

ANÁLISIS DINÁMICO Y TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO EN ESTRUCTURAS DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA

J. Olarte¹, R. Proaño¹, R. Torres¹, V. Rojas¹.

¹ Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
e-mail: jolarte@uni.edu.pe

RESUMEN

La infraestructura educativa en el Perú ha tenido importantes cambios en su concepción sismorresistente. La norma peruana de diseño sismorresistente NTE E.030 (1997) cataloga a los Centros Educativos como edificaciones esenciales, cuya función no debe interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo. En el presente estudio, se muestra el análisis dinámico de un modelo pseudo-tridimensional de bloque cortante con diafragmas rígidos y otro modelo tridimensional considerando losas flexibles. Para verificar los periodos de la edificación, se ha recogido información *in situ*, mediante ensayos de microtrepidaciones. Las acciones correctivas en el proceso de reforzamiento, se orientan a independizar los dos módulos de la edificación existente he incluir elementos de muros de cortante para rigidizar la estructura en la dirección más débil.

Palabras claves: Diseño sismorresistente, reforzamiento, microtrepidaciones, análisis dinámico.

SUMMARY

Educational infrastructure in Peru has suffered important changes in its conception seismic design. The Peruvian code of seismic design NTE E.030 (1997) classifies the Educational Centers as essential constructions whose function should not be interrupted immediately after an earthquake. Present study, the dynamic analysis of a pseudo-three-dimensional model of shear block is shown with rigid diaphragms and another three-dimensional model with the flexibility of the slabs. To verify the vibration periods of the buildings, information has been picked up *in situ*, by means of microvibration tests. The corrective actions in the strengthening process is oriented to isolated in two parts of the existent building and include elements of shear walls to stiffen the structure in the weakest direction.

Key words: Seismic design, strengthening, microvibration, dynamic analysis,.

INTRODUCCION

El terremoto de Nazca-Perú del 12 de noviembre de 1996 ($m_b=6.5$) propició un cambio importante en la norma de diseño sismorresistente peruano. A partir de la promulgación de la nueva norma (1997), los Centros Educativos se catalogan como edificaciones esenciales, es decir, no deben interrumpirse después de ocurrido un sismo. Además, la configuración estructural debe ser regular, no deben tener discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración sismorresistente a cargas laterales y debe evitarse irregularidades de rigidez (piso blando), de masa, de geometría vertical y de discontinuidad de los sistemas resistentes (CISMID, 1997, 1999-a, 1999-b).

OBJETIVO

El objetivo de este estudio es realizar un análisis dinámico de estructuras mixtas (albañilería confinada y pórticos de concreto armado) de edificaciones de infraestructura

educativa en el Perú. Se emplean dos modelos matemáticos, el primer modelo considera las losas de la edificación infinitamente rígidas y el segundo modelo considera las losas flexibles. La determinación de los esfuerzos y desplazamientos en la edificación así como la distribución de los esfuerzos en las losas permiten apreciar los posibles daños. El comportamiento dinámico de la edificación es evaluado *in situ* mediante ensayos de microtrepidaciones y así determinar las frecuencias naturales de vibración de la estructura existente. Las técnicas de reforzamiento aplicadas para este caso son usualmente utilizadas mediante la inclusión de nuevos elementos estructurales para dotar a la edificación de la seguridad sísmica necesaria de acuerdo a la norma actual.

EDIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA

Configuración Estructural

La estructura corresponde a una edificación de 3 niveles conformada por dos módulos, rectangular y octogonal. Estos módulos están conectados en los 2 primeros niveles por losas mientras que en el tercer nivel están desconectados entre sí. El acceso a los niveles superiores es a través de una escalera adyacente al módulo octogonal (Figura 1).

La estructura está compuesta por pórticos de concreto armado en la dirección X y muros de albañilería confinada en la dirección Y. Se distingue el módulo octogonal y el módulo rectangular que se encuentran unidos formando un sistema único. El entrepiso descansa sobre los pórticos de concreto armado y muros de albañilería orientados en la dirección Y. La estructura puede ser catalogada como irregular tanto en planta como en elevación.

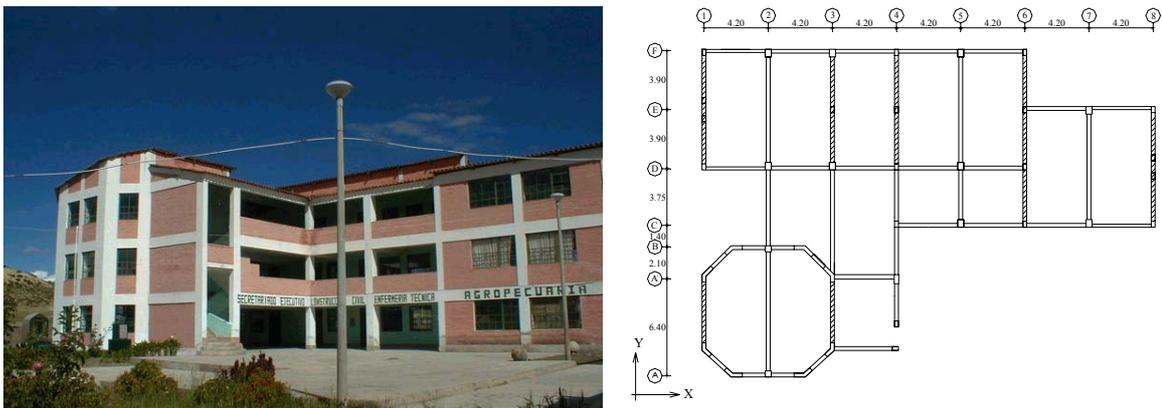


Figura 1. Izquierda: Vista general de la edificación. Derecha: Planta típica donde se observa achurado los muros de albañilería confinada.

Para verificar la calidad del concreto se realizaron ensayos de compresión con muestras de broca diamantina extraídas en campo. Todos los elementos estructurales cumplen lo especificado en el proyecto original.

Modelo idealizado de la estructura

Se han utilizado dos modelos para el análisis dinámico. El primero es un modelo pseudo-tridimensional de bloque cortante considerando las losas rígidas. La estructura se comporta como un sistema de 12 grados de libertad (Figura 2).

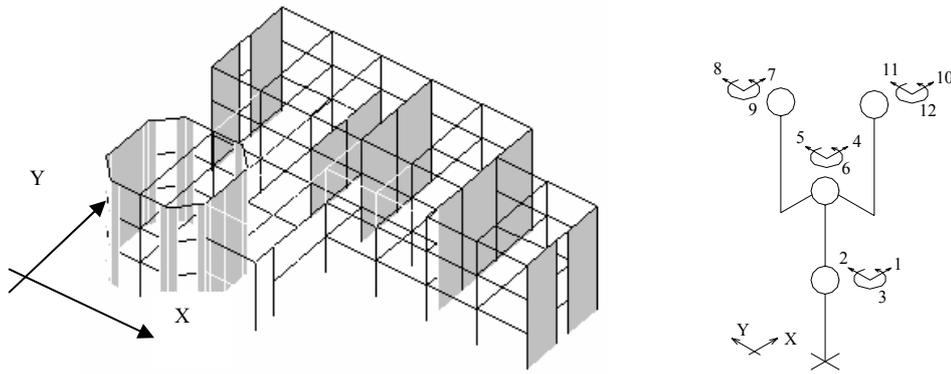


Figura 2. Modelo de la edificación considerando losas rígidas.

El segundo modelo considera las losas flexibles. Este modelo se realiza a fin de estimar los esfuerzos actuantes en las losas debido a la irregularidad de rigideces tanto en planta como en elevación. La idealización de vigas y columnas se realiza mediante elementos tipo *frame*, y las losas y muros de corte mediante elementos tipo *shell* (Figura 3).

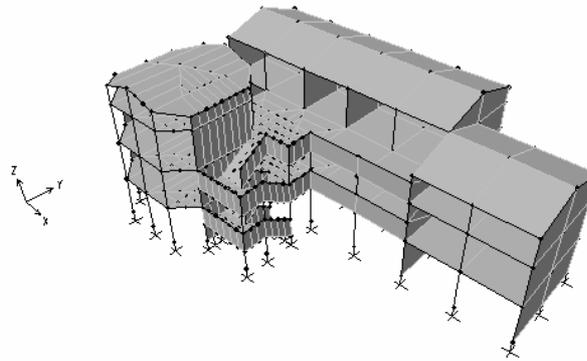


Figura 3. Modelo de la edificación considerando losas flexibles.

RESULTADOS DEL ANALISIS DINAMICO

Ensayo de microtrepidaciones

Las microtrepidaciones miden la vibración natural de la estructura. Se originan por causas naturales o artificiales tales como: viento, ruidos, impactos, tráfico, maquinaria, etc. Para las mediciones se emplean sensores que registren la vibración en las direcciones de análisis. Se efectuaron mediciones en seis puntos (tres puntos por nivel) en las direcciones X e Y (Tabla 1).

Tabla 1. Frecuencias obtenidas en las direcciones X e Y en los dos primeros niveles de la edificación.

PUNTOS	Dir: X Frecuencia (Hz)	Dir: Y - Frecuencia (Hz)
Punto 1-1 (primer nivel)	7.69 ~ 8.72	1.83 ~ 2.50
Punto 1-2 (primer nivel)	8.54 ~ 9.09	5.92 ~ 6.22
Punto 1-3 (primer nivel)	6.10 ~ 7.99	5.92 ~ 6.53
Punto 2-1 (segundo nivel)	7.44~7.87/8.60~9.16	2.50 ~ 3.23
Punto 2-2 (segundo nivel)	7.32 ~ 8.17	5.92 ~ 6.34
Punto 2-3 (segundo nivel)	8.60 ~ 9.15	5.92 ~ 6.34

Las Transformadas de Fourier (Dahlquit y Bjorck, 1974; Press, et al., 1992) para las mediciones en el primer nivel en las direcciones X e Y se muestran en la Figura 4.

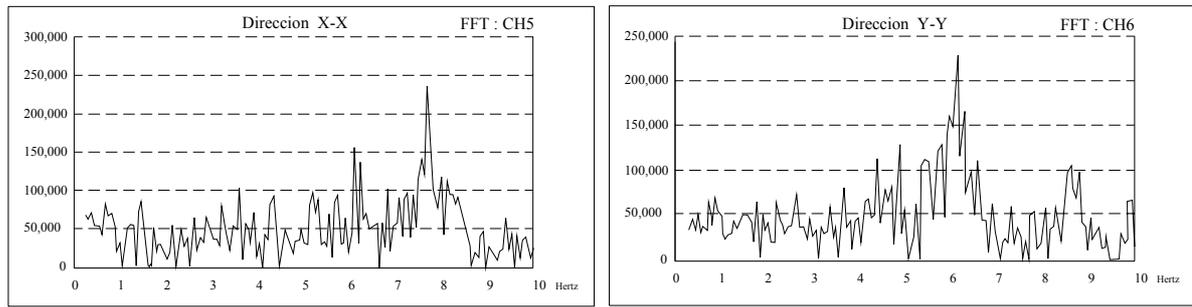


Figura 4. Gráficos de la transformada de Fourier (Punto 1-3, primer nivel).

Características dinámicas: Modos de vibración

Para el cálculo dinámico se utilizó el programa ETABS versión 6.21 y el SAP-2000 versión 6.11 (Computers and Structures, 1997-a, 1997-b). Las características dinámicas (periodos, frecuencias y factores de participación de masa) se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Características dinámicas de la edificación existente.

MODO	PERIODO (seg)	FRECUENCIA (ciclos/seg)	% masa X <% acum>	% masa Y <% acum>	% masa Z <% acum>
1	0.30	3.23455	72.75<72.7>	0.02<0.0>	0.77<0.8>
2	0.16	6.21854	16.45<89.2>	0.01<0.0>	0.00<0.8>
3	0.13	7.49739	0.01<89.2>	52.69<52.7>	24.40<25.2>
4	0.11	8.35921	0.00<89.2>	32.92<85.6>	36.86<62.0>
5	0.09	11.07082	3.32<92.5>	0.03<85.7>	0.52<62.6>
6	0.06	14.60423	6.00<98.5>	0.02<85.7>	4.51<67.1>

Los modos de vibración de la estructura muestran que el módulo rectangular y octogonal no siempre están acoplados. Esto es debido a la variación de rigideces tanto en planta como en elevación (Figura 5).

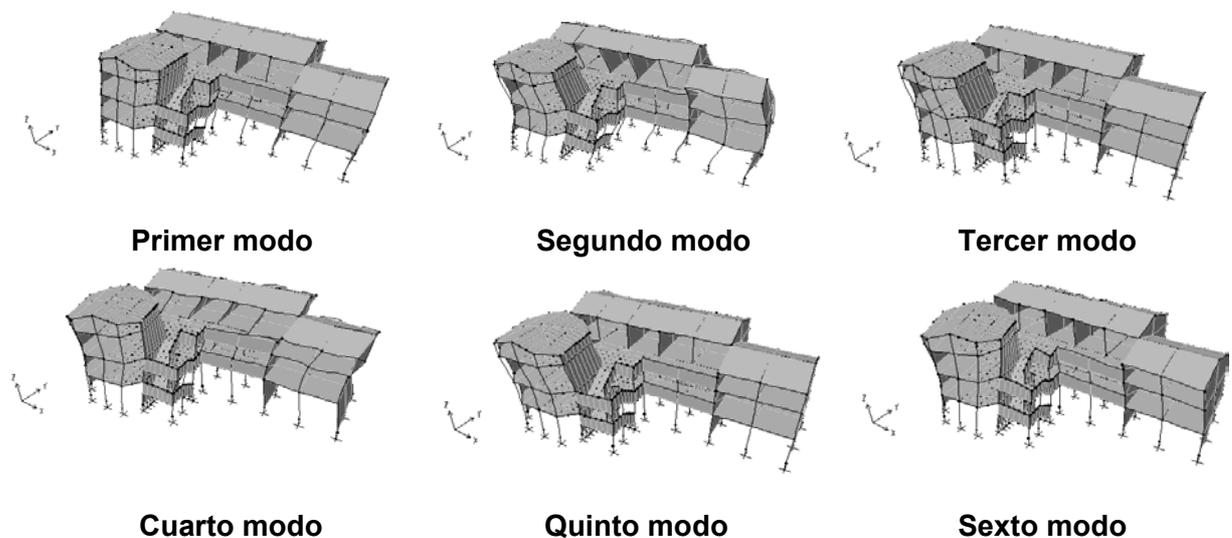


Figura 5. Principales modos de vibración de la estructura.

Desplazamientos y distorsiones

Los desplazamientos y las distorsiones de entrepiso presentan valores razonables aceptados por la norma vigente (Reglamento Nacional de Construcciones, 1997). El desplazamiento máximo es 4.10 cm en el tercer nivel, mientras que la distorsión máxima de entrepiso es de 5/1000 en el segundo piso, ambos en la dirección X-X. Estos valores se encuentran por debajo del límite considerado como criterio de evaluación para no esperar un alto grado de agrietamiento en los componentes no estructurales (Figura 6).

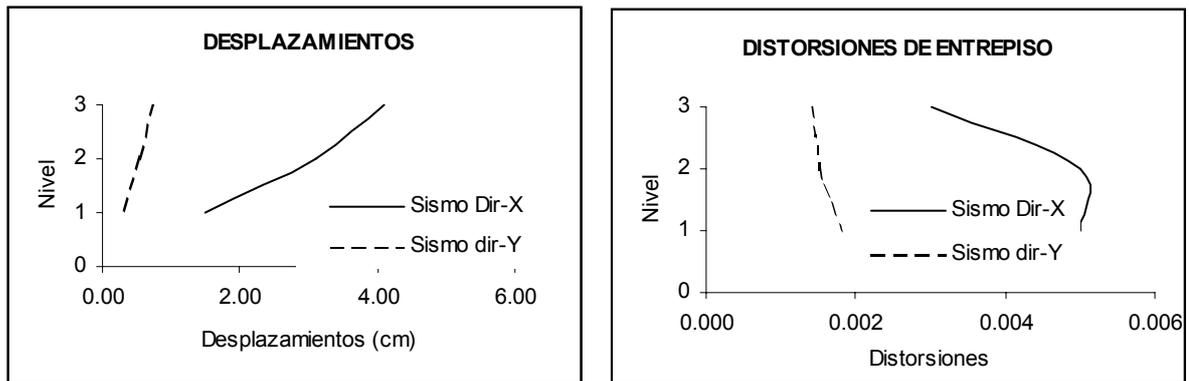


Figura 6. Desplazamientos y distorsiones de entrepiso en la estructura existente.

Distribución del cortante en entrepiso

La fuerza cortante total de entrepiso se distribuye equitativamente entre el módulo octogonal y el módulo rectangular. La masa se concentra en el módulo rectangular por lo que se produce una transmisión de fuerza cortante a través de la losa de conexión entre ambos módulos. Esta transmisión de esfuerzos se debería a la mayor rigidez del octógono respecto a toda la edificación en la dirección mostrada (Figura 7).

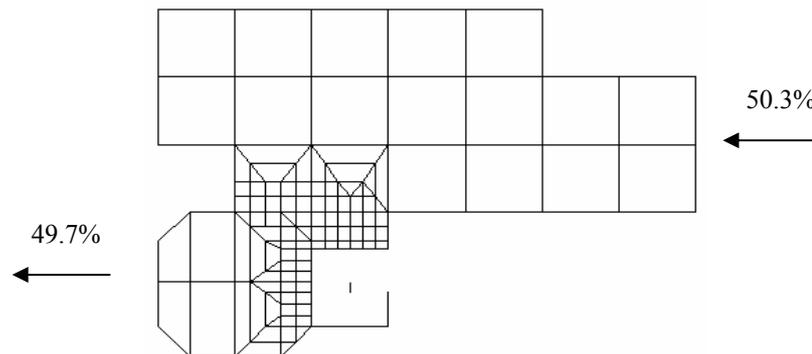


Figura 7. Distribución de fuerza cortante en entrepiso.

Esfuerzos en las losas de la estructura

La distribución de esfuerzos cortantes en la losa se concentra en la zona que conecta el módulo octogonal y el módulo rectangular. El análisis dinámico muestra que debido a la asimetría estructural se generan concentraciones de esfuerzos cortantes que eventualmente producirán agrietamientos de la losa (Figura 8).

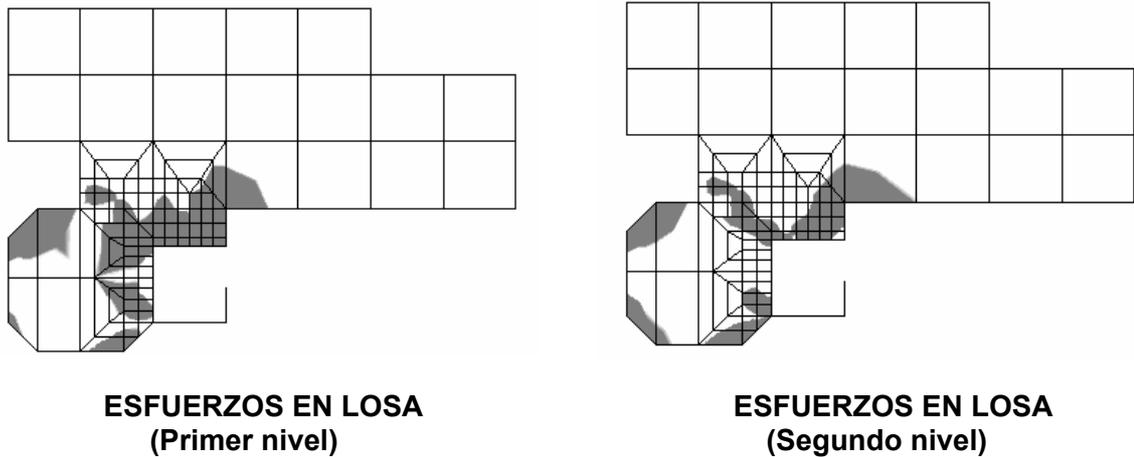


Figura 8. Distribución de esfuerzos cortantes en losas, donde se aprecia la mayor concentración de esfuerzos cortantes en la zona de conexión.

PROCESO DE REFORZAMIENTO

Las acciones correctivas en el proceso de reforzamiento se orientan a independizar los dos módulos de la edificación existente. Además, para reducir las distorsiones de entepiso se propone rigidizar el módulo rectangular mediante la inclusión de elementos de muros de cortante de concreto armado en la dirección más débil.

Independización de la edificación

La independización de la edificación conlleva a separar los dos módulos de la estructura y ha realizar los análisis correspondientes a cada módulo por separado. Los resultados del módulo octogonal independiente cumplen satisfactoriamente la norma vigente por lo que no ha sido presentado en este estudio.

El módulo rectangular independizado (Figura 9) presenta distorsiones del orden de 10/1000 en la dirección X, siendo la máxima permitida según la norma peruana de 7/1000 (pórticos de concreto armado). En la dirección Y, las distorsiones máximas son del orden de 3/1000, menores a las permitidas de 5/1000 (muros de albañilería confinada). Los desplazamientos máximos obtenidos son de 1.35 cm en la dirección Y, y de 7.80 cm en la dirección X (Figura 10).

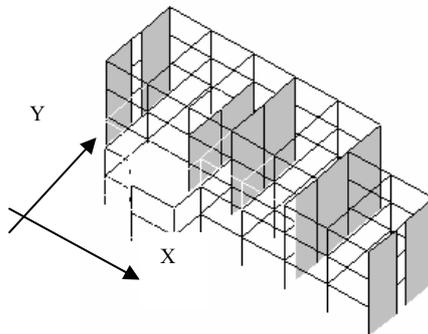


Figura 9. Modulo rectangular independizado.

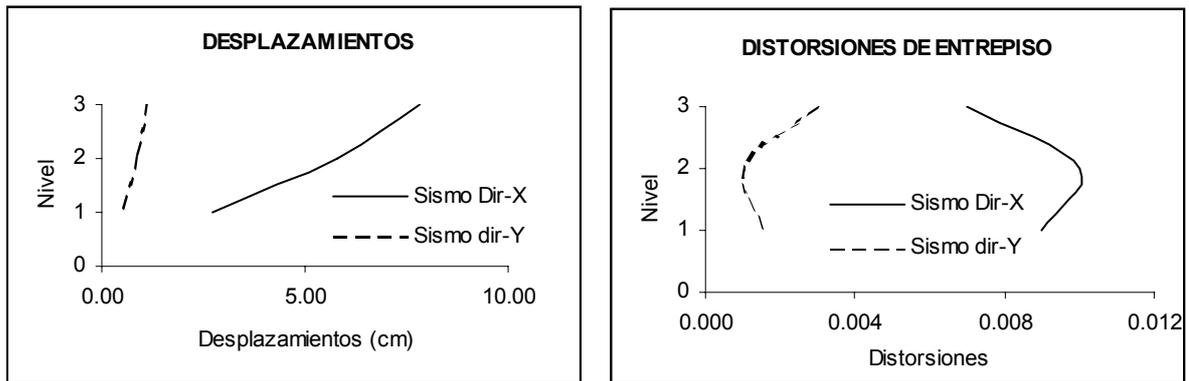


Figura 10. Desplazamientos y distorsiones de entrepiso del módulo rectangular independizado.

Rigidización del modulo rectangular

Para satisfacer requerimientos de la norma sismorresistente (1997) se requiere incluir muros de corte de concreto armado (Figura 11). Las distorsiones máximas obtenidas del análisis en la dirección X son del orden de 3/1000, lo cual cumple los valores máximos permisibles de 7/1000 (pórticos de concreto armado). Los desplazamientos máximos obtenidos son de 1.30 cm en la dirección Y, y de 2.75 cm en la dirección X (Figura 12).

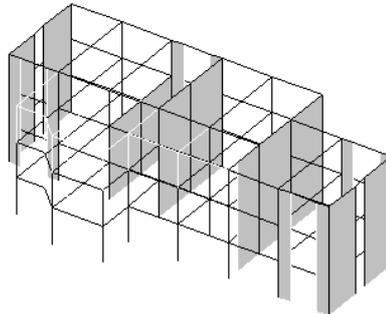


Figura 11. Modulo independizado y reforzado

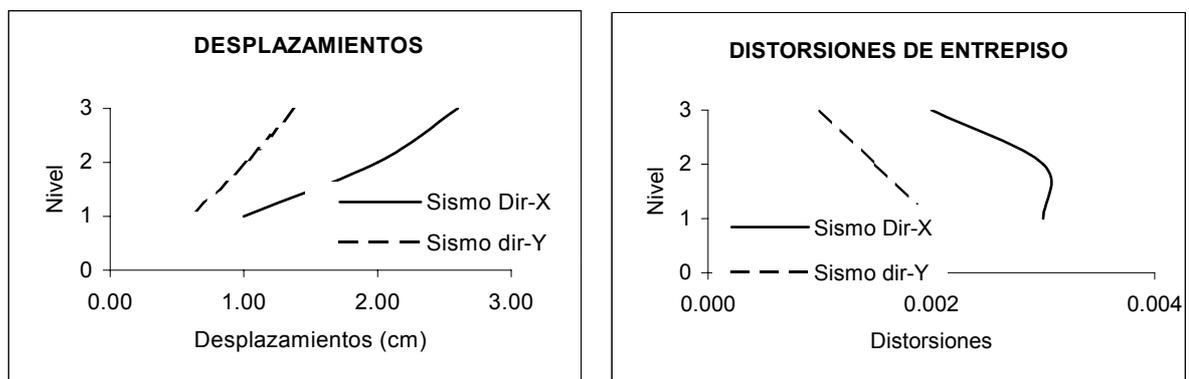


Figura 12. Modulo independizado y reforzado

Técnicas de Reforzamiento

En proceso de reforzamiento de la estructura requiere aislar el módulo octogonal del módulo rectangular. Se han incluido 4 muros de corte (placas) de concreto armado embebidas dentro de los pórticos existentes creando un sistema único (Figura 13). Las técnicas de inclusión de los muros cortantes se realizan mediante abrazaderas con el fin de conectar las columnas existentes, y mediante dowels para conectar las vigas existentes (Figura 14).

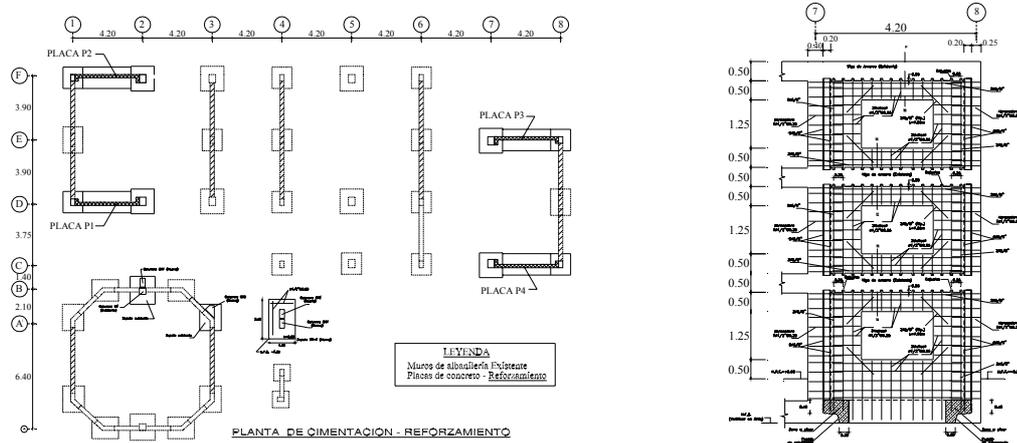


Figura 13. Izquierda: Planta de la estructura reforzada con la inclusión de 4 muros de corte (placas) de concreto armado. Derecha: Elevación típica de un muro de corte.

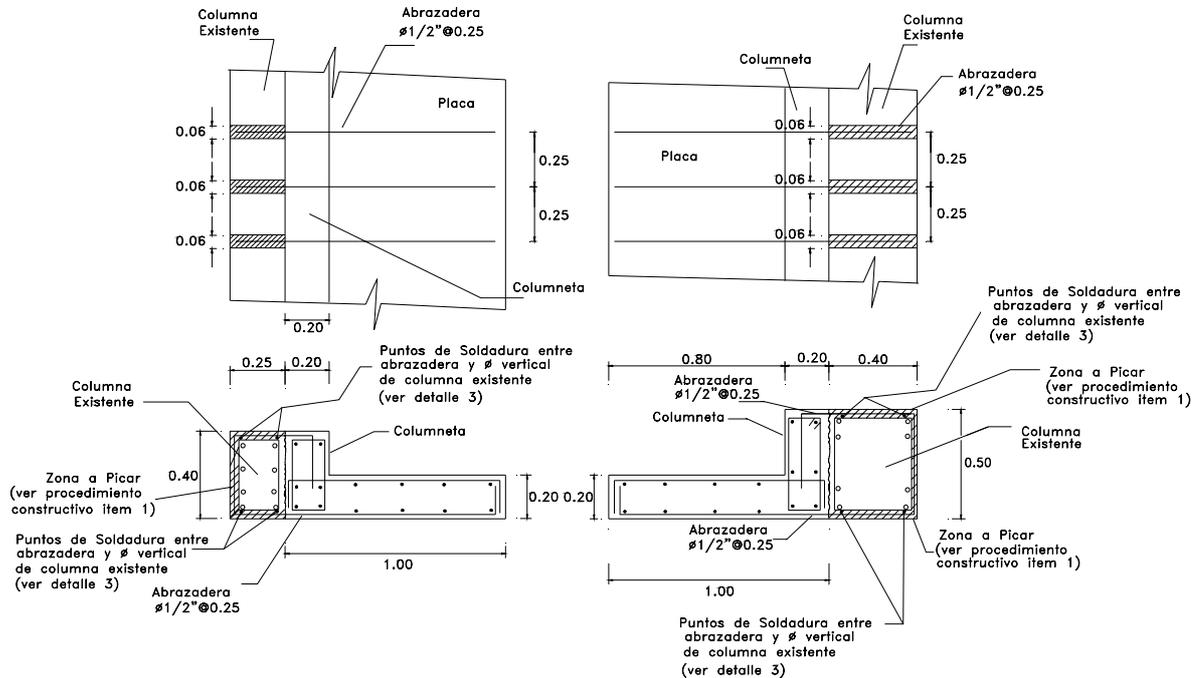


Figura 14. Detalle típico de conexión de muros de corte dentro de los pórticos existentes. Se observa las abrazaderas que amarran los muros de corte con las columnas existentes.

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se derivan de este estudio son las siguientes:

- La configuración estructural de la edificación presenta irregularidades estructurales en planta y en elevación que no son permitidas para las edificaciones esenciales, según la Norma de Diseño Sismorresistente E-030-1997 del Reglamento Nacional de Construcciones del Perú.
- La edificación existente presenta una distribución no uniforme de las fuerzas cortantes de entrepiso, lo cual indica una irregularidad de rigideces en planta. Además, los modos de vibración muestran que el módulo rectangular y octogonal no siempre están acoplados, debido principalmente a la variación de rigideces en elevación.
- El sistema estructural original contribuye a obtener una distribución no uniforme de los esfuerzos en las losas. El análisis dinámico muestra que debido a la asimetría estructural se generan concentraciones de esfuerzos cortantes que eventualmente producirán agrietamientos de las losas.
- Para mejorar el comportamiento sismorresistente de este tipo de edificaciones, se recomienda independizar el módulo octogonal del módulo rectangular, que soluciona el problema de irregularidad en planta y reduce el efecto de torsión. Además, se requiere rigidizar el módulo rectangular en la dirección más débil mediante la inclusión de muros de corte que reduzcan las distorsiones de entrepiso.
- La nueva norma de diseño sismorresistente peruana (1997) cataloga a los Centros Educativos como edificaciones esenciales. La configuración estructural debe ser regular, no deben tener discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración sismorresistente y debe evitarse irregularidades de rigidez (piso blando), de masa, de geometría vertical y de discontinuidad de los sistemas resistentes. Además, debe evitarse irregularidad torsional, esquinas entrantes y discontinuidad del diafragma. Esta recomendación debe adoptarse en los códigos sismorresistentes de países ubicados en zonas sísmicas.

BIBLIOGRAFIA

- Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (1997). "Evaluación Estructural y Proyecto de Reforzamiento del C.E. Fermín del Castillo", Nazca-Lima, CISMID-FIC-UNI.
- Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (1999-a). "Evaluación Estructural y Proyecto de Reforzamiento del C.E. Augusto Salazar Bondy", Huacho-Lima. CISMID-FIC-UNI.
- Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (1999-b). "Evaluación Estructural y Proyecto de Reforzamiento del C.E. María Inmaculada", Huancayo-Lima, CISMID-FIC-UNI.
- Computers and Structures (1997-a). "ETABS Version 6.21", Berkeley, California.
- Computers and Structures (1997-b). "SAP 2000 Version 6.11", Berkeley, California.
- Dahlquit, G., and Bjorck, A., (1974). "Numerical Methods", Prentice Hall, New Jersey.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. y Flannery, B. P. (1992). "Numerical Recipes in C", Segunda edición. Cambridge University Press, New York.
- Reglamento Nacional de Construcciones (1997). Norma Técnica de Edificación E.030, Diseño Sismorresistente, MTC, Lima-Perú, pp. 69.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo del Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (Lima-Perú) y a la contribución desinteresada de los investigadores de dicho Centro a quienes los autores brindan sus más sinceros agradecimientos.