

RIESGO SÍSMICO EN EDIFICACIONES ESCOLARES DEL TIPO ANTIGUO II

Carlos Lee¹, Firas Abou², Oscar A. López³

¹Ingeniero Civil, UCV. *celcaven@yahoo.com*

²Ingeniero Civil, UCV.

³Profesor Titular. IMME. Facultad de Ingeniería, UCV. *oslopez@reacciun.ve*

RESUMEN

Las escuelas del Tipo Antiguo II son edificaciones escolares construidas hace más de 50 años, con normas de diseño menos exigentes a las actuales, similares a las colapsadas en Cariaco durante el Sismo de 1997. No se disponen de planos estructurales ni arquitectónicos de estas edificaciones, así como tampoco de los cálculos utilizados en su diseño. Se presentan resultados preliminares de la evaluación sismorresistente de estas edificaciones, utilizando análisis dinámicos lineales y técnicas aproximadas de análisis estático no lineal, bajo el marco de las normas venezolanas vigentes. Se realizó una recopilación exhaustiva de las características estructurales y arquitectónicas de las escuelas en varias ciudades del país comprobándose el carácter repetitivo de estas edificaciones. Se desarrollaron planos detallados y un modelo virtual consistente en imágenes y videos digitales de la edificación. Se determinó la respuesta dinámica considerando un factor de reducción congruente con la limitada capacidad de disipación de energía de edificaciones de esa época. La capacidad del edificio a fuerza cortante fue estimada conservadoramente suponiendo un modo de colapso simultáneo de todas las columnas en cada entrepiso, incluyendo los efectos de columna corta que generan las paredes de relleno. La relación demanda elástica/capacidad, la cual suministra una estimación de la demanda global de ductilidad, es del orden de 6,3 al ignorar las paredes excediendo ampliamente el valor admisible de 2, pero se reduce a 1,4 al incluir las paredes. Se concluyó en la necesidad de adecuar estructuralmente estas escuelas, recomendándose alternativas que aprovechen las paredes como elementos sismorresistentes.

SEISMIC RISK IN OLD TYPE II SCHOOL BUILDINGS

ABSTRACT

The Old Type II are school buildings that were built more than 50 years old, designed with less demanding standards than the current ones, similar to those collapsed in Cariaco during the Earthquake of 1997. The structural and architectural drawings of these constructions are not available, neither the calculations used in the design. Preliminary results of the seismic evaluation of these constructions are presented, using elastic dynamic analysis and approximate techniques of inelastic static analysis, under the framework of the actual Venezuelan standards. An exhaustive compilation of the structural and architectural characteristics of the schools was carried out in several cities of the country, being the repetitive character of these buildings confirmed. Detailed plans and a virtual model consisting of images and digital videos of the building were developed. The dynamic response was determined considering a reduction factor that is consistent with the limited energy dissipation capacity of constructions of that age. The capacity to shear force was estimated conservatively assuming the simultaneous collapse of all columns of one story, including the short column effects that generate the infill walls. The elastic demands/capacity ratio is approximately equal to 6,3 ignoring the walls, exceeding the acceptable value of 2, but less than this when including the walls. It is concluded that the structure of these schools should be retrofitted. Retrofitting options that take advantage of the infill walls as seismic resistant elements are recommended.

INTRODUCCIÓN

Los elevados riesgos asociados a las edificaciones escolares están presentes a nivel mundial según las experiencias observadas en los últimos sismos. Terremotos recientes han afectado de manera significativa a edificaciones escolares. Las escuelas primarias, secundarias y las universidades, al igual que, hospitales, oficinas de gobierno y centros de comunicación, son instalaciones estratégicas, cuyas

estructuras deben ser capaces de resistir las solicitaciones sísmicas con mejor comportamiento que otras instalaciones comunes. De la estabilidad y buen funcionamiento de las mismas, luego de los sismos, dependerá salvar muchas vidas, no obstante, la experiencia demuestra lo especialmente vulnerables que son las edificaciones escolares durante terremotos de moderada a elevada intensidad.

El 9 de julio de 1997 un terremoto ($M_w=6,9$) en el Estado Sucre dejó un saldo de 73 muertos y sobre los 100 millones de dólares en pérdidas [López, et al., 2004; Alonso y Bermúdez, 1998]. De las siete edificaciones de concreto armado que se derrumbaron, sorprendentemente cuatro fueron edificios escolares. Adicionalmente, otros 35 planteles sufrieron daño estructural severo. En el terremoto en cuestión fueron afectados 301 planteles educativos, ocasionando la muerte de 23 personas entre estudiantes y personal docente [Rangel, 1999].

El sistema estructural de numerosas escuelas presentes hoy en día en Venezuela es muy similar al de las que fallaron durante el terremoto de Cariaco. Uno de estos sistemas semejantes es el llamado Tipo Antiguo II, construidos entre los años 1950 y 1960, de los cuales se estima que existen aproximadamente un centenar en todo el país. Este estudio tiene como objetivo identificar las características estructurales y arquitectónicas de las Escuelas Tipo Antiguo II, evaluar el nivel de riesgo sísmico presente bajo el marco de las normas vigentes y proponer recomendaciones generales para reducir su vulnerabilidad hasta niveles aceptados en las mismas.

DESCRIPCION DE LA EDIFICACION

No se pudieron localizar planos de estas construcciones hechas hace unos 50 años por lo que se hizo necesario conseguir información directamente en las escuelas existentes. Se realizó una recopilación exhaustiva en sitio de la arquitectura y estructura de escuelas de Caracas, Guarenas, Santa Lucía y Nueva Esparta, comparándose con la información disponible de otras ubicadas en Mérida, Trujillo y Nueva Esparta, concluyéndose que poseen una gran similitud entre ellas y comprobando su carácter repetitivo. Las escuelas examinadas fueron la “E. B. Ambrosio Plaza” de Guarenas, la “E. B. Miguel Villavicencio” de Caracas, la “E. B. Francisco Espejo” de Santa Lucía, la “E. B. Doctor Luis Ortega” de Nueva Esparta, la “E. B. Nueva Esparta” de Mérida, la “E. B. Samuel Darío Maldonado” y la “E. B. Padre Miguel Lorenzo” ubicadas en Trujillo. La Figura 1 muestra fotografías del Módulo Principal de las escuelas de Guarenas y Caracas.



Figura 1. Fotografías del Módulo Principal de dos escuelas del Tipo Antiguo II, localizadas en Guarenas (foto izquierda) y en Caracas (foto derecha). Fotografías tomadas por Lee y Abou.

Con la información recopilada se elaboraron planos detallados de la arquitectura (Figura 2) y la estructura (Figura 3), además de modelos en tres dimensiones con

sus correspondientes imágenes y videos de animación digital (Figura 4). Las escuelas Tipo Antiguo II son estructuras aporticadas de concreto armado construidas

entre los años 1950 y 1960, formadas por dos módulos contiguos, el Módulo Principal y el Módulo Anexo. Ambos módulos están conectados rígidamente en algunas escuelas (Figura 3), pero en otras se observaron módulos desconectados por medio de juntas de construcción.

El Módulo Principal posee dos niveles identificados como Planta Baja y Planta Alta. Este Módulo funciona como edificio de aulas y oficinas administrativas (Secretaría, Coordinación, Dirección). El Módulo Anexo consta de un solo nivel, cuya función original aparente fue el de albergar el comedor y la cocina, aún cuando actualmente es utilizado con diferentes fines.

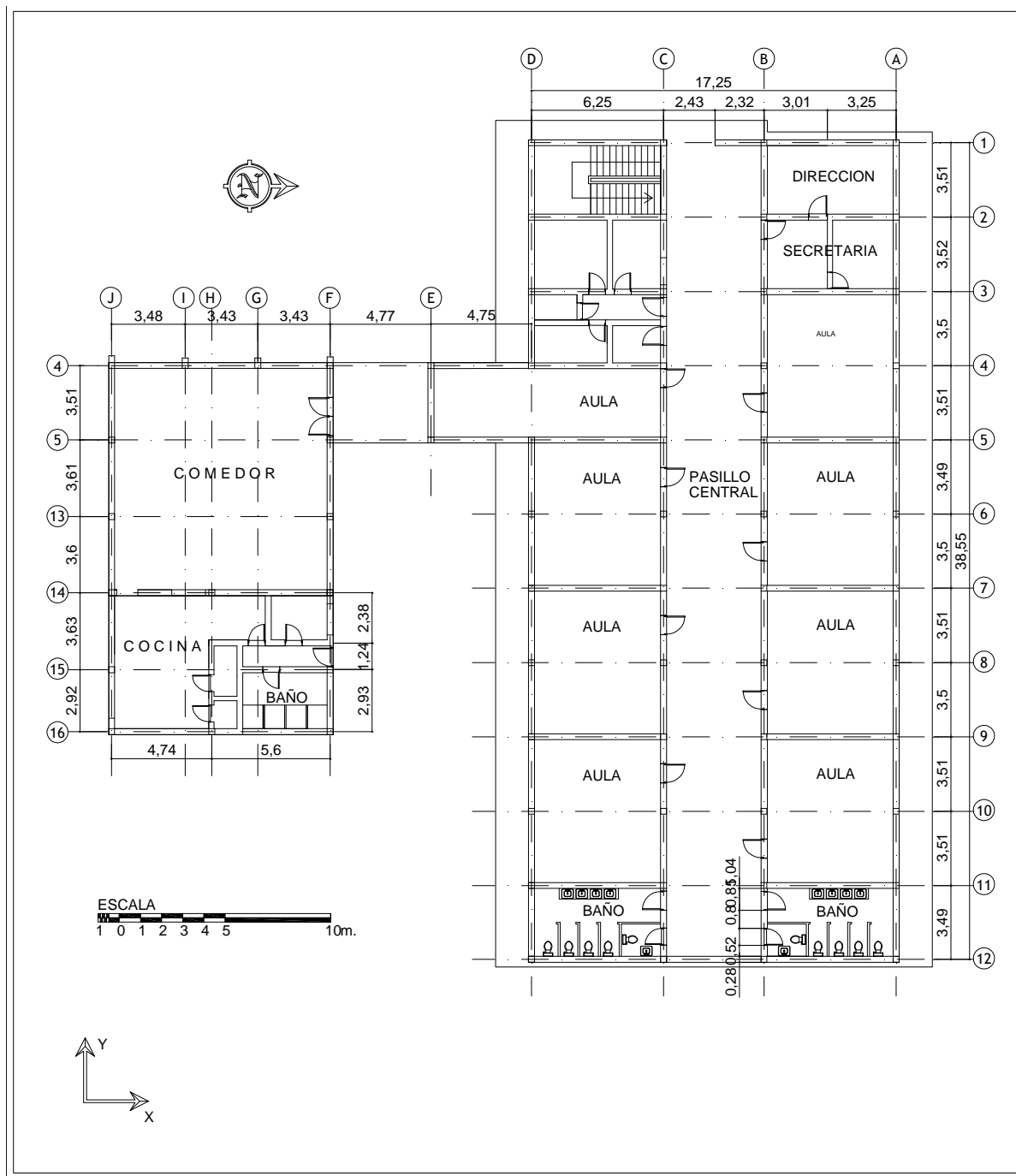


Figura 2. Plano de arquitectura de la planta baja del edificio.

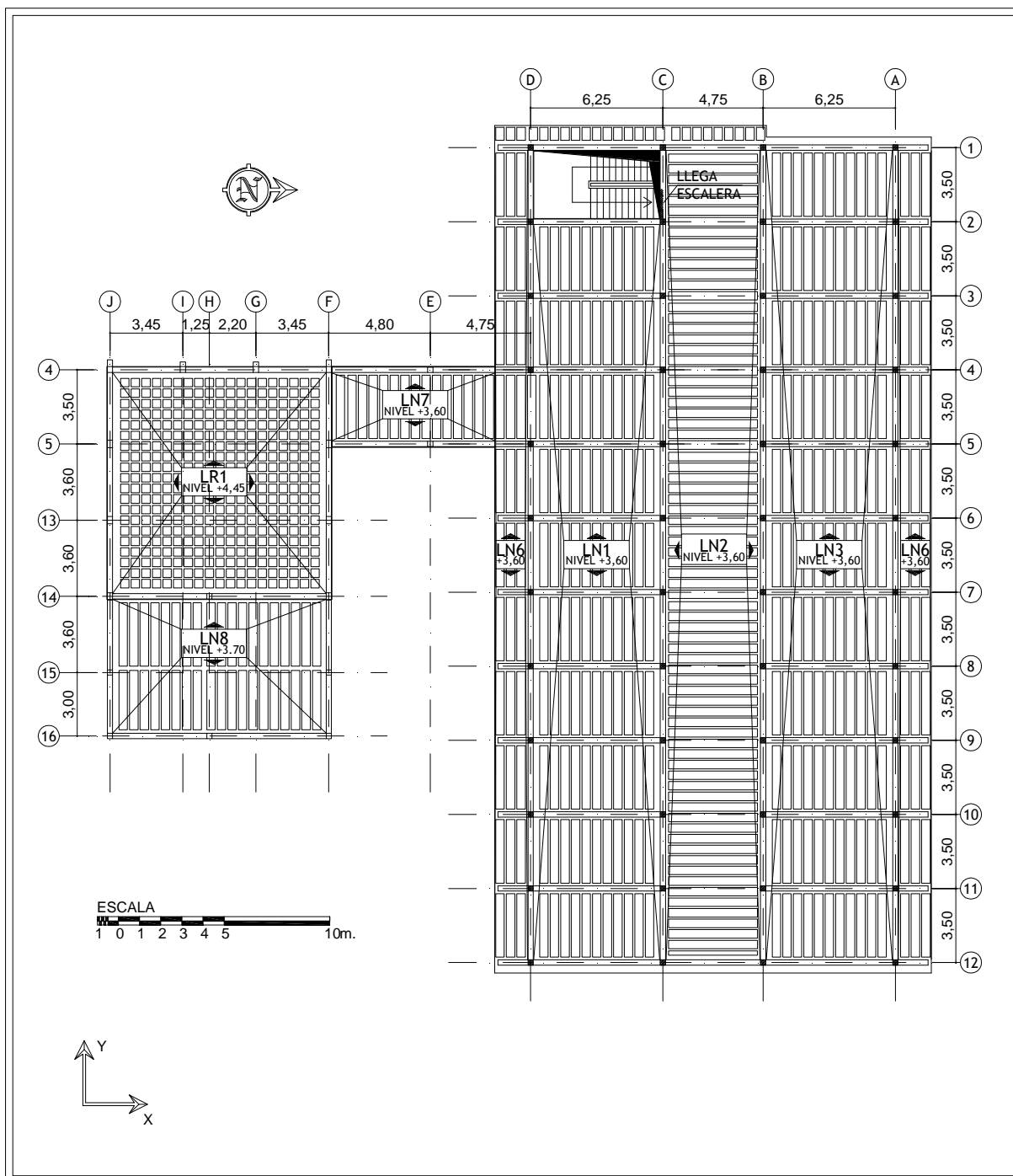


Figura 3. Plano del envigado de la planta alta. Nótese que el Módulo Principal y el Módulo Anexo están rigidamente conectados.

Módulo Principal

El Módulo Principal cuenta con doce pórticos transversales separados a 3,50 m (identificados del 01 al 12) y cuatro longitudinales separados a 6,25 m y 4,75 m

(identificados de la A a la D). En total 48 columnas conforman este Módulo, todas con una sección cuadrada de 25 cm x 25 cm, cuyos ejes poseen continuidad en todos los niveles (Figuras 3 y 4a). La estructura posee vigas altas en la dirección longitudinal, las mismas son

de 25 cm x 60 cm. En la dirección transversal se presentan dos situaciones: en los pórticos extremos (1 y 12) se encuentran vigas altas de 25 x 60 entre los ejes A-B, B-C y C-D. En los pórticos interiores (2 al 11) estas vigas sólo se encuentran entre los ejes A-B y C-D, es decir, la estructura carece de vigas entre los ejes B-C. En la Planta Alta se detectaron vigas de corona en los pórticos longitudinales A y D que sostienen la tabiquería superior a las ventanas, estas vigas son de 25 cm x 40 cm y están localizadas a un metro por debajo de las vigas principales. La altura de entrepiso de Planta Baja es de 3,60 m. La altura de entrepiso en la Planta Alta es variable, producto de la inclinación de la losa de techo, la cual es a dos aguas; en los tramos externos la altura de entrepiso es igual a 4,40 m disminuyendo en altura hasta llegar a 3,65 m. En el tramo central la altura de entrepiso es uniforme e igual a 3,25 m.

La Planta Baja está constituida por un pasillo central de 4,75 m de ancho, aulas de clase con una capacidad promedio de treinta alumnos por salón y unas dimensiones de 6,00 m x 6,75 m cada una, áreas administrativas, dos baños y un pasillo que comunica el Módulo Principal con el anexo; este pasillo se ha observado en varias ocasiones usado como aula de clase adicional. La Planta Alta consta al igual que la planta inferior de un pasillo central con las mismas dimensiones, aulas de clase con la misma capacidad de las aulas del nivel inferior y dos baños.

La tabiquería existente en ambos pisos de la edificación principal, está compuesta por bloques de arcilla de 20 cm de ancho con un friso en ambas caras de aproximadamente 2,5 cm de espesor. Las paredes no están desvinculadas o separadas de los elementos estructurales. Todas las aulas de clase cuentan con ventanas que van de cara a cara de columna, situadas a 1,20 m de la losa de piso, con dimensiones de 3,25 m de ancho por 1,80 m de altura. Las paredes que separan las aulas del pasillo central poseen en su parte superior, una ventilación formada por dos filas de bloques huecos de ventilación de concreto de 20 cm x 20 cm x 40 cm. La configuración de las paredes generan columnas cortas a todo lo largo de los pórticos longitudinales (Figura 5): En los pórticos "B" y "C" las columnas son de 0,45 m de longitud, mientras que en los pórticos "A" y "D" son de 1,80 m. En la dirección transversal (Figura 6) se presentan alternadamente unos vanos con paredes completas, otros sin paredes y otros en donde se generan columnas cortas de longitud igual a 0,80 m en el pórtico 12 y de 1,60 m de longitud en el pórtico 1.

En el Módulo Principal la losa de piso es nervada con un espesor de 25 cm, y está aligerada con bloques de

arcilla. Entre los ejes A-B y C-D (aulas) la losa está armada en la dirección longitudinal, mientras que entre los ejes B-C (pasillo) la losa está armada en la dirección transversal. La losa de entrepiso posee volados en sus cuatro fachadas. En los volados de las fachadas longitudinales se encuentran en total 21 parasoles de forma trapezoidal compuestos por bloques de arcilla de 10 cm, frisados por ambos lados (Figuras 1 y 4). El espesor aproximado de este friso es de 2,5 cm. La Planta Techo es a dos aguas en la mayor parte de su extensión, el agua escurre desde las losas inclinadas hacia un tramo central, el cual a través de una ligera pendiente permite que el agua fluya hacia la fachada oeste. En la Planta Techo se ubican dos estanques elevados de almacenamiento de agua de concreto armado de aproximadamente 10 mil litros de capacidad cada uno, los mismos están ubicados hacia el este del techo de la edificación (Figura 4b).

Módulo Anexo

El Módulo Anexo posee cinco ejes longitudinales (de la F a la J) y seis ejes transversales (4, 5, 13, 14, 15, 16). En total son 16 columnas de concreto armado, con secciones de 25 cm x 60 cm, 25 cm x 50 cm, 25 cm x 35 cm y de 25 cm x 25 cm. Las vigas perimetrales del anexo son de 25 cm x 60 cm. En la zona perimetral se detectaron vigas de corona que sostienen los sectores de pared que se hallan sobre las ventanas, de sección 25 cm x 40 cm.

El Módulo Anexo está constituido por un comedor de 10,05 m x 10,45 m, una zona de cocina, baño y vestidores de 10,05 m x 6,30 m. La entrada principal de este módulo se encuentra en el pasillo que lo comunica con el edificio de aulas. Posee una entrada secundaria, la cual conduce a la cocina. Las vigas de este pasillo son la extensión de las vigas de los ejes 4 y 5 del Módulo Principal. Las vigas del pasillo sostienen una losa nervada armada en la misma dirección que las losas del Módulo Principal. En el comedor la altura de entrepiso es de 4,45 m, pero en el área destinada a la cocina es de 3,70 m. La losa de techo está armada en ambas direcciones, aligerada con bloques de arcilla. En la zona de la cocina la losa es nervada, armada en la dirección longitudinal, aligerada con bloques de arcilla. Las ventanas del comedor son de cara a cara de columna, las mismas son de 1,80 m de altura y se encuentran ubicadas a 0,38 m de la losa de piso. Las ventanas de la cocina también son de cara a cara de columna, se ubican a 1,60 m de la losa de piso y poseen una altura de 0,80 m. En el Módulo Anexo las paredes son de 30 cm de espesor, constituidas por ladrillos de arcilla de 6 cm x 12 cm x 25 cm frisadas por ambas caras.

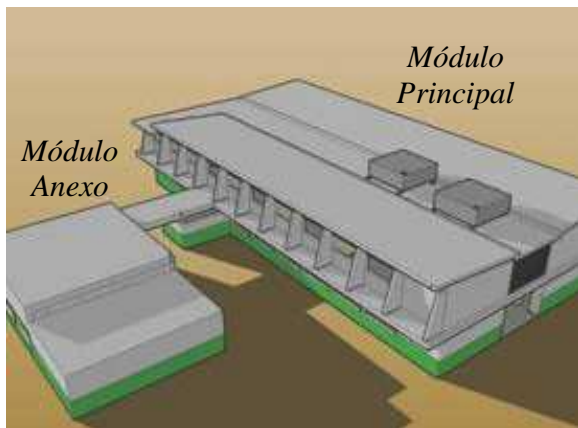
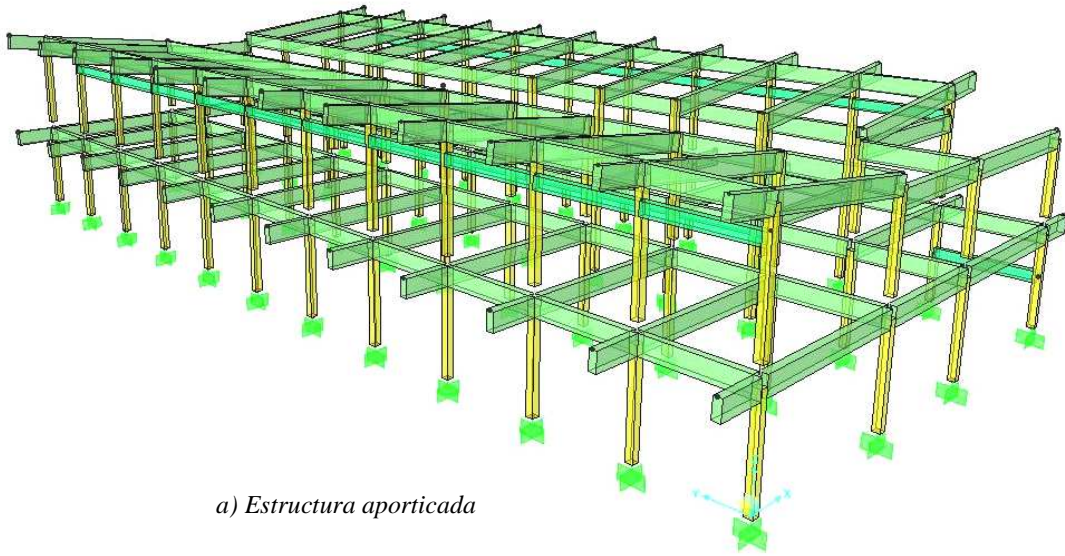


Figura 4. Imágenes en tres dimensiones de la estructura y arquitectura del edificio.

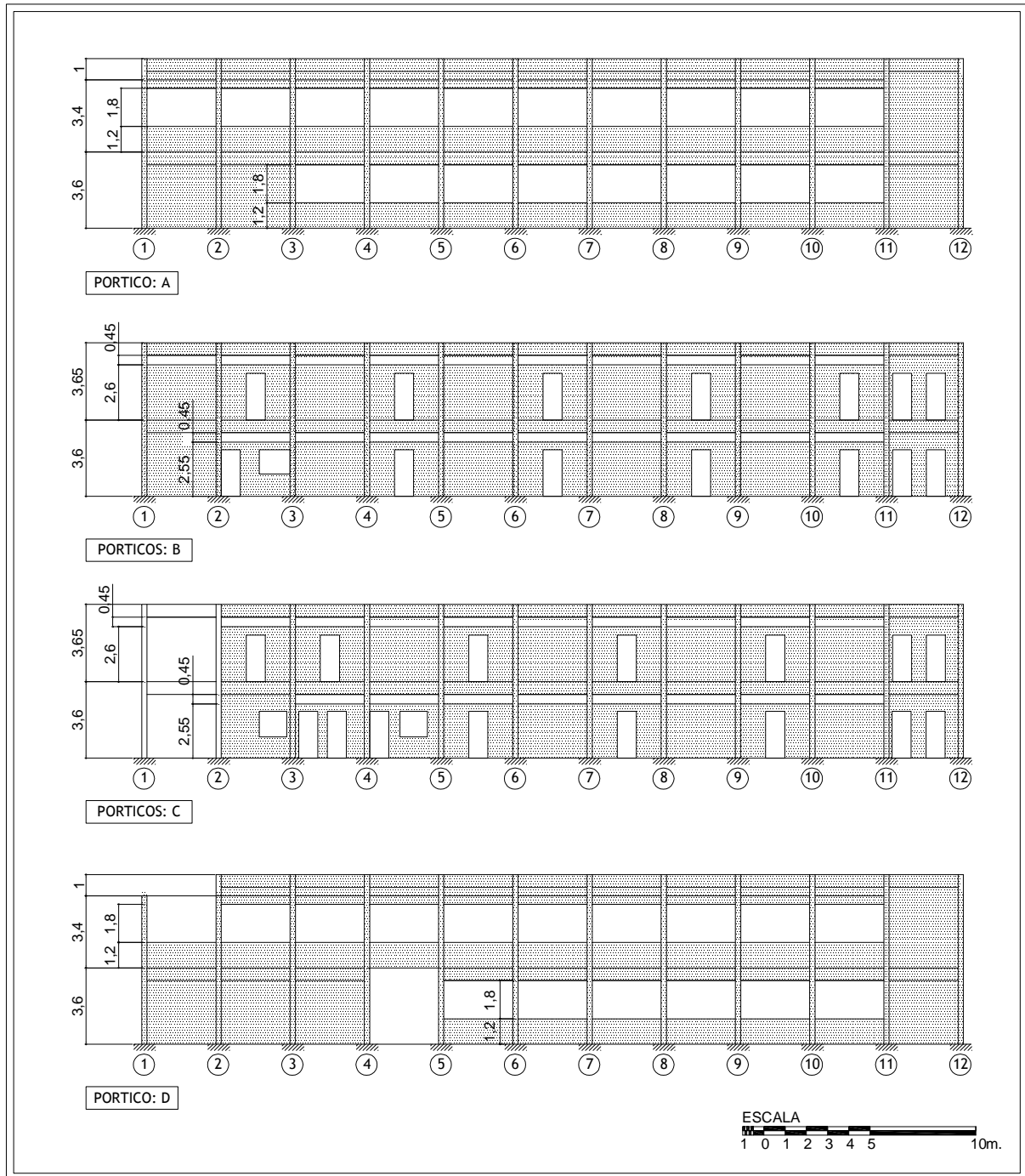


Figura 5. Pórticos longitudinales(Y) del Módulo Principal mostrando las paredes de mampostería y la longitud efectiva de las columnas.

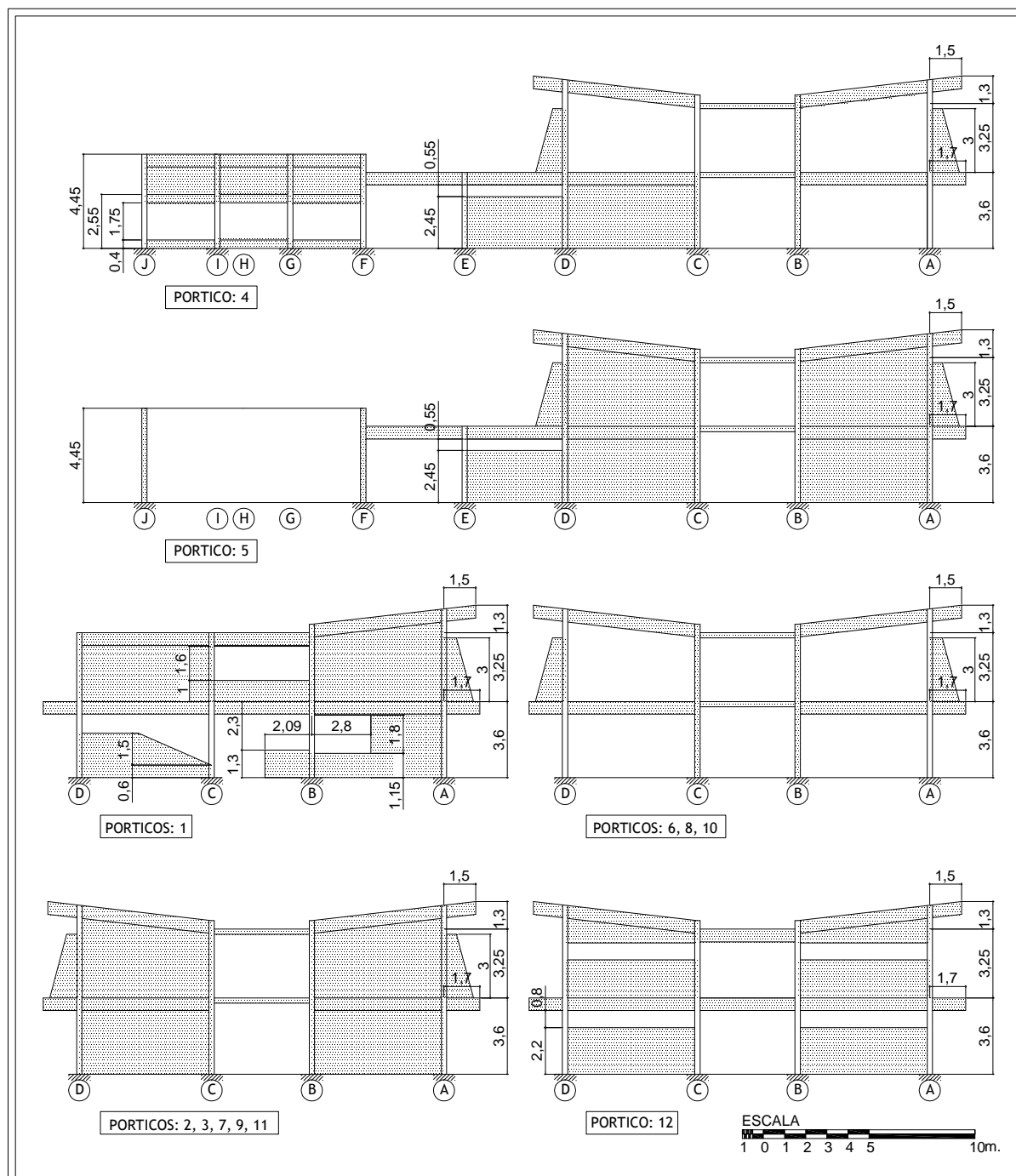


Figura 6. Pórticos transversales (X) del Módulo Principal mostrando las paredes de mampostería y la longitud efectiva de las columnas.

MATERIALES

Las propiedades de los materiales se estimaron con base a una recopilación de información correspondiente a edificaciones escolares en Venezuela de similar

antigüedad. El concreto utilizado para la construcción de los elementos estructurales se estima con una resistencia promedio a compresión de 163 Kg/cm², en vigas, columnas y losas [Del Re, 2006].

El acero utilizado para el armado longitudinal de los elementos estructurales se estima con un límite elástico $f_y = 2400 \text{ Kgf/cm}^2$ (clasificación A-24) y para el armado transversal $f_y = 2800 \text{ Kgf/cm}^2$ (clasificación A-28) [Del Re, 2006]. Con base a las exploraciones efectuadas y a la información encontrada de un edificio del mismo tipo, se adoptó un acero longitudinal de 4 cabillas de 5/8" en cada columna; son barras estriadas como se observó en una de las columnas cuyo acero estaba expuesto. El acero transversal presente en columnas (ligaduras) y en vigas (estribos) tiene un diámetro de 3/8" y son barras lisas. Todas las barras de refuerzo transversal, en vigas y en columnas, están separadas 25 cm de eje a eje en toda la longitud de los elementos, valores obtenidos de las mediciones hechas en sitio con el detector de metales. No se detectó la existencia de zonas con menor espaciamiento entre barras de refuerzo transversal. Se consideró un módulo de elasticidad de la mampostería de bloques de arcilla de 20.000 Kgf/cm^2 y un módulo de elasticidad de la mampostería de ladrillo de 80.000 Kgf/cm^2 [Fundación ICA, 1999].

MODELOS MATEMÁTICOS

Con la información recabada se elaboraron modelos detallados de la estructura, incluyendo las paredes de mampostería que están enmarcadas por los pórticos. Las

cargas variables nominales se toman de la Norma [COVENIN, 1998], a saber 400 kgf/m^2 en aulas y 300 kgf/m^2 en pasillos. Como cargas variables efectivas durante un sismo se considera el 50% de la carga variable de servicio correspondiente a edificaciones educacionales, de acuerdo con la Norma COVENIN 1756 vigente [COVENIN, 2001]. Se cargó la estructura distribuyendo los pesos propios de losas, paredes, parasoles y la carga variable sobre las vigas correspondientes, incluyendo el peso propio de los elementos estructurales (vigas y columnas). El peso de los estanques fue asignado a las columnas que lo soportan directamente. El peso del edificio es de 1434 toneladas.

Se realizaron seis modelos de la edificación en los que se variaron algunos elementos para evaluar su influencia en las propiedades dinámicas de la estructura. Los elementos a variar son: la tabiquería, el Módulo Anexo, los parasoles, los tanques y el número de grados de libertad de los diafragmas (Tabla 1). Los modelos 1 a 5 consideran tres grados de libertad dinámicos (GDL) en cada nivel, por lo que el edificio tiene un total de 6 GDL. El Modelo 6 agrega tres GDL en el Módulo Anexo y otros tres en el pasillo por lo que el edificio tiene un total de 12 GDL.

MODELO	MODULO ANEXO	TABIQUERIA	TANQUES	PARASOLES	Nº DE GDL
1	NO	NO	SI	SI	6
2	NO	SI	SI	NO	6
3	NO	SI	SI	SI	6
4	NO	SI	NO	SI	6
5	SI	SI	SI	SI	6
6	SI	SI	SI	SI	12

Tabla 1. Modelos matemáticos del edificio.

La rigidez adicionada por la tabiquería se incorporó mediante el uso de bielas equivalentes [Pauley y Priestley, 1992]. Las rigideces de las bielas equivalentes fueron comparadas y ajustadas con las obtenidas en modelos con elementos finitos. Se consideró la estructura empotrada en la base en ambas direcciones. Para definir la longitud de los elementos estructurales se consideró un brazo rígido en la junta del 50% para vigas y columnas.

ACCION SÍSMICA

El espectro utilizado para el análisis posee un Coeficiente de Aceleración Horizontal (A_0) igual a 0,30 correspondiente a una zona sísmica 5 o de peligro sísmico elevado. El Factor de Importancia (α) usado fue de 1,30 por ser edificación educacional (Grupo A). Las

respuestas a ambas componentes sísmicas horizontales definidas para el mismo espectro se combinaron con el criterio del 30% [COVENIN, 2001].

Para la selección del Factor de Reducción de Respuesta (R) se considera que la capacidad global del sistema para disipar energía es baja. Tomando en cuenta la antigüedad de la construcción (década de 1950) se adoptó un valor de R igual a 2, el cual se puede asociar a una ductilidad admisible del edificio del mismo orden. Con el fin de obtener resultados conservadores aplicables en cualquier escuela Tipo Antiguo II, se estudiaron todos los casos de formas espectrales aplicables eligiéndose el tipo de suelo más desfavorable para cada uno de los modelos realizados.

RESPUESTA SÍSMICA

Se determinó la respuesta sísmica mediante el Método de Superposición Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel descrito en la Norma [COVENIN, 2001]. Los cálculos se realizaron con ayuda del programa SAP2000 [CSI, 2004]. En la Tabla 2 se presentan los períodos de los seis primeros modos de vibración de cada modelo del edificio. El efecto de la tabiquería en la rigidez

global de la estructura y por consiguiente en el comportamiento dinámico de la misma, es de gran importancia. Comparando los modelos 1 y 2 observamos una disminución del período fundamental de 1,10 a 0,36 segundos al incluir la tabiquería. Los tanques, los parasoles y el número de GDL tienen una influencia menor en los períodos de vibración (Tabla 2).

MODELO	MODOS					
	1	2	3	4	5	6
1	1,10	1,0	0,94	0,44	0,39	0,36
2	0,36	0,35	0,27	0,15	0,14	0,10
3	0,36	0,35	0,27	0,15	0,14	0,10
4	0,34	0,32	0,27	0,15	0,13	0,10
5	0,35	0,30	0,24	0,15	0,13	0,11
6	0,35	0,33	0,26	0,16	0,14	0,13

Tabla 2. Períodos (segundos) de los primeros seis modos de vibración en cada modelo.

Se determinaron las derivas máximas de cada entrepiso en cada dirección horizontal del edificio (Tabla 3). En el modelo sin paredes las derivas máximas se encuentran en el orden de 36 por mil, valores que son muy elevados y exceden tres veces el valor límite de 12 por mil impuesto por la norma vigente para edificaciones educacionales. En los modelos con paredes las derivas disminuyen debido al aumento considerable de rigidez ocasionado por el efecto de las paredes de mampostería;

estas derivas pasan a estar por debajo de las admisibles, no excediendo el valor de 6 por mil. En el Modelo 5 en el cual se considera el Módulo Anexo conectado al Módulo Principal, se puede observar que el cambio de geometría introduce una disminución apenas perceptible en las derivas máximas de entrepiso, a pesar de la aparición de un importante comportamiento torsional no deseado en la edificación.

MODELO	DESCRIPCIÓN	Planta Alta		Planta Baja	
		X	Y	X	Y
1	Estructura sola	23,1	14,8	35,9	30,9
2	+ Paredes	3,8	4,0	5,6	3,4
5	+Paredes + Modulo Anexo	3,9	4,0	3,6	3,7

Tabla 3. Derivas máximas (‰) en cada dirección (X,Y) y en cada entrepiso.

Se determinó el cociente demanda/capacidad en términos del cortante de cada entrepiso. La demanda de fuerza cortante se determinó utilizando un modelo elástico (R=1). Este cociente demanda/capacidad suministra una estimación de la demanda de ductilidad global del entrepiso. La capacidad o cortante resistente fue estimada suponiendo un modo de falla global asociado a la falla individual de todas las columnas del entrepiso en consideración. La fuerza resistente de cada columna es la menor entre las fuerzas cortantes asociadas a una falla dúctil (por flexión) o a una falla frágil (por cortante). La fuerza cortante resistente de cada entrepiso es por tanto la suma de las fuerzas cortantes que resisten sus columnas.

interpretar como un valor medio de la demanda de ductilidad sobre el edificio. Este valor excede aproximadamente tres veces la ductilidad de 2 que es considerada como admisible para este edificio. Cuando se consideran las paredes dentro de los pórticos (Modelo 2), los resultados cambian sustancialmente como se indica en la Tabla 5. El cortante resistente aumenta debido al incremento de los cortantes resistentes de las columnas, que al ser bastante más cortas no pueden desarrollar su capacidad a flexión y fallan frágilmente por cortante. Por otro lado la demanda de fuerza cortante sobre las columnas disminuye sustancialmente debido a la presencia de las paredes que toman la mayor parte de la carga lateral. Como resultado, el valor medio de la demanda para ambas direcciones y ambos entrepisos, es aproximadamente 1,4 veces la capacidad. Debe sin embargo destacarse que la estructura aun siendo más resistente por la presencia de las paredes, posee un

La Tabla 4 presenta el cociente demanda/capacidad para el edificio sin paredes (Modelo 1), en cada entrepiso y en cada dirección (X o Y). Promediando todos los cocientes se obtiene un valor de 6,3 el cual se puede

comportamiento bastante más frágil que la estructura sin paredes.

		DEMANDA (Ton)	CAPACIDAD (Ton)	DEMANDA/CAPACIDAD
Planta Baja	V _x	862	136	6,3
	V _y	975	136	7,2
Planta Alta	V _x	510	107	4,8
	V _y	676	107	6,7

Tabla 4. Cociente Demanda/Capacidad para la estructura sin paredes (Modelo 1); cortantes de entrepiso en cada dirección.

		DEMANDA (Ton)	CAPACIDAD (Ton)	DEMANDA/CAPACIDAD
Planta Baja	V _x	166	188	0,9
	V _y	446	291	1,5
Planta Alta	V _x	110	234	0,5
	V _y	619	222	2,8

Tabla 5. Cociente Demanda/Capacidad para la estructura con paredes (Modelo 2); cortantes en columnas de entrepiso, para cada dirección.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha comprobado la existencia del tipo estructural de edificación escolar denominado Antiguo II, construido hace unos 50 años y constituido por pórticos de concreto armado, el cual posee carácter repetitivo a nivel nacional. En las siete escuelas estudiadas no se hallaron diferencias estructurales ni arquitectónicas significativas. Se comprobó que los estanques elevados al igual que el Modulo Anexo son parte del diseño original de la edificación escolar, y este último puede encontrarse conectado o desconectado del Modulo Principal. Se comprobó la presencia de vigas altas en ambas direcciones de la estructura, con la excepción del paño longitudinal intermedio donde sólo existen vigas en la zona perimetral de la estructura; esto marca una diferencia con otras edificaciones de igual edad que carecen de vigas en una de sus direcciones principales

Las paredes de relleno de 25 cm de espesor están enmarcadas por los pórticos y tienen una gran influencia en la rigidez del edificio, ocasionando una reducción del período fundamental de 1,10 s a 0,36 s. La mayoría de estas paredes generan columnas cortas, potenciando un mayor comportamiento frágil en la estructura que de por sí posee una muy poca capacidad de disipación de energía.

Las derivas máximas del edificio, calculadas para las acciones sísmicas estipuladas en la zona 5 de la norma venezolana vigente, se encuentran aproximadamente tres veces por encima de los valores permisibles cuando se considera la estructura sin paredes. Al incorporar las

paredes las derivas cumplen holgadamente las máximas permitidas, demostrando el efecto rigidizador de las mismas

La relación demanda/capacidad en términos del cortante de entrepiso de la estructura sin paredes, la cual suministra un estimado de la demanda global de ductilidad, excede tres veces el valor considerado como tolerable para esta edificación. Al incorporar las paredes la demanda de cortante en las columnas se reduce sensiblemente y es aproximadamente 1,4 veces la capacidad, aun cuando debe destacarse que a pesar de ser la estructura más resistente su comportamiento pasa a ser indeseablemente más frágil.

Debido al pobre desempeño de los pórticos una posible opción de adecuación estructural consistiría en utilizar las paredes como elementos sismorresistentes, suministrándoles el refuerzo necesario para garantizar su estabilidad y su capacidad de deformación, resolviendo previamente las indeseadas situaciones de columnas cortas.

Aún cuando la masa de los tanques de agua no influye significativamente sobre las propiedades dinámicas y la respuesta global de la edificación, es recomendable sin embargo eliminarlos a fin de disminuir su influencia local en las solicitaciones sobre las columnas que lo soportan.

El Módulo Principal posee un mejor comportamiento dinámico cuando se encuentra desconectado del Módulo Anexo, por su regularidad y simetría. La conexión

introduce una respuesta torsional indeseable por lo que se recomienda su separación tal como existe en otras escuelas del mismo tipo. Para evitar el desprendimiento de trozos o secciones completas de los parasoles durante la ocurrencia de sismos, se recomienda anclarlos adecuadamente a la estructura o en su defecto sustituirlos por elementos más livianos.

RECONOCIMIENTO

Se agradece el apoyo prestado por el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Facultad de Ingeniería de la UCV, y por el Proyecto 2005000188 que llevan adelante el IMME, FUNVISIS y FEDE con el patrocinio del FONACIT.

REFERENCIAS

- Alonso J., Bermúdez, M. (1998). El Terremoto de Cariaco. Revista CIV 370, pp.17-44.
- CSI (2004). SAP2000 Nonlinear 8.3.3. Estructural Analysis Program. Computer and Structures Inc., Berkeley, California, Estados Unidos.
- COVENIN (1998). Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma 2002-88, COVENIN-MINDUR Caracas.
- COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma 1756:2001, MCT-MINDUR-FUNVISIS, Caracas.
- Del Re G. (2006). Evaluación de los Métodos de Análisis Estático No Lineal para determinar el desempeño sísmico en estructuras aporricadas de concreto armado. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. UCV. Caracas.
- Fundación Ica (1999). Edificaciones de Mampostería para Vivienda. Ciudad de México. México.
- López O. A., Hernández JJ, Del RE G, Puig J. (2004). *Reducción del Riesgo Sísmico en Escuelas de Venezuela*. Boletín Técnico IMME Vol.42, N° 3.
- Pauley T., Priestley M. J. N. (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley & Sons, INC.
- Rangel A. (1999). Crónicas de Desastres-Terremoto de Cariaco, Venezuela. Organización Panamericana de la Salud. Quito.