

Riesgo sísmico en las edificaciones de la facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

Miguel A. Mosqueira Moreno¹

¹Universidad Nacional de Cajamarca, E-mail:mosqueira_ma@hotmail.com

RESUMEN

En ésta investigación se determinó el riesgo sísmico de las edificaciones de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú con el fin de predecir el comportamiento de las edificaciones frente a un sismo severo, previniendo así los posibles daños que se puedan producir. La Facultad de Ingeniería es la más antigua y extensa facultad de la Universidad Nacional de Cajamarca y alberga a las escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Geológica, Ingeniería Hidráulica, Ingeniería de Minas y Metalurgia. Las edificaciones están ubicadas en una zona de alta sismicidad y sobre un suelo de baja resistencia. Para determinar su riesgo sísmico se ha realizado un levantamiento arquitectónico, estructural y se determinó la resistencia de elementos portantes usando el esclerómetro. La información recogida permitió construir modelos mediante el uso de programas computacionales lo cual permitió evaluar el comportamiento estructural de las edificaciones ante un sismo severo, los resultados de estos análisis fueron procesados en fichas donde se obtuvo la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de cada pabellón. Los resultados obtenidos indican que las edificaciones tiene un riesgo sísmico alto y ante un sismo severo, se produciría fallas de columna corta, colapso de tabiques debido a la falta de elementos de arriostre y de las edificaciones, efecto que se extenderá a todos las edificaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca debido a la similitud de sus sistemas estructurales.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, peligro sísmico, riesgo sísmico.

ABSTRACT

In this investigation we determined the seismic risk of the Faculty of Engineering, of "Universidad Nacional de Cajamarca, Perú" in order to predict the behavior of buildings facing a severe earthquake, thus preventing any damage that may occur. The Faculty of Engineering is the oldest and largest faculty of the "Universidad Nacional de Cajamarca" and comprises the schools of Civil Engineering, Systems Engineering, Geological Engineering, Hydraulic Engineering, Mining Engineering and Metallurgy. The buildings are located in a zone of high seismicity and on soils with low resistance. To determine its risk seismic an architectural and structural study and the bearing elements strength was determined by using a rebound hammer. The information gathered allowed to build models using computer software which allowed us to evaluate the structural behavior of buildings against a severe earthquake, the results of which were processed and yielded the vulnerability, hazard and seismic risk of each block. The results revealed that the buildings has a high seismic risk and under a severe earthquake it may occur short column failures, its walls may collapse due to lack of bracing elements, all this leading to the collapse of buildings, this effect may propagate to whole buildings of "Universidad Nacional de Cajamarca" due to the similarity of their structural systems.

Keywords: seismic vulnerability, seismic hazard, seismic risk

I. INTRODUCCIÓN

Los efectos sísmicos sobre las estructuras siempre han sido y serán materia de investigación, debido a las pérdidas económicas y de vidas humanas que causan. Para ello es importante determinar e identificar las zonas de mayor ocurrencia sísmica.

El Perú se encuentra en una zona altamente sísmica pues se encuentra dentro del círculo de fuego, zona en la que se producen el 80% de sismos del mundo. En el Perú la mayoría de sismos ocurren

por la convergencia tectónica de la placa Oceánica (Nazca) y la placa Continental (Sudamericana), esta interacción de placas se da en una zona de subducción, pues estas placas se acercan y se mete una debajo de otra a razón de aproximadamente 9 cm/año, Kuroiwa (2010:22), esto ocasiona liberación de energía en forma de ondas sísmicas.

Cajamarca, departamento ubicado en la zona nor-oeste del Perú, según el reglamento nacional de construcción NTE-030, MTC (2003:6) está ubicada en la zona sísmica 03, considerada una zona de alta actividad sísmica. Según estudios de microzonificación sísmica realizados por el Instituto de Defensa Civil, la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca se encuentra ubicada en una zona de intensidad sísmica muy severa, por lo que en el diseño y construcción de sus edificaciones se debe contemplar estos eventos.

Ante la alta sismicidad existente del país se han generado normas que intentan evitar daños severos en las edificaciones y pérdida de vidas humanas. En 1970, se publicó uno de los primeros reglamentos nacionales de construcción pero solo hasta 1977 se difunde las normas de diseño sismorresistente, donde se muestra, por primera vez, un mapa de zonificación sísmica del Perú, mapa que ha servido de base para la actual norma NTE-030, MTC (2003:6).

Pero a pesar de los avances tecnológicos y las nuevas normativas aún se sigue incurriendo en errores de diseño, construcción y otros que elevan la vulnerabilidad de las edificaciones debido a que en muchos lugares no se aplica adecuadamente la normativa y más aún en edificaciones de gran importancia como los colegios, universidades y hospitales.

En los terremotos importantes que han afectado el Perú, los daños en las edificaciones escolares tradicionales se han originado fundamentalmente en el pobre desempeño del sistema apertado longitudinal. La falta de rigidez en la dirección más larga desencadena el conocido problema de columna corta que puede conducir a daño importante pero reparable o daño tan severo y extendido que no deja posibilidades de reparación, Muñoz et al (2001:3).

La Facultad de Ingeniería es una de las facultades más antiguas y más grande de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), pues fue creada el 4 de julio de 1963 y en la actualidad alberga a 1574 estudiantes, aproximadamente al 20 % de la población universitaria, de las escuelas profesionales de Ingeniería Civil, Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Geológica, Ingeniería Hidráulica y la recién creada el año 2012 Ingeniería de Minas y Metalurgia. Las edificaciones asignadas a la Facultad de Ingeniería son los pabellones 1A, 1B, 1C y 4J, estas edificaciones se encuentran en mal estado, pudiendo observarse ventanas pandeadas, fisuras, grietas en vigas y columnas, asentamientos diferenciales, acero expuesto y corroído, entre otras fallas.

Ante los problemas existentes en las edificaciones que albergan a los estudiantes de ingeniería, existe gran preocupación, pues esto constituye una situación de riesgo para los estudiantes de esta facultad. Es por ello que es importante determinar y predecir cómo se comportarán estas edificaciones durante un sismo, con el fin de evitar pérdidas económicas y de vidas humanas que pueden darse durante un sismo.

Una forma de determinar los posibles daños que las edificaciones sufrirán durante un sismo, es determinar la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo sísmico. La vulnerabilidad sísmica es el nivel de daño que pueden sufrir las edificaciones realizadas por el hombre durante un sismo y depende de las características del diseño de la edificación, de la calidad de materiales y de la técnica de construcción, Kuroiwa (2002:5). El peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo definido, Bommer et al. (1998:5). El riesgo sísmico es el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica, Bonett (2003:19), Barbart (1998:231). También, el riesgo sísmico es definido como una función de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico, que de forma general se puede expresar como: riesgo = peligro x vulnerabilidad, Kuroiwa (2010:66).

En resumen podemos plantear las siguientes justificaciones para realizar este trabajo de investigación:

- Justificación Práctica. La Facultad de Ingeniería de la UNC se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad, sus edificaciones en su mayoría tienen una antigüedad mayor a 30 años y se encuentran muy deterioradas. Por lo que las edificaciones de la Facultad de Ingeniería son

inseguras y que es posible que ante un sismo severo (aceleración sísmica de 0,4g) estas colapsen ocasionando daños materiales y pérdida de vidas humanas. Es por ello que en esta investigación se intenta cumplir con las funciones de la ciencia la cual es, describir el estado actual de los edificios de la facultad de ingeniería, explicar las fallas que se producen en los edificios y predecir su posible comportamiento ante un sismo. Para ello es necesario determinar el grado de vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico.

- Justificación Teórica. Con el fin de determinar la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, se evaluará una serie de aspectos establecidos en la NTE-030 con el fin de verificar si las edificaciones cumplen con la filosofía y los principios del diseño sismorresistente.

"La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdidas de vidas*
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos*
- c. Minimizar los daños a la propiedad."* MTC (2003:4).

- Justificación Metodológica. Existen muchas metodologías para evaluar la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico, todas son complejas y tienen múltiples aplicaciones. En esta investigación se usa la metodología propuesta por Marcial (2005: 31-45), adaptándola para edificaciones de tipo aporticadas de tipo educacional. La metodología planteada es simple en comparación a otras, cumpliendo con un principio de la ciencia, la navaja de Ockham según el cual cuando dos teorías en igualdad de condiciones tienen las mismas consecuencias, debe preferirse la teoría más simple a la más compleja.

El problema que se trató de resolver fue: ¿Cuál es el nivel de riesgo sísmico en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca?

La Hipótesis que se planteó como posible solución al problema fue: "El riesgo sísmico de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca es alto, debido a su elevada vulnerabilidad y peligro sísmico".

El principal objetivo planteado para el desarrollo de la investigación fue el de determinar el riesgo sísmico de las edificaciones de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, determinando en función de la vulnerabilidad y el peligro sísmico.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 OBJETO DE ESTUDIO

La población de estudio estuvo constituida por los edificios que conforman los 50 pabellones de la Universidad Nacional de Cajamarca. Los edificios tienen características comunes, en su mayoría son edificaciones de 2 a 3 niveles con un sistema estructural aporticado.

La selección de la muestra se realizó empleando un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia y está constituida por los edificios que conforman los pabellones 1A, 1B, 1C y 4J, edificaciones asignadas para desarrollar labores académicas y administrativas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

- El pabellón 1A es el pabellón emblemático de la Universidad Nacional de Cajamarca pues fue la primera edificación que se construyó en su ciudad universitaria, está conformado por dos edificaciones de tres pisos y tiene un área construida total de 2008 m², su construcción concluyó en 1967.
- El pabellón 1B es el segundo edificio más antiguo de la Universidad Nacional de Cajamarca, está conformado por una edificación de dos pisos y tiene un área construida de 1070 m², su construcción concluyó en 1969.

- El pabellón 1C está conformado por una edificación de tres pisos y tiene un área construida de 600 m², su construcción concluyó en 1974.
- El Pabellón 4J está conformado por una edificación de tres pisos y tiene un área construida de 1920 m², su construcción concluyó en el 2008.

Las edificaciones de la Facultad de Ingeniería son estructuras de tipo aporricadas conformados por vigas principales, vigas secundarias y columnas. Las secciones de sus elementos portantes y la cantidad de acero que contienen se observan en las siguientes figuras.

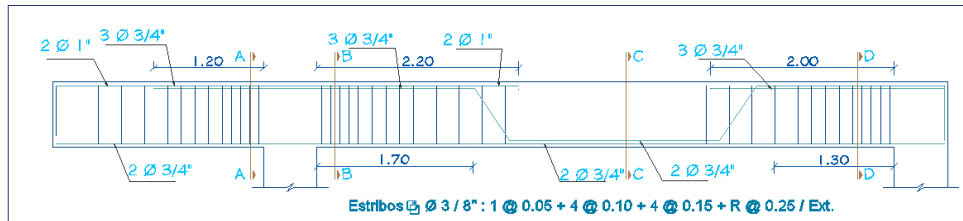


Fig. 2-1 Esquema de la viga principal Pabellón 1A.

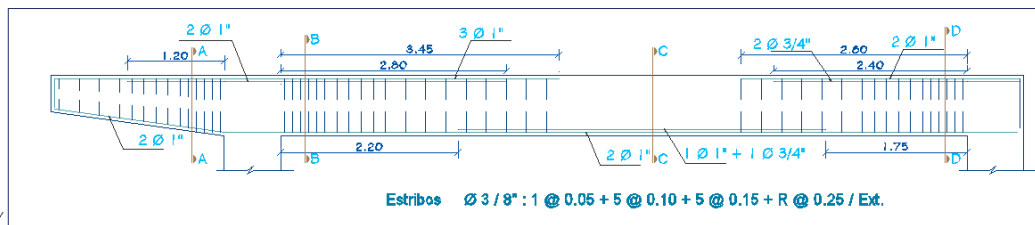


Fig. 2-2 Esquema de la viga principal Pabellón 1B.

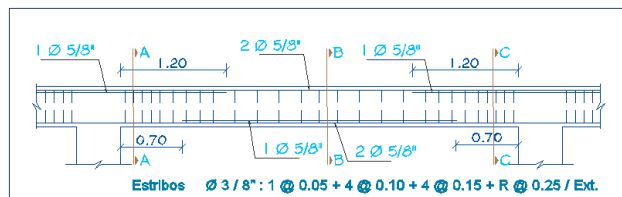


Fig. 2-3 Esquema de la viga principal Pabellón 1C.

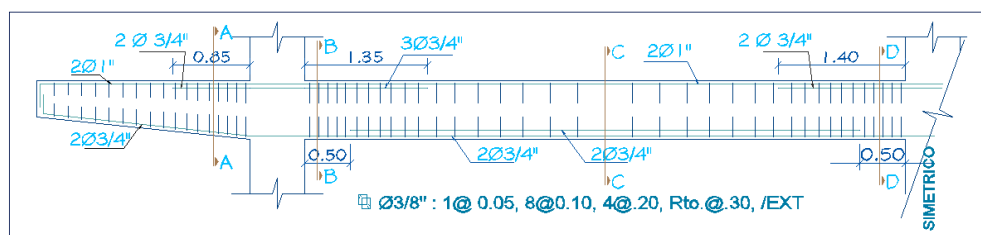


Fig. 2-4. Esquema de la viga principal Pabellón 4J.

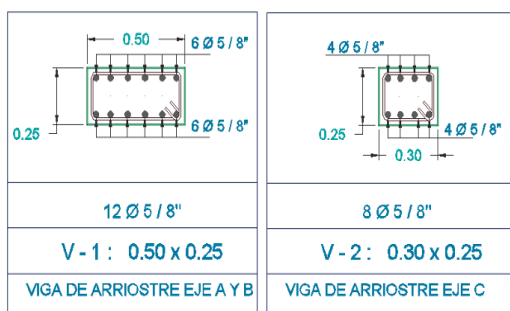


Fig. 2-5 Vigas secundarias, Pabellón 1A.

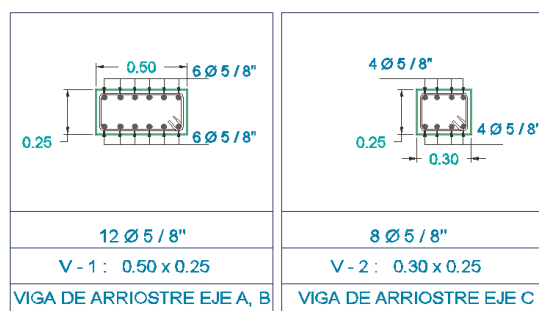


Fig. 2-6 Vigas secundarias, Pabellón 1B

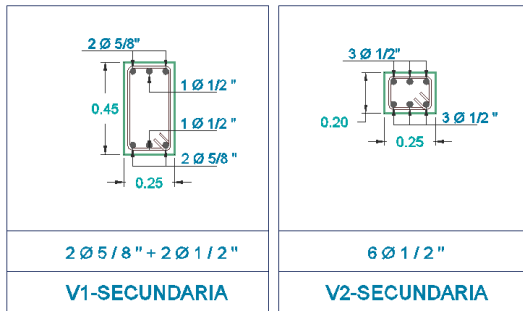


Fig. 2-7 Vigas secundarias, Pabellón 1C

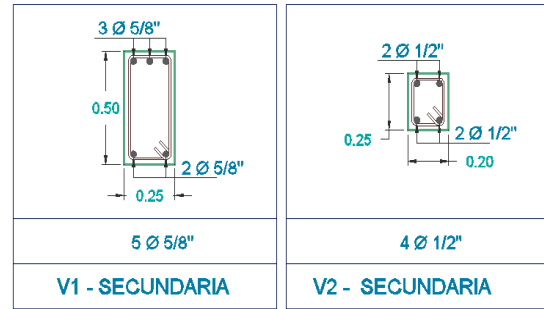


Fig. 2-8 Vigas secundarias, Pabellón 4J

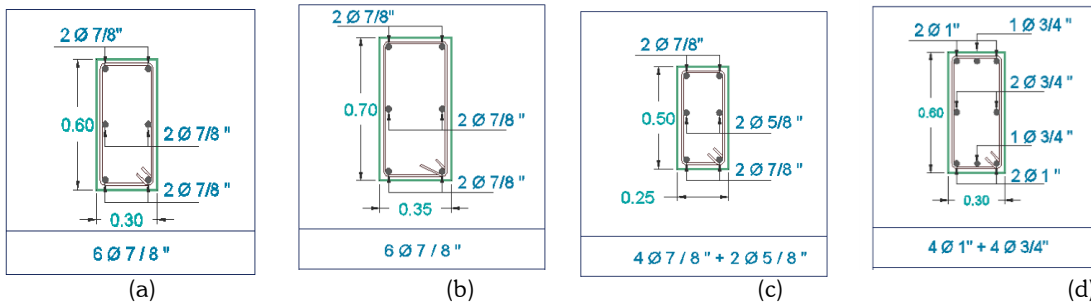


Fig. 2-9 (a) Esquema de columnas, Pabellón 1A. (b) Esquema de columnas, Pabellón 1B. (c) Esquema de columnas, Pabellón 1C. (d) Esquema de columnas, Pabellón 4J.

2.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS

En este trabajo se aplicó una metodología basada en la ecuación propuesta por Kuroiwa (2002:5), dicha ecuación fue fundamentada y aplicada para edificaciones de albañilería confinada por Blondet (2002:31-45) la que permitió calcular de manera numérica la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico, para luego asignarle una calificación de buena, regular o mala. En esta investigación se adaptó dicha metodología para edificaciones de tipo aporticadas.

$$\text{Riesgo Sísmico} = 0,5 \times \text{Peligro Sísmico} + 0,5 \times \text{Vulnerabilidad Sísmica} \quad (1)$$

Para determinar la vulnerabilidad sísmica se ha analizado la vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad no estructural, según lo sugerido por Kuroiwa (2002:5). La vulnerabilidad estructural se estimó en función del comportamiento sísmico y el estado actual de la edificación. La vulnerabilidad no estructural se estimó en función de la estabilidad de tabiques, estos parámetros han sido adaptados para edificaciones aporticadas de la propuesta de Blondet (2005:41) para edificaciones de albañilería confinada.

El comportamiento sísmico se ha determinado usando programas computacionales como el Sap 2000 y el Etabs. Estos programas nos permitieron realizar un análisis de la estructuras ante cargas muertas, vivas y sísmicas determinando como resultados importantes los desplazamientos laterales (D_x , D_y), distorsiones angulares (D_x/H_e , D_y/H_e), momento nominal actuante en las secciones de las vigas y el acero necesario de las secciones de las columnas. Para dicho análisis se usó el reglamento nacional de edificaciones la NTE-020 de cargas, MTC (1985), la NTE-030 de diseño sismorresistente, MTC (2003) y la NTE-060 de concreto armado, MTC (2009).

En la que NTE-030 se establece la ecuación para calcular la pseudo aceleración sísmica, la cual nos permite simular un sismo a través de un espectro de diseño, MTC (2003:23).

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R} \cdot g \quad (2)$$

En dónde Z es el factor de zona, U es el factor de uso, S es el factor de suelo, C es el factor de amplificación sísmica, R es el factor de reducción por ductilidad, g es la aceleración de gravedad.

Para determinar el momento actuante en las vigas de la estructura se usó la combinación de cargas propuesta por el reglamento nacional de edificaciones NTE-060, MTC (2009:65), generándose una envolvente con los valores máximos positivos y negativos de los momentos internos que se generan.

$$\begin{aligned} Mu &= 1,4 M_{CM} + 1,7 M_{CV} \\ Mu &= 1,25 (M_{CM} + M_{CV}) \pm M_{CS} \\ Mu &= 0,9 M_{CM} \pm M_{CS} \end{aligned} \quad (3)$$

En dónde MU es el momento último actuante, MCM es el momento debido a carga muerta, MCV es el momento debido a carga viva, MCS es el momento debido a carga sísmica. El momento nominal actuante es igual al Mu/0.9

Para determinar el momento nominal resistente de las secciones de las vigas doblemente reforzadas, Fig. 2-10, se usó la ecuación (4). Ottazzi (2008:267)

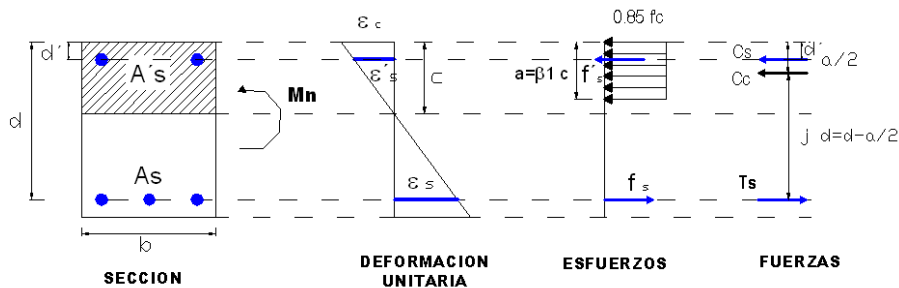


Fig. 2-10. Sección rectangular de concreto simplemente reforzado. Morales (2008:21).

$$Mn = A's \cdot f's (d - d') + 0,85 f'c \cdot b \cdot a \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4)$$

En dónde Mn es el momento nominal resistente, f's es el esfuerzo del acero en compresión, fs es el Esfuerzo del acero en tracción, f'c es la resistencia a compresión del concreto, As es el área de acero en tracción, A's es el área de acero en compresión, b es el ancho de la sección, d es el Peralte efectivo, d' es el peralte efectivo del acero en compresión, a es la altura del bloque de compresión.

Luego se concluye en las siguientes relaciones:

- Si Momento nominal resistente \geq Momento nominal actuante, la viga es la adecuada
- Si Momento nominal resistente $<$ Momento nominal actuante, la viga es la inadecuada

Para determinar el acero requerido por las columnas, considerando los efectos del sismo, se usó lo propuesto por el reglamento nacional de construcción para elementos sometidos a flexo compresión y flexión biaxial, en la cual se determina el acero requerido mediante el del programa Sap 2000. Para determinar el acero existente en las columnas se tomó en cuenta el número de barras y el diámetro de las barras de acero que tiene la sección. Luego se comparó teniendo en cuenta las siguientes relaciones:

- Si Acero existente \geq Acero necesario, la sección de la columna es adecuada
- Si Acero necesario $<$ Acero existente, la sección de la columna es inadecuada

Finalmente teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se consideran tres tipos de comportamiento:

- Comportamiento adecuado, si las secciones de las vigas y columnas existentes son suficientes para soportar las cargas a las cuales están sometidos y los desplazamientos relativos de entrepiso son menores a 0,007 NTE-030, MTC (2003:16)
- Comportamiento aceptable, si las secciones de las columnas existentes son suficientes para soportar las cargas a las cuales están sometidas, las vigas soporta cargas muertas y vivas pero ante cargas sísmicas pueden fallar y los desplazamientos relativos de entrepiso son menores a 0,007. NTE-030, MTC (2003:16)
- Comportamiento inadecuado, si las secciones de las columnas y vigas son insuficientes para soportar las cargas a las cuales están sometidas y los desplazamientos relativos de entrepiso son mayores a 0,007. NTE-030, MTC (2003:16)

El estado actual de la edificación (buena, regular, o mala calidad) fue evaluado teniendo en cuenta las fisuras, grietas, deflexiones y asentamientos en: tabiques, vigas y columnas.

La evaluación de la estabilidad de muros (tabiques), se basa en la comparación del momento actuante debido a cargas perpendiculares al plano del muro, San Bartolomé (1998:85) y el momento resistente paralelo al plano del muro. Para dicho cálculo se empleó la metodología propuesta en la NTE-070, MTC (2006:50)

El momento flector distribuido por unidad de longitud (M , en kg-m/m), producido por la carga sísmica " ω ", se calculará mediante la siguiente fórmula, MTC (2006:51).

$$M = m \cdot \omega \cdot a^2 \quad (5)$$

En dónde m es el coeficiente de momento, a es la dimensión crítica del paño de albañilería en metros. ω es la carga por metro cuadrado de muro. La magnitud de la carga (ω , en kg/m²) para un metro cuadrado de muro se calculará mediante la siguiente expresión, MTC (2006:50):

$$\omega = Z \cdot U \cdot C \cdot \gamma \cdot t \quad (6)$$

En dónde Z es el factor de zona, U es el factor de importancia, C es el coeficiente sísmico, t es el espesor bruto del muro en metros, γ es el peso volumétrico de la albañilería.

Para determinar el momento resistente a tracción por flexión del muro (M_r) se utilizó la siguiente fórmula, Blondet (2005:38)

$$M_r = 1,703 \cdot t^2 \quad (7)$$

En dónde M_r es el momento resistente a tracción por flexión (TN f m/m), t es el espesor bruto del muro en metros.

Finalmente se compara el valor de las ecuaciones 5 y 7, y se concluye en las siguientes relaciones:

- Si $M_a \leq M_r$ el muro es estable.
- Si $M_a > M_r$ el muro es inestable

En la evaluación de la vulnerabilidad se ha considerado el comportamiento sísmico, el estado actual de la edificación y la estabilidad de tabiques, en los porcentajes que se observan en la tabla 2.01, para su cálculo se reemplaza los valores asignados en la ecuación (8) y se asigna la calificación de alta, media o baja según la tabla 2.02.

Los valores asignados a cada parámetro se reemplazan en la ecuación 7 para calificar numéricamente la vulnerabilidad sísmica de las viviendas. En la Tabla 2.02 se pueden apreciar los rangos numéricos para determinar la vulnerabilidad sísmica siendo esta baja, media o alta.

Tabla 2.01 Parámetros para evaluar la vulnerabilidad sísmica (Blondet, 2005:40)

Estructural		No estructural	
Comportamiento Sísmico (60%)		Estado Actual (30%)	Estabilidad de Muros (10%)
Adecuada	1	Buena calidad	1
Aceptable	2	Regular calidad	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3

$$\text{Vulnerabilidad Sísmica} = 0,6 \times \text{Comportamiento Sísmico} + 0,3 \times \text{Estado Actual} + 0,1 \times \text{Estabilidad de Muros} \quad (8)$$

Tabla 2.02 Rango numérico para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, (Blondet, 2005:40)

Vulnerabilidad sísmica	Rango		
Baja	1	a	1,4
Media	1,5	a	2,1
Alta	2,2	a	3

En la evaluación del peligro sísmico (alto, medio o bajo) se está considerando: la sismicidad, el tipo de suelo y la topografía de la zona sobre la que está construida la edificación.

La sismicidad se clasifica según la NTE-030 en tres zonas sísmicas. Z3 zona de alta sismicidad, con máxima del terreno de 0,4. Z2 zona de moderada sismicidad con aceleración máxima del terreno de 0,3 y Z1 zona de baja sismicidad con aceleración máxima del terreno de 0,15. MTC (2003:6). El tipo de suelo se clasifica según la Norma NTE-030 en: S1 para roca o suelos muy rígidos, S2 son los suelos intermedios y S3 son los suelos flexibles. MTC (2003:10). La evaluación de la topografía es clasificada en función de la pendiente, considerándose plana si la pendiente es menor a 15 %, media si la pendiente es mayor a 15 %, pero menor a 50 % y pronunciada aquella cuya pendiente es mayor a 50 %.

Tabla 2.03 Valores de los parámetros del peligro sísmico (Blondet, 2005:41)

Sismicidad (40%)	Suelo (40%)	Topografía (20%)
Baja	Rígido	Plana
Media	Intermedio	Media
Alta	Flexible	Pronunciada

Los valores asignados a cada parámetro se reemplazan en la ecuación 9, Blondet (2005:41) para calificar numéricamente el peligro sísmico, el valor obtenido es comparado con los rangos numéricos evaluados en la tabla 2.04, asignándole una calificación de peligro sísmico alto, medio o bajo ver tabla 2.05.

$$\text{Peligro Sísmico} = 0,4 \times \text{Sismicidad} + 0,4 \times \text{Suelo} + 0,2 \times \text{Topografía} \quad (9)$$

Tabla 2.04 Rango de valores para el cálculo del peligro sísmico (Blondet, 2005: 41)

Sismicidad	Peligro sísmico	Rango
Alta	Bajo	1,8
	Medio	2 a 2,4
	Alto	2,6 a 3
Media	Bajo	1,4 a 1,6
	Medio	1,8 a 2,4
	Alto	2,6
Bajo	Bajo	1 a 1,6
	Medio	1,8 a 2
	Alto	2,2

Tabla 2.05 Calificación del riesgo sísmico. (Blondet, 2005:43)

RIESGO SISMICO				RIESGO SISMICO			
Vulnerabilidad Peligro	3	2	1	Vulnerabilidad Peligro	Baja	Media	Alta
	3	3	2.5		2	Bajo	BAJO
2	2.5	2	1.5	Medio	MEDIO	MEDIO	ALTO
1	2	1.5	1	Alto	MEDIO	ALTO	ALTO

Riesgo sísmico alto, significa que la edificación sufrirá daños importantes ante un sismo severo (aceleración sísmica de 0,4 de la aceleración de la gravedad), existe gran probabilidad que la edificación colapse ya que no tiene un adecuado comportamiento sísmico y se encuentra sobre suelo flexible.

Riesgo sísmico medio, significa que la edificación tiene aceptable comportamiento sísmico y se encuentra sobre un suelo rígido o intermedio. Los pórticos y muros de la edificación podrían sufrir daños menores y algunos parapetos podrían colapsar parcial o totalmente.

Riesgo sísmico bajo, significa que la edificación tiene adecuado comportamiento sísmico y el estado actual de la edificación es de regular a buena. La edificación se encuentra sobre suelo rígido sin pendiente y solo podría sufrir el colapso parcial o total de sus tabiques.

III. RESULTADOS

Para determinar la vulnerabilidad sísmica, se realizó un análisis sísmico de los pabellones que conforman la Facultad de Ingeniería de la UNC, evaluando su comportamiento frente a cargas de servicio y frente a un sismo severo (0,4g). Se consideró como aspectos importantes: los desplazamiento laterales, desplazamiento relativo de entrepiso (en las direcciones ortogonales "x" e "y": D_x/H_e , D_y/H_e), la comparación del Momento nominal resistente (M_{nr} , en TNf-m) con el momento actuante (M_{na} , en TNf-m) de las vigas. Para evaluar las columnas se ha comparado el área de acero existente (cm^2) y área de acero necesario (cm^2). Los dos últimos aspectos fueron evaluados bajo dos consideraciones, una con cargas muertas y vivas; otra considerando además de las cargas ya mencionadas el efecto del sismo.

Se ha determinado usando el programa Sap 2000, que las edificaciones durante un sismo severo sufrirán los desplazamientos laterales y desplazamientos relativos de entrepiso que se muestran en la tabla 3.01.

Tabla 3.01. Desplazamientos laterales y Desplazamientos relativos de entrepiso de las edificaciones

EDIFICACIÓN	Entrepiso	DX (m)	DY (m)	D_x/H_e	D_y/H_e
1A	1	0,0120	0,0320	0,0033	0,0088
	2	0,0278	0,0749	0,0042	0,0114
	3	0,0371	0,0999	0,0057	0,0154
1 B	1	0,0046	0,0189	0,0014	0,0056
	2	0,0108	0,0444	0,0017	0,0073
1C	1	0,0108	0,0241	0,0034	0,0075
	2	0,0224	0,0417	0,0039	0,0059
	3	0,0249	0,0557	0,0048	0,0136
4J	1	0,0111	0,0273	0,0034	0,0084
	2	0,0248	0,0517	0,0042	0,0075
	3	0,0313	0,0586	0,0055	0,0107

Al evaluar los momentos resistentes y momentos actuantes en TNf-m, de la viga principal del pabellón 1A, 1B Y 4J se ha considerado cuatro secciones de análisis como se observa en las Figuras. 2-1, 2-2, y 2-4, los resultados de esta comparación se muestran en la tablas 3.02, 3.03. En el caso del pabellón 1C debido a la simetría en la colocación del acero, se ha considerado dos secciones de análisis uno de momento positivo y otro de momento negativo. Fig. 2-3, los resultados se muestran en la tabla 3.03. Esto resultados son consecuencia de usar la ecuación (3) y la ecuación (4) en cada una de las secciones mencionadas

Tabla 3.02. Momento nominal resistente (en TNf-m) y momento nominal actuante (en TNf-m), de la viga principal Pabellón 1A Y 1B

PABELLON	1A				1B			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Mn resistente	-44,46	-44,46	28,83	-35,98	-67,63	-67,63	47,44	-42,07
Mn actuante (sin sismo)	-29,9	-40,58	20,44	-22,25	-41,45	-72,70	35,80	-45,05
Mn actuante (con sismo)	-30,02	-41,50	20,48	-26,00	-41,57	-72,75	35,86	-45,66

Tabla 3.03. Momento nominal resistente (en TNf-m) y momento nominal actuante (en TNf-m), de la viga principal Pabellón 1C Y 4J

PABELLON	1C		4J			
	A y C	B	A	B	C	D
Mn resistente	-9,21	9,21	-41,48	-41,48	26,63	-41,48
Mn actuante (sin sismo)	-9,20	4,99	-39,01	-38,28	18,85	-33,58
Mn actuante (con sismo)	-11,15	4,99	-39,11	-43,14	18,85	-36,38

Al evaluar los momentos resistentes y momentos actuantes con las ecuaciones (3) y (4) de las vigas secundarias de las figuras: 2-5, 2-6, 2-7 y 2-8, se ha considerado dos secciones: uno referido a momento máximo negativo y el otro al momento máximo positivo. Los resultados se observan en las tablas: 3.04 y 3.05.

Tabla 3.04. Momento nominal resistente (en TNf-m) y momento nominal actuante (en TNf-m) de la viga secundaria

PABELLON	1A				1B			
	V1		V2		V1		V2	
	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)
Mn resistente	8,45	8,45	5,67	5,67	8,45	8,45	5,67	5,67
Mn actuante (sin sismo)	6,04	2,73	4,22	1,88	4,50	2,80	4,22	0,25
Mn actuante (con sismo)	9,58	3,24	4,71	1,99	6,05	3,00	4,30	0,25

Tabla 3.05. Momento nominal resistente (en TNf-m) y momento nominal actuante (en TNf-m) de la viga secundaria

PABELLON	1C				4J			
	V1		V2		V1		V2	
	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)
Mn resistente	7,05	7,05	2,19	2,19	10,46	10,46	2,9	2,9
Mn actuante (sin sismo)	6,81	4,24	1,51	0,70	5,84	2,84	1,63	0,79
Mn actuante (con sismo)	9,61	1,25	1,51	0,70	11,39	3,80	1,64	0,80

Al analizar el acero existente en las columnas de las figuras: Fig. 2-9 y compararlo con el acero necesario calculado usando el programa Sap 2000, teniendo en cuenta dos condiciones: acero necesario con sin sismo y acero necesario sin sismo en cm^2 , los resultados de esta comparación se muestran en la tabla 3.06.

Tabla 3.06. Acero Existente y Acero necesario de la columnas, en cm^2

PABELLON PISO	1A			1B		1C			4J		
	1er	2do.	3er.	1er.	2do.	1er.	2do.	3er.	1er.	2do.	3er.
Acero Existente	23,28	23,28	19,50	23,28	23,28	19,50	19,50	19,50	31,76	31,76	31,76
Acero Necesario (sin sismo)	18,00	18,00	18,00	22,50	22,50	11,25	11,25	11,25	18,00	18,00	18,00
Acero Necesario (con sismo)	40,72	27,84	20,41	97,50	69,44	40,17	26,56	13,84	83,34	34,80	18,00

La vulnerabilidad no estructural, se determinó teniendo en cuenta la estabilidad de los tabiques ante carga perpendicular al plano, puesto que ante este tipo de cargas ya que ante este tipo de cargas se producen la mayoría de fallas frágiles ante sismo, para esto se han evaluado dos tabiques típicos de cada pabellón, se comparó el momento actuante ($M_a = 0,4C_1 \cdot m \cdot P \cdot a^2$ en TNf-m/m) y el momento resistente ($M_r = 1,703 \text{ t}^2$ en TNf-m/m), los resultados se muestran en la tabla 3.07.

Tabla 3.07. Inestabilidad de tabiques

Pabellón	Muro	Factores					Ma	Mr	Resultado Ma : Mr
		C1 adim.	m adim.	P TNf/m2	a m	t m			
1A	M1	0,9	0,50	0,255	3,0	0,25	0,41	0,11	Inestable
	M2	0,9	0,50	0,255	1,4	0,15	0,09	0,04	Inestable
1B	M1	0,9	0,50	0,255	3,2	0,25	0,47	0,11	Inestable
	M2	0,9	0,50	0,255	1,1	0,15	0,06	0,04	Inestable
1C	M1	0,9	0,50	0,255	3,2	0,25	0,47	0,11	Inestable
	M2	0,9	0,50	0,255	1,2	0,15	0,07	0,04	Inestable
4J	M1	0,9	0,08	0,255	3,9	0,25	0,10	0,11	Estable
	M2	0,9	0,13	0,255	1,1	0,15	0,01	0,04	Estable

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores y usando la metodología explicada en el capítulo anterior se determinó la vulnerabilidad sísmica. Los pabellones 1A, 1B, 1C tienen las mismas características y calificación de sus parámetros Estructurales y no estructurales, los cuales se observan en la tabla 3.08; la vulnerabilidad del pabellón 4J se ha calculado de manera separada puesto que la calificación de sus parámetros estructurales y no, son diferentes a los de los demás pabellones ver tabla 3.09.

Tabla 3.08. Vulnerabilidad de la estructura Pabellones 1A, 1B, 1C

Comportamiento	Estructural		No estructural		Vulnerabilidad
	Estado actual		Tabiquería y parapetos		
Adecuada:	Bueno		Todos estables		ALTA
Aceptable:	Regular	X	Algunos estables		
Inadecuada:	X Malo		Todos inestables	X	

Tabla 3.09- Vulnerabilidad de la estructura Pabellón 4J

Estructural		No estructural		Vulnerabilidad
Comportamiento	Estado actual	Tabiquería y parapetos		
Adecuada:	Bueno	X	Todos estables	ALTA
Aceptable:	Regular		Algunos estables	
Inadecuada:	X Malo		Todos inestables	

Para determinar el peligro sísmico se determinó la sismicidad, para ello se ha tenido en cuenta la zonificación sísmica establecida en la NTE E-030 (MTC. 2003) en la cual Cajamarca se encuentra ubicado en la zona de más alta sismicidad (Z3). Las características del suelo han sido extraídas de la base de datos del Laboratorio de Ensayos de Suelos, determinándose que el suelo predominante en la Facultad de Ingeniería es una arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL) de capacidad portante de 0,80 kg/cm², considerado dentro de la clasificación del NTE E-030 como un Suelos flexible. La topografía del valle de Cajamarca en donde se encuentra ubicada la ciudad universitaria es plana, teniendo una pendiente menor a 15%. El peligro sísmico al ser un factor que depende de las características del lugar de ubicación de las edificaciones es el mismo para los cuatro pabellones. (Ver tabla 3.10)

Tabla 3.10. Peligro de la estructura

Sismicidad	Suelo	Topografía	Peligro
Baja	Rígido	Plana	X
Media	Intermedios	Media	ALTO
Alta	X Flexibles	X Pronunciada	

Con los datos obtenidos en las tablas: 3.08, 3.09 y 3.10 y usando la metodología explicada en el capítulo anterior se determinó la riesgo sísmico de las edificaciones, obteniéndose similares resultados para los cuatro pabellones, ver tabla 3.11.

Tabla 3.11. Riesgo sísmico de los pabellones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca

Pabellón	Calificación		Resultado	
1A	Vulnerabilidad :	Alta	Riesgo	Alto
	Peligro :	Alto	Sísmico:	
1B	Vulnerabilidad :	Alta	Riesgo	Alto
	Peligro :	Alto	Sísmico:	
1C	Vulnerabilidad :	Alta	Riesgo	Alto
	Peligro :	Alto	Sísmico:	
4J	Vulnerabilidad :	Alta	Riesgo	Alto
	Peligro :	Alto	Sísmico:	

IV. DISCUSIÓN

En la tabla 3.01 se puede observar que los desplazamientos relativos de entrepiso ocasionados durante un sismo, en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería, son mayores en la dirección "Y" que en la "X, siendo incluso mayor al máximo permitido por NTE E-030 $D_i/H_i \leq 0.007$, MTC (2003:16). El desplazamiento en la dirección "Y" es mayor debido a que la sección transversal de las columnas en esta dirección tienen menor dimensión ocasionando que tengan menor momento de inercia y por ende menor rigidez lateral de las columnas ($KL=12EI/L^3$), pues a mayor momento de inercia, mayor rigidez y por ende menor desplazamiento lateral de la edificación ($Q = KL.D$).

En la tabla 3.01 también se aprecia que los desplazamientos laterales son a la junta sísmica existente entre edificaciones, por lo que los daños en las edificaciones durante un sismo serán mayores por colisión entre los edificios, además debido a que las edificaciones no cuentan con juntas de construcción entre tabiques y pórticos, esto generará un choque entre tabiques y pórticos ocasionado la falla típica de columna corta. Este tipo de falla se puede observar en el modelo estructural del pabellón 1A, ver Fig. 4-1.

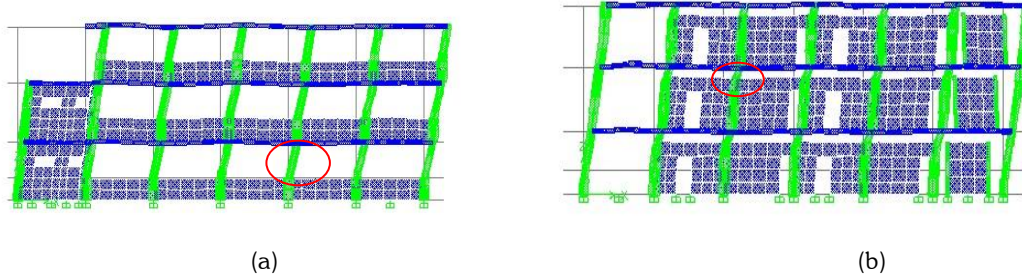


Fig. 4-1. (a) Visto Frontal, (b) Vista posterior del modelo estructural Edificio 1A.

La falla de columna corta se presenta se presenta debido a que hasta cierta altura la columna está atrapada entre muros, los muros restringen su movimiento y estas columnas cortas tienen que absorber mayor rigidez que una columna larga. Por ejemplo las alturas de las columnas del pabellón 1A son de 3 m, la altura libre de la columna corta en la fig. 4-1 (b) 0,5 m (CC), si reemplazamos estas alturas en la ecuación general del cálculo de rigidez ($KL=12EI/L^3$) tenemos $KCL = 0.44 EI$, $KCC=96 EI$. Por lo que la columna corta tendrá que soportar 200 veces más la fuerza sísmica que soportaría la columna larga, por lo cual esta columna frente a un sismo fallará.

Al evaluar las vigas principales de los pabellones 1A, 1C y 4J (tablas 3.02, 3.03), en todas las secciones se puede observar que ante cargas muertas y vivas, las secciones de concreto armado debido a su monolitismo y a su momento resistente, tienen un comportamiento adecuado; Sin embargo se aprecia que ante cargas de sismo las secciones no son adecuadas debido a que el momento nominal resistente es menor al momento nominal actuante, por lo que las vigas en dichas secciones fallarán, esto podrían llevar al colapso parcial o total de la edificación.

Al evaluar las vigas secundarias de los pabellones 1A, 1C y 4J (tablas 3.04, 3.05), en todas las secciones se puede observar que su comportamiento es muy similar al de las vigas principales, un adecuado comportamiento ante cargas muertas y vivas, pero inadecuado ante cargas de sismo, por lo que ante un sismo sufrirán daños severos.

Al evaluar las vigas principales y secundarias del pabellón 1B (tablas 3.02), se parecía que algunas de las secciones tienen comportamiento inadecuado ante cargas muertas y vivas, pues las secciones de concreto armado tienen menor momento nominal resistente en comparación con el momento nominal actuante. Este problema se acrecenta bajo efectos de cargas sísmicas, es por ello que los pórticos de dicho pabellón han sido reforzados con columnas de acero, esto se ha realizado con el fin de evitar la deflexiones excesivas y su posible colapso, pero no se ha considerado el efecto del punzonamiento de la columna de acero en el pórtico, observándose fisuras en dicha unión. Ver Fig. 4-2.



Fig. 4-2. Reforzamiento de los pórticos del pabellón 1B.

En las figuras 3-5 y 3-6, se aprecia que las vigas secundarias de los pabellones 1A y 1B, son vigas chatas (ancho mayor al peralte) de luz (L) de 4.8 m y de 25 cm de peralte (h), siendo éste menor al mínimo permitido para no controlar deformaciones propuesto por NTE-060 de Concreto Armado en la cual sugiere que el peralte sea mayor a $L/16$, MTC (2009:67). Si se aplica lo propuesto, la viga debería tener un peralte mayor 30 cm, por lo que dichas vigas sufren deflexiones que se pueden observar en las ventanas pandeadas producto de la deflexión de las vigas. Ver Fig. 4-3.

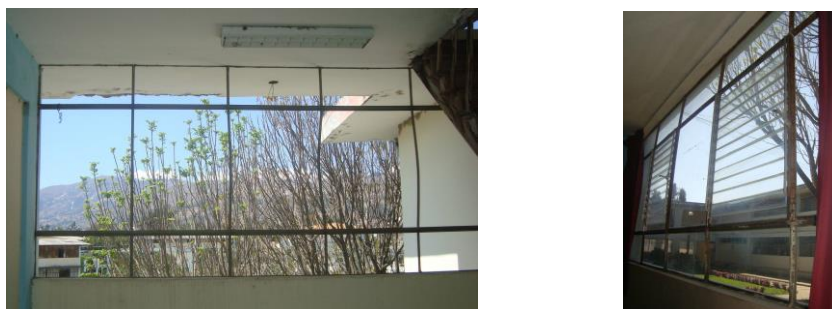


Fig. 4-3. Ventanas deformadas del pabellón 1A por deflexión en vigas secundarias.

Al evaluar las columnas de los pabellones 1A, 1B, 1C y 4J (tablas: 3.06, 3.07), se aprecia que todas las secciones de las columnas tienen comportamiento adecuado ante cargas muertas y vivas, pero ante cargas sísmicas la secciones y la cantidad de acero que contienen es inadecuado, por lo que en las columnas fallaran ante un sismo. Esta falla será de tipo frágil, puesto que las columnas fallan antes que las vigas, generando una falla progresiva por aplastamiento que genera inestabilidad del sistema estructural.

Al evaluar la estabilidad de los tabiques (tabla 3.07) se puede observar que en los pabellones 1A, 1B y 1C, pabellones en los cuales no existe junta de construcción entre pódico y tabique, el momento actuante es mayor al momento resistente, es por ello que los tabiques ante cargas perpendiculares al plano, generadas durante un sismo, son inestables, esto se debe a la falta de confinamientos de los tabiques, por lo que el muro trabaja como un muro en voladizo lo cual causará su colapso ante sismo. En el caso del pabellón 4J, en el cual existe junta de construcción entre tabique y pódico, además de contar con viguetas y columnetas de confinamiento, el momento actuante es menor al momento resistente, es por ello que los tabiques ante cargas perpendiculares al plano son estables. Por lo que se puede concluir que en edificaciones de tipo aporticada con tabiques confinados y aislados del sistema estructural resistente son estables y tienen un comportamiento adecuado ante un sismo.

De la tabla 3.08 y 3.09 se aprecia que los pabellones 1A, 1B y 1C de la Facultad de Ingeniería debido a su comportamiento sísmico inadecuado, conservación regular e inestabilidad de tabiques, tienen una vulnerabilidad sísmica alta. El Pabellón 4J a pesar de ser una edificación de tan solo 4 años de antigüedad, debido a su inadecuado comportamiento sísmico en el cual se contempla una falla frágil en las columnas también tienen vulnerabilidad Sísmica Alta.

Las edificaciones al estar ubicadas en una zona de alta sismicidad y al tener un suelo flexible de tipo arcilloso de baja plasticidad CL de resistencia de $0,80 \text{ kg/cm}^2$ (según estudios realizados en la UNCFIC) conllevan a que tenga un peligro sísmico alto (tabla 3.10).

Al combinar los factores antes mencionados podemos decir que la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca tiene un riesgo sísmico alto (tabla 3.11), por lo que ante un sismo severo (0,4g) las edificaciones sufrirán falla inicial en las columnas, produciéndose una falla frágil de columna corta, sus tabiques colapsarán, quedando las edificaciones cercanas al colapso.

El daño en las edificaciones aumenta debido al sistema estructural aporticado (flexible) y el tipo de suelo flexible, lo cual genera un efecto de amplificación dinámica, pues se sugiere en suelos blandos,

proyectar edificaciones de placas rígidas, evitando periodos de vibración similares del suelo y la edificación, evitando así el efecto de resonancia que conlleva al colapso de la estructura.

Los pabellones de la facultad de ingeniería no cumplen con la filosofía ni los principios de diseño sismorresistente propuesta en el Reglamento Nacional de Construcciones. NTE E-030, pues las edificaciones Colapsaran provocando posibles pérdidas de vidas humanas, no se asegurará la continuidad de los servicios y los daños a la propiedad serán elevados, todo esto se ve reflejado en su riesgo sísmico alto.

V. CONCLUSIONES

- 1) La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene vulnerabilidad sísmica, peligro sísmico y riesgo sísmico altos. Esto se debe a su comportamiento sísmico inadecuado, la inestabilidad de sus tabiques y su estado de conservación además de estar ubicada en una zona de alta sismicidad de la zona y un suelo de flexible.
- 2) Las edificaciones de la Facultad de Ingeniería tienen un adecuado comportamiento ante cargas muertas y vivas pero inadecuadas ante las cargas sísmicas, pudiendo llegar al colapso.
- 3) Durante un sismo severo se predice que las edificaciones de la Facultad de Ingeniería tendrán falla de columna corta, debido a la falta o inadecuada junta de construcción entre tabique y pórtico, además la columna corta tendrá que soportar hasta 200 veces más la fuerza sísmica que una columna larga.
- 4) Se predice que la falla del sistema estructural de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNC ante un sismo severo, será de tipo frágil, puesto que los elementos que inicialmente fallarán son las columnas antes que las vigas, volviendo al sistema frágil e inestable.
- 5) Las edificaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca, al tener un sistema estructural propio de una institución educativa tradicional sufrirán grandes daños ante sismo severo

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBAT, A. (1998). **El riesgo sísmico en el diseño de edificios, calidad siderúrgica**, Madrid.
- BLONDET, M. TARQUE, N. MOSQUEIRA, M. (2005). **Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana**. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- BOMMER, J. SALAZAR, W. y SAMAYOA, R. (1998). **Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador**. Programa Salvadoreño de Investigación sobre desarrollo y medio ambiente-San Salvador, El Salvador.
- BONETT, R. (2003). **Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios, aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada**. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- KUROIWA, J. (2002). **Reducción de desastres – Viviendo en armonía con la naturaleza**. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Lima.
- KUROIWA, J. (2010). **Alto a los Desastres**. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Lima.
- MORALES, R. (2004). **Diseño en concreto armado**. Instituto de la construcción y gerencia (ICG), Lima
- MTC. (1985). **Norma Técnica de Edificaciones 020 de Cargas (NTE-020), Reglamento nacional de construcciones**. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Lima.
- MTC. (2003). **Norma Técnica de Edificaciones 030 de Diseño sismorresistente (NTE-030), Reglamento nacional de construcciones**. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Lima.
- MTC. (2006). **Norma Técnica de Edificaciones 070 de Albañilería (NTE-070), Reglamento nacional de construcciones**. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Lima.
- MTC. (2009). **Norma Técnica de Edificaciones 060 de Concreto armado (NTE-060), Reglamento Nacional de Construcciones**. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Lima.

- MUÑOZ, A. LEÓN, H. QUINTANA, U. (2001). **Desempeño sismorresistente de los colegios peruanos modernos**. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- OTTAZI, G. (2008). **Diseño en concreto armado**. Capítulo Peruano del American Concrete Institute (ACI PERU), Lima.
- SAN BARTOLOMÉ, A. (1998). **Construcciones de albañilería – Comportamiento sísmico y diseño estructural**. Fondo Editorial PUCP. Lima.