

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN ESCUELAS TIPO ANTIGUO II**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela por los Brs.  
Abou B., Firas  
Lee C, Carlos E.  
Para optar el Título de Ingeniero Civil

Caracas, noviembre de 2005

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN ESCUELAS TIPO ANTIGUO II**

Tutor Académico: Prof. Oscar A. López

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela por los Brs.  
Abou B., Firas  
Lee C, Carlos E.  
Para optar el Título de Ingeniero Civil

Caracas, noviembre de 2005

## ACTA

El día 10 de noviembre de 2005 se reunió el jurado formado por los profesores:

\_\_\_\_\_  
Angelo Marinilli

\_\_\_\_\_  
Marianela La Fuente

\_\_\_\_\_  
Oscar A. López

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN ESCUELAS TIPO ANTIGUO II.**

Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de: **INGENIERO CIVIL.**

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial, este jurado decidió la siguiente calificación:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Número	Letras
Abou B., Firas		
Lee C., Carlos E.		

**RECOMENDACIONES** (Si las hubiera): \_\_\_\_\_

### FIRMAS DEL JURADO

\_\_\_\_\_  
Prof.

\_\_\_\_\_  
Prof.

\_\_\_\_\_  
Prof.

Caracas, 10 noviembre de 2005

**Abou B., Firas  
Lee C., Carlos E.**

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO  
EN ESCUELAS TIPO ANTIGUO II”**

**Tutor Académico: Prof. Oscar Andrés López. TESIS. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2005. N°. Páginas 165.**

Palabras Clave: Análisis Dinámico, Riesgo Sísmico, Escuelas.

**RESUMEN**

Venezuela es un país de alta vulnerabilidad sísmica, con base a esta actividad la Norma COVENIN 1756:2001 de “Edificaciones Sismorresistentes” dividió el país en ocho zonas; desde la zona cero, donde no se consideran las acciones sísmicas, hasta la zona siete, donde el coeficiente de aceleración horizontal ( $A_0$ ) es igual a 0,4. Siendo Sucre uno de los Estados donde se presenta una mayor amenaza sísmica.

El 09 de julio de 1.997, un terremoto de magnitud de 6,8 en la escala Richter ocurrió en dicho Estado, entre las ciudades de Casanay y Cariaco, dejando un saldo de 73 muertos y sobre los 100 millones de dólares en pérdidas. En el terremoto en cuestión fueron afectados 301 planteles educativos, ocasionando la muerte de 23 personas entre estudiantes y personal docente. El sistema estructural de algunas escuelas presentes hoy en día en Venezuela, junto con las que fallaron durante el Terremoto de Cariaco es muy similar. Uno de estos sistemas semejantes es el llamado Tipo Antiguo II, de los cuales se conocen más 60.

El proyecto plantea evaluar el riesgo sísmico al que están sometidas las escuelas tipo Antiguo II y plantear recomendaciones generales para reducir esta vulnerabilidad sísmica hasta niveles aceptados por las normas vigentes. Ante la ausencia de información, se procedió a una recopilación exhaustiva de datos, se realizaron levantamientos geométricos a varias de las escuelas, determinando las características y propiedades de los elementos estructurales y no estructurales, comprobando la similitud geométrica y estructural entre la Escuela Bolivariana “Ambrosio Plaza” de Guarenas (EBAP) y otras escuelas Tipo Antiguo II. Posteriormente se elaboró un modelo matemático de la estructura que reveló su comportamiento dinámico ante sismos normativos, demostrando un alto riesgo sísmico global, recomendándose investigaciones más detalladas, orientadas a desarrollar métodos de adecuación estructural en donde se pueda incluir a las paredes como elementos sismorresistentes.

El principal aporte de este trabajo es colaborar con las investigaciones existentes a nivel nacional para el logro de escuelas sísmicamente más seguras, preservando la vida de los niños y niñas en Venezuela, además se deja un precedente para futuras investigaciones, tanto para la EBAP como para el resto de las escuelas Tipo Antiguo II.

## **DEDICATORIA**

A mi madre y a mi padre.

A mis hermanos menores, que les sirva de motivación para que sigan este camino de bien.

A mi familia en otras latitudes.

A mis amigos en general.

Firás Abou Barmo

## **DEDICATORIA**

A mi familia, mi mamá, mi papá, mi abuela mi tía Carmen y mi tía Soledad, por ser quienes me han dado la oportunidad de vivir una vida sin comparación.

A la Ingeniero Ariane Giraud, por siempre estar a mi lado, apoyarme sin condición y mostrarme la hermosa esperanza de vivir.

A mi Profesor Tutor Oscar A. López, por confiar en mí.

Al Ingeniero Trino Baloa, por ser el causante de todo esto.

A mis amigos, Christian, David, Julio, Luis, Marco, José Antonio y a todos los demás que no he nombrado, por siempre estar ahí, en las buenas y sobretodo en las malas.

Carlos E. Lee C.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por ser nuestro guía en este largo camino; a nuestro tutor, el profesor Oscar Andrés López, por ser tan amable y paciente con nosotros; al Ingeniero Esteban Tenreiro por todo ese apoyo desinteresado brindado durante la realización de este trabajo; a la Profesora Maria Eugenia Korody por estar siempre dispuesta a darnos su ayuda; a la Ingeniera Ariane Giraud por su apoyo brindado, a la Profesora Maria Itriago por habernos dado tantos valiosos consejos, al señor Sócrates Mateus por su grandiosa colaboración y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en que este proyecto haya llegado a su acometido.

A todos muchas gracias.

Carlos Lee & Firas Abou

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv
<b>I – INTRODUCCION</b> .....	1
I.1 – ANTECEDENTES .....	1
I.1.1 – Venezuela Un País Sísmico .....	1
I.1.2 – El Terremoto De Cariaco .....	1
I.1.3 – Comportamiento de Escuelas en Terremotos Recientes...	2
I.1.4 – Acciones Tomadas A Nivel Mundial .....	4
I.1.5 – Acciones Tomadas A Nivel Nacional .....	5
I.1.6 – Escuelas En Venezuela .....	6
I.1.7 – Escuelas Tipo Antiguo II .....	6
I.2 – OBJETIVO .....	7
I.3 – APORTES .....	8
<b>II – MARCO TEORICO</b> .....	9
II.1 – SISMO .....	9
II.2 – TIPOS Y LOCALIZACION DE LOS TERREMOTOS .....	9
II.3 – ESCALAS DE MAGNITUD E INTENSIDAD .....	10
II.4 – RIESGO SISMICO .....	11
II.5 – SISMORRESISTENCIA .....	12
II.6 – DUCTILIDAD .....	14
II.7 – INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA .....	16
II.8 – EFECTOS DE TORSIÓN GLOBAL DE LA ESTRUCTURA .....	16

II.9 – MECANISMOS DE FALLA DUCTIL .....	17
II.10 – MECANISMOS DE FALLA FRAGIL .....	17
II.11 – METODOS DE ANALISIS .....	18
II.11.1 – Métodos De Superposición Modal De Un Grado De Libertad Por Nivel .....	18
II.11.2 – Método De La Torsión Estática Equivalente .....	19
II.11.3 – Método De Análisis Dinámico Espacial De Superposición Modal Con Tres Grados De Libertad Por Nivel .....	19
II.12 – BIELA EQUIVALENTE .....	20
<b>III – DESCRIPCION DE LA EDIFICACION .....</b>	<b>22</b>
III.1 – PREAMBULO .....	22
III.2 – INSPECCION TECNICA .....	22
III.3 – DESCRIPCION ARQUITECTONICA DE LA EDIFICACIÓN .....	25
III.3.1 – Modulo Principal .....	26
III.3.2 – Modulo Anexo .....	28
III.4 – DESCRIPCION ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN .....	29
III.4.1 – Modulo Principal .....	29
III.4.2 – Modulo Anexo .....	31
III.5 – DESCRIPCION DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DE LA EDIFICACION .....	32
<b>IV – OTRAS ESCUELAS .....</b>	<b>34</b>
IV.1 – PREÁMBULO .....	34
IV.2 – ESCUELAS SIMILARES A LA EBAP .....	34
IV.2.1 – Escuela Bolivariana “Miguel Villavicencio” (EBMV).....	34

IV.2.2 – Escuela Bolivariana “Francisco Espejo” (EBFE) .....	35
IV.2.3 – Escuela Bolivariana “Dr. Luis Ortega” (EBLO).....	36
IV.2.4 – Escuela Bolivariana “Nueva Esparta” (EBNE) .....	37
IV.2.5 – Escuela Bolivariana “Samuel Darío Maldonado”(EBSDM) Y Escuela Bolivariana “Padre Miguel Lorenzo” (EBPML) .....	38
<b>V – DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS.....</b>	<b>39</b>
V.1 – PESOS Y MASAS DE LA ESTRUCTURA .....	39
V.2 – MODELOS MATEMÁTICOS .....	40
V.3 – MODELADO DE LA MAMPOSTERIA .....	42
V.3.1 – Modelado De Mampostería Con El Uso De Elementos Finitos .....	42
V.3.2 – Modelo Pared Bielas .....	42
V.3.3 – Resultados Del Modelado De Paredes .....	43
V.4 – ESPECTROS UTILIZADOS .....	43
<b>VI – PROPIEDADES DINÁMICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>VII – RESPUESTA SÍSMICA .....</b>	<b>47</b>
VII.1 – DERIVAS .....	47
VII.2 – RELACIÓN DEMANDA VS. CAPACIDAD.....	47
VII.2.1 – Demanda .....	48
VII.2.2 – Capacidad De Las Columnas A Fuerza Cortante .....	48
VII.2.3 – Relación Demanda-Capacidad .....	50
VII.3 – RIESGO SÍSMICO .....	51
<b>VIII – ALTERNATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA REDUCIR EL RIESGO SÍSMICO .....</b>	<b>54</b>

VIII.1 – SEPARACIÓN DE MÓDULOS .....	54
VIII.2 – ELIMINACIÓN DE LOS ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	55
VIII.3 – PRESERVACIÓN Y REFUERZO DE LAS PAREDES DE MAMPOSTERÍA PRESENTES, ELIMINACIÓN DE LAS ABERTURAS DE VENTILACIÓN ENTRE EL PASILLO Y LAS AULAS. ....	55
<b>IX – CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>X – BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO D .....</b>	<b>139</b>

## **I – INTRODUCCIÓN**

### **I.1 – ANTECEDENTES**

#### **I.1.1 – Venezuela un País Sísmico**

Venezuela es un país de alta vulnerabilidad sísmica. En la zona norte-costera de la nación concurren dos placas tectónicas, la placa suramericana y la placa caribeña, en cuyos límites se encuentran líneas de fractura o fallas. La actividad en estas fallas origina desde pequeños sismos hasta movimientos telúricos de gran envergadura.

Esta actividad sísmica es cuantificada principalmente por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), órgano que con el respaldo de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) produjo en 1.998, la Norma 1756 [07], la cual dicta pauta en lo relacionado con la sismología y las construcciones sismorresistentes en Venezuela. Con base a la actividad sísmica y a la ubicación de las fallas, la norma antes mencionada, dividió el país en ocho zonas sísmicas; desde la zona cero, donde no se consideran las acciones sísmicas, hasta la zona siete, donde ocurren los temblores de mayor magnitud. Para la elaboración de la norma fue considerado el trágico terremoto de 1.997, que posteriormente fue conocido como Terremoto de Cariaco.

#### **I.1.2 – El Terremoto de Cariaco**

Este evento sísmico ocurrió en el noreste de Venezuela entre las ciudades de Cariaco y Casanay, el 09 de julio de 1997, a las 19h 24m 11s GMT (15h 24m 11s hora local), con una magnitud de  $M_s=6,8$ ,  $M_w=6,9$ . El sismo cuyo epicentro estuvo en las coordenadas  $10,43^\circ N$  y  $63,49^\circ W$ , con una profundidad focal de 10 Km, tuvo una duración de 12 segundos [03].

En el Terremoto de Cariaco fallecieron 74 personas, 522 resultaron heridas, hubo alrededor de 3.000 viviendas parcialmente afectadas o destruidas y sobre los 100 millones de dólares en pérdidas [03] [16]. El sismo de Cariaco provocó el derrumbe de cuatro edificaciones escolares, causando la muerte de 23 personas, entre estudiantes y maestros. En total fueron afectados 301 planteles, de los cuales se demolieron y/o sustituyeron 29, reconstruyeron 121 y repararon 210 (un mismo plantel puede registrar reconstrucción y reparación simultáneamente) [23].

### **I.1.3 – Comportamiento de Escuelas en Terremotos Recientes**

Los elevados riesgos asociados a las edificaciones escolares están presentes a nivel mundial según las experiencias obtenidas en los últimos sismos. Terremotos recientes han afectado de manera significativa a edificaciones escolares.

En San Salvador, los días 13 de enero, 13 de febrero y 28 de febrero del 2001, ocurrieron sismos de elevada magnitud (7,6 grados Richter de 45 segundos de duración, 6,6 grados de 20 segundos y 6,1 grados de 20 segundos respectivamente), los cuales provocaron 1.246 muertos, 7.876 heridos, 323.648 viviendas dañadas o destruidas, 1.532.919 damnificados, 1.210 edificios públicos dañados, 135 unidades de salud u hospitales dañados, 1.631 escuelas dañadas y 91 destruidas [04] [19].

El Terremoto de Molise, en Italia, ocurrido el 31 de octubre de 2.002, causó el derrumbe de una escuela primaria y la muerte de 27 niños y un maestro [16].

El Terremoto de Puerto Plata, en República Dominicana, ocurrido el 22 de septiembre de 2.003 afectó 89 viviendas y 50 edificaciones escolares, de las cuales 18 sufrieron daños estructurales y 31 daños no estructurales [01] [27].

El Terremoto de Boumerdes, en Argelia, del 21 de mayo de 2.003 (Mw=6,8), causó graves daños en escuelas, 564 de un total de 1.800 inspeccionadas sufrieron serios daños. En 1.980, veintitrés años antes, el 70% de las escuelas de la ciudad de Al

Asnam resultaron con daños extensos o derrumbadas durante el terremoto del mismo nombre ( $M=7,3$ ), en una proporción sustancialmente mayor que el resto de las construcciones de la ciudad. Afortunadamente debido a que la hora de la ocurrencia de estos eventos no coincidió con las horas de actividades escolares, la pérdida de vidas fue muy baja [16].

El mismo año y sólo unos días antes del evento de Argelia, el 01 de mayo de 2.003, un terremoto ( $M_w=6,4$ ) afectó el poblado de Bengol, de 70 mil habitantes, en Turquía. De un grupo de 28 edificaciones escolares inspeccionadas se observó que 3 tuvieron daños ligeros o no tuvieron daños, 12 tuvieron daños moderado, 10 daños severos y 3 se derrumbaron totalmente causando la muerte de numerosos niños mientras dormían. Todas las edificaciones eran de concreto armado, 17 constituidas por pórticos y una por sistema mixto de muros y pórticos, todas poseían paredes de mampostería de relleno colocadas entre columnas. Uno de los problemas estructurales comunes observados en estos edificios fue la presencia de columnas cautivas o cortas debido a las restricciones que imponían las paredes. Otro problema común fue el detallado inadecuado de los elementos estructurales; falta de confinamiento en columnas, carencia de refuerzo transversal necesario para prevenir fallas por cortante, especialmente en el caso de las columnas cortas y anclaje inadecuado de los extremos libres del refuerzo transversal [16].

En febrero de 2003, en una provincia de China, un potente terremoto de magnitud 6,8 grados en la escala de Richter dejó por lo menos 257 muertos y más de 1.000 heridos, en donde una escuela primaria se derrumbó, causando la muerte de dos de sus estudiantes [26].

En febrero de 2.004, en Indonesia, un sismo de 7,1 grados de magnitud en la escala Richter, dejó 25 muertos y decenas de heridos, destruyendo escuelas, forzando el cierre de un aeropuerto y dañando centros religiosos [24].

El 26 de diciembre de 2.003, en la ciudad de Bam, en Irán, un terremoto dejó un saldo de 30.000 a 40.000 víctimas, 30.000 heridos y más de 80.000 personas sin hogar. Un

87% de las estructuras se derrumbaron, entre ellas casas, escuelas y centros de salud. Alrededor de un 90% de las escuelas de Bam se destruyeron completamente. Las que quedaron en pie sufrieron daños irreparables [28].

El 9 de octubre de 2.005, en Pakistán, un sismo de 7,6 grados en la escala de Richter dejó más de 50.000 muertos y 74.000 heridos, además de dos millones y medio de damnificados. Alrededor de 400 niños murieron en dos escuelas en el noroeste de Pakistán [15] [17].

#### **I.1.4 – Acciones Tomadas a Nivel Mundial**

Las escuelas primarias, secundarias y universitarias, al igual que, hospitales, oficinas de gobierno y centros de comunicación, son instalaciones estratégicas, cuyas estructuras deben ser capaces de resistir las sollicitaciones sísmicas probables 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, los datos anteriores demuestran lo especialmente vulnerables que son las edificaciones escolares durante terremotos de moderada a elevada intensidad.

En los últimos años, esta problemática ha sido analizada y estudiada a nivel Nacional e Internacional, contándose con innumerables investigaciones que se han realizado con el apoyo, colaboración e interacción de instituciones gubernamentales y no-gubernamentales, para poder lograr prioritariamente, la reducción de pérdidas de vidas humanas y la no interrupción del servicio educativo, con plantas físicas que respondan a los requerimientos pedagógicos y a las aspiraciones de cada comunidad.

En Perú, El Código Sísmico de 1997, incrementó el factor de importancia para edificaciones escolares y aumentó las demandas de rigidez en las estructuras. Como resultado de estos cambios, los edificios escolares diseñados y construidos de acuerdo a este código no sufrieron ningún daño en los últimos terremotos ocurridos (Arequipa

2.001). Anteriormente a esta reforma, todos los sismos importantes habían ocasionado daños considerables a la infraestructura educativa, debido al pobre desempeño de los pórticos de las escuelas construidas antes de 1.997, en donde casi siempre se apreciaba la existencia de columnas cortas, en claro contraste con los buenos resultados que se obtuvieron al separar la tabiquería de los sistemas resistentes para mitigar el indeseado efecto antes nombrado, según los estudios realizados por los Profesores de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) A. Muñoz, M. Blondet, U. Quintana y H. León [18]. Además durante los últimos años, la PUCP ha estudiado cómo mejorar el comportamiento sísmico de estructuras, utilizando materiales locales y técnicas simples de construcción, como es el caso de las estructuras hechas de adobe reforzado.

### **I.1.5 –Acciones Tomadas a Nivel Nacional**

En el país se han realizado innumerables estudios e investigaciones de vulnerabilidad, riesgo y adecuación sísmica. Es importante nombrar los trabajos realizados por el Profesor J. L. Alonso de la Universidad Simón Bolívar, quien ha dirigido y desarrollado desde 1997 más de una decena de proyectos de adecuación estructural a edificaciones educativas para FEDE [02].

También están los valiosos trabajos realizados por los investigadores del IMME Oscar Andrés López, José Puig, Julio J. Hernández y Gianina del Re, entre otros, quienes investigan en busca de la reducción del riesgo sísmico en escuelas venezolanas [16], logrando proyectos de adecuación estructural sismorresistentes, en edificaciones similares al Liceo Raimundo Martínez Centeno y similares a la Escuela Valentín Valiente y a la Escuela Ananías Cotte (Arenales, Estado Lara), como por ejemplo, el proyecto realizado en la Escuela Básica Cristóbal Rojas (Cúa, Estado Miranda) [13]. El resultado de estos esfuerzos, es la obtención de metodologías de evaluación y adecuación de estructuras para edificios tipo, en donde se aprovecha el carácter repetitivo propio de la tipología estructural y asimismo son de posible

aplicación, independientemente de la ubicación o amenaza sísmica a la que está sometida.

#### **I.1.6 – Escuelas en Venezuela**

Las edificaciones colapsadas durante el Terremoto de Cariaco responden a dos tipologías bien definidas de edificios escolares, que se encuentran distribuidas por todo el país, estando la mayoría de ellas en zonas de actividad sísmica considerable. De un número aproximado de 28.000 planteles educacionales en Venezuela, alrededor del 69,4% están en zonas de amenaza elevada a muy elevada, un 27,4% en zonas de moderada amenaza y sólo un 3,2% en zonas de baja amenaza [16].

El sistema estructural de algunas escuelas presentes, junto con las que colapsaron durante el Terremoto de Cariaco, es muy similar. Para efectos de estudio, se divide o cataloga a las escuelas existentes por sus características estructurales, teniendo por ejemplo a las escuelas denominadas Tipo Cajetón (similares al Liceo Raimundo Martínez Centeno), el Tipo Antiguo I (similares a la Escuela Valentín Valiente) y el Tipo Antiguo II. En total, las edificaciones Tipo Cajetón, Tipo Antiguo I y II pueden sobrepasar el millar.

#### **I.1.7 – Escuelas Tipo Antiguo II**

Las escuelas Tipo Antiguo II existentes probablemente sobrepasen el centenar en todo el territorio del país. Según información en revisión y ajuste suministrada por la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE), organismo adscrito al Ministerio de Educación y Deportes (MED) existen 60 escuelas Tipo Antiguo II en sólo 9 de los 23 estados que posee Venezuela (ver Anexo A, Tabla A.1). El número de escuelas presentes en los otros 14 estados es desconocido. Todas las escuelas Tipo

Antiguo II son de carácter público, por lo cual están bajo la reglamentación y dirección del MED.

Este trabajo plantea evaluar el riesgo sísmico al que está sometida la estructura de una escuela tipo Antiguo II y plantear recomendaciones generales para reducir este riesgo hasta niveles aceptados por las nuevas normas.

La selección de la escuela a estudiar depende de dos aspectos básicos: su estructura principal y su ubicación. Se escogió la Escuela Bolivariana “Ambrosio Plaza” (EBAP), ubicada en la ciudad de Guarenas, Estado Miranda, a pocos kilómetros de la Capital, por cumplir con los dos requisitos antes mencionados; es una estructura Tipo Antiguo II y además se encuentra cercana a la ciudad de Caracas, lo cual facilita el traslado del equipo técnico para su estudio. Conjuntamente se estudió, sólo a manera de comparación y corroboración de datos, otras seis escuelas del mismo tipo.

## **I.2 – OBJETIVOS**

Este estudio posee como objetivo general:

I.) - Evaluar el nivel de riesgo sísmico presente en una escuela Tipo Antiguo II y proponer recomendaciones generales para reducir su vulnerabilidad sísmica.

Como objetivos específicos se tienen:

i.) - Determinar las características y propiedades de los elementos estructurales y no estructurales de una escuela Tipo Antiguo II

ii.) - Determinar la similitud geométrica y estructural entre La Escuela Bolivariana Ambrosio Plaza de Guarenas y otras escuelas Tipo Antiguo II.

iii.) - Desarrollar un modelo matemático de la edificación a partir de los datos obtenidos en el levantamiento.

iv.) - Evaluar los índices de riesgo a que está expuesta la estructura de La Escuela Bolivariana Ambrosio Plaza ante la acción de los movimientos sísmicos especificados en las normas de diseño vigentes y recomendar posibles alternativas para la reducción del riesgo sísmico.

### **I.3 – APORTES**

El principal aporte de este trabajo a la sociedad es colaborar con las investigaciones existentes a nivel nacional e internacional para el logro de escuelas sísmicamente más seguras, preservando la vida de los niños y niñas en Venezuela, considerando que son el principal recurso y futuro de la nación.

Por otra parte se deja un precedente para futuras investigaciones en materia de edificaciones escolares, tanto en la Escuela Bolivariana Ambrosio Plaza como en el resto de las escuelas Tipo Antiguo II. Aunado a lo anterior la escuela contará con planos estructurales y arquitectónicos detallados y actualizados; además, se dispondrá de un análisis dinámico espacial con uso de espectros de diseño de la edificación.

También se proponen posibles recomendaciones generales de adecuación que pueden ser de gran ayuda en el arduo trabajo de reforzamiento de escuelas por parte de los entes involucrados con el tema.

Por último se contribuye con la línea de investigación desarrollada en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), sobre la adecuación de edificaciones escolares.

## **II – MARCO TEÓRICO**

### **II.1 – SISMO**

Movimiento producido en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto, se llama foco o hipocentro. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto.

La deformación de los materiales rocosos produce distintos tipos de ondas sísmicas. Un deslizamiento súbito a lo largo de una falla, produce ondas primarias, longitudinales o de compresión (ondas P) y secundarias, denominadas transversales o de cizalla (ondas S). Los trenes de ondas P, de compresión, establecidos por un empuje (o tiro) en la dirección de propagación de la onda, causan sacudidas de atrás hacia adelante en las formaciones de superficie. La velocidad de propagación de las ondas P depende de la densidad de las rocas. En la propagación de las ondas de cizalla, las partículas se mueven en dirección perpendicular a la dirección de propagación. Las ondas P y las ondas S se transmiten por el interior de la Tierra; las ondas P viajan a velocidades mayores que las ondas S.

Además de las ondas P y S —ondas internas o de volumen—, hay dos tipos de ondas superficiales: las ondas de Love y las ondas de Rayleigh. Las ondas superficiales sólo se propagan por la superficie terrestre y son las causantes de los mayores destrozos.

### **II.2 - TIPOS Y LOCALIZACIÓN DE LOS TERREMOTOS**

En la actualidad se reconocen tres clases generales de terremotos: tectónicos, volcánicos y artificiales. Los sismos de la primera de ellas son los más devastadores

además de que plantean dificultades especiales a los científicos que intentan predecirlos.

Los causantes de los terremotos de la tectónica de placas son las tensiones creadas por los movimientos de alrededor de doce placas, mayores y menores, que forman la corteza terrestre.

De las dos clases de terremotos no tectónicos, los de origen volcánico rara vez son muy grandes o destructivos. Su interés principal radica en que suelen anunciar erupciones volcánicas.

Los seres humanos pueden inducir la aparición de terremotos cuando realizan determinadas actividades, por ejemplo, en el rellenado de nuevos embalses (presas), en la detonación subterránea de explosivos atómicos o en el bombeo de líquidos de las profundidades terrestres.

Un terremoto es una amenaza natural que viene usualmente acompañado por una serie de fenómenos, también naturales, capaces de causar pérdidas materiales y pérdidas de vidas humanas, tales como: fuerte vibración de la superficie del terreno, inestabilidad geológica, deslizamiento de taludes, hundimiento y asentamiento del terreno, licuefacción, callamiento y fractura superficial, avalanchas y tsunamis, por citar los más comunes. Estos fenómenos por su origen son catalogados como amenaza sísmica y su impacto en áreas urbanas depende de la magnitud del terremoto, de la duración del mismo, de la distancia de la zona de disipación de energía, de las condiciones particulares del suelo local y su interacción con las edificaciones existentes.

### **II.3 – ESCALAS DE MAGNITUD E INTENSIDAD**

Los sismólogos han diseñado dos escalas de medida para poder describir de forma cuantitativa los terremotos. Una es la escala de Richter que mide la energía liberada

en el foco de un sismo; es una escala logarítmica con valores medibles entre 1 y 10. Se estima que al año se producen en el mundo unos 800 terremotos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4, y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9. En teoría, la escala de Richter no tiene cota máxima, sin embargo, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas, han permitido a los sismólogos redefinir la escala; hoy se considera 9,5 el límite práctico.

La otra escala, introducida al comienzo del siglo XX por el sismólogo italiano Mercalli, mide la intensidad de un temblor con gradaciones entre I y XII. Puesto que los efectos sísmicos de superficie disminuyen con la distancia desde el foco, la medida Mercalli depende de la posición del sismógrafo. Una intensidad I se define como la de un suceso percibido por pocos, mientras que se asigna una intensidad XII a los eventos catastróficos que provocan destrucción total. Los temblores con intensidades máximas o epicentrales entre II y III se pueden originar por un temblor de magnitud entre 3 y 4 en la escala de Richter, mientras que los niveles XI y XII en la escala de Mercalli se pueden asociar a las magnitudes 8 y 9 en la escala de Richter.

#### **II.4 – RIESGO SÍSMICO**

El riesgo sísmico puede definirse en forma simplificada como una función de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad estructural mediante la siguiente relación:

$$R_s = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

El riesgo sísmico podrá reducirse sólo si se reduce alguna de las variables involucradas en dicha ecuación.

La amenaza sísmica supone un conocimiento exhaustivo de las fuentes sísmicas capaces de generar terremotos en el área de estudio y su probabilidad de ocurrencia. Generalmente esta información se encuentra en las normas y se ilustra mediante

mapas de zonificación sísmica, que con frecuencia poco dicen, acerca del riesgo real que una estructura tiene ante la acción de un sismo.

La vulnerabilidad sísmica de una estructura podría definirse como el grado o nivel de daño esperado ante una amenaza sísmica conocida o preestablecida, y suele expresarse normalmente, como una fracción del costo de la edificación. El problema básico radica en estimar con certeza cual sería la respuesta de la edificación ante la acción de terremotos que sean realmente críticos.

La estimación de riesgo sísmico de la edificación dependerá del conocimiento certero de por lo menos tres interrogantes:

- La actividad sísmica del área.

- El tipo de amenaza sísmica esperada (inestabilidad geológica, licuefacción, vibración fuerte del terreno, etc.), condiciones del suelo, el diseño y detalle estructural de los elementos que conforman la infraestructura (fundaciones) y la superestructura, edad de la misma y conocimiento de la distribución espacial de los elementos no estructurales (tabiquería y ventanas, etc.).

- El nivel de daño o de seguridad preestablecido por el proyectista.

Ya que el riesgo sísmico de una edificación depende de su vulnerabilidad, se hace necesario, a fin de mantener el riesgo dentro de los niveles mínimos de seguridad aceptables una evaluación de la vulnerabilidad actual de la edificación como conjunto (suelo, fundación, superestructura, elementos no estructurales).

## **II.5 – SISMORRESISTENCIA**

La filosofía del proyecto sismorresistente de estructuras de edificación que recogen las normativas, se basa en definir unos niveles de daño admisible en función de la intensidad de los terremotos, que la estructura puede sufrir durante su vida útil.

Las construcciones deben resistir, en régimen elástico y por tanto sin ningún tipo de daño estructural, los sismos de probabilidad apreciable de ocurrencia durante su vida útil, entendiendo por estos, los que tienen un período de retorno del mismo orden, del período de vida útil de la estructura.

Ante sismos severos con probabilidad razonable de ocurrencia (a los que la Norma COVENIN asigna un período de retorno de 475 años), se admite que la estructura va a entrar en el rango inelástico. Se acepta por tanto que se produzcan deformaciones permanentes, y consecuentemente daños, más o menos importantes, pero que nunca lleguen a provocar el colapso de la estructura. Realmente, a este nivel deberían considerarse dos estados límites diferentes.

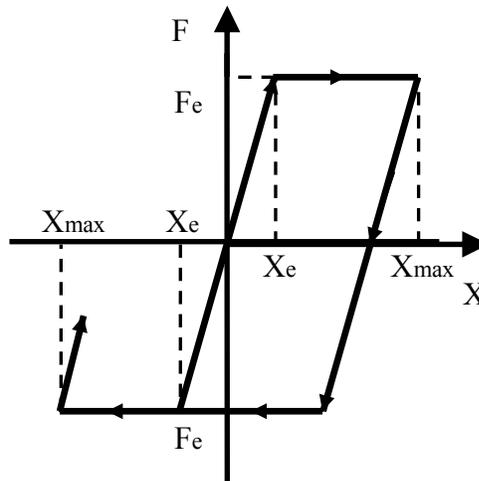
Ante sismos relativamente severos el daño estructural debe mantenerse dentro de unos límites que permitan la reparación de la estructura a un costo razonable. En cambio, ante sismos de mayor intensidad, el objetivo es evitar el colapso, aunque los daños producidos en la estructura sean irreparables.

Esto sólo resulta posible, si los elementos estructurales y sus conexiones poseen una capacidad de deformación inelástica adecuada, que garantice que la estructura sea capaz de disipar este exceso de energía deformándose plásticamente. El objetivo de esta filosofía es diseñar construcciones razonablemente económicas pero seguras.

Otros aspectos que afectan la respuesta sísmica de una estructura y que se tratan en las siguientes secciones, son el de los efectos de interacción suelo-estructura, la consideración de torsiones globales de la estructura o la necesidad de incorporar en el análisis los efectos de segundo orden. En todos los casos se hace una breve mención a cómo abordan estos aspectos, las vigentes normativas sismorresistentes.

## II.6 - DUCTILIDAD

La energía que un terremoto aporta a la estructura se disipa por el efecto combinado del amortiguamiento y, sobre todo, de las deformaciones inelásticas de sus elementos. Esta capacidad de los elementos estructurales, para disipar energía mediante deformaciones cíclicas en el dominio inelástico, sin que se produzca su colapso, es lo que se denomina ductilidad de la estructura.



*Figura II.1: Comportamiento elasto-plástico ideal de un sistema de un grado de libertad*

Para centrar ideas, se considera el comportamiento elasto-plástico de un sistema de un grado de libertad, tal como ilustra la *Figura II.1*, en la que se representa la evolución de la fuerza aplicada  $F$ , frente al desplazamiento producido  $X$ . El área encerrada dentro del ciclo de histéresis resultante, mide la energía disipada en cada ciclo de carga/descarga. El criterio más extendido para cuantificar la ductilidad de este sistema, consiste en definir un coeficiente de comportamiento por ductilidad, que relaciona el máximo desplazamiento plástico del modelo, con el máximo desplazamiento elástico y lineal. Cuanto mayor sea, mayor será la capacidad de disipar energía del sistema, en régimen plástico y por tanto, mayor será la diferencia

admisible entre las fuerzas sísmicas reales y las fuerzas consideradas para el diseño (Figura II.2).

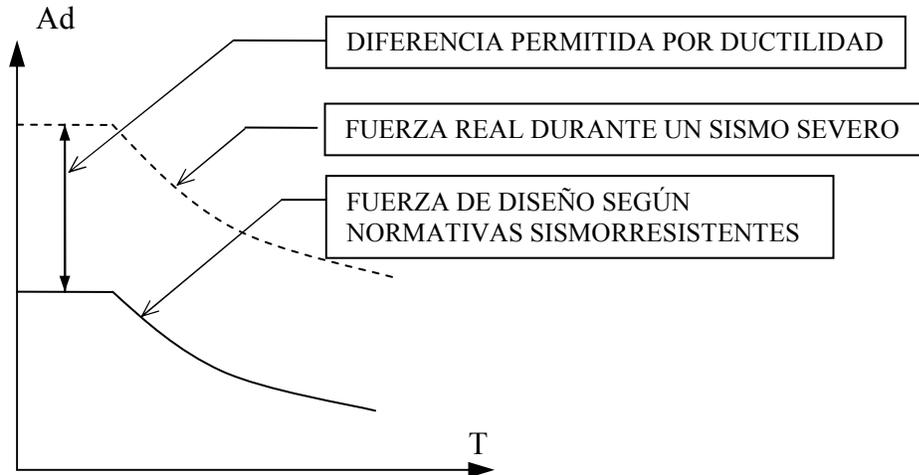


Figura II.2: Fuerzas sísmicas reales vs Fuerzas consideradas en el diseño

En el caso de una estructura con varios grados de libertad, un comportamiento dúctil adecuado, deberá permitir la disipación de buena parte de la energía, que el sismo aporta a la estructura mediante mecanismos de histéresis estables y bien distribuidos por toda ella, que aseguren que no se produzca el colapso global de la estructura, por el fallo de alguno de sus elementos.

La ductilidad global de la estructura, depende de la ductilidad de sus materiales por un lado y de la tipología estructural y los detalles constructivos por otro (más concretamente de las soluciones constructivas adoptadas en los nodos de conexión entre elementos).

La ductilidad es mayor en las estructuras desplazables -como pórticos- que en las rígidas -como las apantalladas-, pero siempre que en los nodos exista la capacidad suficiente para permitir importantes deformaciones.

A nivel de sección, la capacidad de disipación de energía, es mayor en las secciones sometidas a flexión que en las comprimidas, por lo que se debe fomentar que sean las secciones sometidas a flexión las que se agoten antes.

En base a la ductilidad las normativas sismorresistentes permiten aminorar las acciones de cálculo (*Figura II.2*), y es por ello que muchas de las prescripciones constructivas y recomendaciones de diseño reflejadas en tales normativas están orientadas a garantizar precisamente que la estructura tenga la ductilidad esperada.

## **II.7 – INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA**

Las condiciones del terreno y los posibles fenómenos de interacción suelo-estructura, son uno de los factores que mayor influencia pueden tener sobre la respuesta estructural.

En particular, cuando la estructura se asienta en un terreno rígido, se ha observado en términos generales, un mayor nivel de daño en estructuras rígidas que en estructuras flexibles.

Cuando la estructura se asienta en un terreno blando, los fenómenos de interacción suelo estructura cobran importancia, debiéndose incorporar en el análisis. Un suelo blando tiende a filtrar el contenido en frecuencias del terremoto, amplificando los períodos largos. En general se ha observado un mayor daño en estructuras flexibles cuando las condiciones son de suelo blando.

## **II.8 – EFECTOS DE TORSIÓN GLOBAL DE LA ESTRUCTURA**

Cuando no coinciden el centro de masas y el centro de torsión o de rigidez en una planta de una edificación, aparece en dicha planta un momento torsor que debe ser absorbido por los soportes de la planta. Este fenómeno suele ser debido a una falta de simetría de la edificación o a una distribución no uniforme de las masas.

En caso de modelar la estructura en tres dimensiones para su análisis dinámico, la inclusión de los efectos de torsión resulta automática. Sin embargo, en el caso más

habitual en que el modelo de la estructura corresponda al de un edificio de cortante en dos direcciones ortogonales, la torsión se incluye en el análisis de manera desacoplada, superponiendo a los esfuerzos producidos por las fuerzas sísmicas equivalentes (obtenidas considerando sólo un grado de libertad de traslación por planta). El valor del torsor en cada planta viene dado por el momento que producen dichas fuerzas sísmicas equivalentes, aplicadas en el centro de masa, respecto al centro de rigidez de la planta.

## **II.9 – MECANISMO DE FALLA DÚCTIL**

Este mecanismo de falla es el ideal, la estructura es capaz de resistir deformaciones plásticas sin perder capacidad resistente. En estructuras de concreto armado, para que se puedan desarrollar los mecanismos dúctiles, es necesario cuidar el detallado del acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversal.

## **II.10 – MECANISMO DE FALLA FRÁGIL**

Este mecanismo de falla es repentino y sin aviso, lo cual resulta indeseable. Está gobernado por las fallas por fuerza cortante, las cuales son frágiles. No permite deformaciones inelásticas capaces de disipar energía. En concreto armado uno de los mecanismos de falla más comunes, es el de columna corta, que consiste en un aumento excesivo de las fuerzas de corte, a las que se somete una columna cuando se reduce su luz libre para la cual fue diseñada. Esto es producido mayormente por el adosamiento de paredes a media altura a las columnas, que reducen su libre deformación.

## **II.11 – MÉTODOS DE ANÁLISIS**

Existen diferentes formas de buscar la respuesta de la estructura ante sismos, que pueden ser estáticas o dinámicas y a su vez pueden ser de comportamiento elástico de los materiales o con comportamiento inelástico de los materiales. Aquí se presentan diferentes métodos de determinarlos.

### **II.11.1 – Método de Superposición Modal de un Grado de Libertad por Nivel**

El análisis modal, es aplicable para calcular la respuesta elástica lineal de estructuras de varios grados de libertad. La respuesta de la estructura es determinada mediante la superposición de las respuestas individuales, en cada uno de sus modos naturales de vibración. Cada modo está caracterizado por su propio patrón de deformaciones, es decir, su forma modal. Igualmente, cada modo tiene su propia frecuencia de vibración, la frecuencia modal, así como su propio amortiguamiento. El uso de los espectros de respuesta especificados en el capítulo 7 de la Norma 1756 “Edificaciones Sismorresistentes” suponen simplificada que la edificación tiene el mismo coeficiente de amortiguamiento en cada uno de sus modos de vibración, igual al cinco por ciento (5%). La respuesta de la estructura puede modelarse, por tanto, en términos de la respuesta de un cierto número de osciladores de un grado de libertad, cuyas propiedades representan los distintos modos y el grado en el cual cada modo es excitado por el movimiento sísmico.

Ensayos a escala natural y análisis de la respuesta sísmica de las estructuras de edificios, han comprobado que el método de análisis elástico modal con la acción sísmica descrita por su espectro de respuesta, constituye una buena aproximación para el análisis de la respuesta inelástica.

### **II.11.2 – Método de la Torsión Estática Equivalente**

La incorporación de la torsión estática, adicionalmente a las fuerzas cortantes es necesaria para tomar en cuenta: a) las amplificaciones dinámicas de las excentricidades estáticas, los efectos accidentales que incluyen incertidumbres en las posiciones de los centros de masa y de rigidez (variaciones aleatorias de su posición), excitación rotacional en la base de la edificación, efectos inelásticos asimétricos y de la tabiquería.

La amplificación dinámica de la excentricidad estática está ligada al acoplamiento de los distintos modos de vibración lateral-torsional. Ellos pueden combinarse entre sí mediante el criterio de la combinación cuadrática completa (CQC), sobre todo, para excentricidades pequeñas, debido a la cercanía que se produce entre sus periodos.

La excitación rotacional del terreno, está asociada principalmente a variaciones de los tiempos de llegada, de los impulsos de las ondas sísmicas, a lo largo de la base de las edificaciones. Cuanto más grande es la base, mayor es la excitación rotacional que se genera. A partir del análisis matemático del fenómeno se pueden construir espectros rotacionales, que han justificado valores tradicionales de la excentricidad accidental de entre 5% a 10% del ancho de las plantas.

Los efectos de la amplificación dinámica, debidos a excentricidad intrínseca y los accidentales, son aproximadamente aditivos.

### **II.11.3 – Método de Análisis Dinámico Espacial de Superposición Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel**

El método de análisis dinámico con tres grados de libertad por nivel, tiene por objeto evaluar la respuesta dinámica y constituye una alternativa de uso general para el análisis de todas las estructuras, excepto para aquellas que tienen o se consideran diafragmas flexibles.

En este método, se consideran como coordenadas de respuesta modal los desplazamientos horizontales y la rotación de cada nivel. Los valores de respuesta sísmica deberán calcularse para los casos de sismos en direcciones X e Y, actuando independientemente.

Los modos obtenidos tienen desplazamientos en dos direcciones y rotaciones. Sin embargo, las respuestas modales que se calculan están definidas para una determinada dirección del sismo; entonces, los factores de participación de cada modo corresponden a esa dirección y se calculan tomando esto en consideración.

## **II.12 – BIELA EQUIVALENTE**

Para incluir el efecto de las paredes en las estructuras se puede adoptar el método de la biela equivalente. El método consiste en sustituir la pared de mampostería por un elemento diagonal con las propiedades de la pared. En el caso de que se esté utilizando el programa SAP 2000, el elemento diagonal es modelado por un elemento tipo “pórtico”. En la bibliografía [14] [21], se establece una fórmula para el cálculo del ancho equivalente de la biela, con lo que se simularía la rigidez inicial de la pared (al inicio de la falla), pero esta fórmula está respaldada solo cuando la pared es completa y en la mayor parte de las estructuras se deben modelar paredes de alturas diferentes.

El método considera que para cargas laterales, la diagonal a tracción de la pared se separa del pórtico, mientras que la diagonal a compresión funciona como un puntal a compresión. En general el método consiste en colocar elementos rectilíneos que representan el comportamiento de la pared a compresión, de ancho  $W$ , de longitud igual a la diagonal de la pared  $dw$  y un espesor igual al de la pared. Las bielas son colocadas en la dirección de las diagonales de la pared y se vinculan al pórtico con rótulas, que sólo son capaces de transmitir fuerzas axiales.

Los valores de espesor de biela recomendados son función de la longitud de contacto entre la mampostería y el pórtico ( $\lambda$ ), que depende de la rigidez relativa entre ellos, la altura del pórtico ( $h$ ) y la longitud de la diagonal ( $dw$ ).

$$\lambda = \sqrt{\frac{E_q \cdot t \cdot \sin \theta}{4 \cdot E_t \cdot I_c \cdot l_m}}$$

donde:

$E_q$ =Módulo de elasticidad de la mampostería.

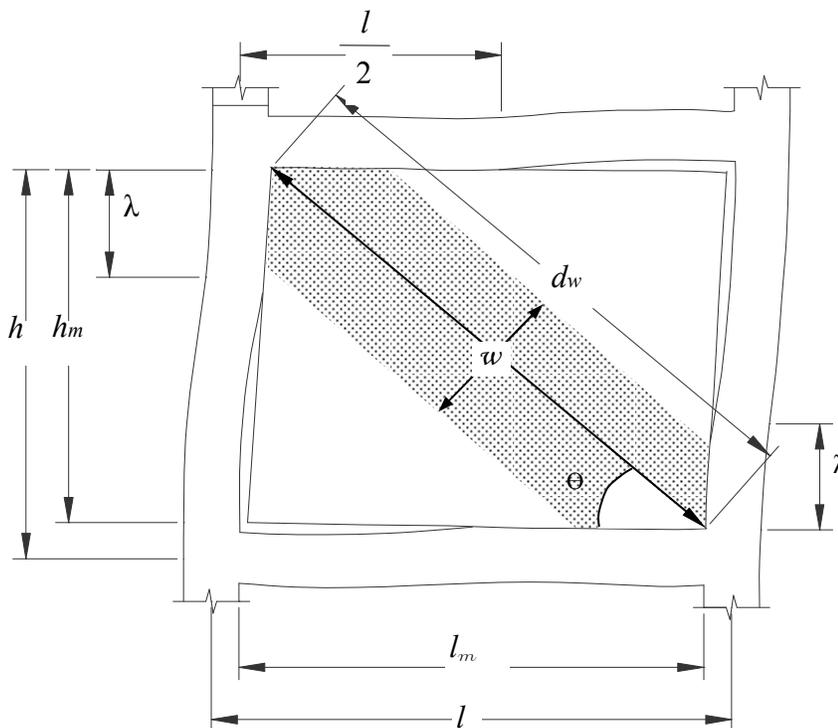
$E_t$ =Módulo de elasticidad del concreto.

$I$ =Momento de Inercia de las columnas.

$t$ =Espesor de la mampostería.

$l_m$ =Longitud de la mampostería.

$\theta$ =Ángulo de inclinación de la diagonal de la pared.



### **III – DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

#### **III.1 – PREÁMBULO**

La Escuela Bolivariana “Ambrosio Plaza” (EBAP) es una edificación educativa posiblemente construida a mediados de los años cincuenta, ubicada en Guarenas, Estado Miranda. De la misma no se dispone de planos arquitectónicos, estructurales, ni de ningún tipo de información técnica (teorías de diseño, memoria de cálculo, diario de obra, propiedades de los materiales utilizados, remodelaciones y restauraciones).

Por consiguiente se vio la necesidad de realizar un conjunto de estudios y levantamientos que permitan conocer las características de la edificación.

Para cumplir estos requerimientos se planteó la realización de una serie de visitas técnicas con el fin de elaborar: levantamientos fotográficos, levantamientos geométricos, disposición de los elementos estructurales (con su detallado) y no estructurales, así como la determinación de los materiales utilizados en su construcción (acero, concreto y mampostería). Con esta información se elaborarán los planos detallados de arquitectura y estructura.

Los resultados del levantamiento de información se presentan en términos de imágenes fotográficas (ver Anexo A, Imágenes A.01-A.36), Imágenes del detector de aceros (ver Anexo A, Imágenes A.37-A.55), planos arquitectónicos (ver Anexo B), planos estructurales (ver Anexo B).

#### **III.2 – INSPECCIÓN TÉCNICA**

Las inspecciones técnicas a la Escuela Bolivariana “Ambrosio Plaza”, se realizaron los días 20 de mayo de 2004; 05, 06 y 09 de agosto de 2004 y los días 07 y 11 de

marzo de 2005. Para la misma se contó con la total colaboración de la Profesora Josefina Luyando, directora del plantel para la fecha, con el apoyo del Ing. Sergio Rodríguez, de los técnicos Elione Barrios y Andrés Paredes, y demás personal del cuerpo técnico del IMME.

Para el 20 de mayo de 2004 se realizó la primera visita técnica a la EBAP de Guarenas la cual tuvo como fin realizar un reconocimiento visual y un primer levantamiento fotográfico de la edificación

Para agosto del 2004, se realizó la segunda visita técnica a la EBAP, la cual se efectuó durante los días 05, 06 y 07 de ese mes. Es importante destacar que para la elaboración de esta inspección fue necesaria la autorización escrita del Comando de la 3° Compañía de la Guardia Nacional (Sector de las Clavellinas, Guarenas) que fue brindada gustosamente por el Mayor Elio Paredes Estrada, Comandante de dicha Compañía y responsable del Plan República en la zona<sup>1</sup>.

La primera jornada de trabajo fue dedicada como se mencionó con anterioridad al levantamiento de la estructura principal, planta baja, planta alta y la determinación de las barras de acero de los elementos estructurales de la planta baja (vigas y columnas). No se utilizó ningún criterio estadístico de selección de dichos elementos puesto que fueron estudiados en casi su totalidad, algunos elementos fueron descartados por la simetría inherente de la edificación.

Se laboró en tres grupos para realizar las mediciones. El primer grupo se encargó de las mediciones de la Planta Baja del Módulo Principal y Módulo Anexo, el segundo grupo asumió la Planta Alta y Planta Techo, y el tercero empezó a determinar el

---

<sup>1</sup> La visita a la edificación se iba a realizar una semana antes de los comicios referendarios del 2004, y como es de saber, las escuelas en todo el territorio son centros de votación. Razón por la cual la E.B.A.P. estaba tomada por efectivos del Plan República (custodios del material electoral). Se procedió a contactar a la directora del plantel, la cual nos hizo saber que para tener acceso a la escuela se requería una autorización por parte de la Guardia Nacional.

diámetro y disposición de las barras de acero de refuerzo en los elementos de concreto armado.

Para realizar las mediciones se utilizó el método de “cadeneo” o uso de cintas métricas. Las cintas métricas de acero usadas fueron de 100 y 5 m, encontrándose las mismas en perfecto estado. A la hora de la medición se tomaron en cuenta la correcta tensión y alineación de la cinta al igual que la no aparición de catenaria. Se trabajó con un detector de acero, Hilti FS10 System, con 42 imágenes de capacidad, para la obtención del acero en el concreto armado. Todos los equipos son propiedad del IMME.

La segunda jornada fue dedicada a la medición de la estructura del Módulo Anexo, así como de algunos detalles de interés en el Módulo Principal, tales como la ubicación de las piezas sanitarias en los baños, las ventanas en las aulas, los volados con sus respectivos parasoles y el techo de la estructura principal junto con sus dos estanques de concreto.

En la tercera jornada se estudiaron las otras edificaciones circundantes que no se encuentran en contacto con los Módulos Principal y Anexo, se accedió al techo del Módulo Anexo para realizar las mediciones correspondientes, mientras se culminaba con el detector de acero la determinación del refuerzo existente en columnas y vigas restantes.

Es de hacer notar que no se tuvo acceso a todas las áreas de la edificación escolar. Dos espacios situados en la Planta Baja (un salón y la Dirección) y un espacio en la Planta Alta (depósito) no fueron medidos. La directora del plantel se disculpó por no poseer las llaves de las áreas, puesto que estaban asignados a otras actividades educativas.

La tercera visita se realizó en marzo del 2005, específicamente los días 7 y 11. Esta visita técnica tenía como fin primordial determinar los siguientes aspectos: El tipo de bloque utilizado en la mampostería de la edificación (arcilla o concreto) y sus

dimensiones, además el material con que se encuentran hechos los parasoles de la escuela, el tipo de losa y de ser armada en una sola dirección, definir esta dirección y el material que la aligera, el espesor del recubrimiento en los techos de la escuela, la presencia de juntas de construcción entre el Módulo Principal y el Módulo Anexo y de existir la misma determinar el tipo de junta, teniendo por último el rastrear con el detector de acero algunas columnas y vigas que necesitaban ser estudiadas con mayor profundidad.

Se podría mencionar que durante las visitas técnicas no se observaron fallas en la estructura producto de la acción de las cargas gravitatorias (grietas en losas y/o paredes, pérdidas de recubrimiento en columnas y/o vigas), además no se observaron problemas de asentamientos o fallas del terreno.

### **III.3 – DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA EDIFICACIÓN**

La fachada principal de la edificación está ubicada hacia el norte, punto en el cuál se encuentran las dos entradas a las instalaciones de la EBAP. La escuela está plenamente identificada como se puede apreciar en la imagen del anexo A.01.

La EBAP es una edificación constituida por dos módulos contiguos y conexos, el Módulo Principal y el Módulo Anexo (Anexo B, Plano A01). 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, su actual función es albergar el comedor y la cocina de la institución.

### **III.3.1 – Módulo Principal**

El Módulo Principal posee dos entradas, una principal situada en la fachada lateral este (imagen A.02) y una secundaria ubicada en la fachada lateral oeste (imagen A.03), ambas entradas tienen dimensiones similares. Las entradas del Módulo se diferencian en ciertos aspectos, como es el hecho que la entrada secundaria posee una pared de mampostería de 2,20 m de ancho por 1,30 m de altura en la zona inferior (imagen A.03) y la entrada principal es libre de mampostería en toda la luz del vano. La Planta Baja y Planta Alta están comunicadas entre sí por una única escalera de concreto armado (Planos A01 y A02).

En las adyacencias de la entrada principal del Módulo se encuentra un conjunto de edificaciones posiblemente construidas posterior a la inauguración de la edificación, siendo la construcción de los mismos en tiempos diferentes. Actualmente estas edificaciones están siendo utilizadas como aulas de clase (imagen A.04, A.31, A.36).

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 (imagen A.03, Plano A03). En el tramo central de Planta Alta, la altura de entrepiso es uniforme e igual a 3,25 m (imagen A.05). La losa de techo ubicada entre los ejes 1-2 y C-D no posee la inclinación presente en los otros vanos del mismo tramo y posee una altura de entrepiso uniforme e igual a 3,25 m (imagen A.22, Planos A04, A05).

La Planta Baja está constituida por un pasillo central de 4,75 m de ancho, siete aulas de clase con una capacidad promedio de treinta alumnos por salón y unas dimensiones de 6,00 x 6,75 m cada una, una oficina administrativa, un depósito de material educativo, un baño de damas, uno de caballeros y un pasillo que comunica el Módulo Principal con el anexo, este pasillo está siendo utilizado como un aula de clase adicional (imágenes A.06, A.07, A.08, A.09, A.10, A.11, Plano A01).

La Planta Baja esta comunicada con la Planta Alta por una escalera de concreto armado de 24 escalones, con un descanso intermedio de 3,25 x 2,65 m, la altura de las

contrahuellas es 15 cm las huellas tienen 30 cm de ancho. El ancho del ojo es de 15 cm. (imágenes A.12, A.13. Planos A01 y A02)

La Planta Alta consta al igual que la planta inferior de un pasillo central con las mismas dimensiones, nueve aulas de clase con la misma capacidad de las aulas del nivel inferior y dos baños, uno para damas y otro para caballeros (imágenes A.14, A.15, A.16, A.17. Plano A02). En cuanto a las piezas sanitarias se puede decir que tanto los baños de Planta Baja como los de Planta Alta están conformados por cuatro lavamanos y cuatro W.C, sin contar los cubículos destinados para el uso de los profesores, los cuales poseen un lavamanos y un W.C. Las dimensiones de cada uno de los baños es 3,20 m de ancho por 5,95 m de largo (Imagen A.17 y Plano A02).

Todas las aulas de clase cuentan con ventanas que van de cara a cara de columna situados a 1,20 m de la losa de piso, las mismas poseen 3,25 m de ancho por 1,80 m de altura (imagen A.14. Plano A01, T01, T02, T03). 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 x 20 x 40 cm. (imagen A.07, A.08, A.15. Plano T03).

El pasillo central posee hacia la fachada oeste una ventana de 4,50 m de ancho por 1,60 m de alto ubicada a 1,00 m de altura. Hacia la fachada este se encuentra una pared constituida por bloques de ventilación que llena completamente el vano del pórtico en ese nivel (imágenes A.02, A.04).

En los pasillos centrales y baños se aprecian “columnas falsas”. En realidad estas son un recubrimiento para las tuberías de drenaje de aguas de lluvias (en el caso de las “columnas” que salen de las paredes del pasillo central) y para las tuberías de aguas servidas de las instalaciones sanitarias (para el caso de las “columnas” en los baños) (imágenes A.20, A.21).

La losa de entrepiso posee volados en sus cuatro fachadas, siendo de mayor dimensión los ubicados en las fachadas norte y sur, estos volados son de 1,60 m de

ancho; los volados ubicados en las fachadas este y oeste poseen 0,37 m de ancho (imágenes A.02, A.03. Plano A02).

En los volados de las fachadas norte y sur se encuentran en total 21 parasoles, 11 en la fachada norte y 10 en la fachada sur (Plano A02), estos parasoles tienen forma trapezoidal, su base es de 1,40 m, el tope mide 0,60 m; el ancho de estos parasoles es de 0,15 m., teniendo una altura total de 3,00 m (ver Anexos A, imágenes A.18, A.19. Planos A02, A05, A06, T01, T02).

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 (imágenes A.22, A.23, A.24 y Plano A03).

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 (imágenes A.22, A.23, A.24).

El acabado de los pisos del Módulo Principal es de granito, las puertas de las aulas, baños y oficinas son metálicas (imágenes A.07, A.08, A.15).

El Módulo Principal se conecta con el Módulo Anexo mediante el pasillo antes mencionado, ubicado en la Planta Baja, como ya se mencionó con anterioridad este pasillo fue cerrado con una pared de mampostería y convertido en un aula de clase (imagen A.11).

### **III.3.2 –Módulo Anexo**

El Módulo Anexo está constituido por un comedor de 10,05 x 10,45 m, una zona de cocina, baño y vestidores de 10,05 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 (imágenes A.28, A.31, A.32).

En el comedor, la altura de entrepiso es de 4,45 m, en el área destinada a la cocina esta altura es de 3,70 m (imágenes 3.25, 3.27).

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 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 Principal las paredes son de 25 cm de espesor, frisadas por ambas caras, en el Módulo Anexo son de 30 cm de espesor y al igual que en el Módulo Principal están frisadas por ambas caras.

### **III.4 - DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN**

Con la información recabada en el levantamiento se elaboraron los planos estructurales identificados como E01, E02, P01, P02, P03, T01, T02, T03.

La EBAP es una estructura conformada por pórticos de concreto armado, formada por un Módulo Principal de dos niveles y un Módulo Anexo de un nivel, conectados entre sí a través de las vigas de los ejes 4 y 5 (Planos A01, E01). La planta del Módulo Principal es rectangular así como la del Módulo Anexo si no se considera el pasillo de unión de ambas estructuras (Planos A01, E01).

#### **III.4.1 – 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 x 25 cm, cuyos ejes poseen continuidad en todos los niveles.

La estructura posee vigas altas en la dirección longitudinal, las mismas son de 25 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 solo se encuentran entre los ejes A-B y C-D, es decir, la estructura carece de vigas entre los ejes B-C.

Las vigas altas transversales que soportan la losa de techo poseen una inclinación del 12%. Todas las vigas transversales del Módulo Principal salen en volado con excepción de la viga CD-1 (Plano P01, P02).

En la Planta Alta se detectaron vigas de corona que sostienen la tabiquería superior a las ventanas, estas vigas son de 25 x 40 cm (Plano P01, P02, P03, T01, T02, T03).

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 un área aproximada de 815 m<sup>2</sup>, mientras que la losa de techo posee un área aproximada de 795 m<sup>2</sup> (Plano A01, E01).

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. Las paredes no están desvinculadas o separadas de los elementos estructurales (Planos T01, T02, T03. Imágenes A.34, A.35).

Los parasoles ubicados en los volados de la escuela, están compuestos por bloques de arcilla de 10 cm, frisados por ambos lados. El espesor aproximado de este friso es 2,5 cm.

La edificación posee una única escalera de concreto armado de dos tramos simplemente apoyados, ubicada entre los pórticos 1-2 y C-D, adyacente a la entrada secundaria (imágenes A.12, A.13. Planos A01, A02).

La carga generada por los dos estanques de almacenamiento de agua, está soportada por las columnas B2, C2, B3, C3 y B4, C4, B5, C5 respectivamente, las cuales se extienden para ser soporte de los mismos (imágenes A.22, A.23, A.24).

Un aspecto importante de destacar es la presencia de dos perfiles de acero que se ubican adyacentes a las columnas en A-1 y A-2 (imagen A.03), a manera de apoyo para las vigas que soportan el volado existente. No se poseen datos precisos sobre la restauración que adicionó estos elementos a la estructura. Se presume fueron colocados posterior al Terremoto de Caracas de 1.967.

#### **III.4.2 – Módulo Anexo**

El pasillo que comunica ambos módulos, está conectado a los mismos, apoyado en dos columnas del Módulo Principal, dos columnas del Módulo Anexo y otras dos columnas de concreto armado ubicadas en la parte central del pasillo, de 25 x 25 cm, que conforman el eje E (Planos A01, P01, imagen A.29).

Las vigas de este pasillo son altas y son la extensión de las vigas 4 y 5 del Módulo Principal. Estas vigas llegan a las columnas F4 y F5 del Módulo Anexo (Planos P01, P02).

Las vigas del pasillo sostienen una losa nervada, de un área aproximada de 35 m<sup>2</sup>, armada en la misma dirección que las losas del Módulo Principal (imagen A.29, Plano E01).

En el Módulo Anexo, específicamente en la zona del comedor, la losa está armada en ambas direcciones, aligerada con bloques de arcilla (Plano E01). En la zona de la

cocina la losa es nervada, armada en la dirección longitudinal, aligerada con bloques de arcilla (Plano E01).

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, las columnas F4 y J4 son de 25 x 60 cm orientadas en la dirección longitudinal, las columnas G4, H4 e I4 son de 25 x 50 cm de espesor y su orientación es igual que las anteriores; el resto de las columnas del comedor son de 25 x 35 cm orientadas en la dirección longitudinal, las columnas de la cocina son de 25 x 25 cm (Planos A01, E01, P01, P02, T01).

Las vigas perimetrales del anexo son vigas altas de 25 x 60 cm (Planos E01, P01, P02).

En la zona perimetral del Módulo Anexo se detectaron vigas de corona que sostienen los sectores de pared que se hallan sobre las ventanas, estas vigas son de 25x40 (planos P01, P02).

En el Módulo Anexo, la tabiquería está constituida por ladrillos de arcilla de 6x12x25 cm y las paredes son de 25 cm de espesor (imágenes A.25, A.26, A.27, A.28, Plano A01).

### **III.5 - DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES ESTRUCTURALES DE LA EDIFICACIÓN**

Las propiedades de los materiales se estimaron con base a una recopilación de propiedades, correspondientes a edificaciones escolares de similar antigüedad presentada en la referencia [09].

El concreto utilizado para la construcción de los elementos estructurales de la EBAP se estima con una resistencia promedio a compresión de  $163 \text{ Kg/cm}^2$ , tanto en vigas, columnas y losas. [09]

El acero utilizado para el armado longitudinal de los elementos estructurales de la EBAP se estima con un límite elástico  $f_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$  (clasificación A-24) y para el armado transversal  $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$  (clasificación A-28). [09]

El refuerzo longitudinal, presente tanto en vigas como en columnas, posee un diámetro de  $1/2''$  o superior y son barras estriadas como se observó durante la segunda visita en una de las columnas cuyo acero estaba expuesto (imágenes detector de acero 0027, 0031, 0036, 0039, 0056, 0150, 0153, 0156, 0157 0166).

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 como en columnas, están separadas 25 cm de eje a eje en toda la longitud de los elementos, evidenciando la falta o ausencia de zonas de confinamiento sísmico (imágenes detector de acero 0027, 0031, 0036, 0039, 0056, 0150, 0153, 0156, 0157 0166 e Imagen A.33). No se pudo inferir la presencia de acero transversal en las juntas.

En el Anexo A se presentan el conjunto seleccionado de imágenes (fotografías) de la EBAP, además se muestran la serie de detecciones de acero, las cuales se citan en este capítulo.

## **IV – OTRAS ESCUELAS SIMILARES**

### **IV.1 – Preámbulo**

La Escuela Bolivariana “Ambrosio Plaza”, ubicada en Guarenas, es una de las muchas escuelas designadas por sus características arquitectónicas y estructurales como Tipo Antiguo II. Se presume que existe un número significativo de estas escuelas en todo el país. Para verificar y comprobar este hecho, se procedió a una detallada recopilación de información sobre dichas estructuras en el ámbito nacional que posean características similares que corroboren su carácter repetitivo.

En total se visitaron y/o estudiaron a las Escuelas Bolivarianas, “Miguel Villavicencio”, “Francisco Espejo”, “Dr. Luis Ortega”, “Nueva Esparta”, “Samuel Darío Maldonado” y “Miguel Lorenzo”; todas estas con características similares a la EBAP.

### **IV.2 – Escuelas Similares a la EBAP**

#### **IV.2.1 – Escuela Bolivariana “Miguel Villavicencio” (EBMV)**

Esta Escuela se encuentra ubicada en la Avenida José Antonio Lamas de Artigas, Municipio Libertador, Caracas, a la cual se realizaron varias visitas técnicas, los días 29 y 30 de abril del 2004, 08 de diciembre de 2004 y 09 de junio de 2005 respectivamente, en las que se llevó a cabo un levantamiento fotográfico y breve levantamiento geométrico de la estructura, con el fin de comprobar y corroborar similitudes existentes con la EBAP. Para estas se contó con el apoyo del cuerpo técnico del IMME (ver Anexo A, Imagen A.56).

Durante estas visitas, la edificación escolar se encontraba en un proceso de mantenimiento y remodelación de la edificación, esto favoreció enormemente su

estudio, ya que, se contó con varios de los elementos estructurales descubiertos, es decir, libres de recubrimiento y friso, facilitando el trabajo de medición geométrica y el estudio de su armado con el detector de aceros (imágenes A.57, A.58).

En esta visita se comprobaron muchas características observadas en la EBAP, como también se obtuvieron muchos datos de interés, que no pudieron ser recabados en la escuela de Guarenas. Por ejemplo, se verificó el número de pórticos, las dimensiones de todos los elementos que conforman los mismos y las luces de los vanos, y se comprobó la existencia de losa nervada y su dirección de armado en el Módulo Principal, al igual que la existencia de las “columnas falsas” explicadas en el Capítulo 3 de este trabajo (imagen A.59), por otra parte se encontró que la ubicación de las aulas, baños, dirección y escaleras es similar a la EBAP al igual que la forma inclinada de la losa de techo. Además se encontraron pruebas de la losa nervada en dos direcciones existente en el techo del comedor y que la mampostería del Módulo Anexo está construida con ladrillos macizos de arcilla.

Como diferencias, se encontró que la EBMV es la imagen invertida de la EBAP, es decir, si se comparan las plantas de ambas edificaciones, una sería el reflejo de la otra. También se evidenció la existencia de una junta que divide la estructura del Módulo Principal en dos partes. No se pudo evidenciar junta estructural entre el Módulo Principal y el Módulo Anexo. Los dos estanques elevados de agua fueron eliminados durante una remodelación a la estructura (imagen A.60).

#### IV.2.2 – Escuela Bolivariana “Francisco Espejo” (EBFE)

Esta Escuela se encuentra en Santa Lucía, Municipio Paz Castillo, Estado Miranda y fue fundada en 1956 (imagen A.61, 4.62). Se efectuaron dos visitas técnicas a la misma, efectuadas el 12 y 16 de septiembre de 2005, en las cuales se realizó un levantamiento fotográfico, se verificó la geometría de la edificación y se estudió el armado de los elementos estructurales con el detector de acero. Se contó con la

colaboración y apoyo de la Directora del plantel, Profesora Maigualida, y la del señor Sócrates Mateus.

Esta escuela posee las mismas características arquitectónicas y estructurales encontradas en la EBAP, la cual está conformada por un Módulo Principal y otro Anexo. El Módulo Principal posee doce pórticos transversales y cuatro longitudinales, mientras que el Módulo Anexo posee seis transversales (compartiendo los ejes 4 y 5 con el Módulo Principal) y cinco longitudinales. El Módulo Principal posee columnas de 25 x 25 cm y vigas altas de 25 x 60 cm en ambas direcciones. La losa de entrepiso y de techo es similar a las encontradas en la EBAP y la EBMV (imagen A.63); además, se encontraron los dos estanques elevados de agua (imagen A.64). El Módulo Anexo, también posee la losa reticular en el área del comedor, cuyo armado se pudo comprobar con ayuda del detector de metales.

A diferencias de las otras edificaciones escolares estudiadas, en esta escuela se pudo apreciar la existencia de la junta estructural ubicada entre el Módulo Anexo y el Módulo Principal, separando las estructuras de ambas edificaciones (imágenes A.65, A.66).

Además en esta Escuela se encontró, una estructura metálica de perfiles rectangulares (tipo Conduven) y láminas de Zinc que funciona como cubierta para el nivel de techo, lo que según explicó la Directora del plantel, fue la solución para evitar las filtraciones que aquejaban a esta edificación (imagen A.67).

#### IV.2.3 – Escuela Bolivariana “Dr. Luis Ortega”

Esta Escuela se ubica en El Tirano, Municipio Antolín del Campo, Estado Nueva Esparta. Se contó con un croquis producto de un levantamiento arquitectónico realizado por parte de FEDE, además se poseen fotografías de la edificación (imagen A.68).

Se observó la similitud existente en la disposición de espacios del Módulo Principal, tanto en Planta Baja como en Planta Alta. La ubicación y dimensiones de las aulas es similar a la de la EBAP; la ubicación de la Dirección, la Secretaría, los baños y el pasillo que comunica con el Módulo anexo concuerdan totalmente. La Planta Techo muestra las losas laterales inclinadas y la central horizontal similares a las observadas en todas las escuelas Tipo Antiguo II (imagen A.69).

También en el croquis se observa el Módulo Anexo, aunque carece de detalle el pasillo que lo une con el Módulo Principal. Es importante destacar la aparente existencia de tres columnas centrales, a manera de apoyo, en el comedor del Anexo, cosa no vista en ninguna otra escuela.

#### IV.2.4 – Escuela Bolivariana “Nueva Esparta”

Esta Escuela está ubicada en el Sector Chiguará, Municipio Sucre, Estado Mérida. Posee una matrícula de 380 alumnos aproximadamente, distribuidos entre Preescolar, Básica I y Básica II. De esta escuela se contó con un informe suministrado por FEDE donde se resumen los trabajos de rehabilitación y mantenimiento realizados en sus instalaciones (imagen A.70).

Según el informe, a la edificación se le realizó el recalce de las fundaciones (imagen A.71), trabajos de impermeabilización, fueron eliminados los estanques elevados de almacenamiento de agua ubicados en el techo, se construyó una escalera de emergencia (imagen A.72), se demolieron las paredes para ser sustituidas por muros armados y se reforzó la estructura tanto del Módulo Principal como del Módulo Anexo (imagen A.73).

La edificación posee características muy similares a las otras Escuelas Tipo Antiguo II. Está formada por un Módulo Principal de dos niveles, Planta Baja y Planta Alta, con losas de techo inclinadas y los dos estanques de almacenamiento de agua

eliminados, además de un Módulo Anexo de un solo nivel constituido por el comedor y la cocina (imagen A.74).

#### IV.2.5 – Escuela Bolivariana “Samuel Darío Maldonado” y Escuela Bolivariana “Padre Miguel Lorenzo”

La U.E.B. “Samuel Darío Maldonado”, está ubicada en Isnotú, Municipio Rafael Rangel, Estado Trujillo y la Unidad Educativa Bolivariana “Padre Miguel Lorenzo”, está ubicada en Cuicas, Municipio Carache, también Estado Trujillo. De estas dos escuelas se disponen de planos de planta y pórticos del Módulo Principal, producto de un levantamiento realizado por FEDE (imágenes A.75, A.76).

Los planos muestran un edificio de similares características a otras Escuelas Tipo Antiguo II, doce pórticos transversales y cuatro longitudinales, vigas altas de 25 x 60 cm, columnas de 25 x 25 cm, dos estanques elevados de agua en el nivel de techo. En los planos se infiere una independencia del Módulo Principal y del Módulo Anexo, primero porque el Módulo Anexo no se encuentra dentro de los planos, es decir, el Módulo Principal se estudió como una estructura independiente; y segundo porque las vigas de los pórticos 4 y 5 no se extienden.

A diferencia de la EBAP y la EBMV, estas dos instituciones poseen un Nivel Sótano, siendo en total tres niveles (imagen A.77). Además, es de hacer notar la aparente existencia de “vigas planas” en el sector del pasillo (imagen A.78), tanto en la losa de entrepiso como en la losa de techo, las cuales no pudieron ser encontradas ni en la EBAP, ni en la EBMV, ni en la EBFÉ.

## V – DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

### V.1 – PESOS Y MASAS DE LA ESTRUCTURA

En el *Anexo C, Tabla C.1* se muestran los pesos unitarios de todos los elementos tomados en cuenta para la realización del modelo de la estructura. A continuación, en la *Tabla V.1*, se muestran algunos de estos elementos:

Losa de Techo	390
Losa de Entrepiso	495
Peso de la Tabiquería con bloques de arcilla	257
Peso de la Tabiquería con ladrillos de arcilla	301
Parasoles [Kg c/u]	520
Losa de Techo Comedor	472

*Tabla V.1. – pesos por metro cuadrado de algunos elementos [Kg/m<sup>2</sup>]*

Estos pesos, todos en sus respectivas posiciones, fueron usados para obtener las masas, centros de masa, inercias rotacionales de cada nivel, así como el peso sísmico de la estructura (Tablas V.1, y Anexo C, Tabla C.2)

<b>TECHO</b>	<b>Masa</b>	<b>Xcm</b>	<b>Ycm</b>	<b>Bx</b>	<b>By</b>	<b>Io</b>
<b>M.Ppal.</b>	61.943	8,7	20,28	20,02	39,6	1,02E+07

<b>ENTREPISO</b>	<b>Masa</b>	<b>Xcm</b>	<b>Ycm</b>	<b>Bx</b>	<b>By</b>	<b>Io</b>
<b>M.Ppal</b>	82.799	8,8	19,07	20,65	38,5	1,32E+07
<b>Pasillo</b>	1.476	14,48	22,02	7,7	3,8	9,07E+03
<b>M.Ppal.+Pasillo</b>	84.276	8,92	18,71	-	-	1,33E+07
<b>Comedor</b>	10.401	31,98	15,51	10,6	10,75	1,98E+05
<b>Cocina</b>	6.286	32	24,33	10,6	6,85	8,34E+04

*Tabla V.1 - Masas, Centros de Masas e Inercias Rotacionales por Nivel [T-seg-m].*

Las cargas variables nominales se toman de la Norma COVENIN 2002-88 [06], a saber 400 kgf/m<sup>2</sup> en aulas y 300 kgf/m<sup>2</sup> 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 1756:2001, Sec. 7.1 [07].

Se cargó la estructura por gravedad distribuyendo los pesos propios de losas, paredes, parasoles y la carga viva sobre las vigas correspondientes, asimismo se tomó en cuenta el peso propio de los elementos estructurales (vigas y columnas). El peso de los estanques fue asignado a las columnas que lo soportan directamente.

Se incorporaron las masas traslacionales en las dos direcciones ortogonales (X e Y) y una inercia rotacional (Z) en el centro de gravedad de cada uno de los diafragmas.

El módulo de elasticidad del concreto se tomó de la expresión  $E_c = 15100 \sqrt{f'c}$ . La deformación última del concreto es igual a 0,003, el Módulo de Elasticidad del acero es de 2.100.000 Kg/cm<sup>2</sup>. Según estudios llevados a cabo por el IMME [10] y lo estipulado en las Normas de Construcción de Estructuras de Mampostería de otros países [12] se consideró el Módulo de Elasticidad de la mampostería de bloques de arcilla como  $E_m = 20.000 \text{ Kg/cm}^2$  y el Módulo de Elasticidad de la mampostería de ladrillo como  $E_m = 80.000 \text{ Kg/cm}^2$ .

Para definir la longitud de los elementos estructurales se consideró un brazo rígido del 50% para vigas y columnas.

## **V.2 – MODELOS MATEMÁTICOS**

Se presentan seis (06) modelos de la edificación en los que se varían algunos parámetros para evaluar la influencia de estos en las propiedades dinámicas de la estructura. Los parámetros a variar son: la influencia del Módulo Anexo, la presencia de paredes, parasoles, tanques y la forma de definir los diafragmas rígidos en losas del Módulo Anexo.

Los modelos a analizar son los siguientes:

**Modelo 01:** Módulo Principal sin la presencia del Módulo Anexo y de la rigidez adicionada por la inclusión de las paredes en el modelo. Posee un total de seis grados de libertad.

**Modelo 02:** Al igual que el modelo anterior se estudia solo el Módulo Principal. A este modelo se le incorporó la influencia de la rigidez introducida por las paredes, sin embargo no se toma la masa adicionada por los parasoles.

**Modelo 03:** Módulo Principal sin la influencia del Módulo Anexo pero con la influencia de la rigidez adicionada por la mampostería, además la masa de los parasoles y la masa adicionada por los dos estanques de almacenamiento ubicados en la azotea.

**Modelo 04:** Similar al Modelo 03 pero sin la influencia de la masa adicionada por los dos estanques de almacenamiento.

**Modelo 05:** Módulo Principal con la influencia del Módulo Anexo y un solo diafragma rígido para el conjunto conformado por el entrepiso del Módulo Principal, la losa del pasillo que comunica los dos Módulos, la losa de techo del comedor y la losa de techo de la cocina; se tomará en cuenta la influencia de las paredes, parasoles y los estanques de almacenamiento para este modelo.

**Modelo 06:** Módulo Principal con la influencia del Módulo Anexo y cuatro diafragmas rígidos, el primero para el conjunto conformado por el entrepiso del Módulo Principal y la losa del pasillo que comunica los dos Módulos, el segundo para la losa de la Planta Techo del Módulo Principal, el tercero para la losa de techo del Comedor y el cuarto para la losa de techo de la Cocina, se tomará en cuenta la influencia de las paredes y parasoles para este modelo.

Se incorporó a los modelos 02, 03, 04, 05 y 06 la rigidez adicionada por la mampostería en la estructura mediante el uso del Método de la Biela Equivalente,

siendo este uno de los métodos utilizados en investigaciones realizadas por el IMME para este tipo de análisis.

Para conseguir el ancho  $W$  de las bielas equivalentes se realizaron modelos de los pórticos con mampostería más representativos de la estructura mediante el uso de los elementos finitos.

Las rigideces de estos modelos con bielas equivalentes fueron comparadas con las obtenidas en los modelos con elementos finitos. La evaluación de los modelos se realizó con el programa SAP 2000.

### **V.3 – MODELADO DE LA MAMPOSTERIA**

#### **V.3.1 – Modelado de Mampostería con el uso de Elementos Finitos**

Se tomaron los tres pórticos representativos de la estructura, creándose en total once modelos de dos columnas y una viga, con mampostería igual a la existente en la estructura, las paredes se modelaron con elementos finitos, empotrados en la base y al pórtico (ver Anexo C, Imagen C.1-C.11). Se aplicó una carga lateral igual a 10.000 Kg. en la parte superior del marco y se midió su desplazamiento.

#### **V.3.2 – Modelo Pared Bielas**

Se tomaron los mismos pórticos que en el modelo anterior, pero en este caso se modelaron las paredes con un par de bielas equivalentes, colocadas en la dirección de las diagonales de la pared, con espesor de 25 cm. y que solo transmiten fuerza axial al pórtico. El ancho de las bielas fue variado hasta obtener el mismo desplazamiento tope para los 10.000 Kg. aplicados en los modelos con elementos finitos.

### V.3.3 – Resultados del Modelado de Paredes

Los anchos resultantes obtenidos tanto por el uso de bielas equivalentes con el programa SAP 2000 como por el método de Klingner se muestran en la *tabla V.2*. Estos valores de  $W$  fueron ajustados según la bibliografía consultada [10] [14] para representar la rigidez inicial de la mampostería confinada.

<b>BIELA EQUIVALENTE</b>					
<b>Pórticos Longitudinales</b>		<b>Pórticos Transversales</b>		<b>Pórticos Anexo</b>	
<b>h</b>	<b>w</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>h</b>	<b>w</b>
360	58	350	50	300	52
260	29	230	33	180	21
120	25	140	20	105 c/p	15
260 c/p	12	-	-	-	-

*Tabla V.2 Resumen de Resultados del Análisis de la Mampostería con el Método de la Biela Equivalente Tomando en Consideración Dos Diagonales [cm.]*

### V.4 – ESPECTROS UTILIZADOS

El espectro utilizado para el análisis posee un Coeficiente de Aceleración Horizontal ( $A_0$ ) igual a 0.30 correspondiente a la ciudad de Guarenas (zona sísmica 5, peligro sísmico elevado). El Factor de Importancia ( $\alpha$ ) usado fue de 1.30 por ser edificación educacional (Grupo A).

Para la elección del Factor de Reducción de Respuesta ( $R$ ) se considera que la estructura no posee gran capacidad de incursionar en el campo inelástico bajo la acción de cargas sísmicas importantes, por lo que la capacidad global del sistema para absorber y disipar energía se consideró baja, además tomando en cuenta la antigüedad

de la construcción (década de los cincuenta) ha sido criterio de distintas investigaciones realizadas [05] tomar un valor máximo de  $R$  igual a 2. Para la realización de esta investigación también se consideró un Factor de Reducción igual a  $R=1$  para los análisis elásticos. Con el factor  $R=2$  se determinó la deriva de la estructura, permitiendo así deformaciones dentro del rango inelástico que hacen posible la realización de comparaciones con las derivas máximas estipuladas en la normativa vigente.

Ante la ausencia de estudios de las condiciones geotécnicas del suelo y con el fin de obtener resultados conservadores aplicables en cualquier otra escuela Tipo Antiguo II, para la selección del Factor de Reducción se estudiaron todos los casos de Formas Espectrales aplicables, eligiéndose el caso más desfavorable correspondiente para cada uno de los modelos realizados.

Para el Modelo 1, se utilizó el espectro de diseño correspondiente a  $R=1$  con la forma espectral S3. Para los Modelos restantes (02, 03, 04, 05, 06) se utilizaron los espectros correspondientes a  $R=1$  y con la forma espectral S2.

Todos los espectros estudiados para esta investigación se muestran en el Anexo C, Gráfico C.1.

## VI.- PROPIEDADES DINÁMICAS

Para la realización del análisis dinámico espacial elástico de la estructura se utilizó el método de análisis espectral con superposición modal con tres grados de libertad por nivel estipulado en la norma 1756:2001 [07]. El cálculo se realizó con la ayuda del programa de análisis estructural SAP2000.

En cada uno de los modelos realizados se obtuvieron los siguientes resultados.

MODELOS	MODOS					
	1	2	3	4	5	6
1	1,1047	1,000	0,9472	0,4423	0,3984	0,3645
2	0,3621	0,3501	0,2762	0,1598	0,1431	0,1092
3	0,3621	0,3501	0,2762	0,1598	0,1431	0,1092
4	0,3465	0,3282	0,2735	0,1581	0,1390	0,1087
5	0,3544	0,3014	0,2474	0,1589	0,1377	0,1165
6	0,3578	0,3332	0,2608	0,1619	0,1435	0,1337

*Tabla VI.- Períodos en segundos correspondientes a los modelos realizados.*

Las masas participativas, para cada uno de los modos, de cada uno de los modelos, se encuentran en el Anexo D, en las Tablas D.2.1-D.2.6.

En el Modelo N°1 se observa un desacoplamiento en los grados de libertad (x,y,θ) de los tres primeros modos de vibración. El primer modo de vibración es en la dirección X principalmente, con un 84,0% de masa participativa en lo traslacional y una pequeña componente rotacional de 8,2%. En el segundo modo la dirección principal es la Y con un 90,0% de la masa traslacional y con una menor rotación que el anterior, igual a 3,8%. El tercer modo es rotacional principalmente con una masa participativa del 85,0%. Los siguientes modos 4, 5 y 6 muestran la típica inversión de movimientos del nivel entrepiso con respecto al techo.

En el Modelo N°2 destaca la influencia de la mampostería al afectar considerablemente el período y la forma de la vibración, siendo ahora Y la dirección

principal, en este primer modo se observa un 82% de la masa participativa en esta dirección con una rotación despreciable. Los modos 2 y 3 son en la dirección X con una masa participativa traslacional del 60% y 32%, se observa una fuerte rotación acoplada de un 31% y 61% en masa participativa rotacional. Para los modos 4, 5 y 6 también se aprecia la inversión de movimientos de los niveles de la edificación.

En el Modelo N°3 y Modelo N°4 no se aprecia ningún cambio considerable en el comportamiento dinámico con respecto al modelo N°2, exceptuando la muy ligera disminución en los Períodos observados en el Modelo N°3 por la eliminación de los parasoles y en el Modelo N°4 por la eliminación de los estanques de agua.

Al evaluar la acción del anexo en el Modelo N°5 se observa un cambio en el comportamiento del edificio en comparación al Modelo N°2, el período disminuye en los modos principales, las traslaciones en X e Y se mantienen en lo que a dirección se refiere, pero las rotaciones acopladas aumentan tal como lo demuestra las masas participativas rotacionales.

En los Anexos de este trabajo se encuentran tablas con toda la información de las propiedades dinámicas de cada uno de los Modelos estudiados. Además se ubican figuras que muestran el desplazamiento de la estructura en cada Modelo realizado en cada uno de sus primero tres modos.

## **VII – RESPUESTA SÍSMICA**

### **VII.1 – DERIVAS**

Se revisaron en la estructura los máximos desplazamientos y sus derivas asociadas producidas por las cargas sísmicas puras en ambas direcciones ortogonales (Sismo en dirección X y en dirección Y), considerando un Factor de Reducción de Respuesta  $R=1$  y  $R=2$ . Estos valores de derivas están mostrados en el Anexo D, *Tabla D.3*.

En el Modelo 01 las derivas inelásticas máximas se encuentran en el orden de 35,87 por mil para el nivel entepiso y 23,08 por mil para el nivel techo, valores que son muy elevados y exceden el 12 por mil previstos por la norma vigente para edificaciones educacionales [07].

En el Modelo 02 las derivas inelásticas de los niveles disminuyen debido al aumento de rigidez ocasionado por el efecto de las paredes de mampostería, estas derivas pasan a estar por debajo de las máximas admisibles, no excediendo el valor de 5,59 por mil.

En el Modelo 05, el cual considera el efecto del Módulo Anexo sobre el Módulo Principal, se puede observar que con el cambio de comportamiento de la estructura, existe una disminución en las derivas máximas del nivel entepiso, bajando el desplazamiento máximo de 5,59 a 3,98 por mil, sin producir gran variación en el comportamiento del nivel superior.

### **VII.2 – RELACIÓN DEMANDA VS. CAPACIDAD**

Para los efectos de esta investigación se calculó el cociente demanda/capacidad como un indicador del rango de la resistencia global que posee la estructura, considerándolo como el cociente de la sollicitación a cortante a la que están sometidas las columnas y

su capacidad a resistir las mismas, suponiendo a las columnas como los elementos con mayor posibilidad a falla.

### **VII.2.1 – Demanda**

La demanda de cortante de cada uno de los niveles de la estructura fue calculada con  $R=1$ , utilizando el valor máximo resultante de la aplicación de los criterios del 30% y el de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados.

Los cortantes de cada nivel fueron obtenidos como la suma de cortantes máximos en cada una de las columnas, considerando las fuerzas sísmicas provenientes del Análisis Dinámico.

Del estudio del Modelo N°1, se estimó una demanda de cortante en la base de las columnas, del primer nivel, de 862 toneladas en dirección X y 974 toneladas en dirección Y. Del Modelo N°2, se estimó una demanda de cortante en la base de las columnas, del primer nivel, de 166 toneladas en dirección X y 446 toneladas en dirección Y. Observándose el cambio en el comportamiento de la estructura al ser insertada la mampostería.

### **VII.2.2 – Capacidad de las Columnas a Fuerza Cortante**

El corte resistente  $V_y$  de una sección de concreto armado según la Norma COVENIN 1753 [08] es el siguiente:

$$V_y = V_c + V_s$$

*$V_c$ : fuerza cortante resistida por el concreto.*

*$V_s$ : fuerza cortante resistida por el acero.*

Los valores de  $V_c$  y  $V_s$  están también especificados en la Norma COVENIN 1753 [08] de la siguiente manera:

$$V_{cc} = 0,53[1 + 0,007 \frac{N_u}{A_g}] \sqrt{f'c} b d$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

*Donde:*

$N_u$ : Fuerza Axial resultante del Análisis de Cargas.

$A_g$ : Área gruesa de la sección transversal.

$b$ : Ancho de la sección transversal.

$d$ : Altura útil de la sección transversal.

$A_v$ : Área de acero transversal.

$s$ : Separación del acero transversal.

Se estudiaron dos modos de falla para las columnas: la falla por flexión y la falla por corte. Se compararon los cortantes  $V_c$  obtenidos para cada uno de estos modos de falla y se seleccionó el menor de estos. La fuerza cortante resistida por el concreto  $V_c$  se calculó siguiendo lo estipulado por la Norma COVENIN 1753 [08] para el caso de falla por cortante.

La fuerza cortante proveniente de la falla por flexión  $V_{cf}$  se estudió para cada dirección y sentido de análisis, esta fuerza cortante fue calculada con la siguiente fórmula:

$$V_{cf} = \frac{2M_y}{H}$$

$M_y$ : Momento resistente por fuerzas axial bajo la acción de cargas mayoradas.

*H: Altura libre de la columna.*

Las fuerzas axiales en las columnas fueron estimadas considerando las cargas variables y permanentes actuantes mayoradas en la estructura según la combinación de carga  $1.4 CP + 1.7 CV$ , sin considerar el efecto de la acción sísmica.

Con estas fuerzas axiales se determinaron los momentos resistentes en la base de las columnas mediante el uso de sus correspondientes diagramas de interacción, estos momentos máximos fueron utilizados en el cálculo de la resistencia a corte por flexión en estos elementos estructurales. Los diagramas de interacción se muestran en el Anexo D, gráficos C-2.

Estudiando las fuerzas axiales presentes en columnas, en sus correspondientes diagramas de interacción, se pudo observar que todas las cargas axiales son mayores al punto balanceado.

### **VII.2.3 – Relación Demanda-Capacidad**

En la Tabla D.4 del Anexo D, se muestran los respectivos cortantes de piso, en cada dirección de análisis, de cada nivel y asimismo se observan las respectivas relaciones demanda / capacidad. Para los resultados mostrados no fue considerado la resistencia que adicionan las paredes de mampostería a la resistencia global a corte de la edificación, mas sí fue evaluada y calculada según métodos estipulados en normativas internacionales [12], dando resistencias a corte en el orden de 6 toneladas por cada pared, en cada vano, en promedio.

En el Modelo 01, la Planta Baja posee un valor Demanda-Capacidad igual a 3,31 en la dirección X y un valor de 3,75 en Y, lo cual indica que la estructura se encuentra sometida a mas del triple de las solicitaciones que ella puede admitir. La Planta Alta también posee valores altos de Demanda-Capacidad, 1,43 en dirección X y 2,43 en dirección Y.

En el Modelo 02, se observan valores de Demanda-Capacidad menores a la unidad para el primer nivel en ambas direcciones y en el segundo nivel para la dirección X, pero para la Planta Alta en la dirección Y, este valor es igual a 1,27, debido a la asimétrica ubicación de paredes.

El Modelo 05 posee resultados similares al Modelo 02, con la particularidad que se presenta una disminución en esta relación para todos los niveles en ambas direcciones, para el caso del anexo se observan también valores cercanos a la unidad.

La relación demanda capacidad es un parámetro asociado a la demanda de ductilidad de la estructura, donde el valor de ductilidad, como ya se ha dicho anteriormente, no puede exceder a  $R=2$ , para edificaciones de esta antigüedad.

### **VII.3 – RIESGO SÍSMICO**

Realizando un análisis general de la estructura y desde un marco conceptual basado en la amenaza a la que está expuesta y su vulnerabilidad se concluye que la edificación está sometida a un riesgo sísmico excesivo por lo cual debe ser reforzada. En los siguientes párrafos se presentan los parámetros evaluados para la realización del estudio de Riesgo Sísmico.

La mayoría de las edificaciones escolares con edades similares a las Tipo Antiguo II que fueron analizadas por investigaciones del IMME [05] [10] [16], presentan deficiencias notorias en su capacidad sismorresistente, lo que nos hace suponer que la edificación en estudio no escape de esta realidad. Es de hacer notar que la información recabada nos permite sospechar que la obra fue proyectada siguiendo la norma MOP de 1.955 o la Norma MOP de 1.947, en ambas normas, se permitía el uso de concretos con esfuerzos de rotura tan bajos como  $100 \text{ Kg/cm}^2$ , por lo que el valor de  $106 \text{ Kg/cm}^2$  tomado para este edificio no representaba una resistencia inusual para la época. Y en la Norma de 1,955 se permitían además columnas con una

dimensión de 20 cm, aún cuando la norma previa de 1,947 estipulaba una dimensión mínima de 25 cm. Tanto la Norma de 1,955 como la de 1,947 exigían un análisis para el diseño sísmico de los edificios [16].

Los estudios de demanda capacidad dan como resultado que la estructura está expuesta a una demanda superior a su capacidad, este cociente entre demanda capacidad varía de acuerdo al modelo estudiado, estando el más alto por el orden del 3,75, este valor ocurre en el modelo 01 que no considera la rigidez adicionada por las paredes, superando el valor de ductilidad máximo de 2. Sin embargo, los modelos con mampostería dan cocientes por el orden del 1,27-1,28 en el caso más desfavorable, lo cual nos indicaría que la mampostería favorece al comportamiento de la estructura, al dar un valor de ductilidad menor al máximo esperado de dos.

La fuerza cortante máxima probable, que hubiese actuado sobre el edificio si este hubiese respondido elásticamente se estimó mediante análisis dinámicos elásticos de la estructura sometida al sismo estipulado por la Norma COVENIN 1756.

La fuerza cortante elástica en la base excede de 3 a 4 veces la capacidad resistente de la estructura, generando una demanda de ductilidad del mismo orden, la cual no se puede desarrollar manteniendo la estabilidad porque esta estructura posee muy baja capacidad de disipar energía, que se corresponden con una ductilidad no mayor que 2.

De los análisis efectuados y la información presentada se puede decir que el alto Riesgo Sísmico a la que está expuesta la estructura es producto de las siguientes causales:

- La baja resistencia y rigidez de la estructura debido a la reducida sección de las columnas.

- La limitada capacidad de disipación de energía de la estructura causada principalmente por el escaso refuerzo de acero y la falta de confinamiento en los nodos sísmicos.

-La presencia de paredes adosadas a las columnas que pueden producir el efecto columna corta.

-La presencia de la edificación en la Zona Sísmica 05

Desde un punto de vista clasificatorio y bajo el marco de la norma vigente [08] tenemos que la estructura: a) satisface el Nivel de Diseño 1 en general, salvo por la posible ausencia de ligaduras en los nodos; no satisface el Nivel de Diseño 2 en cuanto al confinamiento en los extremos de los miembros y tampoco satisface el Nivel de Diseño 3.

## **VIII – ALTERNATIVAS Y RECOMENDACIONES PARA REDUCIR EL RIESGO SÍSMICO**

Se proponen una serie de alternativas y recomendaciones que por su factibilidad a nivel de tiempo, costos y su complejidad técnica se considera viable su aplicación.

### **VIII. 1 – SEPARACIÓN DE MÓDULOS**

Los resultados del Análisis Dinámico muestran que el Módulo Principal posee un mejor comportamiento cuando se encuentra desconectado del Módulo Anexo, porque es más regular y simétrico. Los Modos principales en los modelos desconectados poseen desplazamientos predominantemente traslacionales en la dirección de sus planos resistentes, la conexión con el Modulo Anexo brinda a la estructura un comportamiento torsional no deseado. La experiencia ha demostrado que aquellas edificaciones con bajas componentes rotacionales están mejor dotadas para tener comportamientos satisfactorios durante sismos. Además esta separación entre módulos ya existe en varias escuelas Tipo Antiguo II estudiadas, lo cual da un precedente a esta alternativa.

En la medida en que las estructuras sean sencillas, es decir, de un comportamiento fácil de entender, es más confiable la predicción de dicho comportamiento, de aquí que en lo posible debe evitarse la falta de simetría en planta ya que da lugar a vibraciones y concentraciones de esfuerzo con mayores incertidumbres en su cálculo analítico y que obligan a la realización de cálculos más precisos que escapan del alcance de un estudio global como el de este trabajo.

## **VIII. 2 – ELIMINACIÓN DE LOS ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO**

Los análisis realizados demuestran que el efecto local de los tanques en las columnas que los soportan es desfavorable, porque aumentan significativamente las sollicitaciones en esas columnas.

La eliminación de los estanques de almacenamiento de agua además reduce una masa inercial ubicada en el techo que no es despreciable, que disminuye las fuerzas sísmicas al cual es sometida la estructura como lo comprueba la reducción de los periodos en los modelos dinámicos estudiados.

## **VIII. 3 – PRESERVACIÓN Y REFUERZO DE LAS PAREDES DE MAMPOSTERÍA PRESENTES, ELIMINACIÓN DE LAS ABERTURAS DE VENTILACIÓN ENTRE EL PASILLO Y LAS AULAS.**

Según los resultados obtenidos del análisis de demanda capacidad, se observa que la rigidez adicionada por las paredes es fundamental para la estabilidad de la estructura, demostrándose el pobre desempeño de los pórticos de la escuela ante la acción de sismos, por ende se hace necesario idear alternativas para la preservación de la misma.

Pero, por otro lado, la experiencia ha demostrado, que la presencia de la tabiquería puede tener efectos desfavorables en la edificación respecto a la conducta esperada a partir del análisis de modelos que ignoren su presencia. En particular, puede ocasionar la falla prematura por corte de los elementos resistentes a sismos, dando lugar a la formación de mecanismos de colapsos. Uno de estos mecanismos de falla es el conocido como efecto columna corta que es un producto de la arquitectura de la Escuela. Este efecto obliga a verificar que las columnas sean capaces de transmitir una fuerza cortante máxima transmitida por la tabiquería adyacente.

Se podría considerar la sustitución de las paredes de mampostería por muros armados a toda la altura del vano, que brinden mayor rigidez y que además impidan el riesgo de posibles eliminaciones de paredes por remodelaciones futuras, asegurando la preservación de la tabiquería en la estructura.

Ante esta situación, es recomendable también, eliminar las paredes a media altura, como lo son las aberturas de ventilación en el pasillo y las ventanas existentes en los pórticos laterales de la escuela, transformándolas en paredes llenas que brinden mayor rigidez a los pórticos y no produzcan el indeseable efecto columna corta. Esto se ha implementado en investigaciones realizadas en otros países con “escuelas tipo”, en donde por cuestiones de ventilación e iluminación, se han llenado los vanos de manera alternada, lográndose resultados prometedores.

Se debe evitar que el desprendimiento de trozos o secciones completas de elementos arquitectónicos, durante la ocurrencia de sismos intensos, produzcan lesiones sobre las personas que se encuentren en las inmediaciones, como ya ha ocurrido durante terremotos pasados. Una de las soluciones es la eliminación de estos elementos, como lo son, en nuestro caso, los parasoles del segundo piso.

Como no se encontró ningún tipo de anclaje en las paredes ni en los parasoles, se recomienda anclarlos a la estructura mediante el uso de técnicas simples de construcción y materiales industriales asequibles y baratos. Según estudios realizados en Perú, la mampostería reforzada con mallas internas y externas de fibras de caña, mallas metálicas, geosintéticos o tuberías PVC, mostraron comportamiento excelente. Comprobándose entonces que estos sistemas de refuerzo pueden ser usados para la construcción o el refuerzo de edificaciones sísmicamente más seguros.

## **IX – CONCLUSIONES**

Se comprueba la existencia del Tipo de Edificación Estructural, nombrado “Tipo Antiguo II”, el cual posee carácter repetitivo a nivel nacional. En las siete escuelas estudiadas no se hallaron diferencias estructurales ni arquitectónicas mayores. Se comprobó que el modulo anexo al igual que los estanques de almacenamiento son parte del diseño original de la edificación escolar.

Se comprobó la presencia de vigas altas en ambas direcciones de la estructura con la excepción del vano existente entre los ejes B y C, donde solo existen vigas en la zona perimetral de la estructura, a diferencia del Tipo Antiguo I, que son escuelas carentes de vigas en una de sus dos direcciones ortogonales.

El efecto de la mampostería en la rigidez global de la estructura, y por consiguiente en el comportamiento dinámico de la misma, es de gran importancia. Al estudiar la Escuela sin la influencia de la tabiquería, que corresponde al Modelo N°1, y compararlo con el modelo de la Escuela con paredes, que son los Modelos N°2, 3 y 4, observamos una disminución del período de aproximadamente 0,75 segundos y su correspondiente reducción en las fuerzas sísmicas sobre la estructura. Se puede decir que la preservación y mejoras recomendadas en las paredes es primordial para la resistencia de la edificación a cargas laterales. El efecto de incluir las paredes es aumentar la resistencia y disminuir la demanda de ductilidad.

El Módulo Anexo afecta significativamente la forma de los modos de vibración. El modelo que está sometido a esta influencia posee una mayor componente torsional; esto se evidencia a través del cambio en las masas participativas rotacionales, las cuales aumentan en la mayoría de los modos, a diferencia de los modelos en donde la estructura es independiente al Anexo.

El efecto que causa en la estructura el escaso refuerzo transversal y la falta de confinamiento en columnas es importante, ya que éstas pueden aceptar poca deformación plástica en los extremos de los elementos.

El desplazamiento máximo en el tope observado, considerando un factor de reducción de respuesta  $R=2$ , fue de 14,27 centímetros en dirección X para el Modelo 01 y de 5,59 centímetros en la dirección Y para los modelos 2, 3 y 4. Las derivas máximas, en el modelo sin paredes, se encuentran tres veces por encima de lo admitido por la normativa vigente. En los modelos con paredes, las derivas cumplen holgadamente las máximas permitidas, demostrando una vez más el efecto de las paredes en el comportamiento global de la estructura.

La masa de los estanques y sobretodo la masa de los parasoles, comparadas a la masa total de los niveles, no influyen significativamente sobre las propiedades dinámicas de la edificación. En el modelo en que se elimina los estanques, el período del primer modo apenas disminuye un 4,5%, en el segundo disminuye 6,5% y en el resto de los modos la disminución es menor al 1%. En el caso de los parasoles, al ser eliminados de la estructura, la disminución en los períodos nunca sobrepasa el 1%. Sin embargo, se recomienda eliminar las cargas adicionales por la presencia de los estanques al prever su influencia local en las solicitaciones sobre columnas. Además se recomienda eliminar, o en su defecto, conectar los parasoles a la edificación para evitar su desprendimiento, salvaguardando la integridad física de las personas que se encuentren cercanas a estos elementos arquitectónicos durante un sismo.

El aporte local en resistencia y rigidez de la mampostería del Módulo Anexo es considerable, como se observó al calcular el Módulo de Elasticidad de la tabiquería de ladrillos macizos. Resulta importante el fomentar su preservación y mejora, en búsqueda de beneficiar el comportamiento global de la estructura.

Se determinó en el estudio de demanda y capacidad, del modelo sin mampostería, la insuficiencia a soportar las solicitaciones a corte en el primer nivel, obteniéndose demandas iguales a 3,75 veces la capacidad. Esta demanda de ductilidad de 3,75, es

bastante mayor que la ductilidad admisible esperada en esta estructura, la cual no debería superar el valor de 2.

Las resistencias o calidad de los materiales presentes en la edificación no es un factor decisivo en la capacidad de la misma a solicitaciones laterales o sísmicas, siendo en realidad las características geométricas y la configuración de los elementos estructurales el factor preponderante en el comportamiento dinámico sismorresistente de la estructura.

Los estudios realizados a la estructura demuestran que existe un alto riesgo sísmico global, por lo cual se recomiendan investigaciones más específicas, orientadas a desarrollar alternativas de adecuación estructural, que pudiesen incluir las paredes como elementos sismorresistentes. Se recomienda la realización de análisis de la estructura en el rango no elástico o campo no lineal, para así predecir los mecanismos de falla más probables y desarrollar métodos de adecuación estructural más precisos.

Con esta investigación se da un pequeño aporte a los trabajos realizados por FEDE y el IMME en búsqueda edificaciones escolares más seguras.

**BIBLIOGRAFÍA**

01. ACQ (2003) *Terremotos ocurridos en la República Dominicana el 22 de septiembre de 2003*. Disponible: <http://www.acqweather.com/TERREMOTO220903.htm>. [Consulta: 2005, Agosto, 15]
02. Alonso J. L. *Adecuación Estructural de Edificaciones Sísmicamente Vulnerables. Ejemplos Reales*. Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2004 (JIFI2004).
03. Alonso J. L. y Bermúdez, M. *El Terremoto de Cariaco*. Revista CIV 370, 1998, 17-44.
04. Cañas D. (2001) *El Salvador: Cronología de una tierra danzarina*. El Diario de Hoy. Disponible: <http://www.elsalvador.com/noticias/terremoto.htm> [Consulta: 2005, Agosto, 15]
05. Castilla E. and Marinilli A. *Structural Behavior of Raimundo Martinez Centeno Highschool on 07/09/1.997 Cariaco Earthquake*. XII WCEE, New Zealand, 2000.
06. COVENIN. *Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma COVENIN – MINDUR 2002-88*, Caracas 1.988.
07. COVENIN. *Edificaciones Sismorresistentes. Norma 1756:2001*, MCT-MINDUR-FUNVISIS, Caracas, 2001.
08. COVENIN. *Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma COVENIN–MINDUR 1753-87*, Caracas 1.987.

09. Del Re G, (2005) *Evaluación de los Métodos de Análisis Estático No Lineal para verificar el desempeño sísmico en estructuras aporricadas de concreto armado*. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. UCV. Caracas 2004.
10. Espinoza, L. *Respuesta Dinámica del Liceo Raimundo Martínez Centeno Durante el Terremoto de Cariaco*. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería, UCV. Caracas 2005.
11. Fundación Ica. (1.999) *Edificaciones de Mampostería para Vivienda*. Ciudad de México. México.
12. Gobierno Del Distrito Federal. *Normas Técnicas Complementarias para diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. Comité de normas. México.
13. IMME. *Adecuación Estructural E. B. Cristóbal Rojas*. Informe No 81-04, de 09/04. IMME Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, 2004.
14. Klingner R., Pubiano N., Bashandy T., Sweeney S. *Evaluation and Analytical Verification of Shaking Table Data from infilled frames*. 11 WCEE: Eleventh World Conference on Earthquake Engineering. Paper N° 176, Acapulco 1.997.
15. Khursheed M. (2005) *Muertos terremoto Asia alcanzan 19.400 en Pakistán* Disponible: <http://espanol.news.yahoo.com/051009/2/1452i.html> [Consulta: 2005, octubre, 13]
16. López OA, Hernández JJ, Del RE G, Puig J. *Reducción del Riesgo Sísmico en Escuelas de Venezuela*. Boletín Técnico IMME Vol.42, N°3.
17. Masood S. *El terremoto de Asia mata a 3.000 personas*. El País. Disponible: [http://www.elpais.es/solotexto/articulo.html?xref=20051009elpepiint\\_2&type=Tes&ed=diario](http://www.elpais.es/solotexto/articulo.html?xref=20051009elpepiint_2&type=Tes&ed=diario) [Consulta: 2005, octubre, 09]
18. Muñoz A, Blondet M, Quintana U., León H. *Comportamiento Sísmico de Colegios Peruanos Modernos*. Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2004 (JIFI2004).

19. Organización de Rescate Humboldt (2001) *Terremoto en "El Salvador"*  
Disponible: <http://www.rescate.com/salvador.html> [Consulta: 2005, octubre, 15]
20. Ortega J. (1998) *Cariaco*. Revista CIV N° 370. 1998. 13-16.
21. Paulay T., Priestley M. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Jhon Wiley and Sons, New York, 1.992.
22. PrensaLibre.com. *Terremoto sacude sur de Asia*. Disponible:  
<http://www.prensalibre.com/pl/2005/octubre/09/125142.html>. [Consulta: 2005, Agosto, 11]
23. Rangél Ángel. *Crónicas de Desastres - Terremoto de Cariaco, Venezuela Organización Panamericana de la Salud. Quito, 1999.*
24. Reuters (2004). *Segundo sismo fuerte en dos días hace temblar este de Indonesia*. Disponible: <http://www.terra.com.co/actualidad/internacional/07-02-2004/nota138479.html>. [Consulta: 2005, Agosto, 15]
25. Sáez A.(1.989). *Estructuras III*. E.T.S. Arquitectura de Sevilla.
26. Terra/Ap (2003) *257 muertos por terremoto en China*. Disponible:  
<http://www.terra.com.gt/noticias/articulo/html/act135365.htm>. [Consulta: 2005, Agosto, 15]
27. Torres J. (2003) *La reconstrucción genera polémica en Puerto Plata*. El Caribe.  
Disponible: <http://www.elcaribecdn.com>. [Consulta: 2005, Agosto, 15]
28. Unicef (2004). *Irán, País en Crisis. Continúan las actividades de socorro por el Terremoto de Bam*. Disponible:  
[http://www.unicef.org/spanish/emerg/iran/18373\\_20753.html](http://www.unicef.org/spanish/emerg/iran/18373_20753.html). [Consulta: 2005, Agosto, 15]

**ANEXO A**

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.01:** Se observa el nombre de la institución así como la Fachada Norte, específicamente el segundo nivel de la estructura.



**Imagen A.02:** Fachada Este. Pórtico "12" en primer plano. Se observa la entrada principal al edificio.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.03:** Fachada Oeste. Pórtico “01” en primer plano. En esta imagen se observa la losa de techo con su respectiva inclinación.

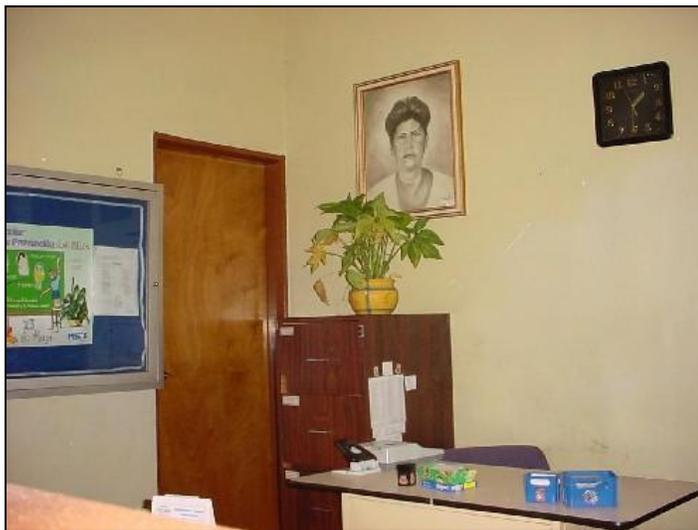


**Imagen A.04:** Fachada Este. Entrada Principal y un conjunto de edificaciones construidas posterior a la inauguración de la escuela.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.05:** Fachada de la EBMV. Donde se aprecia claramente la disposición de las losas de techo: la horizontal en el pasillo central y las inclinadas a los lados.



**Imagen A.06:** Oficinas administrativas en Planta Baja, específicamente secretaria y puerta que da acceso a la dirección.

## Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.07:** Pasillo central de la Planta Baja visto desde la Entrada Principal. Apréciase el techo entre los pórticos C y D libre de vigas altas.



**Imagen A.08:** Pasillo Central de la Planta Baja, visto desde la Puerta Secundaria del edificio, igualmente se observa la no presencia de vigas altas en el tramo.



**Imagen A.09:** Aula de clase de Planta Baja. Obsérvese las ventanas, las cuales van de cara de columna a cara de columna.



**Imagen A.10:** Baño de Damas en Planta Baja. Obsérvese la ventilación del baño y las paredes divisorias entre sanitarios.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.11:** Pasillo que une el edificio anexo con la estructura principal habilitado como aula de clase.

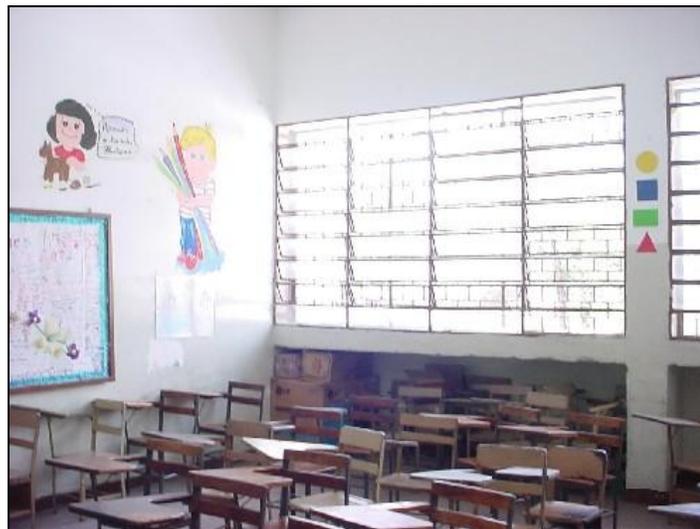


**Imagen A.12:** Escalera vista desde el descanso. Se aprecia la viga longitudinal y el ojo de la escalera.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.13:** Escalera vista en Planta Baja, detalle de una pared comunicada con la losa inclinada de la escalera.



**Imagen A.14:** Aula de clases de Planta Alta. Las ventanas poseen iguales dimensiones a las vistas en Planta Baja.



**Imagen A.15:** Pasillo central de la Planta Alta. Obsérvese el techo horizontal y liso por la presencia de vigas planas. La losa de techo en los salones es inclinada.



**Imagen A.16:** Se aprecia la losa de techo, con sus vigas transversales correspondientes, la inclinación de la losa es visible en esta imagen.



**Imagen A.17:** Baño de Caballeros en la Planta Alta. Nótese la disposición de las piezas sanitarias y las paredes divisorias de los cubículos de W.C.



**Imagen A.18:** Fachada Sur. Se observan las ventanas, parasoles y vigas transversales. Asimismo se observa una edificación adicional cercana a la estructura principal.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.19:** Fachada Norte, se observan vigas de transversales salientes. También se pueden apreciar los parasoles en el nivel superior.



**Imagen A.20:** Se observa una “columna falsa” de la Planta Alta expuesta a la acción del agua proveniente de filtraciones.



**Imagen A.21:** Columna falsa ubicada dentro de un baño. Por ella descenden las tuberías de aguas servidas provenientes del nivel superior.



**Imagen A.22:** Losa de techo ubicada entre los ejes 1-2 y C-D. No posee la inclinación presente en los otros vanos del mismo tramo.



**Imagen A.23:** Vista completa de los estanques de almacenamiento de agua. Obsérvese sus dimensiones.



**Imagen A.24:** Vista desde el oeste. Obsérvense los estanques, las losas de techo inclinadas y el tramo de losa de techo horizontal ubicado sobre el pasillo central.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.25:** Vista del comedor en el anexo de la estructura. Obsérvense las luces de los vanos y la no presencia de vigas altas en el techo.



**Imagen A.26:** Vista interna de uno de los depósitos en la cocina del edificio anexo.



**Imagen A.27:** Techo del anexo, no se observan vigas altas en ninguna de las dos direcciones.



**Imagen A.28:** Vista interna del edificio anexo, se observa la pared que separa la cocina del comedor.



**Imagen A.29:** Pared del pasillo que une al edificio anexo con la estructura principal, este pasillo fue convertido en aula de clase.



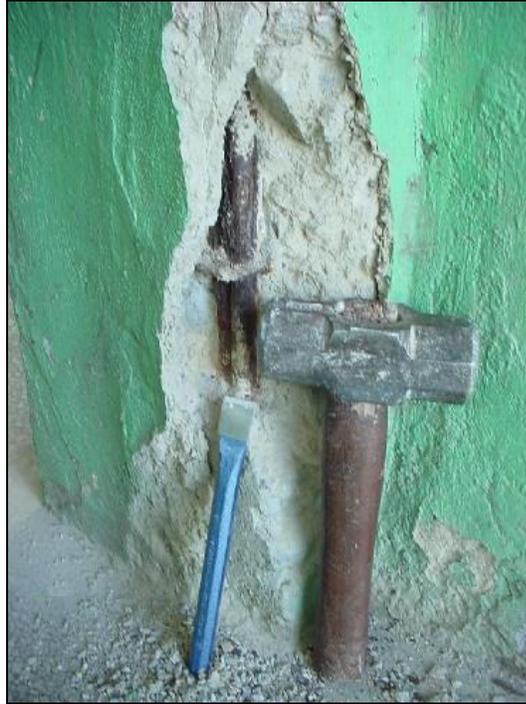
**Imagen A.30:** Personal Técnico del IMME durante la realización del levantamiento del Modulo Anexo de la EBAP.



**Imagen A.31:** Columnas del edificio anexo. Obsérvese su posición respecto a las paredes.



**Imagen A.32:** Vista interior de la cocina, ventana de cara a cara de columnas



**Imagen A.33:** Acero longitudinal y transversal presente en columna de la edificación.



**Imagen A.34:** Bloque de arcilla en tabiquería de la edificación.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.35:** Bloque de arcilla en tabiquería de la edificación.



**Imagen A.36:** Construcciones adicionales al proyecto original.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

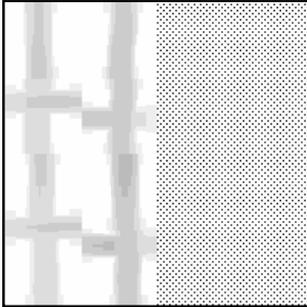
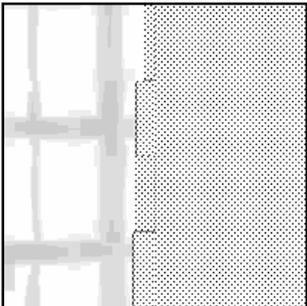
IMAGEN 0027	
	<p>Ubicación</p> <p>Columna A-1, P.B, Altura de medición de 1.10-1.70m, detección este-oeste.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>240</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>170</p>
	<p>Profundidad [mm]</p> <p>L=54 - T=43</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>1/2" o 5/8"</p>
	<p>Comentarios</p> <p>Imagen no muy nítida. El ferrosacan no reconoce el diámetro longitudinal. Barras longitudinales poseen un diámetro ligeramente superior que las transversales.</p>

IMAGEN 0028	
	<p>Ubicación</p> <p>Columna B-1, P.B. Altura de medición de 1.10-1.70m, detección este-oeste.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>250</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>160</p>
	<p>Profundidad [mm]</p> <p>L=64 - T=53</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>1/2" o 5/8"</p>
	<p>Comentarios</p> <p>Se observa claramente que las barras longitudinales poseen un diámetro ligeramente superior que las transversales.</p>

**Imagen A.37 y A.38:** Imágenes de Detector de Metales N°0027 y N°00228

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

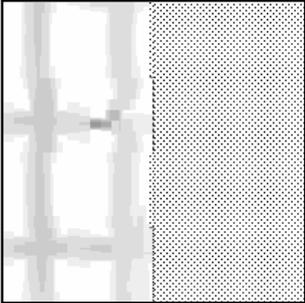
IMAGEN 0029	
	<p>Ubicación</p> <p>Columna C-1, P.B. Altura de medición entre 1.10-1.70m, detección este-oeste.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>250</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>160</p>
	<p>Profundidad</p> <p>L=73 - T=53</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>5/8"</p>
	<p>Comentarios</p> <p>Se observa claramente que las barras longitudinales poseen un diámetro considerablemente superior que las transversales.</p>

IMAGEN 0036	
	<p>Ubicación</p> <p>Columna A-3, P.B. Altura media de medición de 0.7m, detección sur-norte.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>250</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>160</p>
	<p>Profundidad</p> <p>L=? - T=55</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>5/8"</p>
	<p>Comentarios</p> <p>Se observa claramente que las barras longitudinales poseen un diámetro considerablemente superior que las transversales.</p>

Imagen A.39 y A.40: Imágenes de Detector de Metales N°0029 y N°00236

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

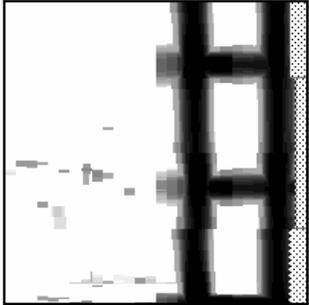
IMAGEN 0054	
 	<p>Ubicación</p> <p>Columna C-12, P.B. Altura media de medición 1.7 m, detección este-oeste.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>250</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>160</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>L=67 - T=55</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>1/2" o 5/8"</p> <p>Comentarios</p>

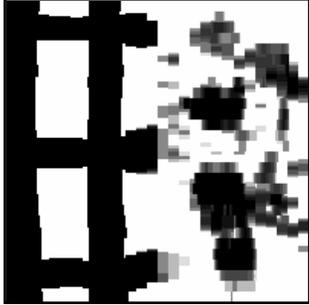
IMAGEN 0056	
 	<p>Ubicación</p> <p>Columna A-1, P.A. Altura media de medición 1.7 m, detección oeste-este.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>240</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>180</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>L=51 - T=45</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>1/2" o 5/8"</p> <p>Comentarios</p>

Imagen A.41 y A42: Imágenes de Detector de Metales N°0054 y N°0056

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

IMAGEN 0064	
	Ubicación Columna B-7, P.A. Detección sur-norte.
	Separación acero transversal [mm] 250
	Separación acero longitudinal [mm] 180
	Profundidad [mm] L=64 - T=57
	Diámetro cabillas transversales 3/8"
	Diámetro cabillas longitudinales 5/8"
	Comentarios 

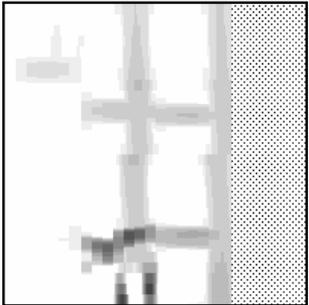
IMAGEN 0068	
	Ubicación Columna A-3, P.A. Detección sur-norte.
	Separación acero transversal [mm] 240
	Separación acero longitudinal [mm] 170
	Profundidad [mm] L=52 - T=44
	Diámetro cabillas transversales 3/8"
	Diámetro cabillas longitudinales 5/8" o 1/2"
	Comentarios 

Imagen A.43 y A.44: Imágenes de Detector de Metales N°0064 y N°0068

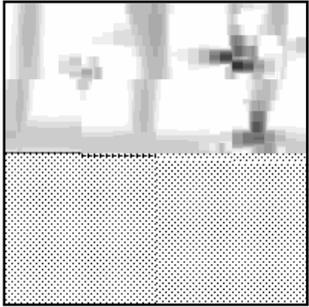
IMAGEN 0031	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (C-D)1, P.B. Medido a 4 metros del Pórtico C, sentido oeste-este.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>230</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>170</p>
	<p>Profundidad [mm]</p> <p>L=? - T=46</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>Mayor a 3/8", probablemente 1/2"</p>
	<p>Comentarios</p>

IMAGEN 0038	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (A-B)3, P.B. Medida junto a la cara de columna A, sentido oeste-este.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>- o -</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>- o -</p>
	<p>Profundidad [mm]</p> <p>- o -</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>Mayor a 3/8", probablemente 1/2"</p>
	<p>Comentarios</p> <p>Imagen muy poco nítida. Proporciona poca información probablemente por inadecuada manipulación del ferrosacan al momento de realizar la medición.</p>

Imagen A.45 y A.46: Imágenes de Detector de Metales N°0031 y N°0038

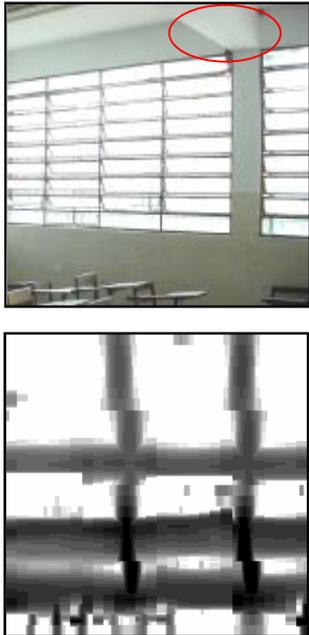
IMAGEN 0039	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (A-B)4, P.B. Medición en tramo central, no se indica sitio exacto, sentido de detección de abajo hacia arriba.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>240</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>180</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>L= T= 51</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>- o -</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>- o -</p> <p>Comentarios</p> <p>Se observa lo que suponemos es un solape de cabillas.</p>

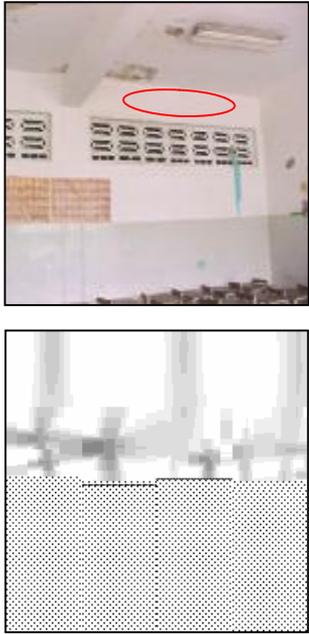
IMAGEN 0061	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (3-4)B, P.B. no se indica sitio exacto de medición, sentido de detección, sur-norte.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>260</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>- o -</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>L=70 T=62</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>- o -</p> <p>Comentarios</p>

Imagen A.47 y A.48: Imágenes de Detector de Metales N°0039 y N°0061

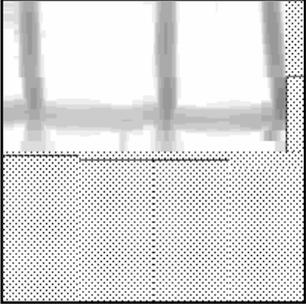
IMAGEN 0062	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (7-8)B, P.B. No se indica sitio exacto de medición, sentido de detección sur-norte.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>260</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>-0-</p>
	<p>Profundidad [mm]</p> <p>L=52 T=46</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>-0-</p>
	<p>Comentarios</p>

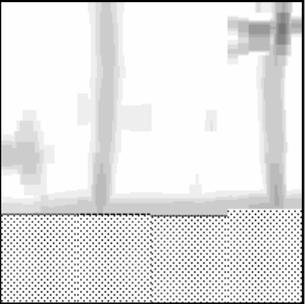
IMAGEN 0066	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (7-8)B, P.A. No se indica sitio exacto de medición, tramo central, sentido de detección norte-sur.</p>
	<p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>320</p>
	<p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>-0-</p>
	<p>Profundidad [mm]</p> <p>L=? T=49</p>
	<p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p>
	<p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>-0-</p>
	<p>Comentarios</p>

Imagen A.49 y A50: Imágenes de Detector de Metales N°0062 y N°0066

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

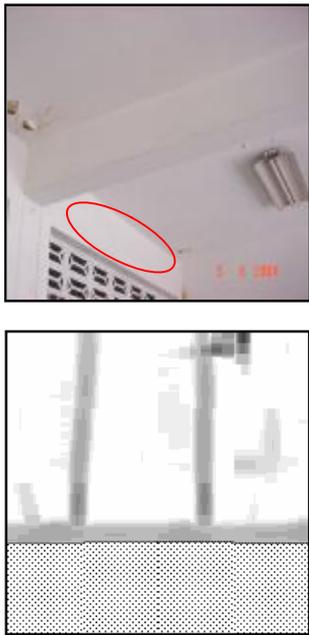
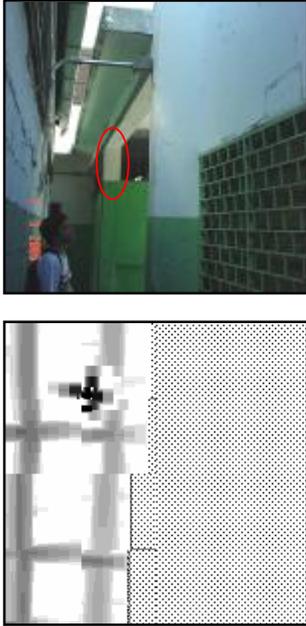
IMAGEN 0073	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (3-4)B, P.A. No se indica sitio exacto de medición, sentido de detección norte-sur.</p> <p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>260</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>- 0 -</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>L=? T=31</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>- 0 -</p> <p>Comentarios</p>
	<p>Comentarios</p>
IMAGEN 0157	
	<p>Ubicación</p> <p>Viga (B-C)8, P.A. Medición en tercio central. Sentido de detección de arriba hacia abajo.</p> <p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>- 0 -</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>- 0 -</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>- 0 -</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>- 0 -</p> <p>Comentarios</p>
	<p>Comentarios</p>

Imagen A.51 y A.52: Imágenes de Detector de Metales N°0073 y N°0157

IMAGEN 0153	
	<p>Ubicación</p> <p>Nodo ubicado en D-10, P.A. Sentido de detección de norte-sur.</p> <p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>Columna: ?      Viga: ?</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>Columna: 170      Viga: 280</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>- 0 -</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>5/8"</p> <p>Comentarios</p> <p>No se detallan con exactitud las separaciones de los aceros transversales, mas si de los aceros longitudinales.</p>
IMAGEN 0166	
	<p>Ubicación</p> <p>Columna ubicada en E-4. Entre el edificio principal y el anexo, sentido de detección sur-norte</p> <p>Separación acero transversal [mm]</p> <p>240</p> <p>Separación acero longitudinal [mm]</p> <p>180</p> <p>Profundidad [mm]</p> <p>- 0 -</p> <p>Diámetro cabillas transversales</p> <p>3/8"</p> <p>Diámetro cabillas longitudinales</p> <p>5/8"</p> <p>Comentarios</p> <p>Medición de detector de acero verificada en segunda visita a la escuela, ya que el acero de refuerzo estaba expuesto en dicha columna.</p>

**Imagen A.53 y A.54:** Imágenes de Detector de Metales N°0153 y N°0166

IMAGEN 0150	
	Ubicación
	Viga (9-10)C, P.B. Sentido de detección sur-norte.
	Separación acero transversal [mm]
	290
	Separación acero longitudinal [mm]
	- o -
	Profundidad [mm]
	- o -
	Diámetro cabillas transversales
	3/8"
	Diámetro cabillas longitudinales
	5/8"
	Comentarios
	Se observa la diferencia de diámetros entre las cabillas transversales (verticales) y las longitudinales (horizontales).

**Imagen A55:** Imágenes de Detector de Metales N°0150

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.56:** Escuela Bolivariana Miguel Villavicencio, ubicada en la Avenida José Antonio Lamas de Artigas, Municipio Libertador, Caracas.



**Imagen A.57:** Ejecución del estudio del armado de la EBMV con el detector de aceros.



**Imagen A.58:** Ejecución de la medición geométrica de la EBMV, en la fachada del edificio.



**Imagen A.59:** Evidencia de “columnas falsas” en la EBMV, en el primer piso de la edificación.

## Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II



**Imagen A.60:** Foto de la azotea de la EBMV, en la cual los dos estanques elevados de agua fueron eliminados durante una remodelación a la estructura.



**Imagen A.61:** Escuela Bolivariana Francisco Espejo (EBFE). En esta foto de una de las carteleras de la escuela, se aprecia el año en el que fue fundada la escuela.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.62:** Foto de la entrada de EBFE.



**Imagen A.63:** Foto de la losa de entrepiso de la EBFE.



**Imagen A.64:** Foto del techo de la EBFE. Aquí pueden apreciarse los dos estanques elevados de agua.



**Imagen A.65:** En esta fotografía puede apreciarse la existencia de la junta estructural entre el Módulo Anexo y el Módulo Principal, la cual separa las estructuras de ambas edificaciones.



**Imagen A.66:** Otra vista de la junta estructural entre el Módulo Anexo y el Módulo Principal de la EBFE.



**Imagen A.67:** Estructura metálica de perfiles rectangulares (tipo Conduven) y láminas de Zinc que funciona como cubierta para el nivel de techo.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.68:** Escuela Bolivariana Dr. Luis Ortega, la cual esta ubicada en El Tirano, Municipio Antolín del Campo, Estado Nueva Esparta.



**Imagen A.69:** En esta fotografía se muestra la similitud existente en la disposición de espacios del Módulo Principal, tanto en Planta Baja como en Planta Alta con la EBAP; además del pasillo que comunica con el Módulo anexo.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.70:** Escuela Bolivariana Nueva Esparta, ubicada en el Sector Chiguará, Municipio Sucre, Estado Mérida.



**Imagen A.71:** Realización del recalce de las fundaciones de la EBNE, según fotografías del informe suministrado por FEDE.



**Imagen A.72:** Construcción de la escalera de emergencia en la EBNE.

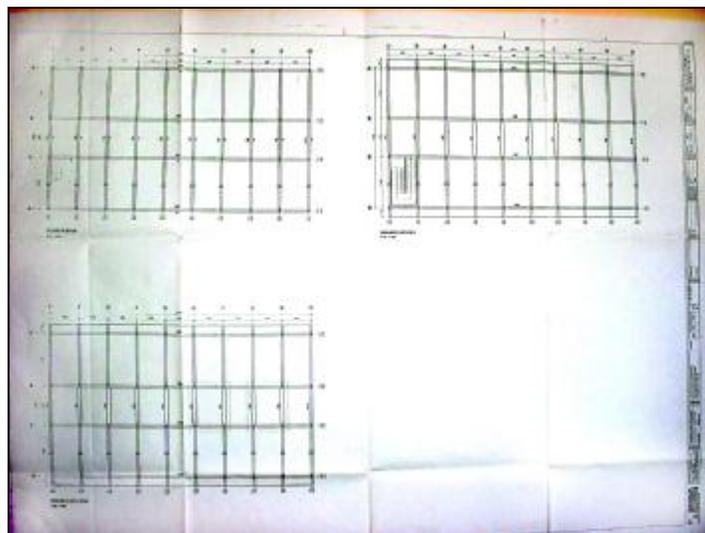


**Imagen A.73:** Instalación de muros armados y reforzamiento de la estructura tanto del Módulo Principal como del Módulo Anexo.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

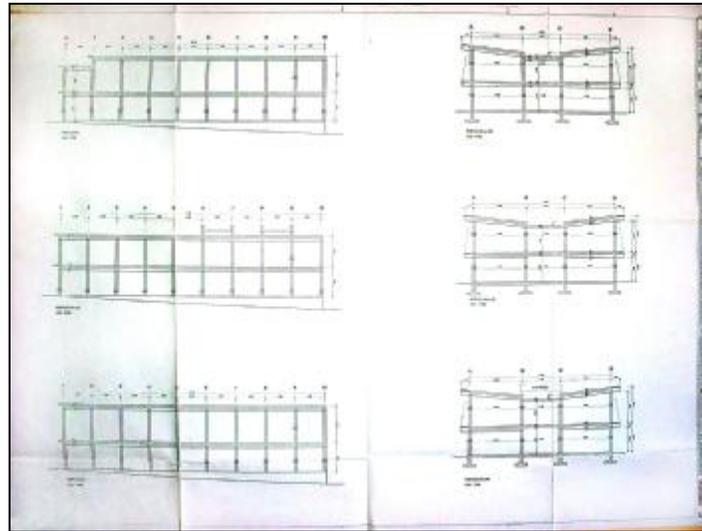


**Imagen A.74:** Fotografía de la EBNE luego de los trabajos de rehabilitación y mantenimiento realizados por FEDE.

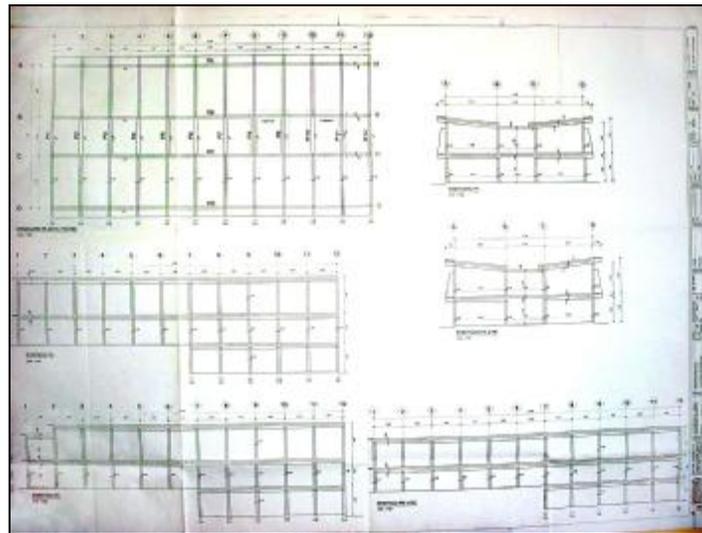


**Imagen A.75.** Planos de la Escuela Bolivariana Samuel Darío Maldonado, producto de un levantamiento realizado por FEDE

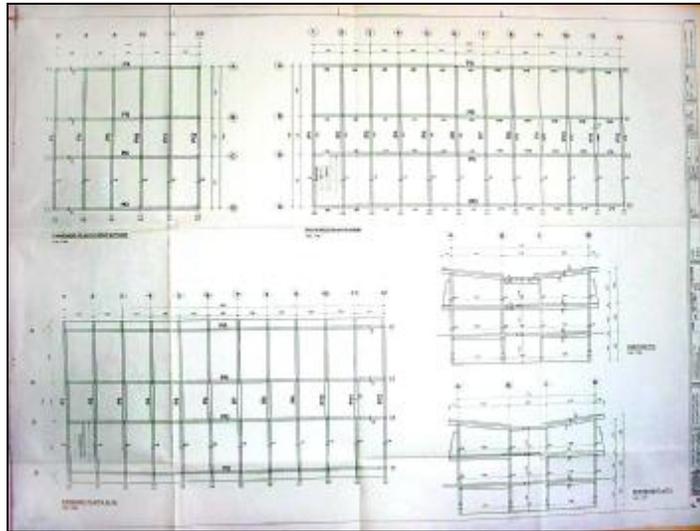
Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



**Imagen A.76:** Planos de la Escuela Bolivariana Padre Miguel Lorenzo, producto de un levantamiento realizado por FEDE.



**Imagen A.77:** Planos que muestran la existencia de un nivel sótano en la EBPML.



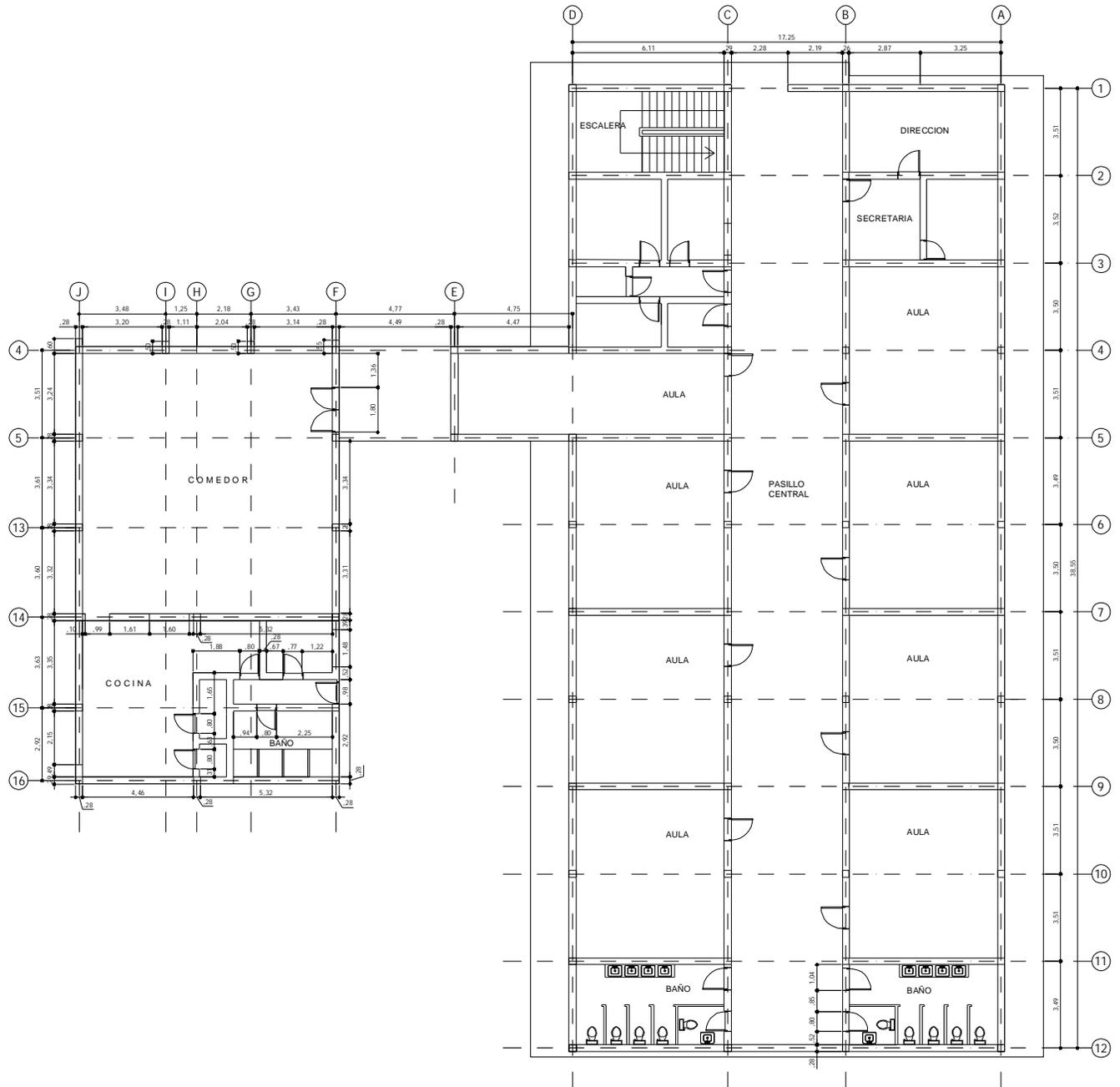
**Imagen A.78:** En este plano puede apreciarse la aparente existencia de “vigas planas” en el sector del pasillo.

<b>Resumen General FEDE</b>	
<b>Entidad</b>	<b>Nº de Escuelas</b>
Amazonas	0
Anzoategui	14
Apure	2
Aragua	7
Bolívar	6
Cojedes	2
Falcón	8
Trujillo	15
Yaracuy	6
<b>Total....</b>	<b>60</b>

**Tabla A.1:** Tabla con el número de Escuelas Tipo Antigo II en el País.

**ANEXO B**

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



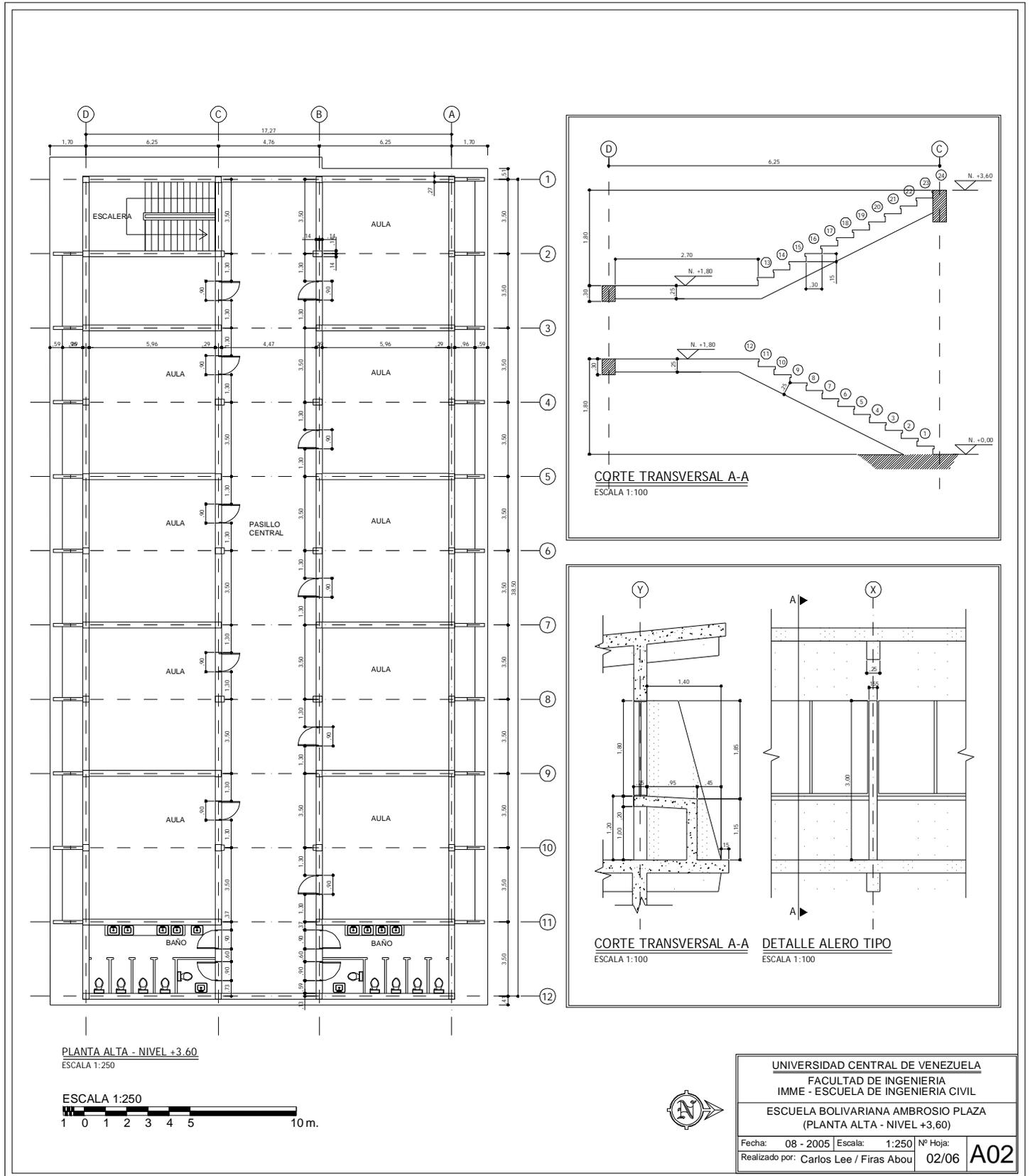
PLANTA BAJA- NIVEL +0.00  
 ESCALA 1:250

ESCALA 1:250

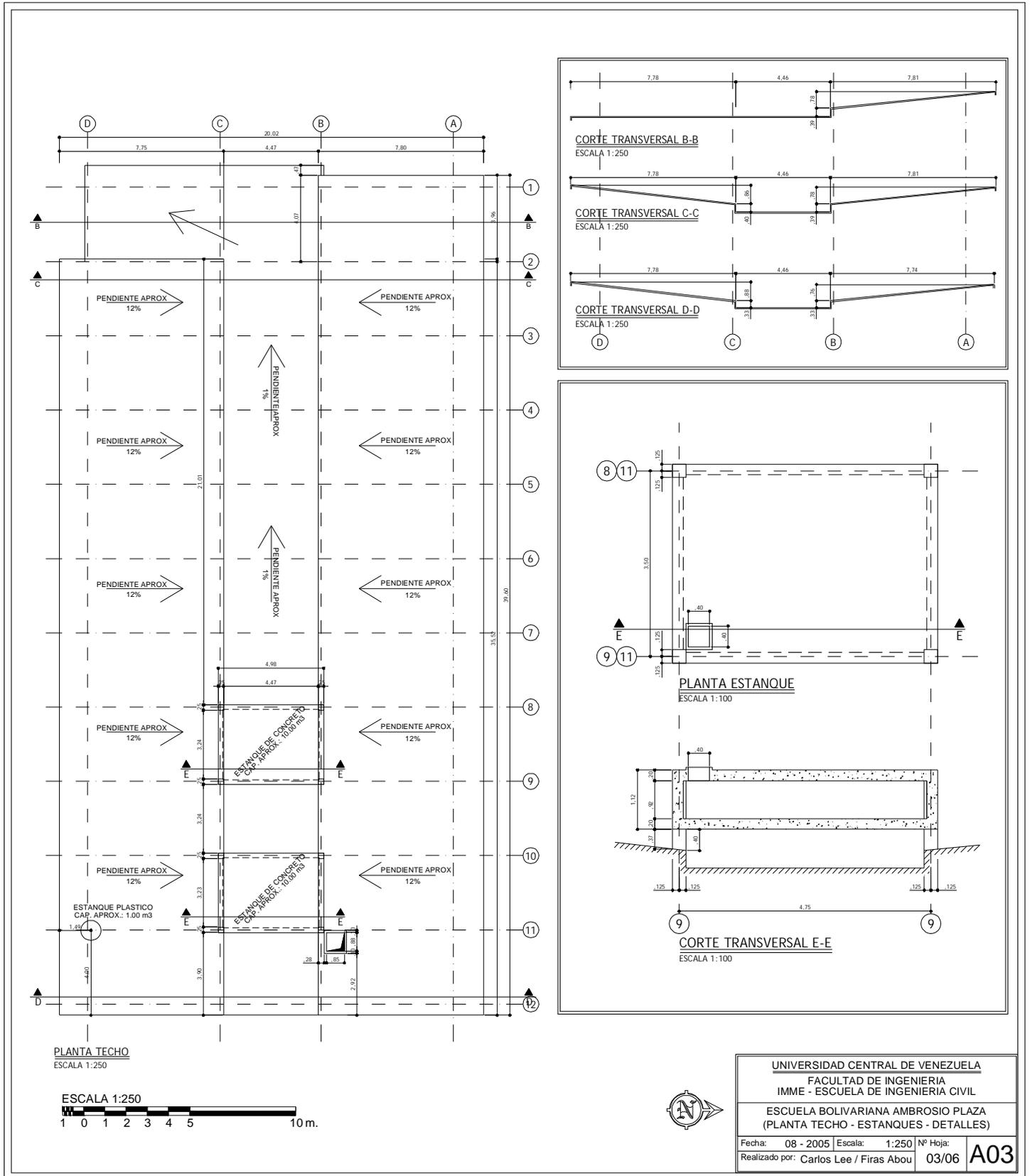


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA		
(PLANTA BAJA - NIVEL +0.00)		
Fecha: 08 - 2005	Escala: 1:250	Nº Hoja:
Realizado por: Carlos Lee / Firas Abou	01/06	<b>A01</b>

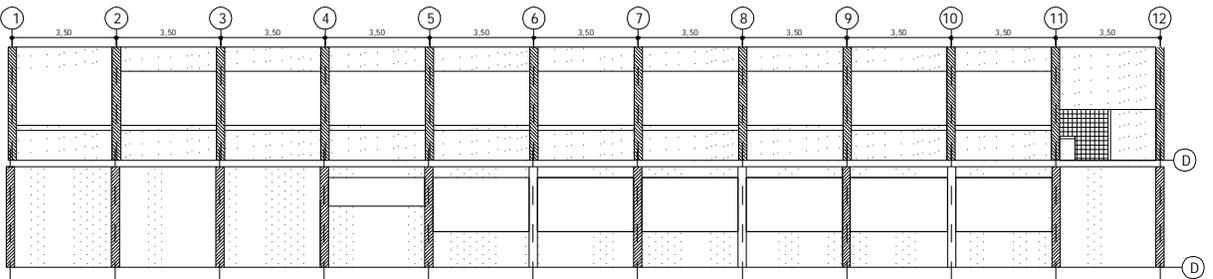
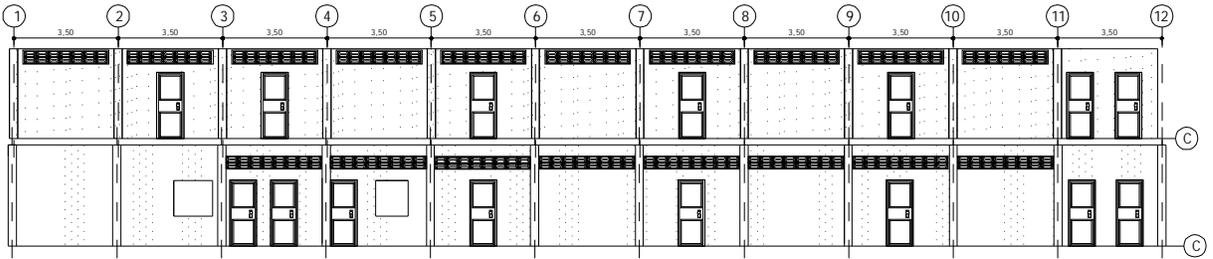
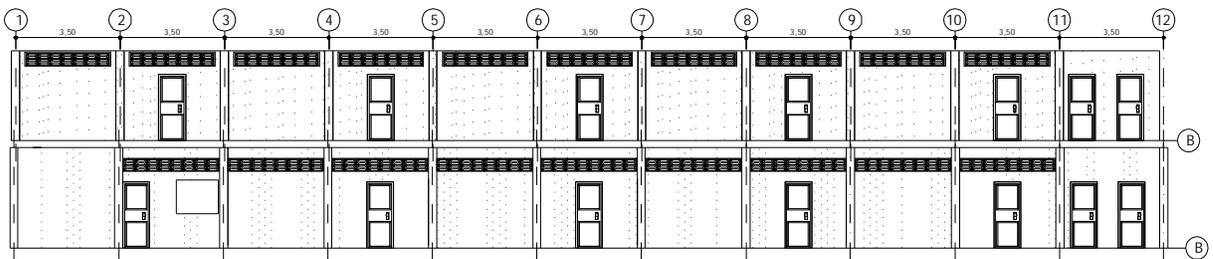
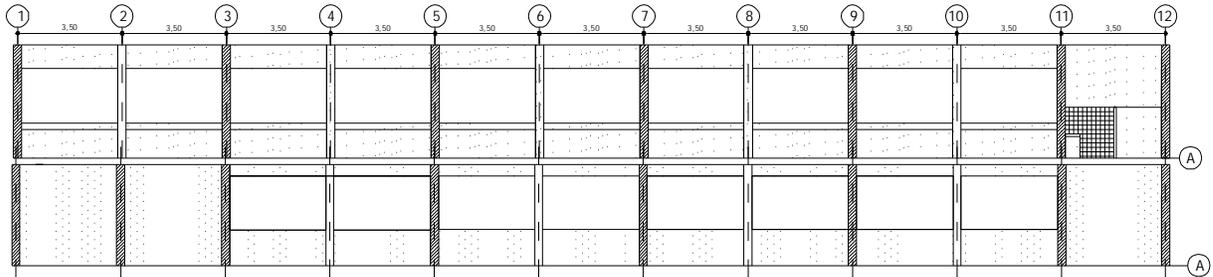
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

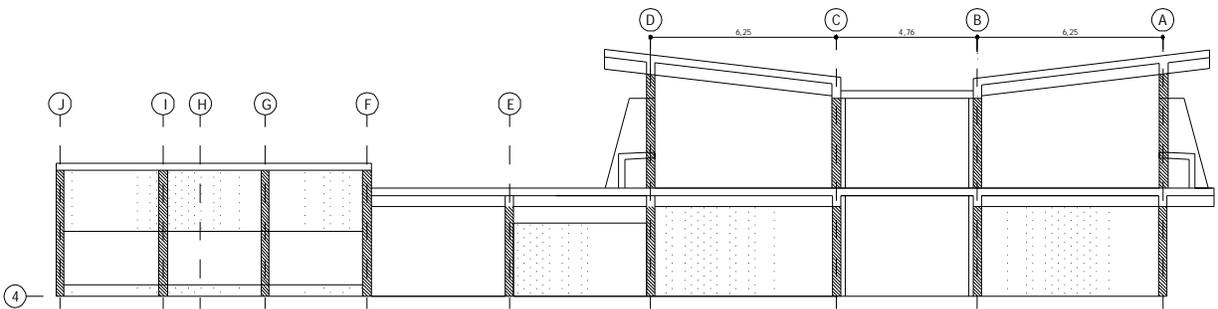
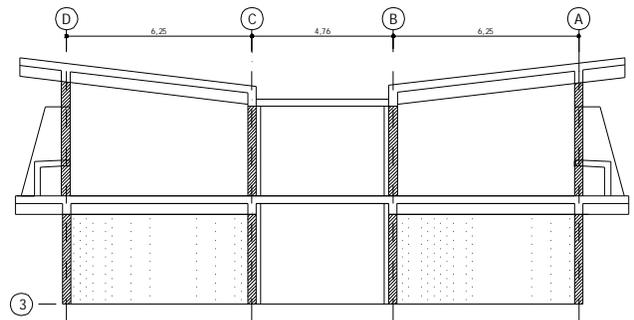
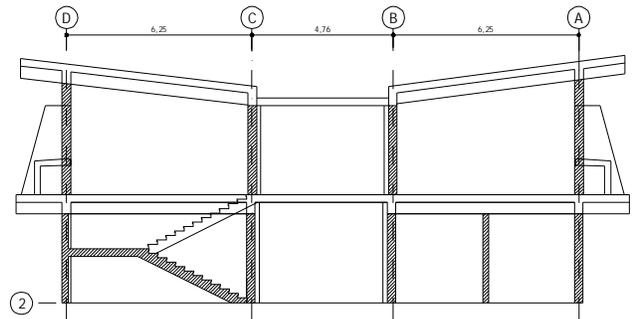
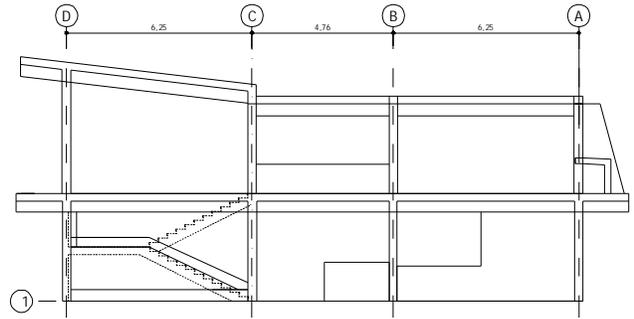


# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



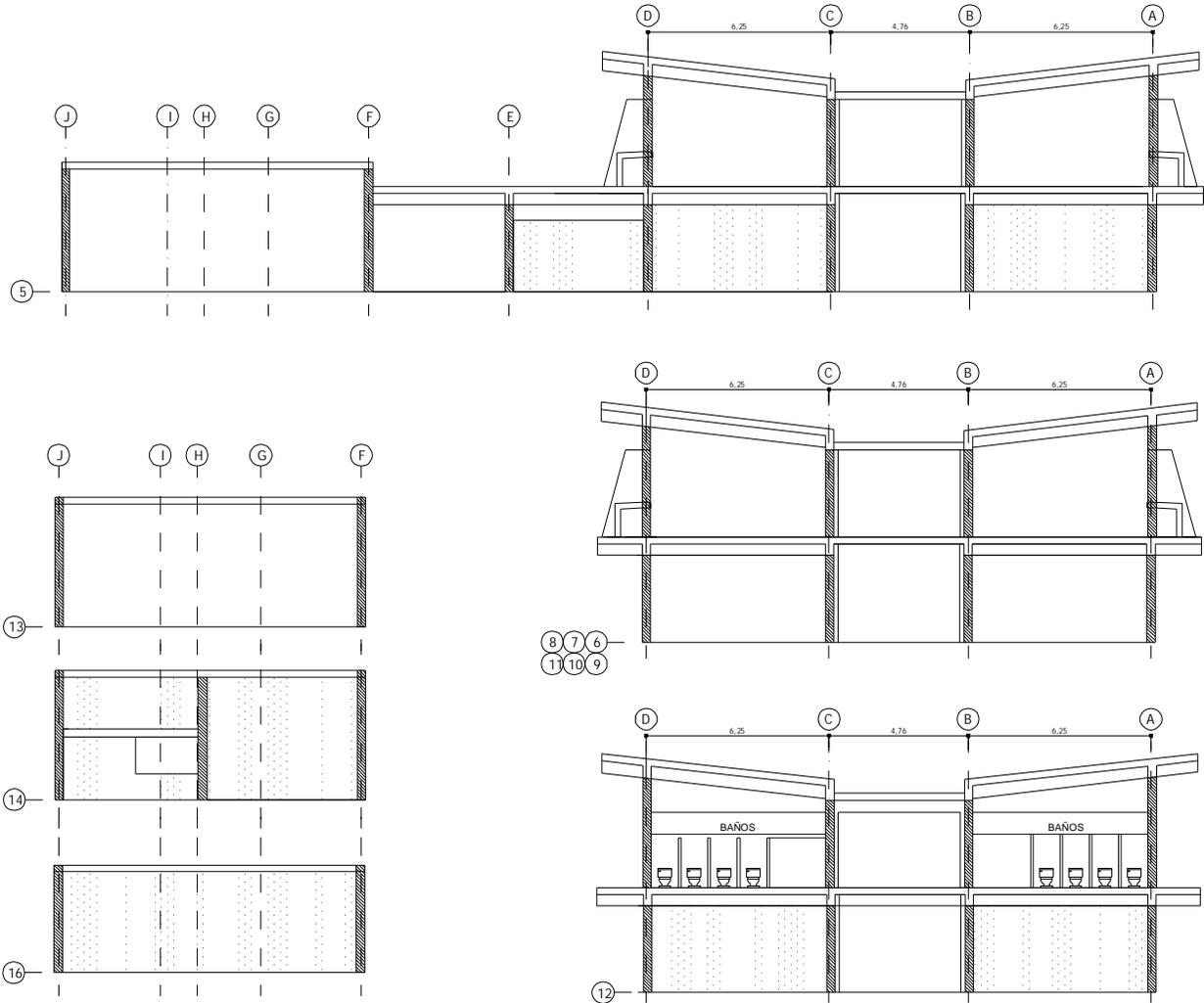
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA			
(FACHADAS Y CORTES LONGITUDINALES)			
Fecha:	08 - 2005	Escala:	1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja:	04/06
			<b>A04</b>

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA			
(FACHADAS Y CORTES TRANSVERSALES)			
Fecha:	08 - 2005	Escala:	1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja:	05/06
			<b>A05</b>

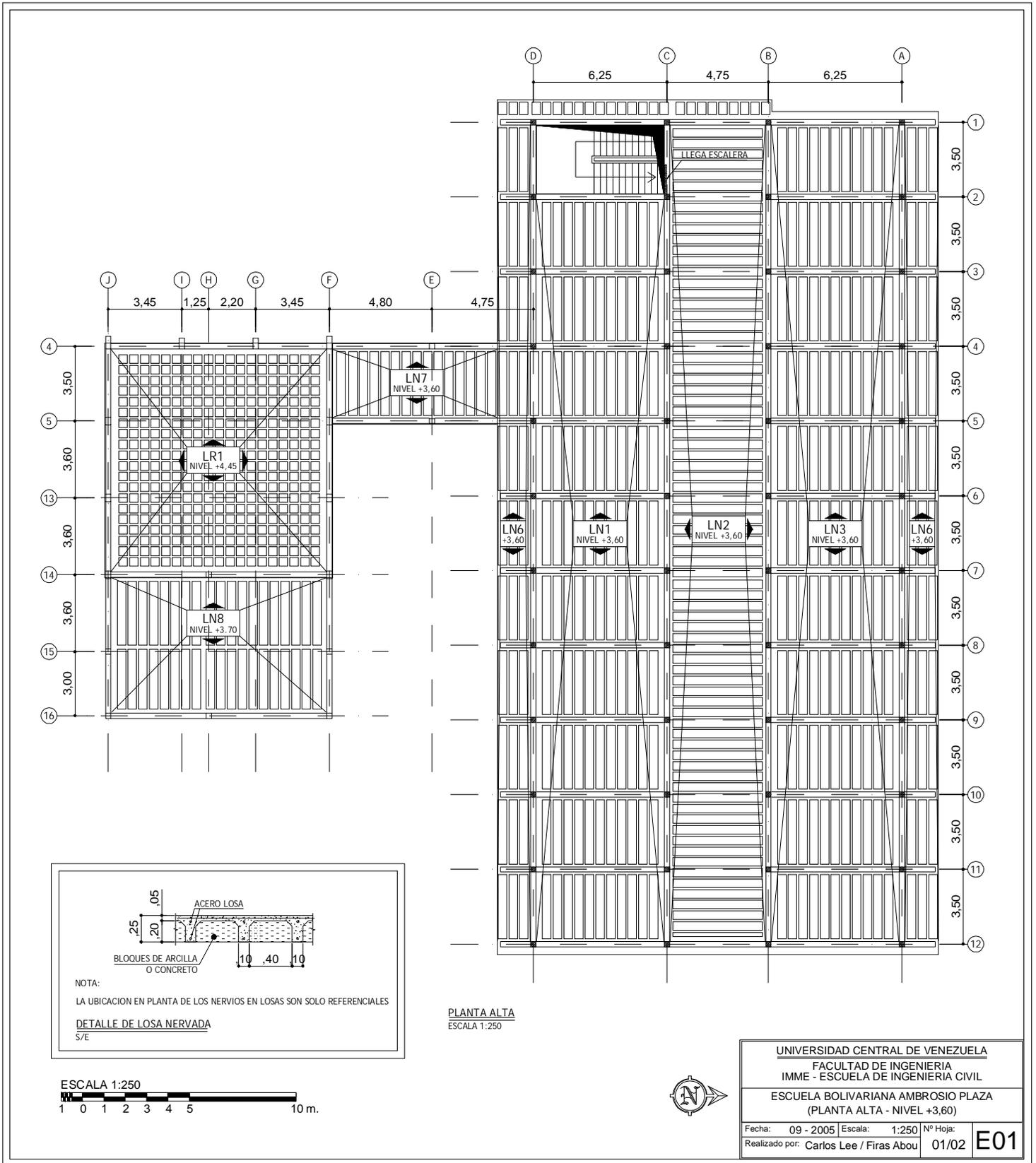
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II



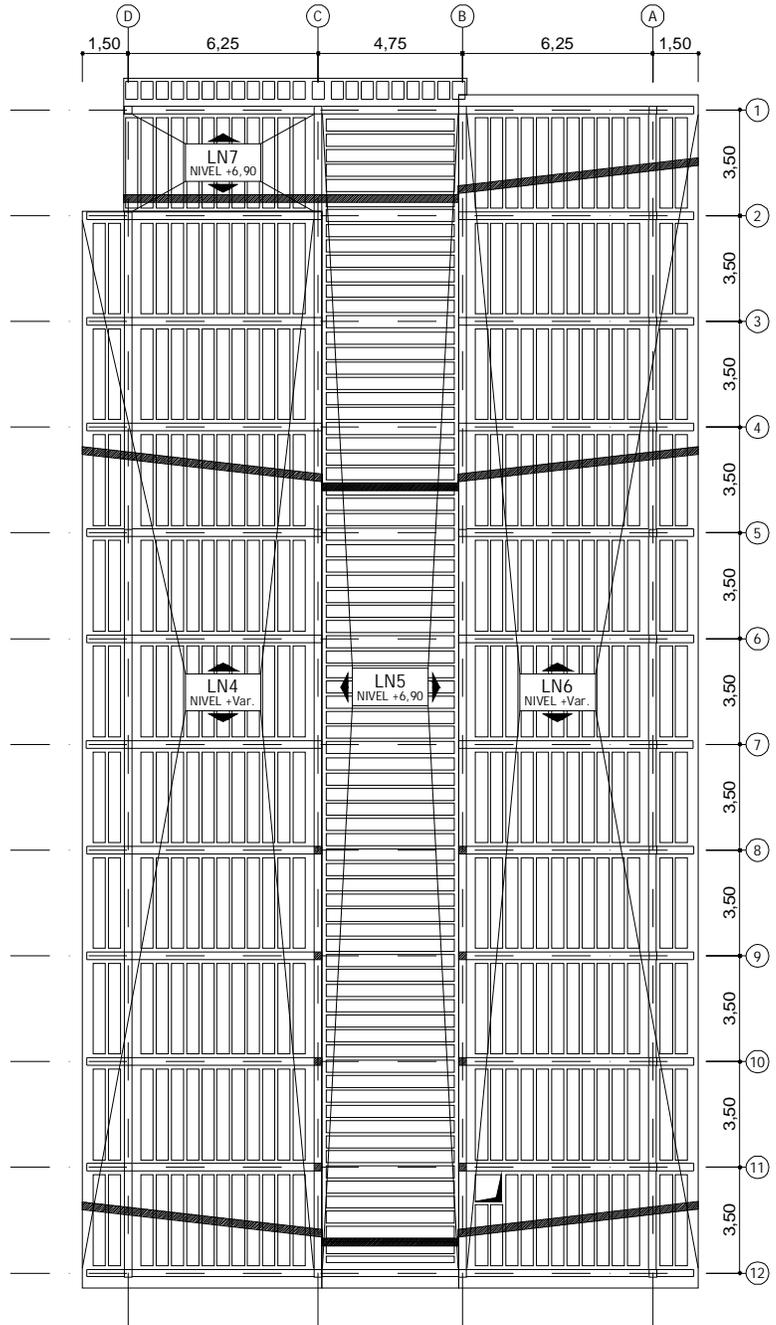
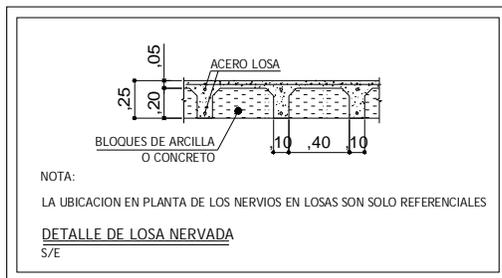
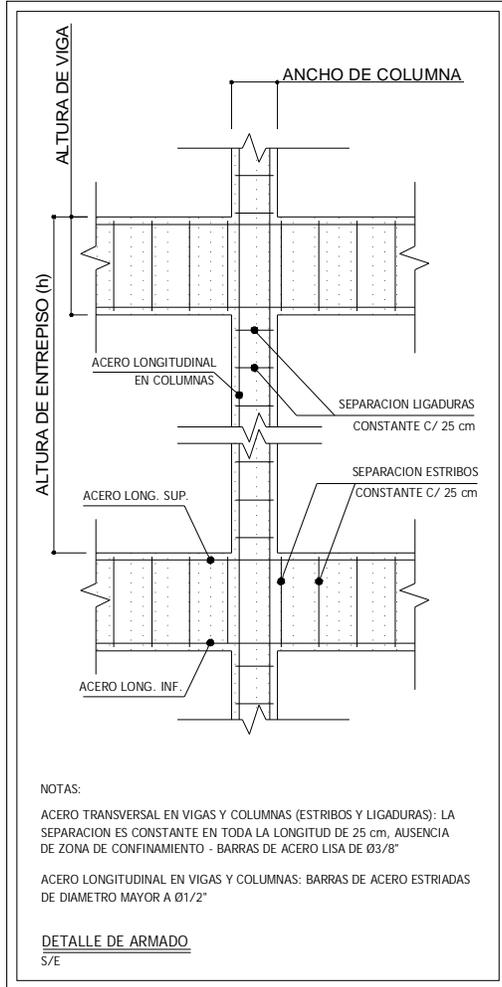
ESCALA 1:250  
 1 0 1 2 3 4 5 10 m.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA		
(FACHADAS Y CORTES TRANSVERSALES)		
Fecha:	08 - 2005	Escala: 1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja: 06/06
		A06

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II



# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

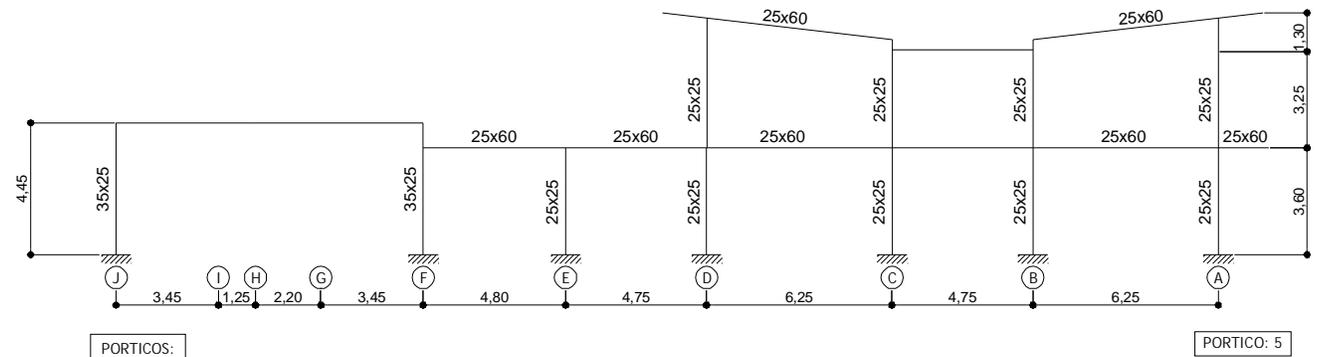
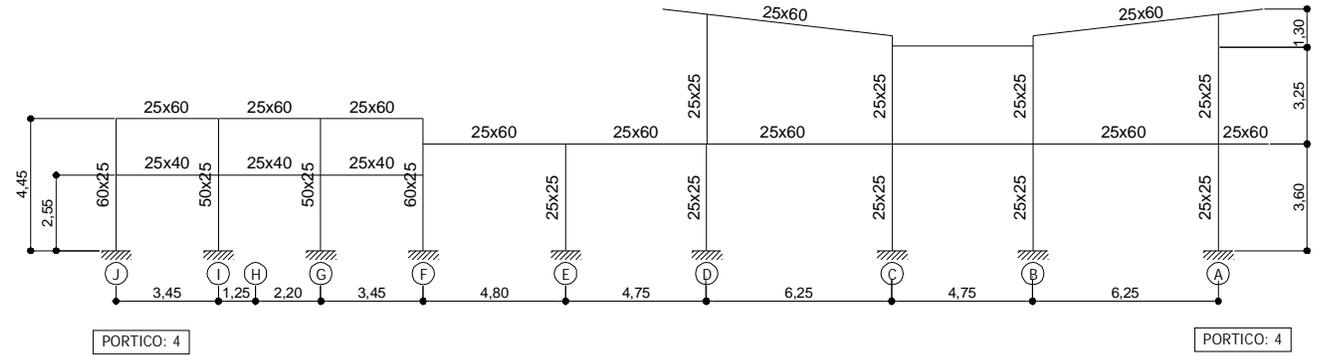
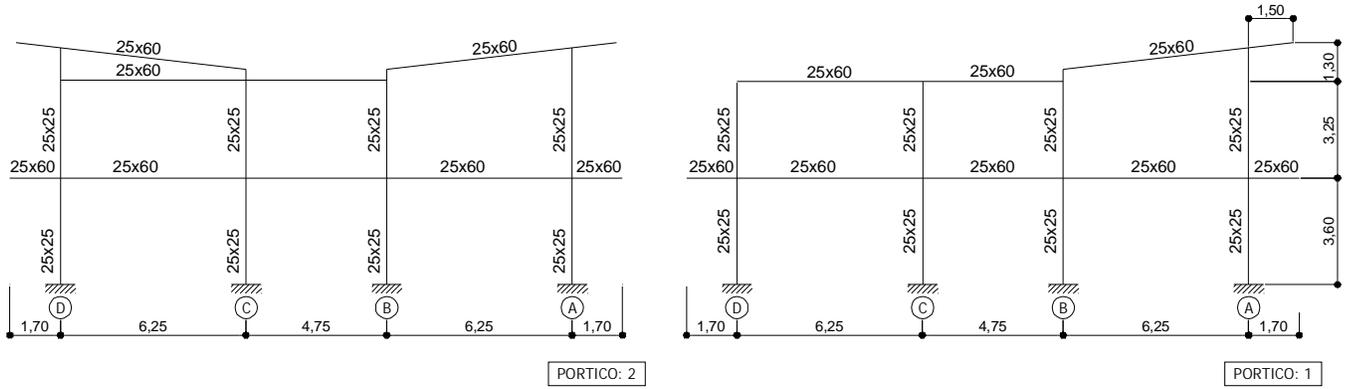


PLANTA TECHO  
ESCALA 1:250



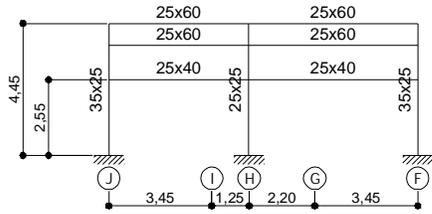
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA (PLANTA TECHO)	
Fecha: 09 - 2005	Escala: 1:250 N° Hoja:
Realizado por: Carlos Lee / Firas Abou	02/02 <b>E02</b>

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

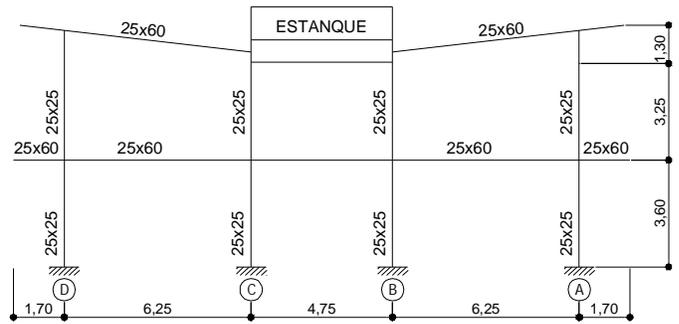


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA (PORTICOS TRANSVERSALES)	
Fecha: 08 - 2005	Escala: 1:250 N° Hoja:
Realizado por: Carlos Lee / Firas Abou	01/03 <b>P01</b>

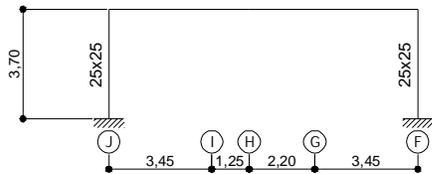
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



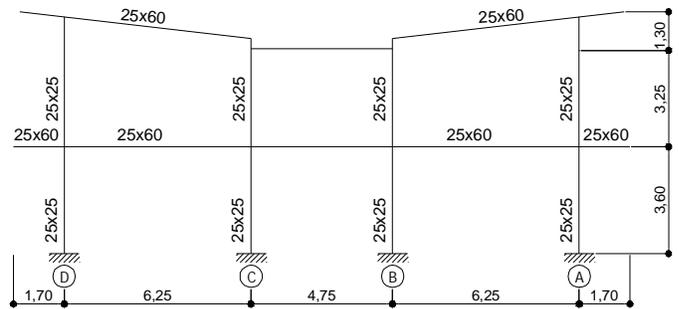
PORTICO: 14



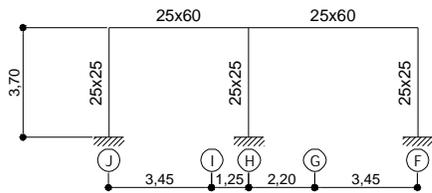
PORTICOS:  
8, 9, 10, 11



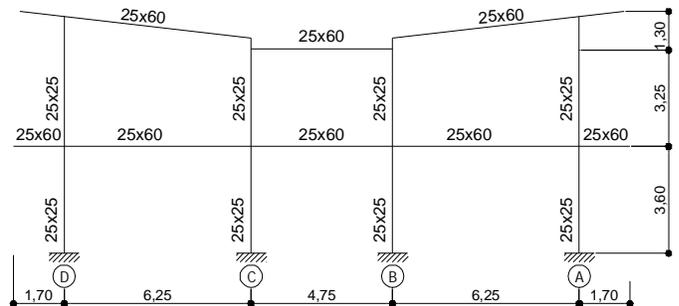
PORTICO: 15



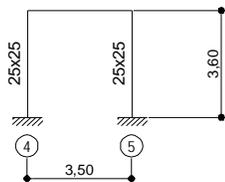
PORTICOS:  
2, 3, 6, 7



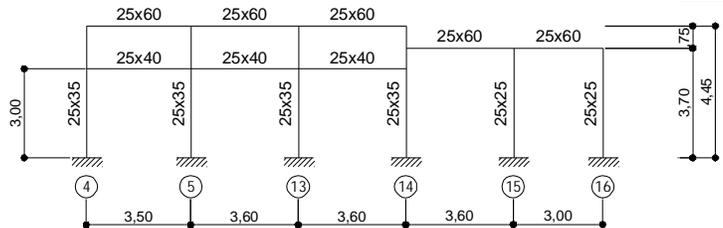
PORTICO: 16



PORTICO: 12



PORTICO: E



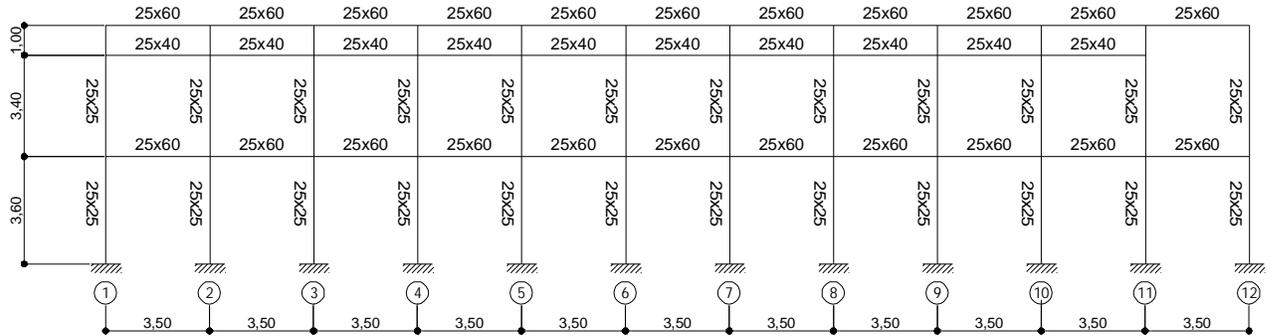
PORTICOS: F, J

ESCALA 1:250

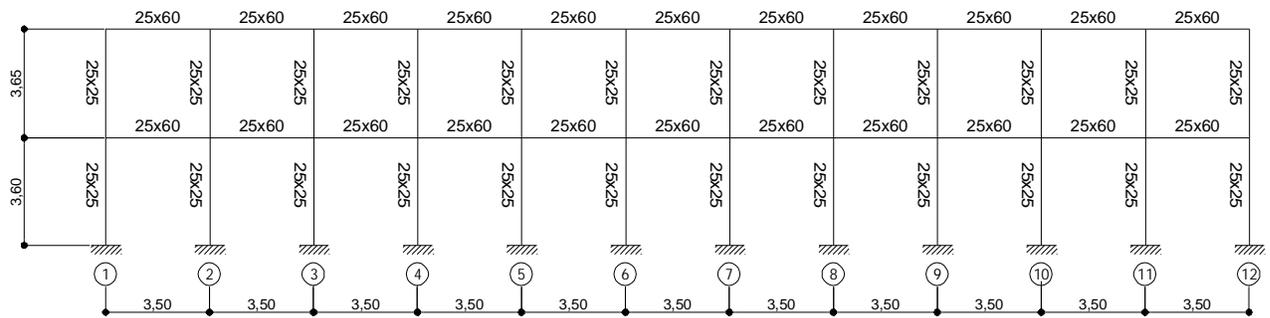


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA		
(PORTICOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES)		
Fecha: 08 - 2005	Escala: 1:250	Nº Hoja:
Realizado por: Carlos Lee / Firas Abou	02/03	<b>P02</b>

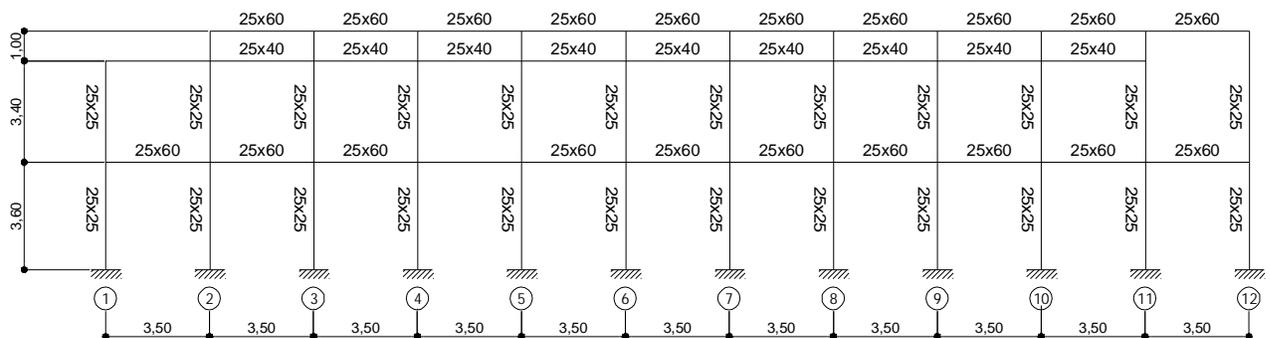
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



PORTICO: A



PORTICOS: B,C



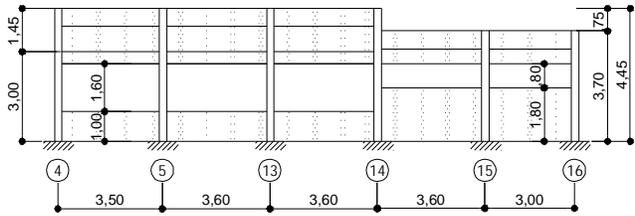
PORTICO: D

ESCALA 1:250

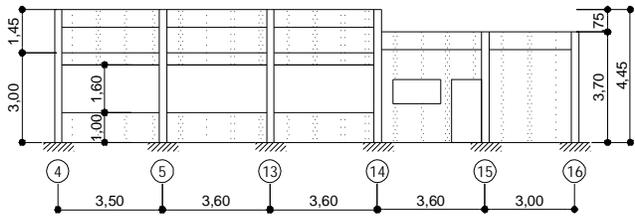


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA			
(PORTICOS LONGITUDINALES)			
Fecha:	08 - 2005	Escala:	1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja:	03/03
			P03

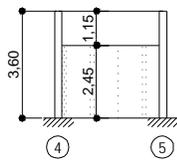
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II



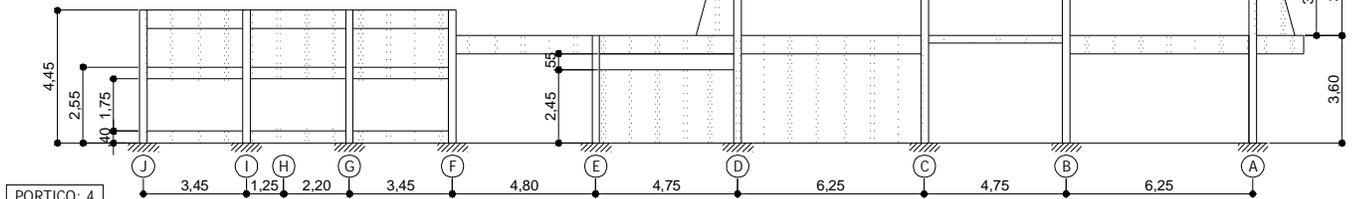
PORTICOS: J



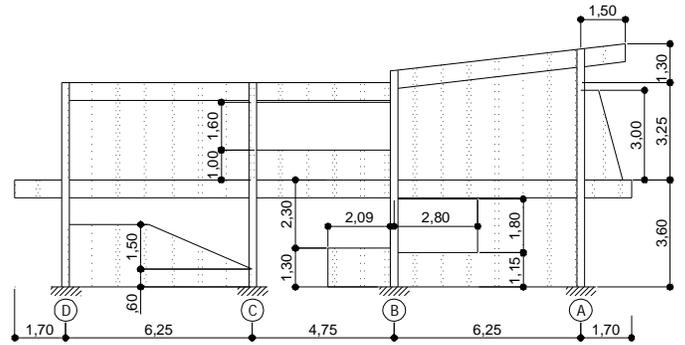
PORTICOS: F



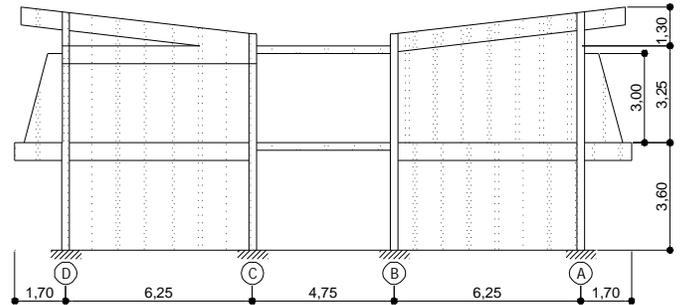
PORTICO: E



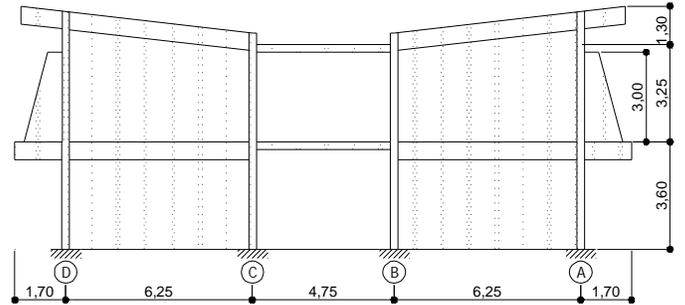
PORTICO: 4



PORTICO: 1



PORTICOS: 2



PORTICOS:  
3, 7, 9, 11

ESCALA 1:250



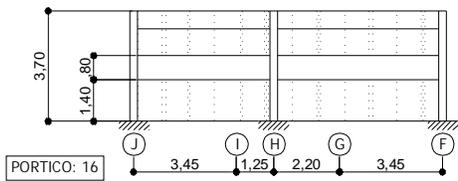
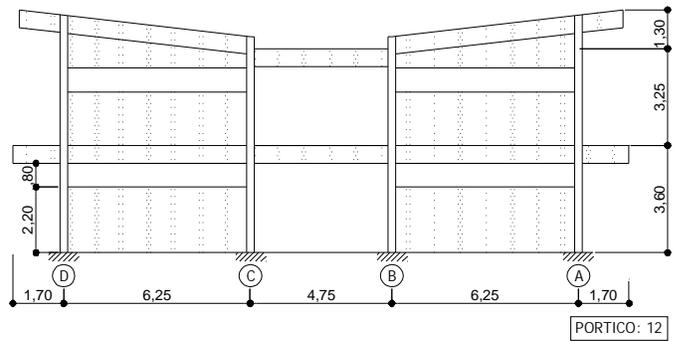
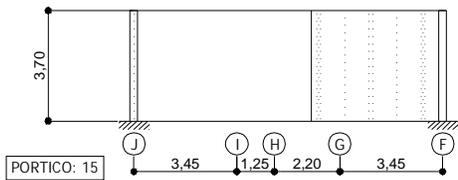
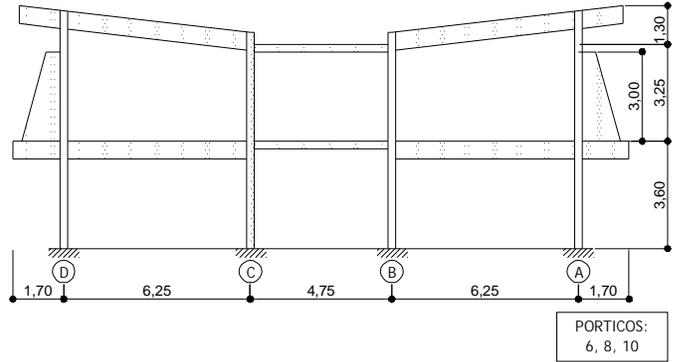
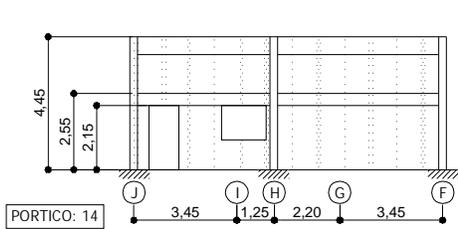
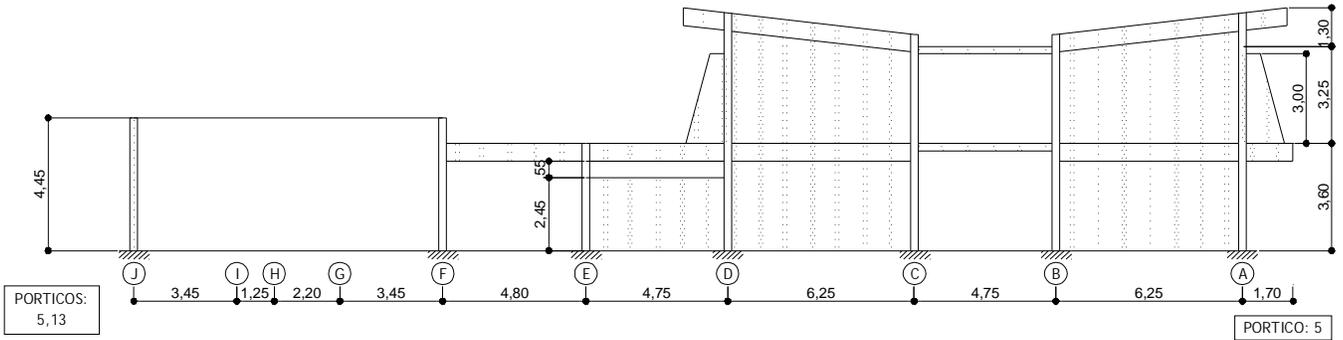
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA  
(TABIQUERIA EN PORTICOS TRANSV. Y LONG.)

Fecha: 08 - 2005 | Escala: 1:250 | Nº Hoja:  
Realizado por: Carlos Lee / Firas Abou 01/03

T01

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

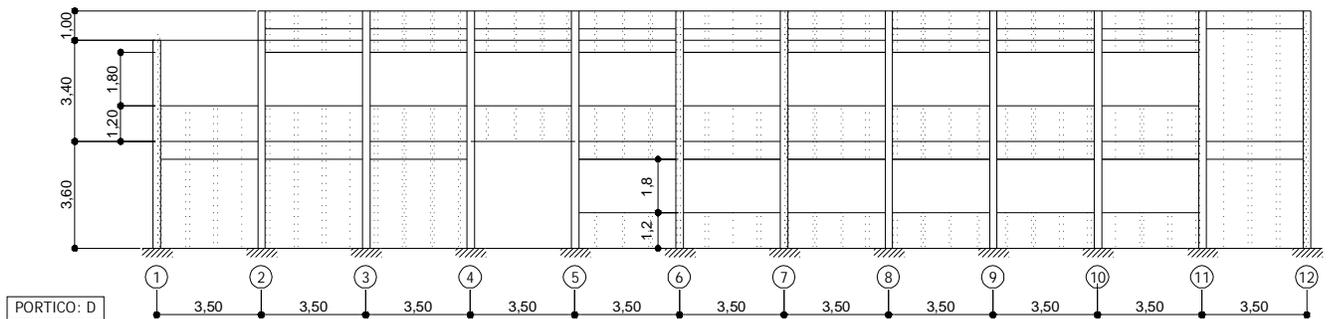
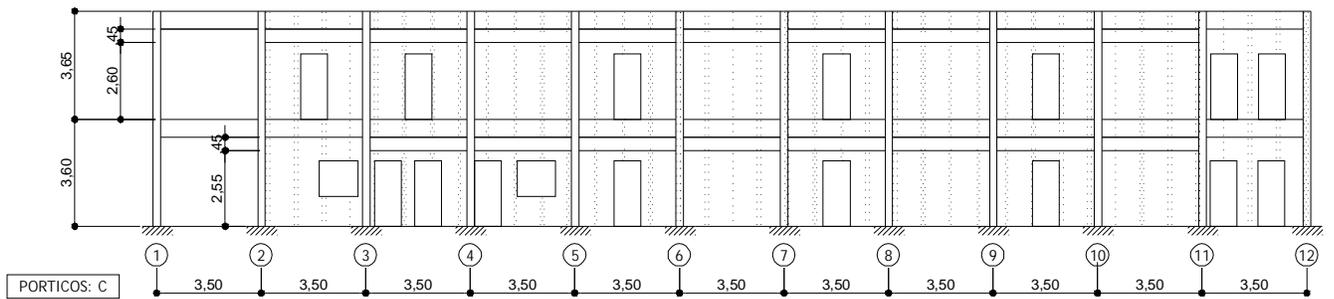
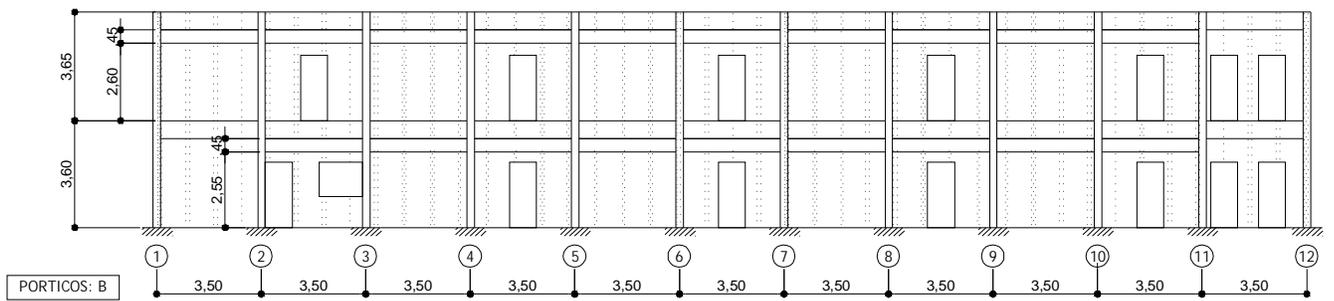
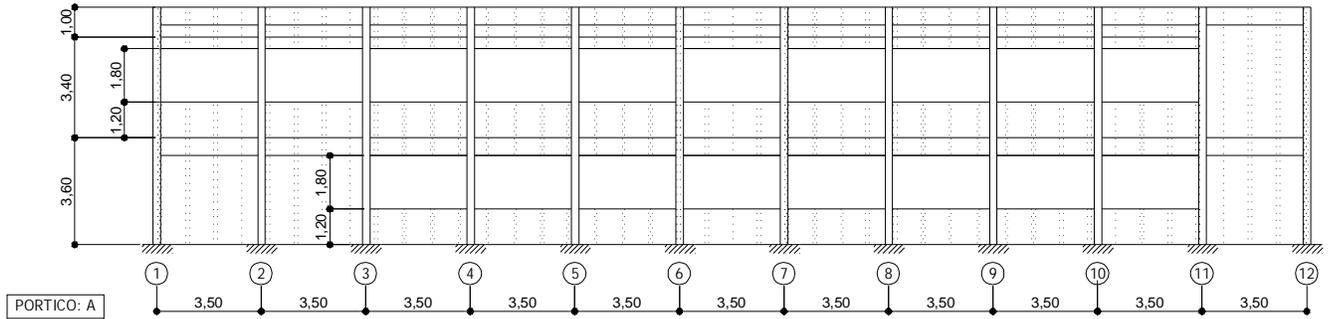


ESCALA 1:250



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA		
(TABQUERIA EN PORTICOS TRANSVERSALES)		
Fecha: 08 - 2005	Escala: 1:250	Nº Hoja:
Realizado por: Carlos Lee / Firas Abou	02/03	T02

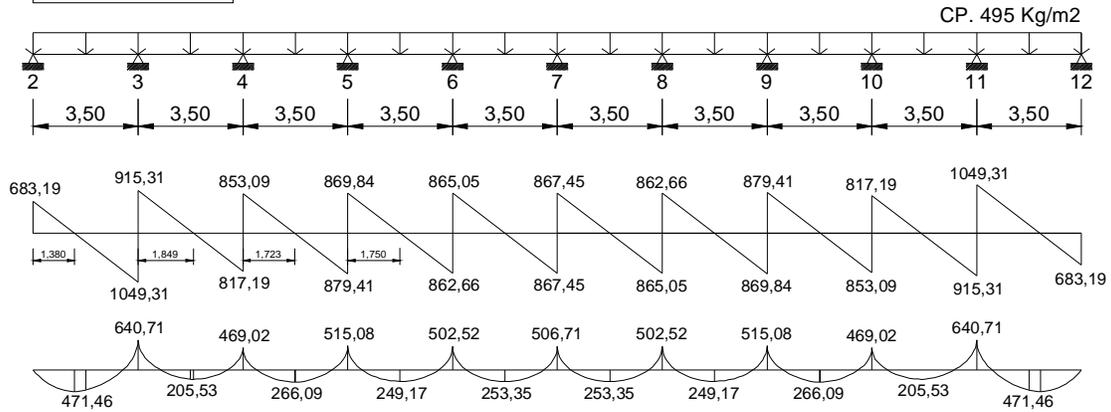
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II



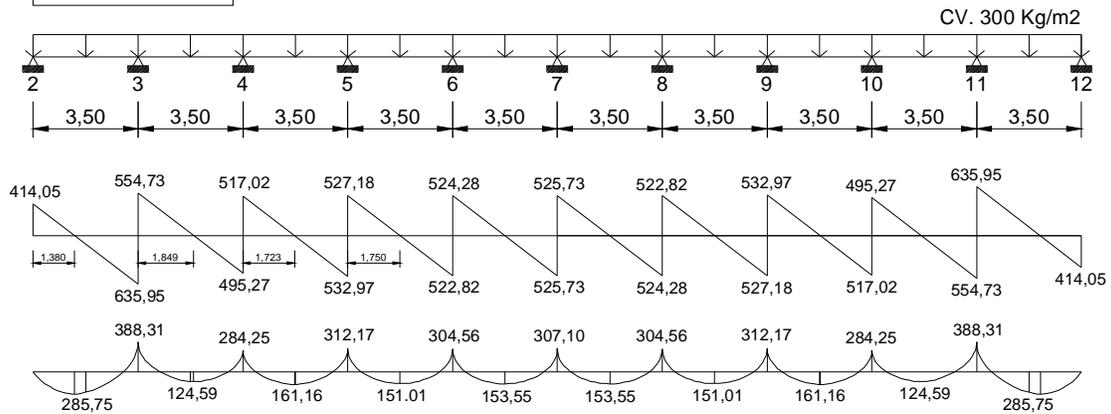
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA		
(TABIQUERIA EN PORTICOS LONGITUDINALES)		
Fecha:	08 - 2005	Escala: 1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja: 03/03
		T03

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

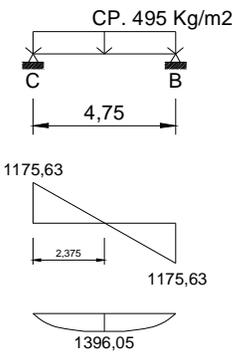
**LOSA NERVADA 1**



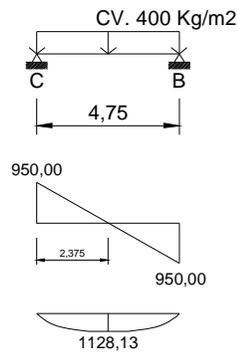
**LOSA NERVADA 1**



**LOSA NERVADA 2**



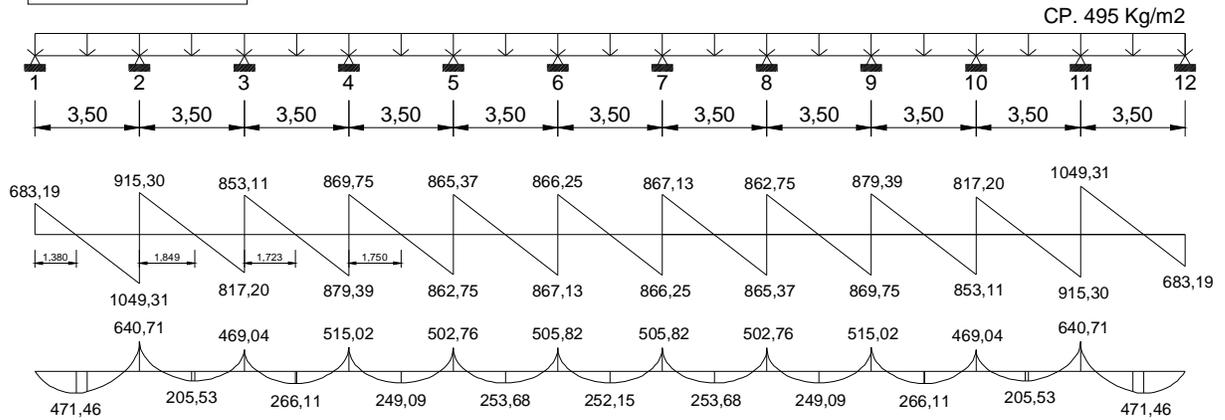
**LOSA NERVADA 2**



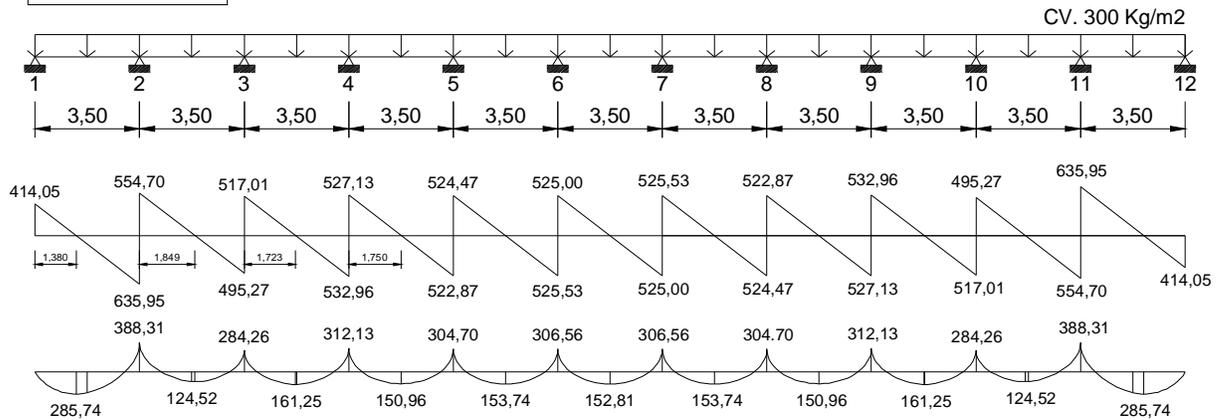
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA			
(LOSAS NERVADAS)			
Fecha:	08 - 2005	Escala:	1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja:	01/05
			L01

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

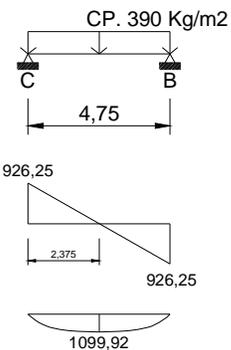
**LOSA NERVADA 3**



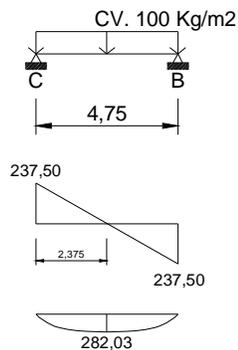
**LOSA NERVADA 3**



**LOSA NERVADA 5**



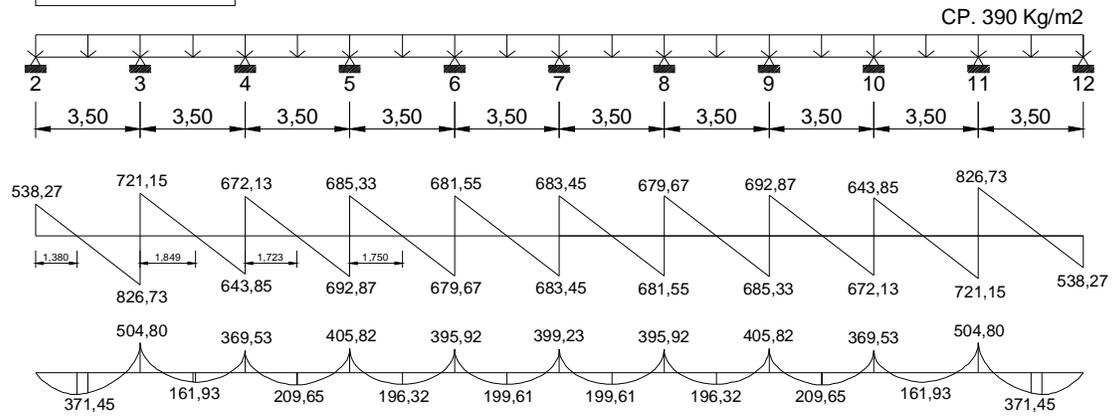
**LOSA NERVADA 5**



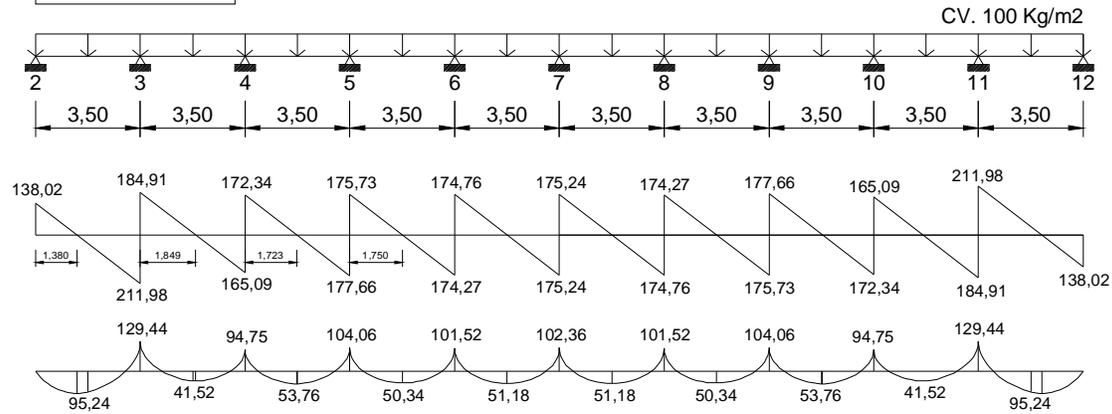
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA			
(LOSAS NERVADAS)			
Fecha:	08 - 2005	Escala:	1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja:	02/05
			L02

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

**LOSA NERVADA 4**



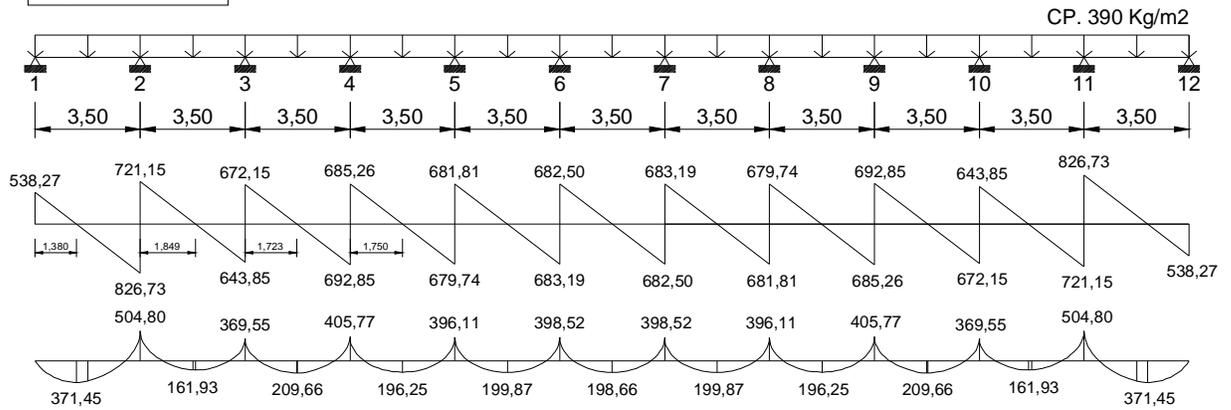
**LOSA NERVADA 4**



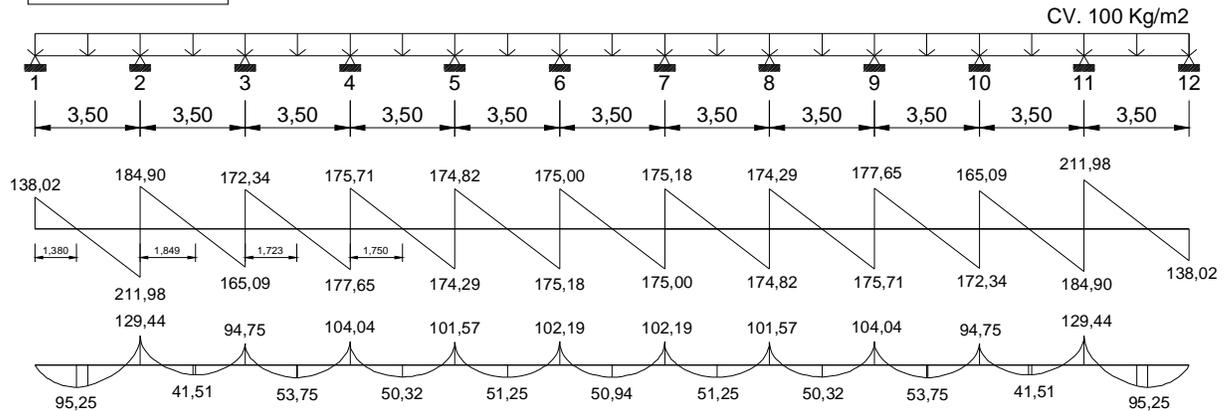
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA		
(LOSAS NERVADAS)		
Fecha:	08 - 2005	Escala: 1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja: 03/05
		L03

# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

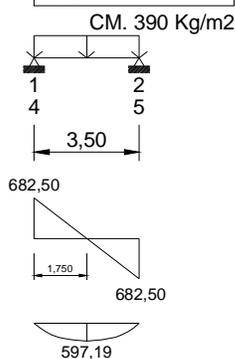
**LOSA NERVADA 6**



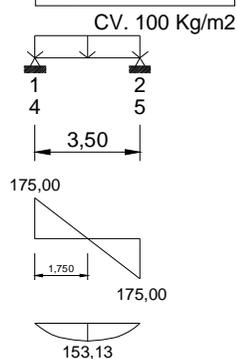
**LOSA NERVADA 6**



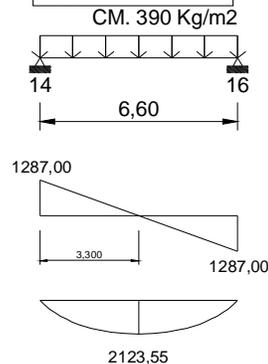
**LOSA NERVADA 7**



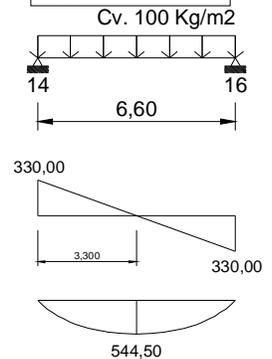
**LOSA NERVADA 7**



**LOSA NERVADA 8**



**LOSA NERVADA 8**



ESCALA 1:250

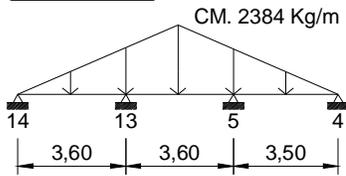


UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA			
(LOSAS NERVADAS)			
Fecha:	08 - 2005	Escala:	1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja:	04/05
			L04

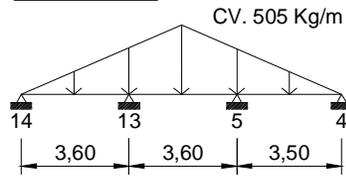
# Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

## CARGAS EN VIGA POR LOSA NERVADA ARMADA EN DOS DIRECCIONES

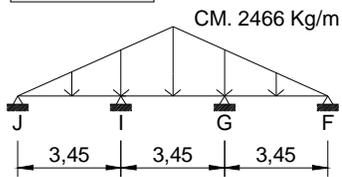
VIGAS F y J



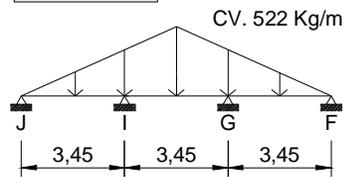
VIGAS F y J



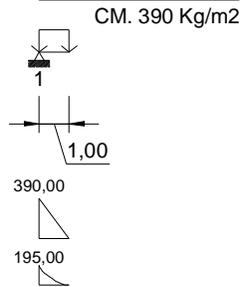
VIGAS 4 y 14



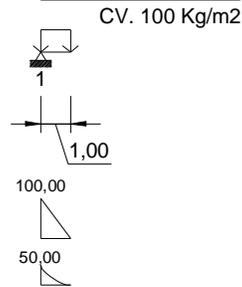
VIGAS 4 y 14



VOLADO



VOLADO



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
IMME - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
ESCUELA BOLIVARIANA AMBROSIO PLAZA (LOSAS NERVADAS)		
Fecha:	08 - 2005	Escala: 1:250
Realizado por:	Carlos Lee / Firas Abou	Nº Hoja: 05/05
		L05

**ANEXO C**

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

<b>CARGAS PERMANENTES - LOSA NERVADA ARMADA EN UNA SOLA DIRECCIÓN</b>		
<b>TECHO</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Loseta	125	Loseta de 5cm de alto
Nervios	100	Nervios de 10cm de ancho
Bloques de Arcilla	90	Bloques de Arcilla de 20cm de altura
Relleno para Pendiente	60	
Impermeabilización	15	Impermeabilización con Fieltro Asfáltico en dos capas
	<b>390</b>	

<b>ENTREPISOS</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Loseta	125	Loseta de 5cm de alto
Nervios	100	Nervios de 10cm de ancho
Bloques de Arcilla	90	Bloques de Arcilla de 20cm de altura
Sobrepiso	80	Espesor 10 cm
Piso Cerámico/Granito	100	GRANITO ARTIFICIAL de espesor 5cm
	<b>495</b>	

<b>CARGAS PERMANENTES - LOSA NERVADA ARMADA EN DOS DIRECCIONES</b>		
<b>TECHO</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Loseta	125	Loseta de 5cm de alto
Nervios	200	Nervios de 10cm de ancho
Bloques de Arcilla	72	Bloques de Arcilla de 20cm de altura
Relleno para Pendiente	60	
Impermeabilización	15	Impermeabilización con Fieltro Asfáltico en dos capas
	<b>472</b>	

<b>CARGAS VARIABLES PARA EDIFICACIONES EDUCACIONALES</b>		
<b>USO DEL EDIFICIO</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Entrepiso (Pasillos)	<b>400</b>	Pasillos o Areas Publicas
Entrepisos (Aulas)	<b>300</b>	Aulas o Areas Privadas
Techos	<b>100</b>	Techos, Azoteas o Terrazas
Escaleras	<b>500</b>	Escaleras de Vivienda

<b>PESO LINEAL DE TABIQUERIA - BLOQUES DE ARCILLA 20X25X30</b>		
<b>TABIQUERIA</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Bloques de arcilla	91	13 Bloques de arcilla de 20x25x30 (7 Kg c/u)
Frisado	85	friso en ambas caras de cal y yeso (17Kg/m <sup>2</sup> /cm)
Mortero	81	considerando un mortero de esp. 2,5 entre cada bloque
	<b>257</b>	

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

<b>PESO LINEAL DE TABIQUERIA - LADRILLO 6X12X25</b>		
<b>TABIQUERIA</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Bloques de arcilla	192	64 Ladrillos de 6x12x25 (3 Kg c/u)
Frisado	85	friso en ambas caras de cal y yeso (17Kg/m <sup>2</sup> /cm)
Mortero	24	considerando un mortero de esp. 2,5 entre cada ladrillo
	<b>301</b>	

<b>PESO DE TABIQUERIA PARASOL - BLOQUES DE ARCILLA 10X20X40</b>		
<b>TABIQUERIA</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Bloques de arcilla	152	38 Bloques de arcilla de 10x20x40 (4 Kg c/u)
Frisado	254	friso en ambas caras de cal y yeso (17Kg/m <sup>2</sup> /cm)
Mortero	114	considerando un mortero de esp. 2,5 entre cada bloque
	<b>520</b>	

Tabla C.1 Resumen de las Acciones Mínimas aplicadas a las Escuelas Tipo Antiguo II.

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL</b>						
<b>TECHO</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Ton)</b>	<b>Xcm (m)</b>	<b>Ycm (m)</b>	<b>Q*Xcm</b>	<b>Q*Ycm</b>
Losa A-D	800,14	312,06	8,59	19,19	2680,85	5989,88
Tanque 8-9 C.V		10,97	8,63	26,25	94,61	287,93
Tanque 10-11 C.V		10,97	8,63	33,25	94,61	364,71
Columnas		11,57	8,63	19,25	99,83	222,80
Vigas dir. X, dir. Y, Corona		139,00	8,54	19,09	1186,85	2653,36
Pared Bloq Arcilla, P A, 25 cm		75,88	9,54	19,09	723,77	1448,34
Parasoles de Bloque de Arcilla	0,40	4,34	8,18	18,33	35,54	79,64
Tanques de agua		42,87	8,63	29,75	369,78	1275,49
<b>GLOBAL TECHO</b>		<b>607,66</b>	<b>8,70</b>	<b>20,28</b>	<b>5285,83</b>	<b>12322,15</b>

<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL</b>						
<b>ENTREPISO</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Ton)</b>	<b>Xcm (m)</b>	<b>Ycm (m)</b>	<b>Q*Xcm</b>	<b>Q*Ycm</b>
Losa A-D	814,01	397,83	8,63	19,30	3434,27	7678,13
Losa A-B C.V efec.		34,23	3,13	19,24	106,97	658,68
Losa B-C C.V efec.		34,22	8,63	19,24	295,24	658,48
Losa C-D C.V efec.		34,23	14,14	19,24	484,02	658,68
Columnas		21,60	8,63	19,25	186,30	415,80
Vigas dir. X, dir. Y, Corona.		119,39	8,49	19,37	1013,64	2313,20
Parasoles de Bloque de Arcilla	0,60	6,57	8,18	18,33	53,74	120,41
Pared Bloq Arcilla, P B, 25 cm		71,12	9,84	18,58	699,62	1321,54
Pared Bloq Arcilla, P A, 25 cm		75,88	9,54	19,09	723,77	1448,34
Escalera		2,96	2,28	2,59	6,75	7,65
Rampa C.V efec		1,91	12,80	2,65	24,50	5,07
Descanso C.V efec		1,72	15,78	1,78	27,10	3,06
Losa D-F Pasillo	29,26	14,48	22,02	12,26	318,87	177,50
Columnas del Pasillo		1,34	22,00	12,25	29,48	16,42
Vigas del Pasillo		5,38	22,30	12,50	119,97	67,25
Paredes de Pasillo	812,26	3,88	20,15	12,25	78,18	47,53
<b>GLOBAL ENTREPISO</b>		<b>826,74</b>	<b>8,92</b>	<b>18,71</b>	<b>7374,9</b>	<b>15466,54</b>

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

<b>MÓDULO ANEXO</b>						
<b>COMEDOR</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Ton)</b>	<b>Xcm (m)</b>	<b>Ycm (m)</b>	<b>Q*Xcm</b>	<b>Q*Ycm</b>
Losa Comedor	29,26	55,29	31,98	15,85	1768,05	876,42
Columnas Comedor		11,13	31,99	13,74	356,20	153,00
Vigas dir. X, dir. Y, Corona		22,15	31,98	15,33	708,21	339,56
Pared Bloq Arcilla, P B, 25 cm		13,46	31,98	15,85	430,47	213,38
<b>GLOBAL COMEDOR</b>		<b>102,04</b>	<b>31,98</b>	<b>15,51</b>	<b>3262,93</b>	<b>1582,37</b>

<b>MÓDULO ANEXO</b>						
<b>COCINA</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Ton)</b>	<b>Xcm (m)</b>	<b>Ycm (m)</b>	<b>Q*Xcm</b>	<b>Q*Ycm</b>
Losa Cocina	70,29	27,76	31,98	24,65	887,77	684,40
Columnas cocina		3,83	32,08	25,11	122,84	96,17
Vigas dir. X, dir. Y, Corona		13,04	32,06	23,00	418,00	299,93
Pared Bloq Arcilla, P B, 25 cm		17,03	31,98	24,65	544,49	419,76
<b>GLOBAL ANEXO</b>		<b>61,66</b>	<b>32,00</b>	<b>24,33</b>	<b>1973,11</b>	<b>1500,25</b>

<b>GLOBAL ENTREPISO + ANEXO</b>	<b>990,44</b>	<b>12,48</b>	<b>19,17</b>	<b>12.610,83</b>	<b>18.549,16</b>
---------------------------------	---------------	--------------	--------------	------------------	------------------

<b>PESO SÍSMICO DEL EDIFICIO = 1.598,10 TON</b>
---

Tabla C.2 Pesos de los elementos estructurales y no estructurales con sus respectivos Centros de Masa

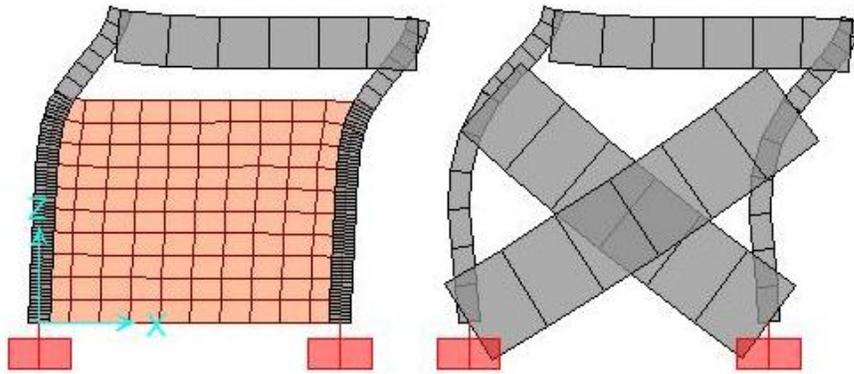


Imagen C.1 Modelo de la Tabiquería de Pórtico Longitudinal de arcilla, con altura de 2,60m

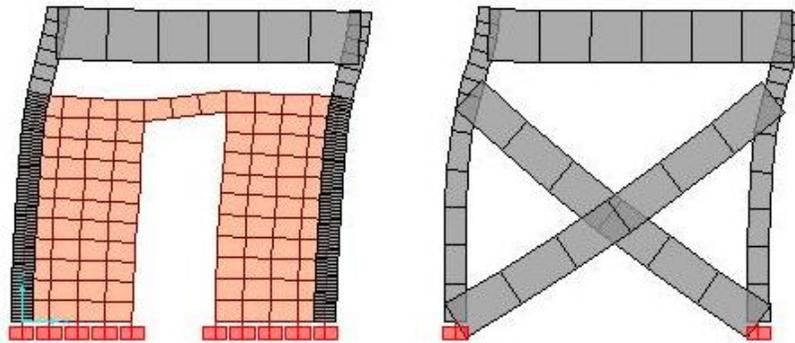


Imagen C.2 Modelo de la Tabiquería de Pórtico Longitudinal de arcilla, con altura de 2,60m con Puerta

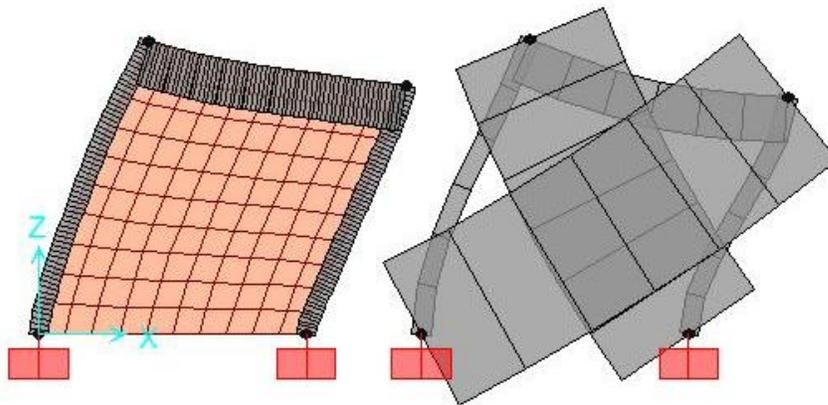


Imagen C.3 Modelo de la Tabiquería Pórtico Longitudinal de arcilla, con altura de 3,60m

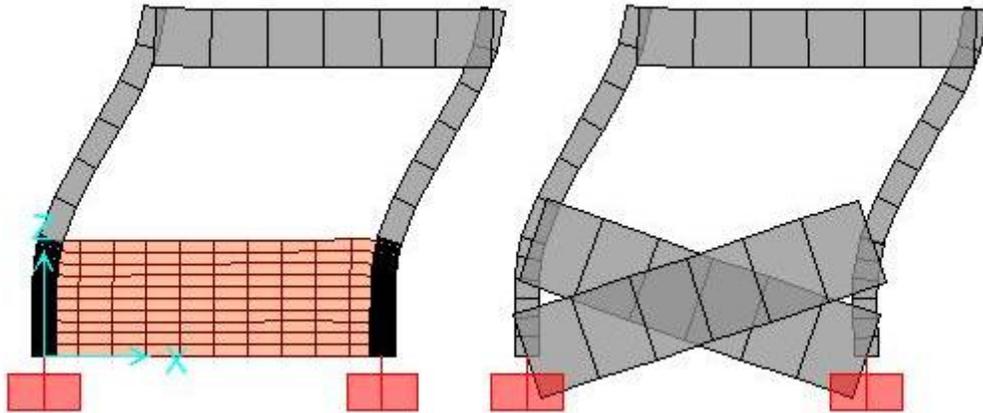


Imagen C.4 Modelo de la Tabiquería Pórtico Longitudinal de arcilla, con altura de 1,20 m.

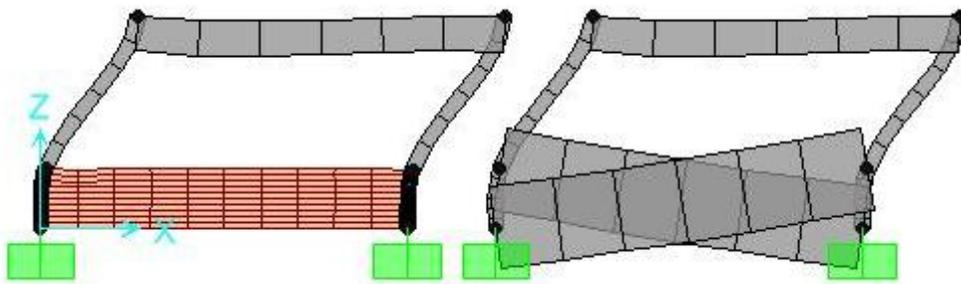


Imagen C.5 Modelo de la Tabiquería de Pórtico Transversal de arcilla, con altura de 1,00m.

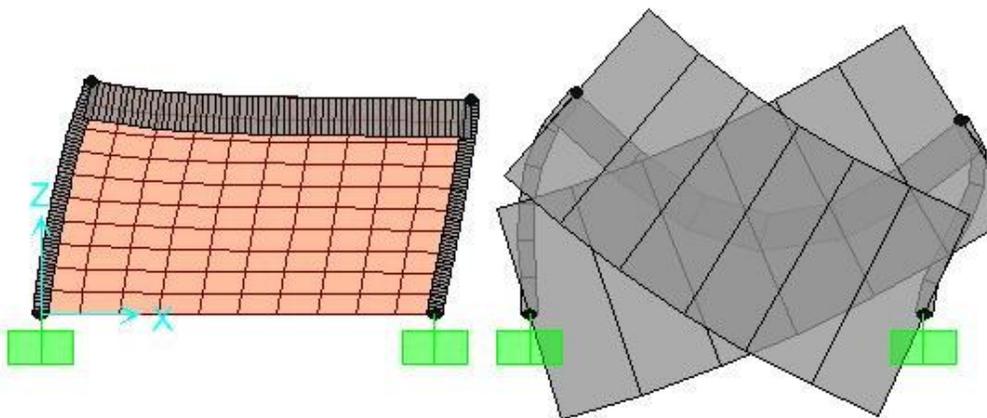


Imagen C.6 Modelo de la Tabiquería de Pórtico Transversal de arcilla, con altura de 3,60 m.

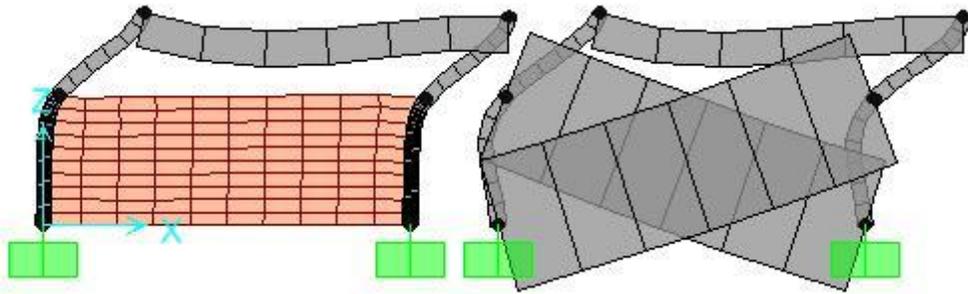


Imagen C.7 Modelo de la Tabiquería de Pórtico Transversal de arcilla, con altura de 2,20 m.

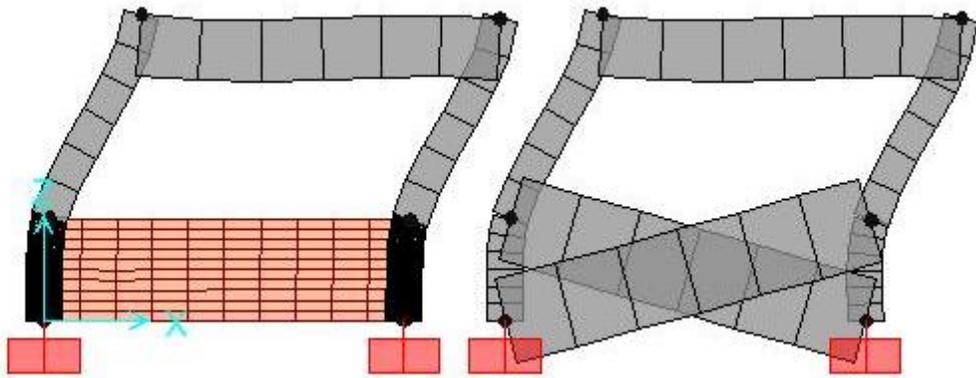


Imagen C.8 Modelo de la Tabiquería de Pórtico Transversal de arcilla, con altura de 1,00 m

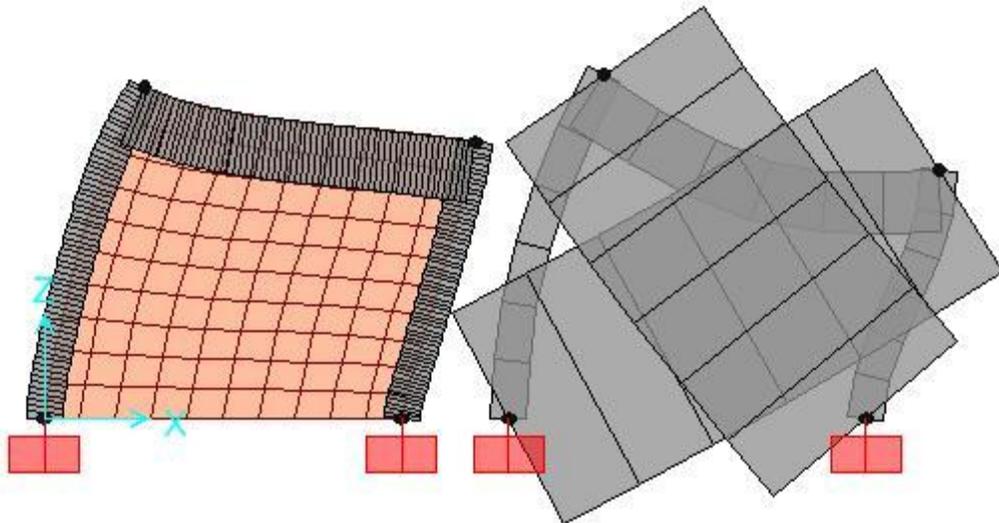


Imagen C.9 Modelo de la Tabiquería de Pórtico del Anexo de ladrillo, con altura de 3,00 m.

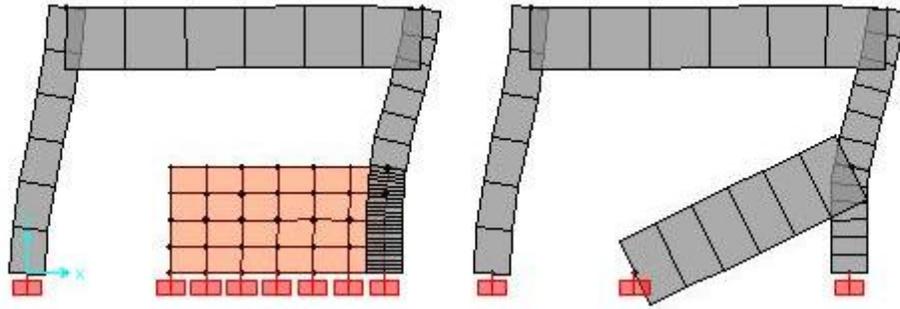


Imagen C.10 Modelo de la Tabiquería de Pórtico del Anexo de ladrillo, con altura de 1,05 m

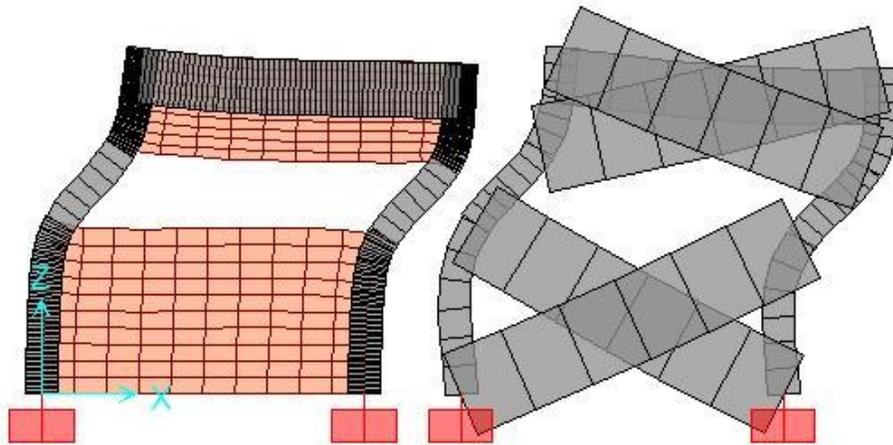


Imagen C.11 Modelo de la Tabiquería de Pórtico del Anexo de ladrillo, con altura de 1,80 m

**BIELA EQUIVALENTE**

**PORTICOS LONGITUDINALES**

D = 502,096

Modelo.	W**	W**/D	W*/D	W*/D	SAP/KLIGNER	W*	W**
	SAP	SAP	SAP	KLIGNER		DEF	DEF
h:360	210	0,418	0,836	0,230	0,275	115	58
h:260	105	0,209	0,418	0,115	0,275	58	29
h:120	90	0,179	0,358	0,099	0,275	49	25
h:260 c/P	45	0,090	0,179	0,049	0,275	25	12

**PORTICOS TRANSVERSALES**

D = 721,266

Modelo.	W**	W**/D	W*/D	W*/D	SAP/KLIGNER	W*	W**
	SAP	SAP	SAP	KLIGNER		DEF	DEF
h:360	350	0,485	0,971	0,140	0,144	101	50
h:220	230	0,319	0,638	0,092	0,144	66	33
h:100	140	0,194	0,388	0,056	0,144	40	20

**PORTICOS ANEXO**

D = 468,615

Modelo.	W**	W**/D	W*/D	W*/D	SAP/KLIGNER	W*	W**
	SAP	SAP	SAP	KLIGNER		DEF	DEF
h:300	235	0,501	1,003	0,220	0,219	103	52
h:180	95	0,203	0,405	0,089	0,219	42	21
h:105 c/P	70	0,149	0,299	0,066	0,219	31	15

\* MODELO CON UNA BIELA  
 \*\* MODELO CON DOS BIELAS  
 TODAS LAS MEDIDAS EN CENTIMETROS

Tabla C.3 Resultados de la Aplicación del Método de la Biela Equivalente

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

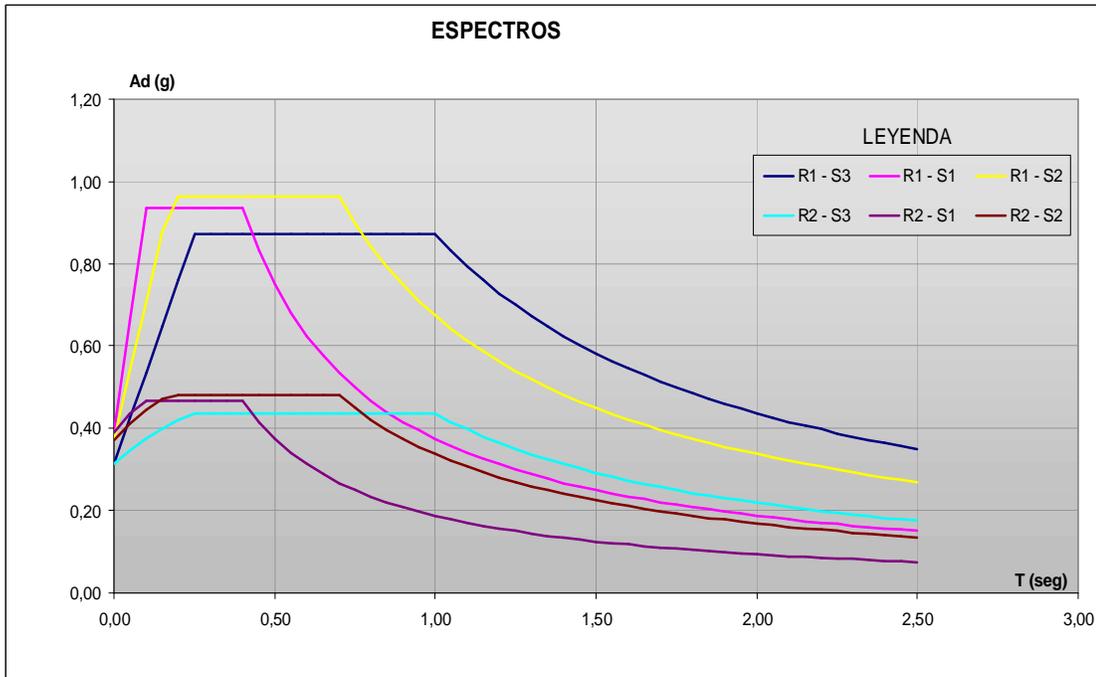


Gráfico C.1 Espectros evaluados para la realización del estudio de Riesgo Sísmico

## Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

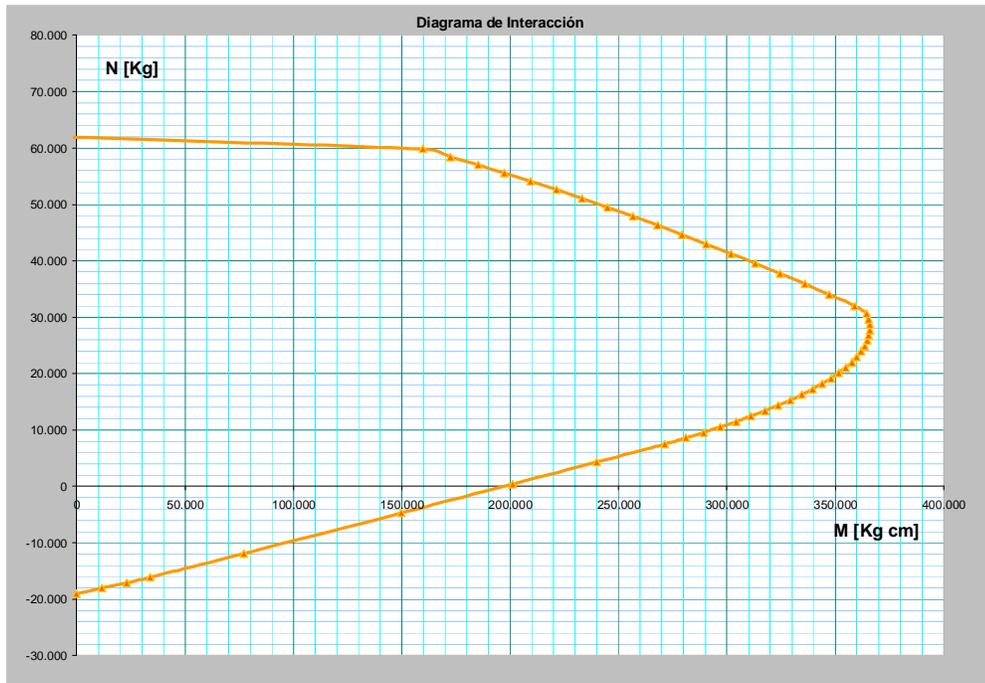


Gráfico C.2.1 Diagrama de Interacción para la columna de 25x25 cm, presente en el Módulo Principal.

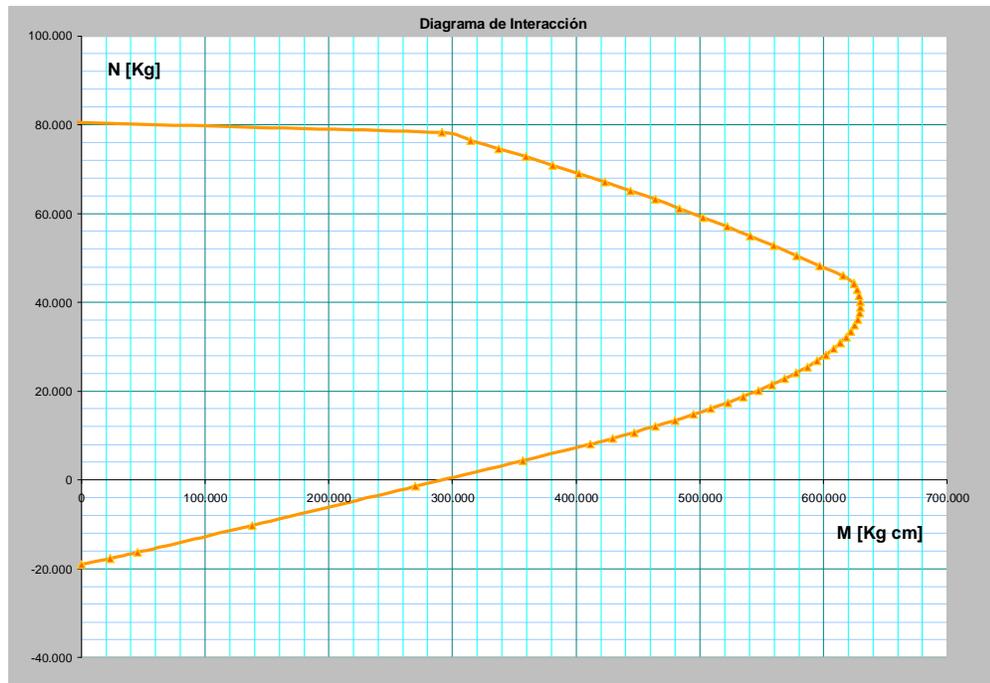


Gráfico C.2.2 Diagrama de Interacción para la columna de 25x35 cm, presente en el Módulo Anexo

## Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

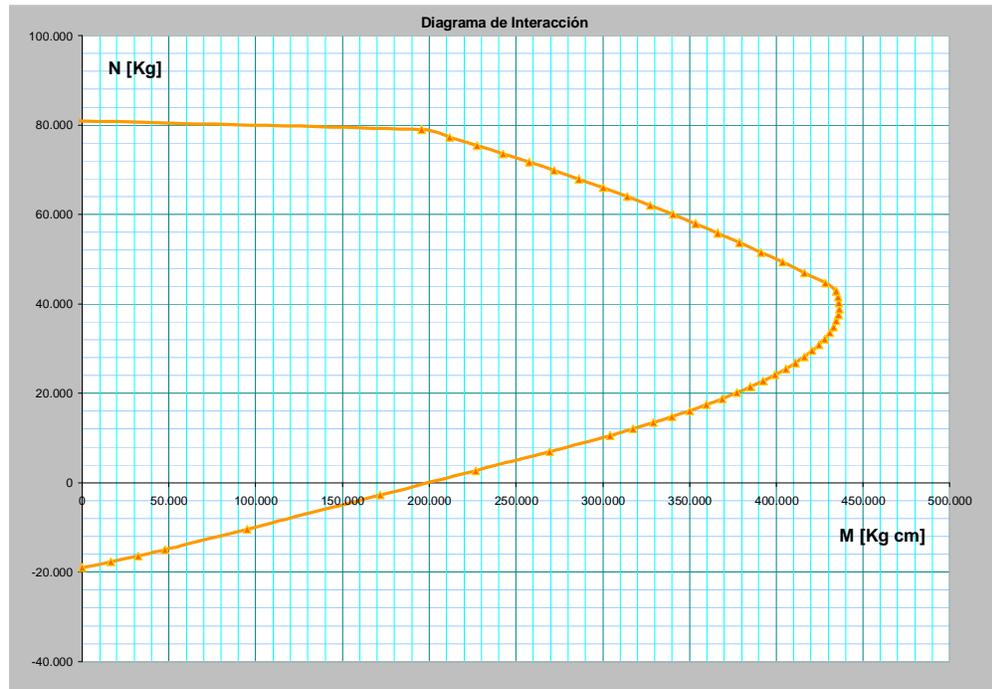


Gráfico C.2.3 Diagrama de Interacción para la columna de 35x25 cm, presente en el Módulo Anexo

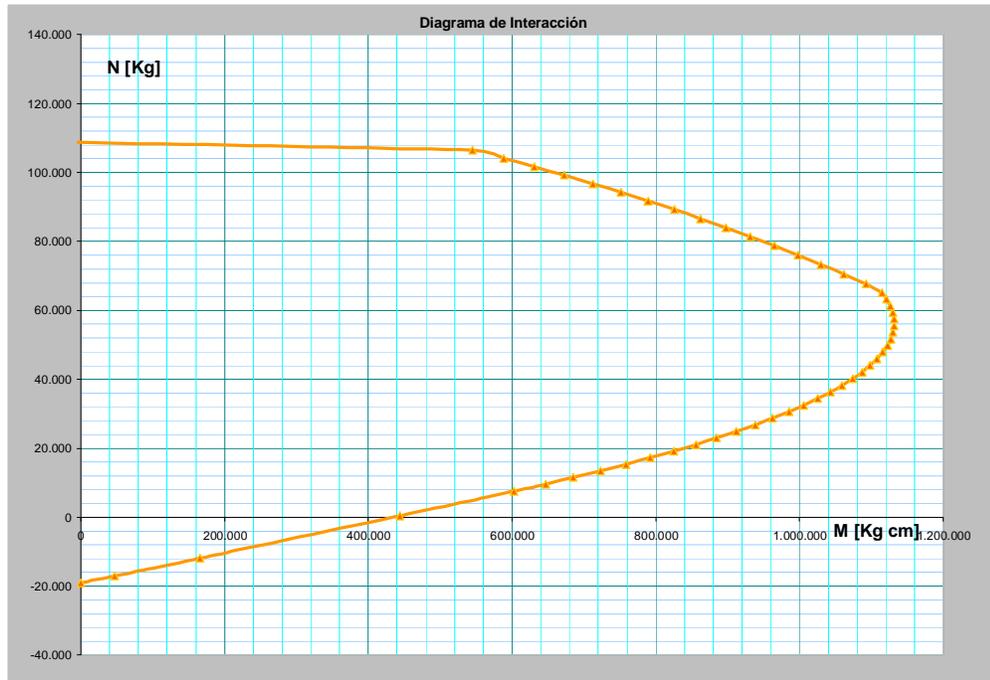


Gráfico C.2.4 Diagrama de Interacción para la columna de 25x50 cm, presente en el Módulo Anexo

## Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

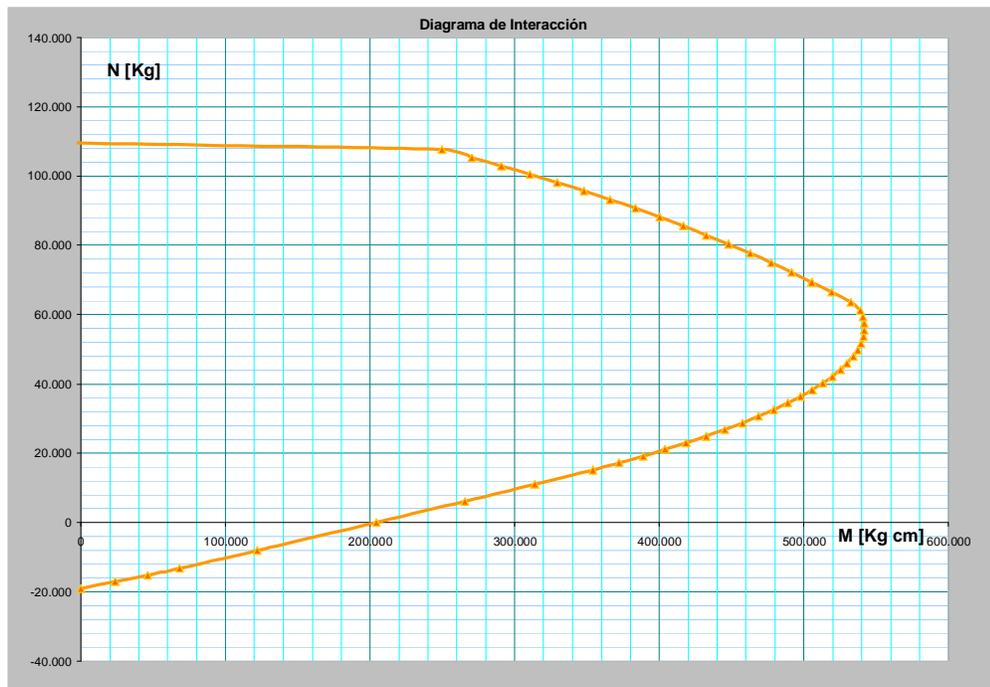


Gráfico C.2.5 Diagrama de Interacción para la columna de 50x25 cm, presente en el Módulo Anexo

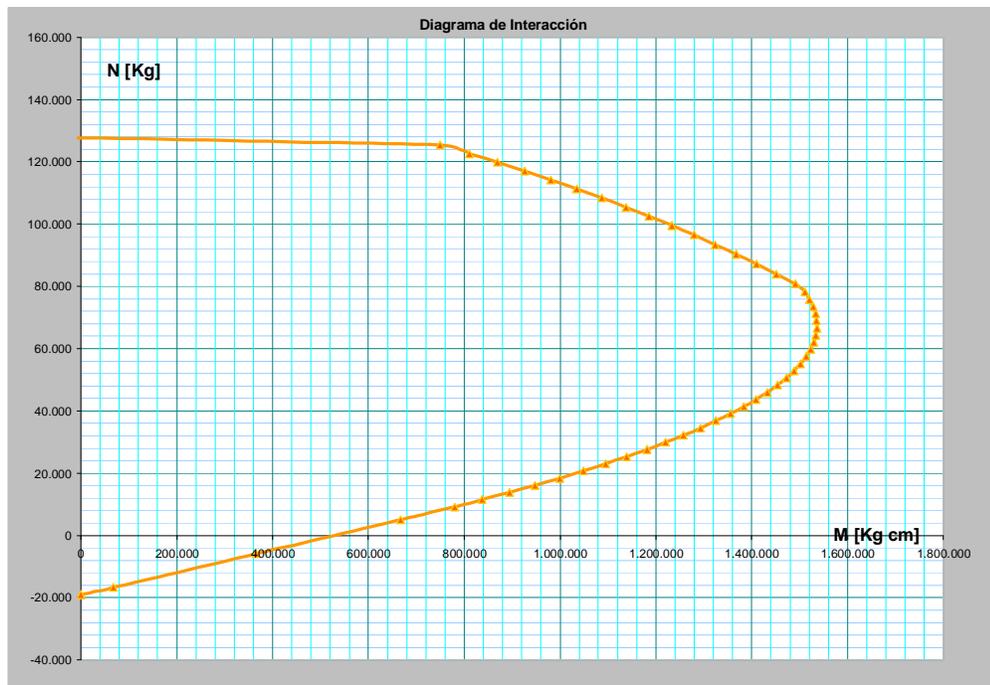


Gráfico C.2.6 Diagrama de Interacción para la columna de 25x60 cm, presente en el Módulo Anexo

## Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antigo II

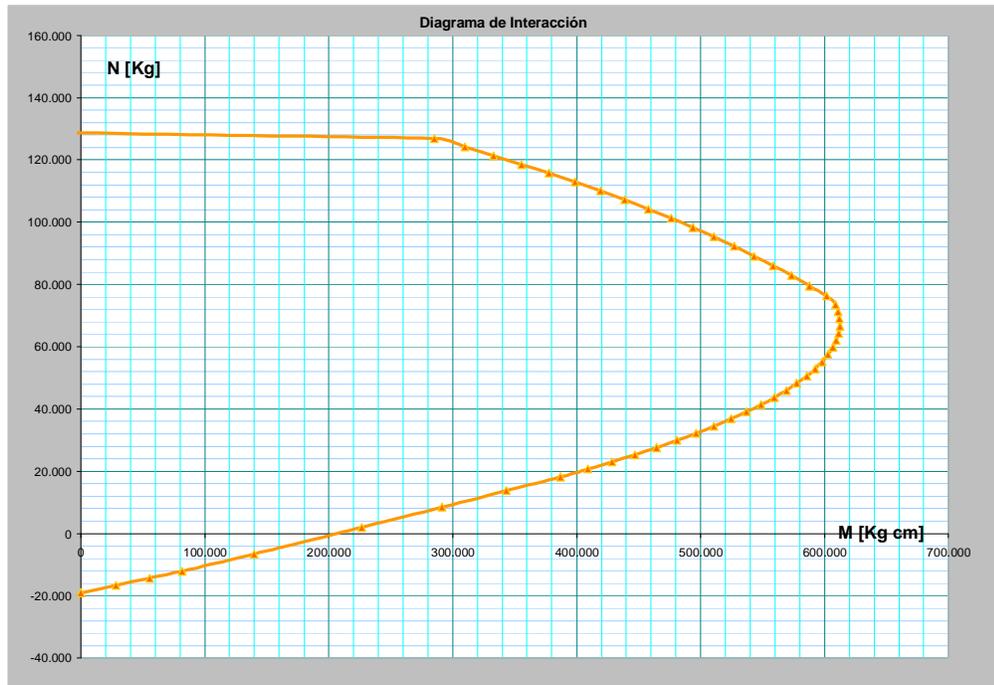


Gráfico C.2.7 Diagrama de Interacción para la columna de 60x25 cm, presente en el Módulo Anexo

**Anexo D**

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

MODELOS	MODOS					
	1	2	3	4	5	6
1	1,1047	1,000	0,9472	0,4423	0,3984	0,3645
2	0,3621	0,3501	0,2762	0,1598	0,1431	0,1092
3	0,3621	0,3501	0,2762	0,1598	0,1431	0,1092
4	0,3465	0,3282	0,2735	0,1581	0,1390	0,1087
5	0,3544	0,3014	0,2474	0,1589	0,1377	0,1165
6	0,3578	0,3332	0,2608	0,1619	0,1435	0,1337

Tabla D.1: Períodos de cada uno de los modos para todos los modelos

Masas Participativas Modelo 01						
Modos	En X	Suma X	En Y	Suma Y	Rotación	Suma Rotación
1	0,84	0,84	0,00	0,00	0,08	0,08
2	0,01	0,85	0,90	0,90	0,04	0,12
3	0,08	0,93	0,04	0,95	0,82	0,94
4	0,07	1,00	0,00	0,95	0,01	0,95
5	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00	0,95
6	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00

Tabla D.2.1: Masas participativas por Modo para el Modelo 01

Masas Participativas Modelo 02						
Modos	En X	Suma X	En Y	Suma Y	Rotación	Suma Rotación
1	0,00	0,00	0,82	0,82	0,00	0,00
2	0,60	0,61	0,01	0,83	0,31	0,31
3	0,32	0,93	0,00	0,83	0,61	0,92
4	0,00	0,93	0,17	1,00	0,00	0,92
5	0,05	0,98	0,00	1,00	0,03	0,96
6	0,02	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00

Tabla D.2.2: Masas participativas por Modo para el Modelo 02

Masas Participativas Modelo 03						
Modos	En X	Suma X	En Y	Suma Y	Rotación	Suma Rotación
1	0,00	0,00	0,82	0,82	0,00	0,00
2	0,60	0,61	0,01	0,83	0,31	0,31
3	0,32	0,93	0,00	0,83	0,61	0,92
4	0,00	0,93	0,17	1,00	0,00	0,92
5	0,05	0,98	0,00	1,00	0,03	0,96
6	0,02	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00

Tabla D.2.3: Masas participativas por Modo para el Modelo 03

<b>Masas Participativas Modelo 04</b>						
<b>Modos</b>	<b>En X</b>	<b>Suma X</b>	<b>En Y</b>	<b>Suma Y</b>	<b>Rotación</b>	<b>Suma Rotación</b>
<b>1</b>	0,00	0,00	0,83	0,83	0,00	0,00
<b>2</b>	0,64	0,65	0,00	0,83	0,28	0,28
<b>3</b>	0,29	0,94	0,00	0,83	0,65	0,93
<b>4</b>	0,00	0,94	0,17	1,00	0,00	0,93
<b>5</b>	0,04	0,98	0,00	1,00	0,03	0,96
<b>6</b>	0,02	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00

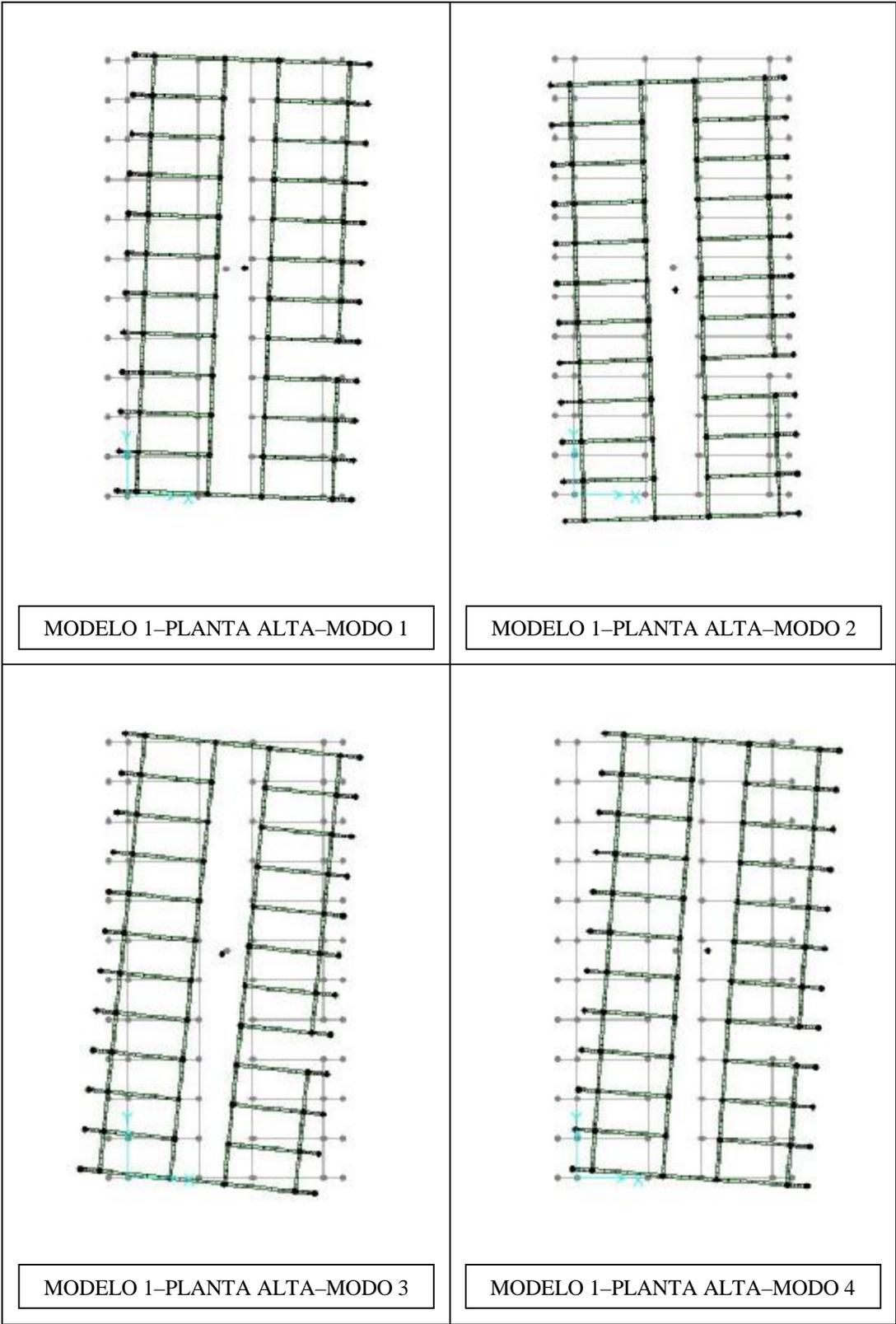
Tabla D.2.4: Masas participativas por Modo para el Modelo 04

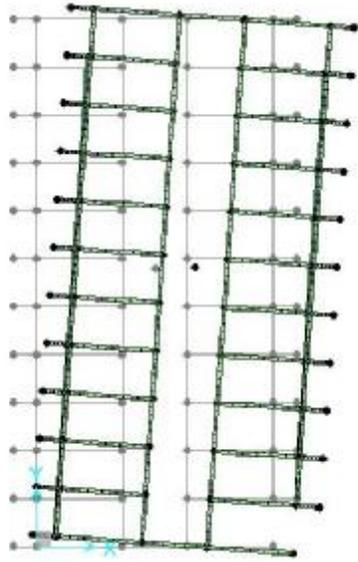
<b>Masas Participativas Modelo 05</b>						
<b>Modos</b>	<b>En X</b>	<b>Suma X</b>	<b>En Y</b>	<b>Suma Y</b>	<b>Rotación</b>	<b>Suma Rotación</b>
<b>1</b>	0,01	0,01	0,70	0,70	0,12	0,12
<b>2</b>	0,74	0,76	0,03	0,73	0,06	0,18
<b>3</b>	0,14	0,89	0,03	0,76	0,63	0,80
<b>4</b>	0,00	0,90	0,22	0,98	0,01	0,82
<b>5</b>	0,09	0,98	0,01	0,99	0,10	0,91
<b>6</b>	0,02	1,00	0,00	1,00	0,08	0,99

Tabla D.2.5: Masas participativas por Modo para el Modelo 05

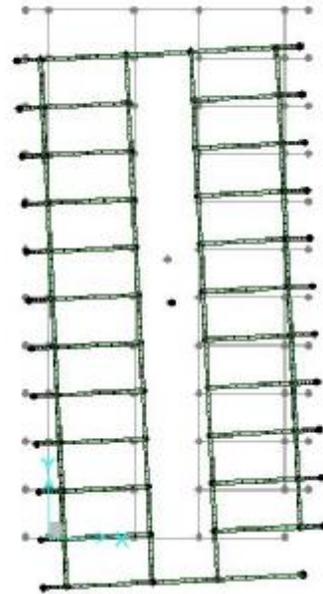
<b>Masas Participativas Modelo 06</b>						
<b>Modos</b>	<b>En X</b>	<b>Suma X</b>	<b>En Y</b>	<b>Suma Y</b>	<b>Rotación</b>	<b>Suma Rotación</b>
<b>1</b>	0,07	0,07	0,61	0,61	0,16	0,16
<b>2</b>	0,58	0,65	0,12	0,74	0,07	0,24
<b>3</b>	0,24	0,88	0,03	0,77	0,58	0,82
<b>4</b>	0,00	0,88	0,23	0,99	0,03	0,84
<b>5</b>	0,06	0,95	0,00	0,99	0,11	0,95
<b>6</b>	0,02	0,97	0,00	0,99	0,03	0,98

Tabla D.2.6: Masas participativas por Modo para el Modelo 06

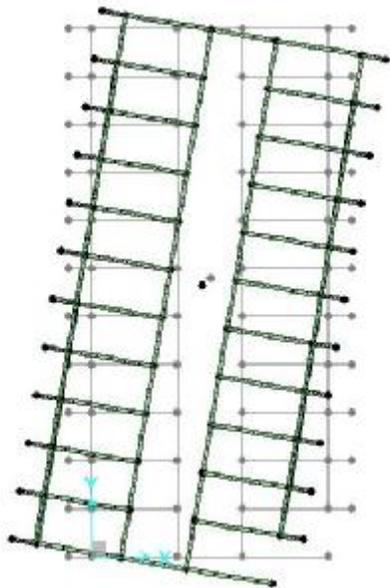




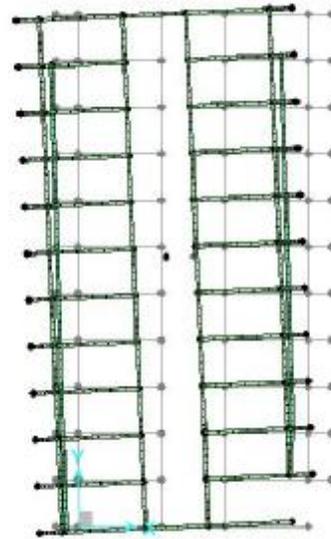
MODELO 1-PLANTA TECHO-MODO 1



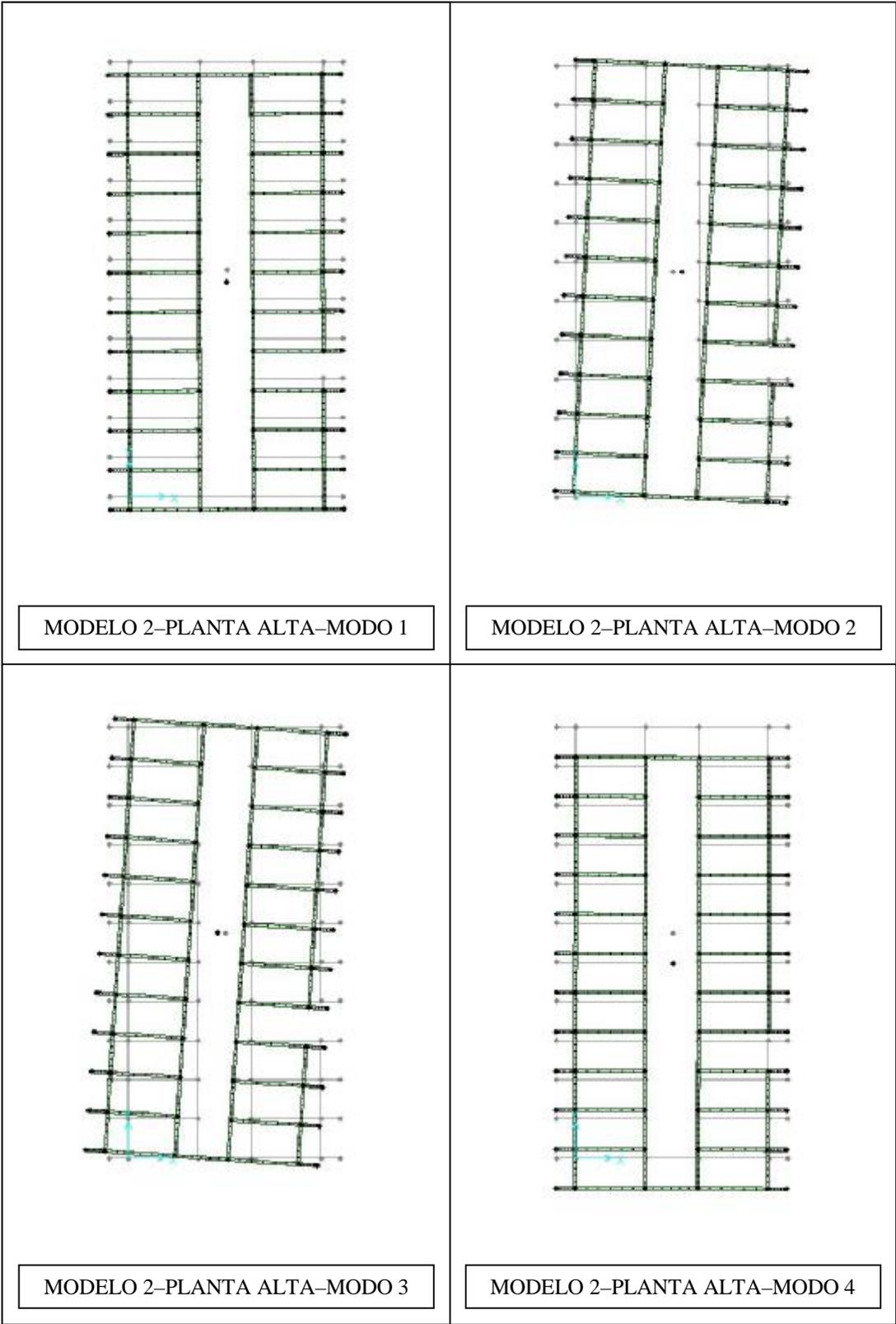
MODELO 1-PLANTA TECHO-MODO 2

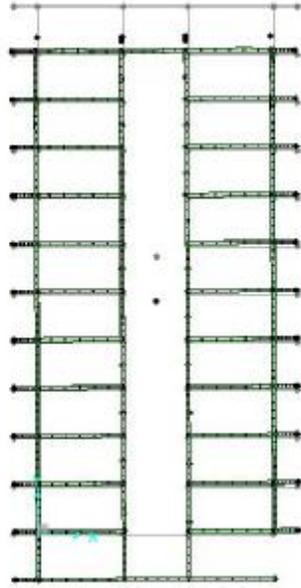


MODELO 1-PLANTA TECHO-MODO 3

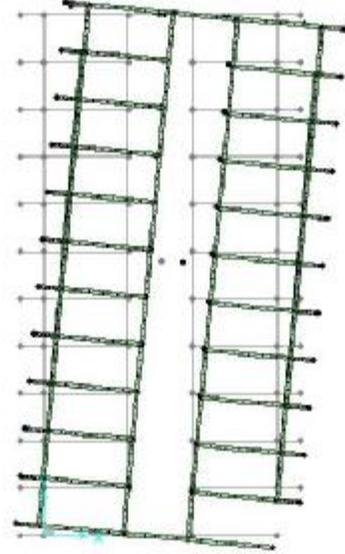


MODELO 1-PLANTA TECHO-MODO 4

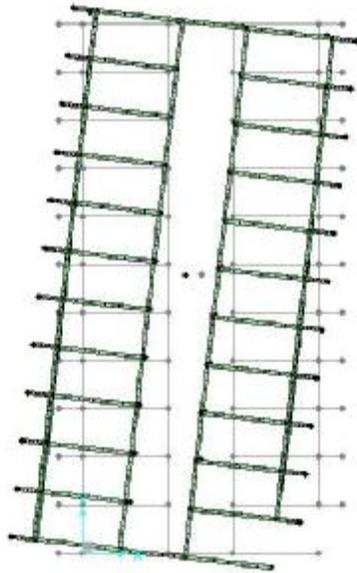




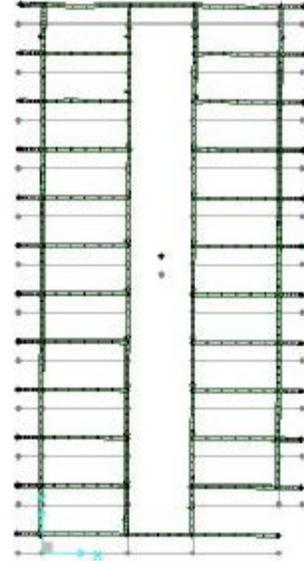
MODELO 2-PLANTA TECHO-MODO 1



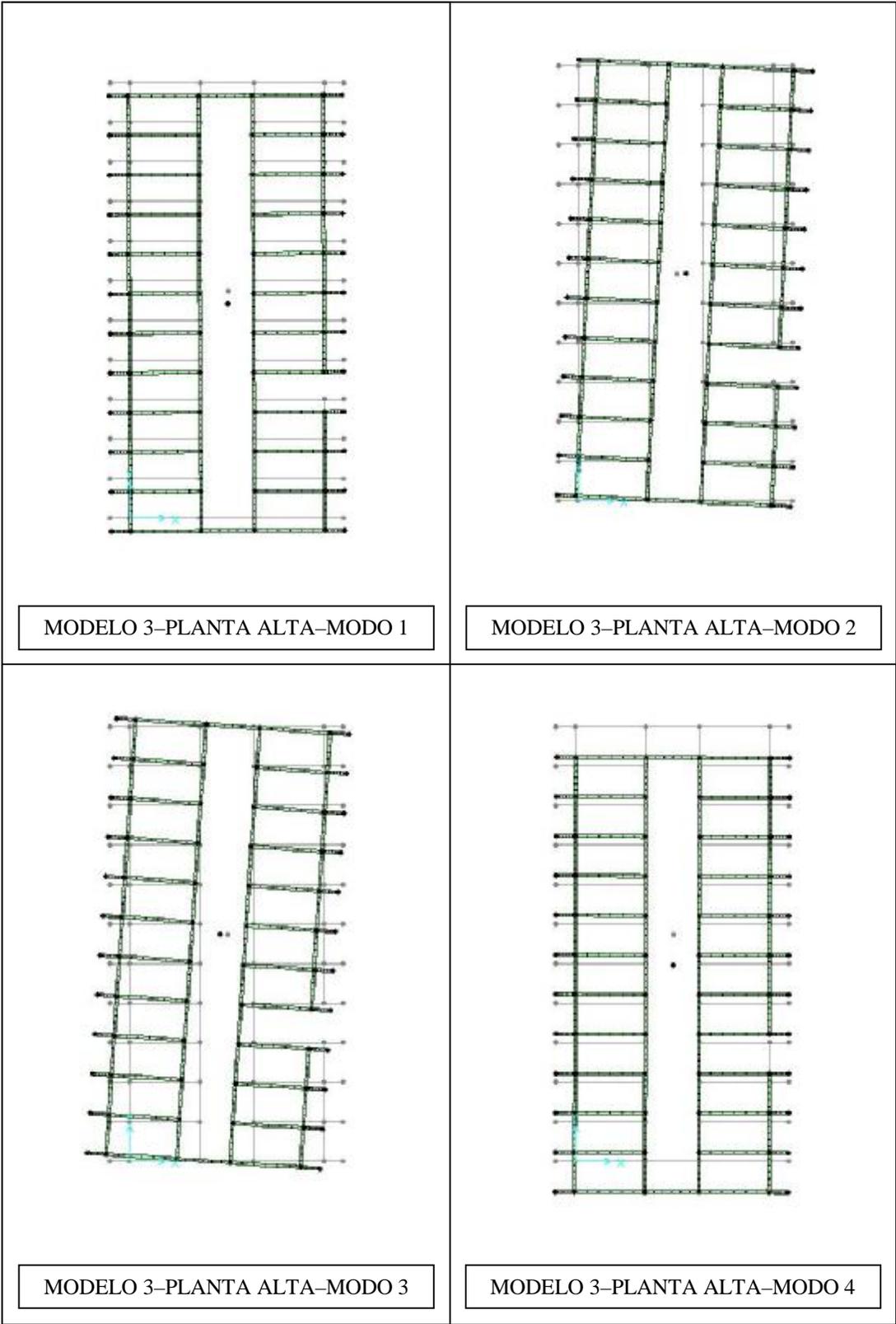
MODELO 2-PLANTA TECHO-MODO 2

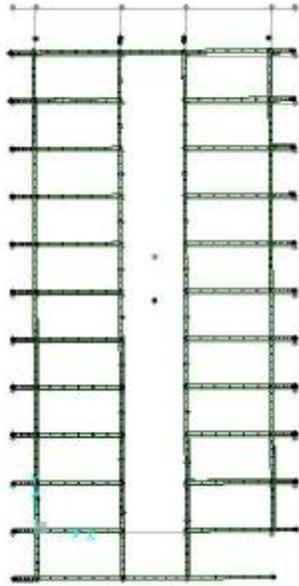


MODELO 2-PLANTA TECHO-MODO 3

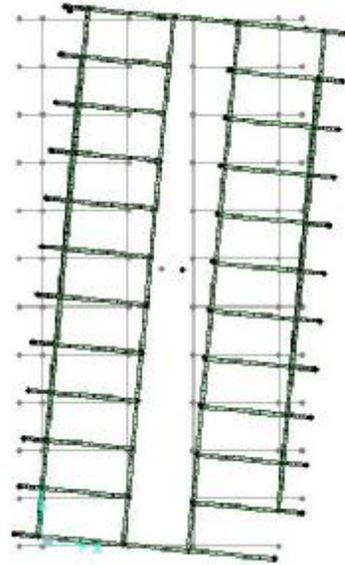


MODELO 2-PLANTA TECHO-MODO 4

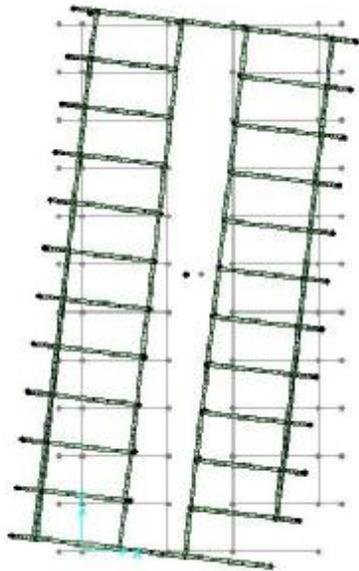




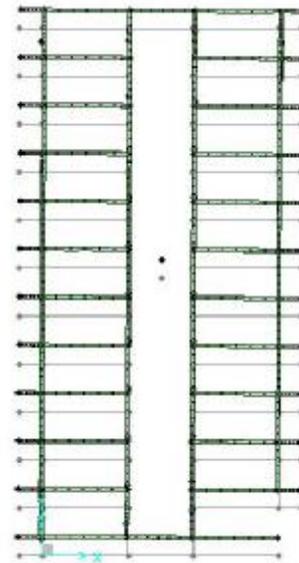
MODELO 3-PLANTA TECHO-MODO 1



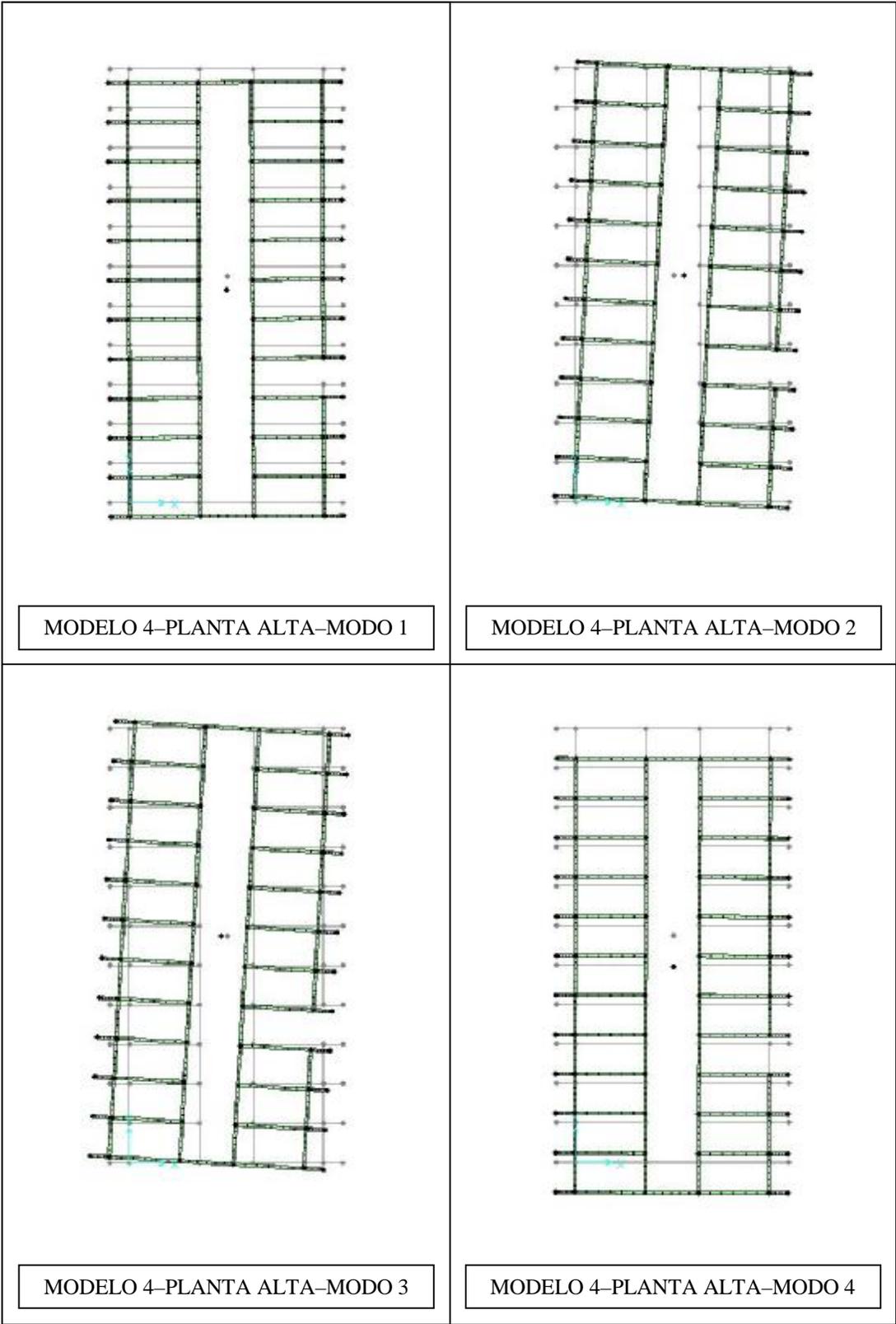
MODELO 3-PLANTA TECHO-MODO 2

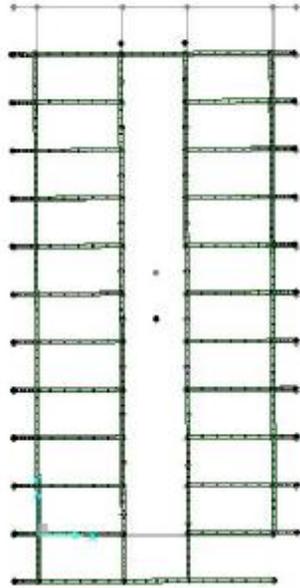


MODELO 3-PLANTA TECHO-MODO 3

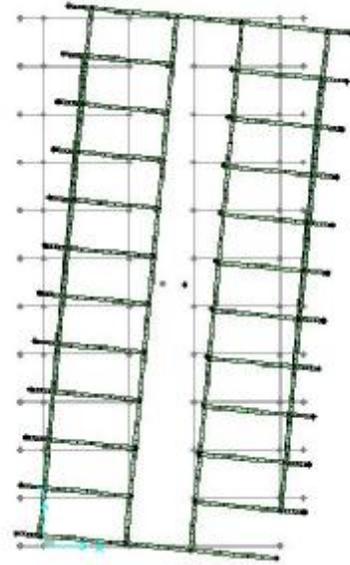


MODELO 3-PLANTA TECHO-MODO 4

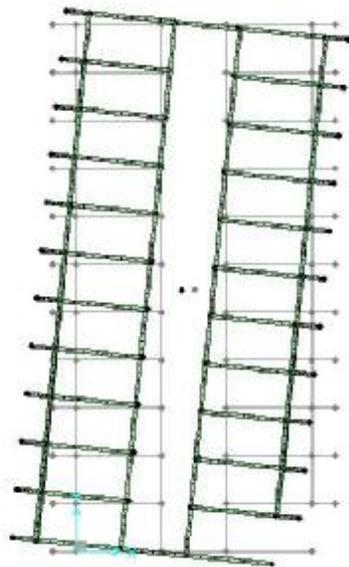




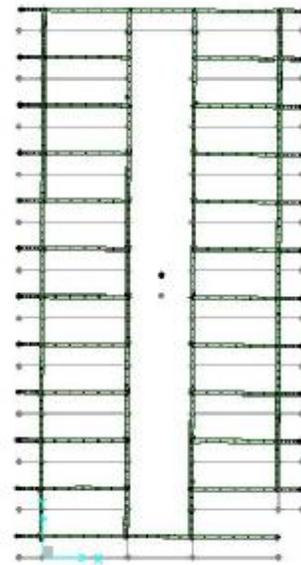
MODELO 4-PLANTA TECHO-MODO 1



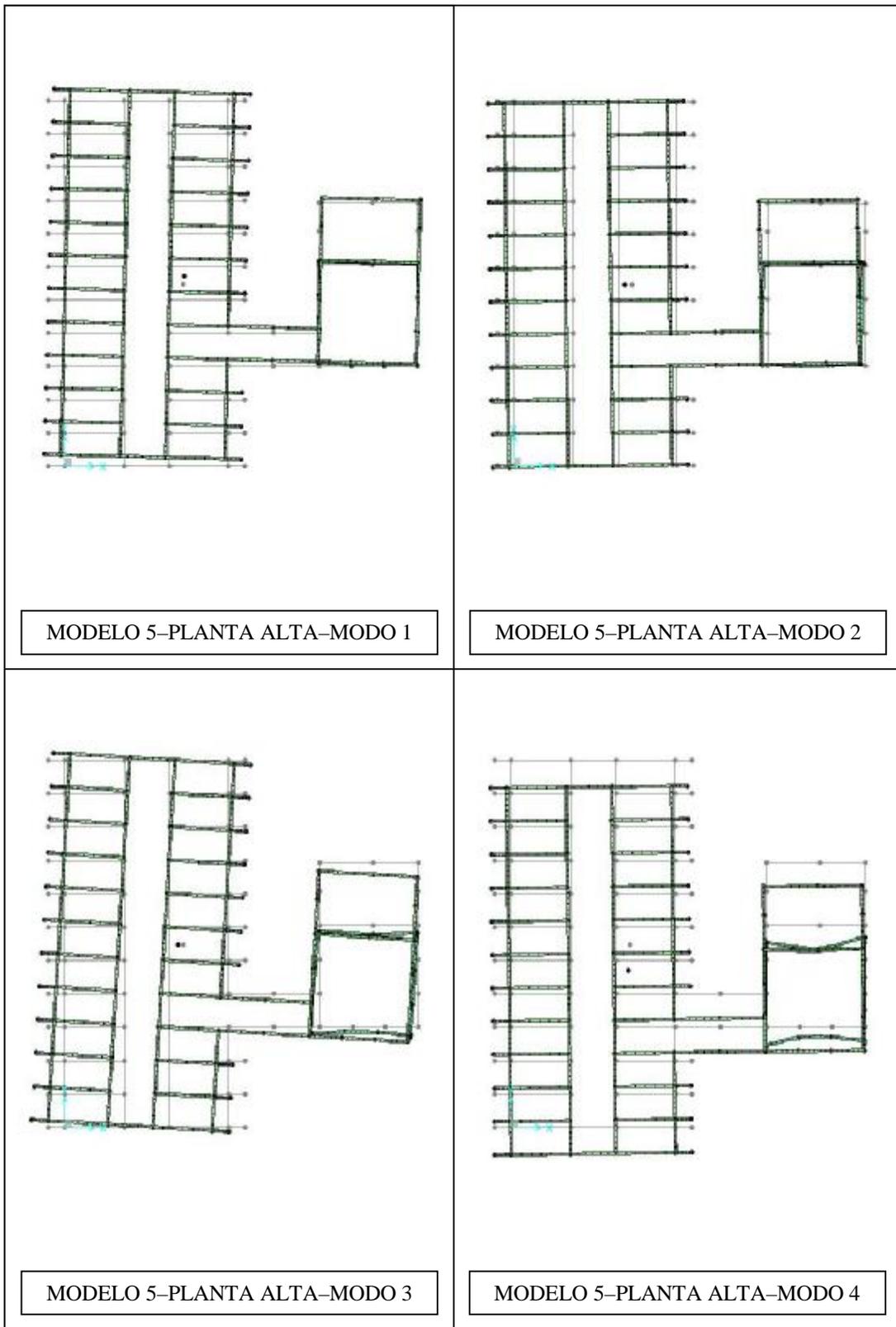
MODELO 4-PLANTA TECHO-MODO 2

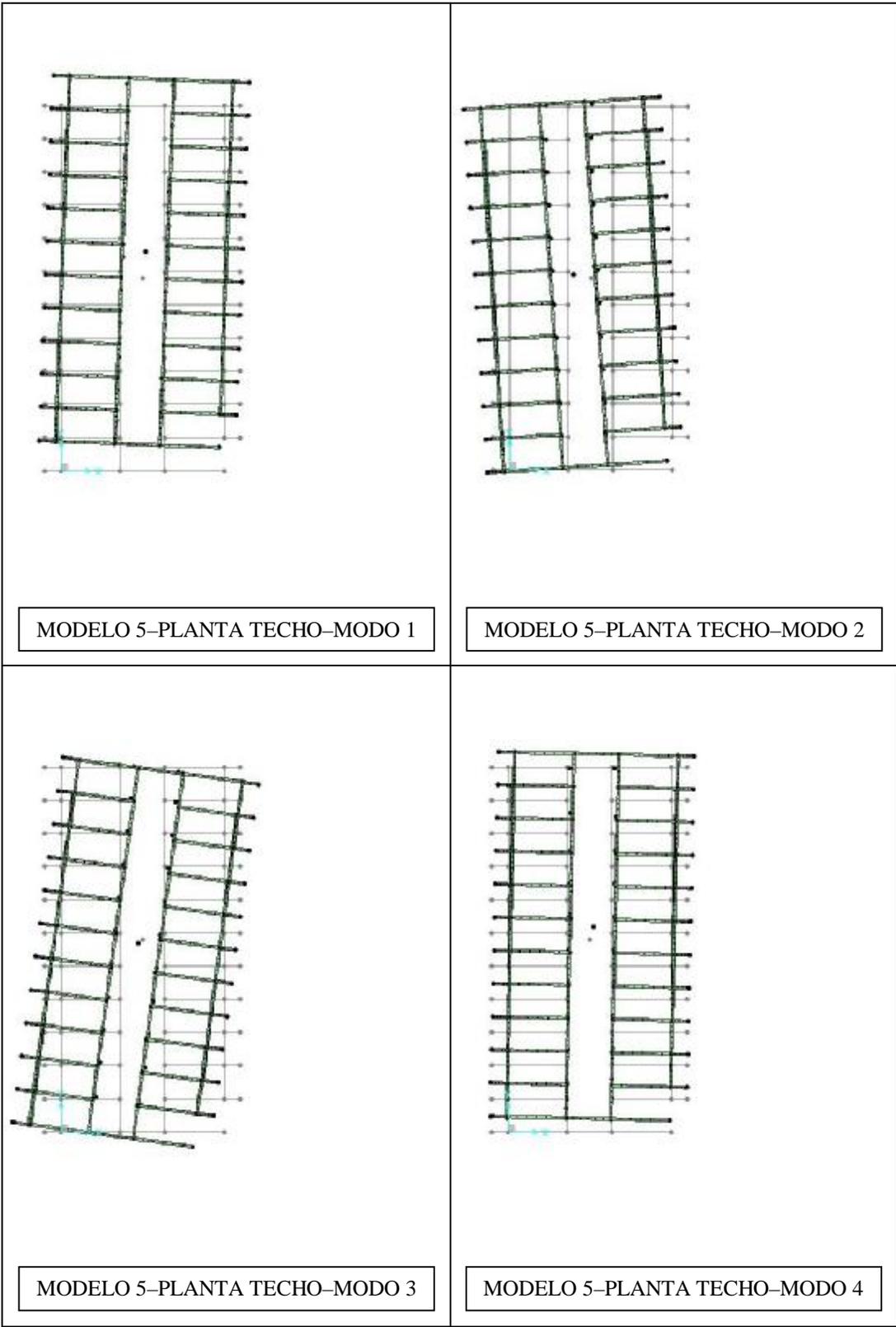


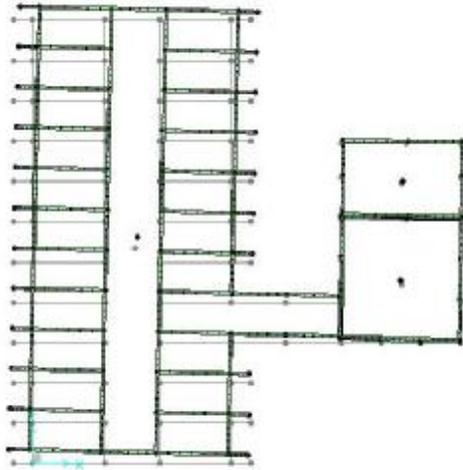
MODELO 4-PLANTA TECHO-MODO 3



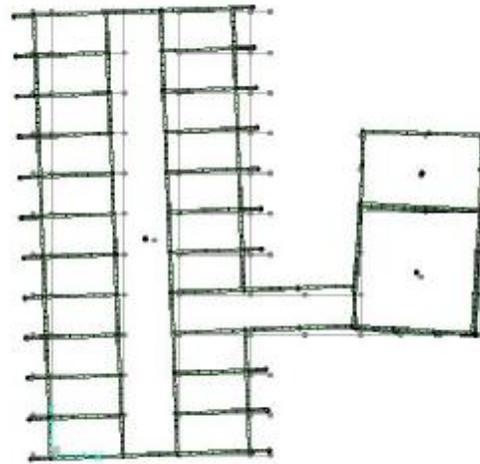
MODELO 4-PLANTA TECHO-MODO 4



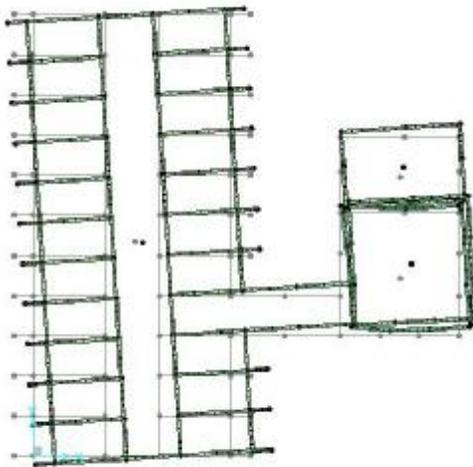




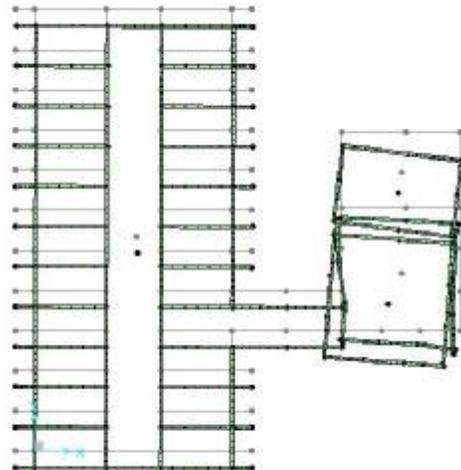
MODELO 6-PLANTA ALTA-MODO 1



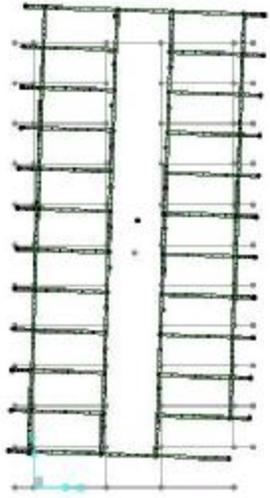
MODELO 6-PLANTA ALTA-MODO 2



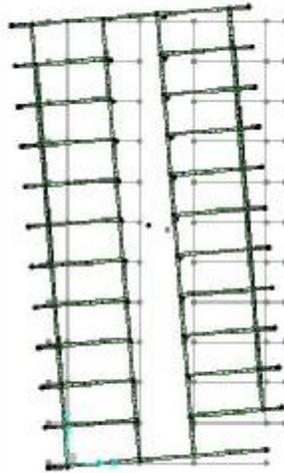
MODELO 6-PLANTA ALTA-MODO 3



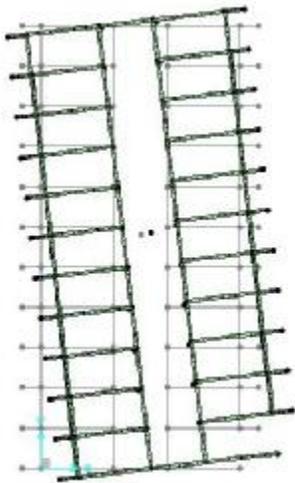
MODELO 6-PLANTA ALTA-MODO 4



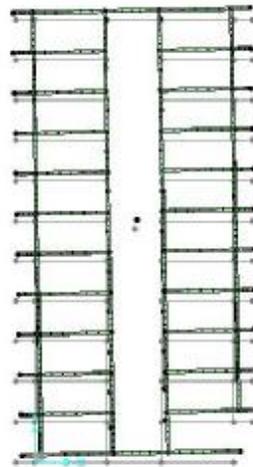
MODELO 6-PLANTA TECHO-MODO 1



MODELO 6-PLANTA TECHO-MODO 2



MODELO 6-PLANTA TECHO-MODO 3



MODELO 6-PLANTA TECHO-MODO 4

Evaluación del Riesgo Sísmico en Escuelas Tipo Antiguo II

MODELO 01			MODELO 02			MODELO 05		
R = 1	PE	PT	R = 1	PE	PT	R = 1	PE	PT
DERIVA X	44,84	28,85	DERIVA X	6,98	4,77	DERIVA X	5,93	4,80
DERIVA Y	38,60	18,53	DERIVA Y	4,24	5,05	DERIVA Y	4,56	4,92
R = 2	PE	PT	R = 2	PE	PT	R = 2	PE	PT
DERIVA X	35,87	23,08	DERIVA X	5,59	3,82	DERIVA X	3,06	3,88
DERIVA Y	30,88	14,83	DERIVA Y	3,40	4,03	DERIVA Y	3,70	3,98

Tabla D.3:Derivas Máximas por Nivel

		MODELO 01		
		DEMANDA (Kg)	CAPACIDAD (Kg)	DEMANDA/ CAPACIDAD
PB	Vx	862.080	260.209	3,31
	Vy	974.527	260.203	3,75
PA	Vx	509.827	278.209	1,83
	Vy	676.090	278.209	2,43

		MODELO 02		
		DEMANDA (Kg)	CAPACIDAD (Kg)	DEMANDA/ CAPACIDAD
PB	Vx	165.921	541.243	0,31
	Vy	446.081	584.344	0,76
PA	Vx	109.765	443.331	0,25
	Vy	619.392	488.507	1,27

		MODELO 04		
		DEMANDA (Kg)	CAPACIDAD (Kg)	DEMANDA/ CAPACIDAD
PB	Vx	143.589	543.857	0,264
	Vy	437.699	586.970	0,746
PA	Vx	107.460	443.256	0,242
	Vy	611.620	488.741	1,251
MA	Vx	158.765	124.131	1,279
	Vy	104.968	119.249	0,880

Tabla D.4:Demanda, Capacidad y la Relación entre los Mismos