

CAPÍTULO I

EVALUACIÓN DEL BLOQUE DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA (ICA – PERÚ)

RESUMEN

En este capítulo se presenta un análisis del sismo de Perú del 15 de agosto del 2007, cuantificación de víctimas y daños estructurales.

Además, se analiza el comportamiento en el tiempo del Bloque de Enfermería de la Universidad San Luis Gonzaga de Ica – Perú ante las componentes Norte – Sur y Este – Oeste de este sismo.

Finalmente, se compara la magnitud de daños en elementos estructurales y no estructurales del Bloque de Enfermería con el de otras edificaciones de la Universidad ante el sismo del 15 de agosto del 2007.

1.1 SISMO DE PERÚ DEL 15 DE AGOSTO DEL 2007

1.1.1 Descripción del evento

A las 18h41 (hora local) del día miércoles 15 de agosto del 2007, en la región central del Perú se presentó un gran sismo que alcanzó una magnitud de 7.0 en la escala de Richter (ML) y 7.9 en la escala de “magnitud momento” (Mw), afectando principalmente el departamento de Ica.

El sismo tuvo su origen por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, que son las de mayor velocidad de convergencia (10cm/año) a nivel mundial.

El movimiento telúrico tuvo una duración aproximada de 210 segundos (3min 30seg). Su epicentro se localizó en las costas del centro del Perú a 60Km al oeste de la localidad de Pisco y a 150Km al suroeste de Lima, y su hipocentro se ubicó a 39 kilómetros de profundidad. Fue uno de los terremotos más violentos ocurridos en Perú en los últimos años; el más poderoso (en cuanto a intensidad y a duración), pero no el más catastrófico.

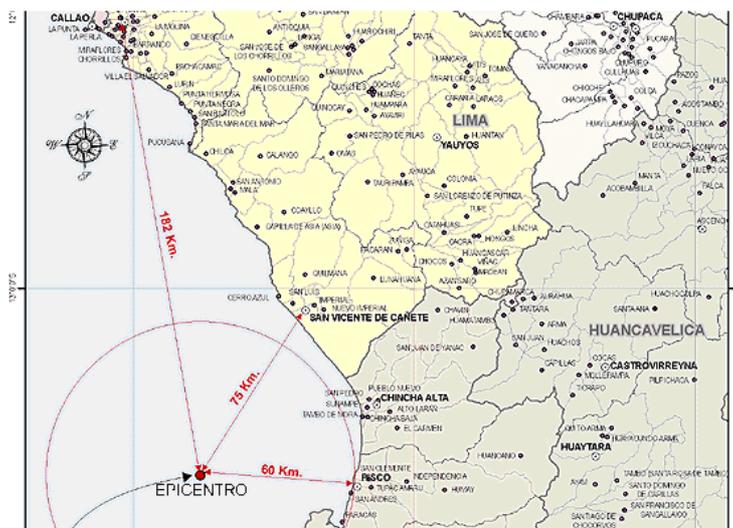


Figura 1. 1 Localización del epicentro del terremoto de Perú del 2007¹

¹ Fuerte Terremoto de magnitud 8 en Perú, www.rescate.com

La gran duración del proceso de ruptura o liberación de energía del sismo del 15 de agosto, se debe a que se presentaron 2 importantes rupturas en sectores muy próximos, la segunda unos 70 segundos después de la primera, lo que pareció en una primera instancia que se tratara de dos sismos.

La Figura 1.2 representa un corte vertical del área de ruptura, donde los colores indican el desplazamiento en centímetros y las curvas numeradas el tiempo transcurrido en segundos. La primera ruptura se origina en el punto localizado en la pequeña estrella roja, el desplazamiento es hacia la izquierda y tiene una amplitud de 3 a 5m hasta los 15 segundos aproximadamente. Entre los 15 y 60 segundos, la ruptura continúa hacia el sureste con desplazamientos menores a 1m, aparentando el término del sismo, pero al llegar a los 70 segundos, el desplazamiento aumenta drásticamente de 3 a 5m y posteriormente de 6 a 8m a los 80 segundos, es decir que se presentó una segunda ruptura.²

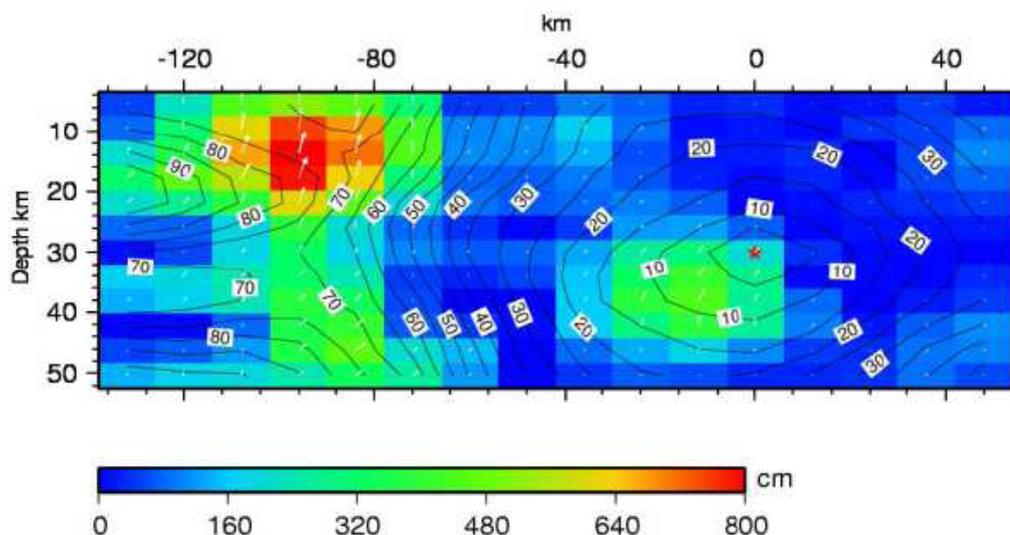


Figura 1. 2 Área de ruptura del terremoto de Perú del 2007.³

Esta característica de dos o más rupturas durante un terremoto, es propia de sismos de gran magnitud con origen en el proceso de convergencia de placas en el Perú.

² Análisis Básico del Sismo en Pisco, Perú 15 de agosto de 2007, M. Vera

³ Imagen publicada por el USGS

1.1.2 Acelerograma y Espectros

Se trabaja con los registros sísmicos obtenidos en la Universidad San Luis Gonzaga de Ica, en las componentes Este – Oeste (E-W) y Norte – Sur (N-S), para un suelo S3.

Se produjeron aceleraciones máximas de 272 gals y 334 gals para las componentes E-W y N-S, respectivamente (Figura 1.3). Los espectros de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento para un amortiguamiento del 5% se indican en las Figuras 1.4, 1.5 y 1.6.

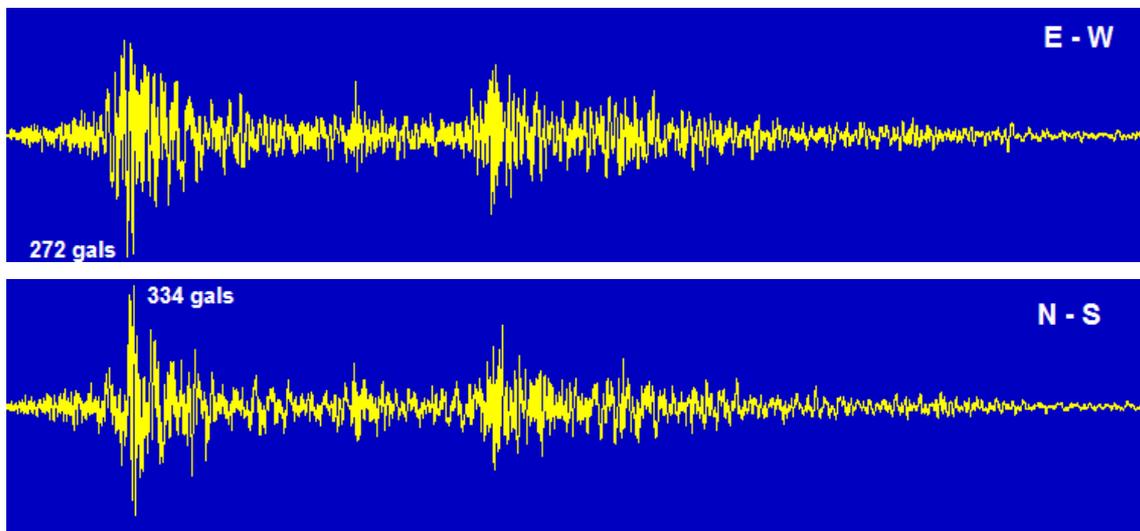


Figura 1. 3 Acelerogramas del sismo de Perú del 15 de agosto del 2007

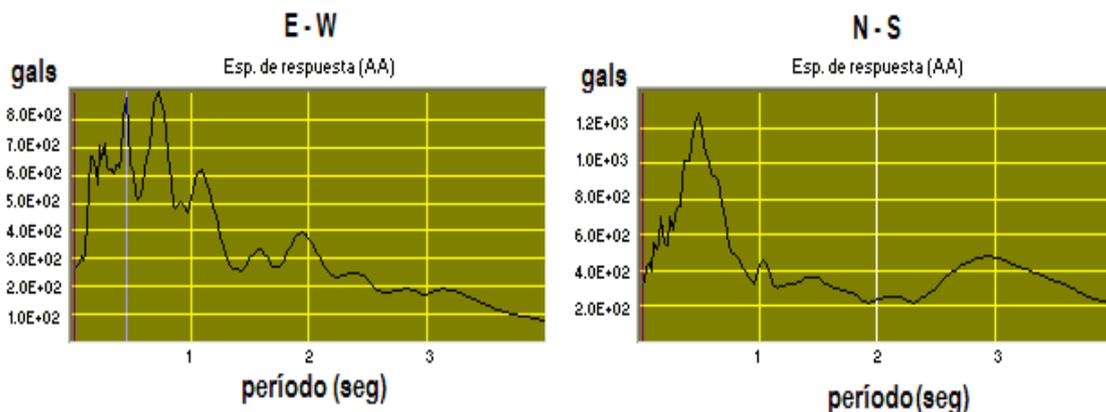


Figura 1. 4 Espectros de respuesta de aceleración

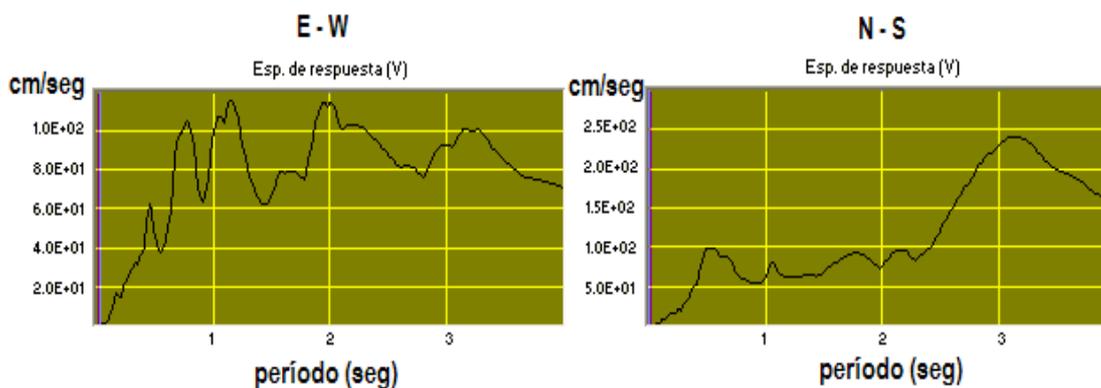


Figura 1. 5 Espectros de respuesta de velocidad

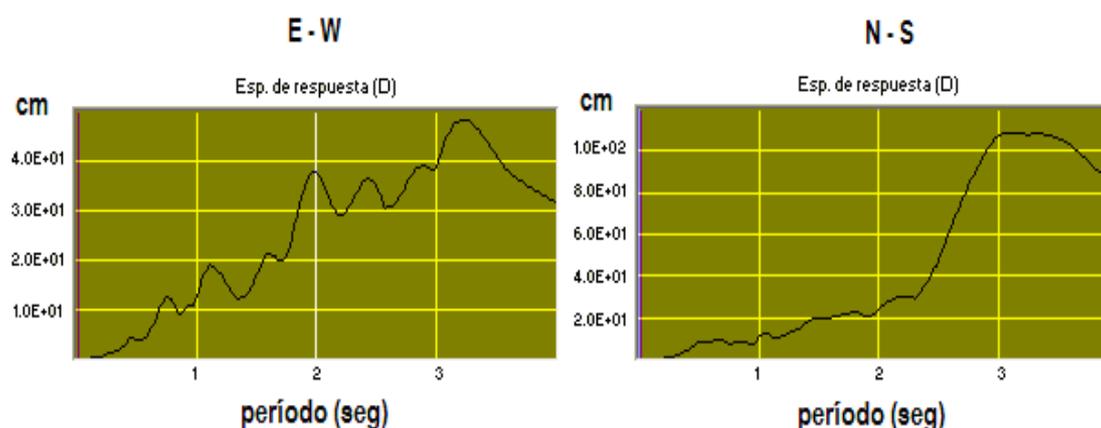


Figura 1. 6 Espectros de respuesta de desplazamiento

1.1.3 Zonas más afectadas y tipo de estructuras

Las zonas más afectadas por el terremoto acontecido en Perú el 15 de agosto del 2007 fueron las ciudades del departamento de Ica y de la provincia de Cañete, especialmente Pisco, Chincha Alta, Chincha Baja, Tambo de Mora, Ica y San Luis de Cañete.

En estas localidades existen principalmente estructuras de adobe, quincha, albañilería y hormigón armado. Según los registros del Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, el número de viviendas por tipo de material en el Departamento de Ica, es el indicado en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Número de viviendas por material en el Departamento de Ica⁴

Material	Número	%
Ladrillo o bloques	66 445	45.19
Piedra a sillar	168	0.11
Adobe o tapial	69 946	47.57
Quincha	4 382	2.98
Piedra con barro	171	0.12
Madera	536	0.36
Estera	5 021	3.41
Otras	364	0.25
TOTAL	147 033	100.00

Como se puede observar, la mayor parte de estructuras son de adobe y albañilería y fueron justamente éstas las que sufrieron los mayores daños (Figuras 1.7 y 1.8).



Figura 1. 7 Vivienda de adobe destruida por el terremoto de Perú⁵.



Figura 1. 8 Daños estructurales en vivienda de albañilería en Ica⁶.

⁴ Estudio de la zona afectada por el terremoto de Pisco, M. Astroza

⁵ Daños por el terremoto del 15 de agosto del 2007, J. Cuenca

⁶ Terremoto de Perú, www.perublogs.com

1.1.4 Cuantificación de víctimas y daños

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI), las cifras oficiales de víctimas del terremoto de Perú son las indicadas en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Número de víctimas del sismo de Perú del 15 de agosto del 2007

Víctimas	Cantidad	Observaciones
Fallecidos	1 595	(331 en Pisco, 129 en Chincha y 114 en Ica)
Desaparecidos	318	(129 en Ica, 64 en Pisco y 54 en Chincha)
Heridos Leves	19 025	
Heridos Graves	2 771	
No afectados	684 073	
TOTAL	705 869	

En cuanto a infraestructuras se refiere, el INEI presentó la siguiente cuantificación de daños:

1. En los departamentos de Ica, Lima y Huancavelica, aproximadamente 250 mil viviendas fueron afectadas, de éstas 52154 quedaron destruidas, 23 632 muy afectadas, más de 23 mil con daño leve y más de 59 mil sin daños mayores (habitables).
2. Se vieron afectados 103 hospitales, 14 quedaron destruidos. Colapsaron 360 aulas y 112 colegios, otros 507 necesitan reparación.
3. Se afectaron 9 carreteras por derrumbes y colapsaron varios puentes del sector, entre ellos, el puente Huamaní (Km 228 de la Panamericana Sur).
4. El suministro eléctrico se cortó inmediatamente en todas las zonas afectadas y las redes de telefonía móvil colapsaron.
5. La infraestructura hidráulica y de riego (pozos, bocatomas, canales, drenes) en Ica, Pisco, Chincha y Cañete se vio seriamente afectada.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

1.2.1 Geometría en planta y elevación

El bloque de Enfermería de la Universidad San Luis Gonzaga, ubicada en el departamento de Ica – Perú, consiste en un edificio de hormigón armado de dos pisos con un período fundamental de 0.316 segundos, cuya distribución en planta se ilustra en la Figura 1.9.

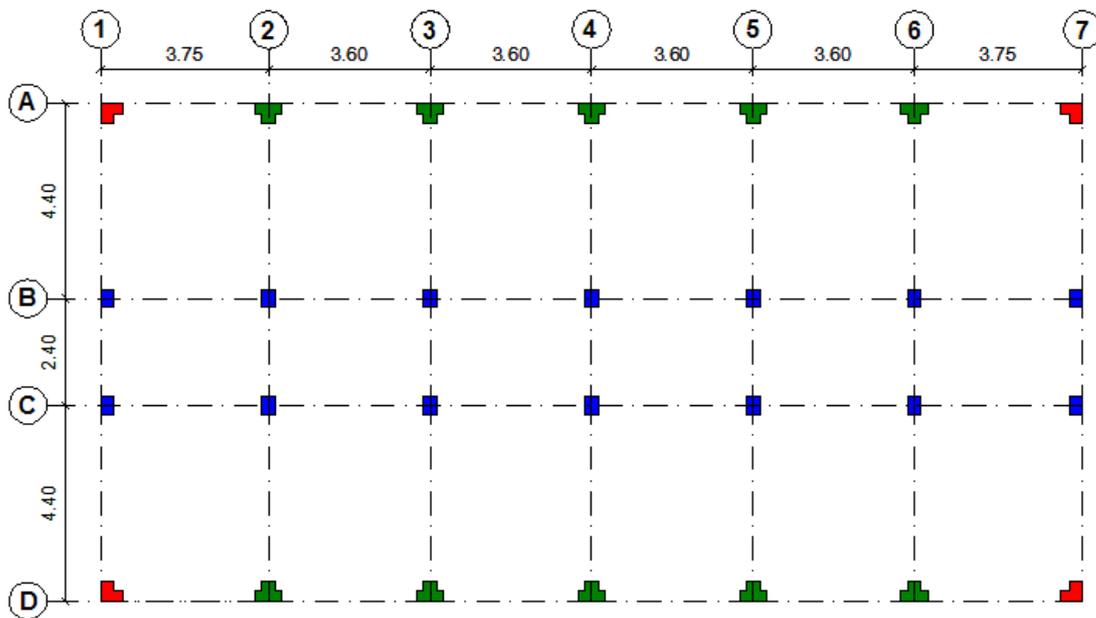


Figura 1. 9 Distribución en planta del bloque de Enfermería

Está conformado por losas unidireccionales alivianadas de 20cm de espesor y vigas de 25x40cm en el sentido largo y 30x40cm en el sentido corto. La Figura 1.10 indica las dimensiones de sus columnas. La altura de entrepiso es 3.20m.

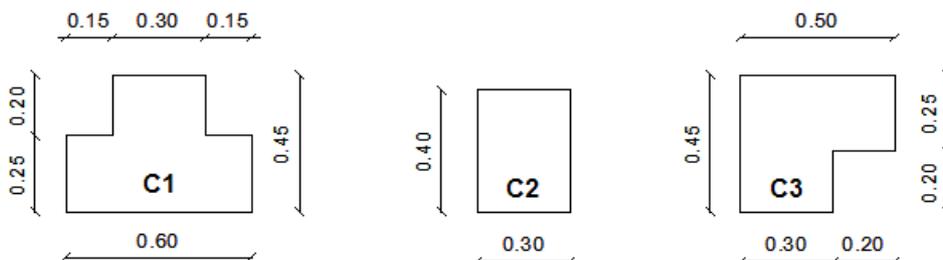


Figura 1.10 Dimensiones de columnas

El edificio está construido con un sistema de vigueta y columnetas que desacopla la mampostería del esqueleto principal de la estructura, con una junta de dilatación de 2.5cm, como se puede observar en las Figuras 1.11 y 1.12. Las columnetas son de 15x25cm y las viguetas de 15x20cm. El espesor de la mampostería es 15cm.

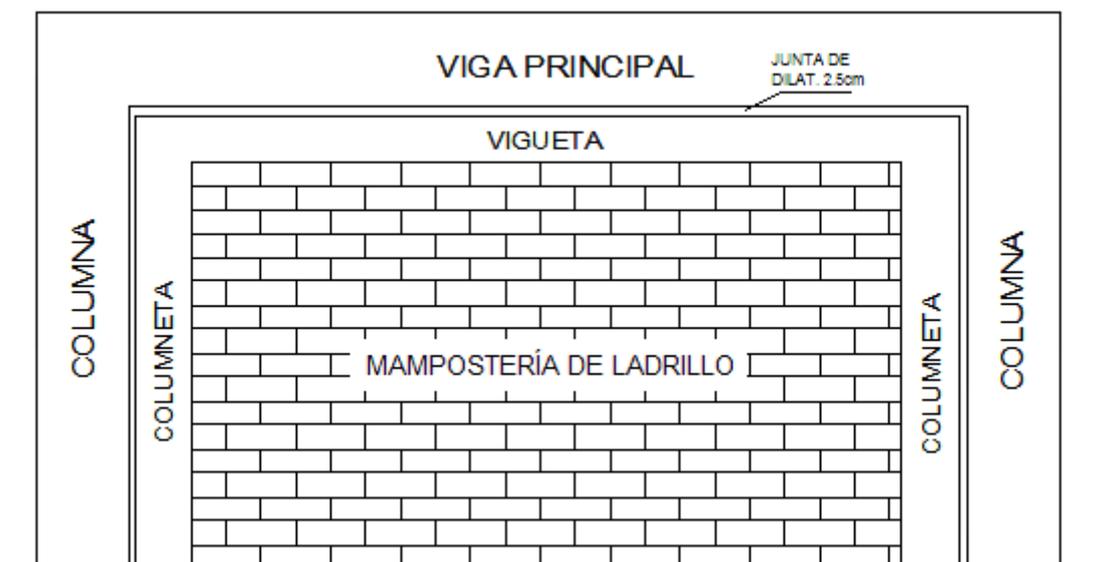


Figura 1.11 Detalle de tabiquerías en pórticos llenos

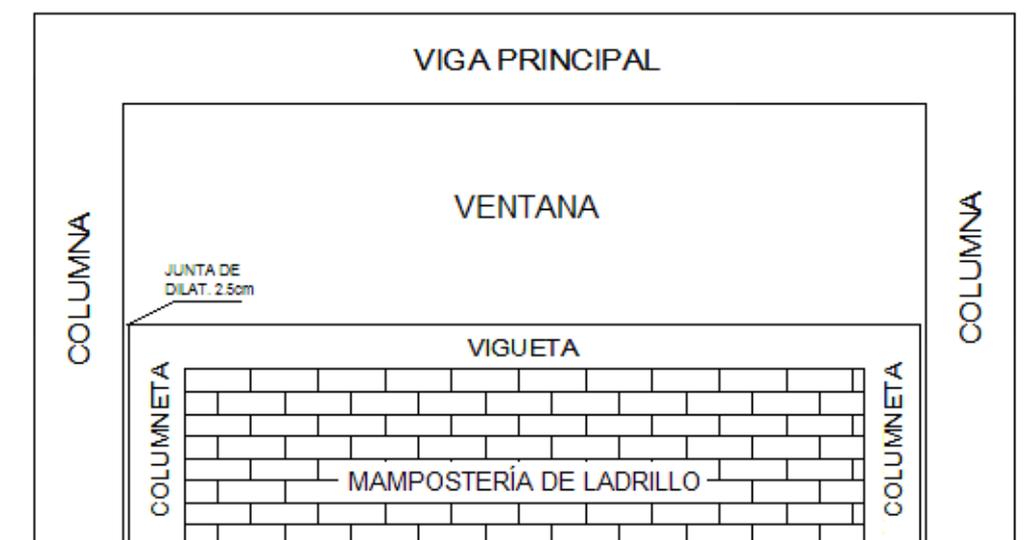


Figura 1.12 Detalle de tabiquerías en pórticos con ventanas

Las siguientes fotografías muestran el Bloque de Enfermería de la Universidad San Luis Gonzaga en Ica, aquí se puede observar claramente la disposición del sistema de vigueta y columnetas tanto en el sentido largo de la estructura (Figura 1.13a) como en el sentido corto. Además se resalta cómo saltó de la estructura la protección de las juntas de dilatación (Figura 1.13b).



a) Disposición de sistema vigueta – columnetas en el sentido largo



b) Disposición de sistema vigueta – columnetas en el sentido corto

Figura 1.13 Bloque de Enfermería de la Universidad San Luis Gonzaga⁷

⁷ Sismo del Perú del 15 de Agosto del 2007, R. Aguiar

Esta técnica constructiva permite realizar el análisis sísmico del edificio de la forma tradicional, es decir considerando para el modelo únicamente las columnas y vigas, pues la mampostería interactúa con la vigueta y columnetas mas no con la estructura aporcada, pues el conjunto está aislado de ella mediante la junta de dilatación.

1.2.2 Descripción de los materiales

El hormigón empleado en la construcción del bloque tiene una resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$. El acero de refuerzo corrugado tiene un límite de fluencia $fy=4200 \text{ Kg/cm}^2$.

La tabiquería está formada por Ladrillo Macizo Tipo III de 10x12x24cm con $f'b=70\text{Kg/cm}^2$ y una resistencia a la compresión de toda la mampostería, $f'm=35\text{Kg/cm}^2$.

1.2.3 Análisis de Cargas

La Tabla 1.3 indica los valores de carga muerta y carga viva para cada piso considerados para el análisis así como los pesos totales respectivos. El área de piso es 247.58m^2 .

Tabla 1.3 Cargas y Pesos por piso considerados en el análisis

Piso	Carga [Tn/m^2]		Peso [Tn]		Peso Total [Tn]
	wD	wL	PD	25% PL	
1	1.004	0.300	248.58	18.57	267.15
2	0.540	0.150	133.73	9.28	143.01

1.3 CENTRO DE MASAS Y CENTRO DE RIGIDEZ

Al tratarse de una estructura totalmente simétrica en planta, su centro de masas y su centro de rigidez estarán localizados en el centro geométrico de la figura. (Figura 1.14), es decir que no se presentan problemas de torsión.

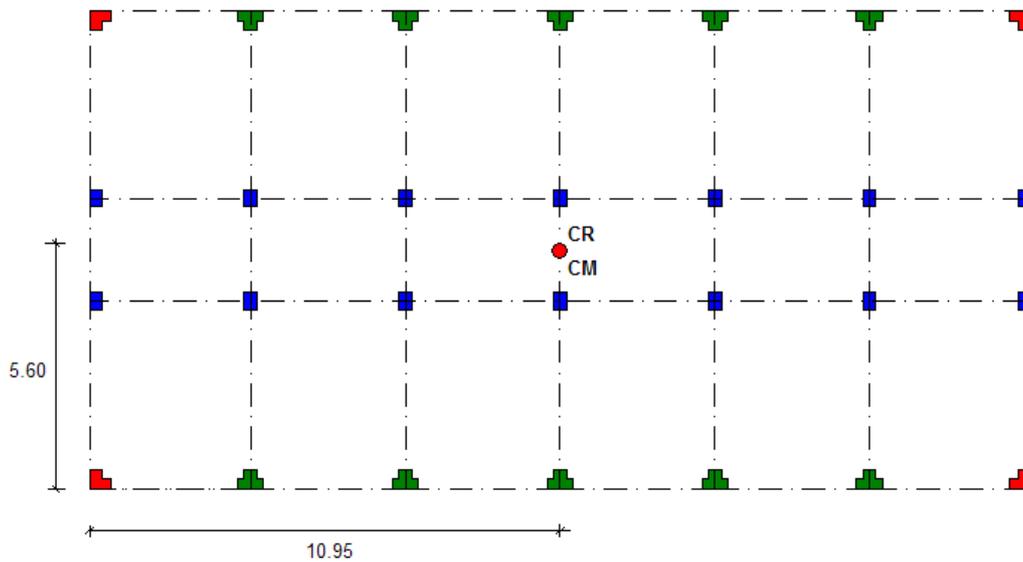


Figura 1.14 Centro de masas y centro de rigidez del bloque de Enfermería

1.4 ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA SIN CONSIDERAR LA MAMPOSTERÍA

1.4.1 Análisis de desplazamiento, velocidad y aceleración

Para encontrar la respuesta en el tiempo del bloque de Enfermería, se utilizó el algoritmo de Procedimiento de Espacio de Estado, descrito en Aguiar (2007).

Debido a las características del sismo, luego de 2 ½ minutos de duración, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de la estructura tienden a cero, por lo que se analizará el comportamiento de la misma en el lapso comprendido entre 0 y 160 segundos.

Las Figuras 1.15 y 1.16 presentan el comportamiento de la estructura en desplazamiento, velocidad y aceleración ante la componente E-W, tanto del sentido corto (Y) como del sentido largo (X), de los dos pisos, mientras que las Figuras 1.17 y 1.18 indican el comportamiento ante la componente N-S. Los datos obtenidos se resumen en la Tabla 1.4.

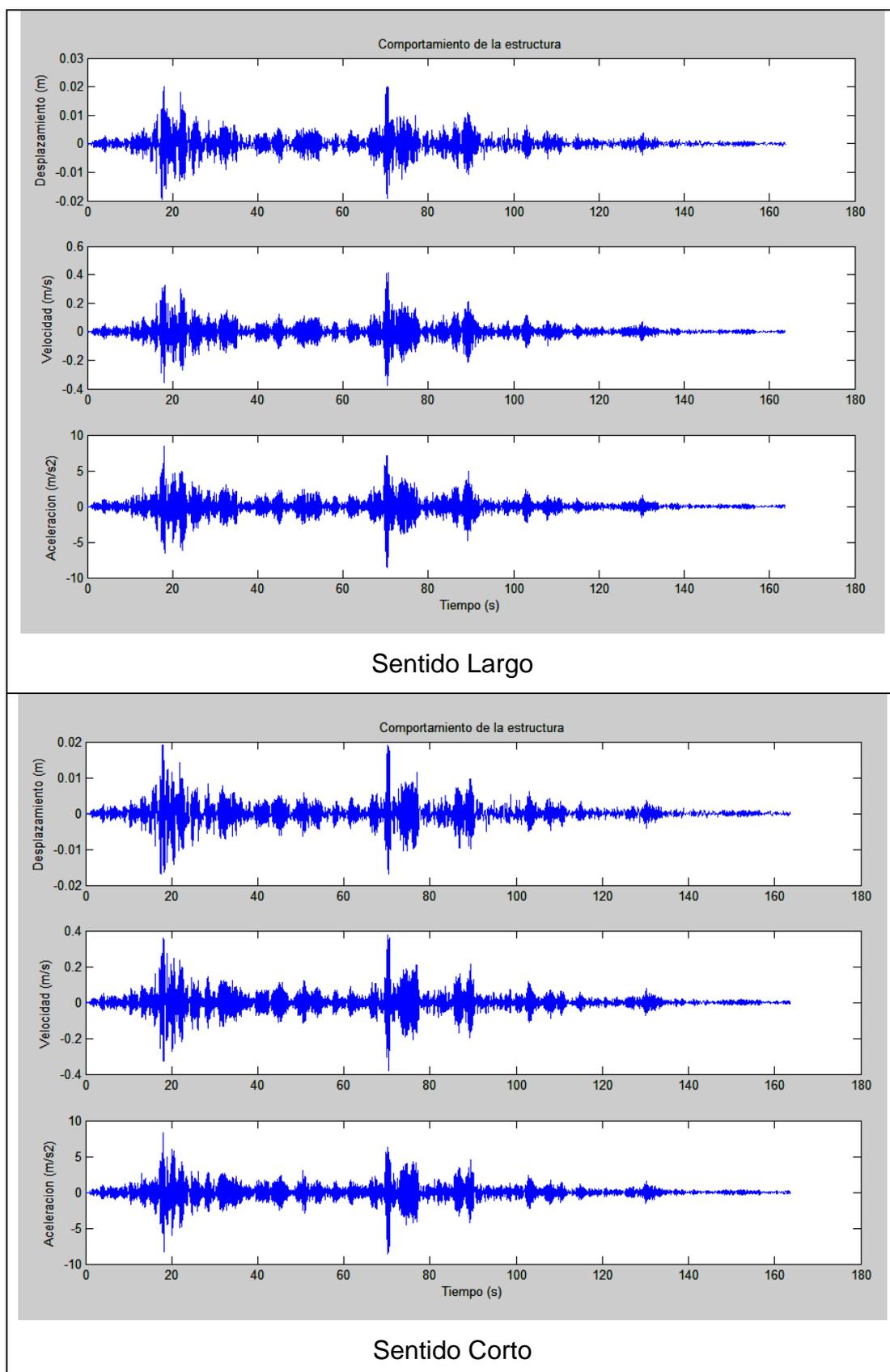


Figura 1.15 Comportamiento del 2^{do} piso – componente E - W

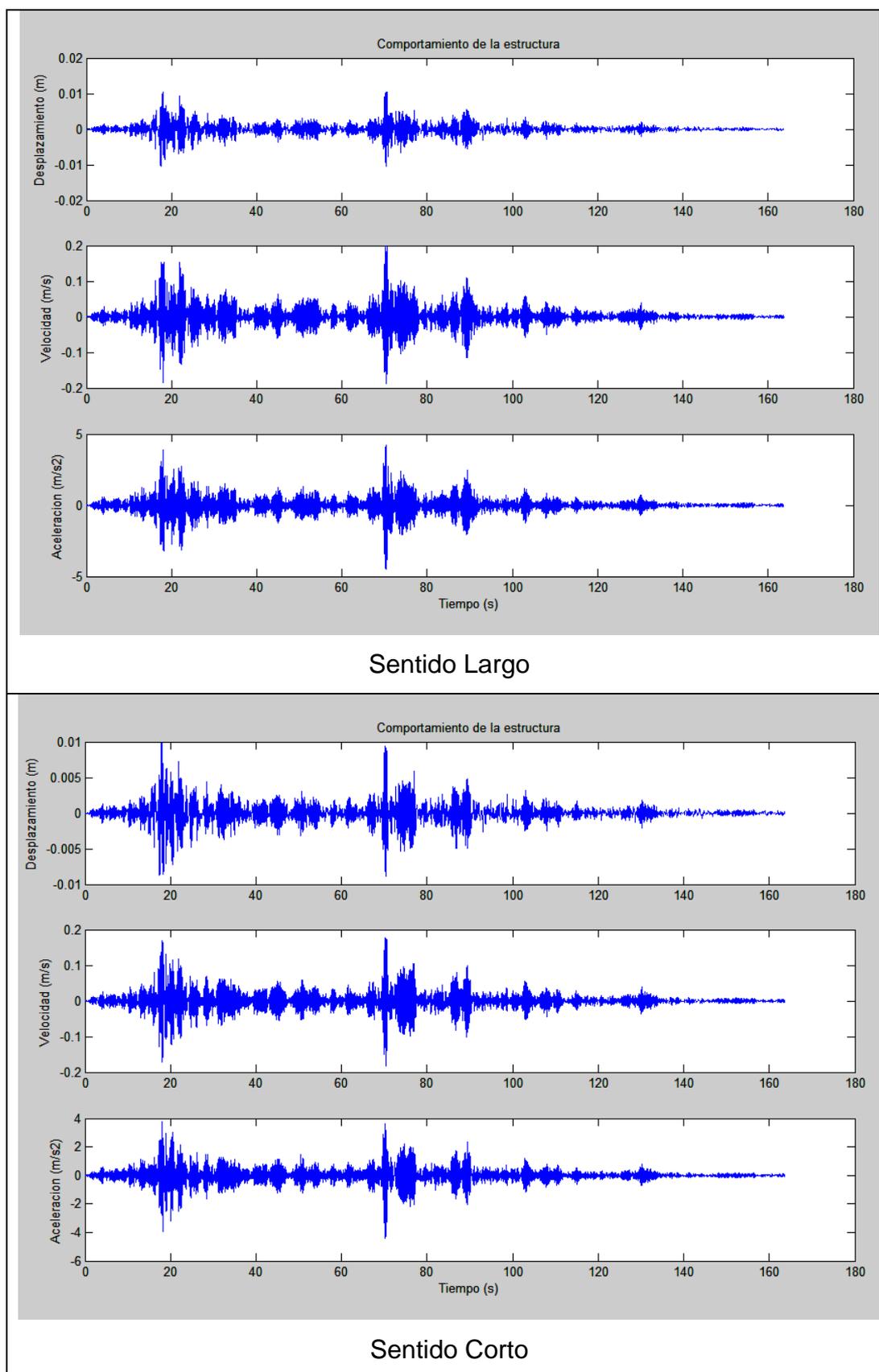


Figura 1.16 Comportamiento del 1^{er} piso – componente E - W

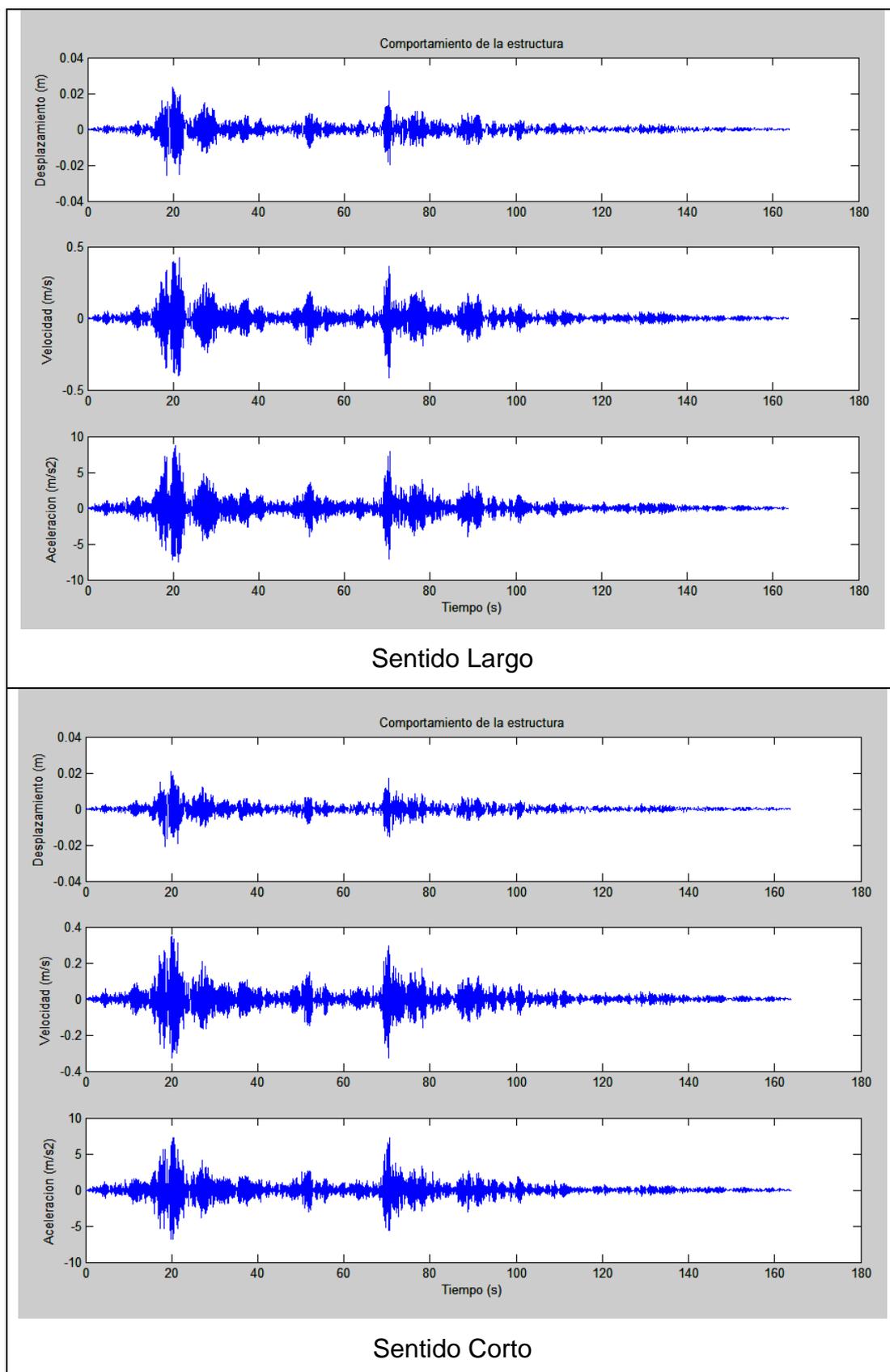


Figura 1.17 Comportamiento del 2^{do} piso – componente N - S

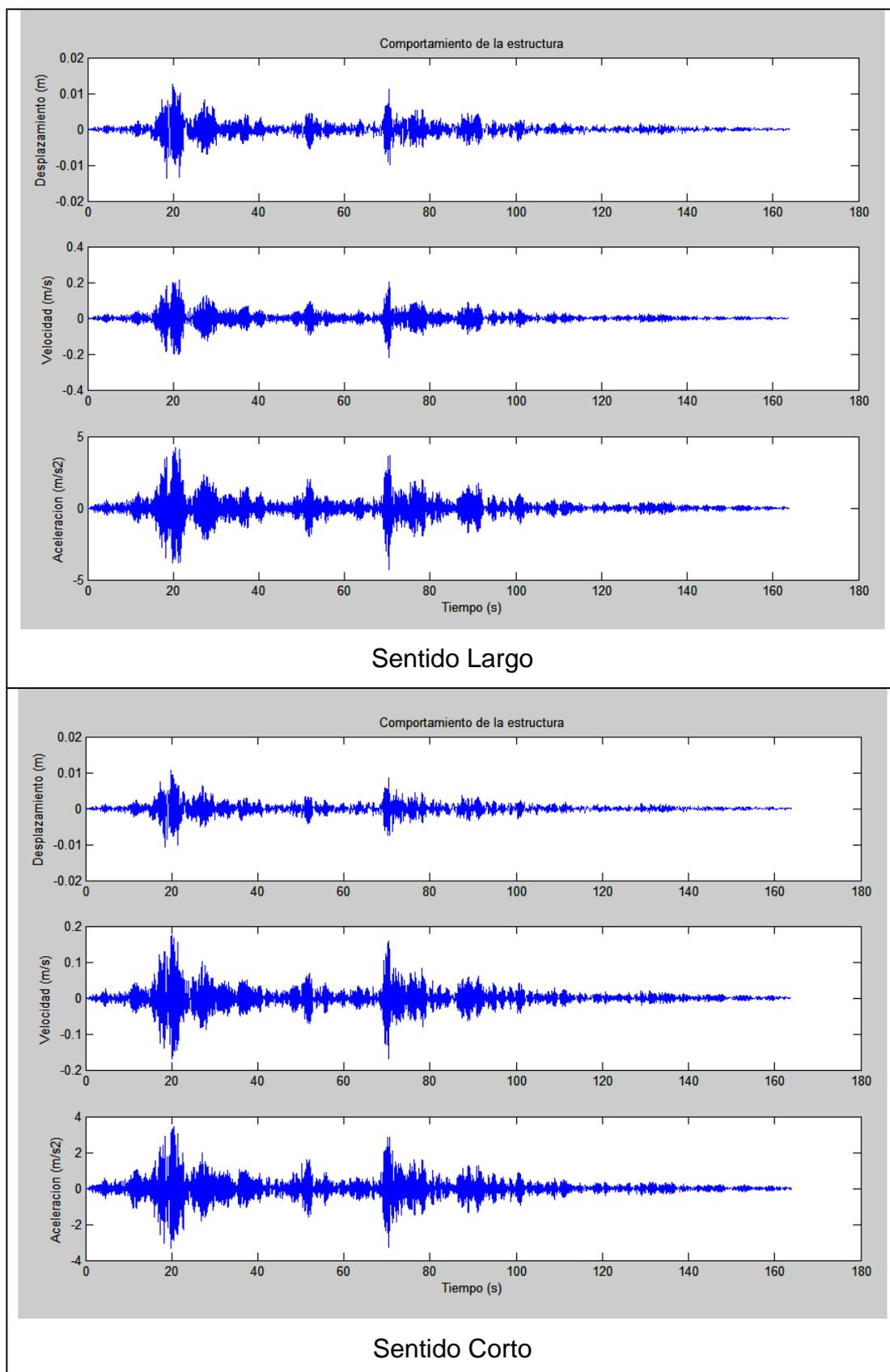


Figura 1.18 Comportamiento del 1^{er} piso – componente N - S

Tabla 1.4 Resumen del comportamiento en el tiempo del bloque de Enfermería sin considerar la mampostería en el análisis.

Piso	Sentido del Sismo	Sentido de Análisis	Desplazamiento [m]	Velocidad [m/s]	Aceleración [m/s ²]
1	EW	X	0,01049	0,1977	-4,461
		Y	0,009769	-0,1822	-4,423
	NS	X	-0,01365	-0,2178	-4,307
		Y	-0,01081	0,1731	3,425
2	EW	X	0,02017	0,4156	-8,568
		Y	0,01908	-0,3794	-8,539
	NS	X	-0,02584	0,4217	8,765
		Y	-0,02082	0,3477	7,266

1.4.2 Análisis de fuerzas

La fuerza sísmica que absorbe cada uno de los pórticos de la estructura está en función de su rigidez lateral. Las Figuras 1.19 y 1.20 presentan la variación de las fuerzas sísmicas en función del tiempo de todos los pórticos de la estructura para la componente Este – Oeste, mientras que para la componente Norte – Sur, se presentan las Figuras 1.21 y 1.22

La Tabla 1.5 presenta las fuerzas máximas obtenidas en cada piso y cada pórtico. Se puede observar que en algunos casos, la fuerza sísmica del primer piso es mayor que la del segundo.

Tabla 1.5 Fuerzas máximas actuantes en el bloque de Enfermería sin considerar la mampostería en el análisis. [Tn]

Piso	Sentido del Sismo	Sentido de Análisis	Pórticos Externos	Pórticos Internos
1	EW	X	55.84	10.99
		Y	18.20	18.29
	NS	X	69.57	13.32
		Y	21.77	21.88
2	EW	X	36.24	22.62
		Y	16.92	16.91
	NS	X	42.82	27.69
		Y	17.58	17.57

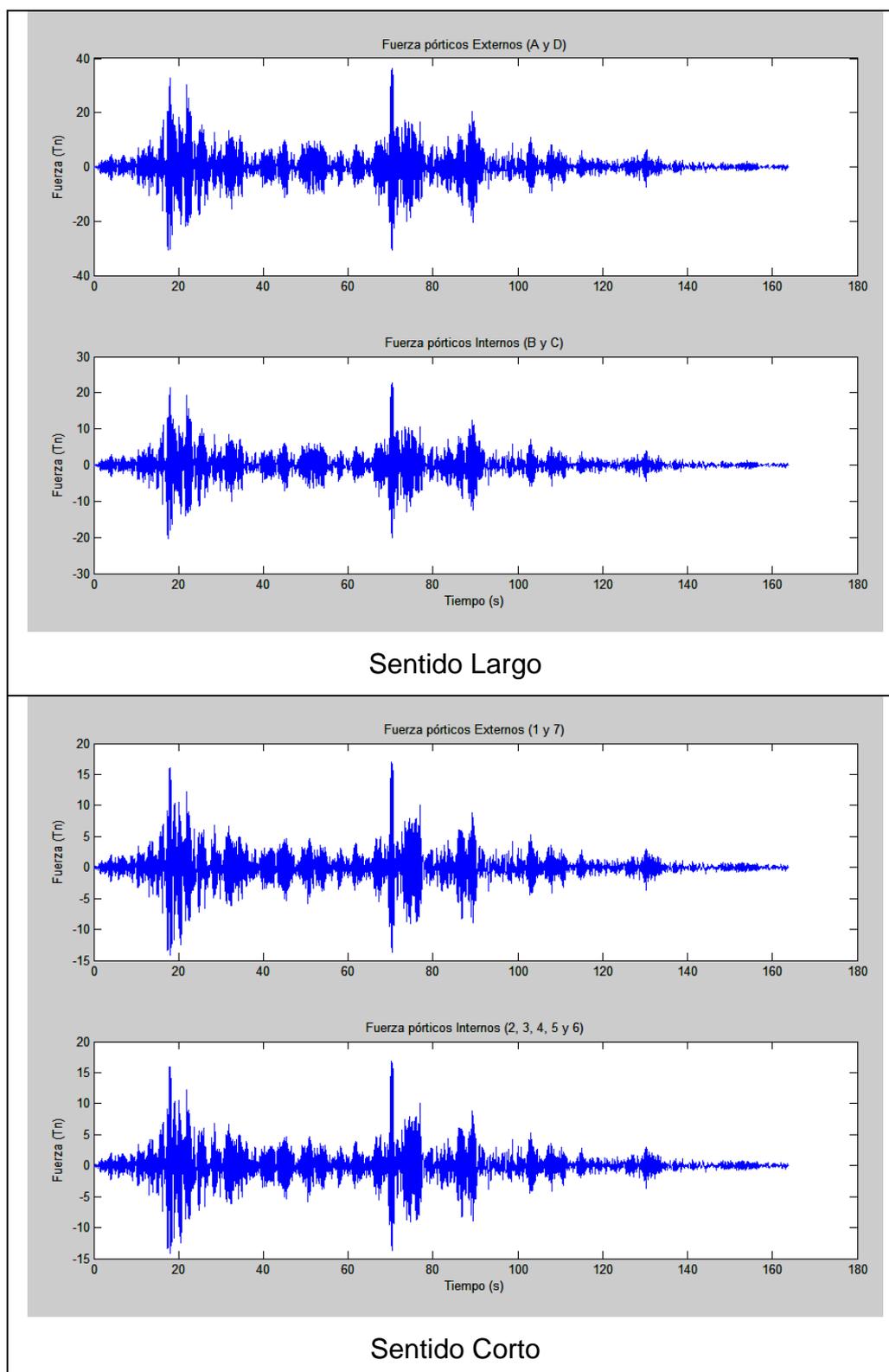


Figura 1.19 Fuerzas del 2^{do} piso – componente E – W

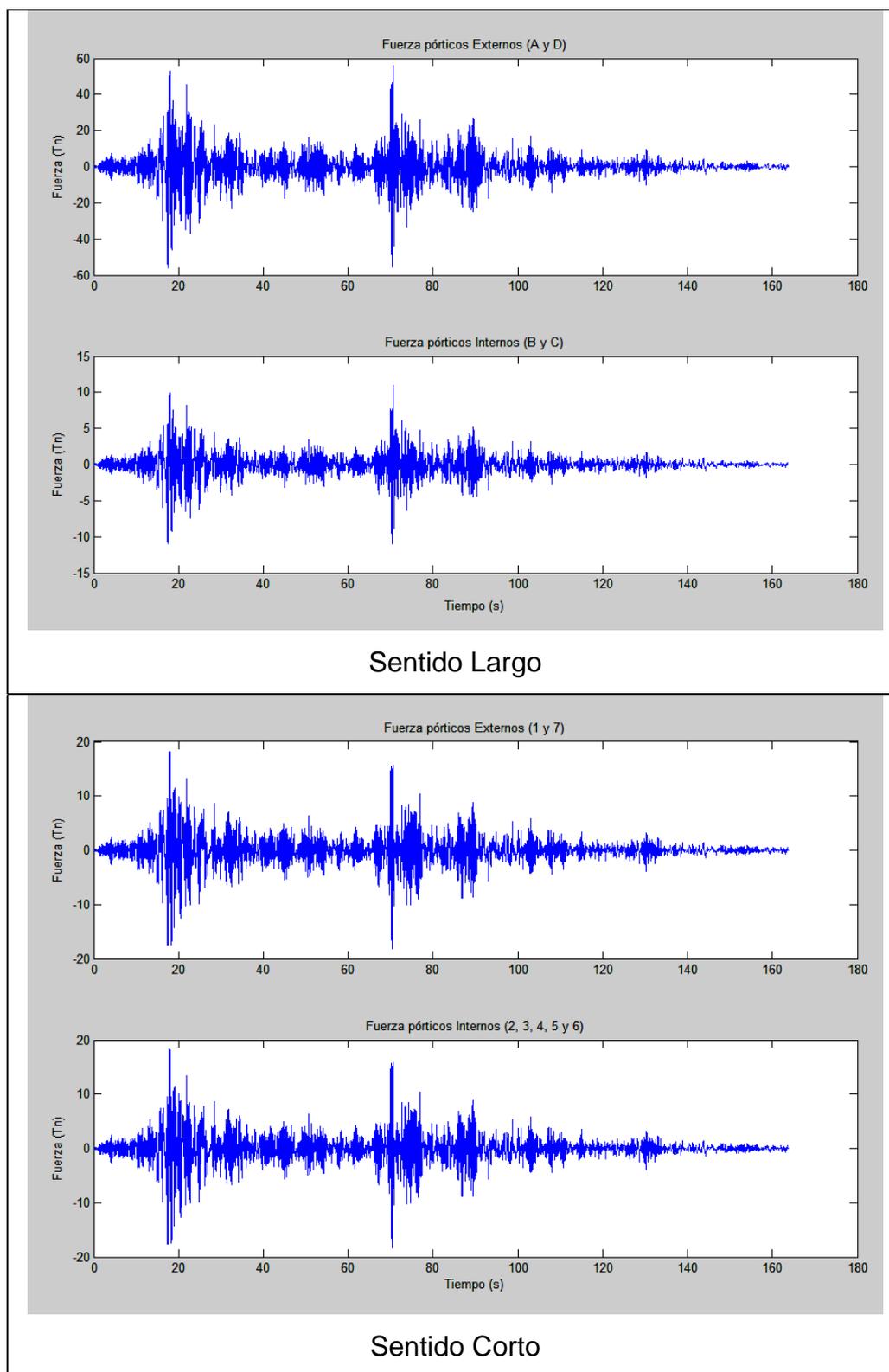


Figura 1.20 Fuerzas del 1^{er} piso – componente E - W

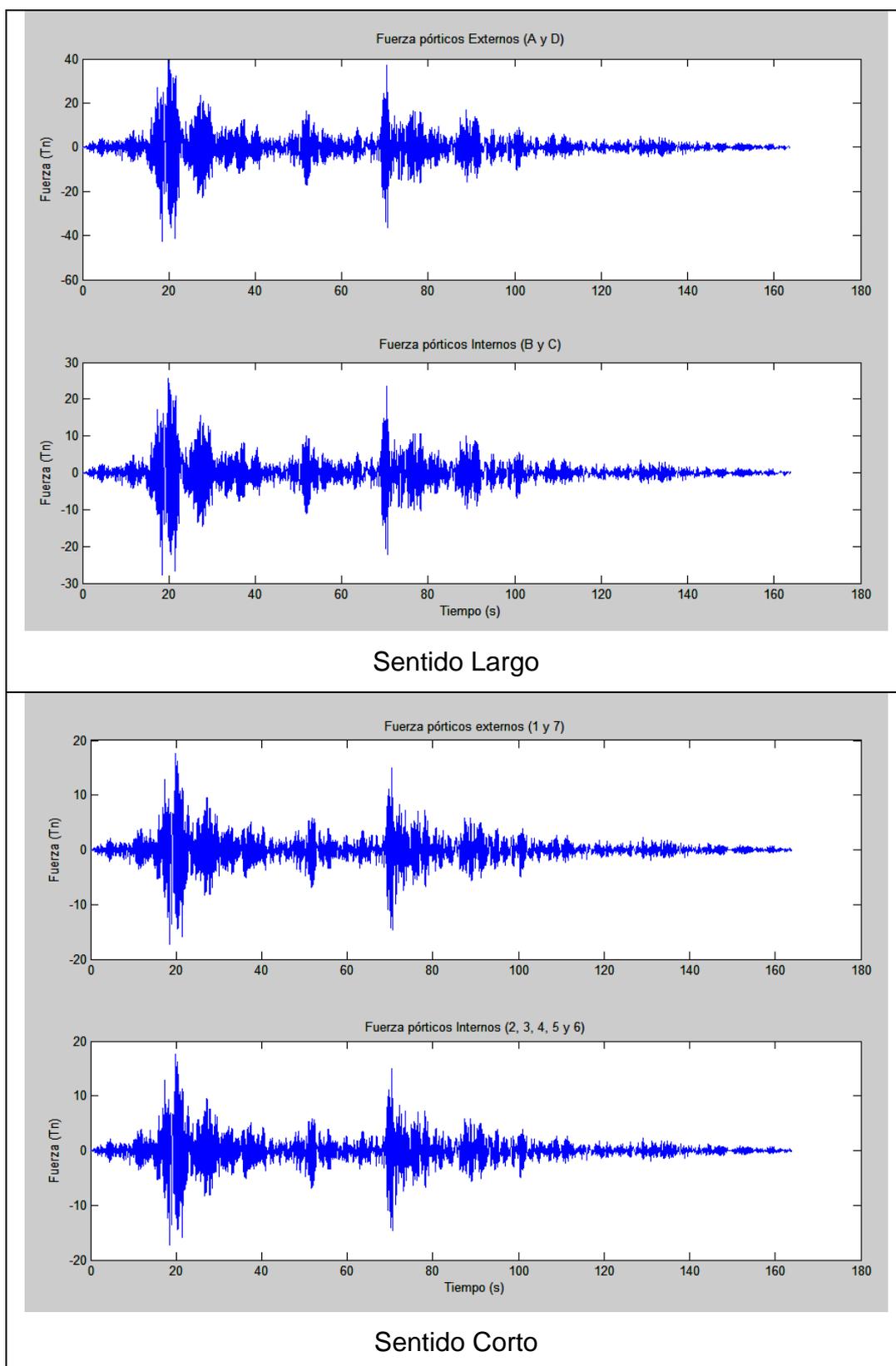


Figura 1.21 Fuerzas del 2^{do} piso – componente N - S

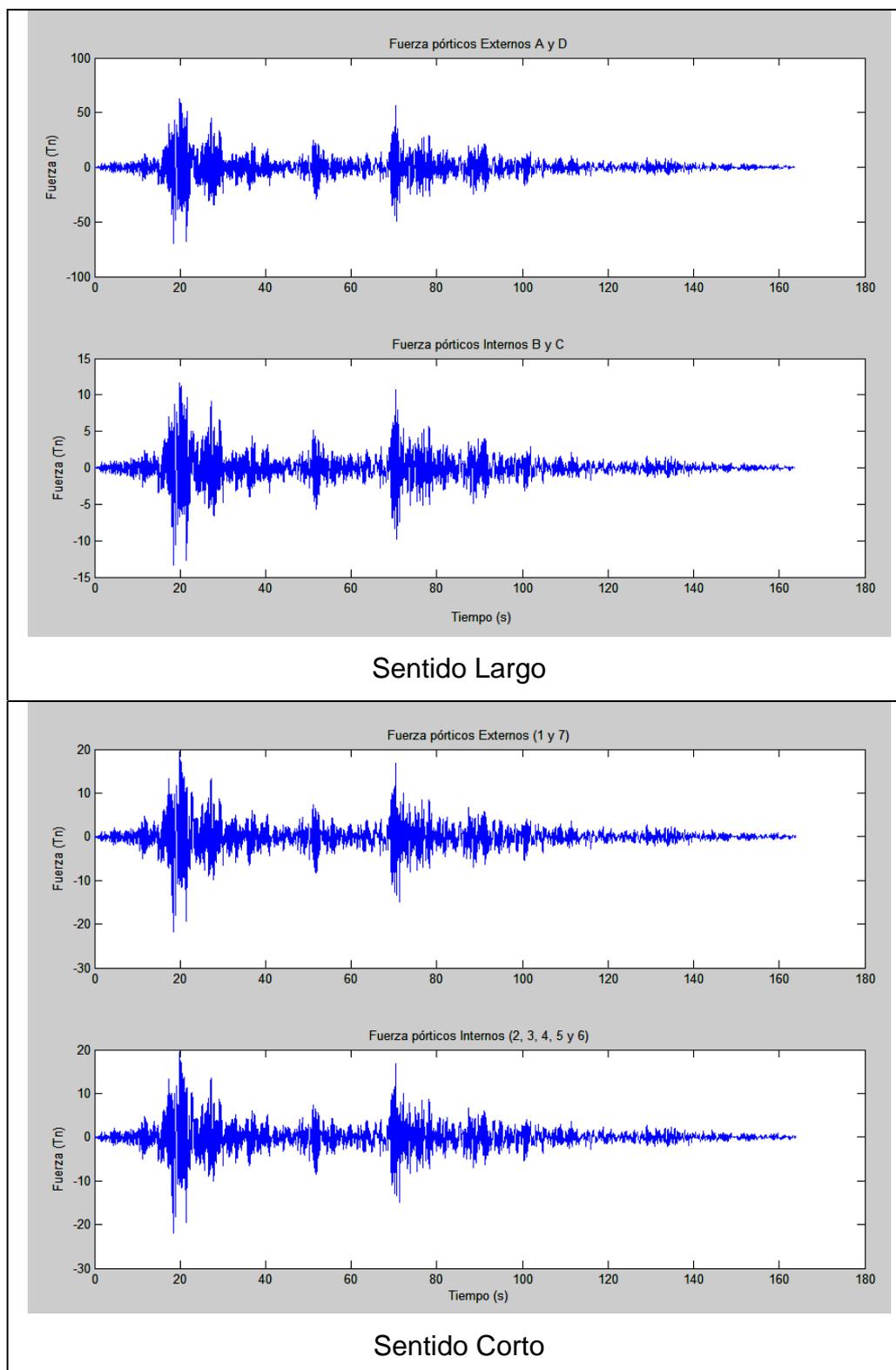


Figura 1.22 Fuerzas del 1^{er} piso – componente N - S

1.5 DAÑOS OBSERVADOS EN LA ESTRUCTURA LUEGO DEL SISMO

El Bloque de Enfermería de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, no sufrió daños significativos durante el terremoto de Perú del 15 de agosto del 2007.

Se presentaron básicamente tres tipos de daño, el primero fue en las uniones de las columnetas con las vigas principales, pues la longitud de amarre con la que fueron construidas no fue suficiente (Figura 1.23).



Figura 1.23 Daños en la unión columneta – viga principal ⁸

El segundo problema fue la inestabilidad de la mampostería, también a causa de la insuficiente longitud de amarre, lo que provocó que luego del sismo, las paredes quedaran un poco desfasadas de su posición original (Figura 1.24).

⁸ Sismo del Perú del 15 de Agosto del 2007, R. Aguiar



Figura 1.24 Inestabilidad de la mampostería⁹

El tercer tipo de daño fue en las esquinas de los tabiques de mampostería, donde se presentó desprendimiento del mortero y fracturación de los ladrillos superiores (Figura 1.25).



Figura 1.25 Fracturación de ladrillos en las esquinas de los tabiques¹⁰

1.6 COMPARACIÓN CON OTRAS ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA

Gracias al sistema de columnetas y viguetas utilizado en el diseño y construcción del Bloque de Enfermería para aislar la mampostería de la

^{9 y 10} Sismo del Perú del 15 de Agosto del 2007, R. Aguiar

estructura aporticada, se evitaron serios problemas estructurales que afectaron a otros bloques de la Universidad, principalmente fallas por columna corta y fracturación de los tabiques de albañilería, como lo muestran las Figuras 1.26 a la 1.29.



Figura 1.26 Fracturación de la mampostería¹¹

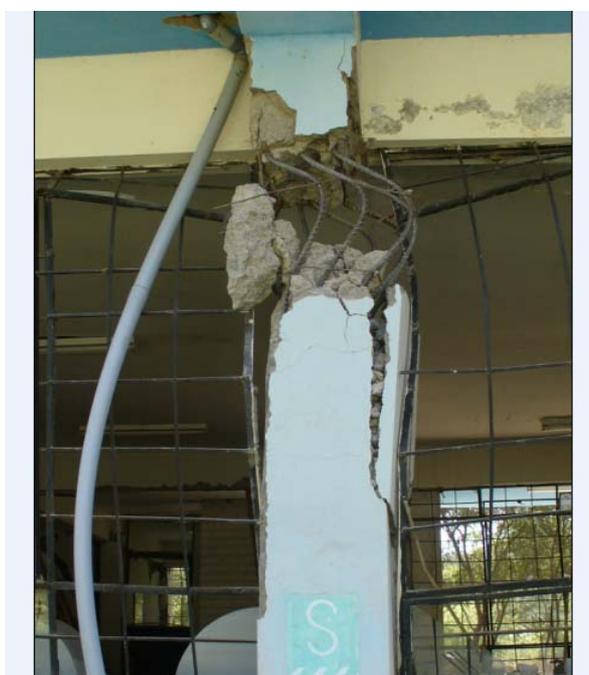


Figura 1.27 Falla por columna corta¹²

¹¹ Universidad Nacional San Luis Gonzaga después del 15 de agosto, www.unica.edu.pe/noticias

¹² Sismo del Perú del 15 de Agosto del 2007, R. Aguiar



Figura 1.28 Fracturación de la mampostería y daños en elementos estructurales¹³



Figura 1.29 Fracturación y colapso de la mampostería¹⁴

¹³ y ¹⁴ Universidad Nacional San Luis Gonzaga después del 15 de agosto, www.unica.edu.pe/noticias