estructura del hospital no se comporta como un todo, cada módulo responde independientemente ante la acción sísmica.

A manera de ilustrar los resultados obtenidos al calcular la demanda, se presenta el comportamiento del módulo 1. En el trabajo de Maldonado y Amado (2003) [4] se presentan los resultados de los restantes módulos que componen el hospital. El modelo en elementos finitos del módulo 1 se presenta en la Figura 6 y la planta con la distribución de sus muros cargueros se puede ver en la Figura 7. Los tres primeros modos de vibración, con su correspondiente periodo de vibración, coeficiente de participación, y masa efectiva se presentan en la Tabla 4. Los valores de derivas para el punto más crítico por muro, se ilustra en la Tabla 5; revisando estos valores de derivas con el 0.15% de la altura del muro según la NSR-98.

Como se puede ver, las derivas del módulo 1 no tienen problemas, en ningún muro se presentan valores mayores al de control.

Finalmente, en la Tabla 6 se presentan los esfuerzos más críticos que se producen en cada muro, esfuerzos que pueden ser:  $F_a$ , esfuerzo de compresión axial,  $F_b$ , esfuerzo de compresión por flexión,  $F_{HP}$ , esfuerzo de tracción por flexión horizontal,  $F_{VP}$ , esfuerzo de tracción por flexión vertical,  $F_v$ , esfuerzo por cortante.

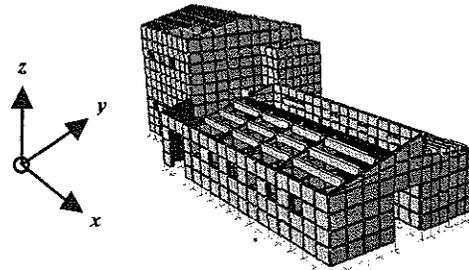


Figura 6. Modelo tridimensional Módulo 1

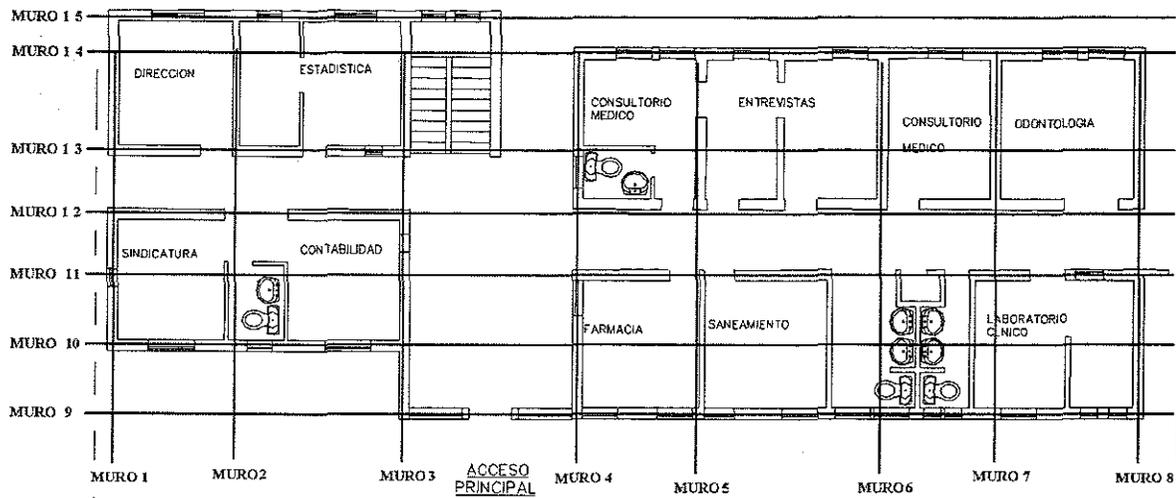


Figura 7. Distribución de muros estructurales en el Módulo 1.

Tabla 4. Periodo fundamental y factores de participación del Módulo 1.

MODO	PERIODO (seg)	FACTOR DE PARTICIPACION		MASA EFECTIVA		MASA EFECTIVA ACUMULADA	
		X	Y	X	Y	X	Y
1	0.1515	2.39	-0.793	0.0013	22.33	0.0013	22.33
2	0.1217	-0.027	-3.560	10.120	1.110	11.820	26.24
3	0.1175	-2.72	-0.872	13.130	1.340	24.950	27.58
		Modo 1		Modo 2		Modo 3	

Tabla 5. Derivas y desplazamientos del Módulo 1.

MURO *	NODO	DESPLAZANIENTOS [m]			DERIVA [m]	0,15 % h <sub>pi</sub> **	REVISIÓN ***
		X	Y	Z			
1	651	0,000598	0,000289	0,000121	0,000668	0,014850	O.K.
2	828	0,000257	0,000692	0,000082	0,000743	0,012900	O.K.
3	437	0,000597	0,000328	0,000098	0,000683	0,014850	O.K.
4	1838	0,000760	0,000525	0,000132	0,000926	0,012300	O.K.
5	1719	0,000036	0,000054	0,000006	0,000065	0,008625	O.K.
6	531	0,000044	0,000151	0,000016	0,000158	0,007695	O.K.
7	582	0,000035	0,000111	0,000014	0,000117	0,006750	O.K.
8	539	0,000040	0,000147	0,000017	0,000154	0,007695	O.K.
9	567	0,000037	0,000086	0,000013	0,000095	0,006750	O.K.
10	841	0,000042	0,000107	0,000011	0,000116	0,007695	O.K.
11	576	0,000228	0,000476	0,000078	0,000534	0,006750	O.K.
12	713	0,000055	0,000056	0,000014	0,000080	0,008625	O.K.
13	1717	0,000055	0,000046	0,000011	0,000072	0,007695	O.K.
14	1719	0,000228	0,000310	0,000073	0,000382	0,012900	O.K.
15	185	0,000334	0,000492	0,000132	0,000609	0,011400	O.K.

Nota: \* La ubicación de estos muros se ilustran en las plantas del Módulo 1, \*\*Altura de piso. \*\*\* Controlando deriva < 0.15% h<sub>pi</sub>

Tabla 6. Esfuerzos en el Módulo 1.

MURO	ESFUERZOS [MPa]				
	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>HI</sub>	F <sub>V</sub>	F <sub>V</sub>
1	0,14080	0,17380	0,02260	0,00921	0,00726
2	0,24520	0,07900	0,02180	0,00875	0,00058
3	0,21370	0,07060	0,04370	0,00831	0,00099
4	0,10860	0,10400	0,03650	0,00774	0,00351
5	0,18630	0,19470	0,08100	0,01550	0,00131
6	0,21240	0,20780	0,04060	0,01710	0,00298
7	0,24760	0,07070	0,05850	0,01670	0,00339
8	0,18960	0,18750	0,03660	0,01550	0,00235
9	0,10420	0,04810	0,03480	0,00699	0,00147
10	0,24840	0,23800	0,04560	0,01930	0,00390
11	0,15150	0,05670	0,04810	0,00891	0,00173
12	0,15670	0,13120	0,02670	0,01030	0,00308
13	0,26410	0,08030	0,04700	0,01400	0,00228
14	0,25140	0,10290	0,04320	0,01090	0,00215
15	0,18540	0,06560	0,03910	0,00884	0,00353
	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>HI</sub>	F <sub>V</sub>	

Cálculo de la capacidad de la estructura. La capacidad se calcula analizando la estructura mediante un modelo matemático de muro en voladizo empotrado en la

base y arriostrado lateralmente por diafragmas de piso, aplicando el método recomendado para el análisis de estructuras de mampostería no confinada, el cual es el de esfuerzos de trabajo admisible [1], [6]. De esta manera, se calcula la resistencia de los elementos existentes (muros en mampostería no reforzada), como se expresa a continuación para cada tipo de esfuerzo.

- *Esfuerzos admisibles a compresión axial,  $F_a$*

$$F_a = 0.2 f_m' R_e \quad (MPa) \quad (12)$$

Donde

$$R_e = 1 - \left( \frac{h'}{40t} \right)^3 \quad (13)$$

y  $h'$  es la altura efectiva del muro en mm,  $t$  es el espesor efectivo de la sección para evaluar efectos de pandeo del muro en mm.

- *Esfuerzos admisibles para compresión por flexión,  $F_b$*

$$F_b = 0.33 f_m' \leq 14 \quad (MPa) \quad (14)$$

- *Esfuerzos admisibles para tracción por flexión,  $F_t$*

Para muro cuyas unidades corresponden a mampostería huecas se asume igual a 0.1 y cuando el esfuerzo a tracción es perpendicular a la junta horizontal se asume 0.22. A su vez, cuando el esfuerzo a tracción es perpendicular a la junta horizontal se asume 0.19 y cuando el esfuerzo a tracción es perpendicular a la junta vertical se asume 0.37.

- *Esfuerzo admisible a cortante,  $F_v$*

$$F_v = \frac{\sqrt{f_m'}}{40} \leq 0.56 \quad (MPa) \quad (15)$$

Calculados los esfuerzos admisibles, se califica la calidad de la construcción y el estado de conservación en bueno, regular y malo. En función de estos calificativos se definen los coeficientes que reducen los esfuerzos admisibles, permitiendo evaluar los esfuerzos efectivos [1], de la siguiente forma:

$$N_{efec} = N_{equiv} * \phi_c * \phi_e \quad (16)$$

Donde  $N_{efec}$  es el esfuerzo efectivo,  $N_{equiv}$  es el esfuerzo admisible,  $\phi_e$  es el coeficiente de reducción de resistencia debido a la calidad de construcción, igual 0.7

para el caso en estudio y  $\phi_c$  es el coeficiente de reducción de resistencia debido al estado de conservación, igual 0.7 para el caso en estudio. A continuación en la Tabla 7 se ilustran los esfuerzos admisibles de cada uno de los muros del Módulo 1.

Tabla 7. Esfuerzos admisibles del Módulo 1.

ESFUERZOS [MPa]					
MURO	$F_a$	$F_b$	$F_{IH}$	$F_{IV}$	$F_v$
1	0,12	0,45	0,09	0,18	0,02
2	0,62	0,45	0,09	0,18	0,02
3	0,12	0,45	0,09	0,18	0,02
4	0,19	0,45	0,09	0,18	0,02
5	0,25	0,45	0,09	0,18	0,02
6	0,25	0,45	0,09	0,18	0,02
7	0,26	0,45	0,09	0,18	0,02
8	0,20	0,45	0,09	0,18	0,02
9	0,26	0,45	0,09	0,18	0,02
10	0,20	0,45	0,09	0,18	0,02
11	0,26	0,45	0,09	0,18	0,02
12	0,25	0,45	0,09	0,18	0,02
13	0,25	0,45	0,09	0,18	0,02
14	0,17	0,45	0,09	0,18	0,02
15	0,21	0,45	0,09	0,18	0,02

**Relación Demanda / Capacidad.** Finalmente la vulnerabilidad se evalúa por medio de la relación Demanda / Capacidad para esfuerzos y deformaciones, mediante el cálculo del índice de sobre-esfuerzo y el índice de flexibilidad en cada uno de los elementos estructurales.

**Índices de sobre-esfuerzo.** El índice de sobre-esfuerzo se define como la relación entre la demanda y la capacidad para cada uno de los esfuerzos, en cada elemento que conforma la estructura de la edificación en estudio [1], [8]. Este índice permite definir la capacidad del sistema estructura existente de soportar y responder adecuadamente a las sollicitaciones sísmicas de la región. Los valores mayores a uno indican que la estructura probablemente fallara, y los menores a uno indican que esta probabilidad no existirá.

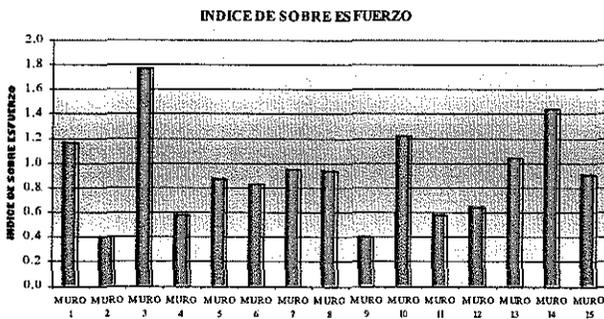
En la Tabla 8 se presentan los valores de índices de sobre-esfuerzos en cada elemento estructural y ante cada tipo de esfuerzo. Se observa que los muros 1, 3, 10, 13 y 14 presentan problemas debido a los esfuerzos de compresión. Esta misma observación se ilustra en la Figura 8, donde en forma resumida se presenta por muro su máximo valor de índice de sobre-esfuerzo.

**Tabla 8.** Índice de sobreesfuerzos de los elementos estructurales Módulo 1.

ÍNDICES DE SOBRE-ESFUERZO [D/C] [MPa]					
MURO	F <sub>a</sub>	F <sub>b</sub>	F <sub>III</sub>	F <sub>IV</sub>	F <sub>v</sub>
1	1,2	0,4	0,2	0,1	0,4
2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0
3	1,8	0,2	0,5	0,0	0,0
4	0,6	0,2	0,4	0,0	0,2
5	0,8	0,4	0,9	0,1	0,1
6	0,8	0,5	0,4	0,1	0,1
7	0,9	0,2	0,6	0,1	0,2
8	0,9	0,4	0,4	0,1	0,1
9	0,4	0,1	0,4	0,0	0,1
10	1,2	0,5	0,5	0,1	0,2
11	0,6	0,1	0,5	0,0	0,1
12	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
13	1,0	0,2	0,5	0,1	0,1
14	1,4	0,2	0,5	0,1	0,1
15	0,9	0,1	0,4	0,0	0,2

**Tabla 9.** Índice de flexibilidad de los elementos estructurales del Módulo 1.

MURO	$\Delta_{MAX}$	$\Delta_{PERMITIDA}$	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD
1	0,0007	0,0149	0,04
2	0,0007	0,0129	0,06
3	0,0007	0,0149	0,05
4	0,0009	0,0123	0,08
5	0,0001	0,0086	0,01
6	0,0002	0,0077	0,02
7	0,0001	0,0068	0,02
8	0,0002	0,0077	0,02
9	0,0001	0,0068	0,01
10	0,0001	0,0077	0,02
11	0,0005	0,0068	0,08
12	0,0001	0,0086	0,01
13	0,0001	0,0077	0,01
14	0,0004	0,0129	0,03
15	0,0006	0,0114	0,05

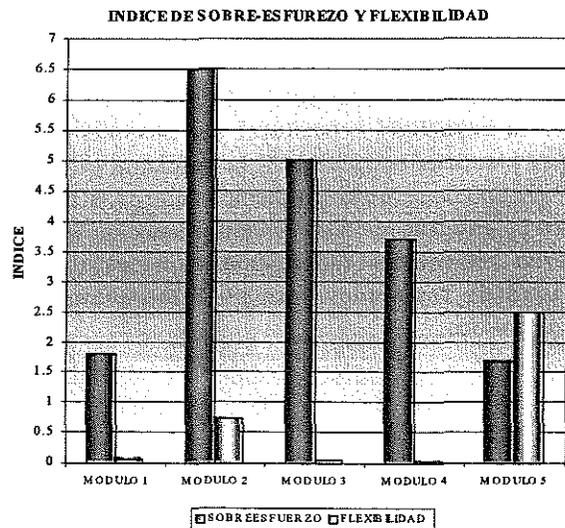


**Figura 8.** Índice de sobreesfuerzos de los elementos estructurales del Módulo 1.

**Índices de flexibilidad.** El índice de flexibilidad se define como la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por la Norma Sismo Resistente [1] para cada elemento que conforma la estructura; permitiendo identificar los elementos que están en capacidad de soportar y responder apropiadamente a las solicitaciones sísmicas de la zona, y así ofrecer estabilidad a la edificación.

En Tabla 9 se muestran los valores de índice de flexibilidad obtenidos para cada elemento estructural del Módulo 1, como se observa no existe problemas de deformación en la estructura.

Finalmente en la Figura 10 se muestra los índices de sobre-esfuerzo y flexibilidad total de cada uno de los módulos de la edificación, se observa que el índice de sobre-esfuerzo es mayor que la unidad en todos los módulos, esto indica que la capacidad de la estructura existente no responde adecuadamente a las solicitaciones de carga que se exigen para la zona donde se encuentra la edificación. Además, se observa que el índice de flexibilidad es menor que la unidad excepto el Módulo 5, el cual indica que la estructura requiere rigidizarse para que soporte la deriva permitida por la Normas Sismo Resistente, NSR-98.



**Figura 10.** Índice total de sobre-esfuerzo y flexibilidad de los Módulos.

## CONCLUSIONES

• Con el estudio anterior se puede identificar los elementos estructurales que con mayor probabilidad presentarán un comportamiento desfavorable ante una acción sísmica fuerte; ya sea porque las cargas que produce el sismo son mayores a las que pueden resistir ó porque las deformaciones que probablemente se generarán serán superiores a las que puede soportar.

• La NSR-98 presenta una metodología sencilla dado que se basa en la evaluación de la demanda ante la acción más desfavorable, y en la comparación con la capacidad de la estructura; es decir, establece la relación entre la demanda que produce el sismo y la capacidad estructural. El método propuesto tiene como ventaja que la relación demanda/capacidad se plantea a nivel de fuerzas y de deformación, por medio de índices de sobreesfuerzo y flexibilidad. La metodología propuesta plantea evaluar el índice de sobreesfuerzo en cada elemento y ante cada tipo de esfuerzo que se produzca; así mismo, propone evaluar el índice de flexibilidad tomando en cuenta las deformaciones de los elementos y las derivas de la estructura. Es decir, recomienda que se evalúen todos los elementos estructurales para identificar los más deficientes.

• Por consiguiente, la metodología planteada en la NSR-98, ofrece una buena herramienta para realizar un estudio indicativo de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable, ya que permite identificar los elementos que están en capacidad de soportar y responder apropiadamente a las solicitaciones sísmicas de la zona.

• Según los resultados obtenidos en este trabajo, la capacidad estructural del hospital ante acciones sísmicas es inferior a la demanda que se puede generar ante posibles sismos futuros. Razón por la cual, las edificaciones que conforman el hospital requieren ser reestructuradas para que estén en capacidad de responder ante posibles acciones sísmicas fuertes.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue posible gracias al interés y gestión del director del Hospital Integrado de Landazuri, Dr Horbes Buitrago.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998. *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98*.
- [2] ICONTEC, (1963). *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Norma Mampostería 451, Norma Morteros 407*.
- [3] Junta del Acuerdo de Cartagena, (1998). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, Capítulo 1*.
- [4] Maldonado, E. y Amado, A. (2003). *Estudio Indicativo de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital de Landazuri*, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- [5] Maldonado, E. y Chio, G.. (2003). *Análisis Sísmico de Edificaciones*, Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- [6] SAP 2000, Nolinear, (1997). *Integrate Finite Element Analysis and Design of Structural*, Computers and structures, Inc, University de Berkeley, California, USA, (Version 6.1).
- [7] Olarte, J., Proaño, R., Torres, R., Rojas, V. (2000). *Análisis Dinámico y Técnicas de Reforzamiento en estructuras*, Asociación Española de Ingeniería Sísmica, 1er Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, AEIS, Madrid, España.
- [8] Urrego, O., Urrego, H., Rua, J., (2000). *Rehabilitación Sísmica de edificaciones Indispensable*, Asociación Española de Ingeniería Sísmica, 1er Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, AEIS, Madrid, España.