

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES ESCOLARES TIPO MÓDULO BASE

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por las Brs.
Olivo E., Mary A.
Sucre E., María C.
Para optar el título de Ingeniero Civil

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES ESCOLARES TIPO MÓDULO BASE

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Oscar A. López

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por las Brs.
Olivo E., Mary A.
Sucre E., María C.
Para optar el título de Ingeniero Civil

Caracas, 2007

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado “*EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES ESCOLARES TIPO MÓDULO BASE*”, desarrollada por las bachilleres “Mary Ann Sinay Olivo Escobar” y “María Carolina Sucre Esperante” para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y en apariencia externa.

Considerando que cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, autorizo se proceda a la entrega de los ejemplares respectivos ante el Departamento de Ingeniería Estructural, para que sea sometido a evaluación por parte del jurado examinador que le sea designado.

En Caracas, a los veinticuatro días del mes de Octubre del año 2.007



Oscar A. López

ACTA

El día 07 - 11 - 2007 se reunió el jurado formado por los profesores:

Oscar A. Lopez
Angelo Marinilli
Norbento Fernandez

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES ESCOLARES TIPO MÓDULO BASE"

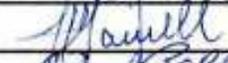
Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de: **INGENIERO CIVIL.**

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

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Número	Letras
Olivo E., Mary Ann	20	Veinte
Sucre E., María Carolina	20	Veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO


Caracas, 07 de 11 de 2007

DEDICATORIA

A mis padres, por enseñarme lo hermoso, inmenso, incondicional e invaluable que es el amor por un hijo, por su apoyo, dedicación, cariño, comprensión y todo el esfuerzo que han hecho por ser de mi la persona que hoy soy. Papá, que desde el cielo te has convertido es mi más fiel protector; mami eres admirable, en ti encontré una extraordinaria amiga, eres mi guía y mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos, por su amor y por su gran apoyo. Los amo gracias.

A mi familia, a mi abuela, a mis tíos y mis primos, por estar siempre allí y por haber confiado en mí.

A José, por su paciencia y su amor, por brindarme su apoyo incondicional y contribuir con este logro.

A mis grandes amigos, Yuman y Vanessa, por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas.

A Karina, Mariaca, Marcos, Alvaro, Adrian, Liss y Veru, que me acompañaron en mi carrera universitaria, gracias por su amistad y por todo los momentos hermosos que compartimos y que nos faltan por compartir, y que siempre prevalezca esa unión que tanto nos caracterizó.

A María Carolina, mi amiga y compañera de tesis, sin ti no estaría aquí.

Mary Ann S. Olivo E.

DEDICATORIA

A mis papás, por ser un modelo a seguir, por su cariño, esfuerzo, constancia y empeño en mi formación académica y humana, gracias a ellos soy lo que soy y estoy aquí. Los quiero demasiado.

A mis hermanas por su ejemplo y dedicación, porque a pesar de todo son un apoyo para mí. También las quiero demasiado.

A Homero y a Porquería porque son parte de mí.

A César, sin sus palabras no hubiera estudiado esta carrera.

A mis amigos de Civil no solo por la paciencia que han tenido conmigo en más de la mitad de la carrera, sino por su amistad, por todo lo que han hecho por mí, porque significan mucho para mí, por cambiar mi vida, sin ellos nada habría sido igual: Alvaro, Veru, Liss, Karina, Marielita, Wadih, el morocho, Mariaca, Marcos y Adrián.

A mi compañera de tesis Mary Ann, porque encontré en ella una gran amiga.

María Carolina Sucre E.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios y a la Virgen, por iluminarnos y guiarnos en nuestras vidas, colmándonos de bendiciones.

A nuestros papás por su apoyo incondicional, por habernos dado todo lo mejor y confiar en nosotras plenamente, por ellos hemos logrado esta meta.

Al Profesor Oscar López por apoyarnos y orientarnos durante todo el desarrollo de esta investigación, gracias a él pudimos llevar a cabo el trabajo de grado con éxito.

A los Profesores César Peñuela, Eliud Hernández y Norberto Fernández, quienes nos ayudaron en algunas etapas del proyecto.

A Robert, Leonel, Karina, Dayana, el morocho, Manuel, César, José, Yuman, Change, Will, Adrián y Marcos, quienes nos brindaron su ayuda desinteresada.

Gracias a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con este proyecto

**Olivo E., Mary A.
Sucre E., María C.**

**“EVALUACIÓN SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES ESCOLARES
TIPO MÓDULO BASE”**

**Tutor Académico: Prof. Oscar A. López. TESIS. Caracas, UCV. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2007. N°. Páginas 178**

Palabras Clave: Sismos, riesgo, respuesta sísmica, edificación escolares
existentes tipo módulo base

RESUMEN

Las escuelas son edificaciones que deben ser capaces de resistir los sismos, en cualquier zona donde se encuentren. La reacción que debe presentar este tipo de estructuras, debe ser aquella con un comportamiento admisible, es decir, donde los daños sean pocos y así prevenir los posibles accidentes de las personas que conforman la Institución. Se ha estudiado a nivel mundial la vulnerabilidad sísmica que presentan las edificaciones escolares y se ha comprobado los altos riesgos que este tipo de estructuras presentan, ya sea por su geometría arquitectónica o estructural.

El objeto de este estudio es evaluar el riesgo sísmico presente en una edificación escolar tipo Módulo Base, tomando como ejemplo la U. E. N. Padre Sojo, y fundamentándose en las experiencias adquiridas acerca de los daños ocasionados en distintas edificaciones escolares de otros tipos ya investigadas y estudiadas anteriormente, y así establecer algunas recomendaciones generales para reducir su vulnerabilidad sísmica hasta niveles aceptados por las normas vigentes. La investigación tuvo su inicio en la búsqueda de información acerca del tema, se procedió con el levantamiento geométrico de la edificación con el fin de determinar las características y propiedades de los elementos estructurales y no estructurales, llevando a cabo simultáneamente una comparación con otras edificaciones escolares de este tipo. A continuación, se elaboraron tres modelos matemáticos donde se reflejó el comportamiento dinámico del plantel ante sismos normativos, obteniéndose un considerable riesgo sísmico, por lo que se recomendó realizar una investigación futura con el fin de llevar a cabo una adecuación estructural adecuada tomando en cuenta la rigidez aportada por las paredes.

Por último es importante señalar que este estudio implica un gran aporte en todos aquellos proyectos relacionados con la evaluación del riesgo sísmico de edificaciones escolares, además de formar parte de un Proyecto de alcance Nacional donde se permite una posible adecuación estructural de dichas edificaciones o la construcción de nuevas instituciones educacionales con condiciones sismorresistentes.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1 Planteamiento del Problema.....	1
I.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
I.3 Aportes.....	6
I.3.1 Relevancia para la Ciencia, la Ingeniería o la Tecnología.....	6
I.3.2 Relevancia para la Sociedad.....	6
I.3.3 Relevancia para la Persona	7
I.3.4 Relevancia para la Institución.....	8
I.4 Alcances y Limitaciones.....	9

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II.1 Dinámica estructural.....	10
II.2 Amortiguamiento.....	11
II.3 Tipos de excitación dinámica	11
II.4 Sistemas Dinámicos de un Grado de Libertad.....	12
II.4.1 Vibración libre no amortiguada.....	12
II.4.2 Vibración libre amortiguada.....	13
II.4.3 Vibraciones forzadas armónicas.....	13
II.4.4 Vibraciones transitorias.....	13
II.4.5 Excitación en la base.....	13
II.5 Sismos.....	14
II.5.1 Causas de los temblores.....	14
II.5.2 Ondas sísmicas.....	15
II.5.3 Magnitud del sismo.....	15
II.5.4 Intensidad del sismo	16

II.5.5 Efecto de las condiciones locales del suelo.....	16
II.6 Estudios de Amenaza Sísmica.....	16
II.7 Sismorresistencia.....	19
II.8 Sistemas Inelásticos de un Grado de Libertad.....	19
II.8.1 Respuesta Histerética.....	20
II.8.2 Modelos Matemáticos de Histéresis.....	21
II.8.3 Conceptos Básicos.....	22
II.9 Métodos de Análisis.....	24
II.9.1 Método de Superposición Modal de un grado de libertad por nivel.....	24
II.9.2 Método de la Torsión Estática Equivalente.....	24
II.9.3 Método de Análisis Dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel...	24

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS

III.1 Preparación previa o búsqueda de información relacionada con el área de sismorresistencia.....	25
III.2 Inspecciones Efectuadas.....	25
III.3 Levantamiento de un archivo fotográfico.....	28
III.4 Levantamiento geométrico de la edificación.....	29
III.5 Identificación de los materiales que componen los edificios....	29
III.6 Elaboración de planos del edificio.....	30
III.7 Elaboración de modelos matemáticos.....	31
III.8 Análisis dinámico del edificio.....	32
III.9 Riesgo sísmico.....	32
III.10 Recomendaciones para la adecuación sismorresistente.....	33

CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES TIPO MÓDULO BASE

IV.1 Sistemas Tipo Módulo Base.....	34
IV.2 U. E. N. Padre Sojo.....	35

IV.3 U. E. N. Julio Bustamante.....	39
IV.4 E. B. N. Fernando Peñalver.....	41
IV.5 E. B. N. Elías Rodríguez.....	45
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DETALLADO DE LA U. E. N. PADRE SOJO	
V.1 Descripción de la edificación.....	52
V.2 Estado actual de la edificación.....	64
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS SÍSMICO DE LA U. E. N. PADRE SOJO	
VI. 1 Análisis de Carga.....	69
VI. 2 Espectro de Diseño.....	73
VI. 3 Modelos Matemáticos.....	76
VI. 4 Relación Demanda / Capacidad.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXO A.....	92
ANEXO B.....	111
ANEXO C.....	130
ANEXO D.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV.1 Esquema de un sistema tipo módulo base. a la derecha, dimensiones típicas de una agrupación I – 1 y del módulo de la escalera.....	34
Figura IV.2 Junta de construcción entre el módulo de la escalera y el edificio Sur de la U. E. N. Padre Sojo. La imagen pertenece al último nivel donde puede observarse la separación que presenta dicha junta.....	36
Figura IV.3 Fachada Norte de la U. E. N. Padre Sojo. Se aprecia la dimensión 6,90 m y el volado de 3,40 m. Al fondo se encuentra la U. E. N. Julio Bustamante.....	37
Figura IV.4 Fachada Este de la U. E. N. Padre Sojo. Fotografía tomada desde el patio interno de la escuela. Se observa la presencia de paredes de ventilación, parasoles y planta baja libre del edificio Norte.....	38
Figura IV.5 Fachada Oeste de la U. E. N. Padre Sojo. Se observan las paredes de ventilación en el módulo de la escalera.....	39
Figura IV.6 Fotografía satelital donde se muestra la ubicación relativa de la U. E. N. Padre Sojo y la U. E. N. Julio Bustamante, respecto a los 4 puntos cardinales.....	40
Figura IV.7 Fachada Este de la U. E. N. Julio Bustamante. Se observa el pórtico adicional que dicha edificación presenta y el Refuerzo colocado en el mismo.....	40

Figura IV.8 Fachada Este de la U. E. N. Julio Bustamante. Se observa el módulo de la escalera y los refuerzos de la edificación.....	41
Figura IV.9 Fotografía satelital donde se muestra la ubicación de La E. B. N. Fernando Peñalver respecto a los 4 puntos cardinales.....	42
Figura IV.10 Vista general y junta de construcción entre los dos edificios con una separación de 7 cm. E. B. N. Fernando Peñalver.....	42
Figura IV.11 A la izquierda se encuentran las escaleras, se observa claramente las diferentes distancias entre ejes. E. B. N. Fernando Peñalver.....	43
Figura IV.12 Escaleras de acceso a los niveles superiores. En la imagen se puede apreciar la presencia de vigas altas en ambas direcciones. E. B. N. Fernando Peñalver.....	44
Figura IV.13 Fotografía satelital donde se muestra la ubicación de La E. B. N. Elías Rodríguez respecto a los 4 puntos cardinales.....	45
Figura IV.14 Imagen tomada desde el patio central. Se observa la junta entre las columnas de 45 cm. x 45 cm. y las rejas de ventilación con parasoles metálicos.....	46
Figura IV.15 A la izquierda se observa uno de los módulos Independientes de la escalera, a la derecha se observa el otro; ambos con paredes de ventilación. También se observan las estructuras anexas en la imagen derecha. E. B. N. Elías Rodríguez.....	47
Figura IV.16 Imagen tomada desde el patio central hacia el edificio Este del E. B. N. Elías Rodríguez.....	48

Figura V.1 Imagen 3D de la U. E. N. Padre Sojo.....	52
Figura V.2 Imagen de la Fachada Norte, donde se aprecian los 4 niveles estructurales con dimensiones de 6,90 m. y el volado de 3,40 m. U. E. N. Padre Sojo.....	53
Figura V.3 Fachada Sur y entrada principal de la U. E. N. Padre Sojo....	54
Figura V.4 Fachada Este de la U. E. N. Padre Sojo. Vista desde el patio central del plantel.....	54
Figura V.5 Fachada Oeste de la U. E. N. Padre Sojo. En el medio del plano se observa el módulo de la escalera	55
Figura V.6 Fachada Norte de la U. E. N. Padre Sojo	55
Figura V.7 Imagen tomada desde el patio central hacia el edificio Norte de la U. E. N. Padre Sojo. Se observa la planta baja libre.....	56
Figura V.8 Edificio Central o módulo independiente de la escalera.....	56
Figura V.9 Imagen tomada desde el Módulo de la escalera hacia el edificio Sur, donde se aprecian las vigas altas en ambas direcciones y la columna C4.....	57
Figura V.10 Nivel Planta Baja de la U. E. N. Padre Sojo.....	58
Figura V.11 Nivel 1 de la U. E. N. Padre Sojo	58
Figura V.12 Nivel 2 de la U. E. N. Padre Sojo.....	59
Figura V.13 Nivel 3 de la U. E. N. Padre Sojo.....	59

Figura V.14 A la izquierda imagen del detector de metales sobre la columna B1 en la fachada sur, cerca del nodo. A la derecha, la misma columna pero en el medio, donde puede apreciarse el cambio de separación de las ligaduras.....	61
Figura V.15 A la izquierda imagen del detector de metales sobre la columna B3 en la cara Oeste, cerca del nodo. A la derecha, la misma columna pero en el medio, donde puede apreciarse el cambio de separación de las ligaduras.....	61
Figura V.16 Imagen del detector de metales sobre la viga alta del módulo de la escalera 3' (B' – C'), cerca del nodo en la cara Norte.....	62
Figura V.17 Tabiquería constituida por bloques de arcilla. Imagen tomada en la fachada Sur, entrada principal de la U. E. N. Padre Sojo....	63
Figura V.18 Pared de ventilación del 3º piso, donde se pone en evidencia el refuerzo.....	63
Figura V.19 Edificio Norte, el cual presenta grietas en el volado del nivel 1 y en la columna que sostiene dicho volado.....	64
Figura V.20 Grieta en el volado del nivel 1 del Edificio Norte.....	65
Figura V.21 Grietas en la columna que sostiene parte del volado del nivel 1 del Edificio Norte.....	65
Figura V.22 Las tres imágenes fueron tomadas desde el patio central hacia el módulo de la escalera. En ellas se aprecian las grietas causadas por la separación natural a nivel de las juntas de construcción.....	66

Figura V.23 A la izquierda se observa la junta del Edificio Norte y a la derecha la junta del Edificio Sur en la parte superior de la losa del nivel 1.....	67
Figura V.24 Junta del Edificio Norte en la parte inferior de la losa del nivel 2.....	68
Figura V.25 Junta del edificio Sur en el nivel 3. En las imágenes se observa la gran separación localizada en el último piso del plantel.....	68
Figura VI.1 Esquema de número de niveles de la U. E. N. Padre Sojo...	71
Figura VI.2 Espectro de Diseño utilizado para el análisis sísmico.....	75
Figura VI.3 Denominación de las columnas de Planta Baja.....	80
Figura VI.4 Diagrama de Interacción para la primera opción de Área de acero.....	84
Figura VI.5 Diagrama de Interacción para la segunda opción de Área de acero.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1 Etapas mínimas a realizar en un estudio de Amenaza sísmica.....	17
Tabla IV.1 Comparación entre planteles inspeccionados.....	49
Tabla VI.1 Pesos unitarios probables de la edificación.....	69
Tabla VI.2 Fórmulas para determinar propiedades inerciales.....	70
Tabla VI.3 Propiedades geométricas de la U. E. N. Padre Sojo por nivel. Las figuras indican paredes por debajo del nivel.....	71
Tabla VI.4 Datos utilizados en la clasificación de la estructura.....	73
Tabla VI.5 Datos utilizados en la elaboración del Espectro.....	74
Tabla VI.6 Períodos en segundos de cada Modo de vibración.....	77
Tabla VI.7 Desplazamientos Totales (cm.) del Centro de Masa en dirección “X” y en dirección “Y” en cada nivel.....	77
Tabla VI.8 Derivas máximas producidas en dirección “X” y en dirección “Y” en cada nivel.....	78
Tabla VI.9 Demanda de Fuerza Cortante (tf.) en las columnas de la Planta Baja en dirección “X” y “Y”	81

Tabla VI.10 Cortante resistente para una falla por corte o falla frágil con separación de 12,5 cm. (cerca del nodo) y con separación de 25 cm. (en el centro de la columna)	82
Tabla VI.11 Cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil con las dos opciones de áreas de acero.....	85
Tabla VI.12 Relación Demanda / Capacidad.....	86

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

I.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, la actividad sísmica ha sido motivo de estudio para muchos investigadores interesados en esta área, debido a los grandes daños que este fenómeno natural puede llegar a causar en determinadas edificaciones.

Según García (1998), la amenaza sísmica puede ser estudiada de diversas formas, una de ellas tiene como objeto fijar parámetros de diseño para construir estructuras sismorresistentes en base a Normas referentes al tema; esto conduce a la elaboración de mapas de zonificación sísmica donde se comparen edificaciones construidas con las mismas condiciones establecidas en las Normas que hayan sido utilizadas.

Las escuelas son edificaciones que deben ser capaces de resistir los sismos, en cualquier zona donde se encuentren. (López; Hernández; Del Re y Puig - 2004). La reacción que debe presentar este tipo de estructuras, debe ser aquella con un comportamiento admisible, es decir, donde los daños sean pocos y así prevenir los posibles accidentes de las personas que conforman la Institución.

Se ha estudiado a nivel mundial la vulnerabilidad sísmica que presentan las edificaciones escolares y se ha comprobado los altos riesgos que este tipo de estructuras presentan (López et al. - 2004), ya sea por su geometría arquitectónica o estructural.

Asimismo, se han podido comprobar las hipótesis de algunas Investigaciones que se han realizado acerca del daño considerable que se produce en las escuelas debido a problemas estructurales (Lee; Abou y López – 2005)

En una investigación realizada por López et al. (2004) se observa que a través del tiempo se ha podido comprobar a escala natural las consecuencias que llevan consigo los problemas estructurales de las edificaciones escolares, hecho que se ha visto reflejado en terremotos recientes; como por ejemplo el que ocurrió en Boumerdès, Argelia en el año 2003, donde el 30% de las edificaciones escolares inspeccionadas sufrieron daños severos; así como también, aquél que ocurrió en Turquía en el mismo año, donde *“de un grupo de 28 edificaciones escolares inspeccionadas se observó que 3 tuvieron daño ligero o no tuvieron daño, 12 tuvieron daño moderado, 10 daño severo y 3 se derrumbaron totalmente causando la muerte de numerosos niños mientras dormían”*. (López et al. - 2004)

En general, se ha observado que gran parte de los daños ocasionados por sismos se deben a problemas estructurales como: presencia de columnas cortas, falta de confinamientos en columnas, falta de refuerzo transversal, entre otras. (Rodríguez; Figuera y Bolívar – 2000).

En Venezuela, la actividad sísmica es medida y analizada, principalmente, por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), organismo que se ha preocupado por estudiar la alta vulnerabilidad sísmica del país. El terremoto de Caracas en 1967, fue el punto de partida de FUNVISIS para crear junto con COVENIN la Norma 1756:2001 - *Edificaciones Sismorresistentes*, la cual sirve de guía en el diseño de todo lo relacionado con las construcciones sismorresistentes en Venezuela.

Estas Normas introducen en la construcción un concepto nuevo y diferente a las Normas anteriores, donde los criterios sismorresistentes no eran tan limitantes en el diseño de cualquier edificación.

En el terremoto de Cariaco ocurrido en 1997, se ven reflejados los resultados del uso de Normas previas a la Norma 1756:2001, donde fue ocasionado el derrumbe de cuatro edificaciones escolares de concreto armado (López et al. - 2004), dos de ellas correspondían a la escuela primaria “VALENTÍN VALIENTE” y las otras dos formaban parte del “LICEO RAIMUNDO MARTÍNEZ CENTENO”.

Estos dos centros educacionales son el mejor ejemplo que Venezuela tiene para poder demostrar las deficiencias estructurales que presentan las edificaciones escolares para resistir un sismo, como mala configuración, mal detallado, poca rigidez y resistencia lateral, baja capacidad para disipar energía y pobre construcción, entre otras (Rodríguez; Figuera y Bolívar – 2000). El derrumbe de estas edificaciones escolares dio pauta a que en Venezuela se generara una preocupación severa acerca de la seguridad de este tipo de estructuras; partiendo de esta experiencia se deriva el estudio de otros tipos de edificaciones escolares con graves deficiencias a nivel sismorresistente que merecen una adecuación sísmica, tal como se desea lograr con esta investigación.

El objeto de este estudio es conocer la vulnerabilidad sísmica presente en una edificación escolar tipo Módulo Base, tomando como ejemplo la U. E. N. Padre Sojo, y fundamentándose en las experiencias adquiridas acerca de los daños ocasionados en distintas edificaciones escolares de otros tipos ya investigadas y estudiadas anteriormente.

En base a esto, puede realizarse una comparación de la U. E. N. Padre Sojo con otras edificaciones escolares tipo Módulo Base, con el fin de determinar sus

semejanzas geométricas y estructurales, y con esto realizar un análisis comparativo con parámetros justificados. Estas semejanzas y diferencias pueden obtenerse mediante la comparación con escuelas tales como la U. E. N. Julio Bustamante, entre otras; dicho recinto escolar se encuentra ubicado enfrente de la escuela en estudio.

Por último, es importante señalar que esta investigación forma parte de un Proyecto de alcance nacional, coordinado directamente por el Profesor Oscar A. López, el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), junto con FEDE - Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (organismo adscrito al Ministerio de Educación), y FONACIT – Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (organismo adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología). Este hecho permite denominar a los estudiantes como Investigadores de este Gran Proyecto, por esta razón es trascendental que se lleve a cabo este estudio acerca de la Reducción de Riesgos Sísmicos en Edificaciones Escolares Tipo Módulo Base.

I.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el riesgo sísmico presente en una edificación escolar tipo Módulo Base con objeto de establecer algunas recomendaciones generales para reducir su vulnerabilidad sísmica.

1.2.2 Objetivos Específicos

1.2.2.1.- Describir las características y propiedades de los elementos estructurales y no estructurales de la escuela tipo Módulo Base.

1.2.2.2.- Comparar la similitud geométrica y estructural entre la “U. E. N. PADRE SOJO” y otras edificaciones escolares tipo Módulo Base, tal como la “U. E. N. JULIO BUSTAMANTE”.

1.2.2.3.- Desarrollar un modelo matemático representativo de la edificación a partir de los datos obtenidos en el levantamiento geométrico y estructural de la escuela.

1.2.2.4.- Determinar la respuesta de la estructura a los sismos definidos en las Normas Nacionales de Diseño Sismorresistente.

1.2.2.5.- Evaluar el riesgo sísmico que presenta la “U. E. N. PADRE SOJO”, ante la acción de los movimientos sísmicos.

I.3 Aportes

I.3.1.- Relevancia para la Ciencia, la Ingeniería o la Tecnología

El estudio a realizar implica un gran aporte en todos aquellos proyectos relacionados con la evaluación del riesgo sísmico de edificaciones escolares, pues se llevará a cabo una serie de investigaciones que contribuirán con posibles futuros refuerzos estructurales de las escuelas ya existentes, y mejoras en las nuevas construcciones de edificaciones escolares.

Como este trabajo consiste en recopilar toda la información necesaria de la edificación escolar en estudio, para llevar a cabo un análisis sísmico del mismo, esto conduce al conocimiento preciso del déficit estructural que no sólo dicha edificación presenta, sino todas aquellas similares a ella, vulnerables a los mismos riesgos ante la acción de un fenómeno natural tan desgarrador como lo es un sismo.

Además, este estudio forma parte de un Proyecto de alcance Nacional, por medio del cual se dotarán a las instituciones escolares todas aquellas características sismorresistentes que deben poseer para disminuir su riesgo.

I.3.2.- Relevancia para la Sociedad

Podría decirse que es relevante para casi toda la sociedad relacionada con instituciones escolares, ya sean maestros, profesores, cuerpo directivo, personal técnico y obrero, estudiantes, padres, representantes, entre otros; ya que la razón de ser de este trabajo es la disminución del grado de vulnerabilidad sísmica de estas estructuras, y con ello evitar el índice considerable de pérdidas de vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo en Venezuela.

Además, siendo Venezuela un país con zonas altamente sísmicas, es importante que las construcciones civiles sean capaces de soportar y mantenerse durante el efecto de un sismo, dado que su ocurrencia puede ser en cualquier momento. Asimismo, las personas deben estar concientes de los daños que puede llegar a ocasionar un fenómeno natural de tal envergadura, por lo que es primordial que tengan la información necesaria acerca de si el recinto donde laboran, estudian, o simplemente se encuentran es un lugar seguro en el momento de un terremoto.

Por ello con esta investigación se pretende tener un alcance donde se permita el reforzamiento de edificaciones escolares o la construcción de nuevas instituciones educacionales con condiciones sismorresistentes, en base a las conclusiones y recomendaciones dadas al término de este Proyecto.

I.3.3.- Relevancia para la Persona

La Ingeniería Sismorresistente, es una rama de la Ingeniería Civil muy específica donde se adquieren conocimientos acerca de condiciones estructurales que atribuyen a las construcciones civiles cualidades que las hagan soportar el efecto de un sismo. Igualmente, el Ingeniero Sismorresistente se encuentra en capacidad de diseñar cualquier edificación segura y confortable para los seres humanos que formarán parte de esta estructura. Realizar esta investigación en el área de Sismorresistencia significa adquirir todos esos conocimientos antes mencionados y esa capacidad de diseño que cualquier Ingeniero Civil es apto de conseguir.

Por esa razón, elaborar un estudio que forme parte de un Proyecto de alcance nacional, y que consista, resumidamente, en establecer algunas recomendaciones para reducir el riesgo sísmico de una edificación escolar es satisfactorio para nosotras. Es un estudio que abarca las expectativas de cualquier estudiante de Ingeniería Civil que realmente desee aplicar los conocimientos adquiridos durante

la carrera, y verlos reflejados en un propósito que mejore las condiciones estructurales de Centros Educativos de Venezuela.

I.3.4.- Relevancia para la Institución

Este estudio significa un aporte para el Proyecto Escuelas, el cual se está iniciando con este gran trabajo, donde algunos estudiantes de la Universidad Central de Venezuela somos partícipes junto al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales y la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas.

Este Proyecto de Alcance Nacional resalta el nombre de nuestra querida Casa de Estudios, poniendo en alto su nombre y categoría académica y humana, pues el objeto de esta investigación es la mejora global en el país de sistemas estructurales que formen parte activa de Instituciones Escolares de cualquier tipo.

Igualmente, este estudio es muy significativo porque se tiene como objeto proponer medidas y recomendaciones para la adecuación sísmica de edificaciones escolares tipo Módulo Base, logrando obtener sistemas estructurales con un comportamiento sismorresistente adecuado.

1.4 Alcances y Limitaciones

La Reducción del Riesgo Sísmico en sistemas estructurales es un tópico de suma relevancia en la construcción de obras civiles, ya que el propósito de cualquier Ingeniero Civil dedicado al diseño, construcción y/o mantenimiento de edificaciones o cualquier otra obra, es ofrecer y garantizar plena seguridad a los usuarios de dichas estructuras.

Este trabajo está proyectado más que todo al análisis de una edificación escolar existente, la U. E. Padre Sojo, modelo similar a muchas más edificaciones escolares presentes en Venezuela, las llamadas Tipo Módulo Base. El Alcance de este Proyecto es dar inicio a un estudio global por todo el país, con el propósito de llevar a cabo mejoras en las instituciones escolares; este hecho conlleva a resguardar millones de vidas humanas que cotidianamente asisten a dichas edificaciones para laborar o estudiar.

El Proyecto se basa fundamentalmente en dar pie a un gran trabajo nacional, sin embargo, se limita al estudio de una sola edificación que pueda ser comparada, bajo ciertos parámetros geométricos y estructurales, con otras estructuras similares, es decir, que solamente se lleva a cabo el análisis sísmico de una institución escolar, la U. E. N. Padre Sojo, y con ello se proponen ciertas recomendaciones pertinentes.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

II.1 Dinámica Estructural

Según García (1998), la Dinámica Estructural es una rama de la física que estudia las vibraciones de cuerpos flexibles. En algunos casos las deformaciones relativas son tan pequeñas, que pueden aplicarse los principios de la dinámica para cuerpos rígidos.

De acuerdo a la Dinámica Estructural, el número de grados de libertad de un sistema es el número mínimo de coordenadas necesarias para definir la posición de una partícula en el espacio y en el tiempo. (Paz – 1992).

“La masa y el peso son características propias de cualquier sistema estructural; la masa es una medida de la cantidad de materia y el peso es una medida de la fuerza necesaria para impartir una aceleración dada a una masa”. (García - 1998).

Las deformaciones ocurren por la acción de fuerzas externas, ya sean estáticas o dinámicas, impartidas en cualquier cuerpo elástico. La rigidez viene dada por la relación entre estas fuerzas externas y las deformaciones producidas; por lo tanto, puede decirse que la rigidez es la relación entre las fuerzas y los desplazamientos. La rigidez también puede definirse como la “fuerza que debe aplicarse al sistema para obtener una deformación unitaria en la misma dirección y sentido de la carga”. (Bazán y Meli - 1999).

II.2 Amortiguamiento

Las fuerzas de amortiguamiento son todas aquellas fuerzas que producen pérdidas de energía en todo cuerpo en movimiento, el cual tiende a disminuir con el tiempo, debido a estas pérdidas. Existen muchas formas para describir los fenómenos de amortiguamiento, tal como el amortiguamiento viscoso, el amortiguamiento de Coulomb y el amortiguamiento histerético. (Paz – 1992)

“El amortiguamiento histerético está asociado a la histéresis, fenómeno por medio del cual dos o más propiedades físicas se relacionan de una manera que depende de la historia de su comportamiento previo. Este tipo de amortiguamiento se presenta cuando un elemento estructural es sometido a inversiones en el sentido de la carga aplicada cuando el material del elemento se encuentra en el rango inelástico o no lineal”. (García - 1998).

El comportamiento histerético de los elementos estructurales puede describirse por medio del modelo elastoplástico, modelo relativamente sencillo. Sin embargo, la gran mayoría de los casos requieren modelos matemáticos más complejos para describir este comportamiento (Paz - 1992).

II.3 Tipos de Excitación Dinámica

Todos los elementos estructurales a lo largo de su vida útil sufren excitaciones dinámicas, las cuales se clasifican de acuerdo al ente causante de la misma. Por lo tanto, se tiene que la excitación dinámica puede ser causada por:

- Equipos mecánicos.
- Impacto.

- Explosiones.
- Viento.
- Olas de mar.
- Sismos.

La excitación dinámica debida a sismos se define como el efecto que tienen los movimientos del terreno sobre las estructuras. Dichos movimientos conducen a vibraciones importantes de la estructura. (García - 1998).

II.4 Sistemas Dinámicos de un Grado de Libertad

II.4.1 Vibración libre no amortiguada

Esta vibración se logra introduciendo un desplazamiento y una velocidad inicial a una masa cualquiera, para lograr que dicha masa oscile con un movimiento periódico a partir del momento en que se introdujeron estas condiciones iniciales. Con estos resultados se obtiene un gráfico del desplazamiento de la masa con respecto al tiempo, donde se observa que se trata de un movimiento periódico. (García - 1998).

Esta periodicidad hace que el valor de x sea el mismo cada $(2\pi/\omega)$ segundos. Por lo tanto, es posible definir los siguientes términos:

ω = frecuencia natural del sistema en radianes por segundo (rad/seg).

f = frecuencia natural del sistema en ciclos por segundo o Hertz (Hz ó 1/s).

T = período natural del sistema en segundos (seg).

II.4.2 Vibración libre amortiguada

Este tipo de vibración produce movimientos oscilatorios, los cuales tienden a disminuir con el tiempo hasta desaparecer. Esto trae como consecuencia que parte de la energía se disipe. Este amortiguamiento se debe a la fricción de la masa sobre la superficie de apoyo y al efecto del aire que rodea la masa, el cual tiende a impedir que ocurra el movimiento. Este tipo de vibración se puede describir mediante un sistema lineal amortiguado de un grado de libertad. (García - 1998).

II.4.3 Vibraciones forzadas armónicas

Éste consiste en un sistema de un grado de libertad a cuya masa se le aplica una fuerza que varía en el tiempo con una periodicidad constante. (García - 1998).

II.4.4 Vibraciones transitorias

Se trata de un sistema de un grado de libertad que se ve afectado por una excitación que no es ni periódica ni armónica, lo cual representa un grado de complejidad mayor. (García - 1998).

II.4.5 Excitación en la base

Los sismos inducen este tipo de respuesta del sistema, donde la excitación proviene de un movimiento en su base. (García - 1998).

II.5 Sismos

II.5.1 Causas de los temblores.

- Tectónicas y sismicidad global → La corteza terrestre consta de una serie de fragmentos que en la tierra se conoce con el nombre de placas tectónicas. Hay fuerzas bajo la corteza terrestre que hacen que estas placas tectónicas se muevan algunos centímetros por año. En ciertas regiones dichas placas se están separando, este movimiento relativo entre placas tectónicas colindantes, acumula energía hasta un momento en el cual causa una fractura en la roca, liberando abruptamente esta energía acumulada, la cual se manifiesta con la generación de ondas sísmicas. (García - 1998).
- Fallas geológicas → Las fallas activas son aquellas fallas geológicas capaces de producir sismos. *“Cuando la energía acumulada vence la fricción proveniente de las fallas se presenta un deslizamiento súbito, asociado con la liberación de la energía acumulada, lo cual produce el sismo”*. (García - 1998).
- Mecanismo focal → El hipocentro es el punto donde se inicia la ruptura y la liberación de energía del sismo; el epicentro es la proyección del sismo sobre la superficie terrestre y la profundidad focal es la profundidad del hipocentro (García - 1998).
- Premonitorios y réplicas → Los premonitorios se tratan de aquellos sismos que ocurren antes de un sismo de gran magnitud. De igual manera, las réplicas son aquellos sismos que ocurren con posterioridad a un sismo importante. (García - 1998).

II.5.2 Ondas sísmicas

Según Bazán y Meli (1999), la energía liberada por el sismo se propaga por medio de varios tipos de ondas sísmicas. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- Ondas P (primarias u ondas de dilatación): son aquellas generadas en el punto de ruptura, manifiestan desplazamientos de las partículas en la misma dirección de la propagación de la onda.
- Ondas S (secundarias u ondas de cortante): son aquellas que manifiestan desplazamientos de las partículas en la dirección perpendicular a la dirección de propagación.
- Ondas R (Rayleigh): Son ondas de superficie y producen movimientos circulares.
- Ondas L (Love): Son ondas de superficie que producen movimientos horizontales transversales a la dirección de propagación.

II.5.3 Magnitud del sismo

El sismógrafo es un instrumento utilizado para registrar sismos que ocurren a distancias considerables; el registro obtenido por este instrumento se denomina sismograma, el cual se emplea para calcular la magnitud del sismo, medida de la energía liberada por él. Esta definición fue elaborada por C. Richter en 1935, de ahí su nombre de Magnitud de Richter.

La magnitud es una escala que no tiene ni mínimo ni máximo aunque existe un límite superior impuesto por las características mecánicas de las rocas que componen la corteza terrestre. La magnitud máxima registrada hasta la actualidad ha sido del orden de 8,9. (García - 1998).

II.5.4 Intensidad del sismo

La intensidad de un sismo se mide de manera subjetiva de acuerdo a los efectos que causa el mismo en un lugar determinado. Esta medición se realiza por medio de observadores, que en base a los daños observados, asignan la intensidad para cada sitio. La escala más utilizada es la de Mercalli modificada (IMM). En esta escala, la intensidad posee valores que van de uno (I-MM) a doce (XII-MM). Una vez se ha determinado la intensidad en diferentes lugares, es posible definir un *mapa de isosistas* en el cual se dibujan contornos de áreas afectadas por la misma intensidad. (Bazán y Meli - 1999).

II.5.5 Efecto de las condiciones locales del suelo

El efecto de los sismos se ve influenciado enormemente por las características locales del suelo, en la zona afectada. En general, cuando la estructura se asienta en un terreno rígido, se ha observado un mayor nivel de daño en estructuras rígidas que en estructuras flexibles. Así como también, se ha observado un mayor daño en estructuras flexibles cuando se encuentra sobre un suelo blando.

II.6 Estudios de Amenaza Sísmica

Existen diversos estudios de amenaza sísmica de acuerdo al objeto de la investigación, uno de ellos son aquellos que se realizan para obras de gran importancia, cuya falla debido a un sismo puede ser catastrófica. Otro tipo, corresponde a aquellos que se realizan siguiendo las especificaciones de Normas acerca de construcción sismorresistente. Un tercer tipo corresponde a los estudios de microzonificación, en los cuales una ciudad, o una región se estudia con respecto a la respuesta sísmica esperada en diferentes lugares, agrupando en microzonas aquellas sitios que tienen características similares. La Tabla II.6.1

muestra las etapas mínimas que deben realizarse en el momento que se desee elaborar un estudio de amenaza sísmica. (García - 1998).

Tabla II.1 - Etapas mínimas a realizar en un estudio de amenaza sísmica

Etapas mínimas a realizar en un estudio de amenaza sísmica	Obras Importantes	Mapas de Amenaza para Normas sísmicas	Estudios de Microzonificación
Consideraciones geológicas			
1. Obtención de la información geológica existente sobre la región.	X	X	X
2. Compilación de las fallas activas en la región.	X	X	X
3. Trabajo de campo cuando se requiera.	X		X
4. Elaboración de mapas de la geología estructural.	X		X
5. Exploraciones por métodos geofísicos.	X		X
6. Descripción de deslizamientos, asentamientos, doblamientos de estratos, inundaciones por avenidas o tsunamis en el lugar.	X		X
7. Verificación del nivel freático.	X		X
Información Sismológica			
1. Documentación detallada de la historia sísmica de la región.	X	X	X
2. Elaboración de curvas de recurrencia de la frecuencia de sismos regionales.	X	X	X
3. Estudio de los registros acelerográficos disponibles.	X		X
4. Elaboración de estimados de la máxima intensidad de Mercalli en terreno firme.	X		X
Definición de los sismos de diseño			

1. Definir curvas de recurrencia de los parámetros relevantes del sismo de diseño.	X	X	X
2. Definir las fallas geológicas.	X		X
3. Elaborar mapas donde se agrupen aquellas regiones o sitios donde los parámetros de los sismos de diseño tienen valores semejantes, conformando así zonas de amenaza sísmica similar.		X	
Estudios Geotécnicos			
1. Identificación y estudio de aspectos geotécnicos y geológicos locales.	X		X
2. Estudio de las propiedades de los suelos superficiales que afecten la decisión del tipo de fundaciones a emplear.	X		X
3. Definición de las propiedades del suelo.	X		X
4. Determinación de las velocidades de las ondas P y S.	X		X
5. Definición de unas curvas de transferencia de los suelos localizados entre rocas y la superficie.	X		X
6. Estudio de los efectos de amplificación generados por accidentes topográficos.	X		X
7. Síntesis de los resultados agrupando en zonas de características de amplificación o reamplificación similares.			X

Fuente: García L., 1998

La evaluación de amenaza depende fundamentalmente de los datos obtenidos y del análisis estadístico que se realice. Un aspecto importante dentro de la evaluación de amenaza es la vulnerabilidad sísmica de una estructura, la cual corresponde al grado o nivel de daño esperado ante una amenaza sísmica conocida o preestablecida. Como puede observarse, el riesgo sísmico de una edificación depende de su vulnerabilidad, por lo tanto, se requiere una evaluación de la vulnerabilidad actual de la estructura como todo un conjunto (Grases; López; y Hernández – 1987).

II.7 Sismorresistencia

El objetivo de diseñar y construir sistemas estructurales sismorresistentes radica en la importancia de crear elementos que resistan de manera adecuada la intensidad de cualquier sismo, esperando de ellos una respuesta dentro de un límite que permita la reparación de la estructura a un costo razonable. Cuando el sismo sea de mayor intensidad es deseable evitar el colapso, aunque los daños producidos en dicha estructura sean irreparables. (Lee y Abou – 2005).

Para lograr este efecto, debe garantizarse en el diseño, que el sistema estructural va a ser capaz de disipar el exceso de energía proveniente del sismo, deformándose plásticamente; esto es posible, si los elementos estructurales y sus conexiones poseen una capacidad de deformación inelástica adecuada. (Bazán y Meli - 1999).

Como puede observarse, en la sismorresistencia se admite que la estructura va a entrar en el rango inelástico. Por lo tanto, se acepta que se produzcan deformaciones permanentes, y consecuentemente daños, más o menos importantes, pero que nunca lleguen a provocar el colapso de la estructura. Es decir, la sismorresistencia 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. (Lee y Abou – 2005).

II.8 - Sistemas Inelásticos de un Grado de Libertad

Según Chopra (2005), el estudio de la Dinámica Estructural no debe limitarse a sistemas linealmente elásticos, pues reduce su rango de aplicación; la razón es que la gran mayoría de los materiales estructurales muestran características

inelásticas, tal como el concreto, el cual es inelástico en casi todo el rango útil de esfuerzos. Además, en la respuesta de estructuras sometidas a los efectos de sismos fuertes, es probable que éstas actúen más allá del rango elástico; permitiendo que parte de la energía se disipe, reduciendo la energía que se convierte en energía cinética y disminuyendo las fuerzas inerciales.

La formulación de un modelo matemático que permita estudiar la respuesta inelástica de sistemas dinámicos, depende fundamentalmente de cómo actúa cada material estructural en particular. Un aspecto importante en la capacidad de un material de responder dinámicamente en el rango inelástico está asociado con la ausencia de modos frágiles de fallas. (Paz - 1992).

Cuando se presenta una falla frágil, deben buscarse maneras de disponer y diseñar los materiales estructurales para que respondan dinámicamente en el rango inelástico, sin pérdida grave de la resistencia y estabilidad del sistema estructural. (Lee y Abou – 2005).

Esta particularidad de los materiales de resistir deformaciones en el rango inelástico sin fallar, se define como ductilidad y tenacidad. Con el fin de los materiales estructurales posean repuestas dinámicas inelásticas adecuadas, ésta deben ser diseñadas y detalladas de tal manera que tengan una ductilidad y tenacidad apropiada. (García – 1998).

II.8.1 Respuesta Histerética

“La elasticidad de un material se define como la capacidad que tiene dicho material de volver a sus dimensiones originales, después de que se haya retirado una fuerza impuesta recobrando totalmente la forma que tenía antes de imponer la fuerza” (García – 1998). Un material inelástico es aquel donde la descarga posee

una trayectoria diferente a la de la carga, presentando deformaciones permanentes. Prácticamente todos los materiales presentan las dos características, hecho que se observa en las curvas de las relaciones esfuerzo-deformación en todo el rango de esfuerzos posibles, hasta fallar.

El área bajo la curva esfuerzo-deformación de cualquier material que se lleva hasta la falla, corresponde a la tenacidad del material y representa la capacidad del material para absorber energía por unidad de volumen. Entre mayor sea el área bajo la curva, el material tiene mayor tenacidad. (Bazán y Meli - 1999).

“Cuando al material se le imponen una serie de ciclos de carga, descarga, y carga en el sentido opuesto, en los cuales los esfuerzos sobrepasan el límite elástico del material, se obtiene el comportamiento con el nombre de Respuesta Histerética. Una gran parte de la energía que es capaz de disipar el material estructural en el rango inelástico de respuesta se asocia con el área comprendida dentro de los ciclos de histéresis”. (García – 1998).

II.8.2 Modelos Matemáticos de Histéresis

El comportamiento inelástico de elementos estructurales depende de ciertas variables, por ello se formula un modelo matemático que permita describir el fenómeno a investigar. A continuación se presentan 2 de los modelos matemáticos de histéresis. (García – 1998).

Elastoplástico → Se trata del modelo más simple para describir la histéresis de curvas fuerza-desplazamiento. Dentro de este modelo, el material se comporta como un material totalmente elástico hasta llegar al nivel de la fuerza de fluencia f_y ; a partir de este punto hay deformación sin que se presente un aumento en la fuerza. Cuando se aplica este modelo, debe tomarse en cuenta 2 aspectos

importantes: en primer lugar, la determinación del instante en que se presenta la plastificación, y luego, la determinación del momento en que ocurre una reversión en la carga, iniciándose la descarga. (García – 1998).

Modelo de Ramberg-Osgood → Se trata de un modelo de histéresis desarrollado en 1943 por W. Ramberg y W. R. Osgood, el cual se ajusta a las curvas fuerza-deformación de varios materiales. La definición de f_y y u_y , está basada en la medición del límite proporcional en el ensayo de un material inelástico por el método del corrimiento. (García – 1998).

Según García (1998), no existen grandes diferencias entre el Modelo Elastoplástico y el Modelo de Ramberg-Osgood en cuanto a las respuestas obtenidas, expresadas en términos de desplazamiento. La diferencia se encuentra en que, en el Modelo Elastoplástico la energía disipada y la forma en que se llega a la fluencia se obtiene de una manera más sencilla que utilizando el otro modelo.

II.8.3 Conceptos Básicos

Ductilidad → Es la capacidad que tiene un material estructural de resistir ciertas deformaciones conduciéndolo más allá del límite elástico, sin llevarlo hasta la falla. *“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”.* (Lee y Abou – 2005)

Tenacidad → Es la capacidad de resistir una serie de oscilaciones en el rango inelástico sin que se presente una disminución crítica de su resistencia. (González; Robles; Casillas y Díaz de Cossío - 1974).

Capacidad de disipación de energía → En un sistema inelástico de un grado de libertad, la capacidad de disipación de energía corresponde a la capacidad que tiene dicho sistema para reducir las fuerzas solicitadas de un valor que tendría el mismo si éste permaneciera elástico, a un cierto valor de fluencia. (González et. al - 1974).

Coeficiente de capacidad de disipación de energía → Este valor depende del tipo de sistema estructural y de las características de capacidad de disipación de energía propias del material estructural que se utiliza en el sistema. *“Es una medida de la capacidad de disipación de energía general del sistema de resistencia sísmica cuando los movimientos sísmicos hacen que responda inelásticamente”*. (González et. al - 1974).

Mecanismo de falla dúctil → Se desea que la estructura falle dúctilmente, eso significa que es capaz de resistir deformaciones plásticas sin perder su capacidad resistente. En estructuras de concreto armado, el detallado del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal es muy importante, pues de ello depende que se desarrollen mecanismos dúctiles. (Lee y Abou – 2005)

Mecanismo de falla frágil → Es causado por fallas de fuerzas cortantes de forma repentina, de ahí la razón que no sea la más deseable. Además, no permite deformaciones inelásticas capaces de disipar energía. En concreto armado el efecto de columna corta es uno de los mecanismos de falla más frecuentes. (Lee y Abou – 2005)

Efectos de Torsión Global de la estructura → Este efecto se produce cuando no coincide el centro de masa y el centro de torsión o de rigidez en una planta de una edificación, debido a una falta de simetría de la misma o a una distribución no uniforme de las masas. (Lee y Abou – 2005)

II.9 Métodos de Análisis

Los métodos de análisis consisten en representaciones que permiten hallar la respuesta de una determinada estructura ante el efecto de un sismo. Dichos métodos se clasifican de acuerdo a los parámetros utilizados, ya sea estático o dinámico, con comportamiento elástico o inelástico, etc. A continuación se presentan algunos de ellos:

II.9.1 Método de Superposición Modal de un Grado de Libertad por nivel

Este método se aplica para determinar la respuesta elástica lineal de estructuras de varios grados de libertad. El resultado consiste en la superposición de las respuestas individuales de cada una de las partes de la estructuras, en cada uno de sus modos naturales de vibración. (Grases et. al – 1987).

II.9.2 Método de la Torsión Estática Equivalente

En base a lo especificado en la Norma 1756:01, este método incorpora la torsión estática, además de las fuerzas cortantes para hallar: *“las ampliaciones dinámicas de las excentricidades estáticas, los efectos accidentales que incluyen incertidumbres en las posiciones de los centros de masa y de rigidez, la excitación rotacional en la base de la edificación, y los efectos inelásticos asimétricos y de la tabiquería”*.

II.9.3 Método de Análisis Dinámico espacial de Superposición Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel

En este método, se estudian los sismos actuando en X e Y, independientemente, considerando los desplazamientos horizontales y la rotación de cada nivel. (Lee y Abou – 2005)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS

A continuación se describe el procedimiento que se siguió durante esta investigación sobre la evaluación del riesgo sísmico presente en la edificación escolar Tipo Módulo Base “U. E. Padre Sojo”, a fin de lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos.

III.1 Preparación previa o búsqueda de información relacionada con el área de sismorresistencia

La preparación previa consistió en llevar a cabo una recopilación detallada de toda la información concerniente al riesgo y prevención de sismos en edificaciones escolares, desde el punto de vista estructural y no estructural; para ello fue necesario adquirir ciertos conocimientos acerca de la dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. Se comenzó realizando lecturas y discusiones de artículos relacionados con este proyecto. En esta etapa se identificaron los objetivos de la investigación.

III.2 Inspecciones Efectuadas

En primer lugar se seleccionó la edificación escolar Tipo Módulo Base objeto de este estudio detallado: U. E. N. Padre Sojo, la cual se encuentra ubicada en la Avenida Caroní, Calle Humboldt, Bello Monte, Caracas. Fue inspeccionada de manera preliminar el *Miércoles, 16 de Agosto de 2006*; en esta visita se pudo observar algunos de los elementos estructurales y no estructurales pertenecientes

a la edificación. También se tomaron algunas fotografías y mediciones preliminares. Es importante señalar que la escuela se encontraba cerrada ese día debido al período vacacional reglamentario para todas las instituciones escolares del país. Ese día se visitó de manera análoga la U. E. N. Julio Bustamante, la cual comparte la entrada principal con la U. E. N. Padre Sojo. Dicha unidad educativa es independiente de la escuela en estudio, sin embargo presentan una geometría bastante similar.

La segunda visita a la U. E. N. Padre Sojo se realizó el *Miércoles, 11 de Octubre de 2006*, donde se procuró tomar la mayor cantidad de fotografías posibles, con el fin de elaborar el Informe Fotográfico de la edificación de manera ordenada y concisa. En dicha visita se inspeccionó la escuela de manera detallada, se visitaron todas las áreas del edificio, y se fotografiaron aquellas que caracterizan el Sistema Tipo Módulo Base. En esta visita se observaron las grietas que presenta la edificación, sobretodo al nivel de las juntas de construcción. Se aprovechó la ocasión para tomar fotografías de las fachadas externas de la U. E. N. Julio Bustamante.

Para llevar a cabo el levantamiento geométrico de la edificación, fue necesario realizar una tercera inspección a la U. E. N. Padre Sojo, pero esta vez se llevaron 2 cintas métricas para tomar las medidas de la geometría del edificio. En esta visita, realizada el *Jueves, 2 de Noviembre de 2006*, se midieron todas las distancias que definen el espacio de la edificación, tal como luz libre, altura de entepiso, altura de ventanas y puertas, entre otros. Se aprovechó la visita para tomar fotografías de las grietas de la edificación, usando como referencia la cinta métrica, lo cual indica el tamaño de estas aberturas.

Una cuarta inspección a la U. E. N. Padre Sojo, fue llevada a cabo el *Jueves, 14 de Diciembre de 2006*, donde un técnico del IMME asistió a la escuela con el

objeto de aportar su ayuda en la identificación de los elementos de concreto armado del edificio, mediante el uso del detector de metales o “Ferroskan”. Este instrumento, constituido por un dispositivo deslizante y una pantalla, semejante a la de un computador, fue utilizado en algunas columnas del edificio para ubicar la posición del refuerzo transversal y longitudinal de las mismas, también fue utilizado en algunas vigas altas de la escalera y en sitios donde se presumía la existencia de vigas planas.

El *Miércoles, 7 de Febrero de 2007*, se realizó la quinta visita a la U. E. N. Padre Sojo, donde se volvió a llevar el detector de metales, solo para ser usado en algunas losas y en lugares donde se presumía la existencia de vigas planas. El técnico del IMME asistió de nuevo a esta inspección.

La sexta inspección a la U. E. N. Padre Sojo fue llevada a cabo el *Sábado, 14 de Abril de 2007*, donde una vez más se llevó el detector de metales para corroborar algunas imágenes dadas por el detector de metales en las dos visitas anteriores. En esta visita, el equipo de FUNVISIS realizó ciertas mediciones, las cuales se observaron más que todo en el último nivel del plantel. (Ver Anexo A).

El *Viernes, 20 de Abril de 2007*, se llevó a cabo una visita a la edificación escolar E. B. N. Fernando Peñalver, la cual se encuentra ubicada en la Urbanización Campo Alegre, 3º avenida, Caracas. En esta inspección se tomaron algunas fotografías, con las cuales se pudiera comparar su similitud con la U. E. N. Padre Sojo. También se realizaron algunas mediciones, tal como distancia entre ejes de columnas y altura de la viga alta de la escalera, con el mismo objeto de encontrar semejanzas y diferencias con la U. E. N. Padre Sojo, y determinar si se trata de un Sistema Tipo Módulo Base.

Otra escuela inspeccionada fue la E. B. N. Elías Rodríguez, la cual se encuentra ubicada en Vuelta del Casquillo, San Agustín del Sur, Caracas. Fue visitada el *Lunes, 21 de Mayo de 2007*, con el objeto de llevar a cabo su comparación con la U. E. N. Padre Sojo. En esta visita se observaron los elementos estructurales y no estructurales del plantel, los cuales se fotografiaron y algunos de ellos fueron medidos.

El día *Martes, 19 de Junio de 2007*, se midieron algunas distancias en la U. E. N. Padre Sojo, con el fin de comprobar la similitud que posee con la U. E. N. Julio Bustamante, recordando que la misma fue construida de manera similar y ambas en fechas similares, y así suponer que ambas poseen las mismas medidas de los planos estructurales encontrados de la U. E. N. Julio Bustamante.

III.3 Levantamiento de un archivo fotográfico

En esta etapa se realizaron inspecciones a la U. E. N. Padre Sojo, con el fin de elaborar un estudio fotográfico de los diferentes elementos estructurales y no estructurales que constituyen la edificación escolar en estudio.

Este informe fue elaborado de manera tal que quedara identificada la estructura del plantel, por lo que fueron fotografiadas las cuatro fachadas, claramente especificadas, las columnas, vigas, losas, paredes, entre otras. Cada elemento se designó por el piso o nivel donde se obtuvo la fotografía y con cualquier otra información referente al mismo.

Las reseñas de las fotografías fueron hechas de tal manera que cada una estuviera identificada de acuerdo al sitio y ubicación exacta donde fue retratada la imagen, a fin de localizar todas aquellas características propias de la edificación.

III.4 Levantamiento geométrico de la edificación

En esta etapa también fue necesario efectuar visitas a la escuela, para poder realizar todas las mediciones necesarias de los elementos estructurales y no estructurales del plantel; para esto se requirió el uso de una cinta métrica apropiada, de acuerdo al tamaño de la edificación, y de la estimación que se tuvo acerca de la distancia entre ejes de columnas, y alturas de entrepisos. Además de estas distancias, se tomaron las secciones de vigas y columnas, alturas de losas, sobrepisos, alturas y espesores de paredes, aberturas, dimensiones de puertas y ventanas, huella, contrahuella y descanso de la escalera, entre otras. Este proceso se siguió de manera ordenada, pues de él dependió la obtención de toda la geometría necesaria para llevar a cabo la elaboración de los planos del edificio.

III.5 Identificación de los materiales que componen los edificios

Para llevar a cabo la identificación de todos los materiales que componen el edificio, fue necesario familiarizarse en el uso de equipos para trabajar en campo, tal como el detector de metales o “Ferroskan”, instrumento utilizado, no solo para ubicar el refuerzo transversal y longitudinal en todos los elementos de concreto armado, sino también para conocer su separación y diámetro. Este equipo cuenta con un sistema, parecido al de un computador, programado con el objeto de ubicar el acero, el cual puede verse esquematizado mediante una pantalla que posee el mismo aparato. Este instrumento fue llevado al plantel en algunas visitas realizadas, y con él se determinó el acero que constituyen las columnas de toda la estructura, las vigas altas del módulo independiente de la escalera, y las losas doblemente armadas.

En esta etapa también fue importante identificar todas aquellas piezas de mampostería, tales como bloques de concreto, bloques de arcilla, ladrillos, espesor del friso, las cuales se determinaron de manera visual en cada una de las inspecciones efectuadas.

Es importante señalar que se encontraron cuatro planos arquitectónicos de cada uno de los 4 niveles del plantel, los cuales fueron proporcionados por la directora de la unidad educativa; los planos contienen las plantas de la U. E. N. Padre Sojo y de la U. E. N. Julio Bustamante. También se encontró el plano de Fundaciones del plantel, así como también algunos planos estructurales de la U. E. N. Julio Bustamante, tales como envigado de escaleras y distribución y armado de losa, con los cuales se estimó la resistencia de los materiales con base a la información contenida en los mismos.

III.6 Elaboración de planos del edificio

Los planos encontrados de la U. E. N. Padre Sojo fueron comparados con los planos elaborados en esta investigación de acuerdo a las mediciones realizadas de la edificación. Dichas mediciones fueron tomadas en las visitas realizadas al plantel, donde se tuvo en cuenta la mayor precisión posible en las distancias entre ejes de columnas, dimensiones de columnas, alturas de entrepiso, entre otros. Todas las longitudes coincidieron con los planos proporcionados.

Con base a estas mediciones también se elaboró el resto de los planos arquitectónicos de la edificación, tal como los planos de fachadas, pórticos, tabiquería y corte transversal de la escalera. También se construyó el plano en 3D de dicho plantel, con el cual se pudo realizar una representación dinámica del edificio mediante el uso de un programa de computador denominado 3D MAX,

donde se observan todos los accesos al plantel, las dimensiones de sus espacios, detalles arquitectónicos, entre otros.

En los planos construidos se detalló toda la geometría del edificio, definiendo cada uno de ellos de acuerdo al ángulo de visión del mismo. También se identificaron todos los elementos que componen la edificación: vigas, columnas, paredes, especificando cada área con acceso propio.

III.7 Elaboración de modelos matemáticos

Para llevar a cabo el análisis y evaluación del plantel fue necesaria la elaboración de tres modelos matemáticos, donde se siguieron ciertos lineamientos generales en la idealización del edificio. En primer lugar se introdujo la geometría del plantel en un programa de computador denominado ETABS, donde se estipularon ciertos parámetros tales como las propiedades de los materiales, los pesos de cada uno de los niveles de la edificación, la rigidez en la junta, los apoyos, la inercia de elementos y las paredes.

Se definieron tres modelos del edificio, con el fin de discriminar los efectos del agrietamiento de los elementos y de la presencia de componentes no estructurales en los períodos y en los modos de vibración. En el primer modelo se introdujo la estructura sola con inercia gruesa de elementos, el segundo modelo nuevamente la estructura sola pero con inercia reducida de elementos, y el tercer modelo se basó en el primero pero con aquellas paredes ubicadas dentro de los pórticos. Es importante señalar que solo fue modelado uno de los 3 edificios del plantel, siendo éste el más desfavorable en cuanto a distribución y ubicación de paredes.

Del programa se tomaron una serie de resultados, los cuales fueron utilizados para un análisis exhaustivo y preciso de la edificación.

III.8 Análisis dinámico del edificio

Para determinar la respuesta dinámica del edificio se usó el Método de Análisis Espacial ante el sismo especificado en la Norma CONVENIN 1756:2002. En primer lugar se definió el espectro en base al factor de reducción de respuesta seleccionado, de acuerdo a la información encontrada en los planos estructurales de la U. E. N. Julio Bustamante. Es importante señalar que se consideraron las dos componentes horizontales del movimiento sísmico.

Mediante el uso del programa ETABS, se determinaron los desplazamientos y derivas máximas en cada nivel y entrepiso, en el centro de masas y en el extremo más desfavorable. También se determinó la fuerza cortante en la base y las solicitaciones en elementos estructurales específicos. Del Modelo 3 se tomó la fuerza cortante en el nivel 1 para ser comparada con la planta baja, la cual no posee paredes, y para estudiar el efecto de columna corta.

III.9 Riesgo sísmico

En esta etapa se estudió la capacidad estructural del plantel llevando a cabo la comparación entre las demandas y las capacidades, en términos de desplazamientos, derivas y fuerzas seleccionadas.

La capacidad a fuerza cortante de cada columna se escogió como la menor entre el cortante resistente para una falla a flexión o dúctil y el cortante resistente para

una falla por cortante o falla frágil. En dichos cálculos se tomó en cuenta la longitud efectiva de la columna debido a la presencia de paredes de relleno que ocasionan los efectos de columna corta.

La capacidad de cada entrepiso se determinó mediante métodos aproximados que supongan modos de falla probables, verificando el cumplimiento con la Norma COVENIN 1756:2002.

III.10 Recomendaciones para la adecuación sismorresistente

Por último, y en base a lo estudiado e investigado, se propuso en forma general, alternativas y/o recomendaciones para mejorar la confiabilidad a sismos de la edificación, y reducir los riesgos hasta niveles compatibles con las Normas vigentes. Con esta última etapa del proyecto quedaron cumplidos los objetivos propuestos para el fin de esta investigación.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES TIPO MÓDULO BASE

IV.1 Sistemas Tipo Módulo Base

Las edificaciones escolares Tipo Módulo Base son aquellas estructuras de concreto armado agrupadas entre sí de manera continua, diseñadas con una estructura modular que permite no solo adaptarse a cualquier tipo de terreno, sino realizar futuras expansiones de la edificación, por unidades, en cualquier dirección. En la Figura IV.1 se muestra la geometría y dimensiones básicas de estas edificaciones. No ha sido posible hasta esta fecha, conseguir planos completos de estas estructuras de la década de 1980.

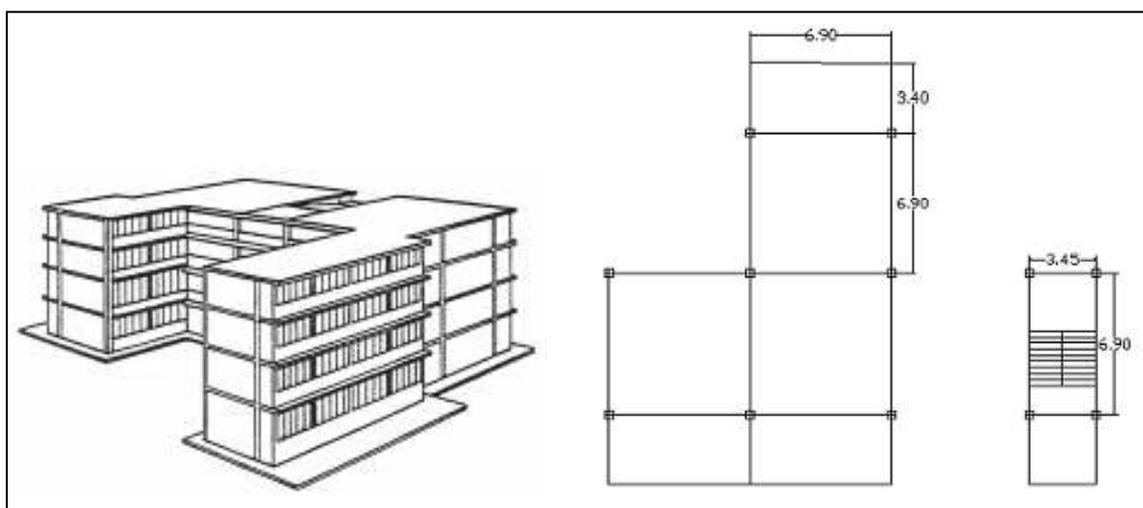


Figura IV.1 Esquema de un Sistema Tipo Módulo Base. A la derecha, dimensiones típicas de una agrupación L – 1 y del módulo de la escalera

Fuente: FEDE – 1997

Generalmente este tipo de sistema está constituido de la siguiente manera:

- Sistema aporricado de 3 ó 4 niveles estructurales, con altura de entrepiso de 3,30 m.
- Módulo Estructural con dimensiones de 6,90 m x 6,90 m.
- Pasillos simples o dobles con longitud de circulación de 1,85 m.
- Volados de 3,40 m.
- Escalera con dimensiones de 3,45 m x 6,90 m.
- Fundación directa, losa de fundación o pilotes, dependiendo del tipo de suelo.
- Elementos estructurales:
 - Vigas y columnas de sección variable.
 - Losas nervadas para entrepiso y cubiertas de espesor 30 cm.
- Los elementos no estructurales dependen del proyecto.
- Nodo estructural de columnas y vigas.

IV.2 U. E. N. Padre Sojo

Esta edificación escolar es un Sistema Módulo Base constituido por dos edificios denominados L – 1 (FEDE – 1997) en forma de “C”, la cual se presume que fue construida en el año 1.987, de acuerdo a unos planos de fundación con fecha 1.986. La escuela fue rehabilitada por FEDE en Mayo del 2.001, pero no se intervino su estructura.

Este plantel presenta 3 módulos independientes, separados entre sí mediante juntas de construcción. Dichas juntas se evidencian mediante grietas verticales,

sobretudo en los niveles superiores donde se observa claramente la junta como tal (Figura IV.2).

La escalera es un módulo independiente con dimensiones de 3,70 m x 6,00 m. Los dos edificios contiguos al módulo de la escalera son similares entre sí; solo se diferencian en la distribución de la tabiquería, la cual varía de acuerdo al nivel y al espacio al cual fueron destinadas las distintas áreas de la escuela. Ambos edificios presentan, cada uno, tres módulos estructurales de dimensiones 6,90 m x 6,90 m y volados de 3,40 m (Figura IV.3). La edificación consta de 4 niveles o losas sobre el terreno (Figura IV.3).



Figura IV.2. Junta de construcción entre el módulo de la escalera y el edificio Sur de la U. E. N. Padre Sojo. La imagen pertenece al último nivel donde puede observarse la separación que presenta dicha junta.

Fuente: Elaboración propia



Figura IV.3. Fachada Norte de la U. E. N. Padre Sojo. Se aprecia la dimensión 6,90 m y el volado de 3,40 m. Al fondo se encuentra la U. E. N. Julio Bustamante.

Fuente: Elaboración propia

La edificación cuenta con cinco pórticos transversales denominados por las letras A, B, B', C, y C', y ocho pórticos longitudinales denominados mediante números del 1 al 6, incluyendo 3' y 4'. Dicha escuela presenta 20 columnas en total con dimensiones de 40 cm x 40 cm, sus dimensiones se mantienen constantes en todos los niveles, a excepción de las 4 columnas del módulo de la escalera, las cuales poseen dimensiones de 30 cm x 40 cm, y de igual forma se mantienen constantes en todos los niveles. No se observan vigas, a excepción del módulo de la escalera, el cual presenta vigas altas en ambas direcciones con altura de 50 cm en la dirección longitudinal y 30 cm en la dirección transversal.

La escuela tiene su entrada principal en la fachada Sur, la cual consta de una reja y paredes de ventilación a los lados de la misma. Posee un patio interno en la fachada Este, desde el mismo pueden observarse las paredes de ventilación ubicadas en dicha fachada y los parasoles ubicados en todos los niveles (Figura

IV.4). El módulo de la escalera es el único que presenta paredes de ventilación en la fachada Oeste (Figura IV.5).

El edificio “Norte” por presentar planta baja libre, posee nuevamente paredes de ventilación, pero únicamente en ese nivel. Los baños se encuentran ubicados en el edificio “Sur” junto a la escalera, el último nivel es el único que no posee baño, esa área fue destinada como salón de clase. Se observa la presencia de columnas cortas en las fachadas Norte, Sur y Este. No existe ninguna estructura anexa.



Figura IV.4. Fachada Este de la U. E. N. Padre Sojo. Fotografía tomada desde el patio interno de la escuela. Se observa la presencia de paredes de ventilación, parasoles y planta baja libre del edificio Norte

Fuente: Elaboración propia



Figura IV.5. Fachada Oeste de la U. E. N. Padre Sojo. Se observan las paredes de ventilación en el módulo de la escalera.

Fuente: Elaboración propia

IV.3 U. E. N. Julio Bustamante

Esta institución escolar se encuentra ubicada en la Avenida Caroní, Calle Humboldt, Bello Monte, Caracas, junto a la U. E. N. Padre Sojo, ambas comparten el acceso a la entrada principal (Figura IV.6). De acuerdo a unos planos estructurales de este edificio del año 1.986, se presume que fue construido en 1.987; de hecho es posible que haya sido construido simultáneamente con la U. E. N. Padre Sojo.

Esta edificación presenta características muy similares a la U. E. N. Padre Sojo. Se diferencian en que la primera presenta un pórtico longitudinal adicional, pero con iguales dimensiones (Figura IV.7). También se diferencian en que la U. E. N. Julio Bustamante se encuentra reforzada (Figura IV.8).



Figura IV.6. Fotografía satelital donde se muestra la ubicación relativa de la U. E. N. Padre Sojo y la U. E. N. Julio Bustamante, respecto a los 4 puntos cardinales.

Fuente: Google Earth



Figura IV.7. Fachada Este de la U. E. N. Julio Bustamante. Se observa el pórtico adicional que dicha edificación presenta y el refuerzo colocado en el mismo.

Fuente: Elaboración propia



Figura IV.8. Fachada Este de la U. E. N. Julio Bustamante. Se observa el módulo de la escalera y los refuerzos de la edificación.

Fuente: Elaboración propia

IV.4 E. B. N. Fernando Peñalver

Esta Unidad Educativa se encuentra ubicada en la Urbanización Campo Alegre, Municipio Chacao, en la ciudad de Caracas (Figura IV.9). De acuerdo a la directora del plantel, la escuela fue construida en 1.958, y remodelada a finales de 2.006 y principios de 2.007.

La escuela cuenta con 2 edificios independientes, unidos entre sí mediante una junta de construcción (Figura IV.10); además de este par de edificios de 4 niveles, posee 2 estructuras anexas de un solo nivel en PB. Las escaleras de acceso a los niveles superiores forman parte del edificio “Oeste”. La escalera presenta una columna “falsa” del 2º al 3º piso. Es posible que el último nivel haya sido construido posteriormente al diseño original de la edificación.



Figura IV.9. Fotografía satelital donde se muestra la ubicación de la E. B. N. Fernando Peñalver respecto a los 4 puntos cardinales.

Fuente: Google Earth



Figura IV.10. Vista general y junta de construcción entre los dos edificios con una separación de 7 cm. E. B. N. Fernando Peñalver

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de la U. E. N. Padre Sojo y la U. E. N. Julio Bustamante, estos edificios poseen vanos con diferentes longitudes, algunos son módulos de 6,70 m. x 6,70 m, otras luces miden 3,20 m y otras 7,20 m. (Figura IV.11); se observa la presencia de volados en las fachadas Este y Oeste con longitud de 3,40 m. Las columnas poseen dimensiones de 40 cm. x 40 cm., a excepción de la columna central de la Planta Baja libre que mide 50 cm. x 50 cm., una columna esquinera de la misma Planta Baja libre que mide 45 cm. x 45 cm., ambas reducen sus dimensiones en los niveles superiores, y las columnas de las escaleras que miden 50 cm. x 50 cm. Las escaleras presentan vigas altas con altura de 30 cm. (Figura IV.12). Se presume la existencia de vigas planas en ambas direcciones a lo largo y ancho de toda la edificación.



Figura IV.11. A la izquierda se encuentran las escaleras, se observa claramente las diferentes distancias entre ejes. E. B. N. Fernando Peñalver.

Fuente: Elaboración propia



Figura IV.12. Escaleras de acceso a los niveles superiores. En la imagen se puede apreciar la presencia de vigas altas en ambas direcciones. E. B. N. Fernando Peñalver.

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura IV.10, el plantel posee un patio interno, similar al de la U. E. N. Padre Sojo, rodeado de paredes de ventilación en toda la edificación, creando el efecto de columnas “cortas”. También se observa la presencia de parasoles en todos los niveles; es importante señalar que en alguno de ellos se aprecia el acero de refuerzo colocado en el mismo. Cabe destacar algunas similitudes con la U. E. N. Padre Sojo, en las medidas de las ventanas y puertas de acceso a los salones de clase, y a otras áreas del plantel; también es similar la entrada principal, la cual posee las mismas características, una reja de acceso y paredes de ventilación a los lados de la misma. Las paredes del plantel son de ladrillo como puede apreciarse en la Figura IV.12.

IV.5 E. B. N. Elías Rodríguez

Fue construida en la década de los años 80, y remodelada en el año 2.005, donde no se modificó ningún elemento estructural, según una placa ubicada en la entrada del plantel. Se encuentra ubicada en San Agustín del Sur, Caracas (Figura IV.13). En base a la visita realizada se puede decir que se trata de un Módulo Base, pues cumple con la mayoría de las características que definen este tipo de edificaciones (Figura IV.1); además se observó su gran similitud con la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Tabla IV.1).



Figura IV.13. Fotografía satelital donde se muestra la ubicación de la E. B. N. Elías Rodríguez respecto a los 4 puntos cardinales.

Fuente: Google Earth

La escuela cuenta con 3 edificios unidos mediante 2 juntas de construcción, localizadas entre 2 columnas de 45 cm. x 45 cm. (Figura IV.14). Posee también 2 módulos independientes de escaleras con iguales medidas que el módulo de la escalera de la U. E. N. Padre Sojo, presentando columnas de 30 cm. x 40 cm. y vigas altas en ambas direcciones (Figura IV.15).

Los 3 edificios que forman el conjunto del plantel poseen columnas de dimensiones 45 cm. x 45 cm., dichas dimensiones se mantienen en los niveles superiores. No se observan vigas, por lo que puede intuirse la existencia de vigas planas. Dicha escuela posee 4 niveles, al igual que la U. E. N. Padre Sojo.



Figura IV.14. Imagen tomada desde el patio central. Se observa la junta entre las columnas de 45 cm. x 45 cm. y las rejas de ventilación con parasoles metálicos.

Fuente: Elaboración propia



Figura IV.15. A la izquierda se observa uno de los módulos independientes de la escalera, a la derecha se observa el otro; ambos con paredes de ventilación. También se observan las estructuras anexas en la imagen derecha. E. B. N. Elías Rodríguez.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las medidas entre ejes de columnas, se observó que tanto el edificio Este, como el edificio Sur, presentan cada uno de ellos 4 módulos estructurales de 6,80 m. x 6,30 m. y volados de 2,10 m. y 2,50 m. (Figura IV.16). En cuanto al edificio Central, posee 3 módulos estructurales y volados de iguales dimensiones. Es importante destacar que este plantel, a diferencia de la U. E. N. Padre Sojo, posee 2 estructuras anexas de un solo nivel, cada una independiente del resto de la edificación (Figura IV.15).

Las características generales del plantel son muy similares a la U. E. N. Padre Sojo: planta baja libre en el edificio Este (Figura IV.16); patio central con presencia de parasoles metálicos. Una diferencia es que en lugar de paredes de ventilación, hay rejas a lo largo y ancho de dicho patio (Figura IV.14).

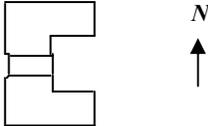
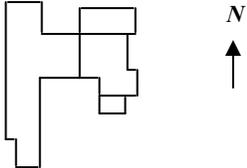
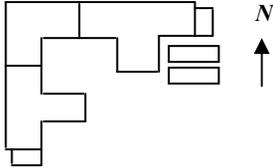
Las paredes del resto de la edificación son frisadas; la entrada principal de la escuela presenta una reja central y paredes de ventilación a los lados de la misma; las ventanas y puertas poseen dimensiones similares a la U. E. N. Padre Sojo; los 2 módulos independientes de las escaleras cuentan con paredes de ventilación (Figura IV.15); a nivel de las juntas no se aprecia evidencia de movimiento entre los cuerpos.



Figura IV.16. Imagen tomada desde el patio central hacia el edificio Este del E. B. N. Elías Rodríguez

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.1. Comparación entre planteles inspeccionados

U. E. N. PADRE SOJO	E. B. N. FERNANDO PEÑALVER	E. B. N. ELÍAS RODRÍGUEZ
		
Fue construida en 1.987	Fue construida en 1.958	Fue construida en la década de 1980 a 1990
Rehabilitada por FEDE en el año 2.001	Remodelada en el año 2.006 y 2.007	Remodelada en el año 2.005
Ubicada en Bello Monte	Ubicada en Campo Alegre	Ubicada en San Agustín del Sur
Planta Baja Libre en Edificio Norte	Planta Baja Libre en Edificio Oeste en el centro de la estructura	Planta Baja Libre en Edificio Este en el centro de la estructura
Columnas de iguales dimensiones en toda la edificación 40x40, a excepción del módulo de la escalera 30x40. Mantienen su dimensión incluso en los niveles superiores	Columnas de 40x40, a excepción de la columna central de la PB libre (50x50) y una esquinera de la PB libre (45x45), ambas reducen su dimensión en los niveles superiores. Las columnas de la escalera tienen dimensiones mayores de 50x50	Columnas de iguales dimensiones en toda la edificación 45x45, a excepción del módulo de la escalera 30x40. Mantienen su dimensión incluso en los niveles superiores.
La escalera es un módulo independiente	La escalera forma parte del edificio oeste	Hay dos módulos independientes de escaleras con geometría idéntica a la U. E. N. Padre Sojo.
Hay 2 juntas, por lo tanto 3 edificios, incluyendo el módulo independiente de la escalera. No presenta estructuras anexas	Hay una sola junta, por lo tanto 2 edificios. Hay 2 estructuras anexas de un solo nivel	Hay 4 juntas, por lo tanto 5 edificios, incluyendo los módulos de las escaleras. Hay 2 estructuras anexas de un solo nivel. Todos los edificios están adosados.

CAPÍTULO IV. Descripción de las edificaciones Tipo Módulo Base

U. E. N. PADRE SOJO	E. B. N. FERNANDO PEÑALVER	E. B. N. ELÍAS RODRÍGUEZ
Paredes de ventilación solamente en un área del patio central en los niveles superiores, con misma altura de entrepiso en el módulo de la escalera y altura 1,10 m a los lados del mismo. Presencia de columnas cortas	Paredes de ventilación por todo el patio central en los niveles superiores con altura aprox. De 1,10 m. Presencia de columnas cortas	Rejas de ventilación en todo el patio central con misma altura de entrepiso.
No posee vigas	Vigas planas en ambas direcciones	Posiblemente presencia de vigas planas
Longitudes de 6,90 m x 6,90 m y volados de 3,40 m	Longitudes de 6,70 m x 6,70 m y volados de 3,40 m	Longitudes de 6,80 m x 6,30 m y volados de 2,10 m y 2,50 m.
Presencia de volados en las fachadas Este y Oeste	Presencia de volados en las fachadas Este y Oeste	Presencia de volados en todas las fachadas
Edificios unidos. En el último nivel se observa separación en la junta.	Ambos edificios están separados aproximadamente 7 cm.	Las 2 juntas de los 3 edificios principales se visualizan en la unión de las columnas.
Paredes de bloques de arcilla frisadas	Paredes de ladrillos	Paredes frisadas
El módulo independiente de la escalera no presenta ningún tipo de variación en su geometría	En la escalera se observa del 2° al 3° nivel una variación no lineal, es probable que se haya añadido posteriormente al diseño y construcción el último nivel	Los módulos independientes de las escaleras no presentan ningún tipo de variación en su geometría
No se observan columnas falsas	Columna falsa en la escalera del 2° al 3° nivel	No se observan columnas falsas
Presencia de parasoles de concreto armado en el patio central. En alguno de ellos se observa el acero de refuerzo.		Parasoles metálicos en el patio central
Vigas altas en la escalera con altura de 30 cm.		Vigas altas en las escaleras con altura 50 cm.

CAPÍTULO IV. Descripción de las edificaciones Tipo Módulo Base

U. E. N. PADRE SOJO	E. B. N. FERNANDO PEÑALVER	E. B. N. ELÍAS RODRÍGUEZ
Presentan el mismo número de niveles: PB, 1er piso, 2do piso y 3er piso		
Patio Central		
Ventanas y puertas con dimensiones muy similares		
Entrada a la escuela con paredes de ventilación a los lados y una reja, e igual altura de entepiso.		
Paredes de ventilación en la escalera		

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DETALLADO DE LA U. E. N. PADRE SOJO

V.1 Descripción de la edificación

En general, las edificaciones Tipo Módulo Base son sistemas aporticados de concreto armado de 3 ó 4 niveles estructurales, con altura de entrepiso de 3,30 m. Este tipo de estructuras, agrupadas entre sí de manera continua, están diseñadas con una estructura modular de dimensiones 6,90 m. x 6,90 m. y volados de 3,40 m. (Figura IV.1). Por lo general, el módulo de la escalera presenta dimensiones de 3,45 m x 6,90 m. Se puede decir que son edificios independientes, unidos entre sí mediante un sistema de juntas. La U. E. N. Padre Sojo cumple con la mayoría de estas características, por lo cual se designa como Módulo Base. A continuación se muestra un esquema representativo de dicho plantel. (Figura V.1).

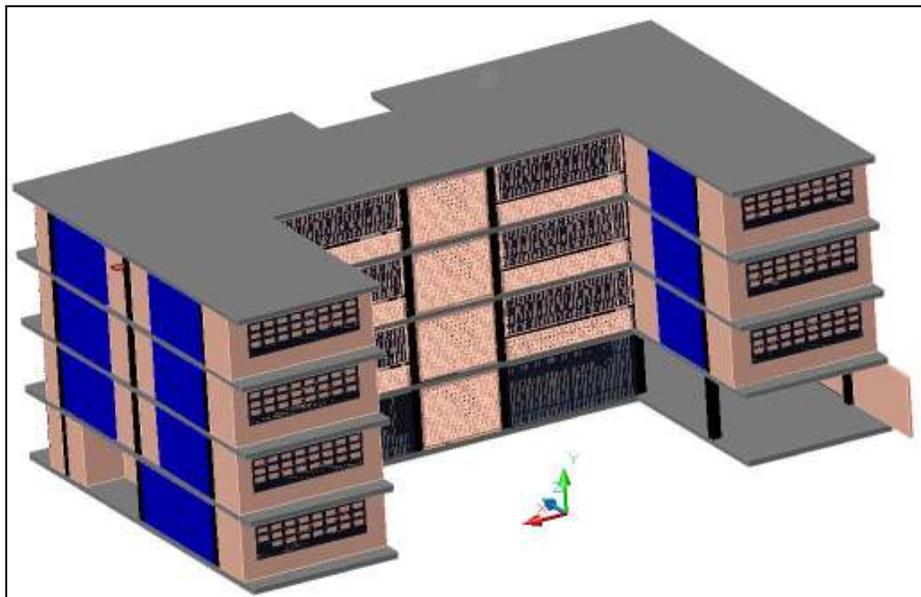


Figura V.1. Imagen 3D de la U. E. N. Padre Sojo

Fuente: Elaboración propia

La U. E. N. Padre Sojo presenta 4 niveles estructurales con altura de entrepiso libre de 2,90 m (Ver Figuras V.3 a V.6). Los módulos estructurales y los volados presentan las típicas dimensiones de un sistema Tipo Módulo Base (Figura V.2); sin embargo, las dimensiones del Módulo de la escalera son de 3,70 m. x 6 m., en lugar de 3,45 m. x 6,90 m.



Figura V.2. Imagen de la Fachada Norte, donde se aprecian los 4 niveles estructurales con dimensiones de 6,90 m. y el volado de 3,40 m. U. E. N. Padre Sojo.

Fuente: Elaboración propia

Se puede decir que son 3 edificios independientes, unidos entre sí mediante 2 juntas de construcción: dos de ellos tienen forma de “L”, y son similares, a excepción de la distribución de la tabiquería, la cual varía sobretodo en la planta baja (Figura V.10) que en el caso del edificio Norte dicha planta no posee paredes (Figura V.7), a diferencia del edificio Sur, el cual sí presenta tabiquería usada para distribuir las oficinas administrativas del plantel; dichos edificios presentan 3 módulos estructurales con volados de 3,40 m. cada uno, ambos son usados como edificios de aulas. El edificio Sur también es usado como oficinas administrativas en la planta baja y en una pequeña área del 1er piso.

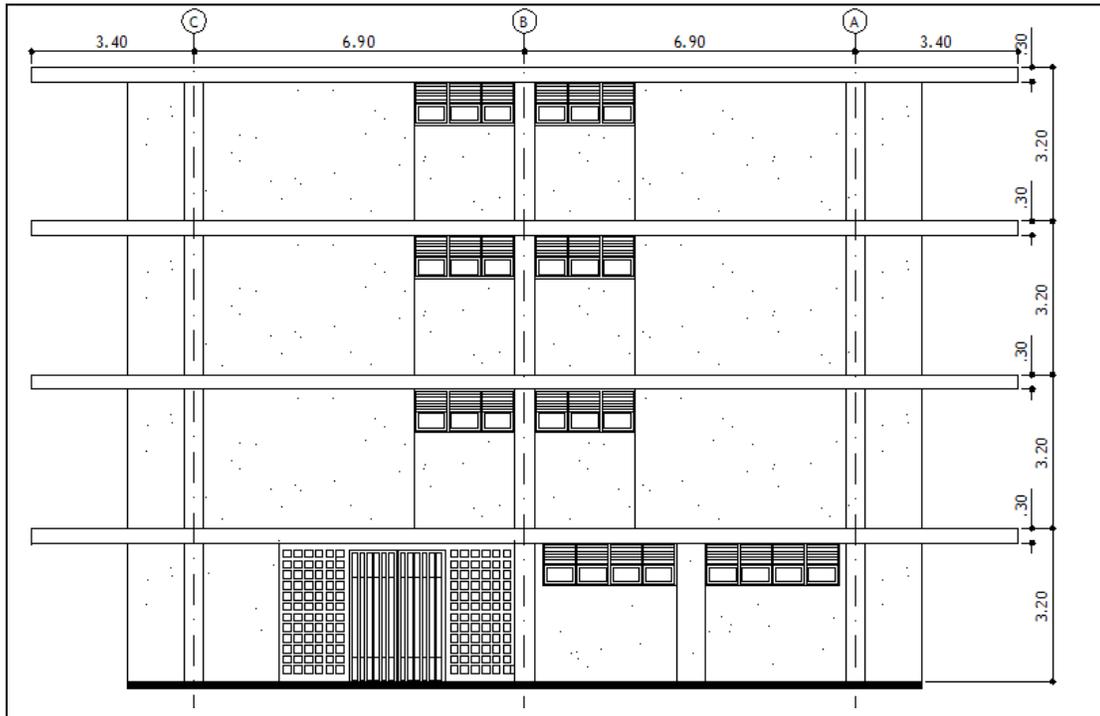


Figura V.3. Fachada Sur y entrada principal de la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

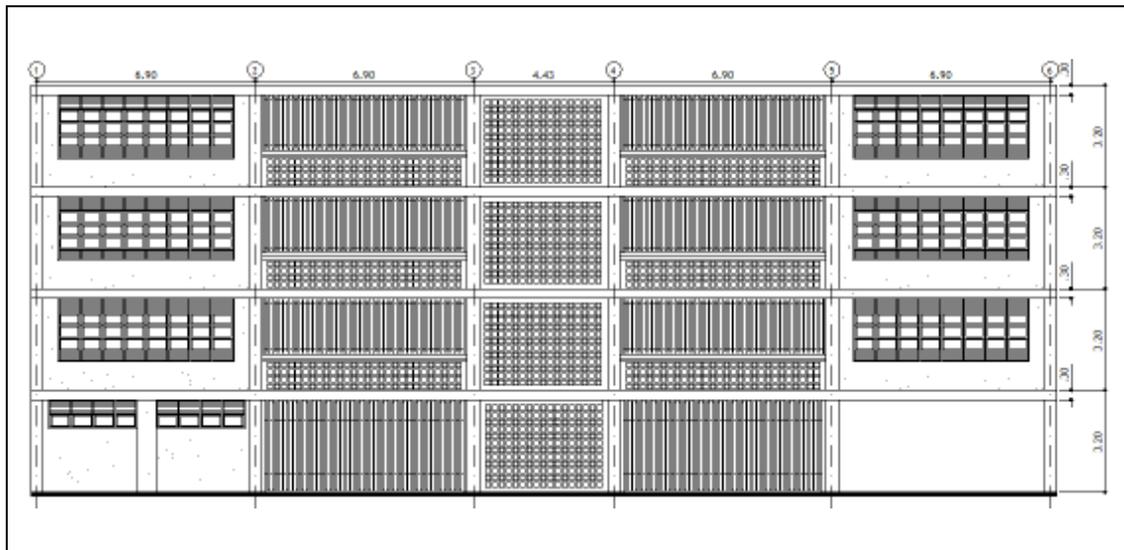


Figura V.4. Fachada Este de la U. E. N. Padre Sojo. Vista desde el patio central del plantel.

(Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

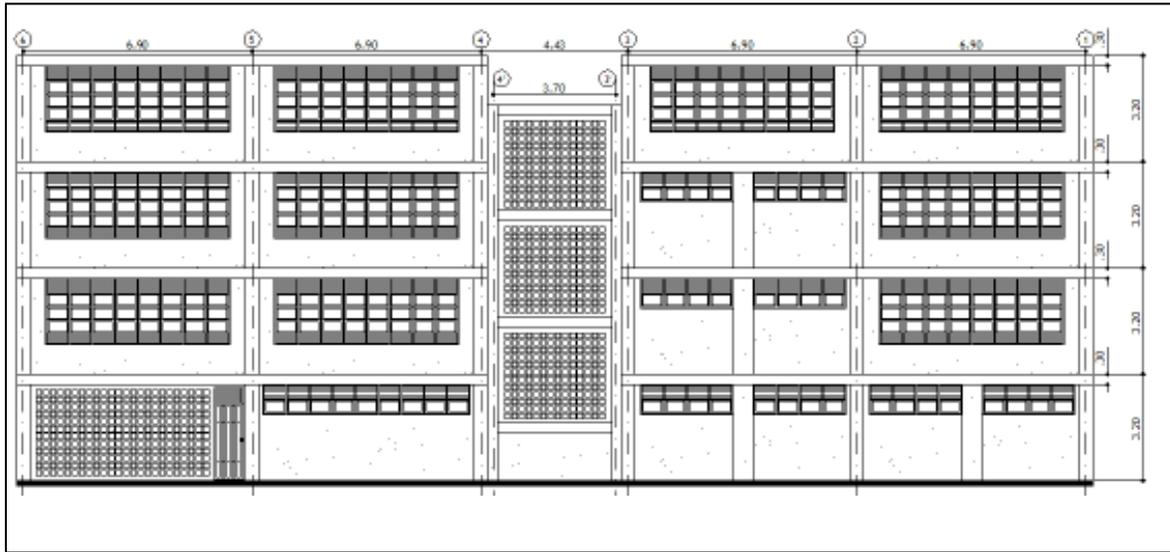


Figura V.5. Fachada Oeste de la U. E. N. Padre Sojo. En el medio del plano se observa el módulo de la escalera. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

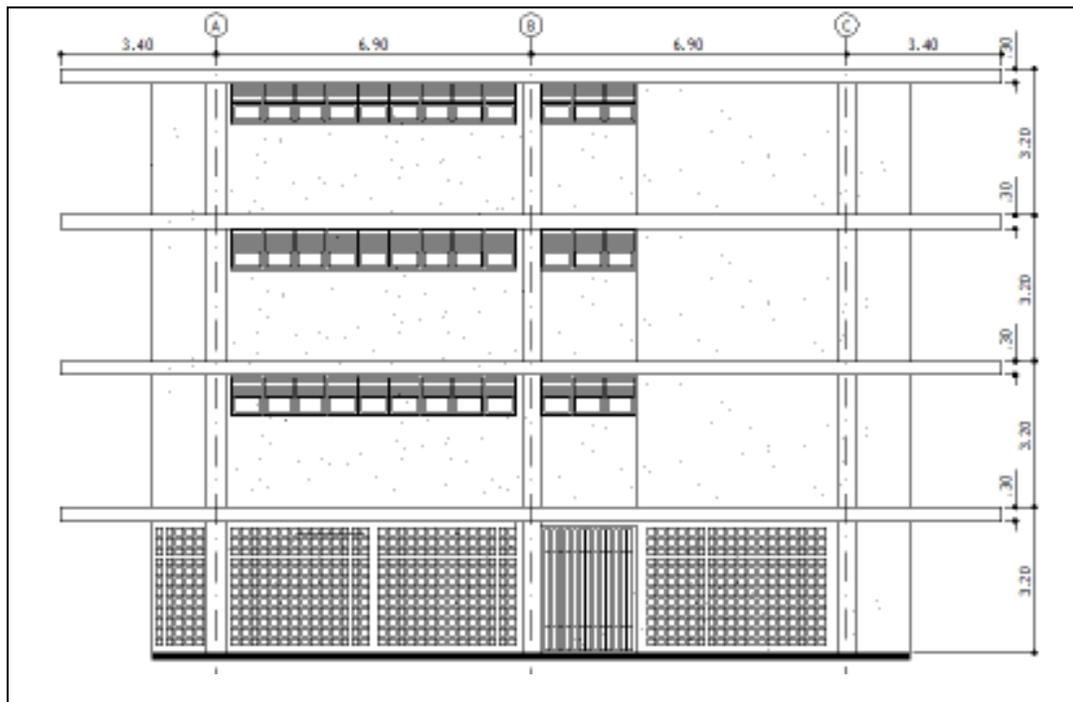


Figura V.6. Fachada Norte de la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia



Figura V.7. Imagen tomada desde el patio central hacia el edificio Norte de la U. E. N. Padre Sojo. Se observa la planta baja libre.

Fuente: Elaboración propia

Los 2 edificios principales, o edificios de aulas, presentan cada uno de ellos tres pórticos longitudinales, identificados del “1” al “3”, y el otro del “4” al “6”; y tres pórticos transversales, identificados de la “A” a la “C”; cada pórtico separado a 6,90 m. del siguiente. El edificio Central se trata del módulo independiente de la escalera. (Figura V.8.), el cual presenta dos pórticos longitudinales, identificados como 3’ y 4’, y dos pórticos transversales, identificados como B’ y C’, con un “volado” de 2,43 m. (Ver Figuras V.10 a V.13).



Figura V.8. Edificio Central o módulo independiente de la escalera

Fuente: Elaboración propia

La edificación es de concreto armado, posee 16 columnas de 40 cm. x 40 cm., ubicadas en los edificios de aulas, y 4 columnas en el edificio de la escalera con dimensiones de 30 cm. x 40 cm. Todas las columnas mantienen sus respectivas dimensiones en todos los niveles superiores. El edificio central o edificio de la escalera es el único que presenta vigas altas en ambas direcciones con altura y ancho de 30 cm. en la dirección transversal, y altura de viga de 50 cm. en la dirección longitudinal. (Figura V.9).



Figura V.9. Imagen tomada desde el Módulo de la escalera hacia el edificio Sur, donde se aprecian las vigas altas en ambas direcciones y la columna C4.

Fuente: Elaboración propia

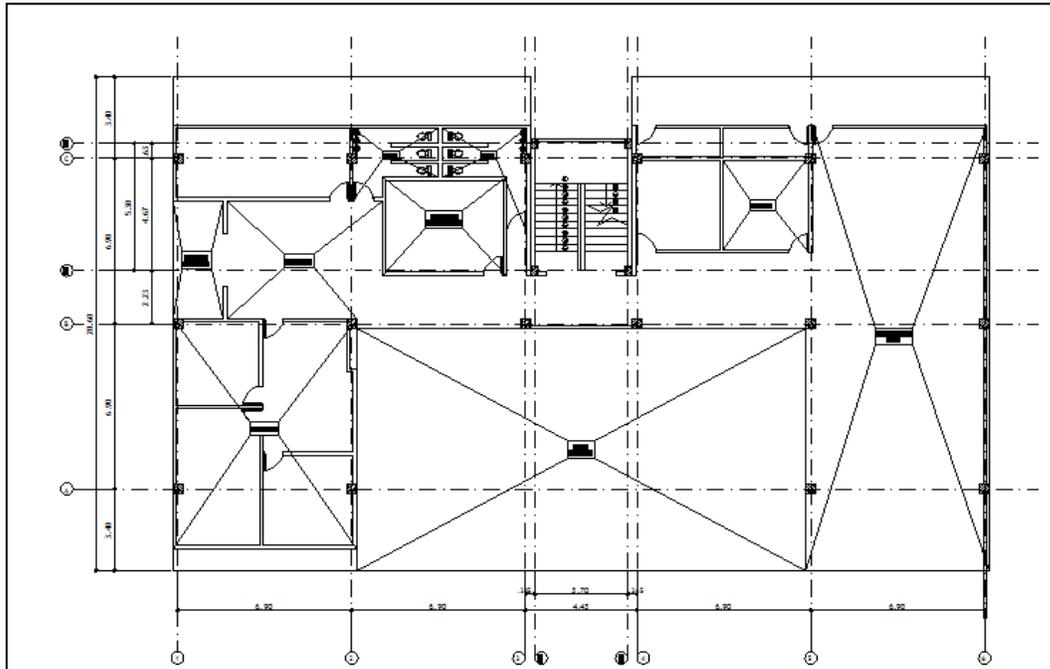


Figura V.10. Nivel Planta Baja de la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

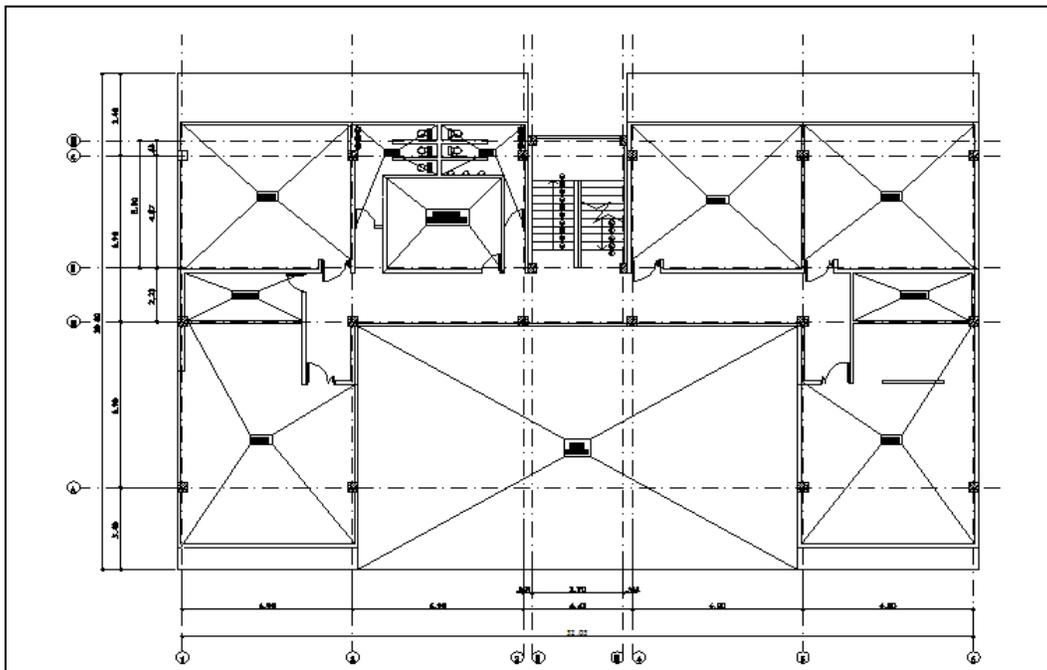


Figura V.11. Nivel 1 de la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

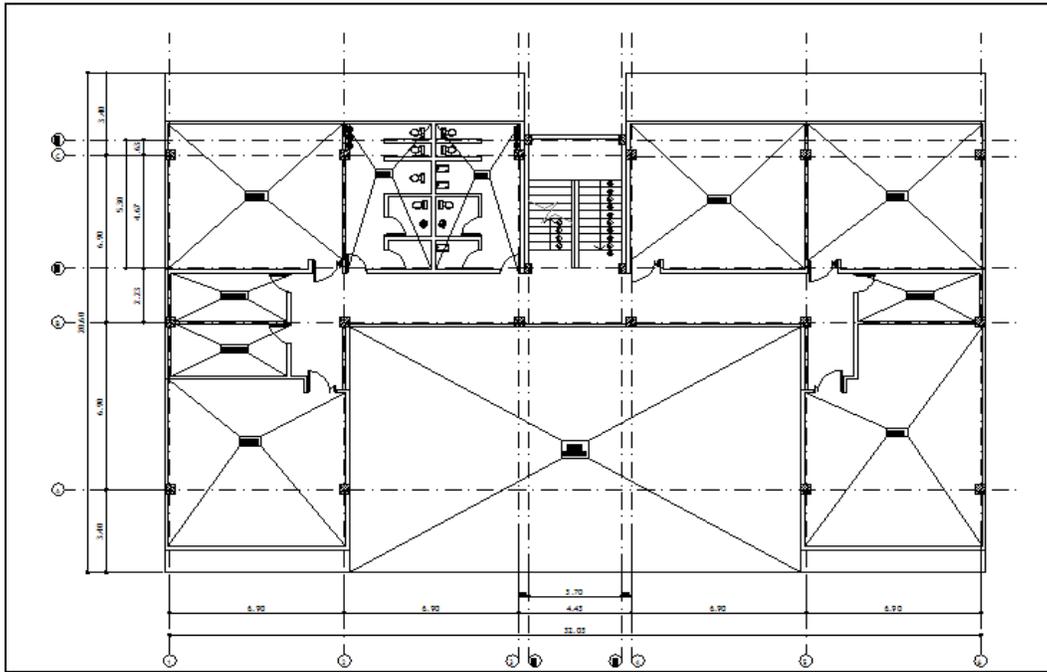


Figura V.12. Nivel 2 de la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

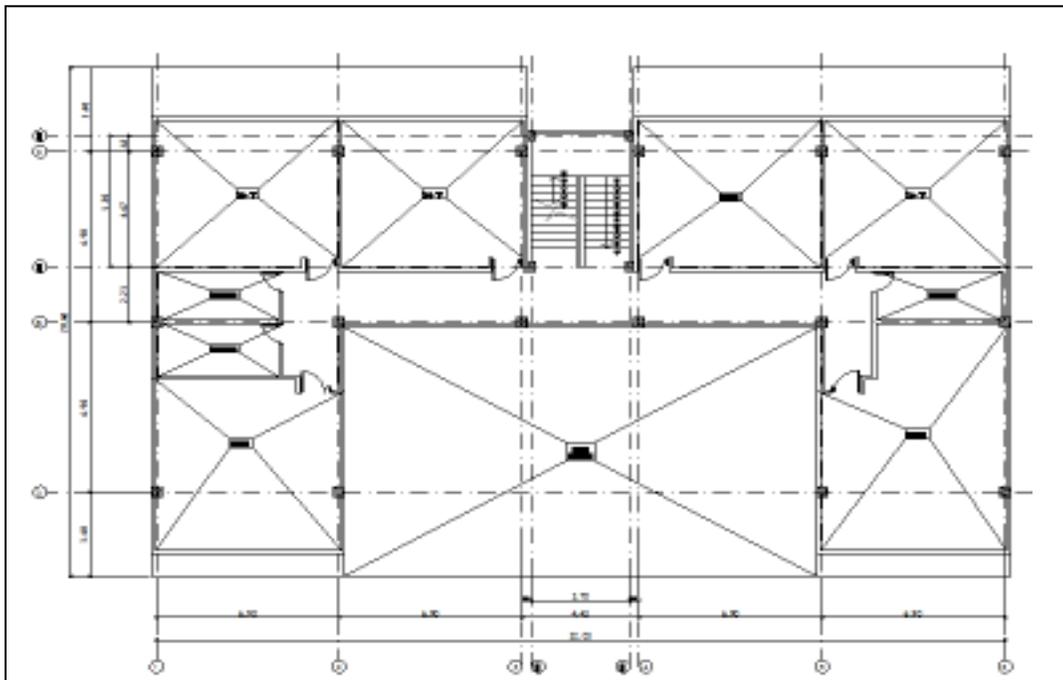


Figura V.13. Nivel 3 de la U. E. N. Padre Sojo. (Ver Anexo C)

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los 2 edificios contiguos, se realizó un estudio exhaustivo de su armado, sin embargo los resultados no fueron los más favorables, debido a la poca precisión que posee el detector de metales, por lo que se recurrió al análisis de algunos planos estructurales que se encontraron de la U. E. N. Julio Bustamante, recordando que la misma fue construida de manera similar y en fechas similares, por lo que se asume la similitud que ambas tienen.

En dichos planos se observó la dirección del armado de las losas, las cuales corresponden a losas reticulares o armadas en dos direcciones apoyadas directamente sobre las columnas, las cuales poseen un macizado a su alrededor, debido a la ausencia de vigas en la edificación. Los anchos de los nervios son de 10,5 cm, 9,5 cm. y 8,25 cm.; y en los macizados es de 20 cm. Se presume que dichos planos estructurales coinciden con los de la U. E. N. Padre Sojo.

Las columnas, en su mayoría poseen 3 cabillas longitudinales en una de sus caras (Figura V.14); a excepción de las 4 columnas unidas al módulo de la escalera, las cuales poseen 4 cabillas longitudinales separadas a 10 cm. (Figura V.15).

En cuanto al refuerzo transversal puede decirse, que cerca a los nodos, la separación es de 12,5 cm. y en el medio de la columna la separación cambia a 25 cm. (Ver Anexo B).

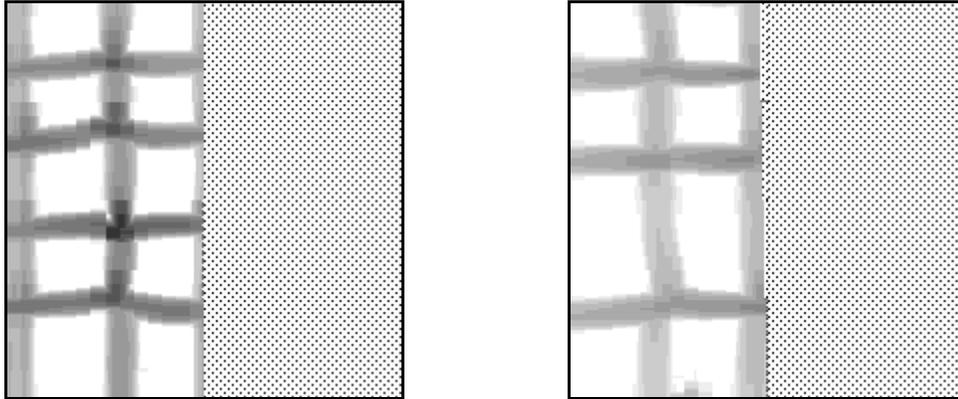


Figura V.14. A la izquierda imagen del detector de metales sobre la columna B1 en la fachada sur, cerca del nodo. A la derecha, la misma columna pero en el medio, donde puede apreciarse el cambio de separación de las ligaduras. (Ver Anexo B)

Fuente: Detector de metales

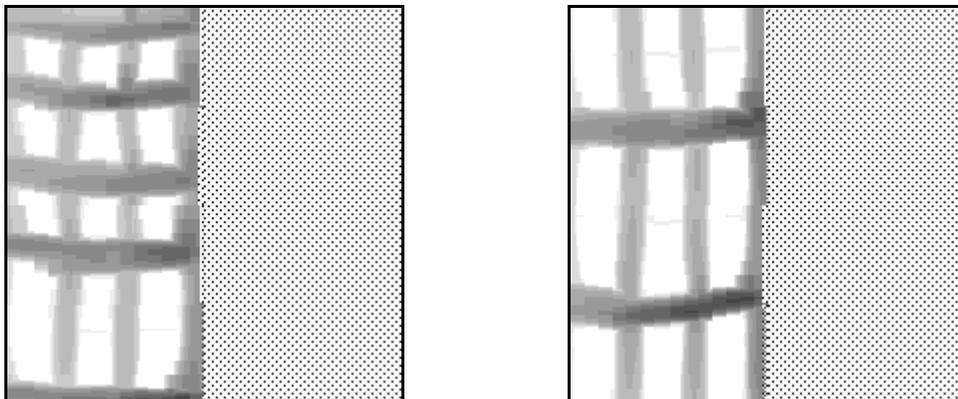


Figura V.15. A la izquierda imagen del detector de metales sobre la columna B3 en la cara Oeste, cerca del nodo. A la derecha, la misma columna pero en el medio, donde puede apreciarse el cambio de separación de las ligaduras. (Ver Anexo B)

Fuente: Detector de metales

Las columnas de la escalera presentan 3 barras longitudinales en la dimensión más corta de 30 cm. y 4 barras en la otra dimensión de 40 cm. La separación de las ligaduras es igual para todas las columnas del plantel. En cuanto a las vigas altas de la escalera, puede decirse que poseen 2 barras longitudinales con una separación de 40 cm. y estribos separados a 12 cm. (Figura V.16).

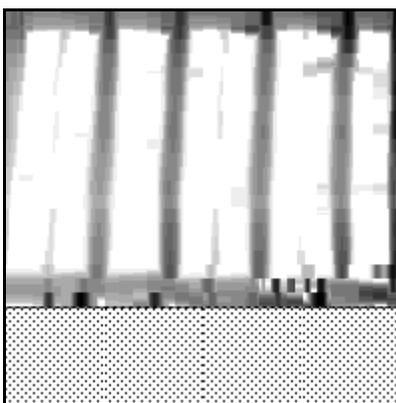


Figura V.16. Imagen del detector de metales sobre la viga alta del módulo de la escalera 3' (B' – C'), cerca del nodo en la cara Norte. (Ver Anexo B)

Fuente: Detector de metales

Es importante señalar que el material con el cual fueron construidas las paredes es bloques de arcilla, frisadas por ambas caras. Los bloques de arcilla pudieron observarse en una de las visitas realizadas al plantel, donde se encuentra evidente la presencia de este material en la entrada principal de la edificación, debido a la pérdida de friso en una de las paredes. (Figura V.17). También es evidente que la estructura es de concreto armado, debido al refuerzo expuesto en algunas paredes de ventilación y parasoles del patio central. (Figura V.18). La resistencia del concreto y del acero fue estimada de acuerdo a la información contenida en los planos encontrados, donde se asumió que el concreto posee un $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y el acero es de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.



Figura V.17. Tabiquería constituida por bloques de arcilla. Imagen tomada en la fachada Sur, entrada principal de la U. E. N. Padre Sojo.

Fuente: Elaboración propia



Figura V.18. Pared de ventilación del 3º piso, donde se pone en evidencia el refuerzo.

Fuente: Elaboración propia

V.2 Estado actual de la edificación

A continuación se presenta una serie de fotografías que muestran las condiciones en las cuales se encuentra la U. E. N. Padre Sojo. Este informe fotográfico fue elaborado con la intención de poner en evidencia las grietas que presenta el plantel. La mayoría de dichas grietas se localizan a nivel de las juntas, por lo que no sería conveniente denominarlas grietas, sino separación natural entre edificios debido a la existencia de juntas de construcción, lo que conlleva a la formación de aberturas por su forma constructiva.



Figura V.19. Edificio Norte, el cual presenta grietas en el volado del nivel 1 y en la columna que sostiene dicho volado.

Fuente: Elaboración propia



Figura V.20. Grieta en el volado del nivel 1 del Edificio Norte.

Fuente: Elaboración propia



Figura V.21. Grietas en la columna que sostiene parte del volado del nivel 1 del Edificio Norte.

Fuente: Elaboración propia



Figura V.22. Las tres imágenes fueron tomadas desde el patio central hacia el módulo de la escalera. En ellas se aprecian las grietas causadas por la separación natural a nivel de las juntas de construcción, por medio de las cuales se mantienen unidos los 3 edificios.

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes fotografías muestran las condiciones actuales de las juntas de construcción en la parte interna del plantel tanto en la parte inferior de las losas como en la parte superior, así como también en la tabiquería afectada por dichas juntas. En las fotos se evidencia el aumento en la separación natural de las juntas a medida que se incrementa el número de niveles de la edificación.



Figura V.23. A la izquierda se observa la junta del Edificio Norte y a la derecha la junta del Edificio Sur en la parte superior de la losa del nivel 1

Fuente: Elaboración propia



Figura V.24. Junta del Edificio Norte en la parte inferior de la losa del nivel 2

Fuente: Elaboración propia



Figura V.25. Junta del edificio Sur en el nivel 3. En las imágenes se observa la gran separación localizada en el último piso del plantel.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI
ANÁLISIS SÍSMICO DE LA U. E. N. PADRE SOJO

VI. 1 Análisis de Carga

Para llevar a cabo el Análisis de Carga de la U. E. N. Padre Sojo fue necesario identificar todos aquellos pesos que corresponden a la Carga Permanente de la edificación tales como materiales y elementos constructivos, pesos de la tabiquería, losas para entresijos y techos, revestimientos, impermeabilizaciones y frisos. También fue necesario identificar todas aquellas cargas adicionales a la estructura, denominada Carga Variable, en base al Uso de la edificación, que en este caso corresponde con Edificaciones Educativas (Tabla VI.1). Todos estos criterios fueron tomados de la Norma COVENIN 2002:88.

Tabla VI.1. Pesos unitarios probables de la edificación

CARGA PERMANENTE	Paredes de bloques de arcilla	230	kgf/m ²
	Paredes de ventilación de concreto	150	kgf/m ²
	Losa	470	kgf/m ²
	Granito	100	kgf/m ²
	Friso de losa	55	kgf/m ²
	Columnas	2500	kgf/m ³
	Manto Asfáltico	5	kgf/m ²
	Mortero de cemento	110	kgf/m ²
CARGA VARIABLE	Áreas Públicas	400	kgf/m ²
	Áreas Privadas	300	kgf/m ²
	Balcones	300	kgf/m ²
	Azotea	100	kgf/m ²

Fuente: Normas COVENIN 2002:88

Mediante el uso de los pesos unitarios probables de la edificación, se determinaron las propiedades inerciales de cada uno de los cuatro niveles de la U. E. N. Padre Sojo, datos necesarios para realizar el análisis sísmico en cuestión. Es importante señalar que este estudio se realizó únicamente en uno de los 3 edificios pertenecientes a la U. E. N. Padre Sojo. Se seleccionó el edificio más desfavorable, en cuanto a geometría y riesgo sísmico.

Tabla VI.2. Fórmulas para determinar propiedades inerciales

Peso Total del plantel	$W_{TOTAL} = W_{permanente} + 0,50 W_{variable}$	tf
Masa	$M = W_{TOTAL} / g$ Donde g: 9,81 m/s ²	tf/m/s ²
Centro de Masa	$x_{CM} = \sum W_i * x_i / W_{TOTAL}$ $y_{CM} = \sum W_i * y_i / W_{TOTAL}$	m
Masa Rotacional	$J = I_{CM} + M * L^2$ Donde: $I_{CM} = (M/12) * (L_x^2 + L_y^2)$ L: Distancia al CM de cada masa al CM _{TOTAL}	tf. m. s ²

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla VI.2 puede observarse que se usaron cargas variables efectivas durante un sismo considerando un 50% de la misma, de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7 de la Norma COVENIN 2002:88. Los cálculos realizados para cada nivel fueron hechos de forma tal que quedaran distribuidos los pesos propios de losas, paredes, parasoles, incluyendo el peso propio de los elementos estructurales en cada nivel de la edificación. En la Figura VI.1 se indica el número de niveles que posee el plantel en forma esquemática.

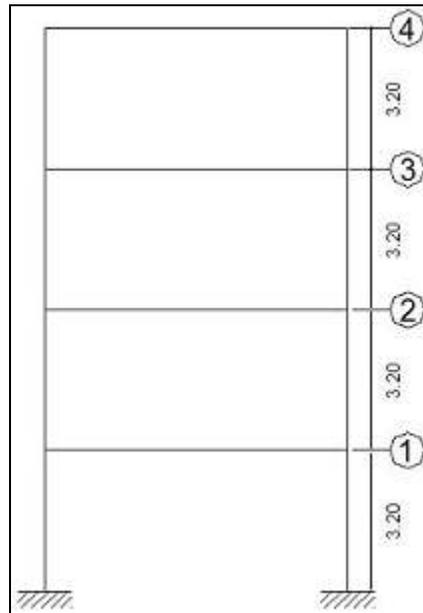
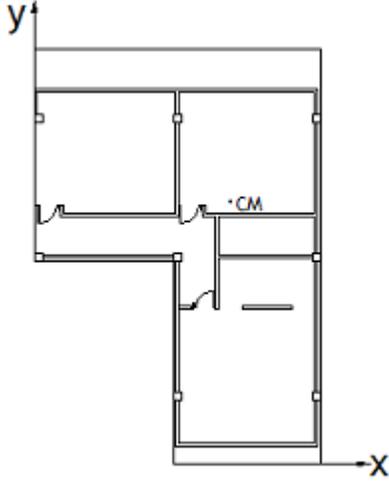
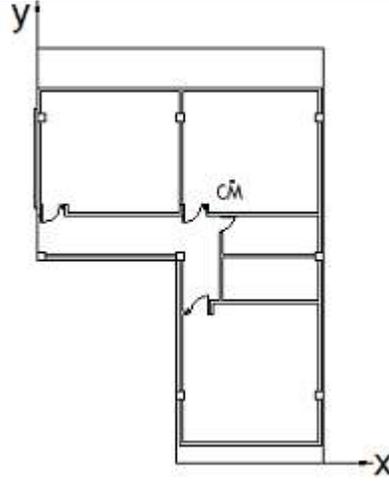
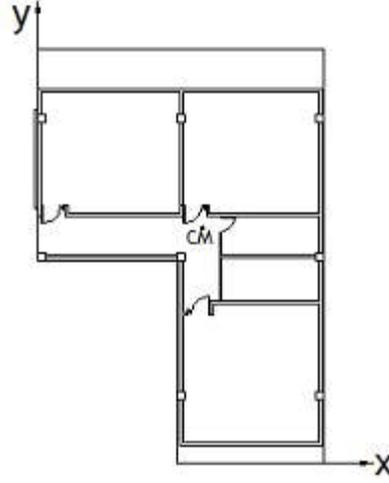


Figura VI.1. Esquema de número de niveles de la U. E. N. Padre Sojo

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.3. Propiedades geométricas de la U. E. N. Padre Sojo por nivel. Las figuras indican paredes por debajo del nivel

Nivel 1	$W_{TOTAL} = 224,68 \text{ tf.}$	
	$M = 22,9 \text{ tf/m/s}^2$	
	$x_{CM} = 9,58 \text{ m.}$ $y_{CM} = 14,48 \text{ m.}$	
	$J = 1341 \text{ tf. m. s}^2$	

Nivel 2	$W_{TOTAL} = 226,19 \text{ tf.}$	
	$M = 23,06 \text{ tf/m/s}^2$	
	$x_{CM} = 9,68 \text{ m.}$ $y_{CM} = 14,18 \text{ m.}$	
	$J = 1312 \text{ tf. m. s}^2$	
Nivel 3	$W_{TOTAL} = 225,36 \text{ tf.}$	
	$M = 22,97 \text{ tf/m/s}^2$	
	$x_{CM} = 9,68 \text{ m.}$ $y_{CM} = 14,21 \text{ m.}$	
	$J = 1305 \text{ tf. m. s}^2$	
Nivel 4	$W_{TOTAL} = 157,22 \text{ tf.}$	
	$M = 16,03 \text{ tf/m/s}^2$	
	$x_{CM} = 8,07 \text{ m.}$ $y_{CM} = 11,92 \text{ m.}$	
	$J = 729 \text{ tf. m. s}^2$	

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla VI.3 se obtiene el peso total del edificio 833,45 tf. y la masa total del mismo 84,96 tf/m//s². Se observa que tanto los pesos, como las masas y los centros de masas varían conforme al nivel, esto se debe básicamente a la cantidad y disposición de las paredes en cada nivel, lo cual varía sobretodo en el último nivel, el cual no posee elementos sobre el mismo, se debe recordar que no se incluyó carga variable, razón por la cual el peso es el menor de los cuatro niveles, y el centro de masa se encuentra más alejado de los demás. El nivel 2 y 3 son muy semejantes en cuanto a geometría, por lo que sus pesos y centros de masa son muy similares. Del nivel 1 solo puede decirse que su masa es un poco menor a la masa de los niveles 2 y 3 ya que la planta baja es libre, solo posee paredes externas de ventilación, y una pequeña distribución de paredes cerca del módulo de las escaleras.

VI. 2 Espectro de Diseño

El Espectro de Diseño fue elaborado según la Norma COVENIN 1756:01, donde se tomaron los criterios necesarios que determinan la condición de la estructura. (Ver Tabla VI.4). En base a estos datos se determinan aquellos necesarios para calcular el espectro de acuerdo a lo especificado en la misma Norma.

Tabla VI.4. Datos utilizados en la clasificación de la estructura

Ubicación	Distrito Federal
Zona Sísmica:	5
Material:	Concreto Armado
Forma Espectral:	S2
Clasificación de la Edificación:	
Uso	A
Nivel de Diseño	ND3
Tipo de estructura	Tipo IV

Fuente: Normas COVENIN 1756:01

El plantel se encuentra ubicado en la capital, por lo que su zona sísmica es 5, esto representa un peligro sísmico elevado. Se adoptó un suelo denso definido por la forma espectral S2, debido a la falta de un estudio de suelos del lugar, y con el fin de obtener resultados conservadores aplicables en cualquier otra edificación similar, con un factor de corrección $\phi=0,90$.

De acuerdo a la Norma 1756, esta estructura clasifica como Tipo IV por ser “Edificaciones con losas sin vigas” (sección 6.3.1), y está definida dentro del grupo A (Edificaciones Educativas). Conforme a la tabla 6.4 de la misma norma le correspondía un $R=2$ para el ND3, un $R=1.5$ para el ND2 y un $R=1.25$ para el ND1.

Dada la carencia de planos no es posible establecer de manera precisa el Nivel de Diseño (ND) que le correspondía a esta estructura. Sin embargo, se adoptó un ND3 y por tanto $R=2$, suponiendo que la edificación en su diseño y construcción cumplió con los requerimientos de detallado exigidos en la Norma de 1.982, que son similares a los de la Norma vigente. Es importante verificar y comprobar el cumplimiento de esta estructura acerca de todos los requisitos adicionales para el diseño en zonas sísmicas establecido en la Norma 1753:03.

Tabla VI.5. Datos utilizados en la elaboración del Espectro

Ao	0,30
ϕ	0,90
α	1,30
R	2,00
T*	0,70
β	2,60
p	1,00
To	0,175
T⁺	0,100
T⁺ def	0,175
c	0,94

Fuente: Normas COVENIN 1756:01

En la Tabla VI.5 se muestran los valores utilizados en la construcción del espectro, todos y cada uno de ellos se obtuvieron mediante el uso de la Norma vigente. El Factor de Reducción de Respuesta (R) igual a 2, indica que la estructura posee una capacidad relativamente baja de disipar energía, pues no tiene gran capacidad de incursionar en el campo inelástico bajo la acción de cargas sísmicas importantes. Adicionalmente, la presencia de dos columnas cortas ubicadas en los entrepisos 2,3 y 4, aumenta el carácter frágil (poco dúctil) del edificio. Con R=2 se determinaron las derivas de la edificación en ambas direcciones, para poder compararlas con las derivas máximas permitidas estipuladas en la Norma vigente.

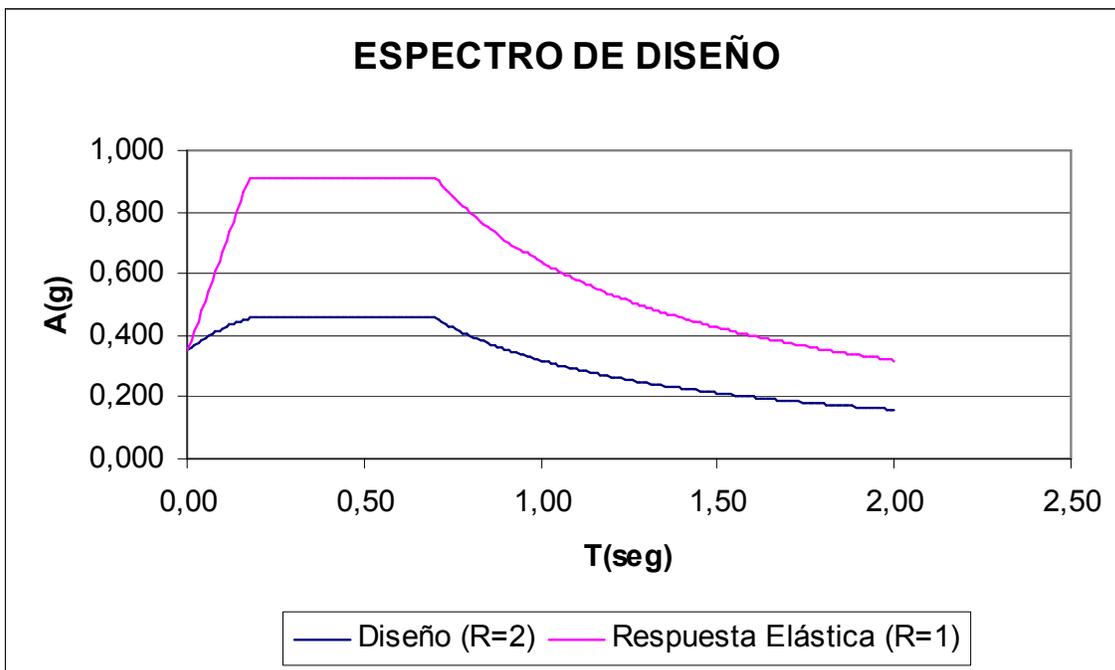


Figura VI.2. Espectro de Diseño utilizado para el análisis sísmico

Fuente: Elaboración propia

VI. 3 Modelos Matemáticos

El análisis sísmico de la estructura se llevó a cabo estudiando la influencia de ciertos parámetros en las propiedades dinámicas de la estructura. Dichos parámetros se variaron con el fin de construir 3 Modelos Matemáticos que definieran la estructura y el efecto de ellos sobre la misma.

La idealización del edificio se basó en establecer, en primer lugar, las propiedades de los materiales, tal como la resistencia del concreto y del acero, 210 Kg/cm^2 y 4200 Kg/cm^2 , respectivamente, donde se usó la información indicada en los planos estructurales de la U. E. N. Julio Bustamante. Se supuso juntas rígidas, con un 50% de longitud de brazo rígido en los extremos de las columnas. Solo se tomó en cuenta el efecto de las paredes ubicadas dentro de los pórticos, sin embargo, cabe destacar que se despreciaron todas aquellas paredes hechas con bloques de ventilación a pesar de estar adosadas a los pórticos.

El **Modelo 1** se trata de la estructura sola con inercia gruesa de elementos, es decir, columnas y losas; demás está decir que la edificación se trata de un sistema de losas reticulares apoyadas únicamente sobre columnas, también denominado Forjado Reticular.

El **Modelo 2** es nuevamente la estructura sola, pero con inercia reducida de elementos. Los valores adoptados de inercia en los elementos se corresponden con el estado de agrietamiento esperado durante la respuesta a los sismos estipulados en la Norma vigente, por lo que se tomó $0,4 I_g$ para vigas y $0,6 I_g$ para columnas, siendo I_g la inercia de la sección gruesa. En el caso en estudio, los nervios de las losas fueron modelados como vigas, por lo que se aplicó la reducción de la inercia en dichos elementos.

El **Modelo 3** está basado en el Modelo 1, pero en él se incluyó el efecto de las paredes como elementos de área de mampostería con un módulo de elasticidad para bloques de arcilla estimado de 20.000 Kg/cm². Solamente se tomaron en cuenta aquellas paredes enmarcadas y adosadas al pórtico, considerando su rigidez y resistencia.

En cada Modelo se establecieron las dos componentes horizontales del movimiento sísmico, definidas por el mismo espectro, combinándose según el criterio de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados, dado en la Sección 8.6.I.(a) de la Norma COVENIN 1756:2002. Dichos Modelos fueron construidos mediante el uso de un programa de computador denominado ETABS y definido para obtener los resultados requeridos para un análisis sísmico. A continuación se presentan los resultados conseguidos de cada Modelo.

Tabla VI.6. Períodos en segundos de cada Modo de vibración

MODO	MODELOS		
	1	2	3
	Inercia gruesa	Inercia reducida	Paredes
1	1,40	1,67	0,65
2	1,25	1,50	0,48
3	1,05	1,24	0,29

Tabla VI.7. Desplazamientos Totales (cm.) del Centro de Masa en dirección “X” y en dirección “Y” en cada nivel

NIVEL	MODELOS					
	1		2		3	
	Inercia gruesa		Inercia reducida		Paredes	
	Ux	Uy	Ux	Uy	Ux	Uy
1	3,89	4,13	4,88	5,22	1,41	1,52
2	9,98	11,17	12,11	13,71	4,85	2,13
3	14,86	16,98	17,73	20,51	7,97	2,54
4	16,05	20,10	18,82	24,03	10,13	2,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.8. Derivas máximas producidas en dirección “X” y en dirección “Y” en cada nivel

ENTREPISO	MODELOS					
	1		2		3	
	Inercia gruesa		Inercia reducida		Paredes	
	Ux ‰	Uy ‰	Ux ‰	Uy ‰	Ux ‰	Uy ‰
1	15,04	16,16	19,04	20,32	9,95	7,52
2	28,48	26,4	34,24	31,68	11,68	2,88
3	22,56	22,56	26,72	26,56	12,00	2,88
4	13,76	14,24	15,36	16,64	10,24	2,24

Fuente: Elaboración propia

El desplazamiento total que se indica en la Tabla VI.7. está dado por la ecuación 10.1 de la sección 10.1 del capítulo 10 de la Norma COVENIN 1756:2002, donde el desplazamiento total es igual a $0,8R$ y el desplazamiento lateral de cada nivel se obtiene directamente del programa. Lo mismo ocurre con las derivas máximas mostradas en la Tabla VI.8.

De estos resultados se observa en los períodos un leve aumento al reducir la inercia en los elementos. Sin embargo cuando se incluye el efecto de las paredes, se observa la rigidez que producen las mismas sobre la estructura, obteniéndose períodos alrededor de la mitad de aquellos obtenidos en el Modelo 1.

En cuanto a los desplazamientos del centro de masa, se observa que los mayores desplazamientos son obtenidos siempre en el Nivel 4, es decir, que a medida que se incrementa la altura del edificio se observa un aumento en los mismos, a excepción del desplazamiento en dirección “Y” del Modelo 3, donde se observa una ligera disminución en el Nivel 4, debido a la rigidez que aportan las paredes

en algunos pórticos (Ver Anexo D). Del mismo modo, se observa que los máximos valores son obtenidos en el Modelo 2, y los mínimos en el Modelo 3.

De las derivas, se puede decir que ocurre de manera análoga: En el Modelo 2 se obtienen las derivas máximas de la edificación. Es importante señalar que las mayores derivas son obtenidas en el nivel 2. En este Modelo (Tabla VI.8) se observa un valor promedio de 24 por mil, excediendo el doble del valor límite de 12 por mil impuesto por la Norma vigente para edificaciones educacionales; en el caso del Modelo 1, se obtiene un valor promedio de 20 por mil y en el Modelo 3 de 7 por mil, ésta última disminución se debe al aumento considerable de la rigidez ocasionado por el efecto de las paredes de mampostería; notándose que la mayoría de las derivas pasan a estar por debajo de la admisible. Se observa que tanto en el Modelo 1 como en el 2, las máximas derivas ocurren principalmente en las esquinas del edificio y en las columnas C4 y C6. En el modelo 3 se observa que las máximas son obtenidas en los extremos de las paredes de la Fachada Oeste y en las columnas A6 y B4.

Debemos puntualizar que los resultados aquí presentados son prácticamente independientes del valor de R adoptado. Si le asignáramos un valor mayor de R a la estructura, de igual forma, las derivas máximas excederán considerablemente la admisible por la Norma para el caso de la estructura sin paredes.

VI. 4 Relación Demanda / Capacidad

Para llevar a cabo la evaluación aproximada de la relación Demanda / Capacidad, se tuvo como hipótesis suponer un modo de falla consistente en la falla simultánea de todas las columnas de la planta baja. Esta relación se obtiene con el fin de demostrar la resistencia global de la estructura, suponiendo que las columnas son los elementos con mayor probabilidad de falla y considerando el cociente de la

solicitud a cortante a la que están sometidas las columnas y su capacidad a resistir las mismas. La Figura VI.3 muestra un esquema de la planta baja del plantel, donde se observa el perímetro de edificio analizado, y las bases de las columnas de dicha planta con sus nombres especificados. La Tabla VI.9, indica la demanda de cortante en las columnas de la planta baja.

El cortante basal es igual a la suma de los cortantes en las columnas, solo para los modelos 1 y 2, que no tienen paredes. En el modelo 3 (con paredes), el cortante basal es de 339 tf. en dirección “X” y 362 tf. en dirección “Y”, el cual está constituido por los cortantes que toman las columnas más los que toman las paredes. La Tabla VI.9 indica únicamente los cortantes sobre las columnas, que valen 160,69 tf. en dirección “X” y 183,39 tf. en dirección “Y”. Esto quiere decir que las paredes están tomando 178,31 tf. en dirección “X” y 178,81 tf. en dirección “Y”, más cortante que el que toman las columnas.

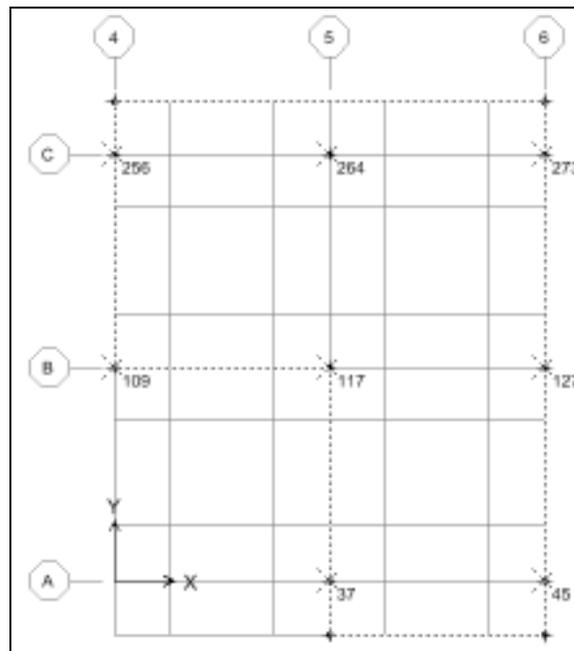


Figura VI.3. Denominación de las columnas de Planta Baja

Fuente: ETABS

Tabla VI.9. Demanda de Fuerza Cortante (tf.) en las columnas de la Planta Baja en dirección “X” y “Y”

COLUMNA	MODELOS					
	1		2		3	
	Inercia gruesa		Inercia reducida		Paredes	
	Vx	Vy	Vx	Vy	Vx	Vy
37	22,00	18,02	18,81	15,20	23,24	9,91
45	20,88	22,28	17,69	19,05	22,76	23,79
109	14,42	21,42	12,35	18,49	9,33	19,57
117	20,96	28,32	18,10	24,06	20,16	12,52
127	17,82	27,13	15,12	23,89	11,06	25,34
256	24,37	22,50	20,88	19,14	34,71	21,57
264	34,65	23,49	30,06	19,37	36,03	34,49
273	24,77	22,26	21,22	18,98	3,40	36,20
TOTAL	179,87	185,42	154,23	158,18	160,69	183,39

Fuente: Elaboración propia

La Tabla VI.9 muestra la **Demanda** obtenida del análisis dinámico, con $R=2$, la cual es definida como la cortante máxima actuante en la base del edificio. Dichos valores se estimaron como la suma de los cortantes de todas las columnas de la planta baja, considerando las fuerzas sísmicas provenientes del análisis dinámico. La **Capacidad** de las columnas a fuerza cortante es definida como el menor valor entre el cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil, y el cortante resistente para una falla por corte o falla frágil. Para determinar estas fuerzas cortantes se tomó en cuenta la longitud efectiva de la columna debido a la presencia de paredes de relleno que ocasionan los efectos de columna corta.

El cortante resistente para una **falla por corte o falla frágil** se determinó de acuerdo a lo especificado en las ecuaciones 11-4 y 11-12 de la Norma COVENIN 1753:1987. Siendo el cortante resistente la suma de ambos valores. En la Tabla VI.10 se especifican dichos valores.

Ec. 11-4 $V_c = 0,53 * (1 + 0,007 * Nu / Ag) * \sqrt{f'c} * bw * d$

- Donde:
- Nu: Fuerza axial aproximada debida a las cargas de gravedad. (Kgf).
 - Ag: Área gruesa de la sección (cm²)
 - f'c: 210 Kgf/cm²
 - bw: 40 cm.
 - d: Altura útil en cm.

Ec. 11-12 $V_s = (A_v * f_y * d) / s$

- Donde:
- Av: Área de las armaduras de corte (cm²)
 - fy: 4200 Kgf/cm²
 - d: Altura útil en cm.
 - s: separación de las armaduras de corte (cm²)

Tabla VI.10. Cortante resistente para una falla por corte o falla frágil con separación de 12,5 cm. (cerca del nodo) y con separación de 25 cm. (en el centro de la columna)

Columna	Área (m ²)	Nu (tf)	Vc (tf)	s = 12,5 cm.		s = 25 cm.	
				Vs (tf)	Vfrágil (tf)	Vs (tf)	Vfrágil (tf)
37	25,00	93,51	15,15	16,76	31,91	8,38	23,53
45	25,00	93,51	15,15		31,91		23,53
109	13,32	49,82	13,10		29,86		21,48
117	37,05	138,58	17,27		34,03		25,65
127	25,19	94,22	15,18		31,94		23,56
256	25,00	93,51	15,15		31,91		23,53
264	47,27	176,80	19,07		35,83		27,45
273	25,00	93,51	15,15		31,91		23,53
TOTAL:							259,31

Fuente: Elaboración propia

El cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil es el corte que resiste la columna cuando entra en cedencia. Dicho corte se determina de dos maneras dependiendo del caso: cuando la viga es mucho más rígida que la columna, la cortante se aproxima a dos veces el momento cedente de la columna entre la longitud efectiva de la misma, y cuando la viga es muy poco rígida, la cortante se aproxima al momento cedente entre la longitud efectiva de la columna. En nuestro caso el cortante resistente fue estimado suponiendo la formación de articulaciones en ambos extremos de las columnas, por lo que se determinó usando la siguiente fórmula:

$$V_{\text{dúctil}} = 2 M_y / h$$

El momento cedente se obtuvo de los Diagramas de Interacción elaborados con dos opciones de áreas de acero para cada columna; dichas opciones se escogieron en base al análisis hecho de las imágenes del detector de metales, y de acuerdo al diseño proporcionado en ETABS, donde se supuso que el acero de las columnas es el mismo para todas y podría estar combinado de dos maneras.

Una vez elaborados los diagramas de interacción, de ellos se extrae los momentos cedentes correspondientes para cada fuerza axial de cada columna. La Tabla VI.11 muestra el cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil total en la planta baja. Dado que no hay columnas cortas en dicha planta, se utilizó altura libre $h = 2,90$ m.

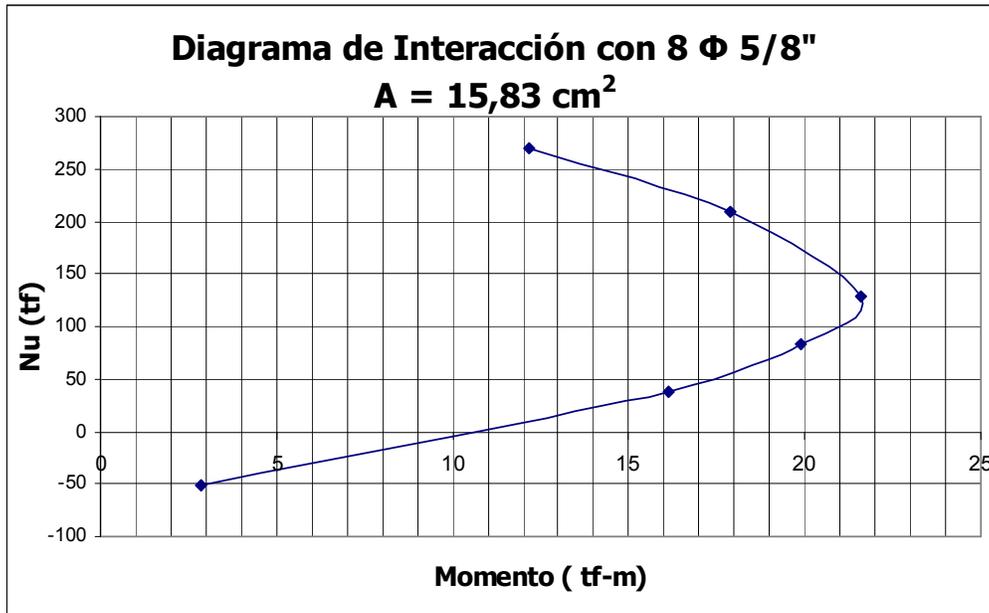


Figura VI.4. Diagrama de Interacción para la primera opción de Área de acero
Fuente: Elaboración propia

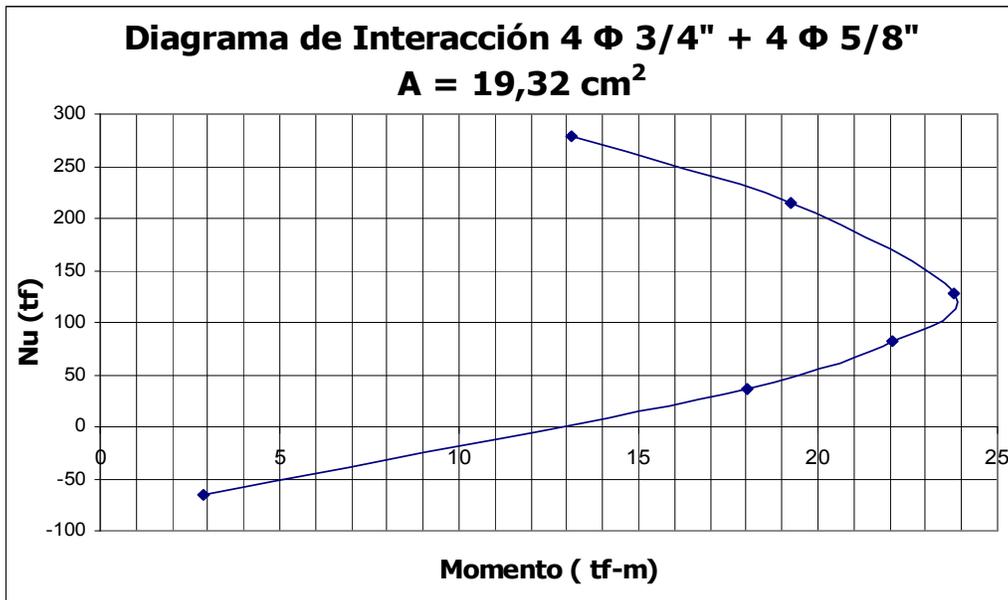


Figura VI.5. Diagrama de Interacción para la segunda opción de Área de acero
Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.11. Cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil con las dos opciones de áreas de acero

Columna	Área (m ²)	Nu (tf)	8 Φ 5/8"		4 Φ 3/4" + 4 Φ 5/8"	
			My (tf-m)	V _{dúctil} (tf)	My (tf-m)	V _{dúctil} (tf)
37	25.00	93.51	20.50	14.14	23.00	15.86
45	25.00	93.51	20.50	14.14	23.00	15.86
109	13.32	49.82	17.50	12.07	19.30	13.31
117	37.05	138.58	20.40	14.07	23.60	16.28
127	25.19	94.22	20.60	14.21	23.30	16.07
256	25.00	93.51	20.50	14.14	23.00	15.86
264	47.27	176.80	19.80	13.66	21.60	14.90
273	25.00	93.51	20.50	14.14	23.00	15.86
TOTAL:			110.55			124.00

Fuente: Elaboración propia

Como se dijo anteriormente, la Capacidad de las columnas a fuerza cortante viene dada por el menor valor entre el cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil, y el cortante resistente para una falla por corte o falla frágil. Por una parte, la demanda actúa del mismo modo a lo largo de toda la columna, por lo que debe compararse con la condición más desfavorable, que en este caso sería la parte central de las columnas, las cuales poseen ligaduras separadas cada 25 cm. Sin embargo, si se compara la falla frágil con la dúctil se observa que la falla dúctil es menor, escogiéndose entre las dos opciones de acero la segunda, siguiendo las recomendaciones de diseño de acero del programa ETABS; esto quiere decir que la relación Demanda / Capacidad se obtuvo con un valor de Capacidad de 124 tf. En la Tabla VI.12 se observa esta relación, donde la demanda fue obtenida de la Tabla VI.9.

Tabla VI.12. Relación Demanda / Capacidad

COLUMNA	MODELOS							
	1		2		3		3a	
	Inercia gruesa		Inercia reducida		Paredes		Paredes (Todo)	
	Vx (tf)	Vy (tf)	Vx (tf)	Vy (tf)	Vx (tf)	Vy (tf)	Vx (tf)	Vy (tf)
Demanda	179,87	185,42	154,23	158,18	160,69	183,39	339	362
Capacidad	124	124	124	124	124	124	124	124
Relación Demanda/ Capacidad	1,45	1,50	1,24	1,28	1,30	1,48	2,73	2,92

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla VI.12 se deduce que la Demanda supera la Capacidad de las columnas en la base de la edificación en los tres modelos matemáticos. Dicha relación es aproximadamente 1,5 en todos los modelos, inclusive en el modelo de las paredes.

En la Tabla VI.12 se ha añadido el Modelo 3a, pero se diferencia del Modelo 3 en que el valor de demanda se toma como el cortante basal total, es decir, aquel que toman las columnas y las paredes. Estos valores se comparan con la capacidad de las columnas en la planta baja, despreciando la resistencia que pudieran aportar las paredes. La relación Demanda / Capacidad para este Modelo 3a indica valores cercanos al Modelo 3. Éste es un modelo conservador que supone que las paredes han contribuido con su rigidez a atraer las elevadas fuerzas sísmicas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se investigaron las características y propiedades de los elementos estructurales y no estructurales de las escuelas tipo Módulo Base inspeccionadas, encontrándose diferencias y semejanzas tanto en su diseño estructural como arquitectónico. Todas las escuelas examinadas fueron comparadas con la U. E. N. Padre Sojo verificando la similitud geométrica y estructural entre ellas, concluyéndose que tanto la U. E. N. Julio Bustamante, así como la E. B. N. Elías Rodríguez son Sistemas Tipo Módulo Base; sin embargo, la E. B. N. Fernando Peñalver es posible que no se trate de un módulo base dada sus características.

El estudio se inició, prácticamente, sin ningún plano de estos edificios. Se elaboraron planos en 2D, un plano en 3D y videos que describen la arquitectura y la estructura de este tipo de edificación. Cabe destacar que la etapa más prolongada de este proyecto fue la búsqueda de información, lo que permitió el desarrollo de los modelos matemáticos, para determinar el riesgo sísmico.

Se realizaron tres modelos matemáticos, donde se representó la estructura en varias modalidades; dichos modelos se efectuaron a partir de los datos obtenidos en el levantamiento geométrico y estructural de la escuela. Se comprueba el gran aporte de rigidez de las paredes de mampostería a los pórticos, pues el período disminuye aproximadamente a la mitad del valor que tiene la estructura sola.

De los desplazamientos puede destacarse nuevamente la rigidez aportada por las paredes, que originan una apreciable disminución en los desplazamientos. Las derivas máximas exceden más de dos veces los valores permitidos por la Norma vigente para la estructura con paredes. Al incluir las paredes, las derivas están por debajo del límite exigido por la Norma. Por esta razón se recomienda dar mayor

rigidez a la edificación por medio de refuerzos estructurales previamente estudiados, que disminuyen la deriva hasta el valor admisible.

Es importante señalar que el efecto de columna corta debe eliminarse en la estructura, por medio de la separación de la pared de las columnas y colocando elementos estructurales dentro de dichas paredes, tal como machones, con el objeto de evitar el volcamiento de las mismas.

El riesgo sísmico que presenta la U. E. N. Padre Sojo ante la acción de los movimientos sísmicos, fue también evaluado analizando la relación Demanda / Capacidad de la estructura, donde se llegó a la conclusión que la Capacidad viene dada por el cortante resistente para una falla a flexión o falla dúctil, condición favorable, ya que la estructura alcanza la cedencia antes de ocurrir la falla frágil, permitiendo que se plastifique. Cabe resaltar que dicha capacidad se calculó suponiendo la distribución y área de acero de las columnas, donde se tomó en cuenta el diseño sugerido por el programa ETABS, el cual se basa en las Normas vigentes en la actualidad; además estos resultados fueron comparados con las imágenes del detector de metales, el cual proporcionó la distribución de dicho acero. Con estos datos se logró elaborar el diagrama de interacción para las dos opciones de acero sugeridas.

Al comparar la Demanda con la Capacidad se comprobó que la estructura posee poca resistencia lateral, pues los resultados indicaron que se necesitaría el doble de su capacidad para poder resistir fuerzas sísmicas, de acuerdo a la Norma vigente; por lo que se recomienda reforzar la estructura con arriostramientos que garanticen la seguridad de la misma. Podrían colocarse Cruces de San Andrés como una alternativa, o muros estructurales en lugares estratégicos, como por ejemplo en el pórtico C del edificio Norte entre los ejes 5 y 6, y en el pórtico 6 entre los ejes B y C, de manera análoga se colocarían en el Edificio Sur, es decir, en el

pórtico A entre los ejes 1 y 2, y en el pórtico 1 entre los ejes A y B; tomando en cuenta la distribución actual de las paredes, con ello se resolvería el problema de la resistencia de la edificación.

Se debe recordar que antes de realizar cualquier reforzamiento es imprescindible llevar a cabo un estudio del problema de choque de los tres edificios en conjunto. Es posible que se genere problemas de resistencia lateral en el momento de un sismo, debido a la ligera separación que estos edificios poseen entre sí.

Con esto se concluye esta investigación, luego de haber obtenido los resultados necesarios para su análisis y evaluación sismorresistente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- García, L. (1998). **Dinámica estructural Aplicada al Diseño Sísmico**. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.
- 2.- Rodríguez, D; Figuera, F. y Bolívar, J. (2000, Octubre). **Adecuación sísmica de edificación educativa en el área metropolitana de Caracas**. Artículo presentado en el II Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
- 3.- López, O; Hernández, J; Del Re, G y Puig, J. (2004, Octubre). **Reducción del Riesgo sísmico en escuelas de Venezuela**. *Boletín Técnico IMME*, 42, (3).
- 4.- Lee, C. y Abou, F. (2005). **Evaluación del Riesgo sísmico en escuelas Tipo Antiguo II**. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Caracas, Venezuela.
- 5.- Chopra, A. (2005). **Earthquake Dynamics of Structures**. 2° Edition. *Earthquake Engineering Research Institute*. USA
- 6.- Grases, J; López, O. y Hernández, J. (1987). **Edificaciones Sismorresistentes**. Manual de Aplicación. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- 7.- González, O; Robles, M; Casillas, F. y Díaz de Cossío J. (1974). **Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado**. 4° Edición. Editorial Limusa. México.

8.- Bazán, M. y Meli R. (1999). **Diseño Sísmico de Edificios**. Editorial Limusa. México.

9.- Paz M. (1992). **Dinámica Estructural. Teoría y Cálculo**. Editorial Reverté, S. A. Barcelona, España.

10.- FEDE. **Una Estrategia para la Eficiencia de Planta Física Educativa**. Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas. Caracas, 1997.

11.- COVENIN. **Criterios y Acciones mínimas para el Proyecto de Edificaciones**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma COVENIN – MINDUR 2002:88. Caracas, 1998.

12.- COVENIN. **Edificaciones Sismorresistentes**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. MCT – MINDUR – FUNVISIS. 1756:01. Caracas, 2001.

13.- COVENIN. **Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño**. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma COVENIN – MINDUR 1753:87. Caracas, 1987.

ANEXO A



Figura A.01 – Nombre de la Institución. Esta placa se encuentra en la entrada de la escuela



Figura A.02 –Entrada de la escuela, ubicada en la Fachada Sur



Figura A.03 – Fachada Sur. Entrada principal de la escuela. En la imagen pueden observarse los 4 niveles que constituyen el plantel



Figura A.04 – Entrada de la escuela. Se observa presencia de paredes de ventilación



Figura A.05 – Fachada Sur. Se observa claramente los últimos 3 niveles



Figura A.06 – Edificio Sur. Se observan los volados desde el patio interno de la escuela



Figura A.07 – Edificio Sur desde la Fachada Oeste en el nivel Planta Baja



Figura A.08 – Edificio Sur desde la Fachada Sur



Figura A.09 – Fachada Este. A la izquierda se encuentra el Edificio Sur, donde se aprecian las paredes de ventilación y los parasoles del patio interno del plantel



Figura A.10 – Fachada Oeste desde la U. E. N. Julio Bustamante. Se observan las paredes de ventilación que constituyen el módulo independiente de las escaleras



Figura A.11 – Edificio Norte desde la Fachada Oeste en el nivel de planta baja



Figura A.12 – Imagen tomada desde el Edificio Norte en el nivel Planta Baja. Pasillo de acceso a las escaleras



Figura A.13 – Nivel Planta Baja. Módulo de la escalera

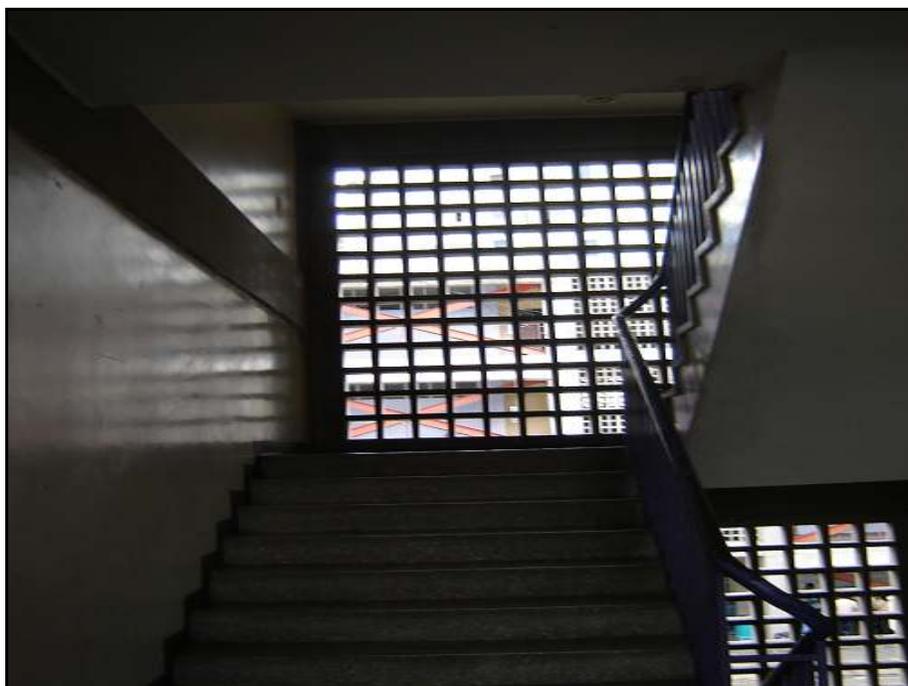


Figura A.14 – Módulo de la escalera en el nivel 1



Figura A.15 – Módulo de la escalera. Presencia de vigas altas en la dirección longitudinal con altura de 50 cm.

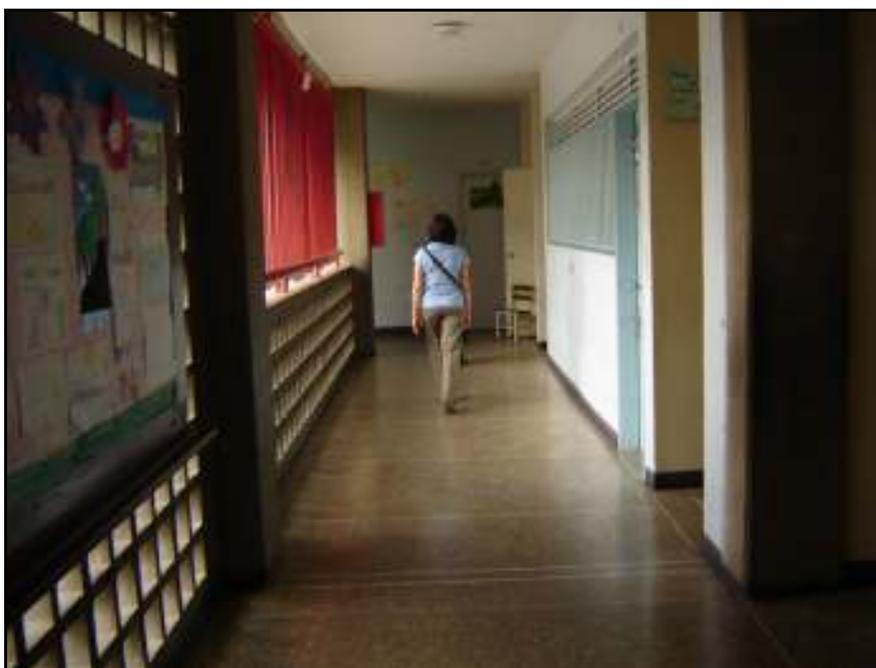


Figura A.16 – Imagen tomada desde el área de preescolar. Pasillo del piso 1



Figura A.17 – Nodo del módulo de la escalera en el piso 1



Figura A.18 – Junta en el nivel 1 (Edificio Sur)



Figura A.19 – Junta en el nivel 1 (Edificio Norte)



Figura A.20 – Junta en el nivel 1 (Edificio Sur). A la derecha se observa la columna B'3' y una viga del módulo de la escalera.



Figura A.21 – Columna C2 ubicada en el baño de mujeres de Planta Baja



Figura A.22 – Baño de hombres del nivel 2



Figura A.23 – Salón de clase de preescolar, ubicado en el nivel 1 del Edificio Norte



Figura A.24 – Parte de atrás del salón de clases mostrado en la Imagen 23



Figura A.25 – Grieta en la planta baja del Edificio Norte



Figura A.26 – Se observa el técnico del IMME tomando una imagen con el detector de metales en el lugar de la grieta mostrada en la Imagen anterior



Figura A.27 – Fachada Norte



Figura A.28 – Fachada Norte. Se observa la presencia de columnas cortas en los niveles superiores



Figura A.29 – Fachada Norte. Se observa el volado de 3.4 m.



Figura A.30 – Edificio Sur desde el patio interno central.



Figura A.31 – Nivel 4. Se observa el poco acceso que tiene dicho nivel; también se observan los equipos de medición usados por FUNVISIS en una visita realizada al plantel



Figura A.32 – Nivel 4.



Figura A.33 – Nivel 4. Al fondo se observa la U. E. N. Julio Bustamante



Figura A.34 – Edificio Sur desde el patio interno. Se aprecia la plantilla utilizada para la medición con el detector de metales, ubicada en el nodo A2.



Figura A.35 – Medición con el detector de metales en el nodo B3 desde el patio interno



Figura A.36 – Medición con el detector de metales en el módulo de la escalera

ANEXO B

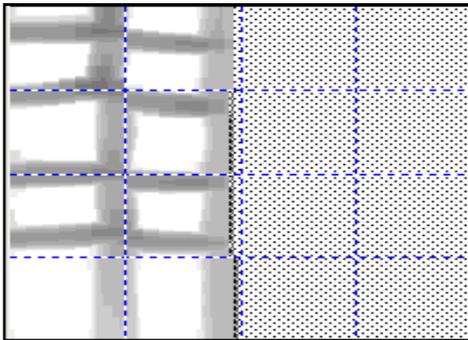
Figura B.1 – Imagen del detector de metales en la Columna B1			
Nombre del Elemento	Columna B1	Observaciones: Los aceros longitudinales poseen un diámetro de mayor calibre que las transversales. Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Parte superior - Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		3,8 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	4,6 cm.	
			

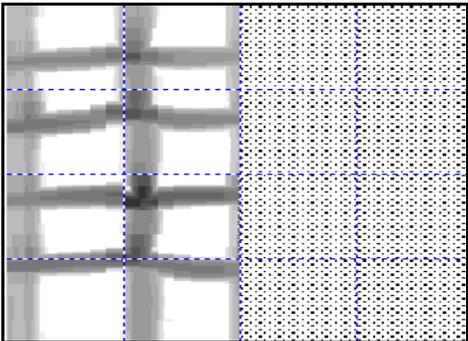
Figura B.2 – Imagen del detector de metales en la Columna B1			
Nombre del Elemento	Columna B1	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Parte superior-Cara oeste		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		3,5 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	4,4 cm.	
			

Figura B.3 – Imagen del detector de metales en la Columna B1			
Nombre del Elemento	Columna B1	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	En el medio-Cara oeste		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		25 cm.
	Profundidad		5,2
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	6,2	

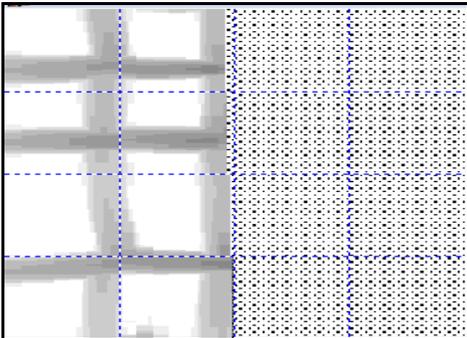



Figura B.4 – Imagen del detector de metales en la Columna B1			
Nombre del Elemento	Columna B1	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	En el medio-Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		2
	Separación		25 cm.
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	5,6 cm.	

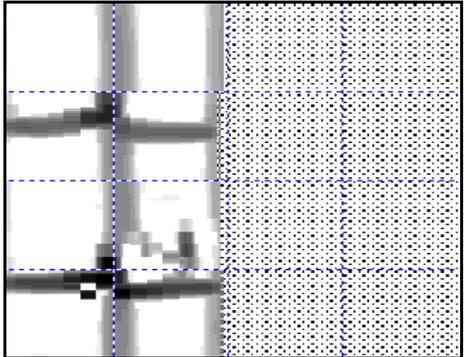


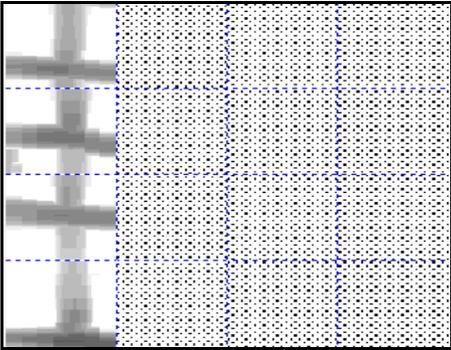

Figura B.5 – Imagen del detector de metales en la Columna B3			
Nombre del Elemento	Columna B3	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Parte superior-Cara oeste		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		6,3 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	7 cm	
			

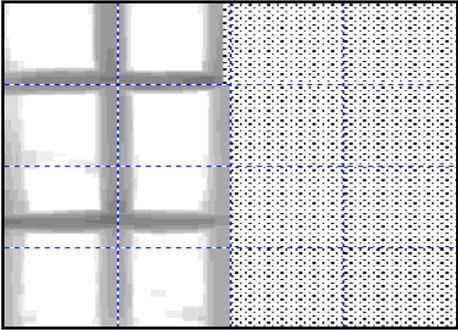
Figura B.6 – Imagen del detector de metales en la Columna B2			
Nombre del Elemento	Columna B2	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	En el medio-Cara norte		
Acero Transversal	Nº Barras		2
	Separación		25 cm.
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	6,5 cm.	
			

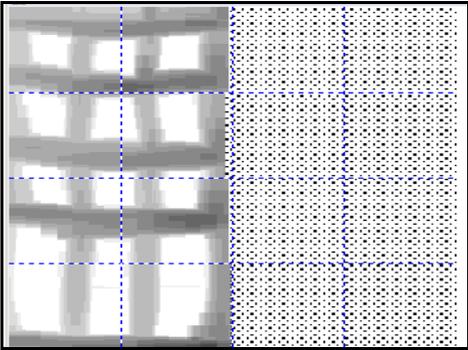
Figura B.7 – Imagen del detector de metales en la Columna B3			
Nombre del Elemento	Columna B3	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Parte superior-Cara oeste		
Acero Transversal	Nº Barras		5
	Separación		25 cm.
	Profundidad		4,3 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		4
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	5,6 cm.	
			

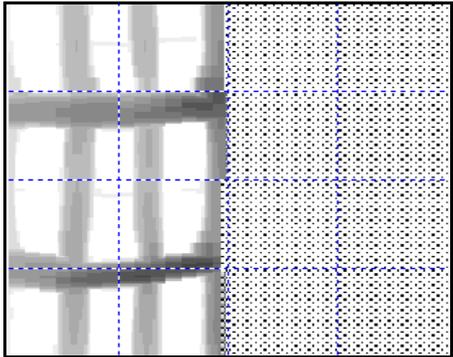
Figura B.8 – Imagen del detector de metales en la Columna B3			
Nombre del Elemento	Columna B3	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	En el medio - Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		2
	Separación		25 cm.
	Profundidad		5 cm
Acero Longitudinal	Nº Barras		4
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	6,8 cm.	
			

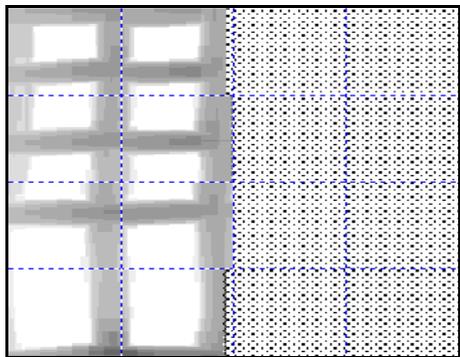
Figura B.9 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	1		
Lugar del Elemento	Parte superior -Cara este		
Acero Transversal	Nº Barras		5
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		4,7 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	6 cm	
			

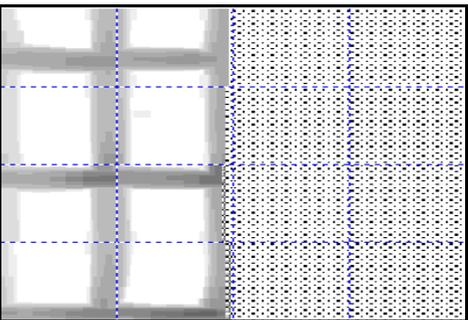
Figura B.10 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	1		
Lugar del Elemento	En el medio -Cara este		
Acero Transversal	Nº Barras		3
	Separación		25 cm.
	Profundidad		4,8 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	5,2 cm.	
			

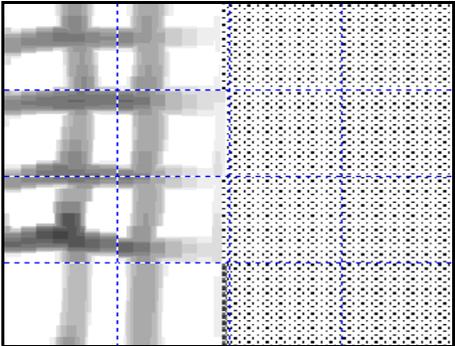
Figura B.11 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	1		
Lugar del Elemento	Parte superior -Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		4,4 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		4
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	5,1 cm.	
			

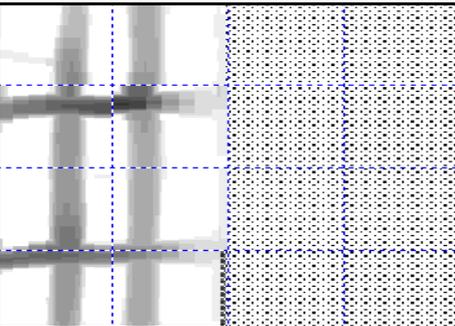
Figura B.12 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	1		
Lugar del Elemento	En el medio -Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		2
	Separación		25 cm.
	Profundidad		5,4 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		4
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	-	
			

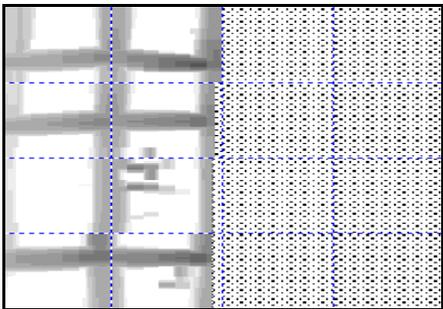
Figura B.13 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Parte superior -Cara este		
Acero Transversal	Nº Barras		3
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		5,5 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	7,3 cm.	
			

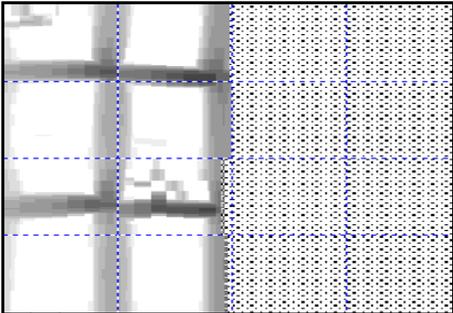
Figura B.14 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	En el medio –Cara este		
Acero Transversal	Nº Barras		2
	Separación		25 cm.
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	-	
			

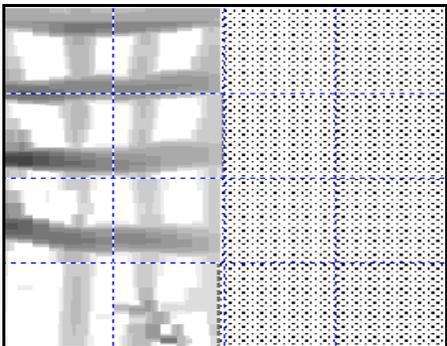
Figura B.15 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Parte superior –Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		12,5 cm.
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		4
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	5,2 cm.	
			

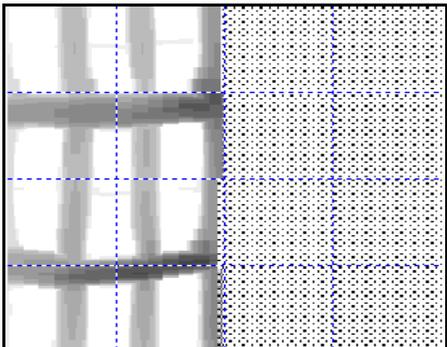
Figura B.16 – Imagen del detector de metales en la Columna B'4'			
Nombre del Elemento	Columna B'4'	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	En el medio –Cara sur		
Acero Transversal	Nº Barras		2
	Separación		25 cm.
	Profundidad		4,9 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		4
	Separación	15 cm.	
	Profundidad	6,2 cm.	
			

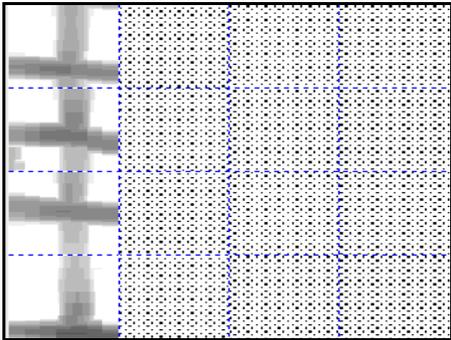
Figura B.17 – Imagen del detector de metales en la Columna C2			
Nombre del Elemento		Columna C2	Observaciones: Los diámetros de los aceros longitudinales y transversales difieren muy poco en tamaño. Es visible que los transversales son los más grandes.
Nivel		PB	
Lugar del Elemento		Parte superior –Cara norte	
Acero Transversal	Nº Barras	4	
	Separación	12,5 cm.	
	Profundidad	4,5 cm.	
Acero Longitudinal	Nº Barras	3	
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	5,3 cm.	
			

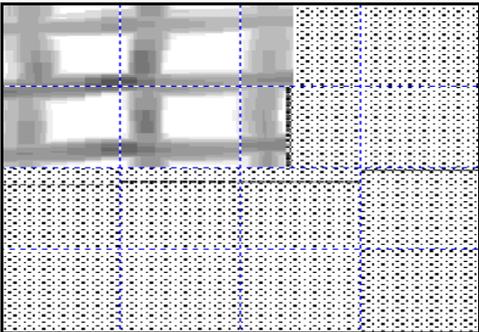
Figura B.18 – Imagen del detector de metales en el Nodo B1			
Nombre del Elemento		Nodo B1	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.
Nivel		PB	
Lugar del Elemento		Columna arriba - Cara sur	
Acero Transversal	Nº Barras	3	
	Separación	12,5 cm.	
	Profundidad	-	
Acero Longitudinal	Nº Barras	3	
	Separación	12,5 cm.	
	Profundidad	-	
			

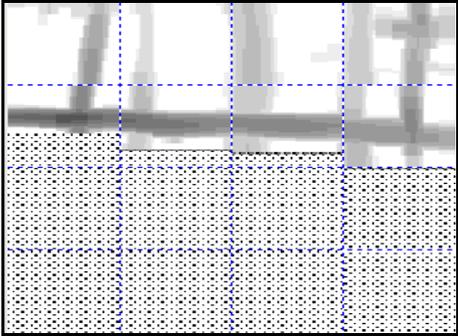
Figura B.19 – Imagen del detector de metales en el Nodo B1			
Nombre del Elemento		Nodo B1	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.
Nivel		PB	
Lugar del Elemento		Viga –Cara sur	
Acero Transversal	Nº Barras	2	
	Separación	20 cm	
	Profundidad	-	
Acero Longitudinal	Nº Barras	5	
	Separación	12,5 cm.	
	Profundidad	-	
			

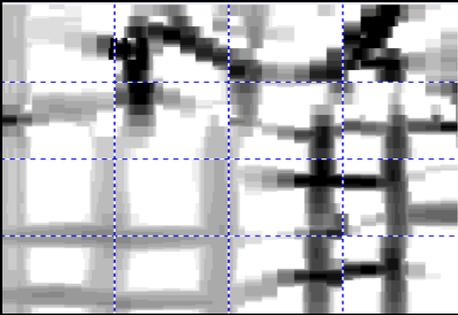
Figura B.20 – Imagen del detector de metales en el Nodo B3			
Nombre del Elemento		Nodo B3	Observaciones: La resolución de la imagen es muy baja, lo cual dificulta detallar con precisión la separación y profundidad del acero longitudinal como el transversal.
Nivel		PB	
Lugar del Elemento		Intersección - Cara este	
Acero Transversal	Nº Barras	-	
	Separación	-	
	Profundidad	-	
Acero Longitudinal	Nº Barras	-	
	Separación	-	
	Profundidad	-	
			

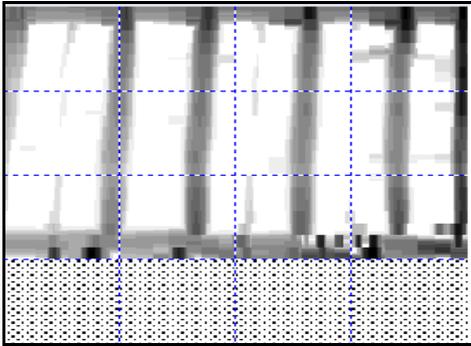
Figura B.21 – Imagen del detector de metales en la Viga 3' (C'-B')			
Nombre del Elemento	Viga 3'(C'-B')	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2 a 3		
Lugar del Elemento	Lado C' - Norte		
Acero Transversal	Nº Barras		6
	Separación		12 cm.
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		2
	Separación	40 cm.	
	Profundidad	-	
			

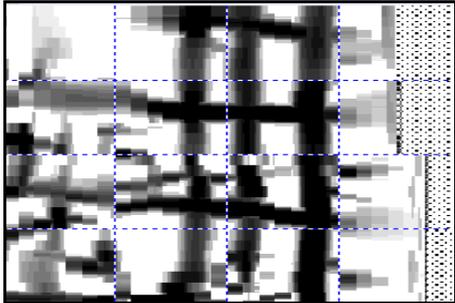
Figura B.22 – Imagen del detector de metales en la Viga B' (3'-4')			
Nombre del Elemento	Viga B' (3'-4')	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Lado 4' - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		10 cm.
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm	
	Profundidad	-	
			

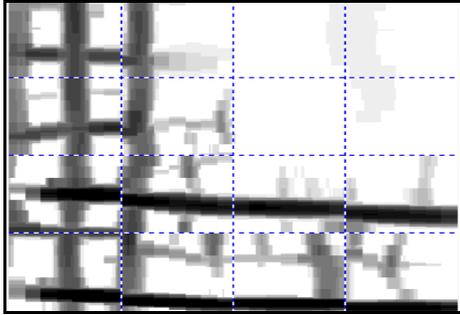
Figura B.23 – Imagen del detector de metales en la Viga 5 (B-A)			
Nombre del Elemento	Viga 5 (B – A)	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Lado B - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		5
	Separación		15 cm
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm	
	Profundidad	-	
			

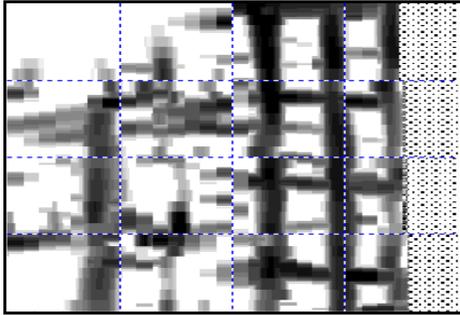
Figura B.24 – Imagen del detector de metales en la Viga 5 (B-A)			
Nombre del Elemento	Viga 5 (B – A)	Observaciones: El ferrosacan no detalló con precisión las profundidades de los aceros. Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Lado A- Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		5
	Separación		De 10 a 15 cm
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm	
	Profundidad	-	
			

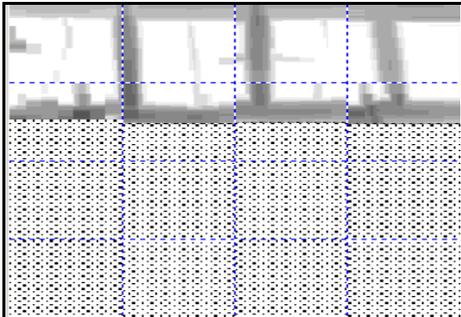
Figura B.25 – Imagen del detector de metales en la Viga 5 (B-A)			
Nombre del Elemento	Viga 5 (B – A)	Observaciones: Es notable que los aceros transversales tienen un diámetro superior a los longitudinales. Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Lado A - Sur		
Acero Transversal	Nº Barras		3
	Separación		15 cm
	Profundidad		5,3 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		2
	Separación	20 cm.	
	Profundidad	6,1 cm.	
			

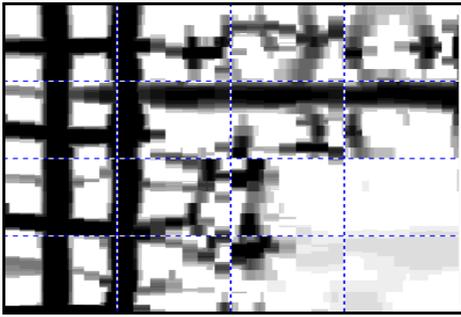
Figura B.26 – Imagen del detector de metales en la Viga 5 (B-A)			
Nombre del Elemento	Viga 5 (B – A)	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	En el medio - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		15 cm
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	10 cm.	
	Profundidad	-	
			

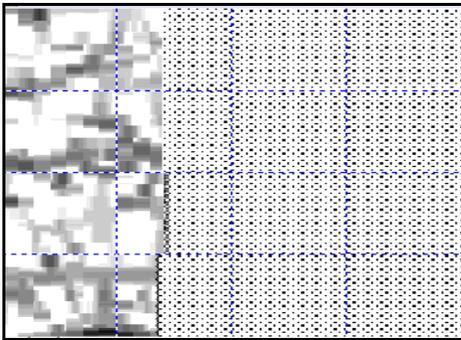
Figura B.27 – Imagen del detector de metales en la Viga B' (3'-4')			
Nombre del Elemento	Viga B' (3' – 4')	Observaciones: La imagen obtenida posee poca nitidez. La medición no proporcionó suficiente información.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Lado 3' - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		-
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		2
	Separación	-	
	Profundidad	-	
			

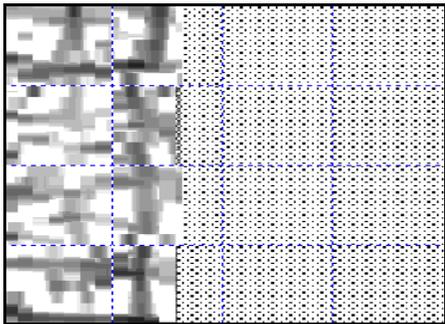
Figura B.28 – Imagen del detector de metales en la Viga B' (3'-4')			
Nombre del Elemento	Viga B' (3' – 4')	Observaciones: La imagen nuevamente obtenida posee poca nitidez.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Lado 4' - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		4
	Separación		15 cm
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		1
	Separación	-	
	Profundidad	-	
			

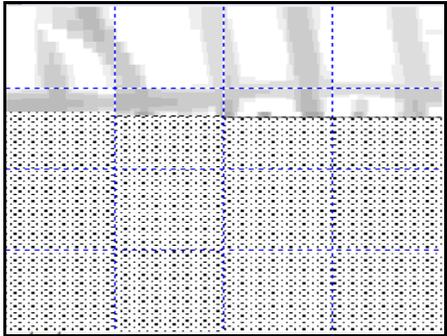
Figura B.29 – Imagen del detector de metales en la Viga B' (3'-4')			
Nombre del Elemento	Viga B' (3' – 4')	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Lado 4' – Cara este		
Acero Transversal	Nº Barras		5
	Separación		De 10 a 15 cm.
	Profundidad		6,4 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		1
	Separación	-	
	Profundidad	7,1 cm.	
			

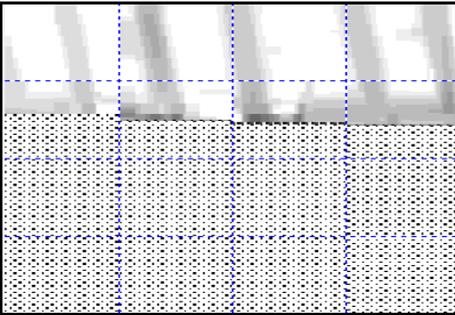
Figura B.30 – Imagen del detector de metales en la Viga B' (3'-4')			
Nombre del Elemento	Viga B' (3' – 4')	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Lado 3' – Cara este		
Acero Transversal	Nº Barras		6
	Separación		De 10 a 15 cm
	Profundidad		5,5 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		1
	Separación	-	
	Profundidad	6,0 cm.	
			

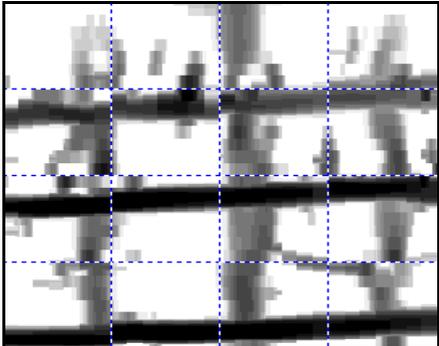
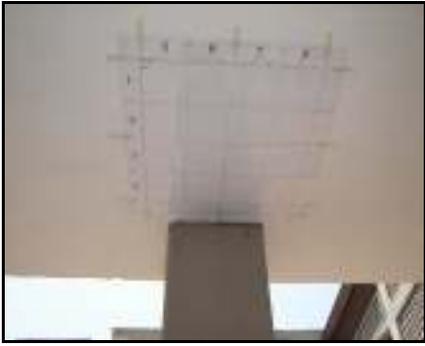
Figura B.31 – Imagen del detector de metales en la Viga A (5-6)			
Nombre del Elemento	Viga A (5 – 6)	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	PB		
Lugar del Elemento	Lado 5 - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		3
	Separación		De 15 a 20 cm
	Profundidad		4,6 cm.
Acero Longitudinal	Nº Barras		3
	Separación	20 cm	
	Profundidad	5,3 cm.	
			

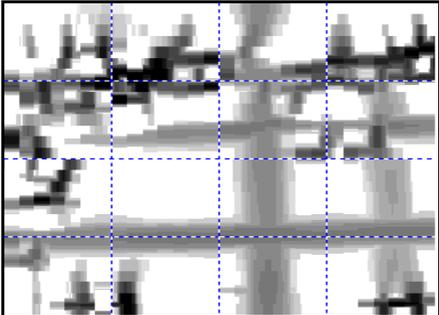
Figura B.32 – Imagen del detector de metales en la Viga A (5-6)			
Nombre del Elemento	Viga A (5 – 6)	Observaciones: Los cuadros de la grilla son de 15 cm. X 15 cm.	
Nivel	2		
Lugar del Elemento	Lado 5 - Abajo		
Acero Transversal	Nº Barras		3
	Separación		-
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		2
	Separación	-	
	Profundidad	-	
			

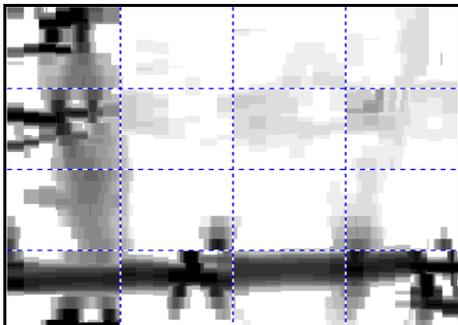
Figura B.33 – Imagen del detector de metales en la Losa B5-B6-A5-A6		
Nombre del Elemento		Losa B5-B6-A5-A6
Nivel		2
Lugar del Elemento		En el medio - Este
Acero Transversal	Nº Barras	-
	Separación	-
	Profundidad	-
Acero Longitudinal	Nº Barras	-
	Separación	-
	Profundidad	-
		Observaciones: No se distingue con claridad el acero.
		

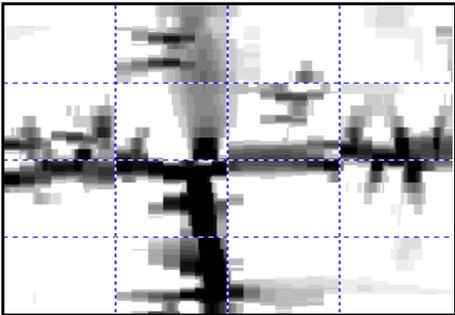
Figura B.34 – Imagen del detector de metales en la Losa B5-B6-A5-A6		
Nombre del Elemento		Losa B5-B6-A5-A6
Nivel		2
Lugar del Elemento		En el medio - Norte
Acero Transversal	Nº Barras	-
	Separación	-
	Profundidad	-
Acero Longitudinal	Nº Barras	-
	Separación	-
	Profundidad	-
		Observaciones: No se distingue con claridad el acero.
		

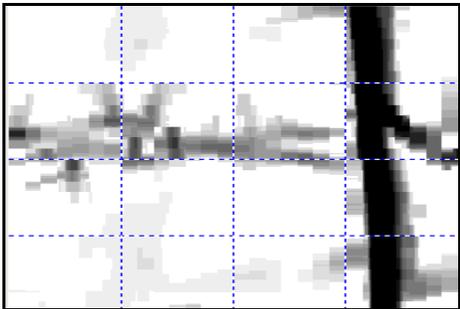
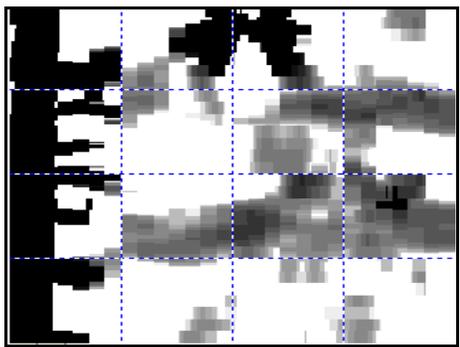
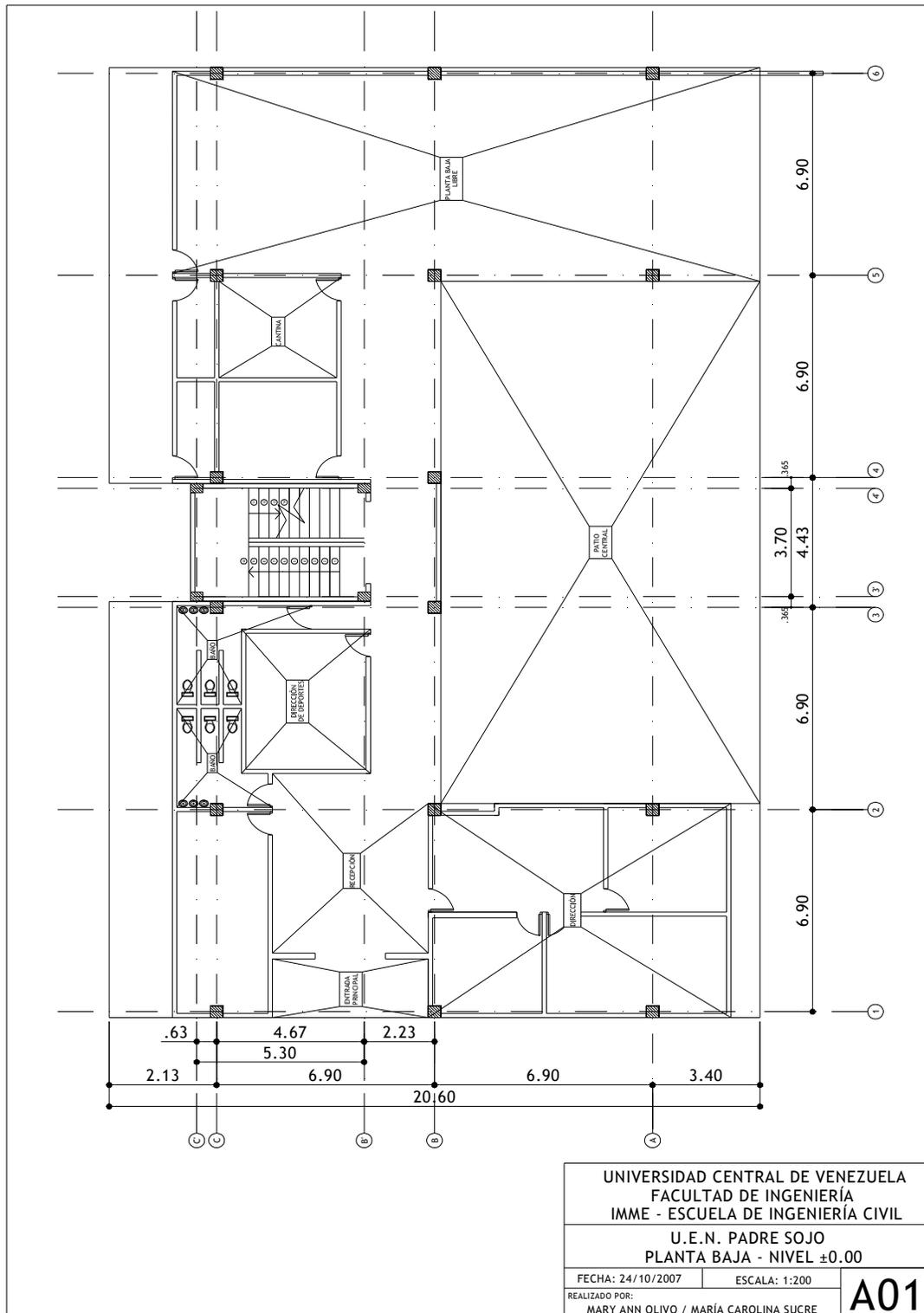
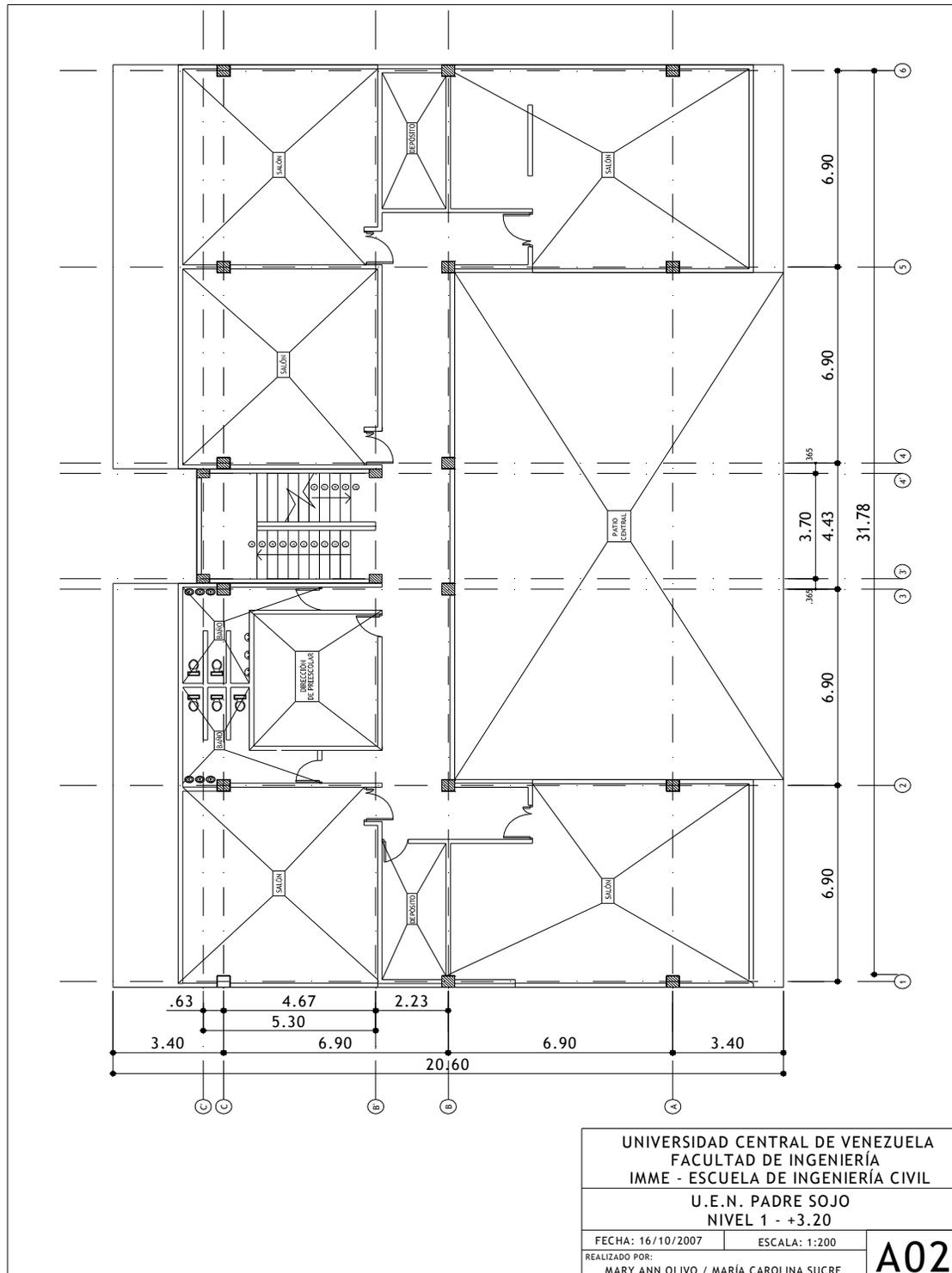
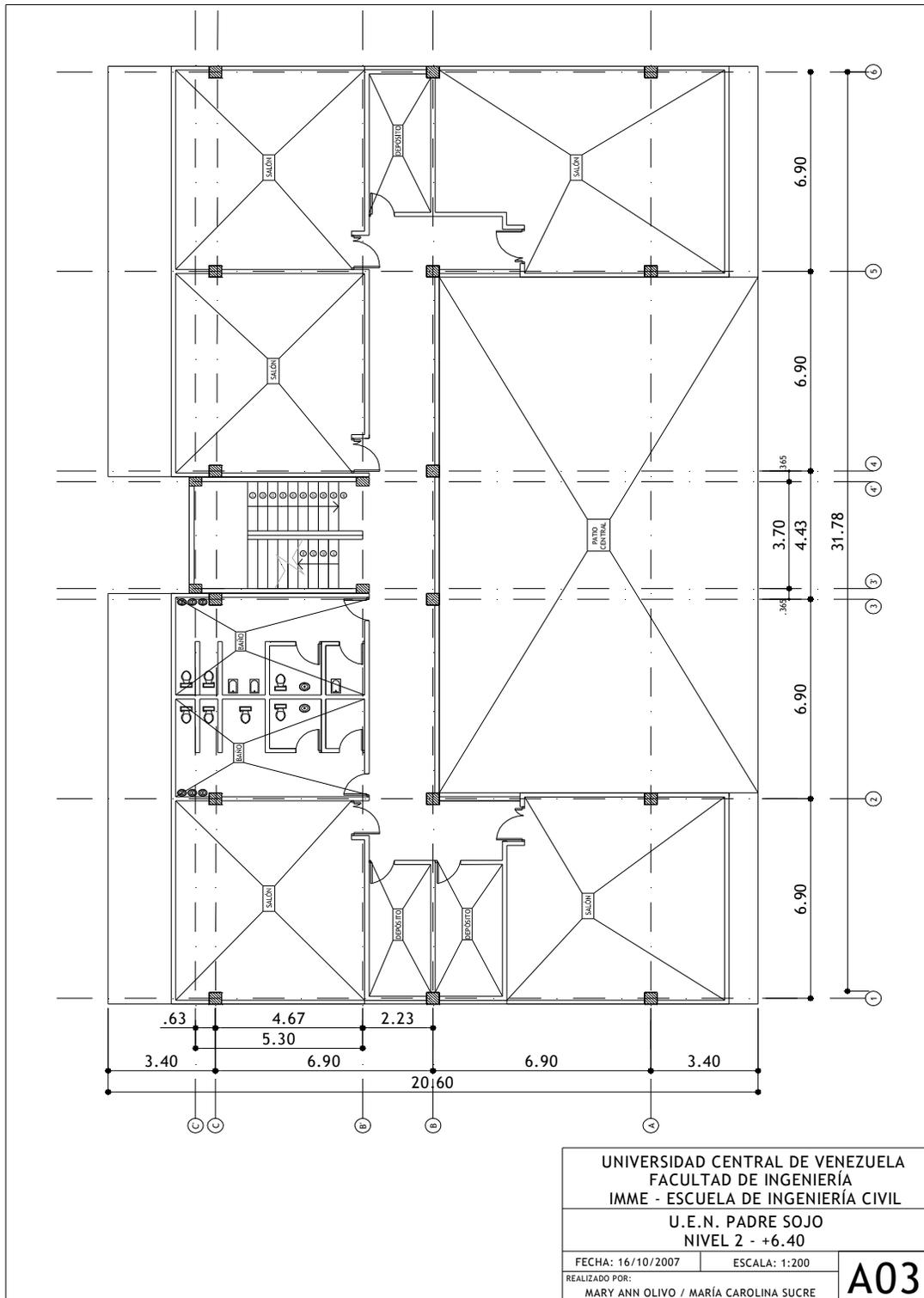
Figura B.35 – Imagen del detector de metales en la Losa B5-B6-A5-A6			
Nombre del Elemento	Losa B5-B6-A5-A6	Observaciones: No se distingue con claridad el acero.	
Nivel	1		
Lugar del Elemento	En el medio - Este		
Acero Transversal	Nº Barras		-
	Separación		-
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		-
	Separación	-	
	Profundidad	-	
			

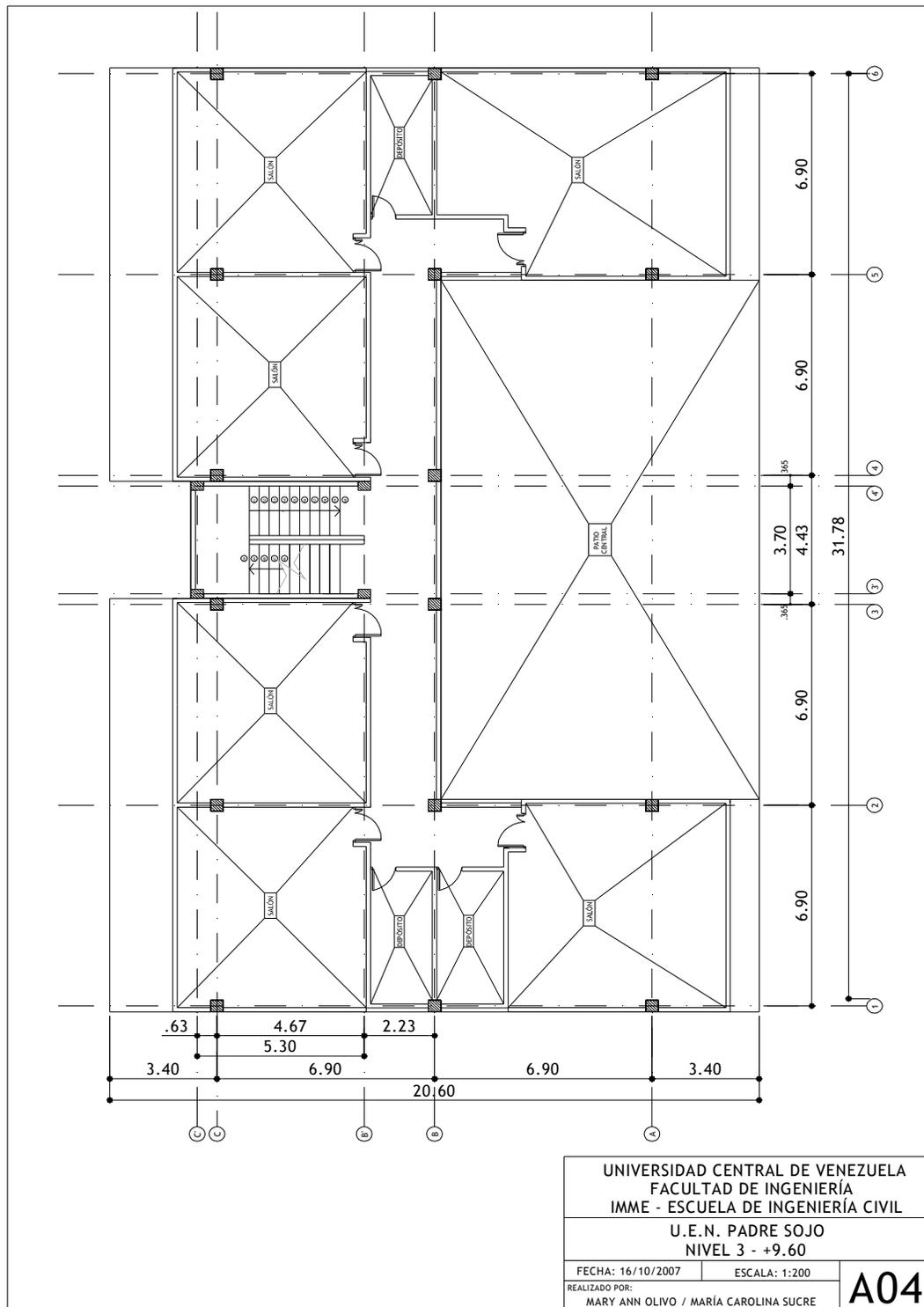
Figura B.36 – Imagen del detector de metales en la Losa B5-B6-A5-A6			
Nombre del Elemento	Losa B5-B6-A5-A6	Observaciones: No se distingue con claridad el acero.	
Nivel	1		
Lugar del Elemento	En el lado este - Este		
Acero Transversal	Nº Barras		-
	Separación		-
	Profundidad		-
Acero Longitudinal	Nº Barras		-
	Separación	-	
	Profundidad	-	
			

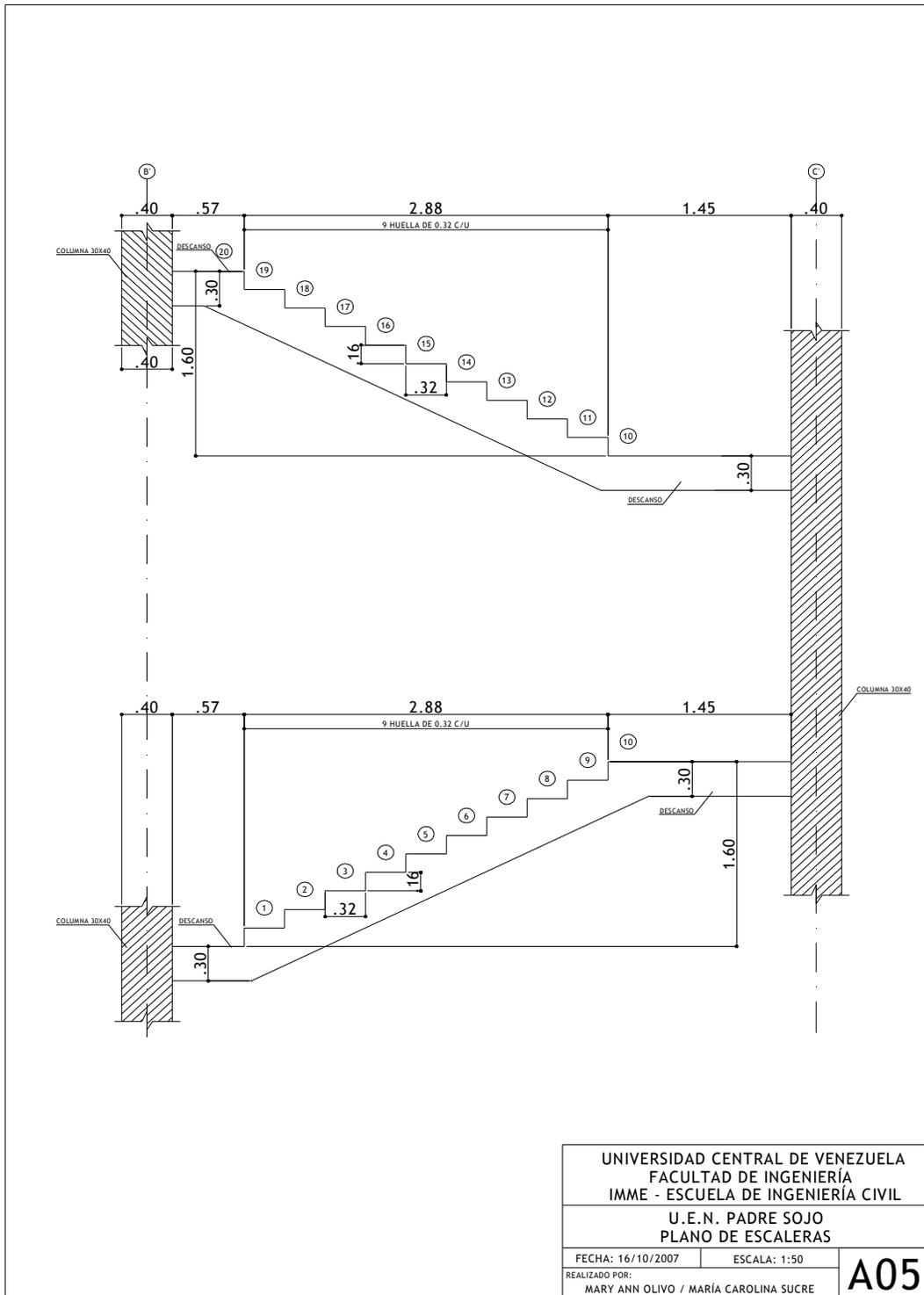
ANEXO C

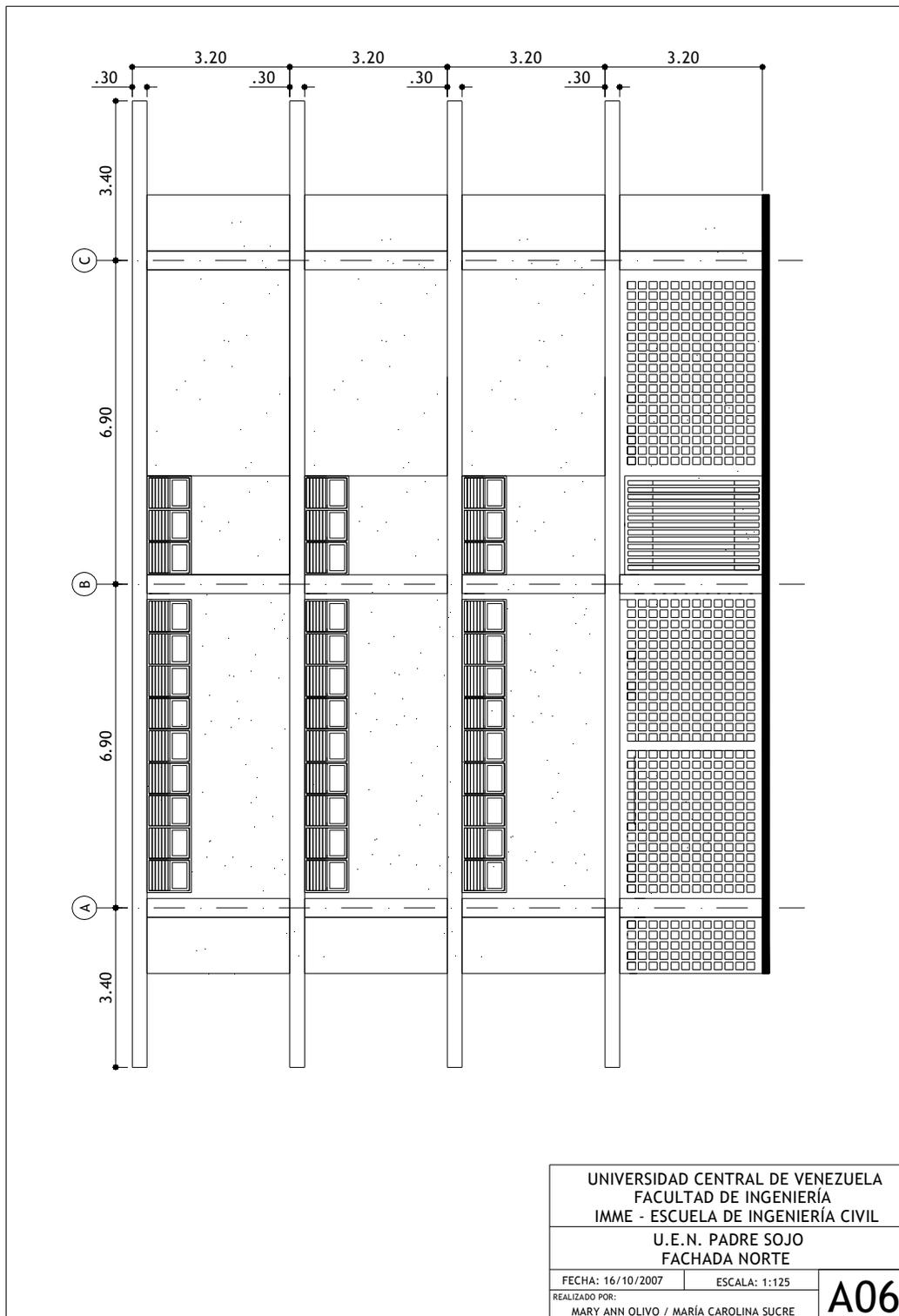


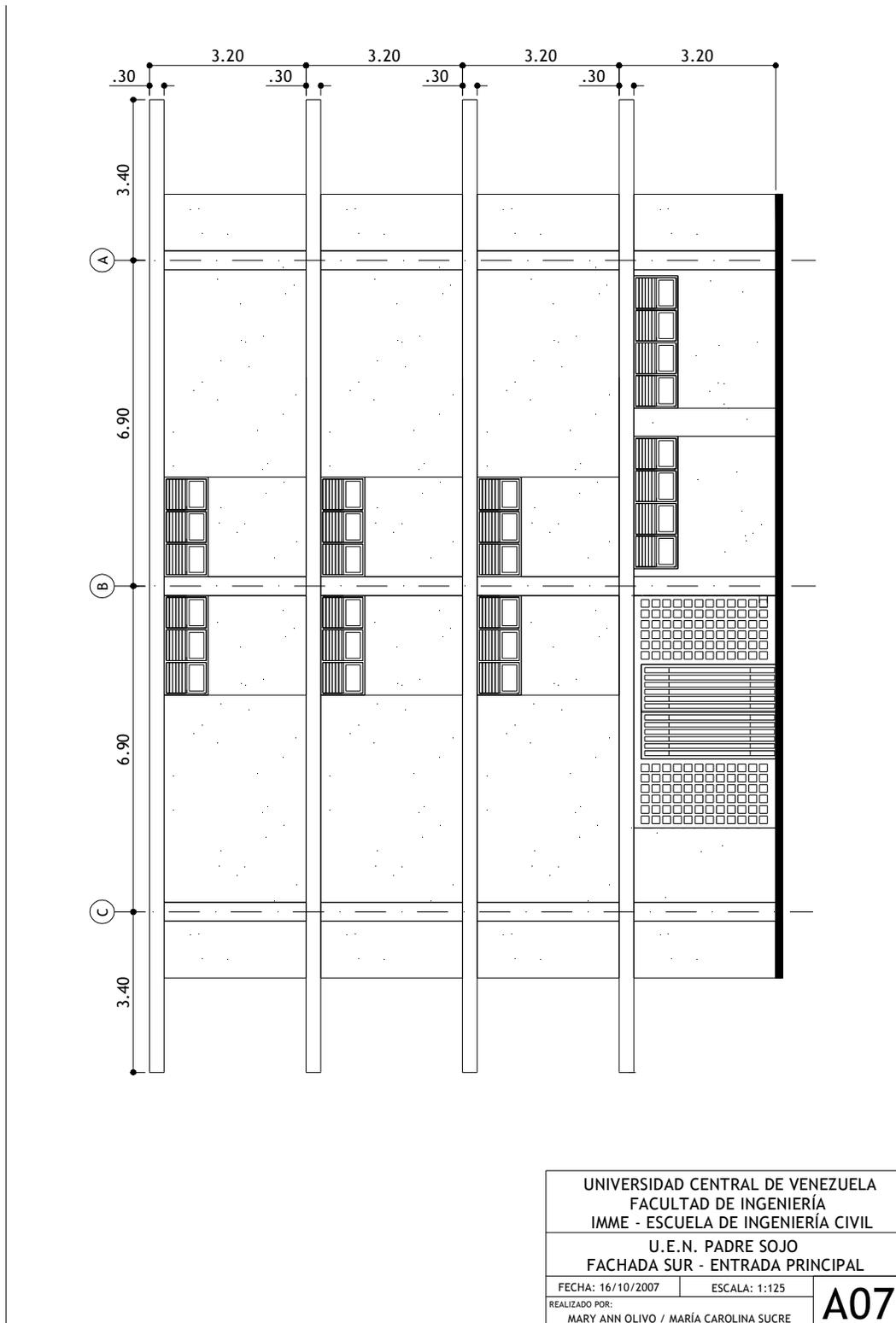


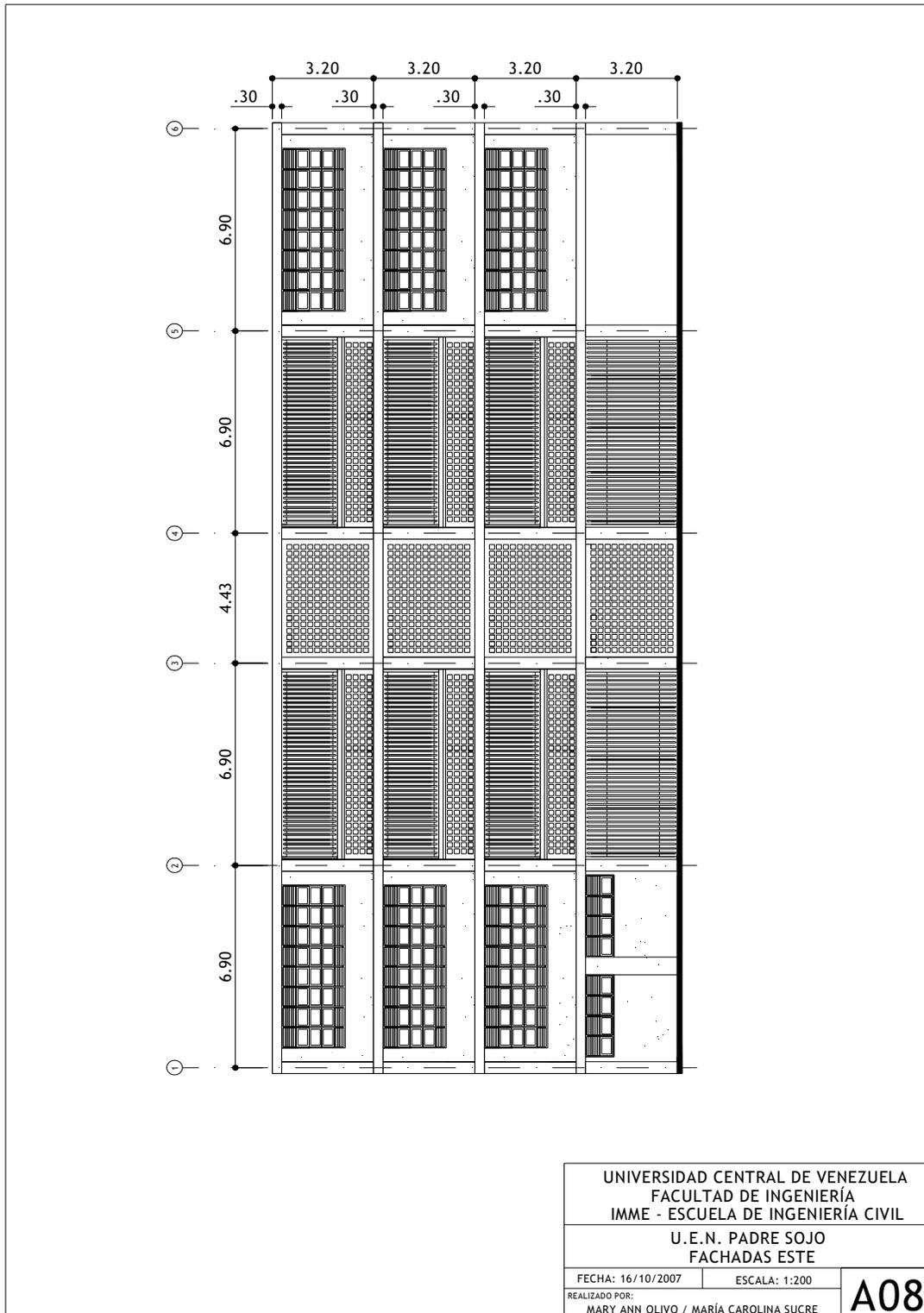


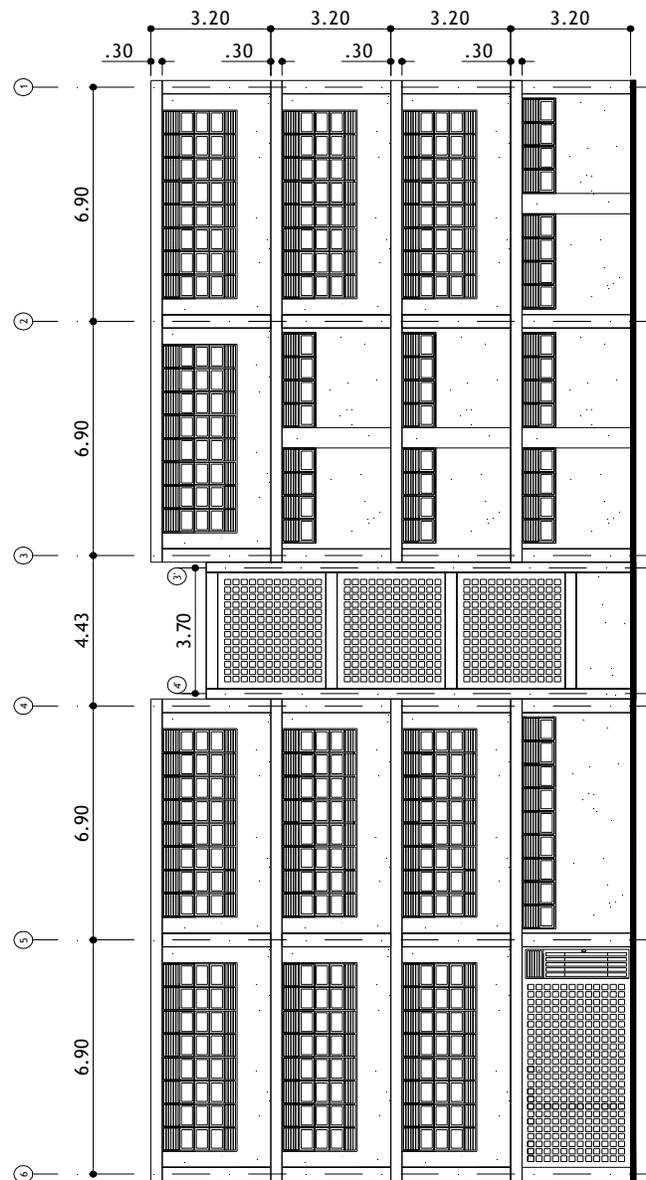




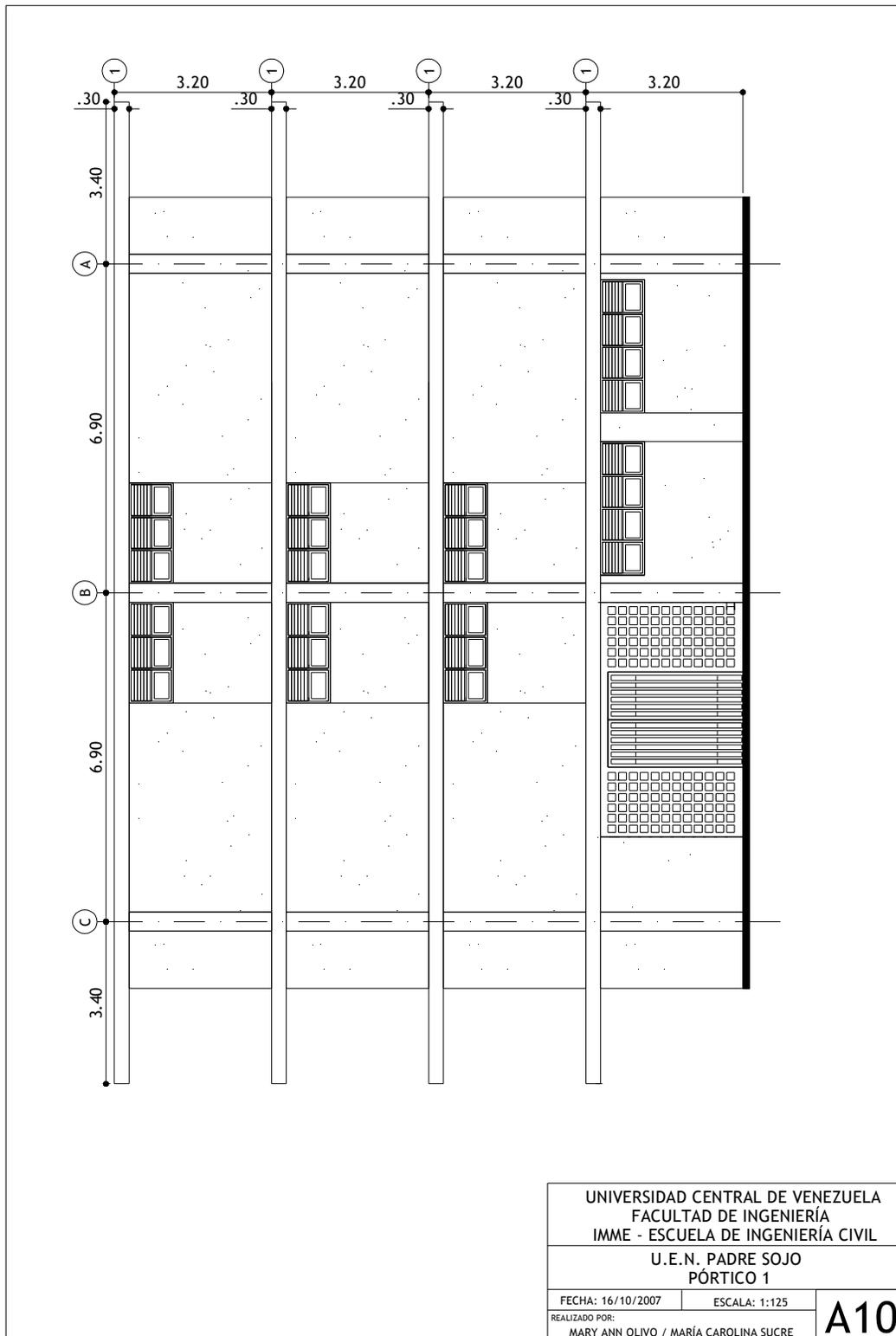


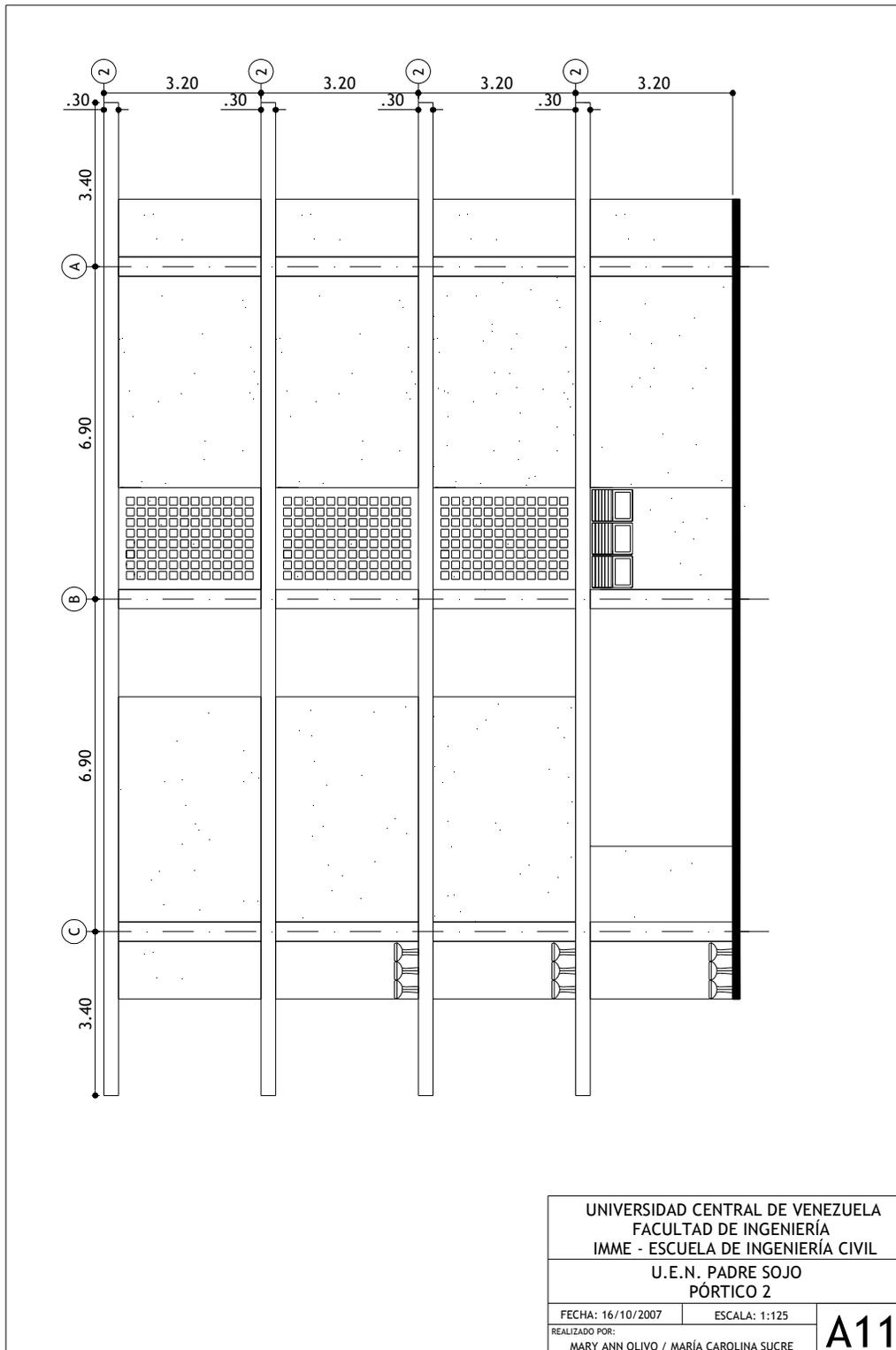


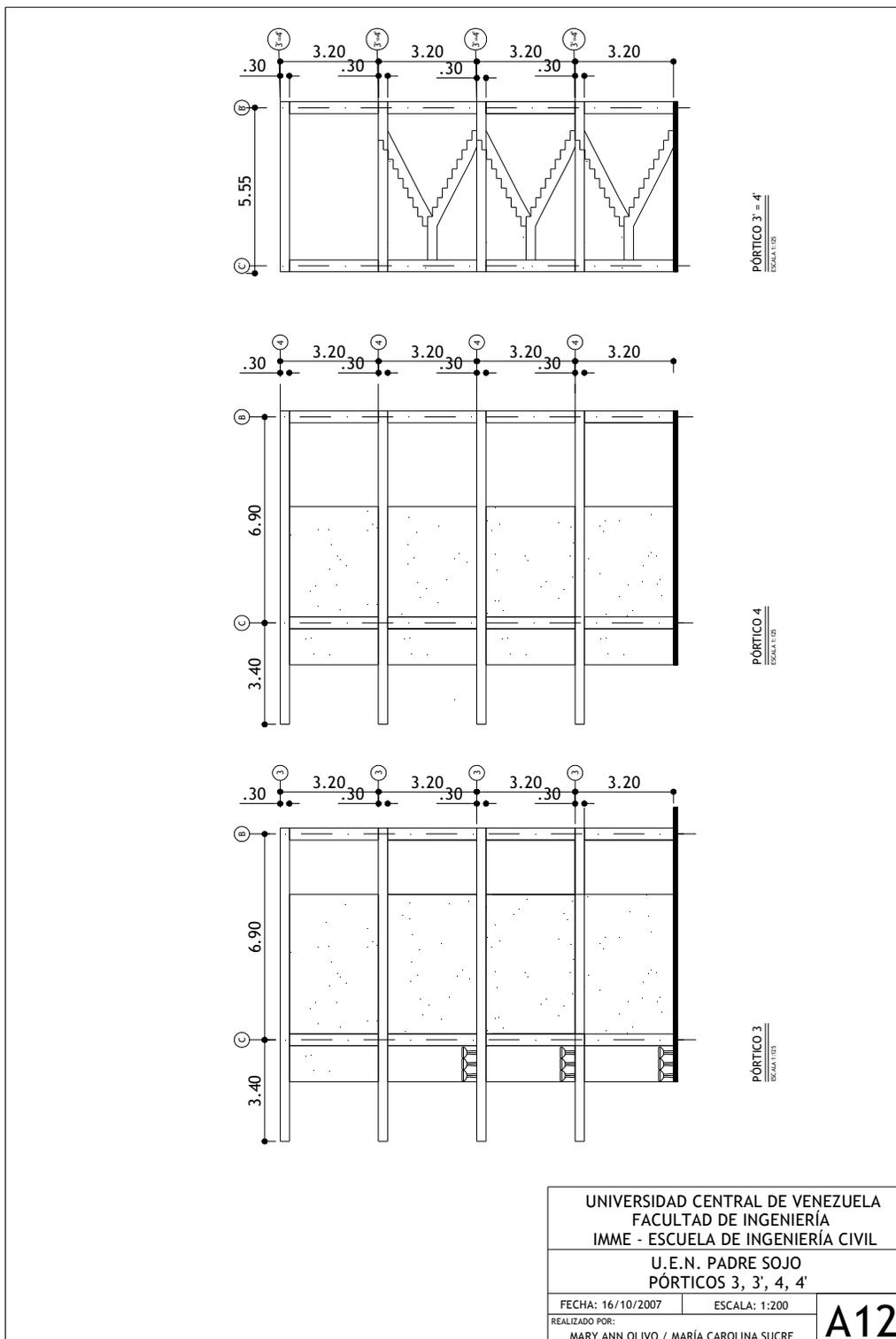


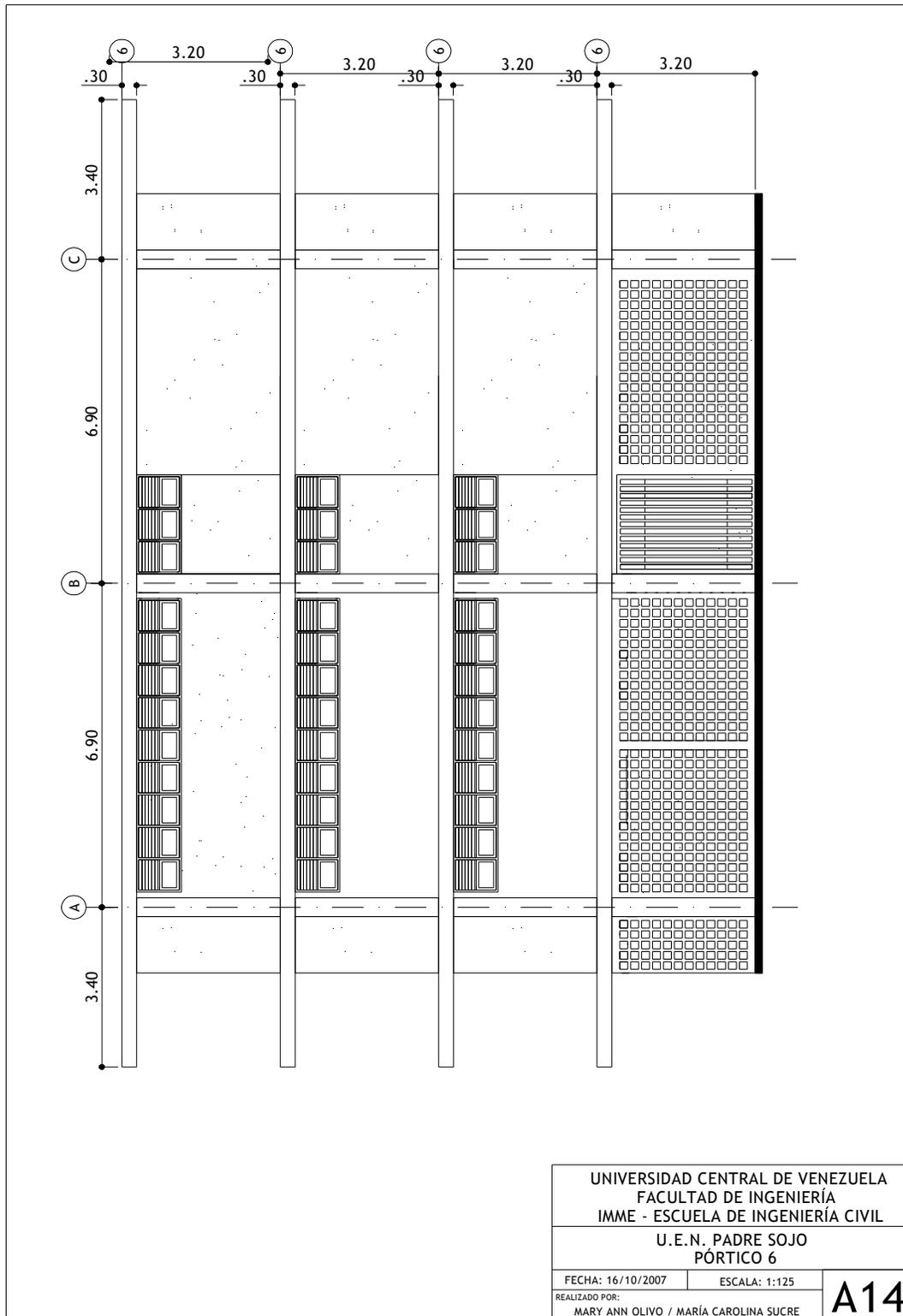


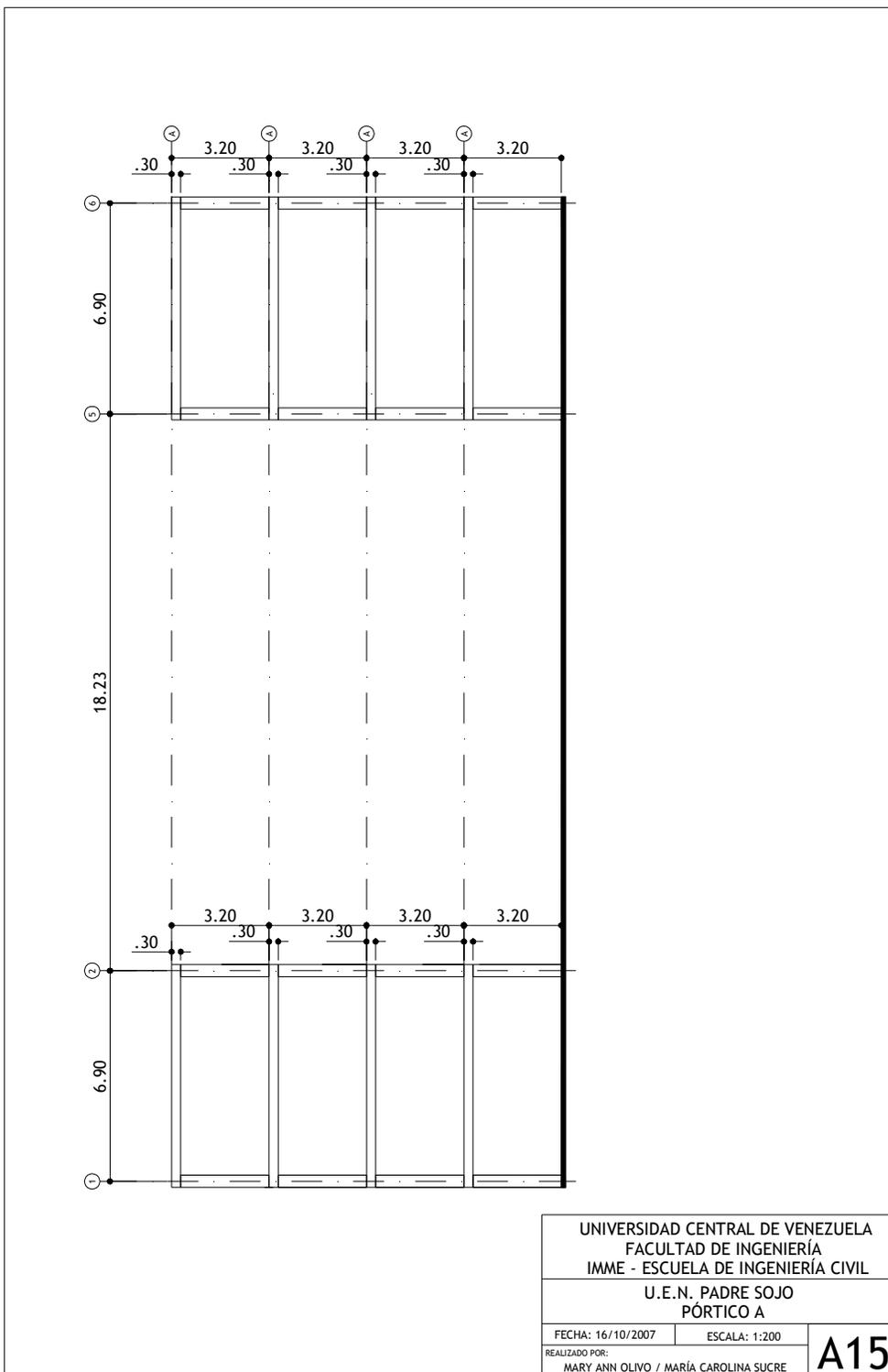
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA IMME - ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	
U.E.N. PADRE SOJO FACHADAS OESTE	
FECHA: 16/10/2007	ESCALA: 1:200
REALIZADO POR: MARY ANN OLIVO / MARÍA CAROLINA SUCRE	A09

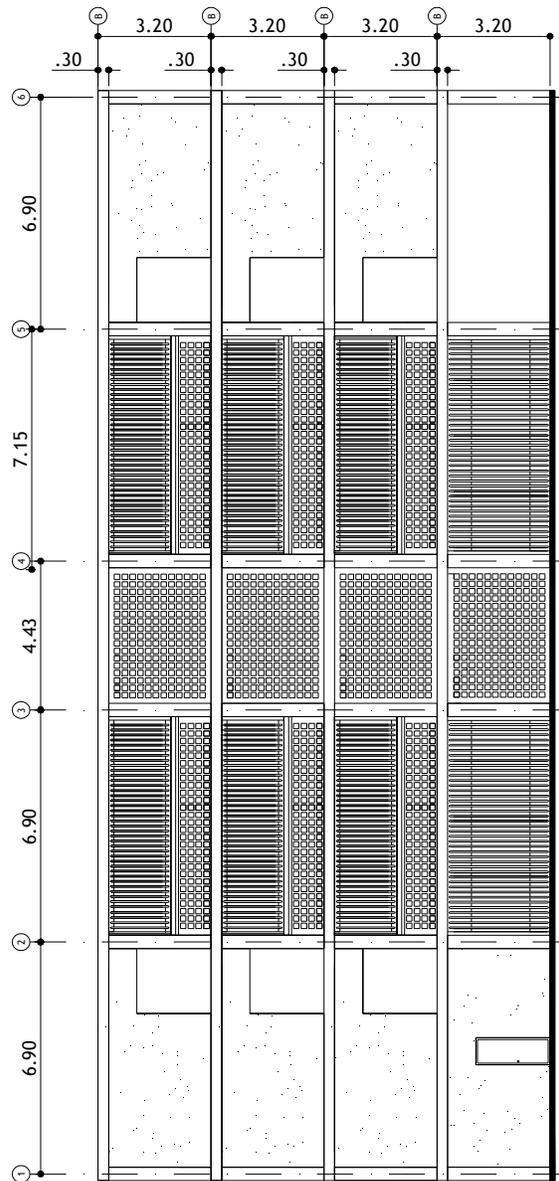






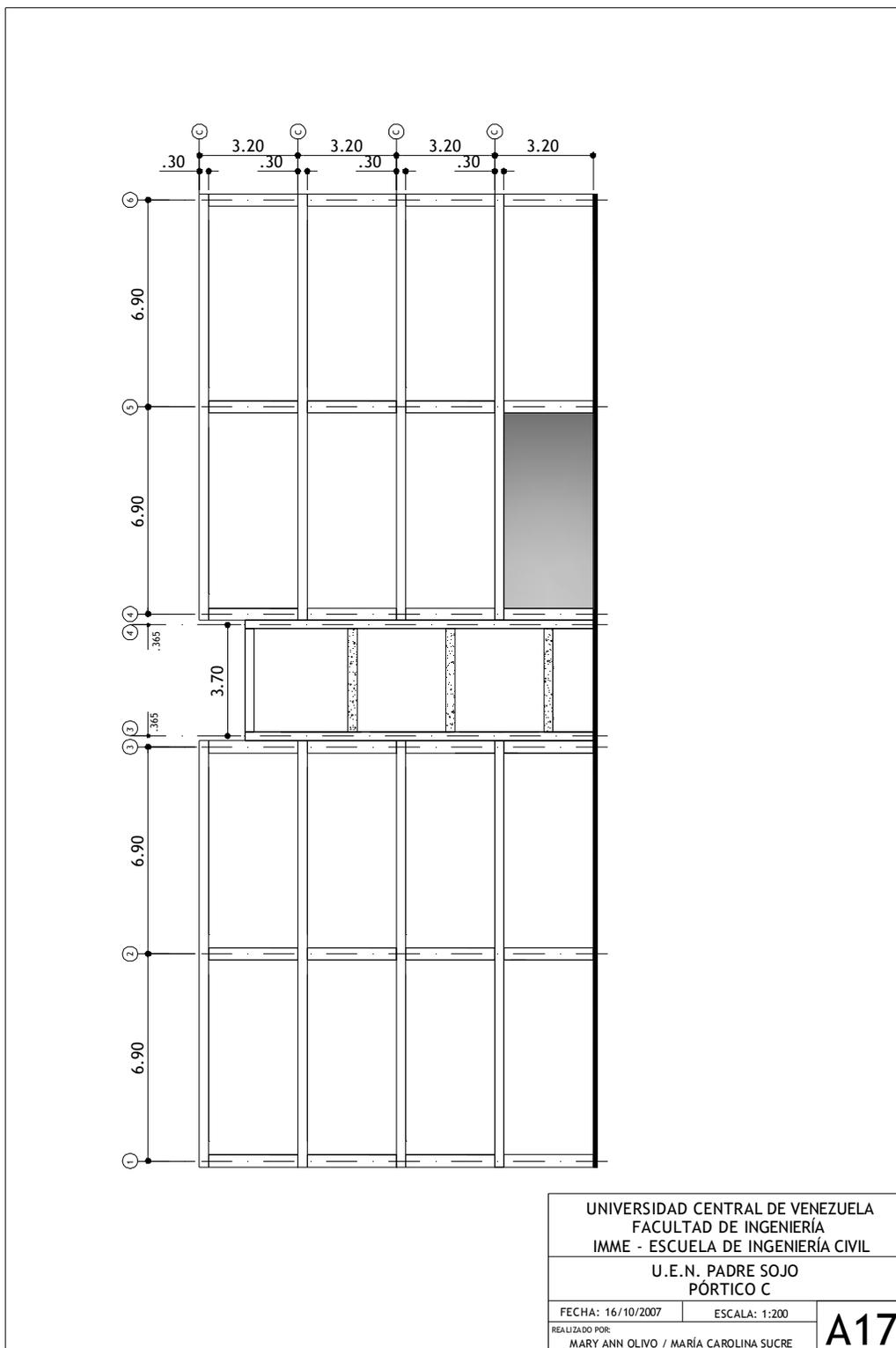


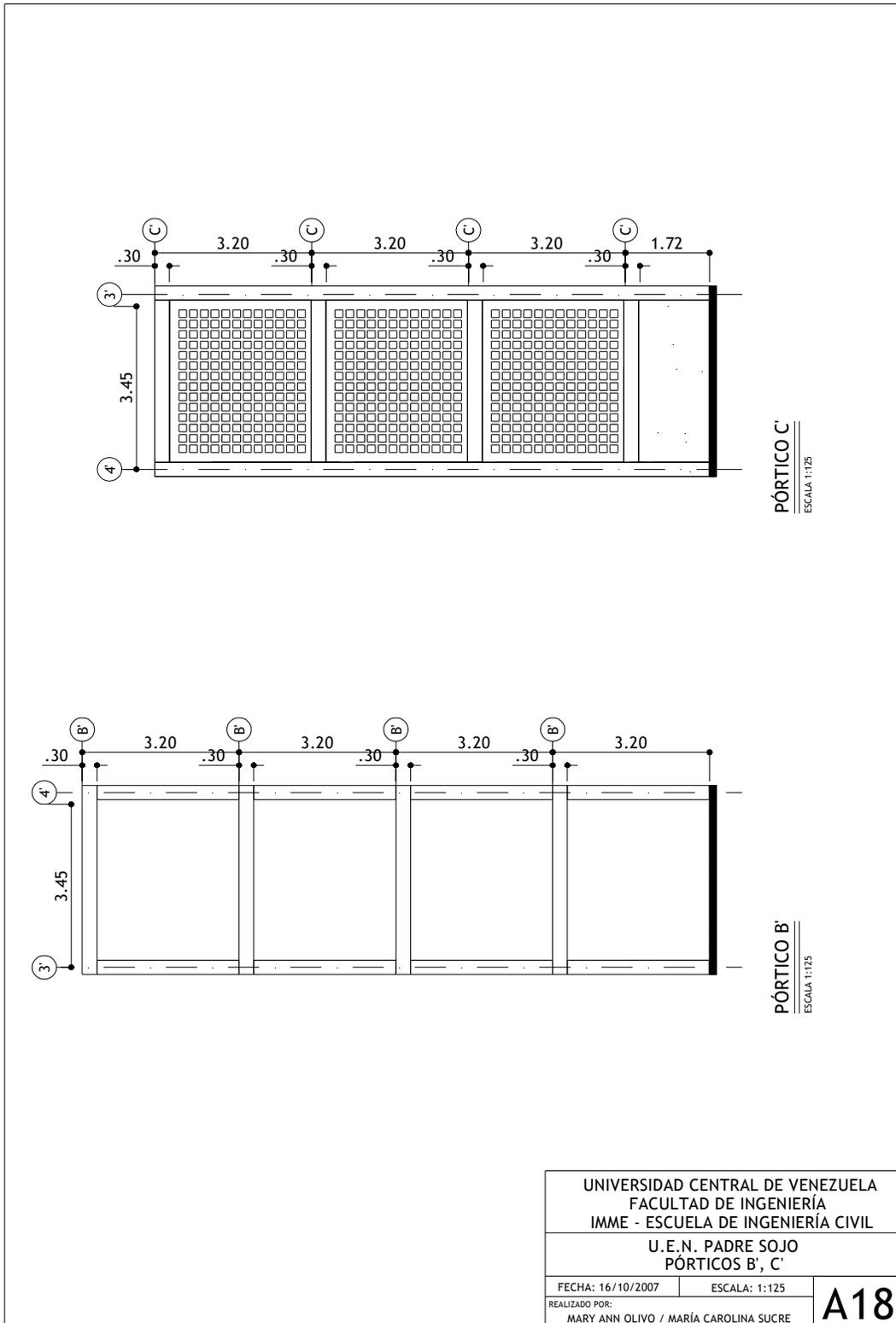




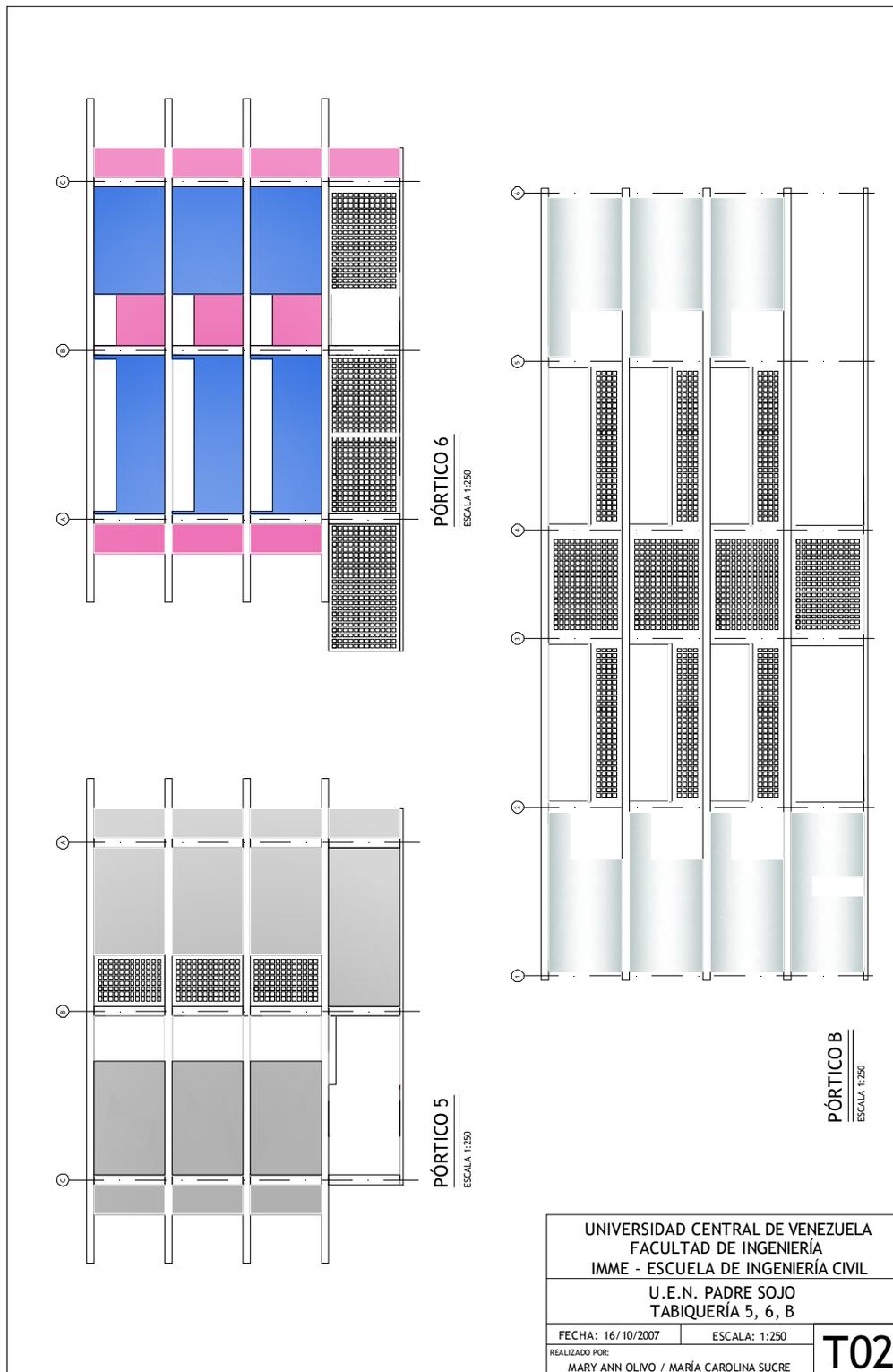
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA IMME - ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL U.E.N. PADRE SOJO PÓRTICO B	
FECHA: 16/10/2007	ESCALA: 1:200
REALIZADO POR:	
MARY ANN OLIVO / MARÍA CAROLINA SUCRE	

A16









ANEXO D

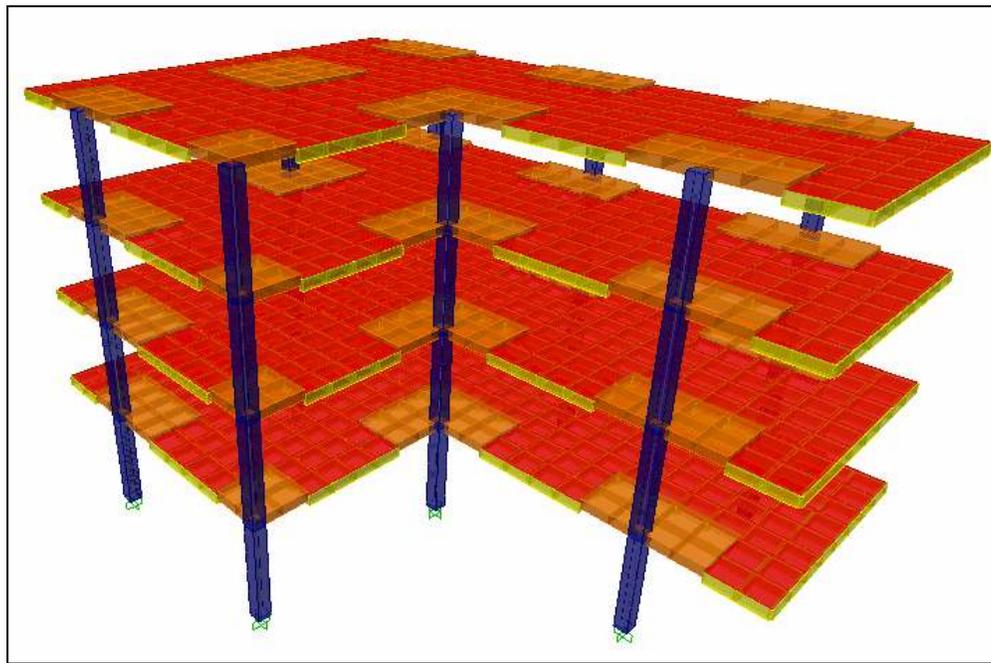


Figura D.01 – Representación en 3D del Modelo 1 y 2

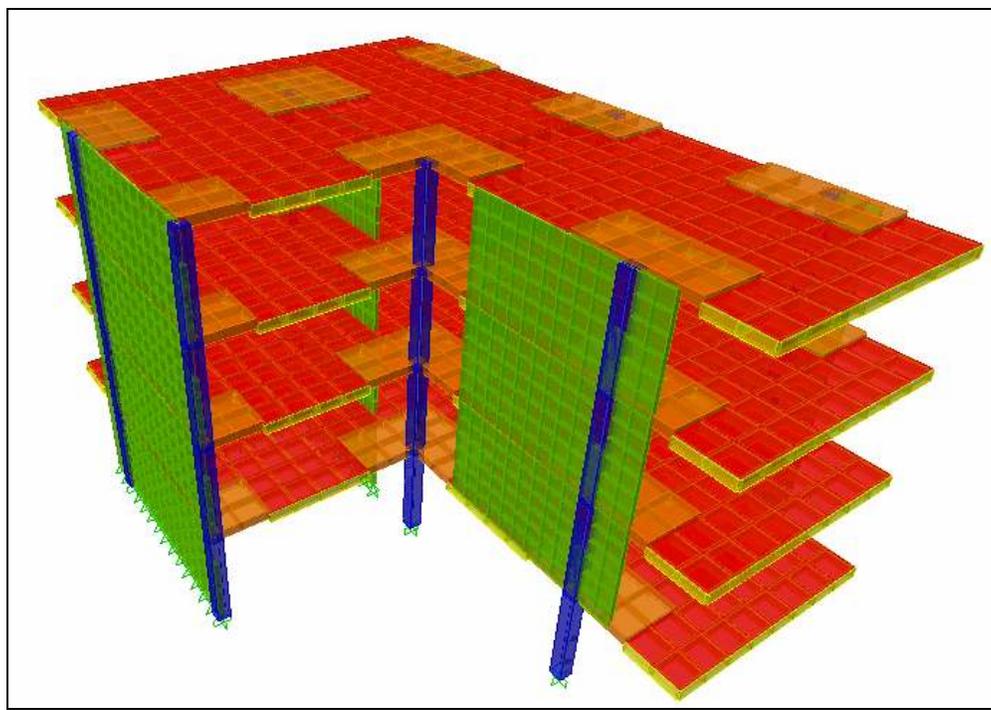


Figura D.02 – Representación en 3D del Modelo 3

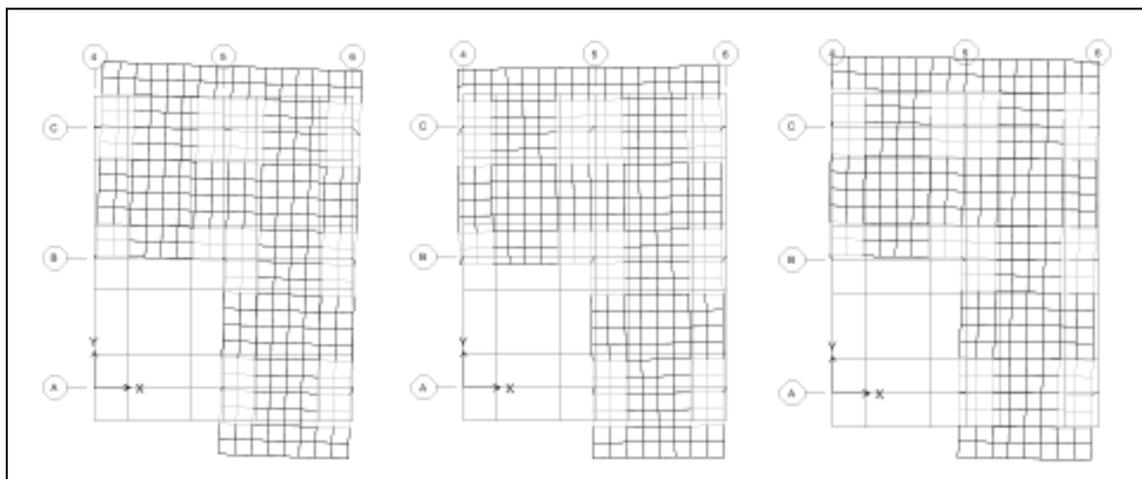


Figura D.03 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 1 en el Modelo 1

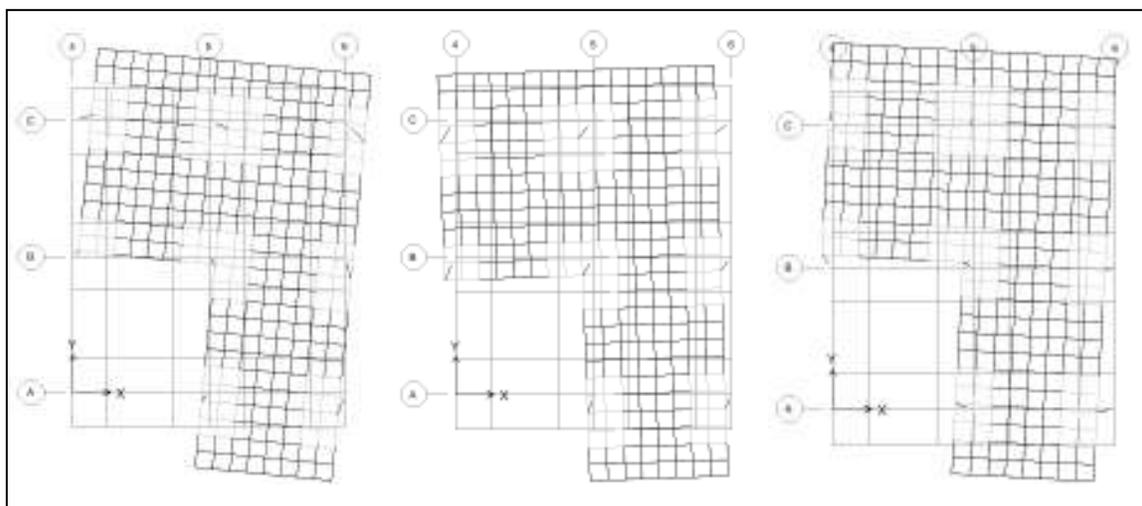


Figura D.04 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 2 en el Modelo 1

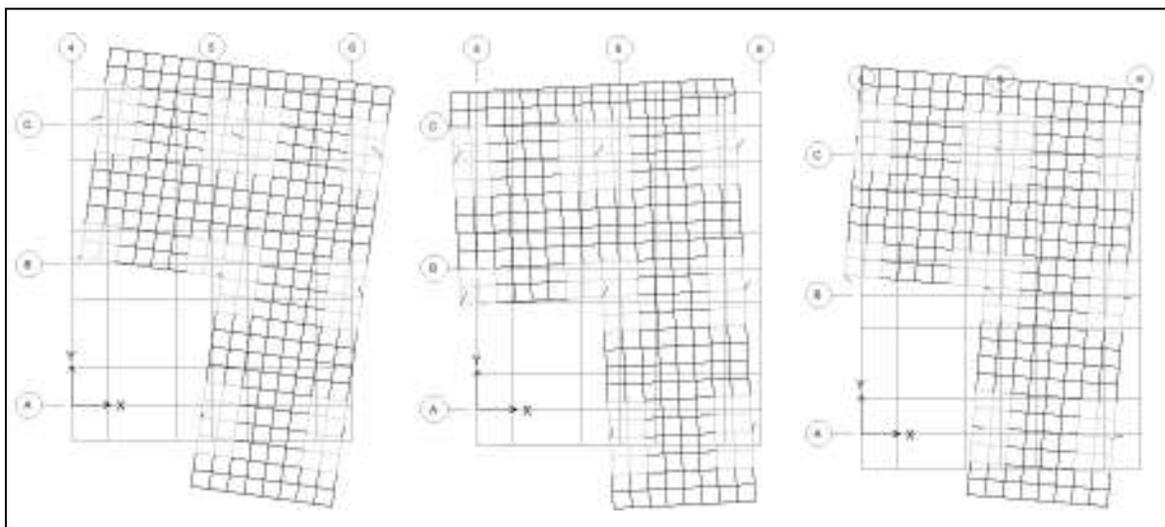


Figura D.05 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 3 en el Modelo 1

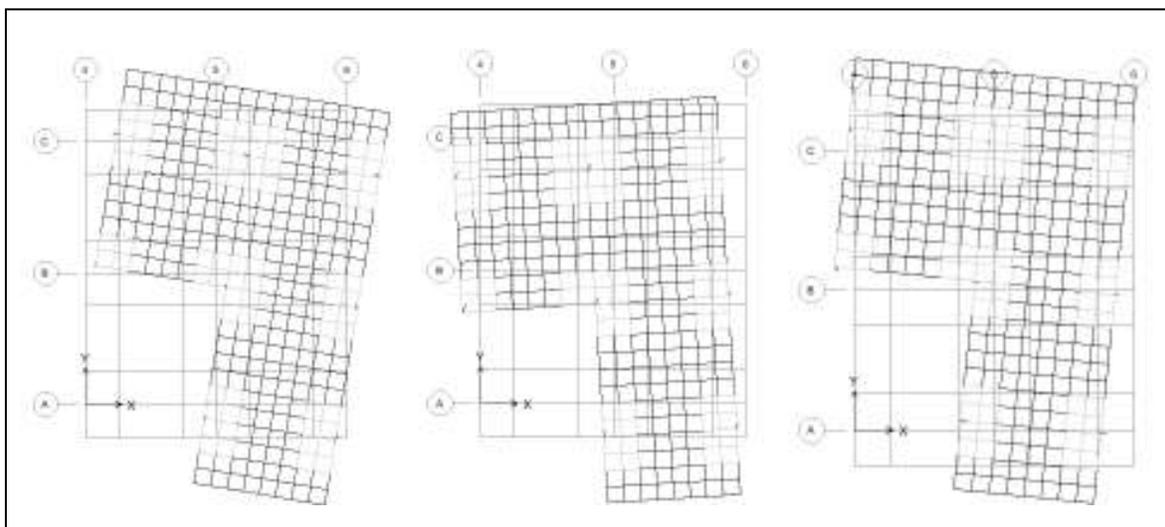


Figura D.06 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 4 en el Modelo 1

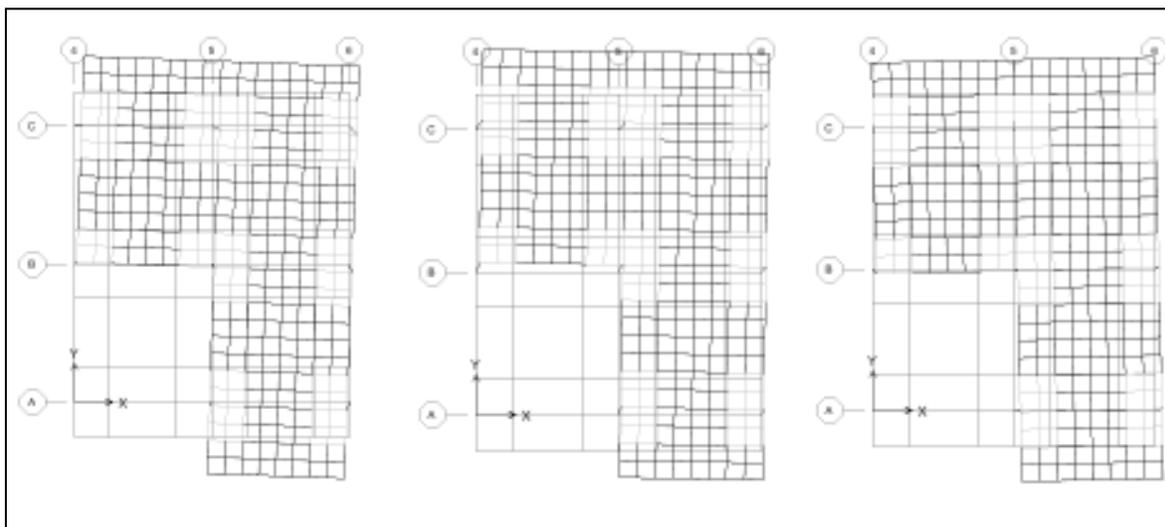


Figura D.07 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 1 en el Modelo 2

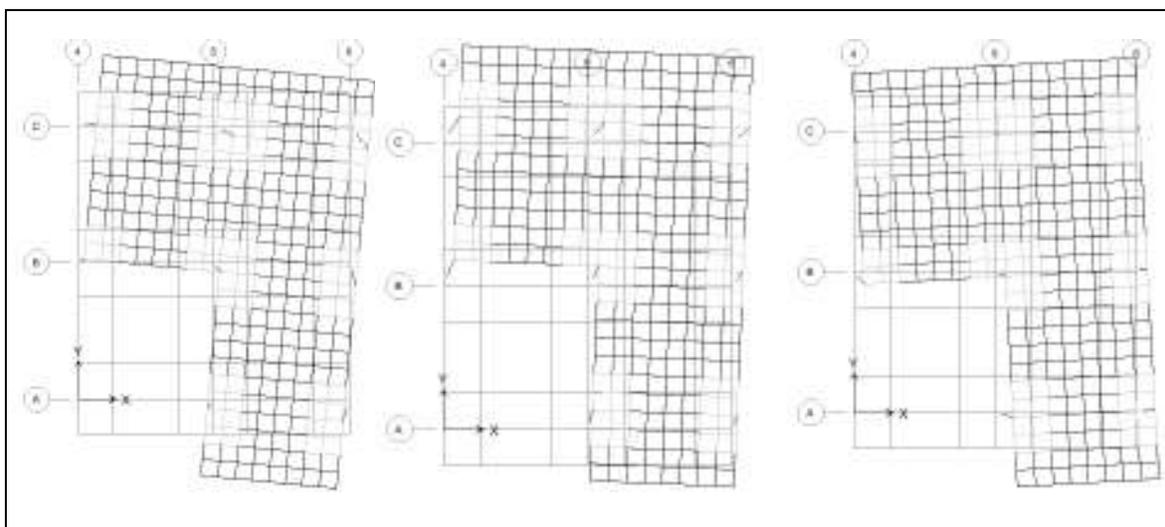


Figura D.08 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 2 en el Modelo 2

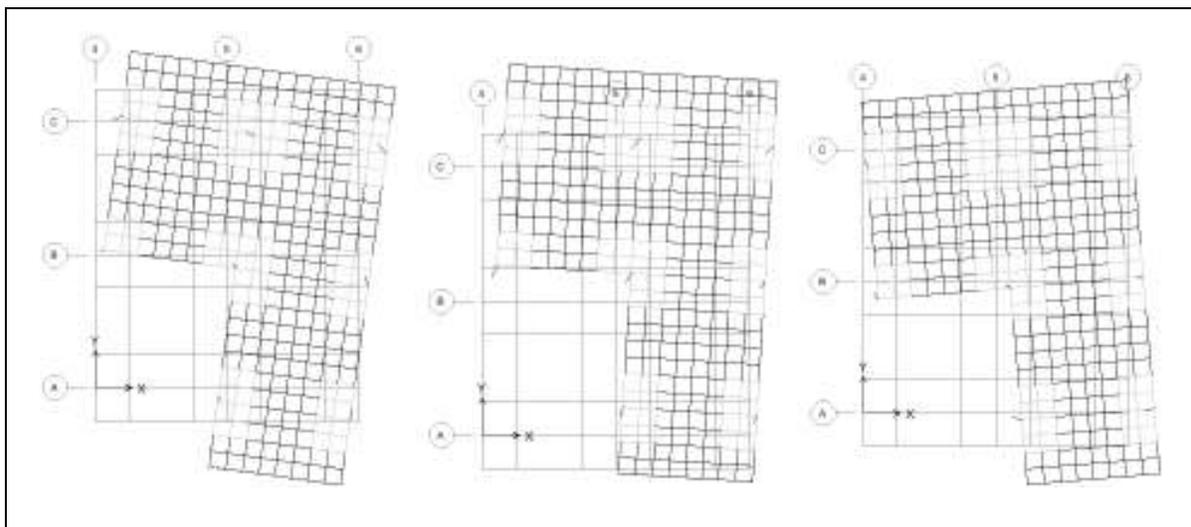


Figura D.09 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 3 en el Modelo 2

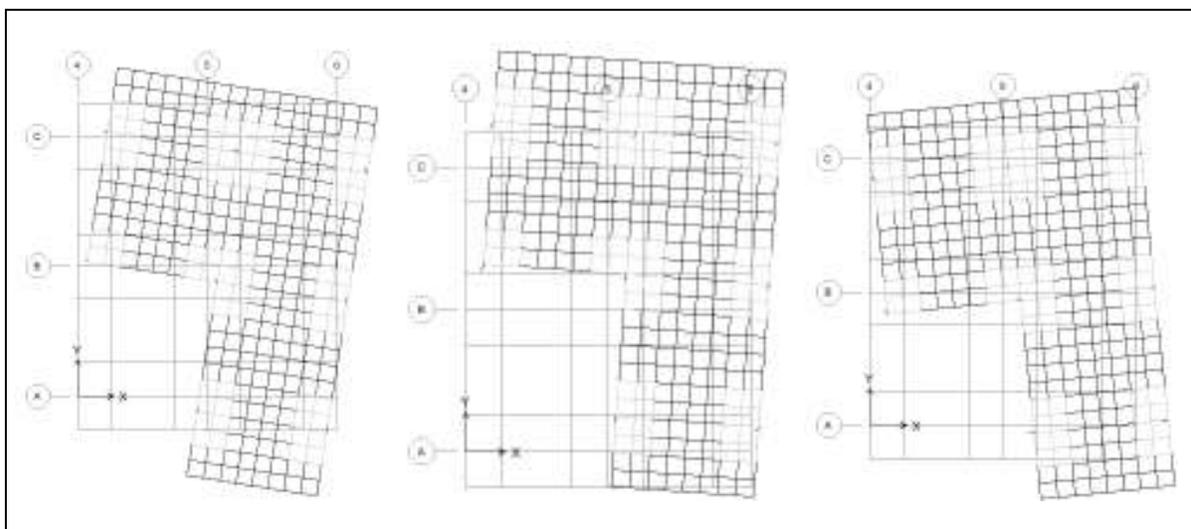


Figura D.10 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 4 en el Modelo 2

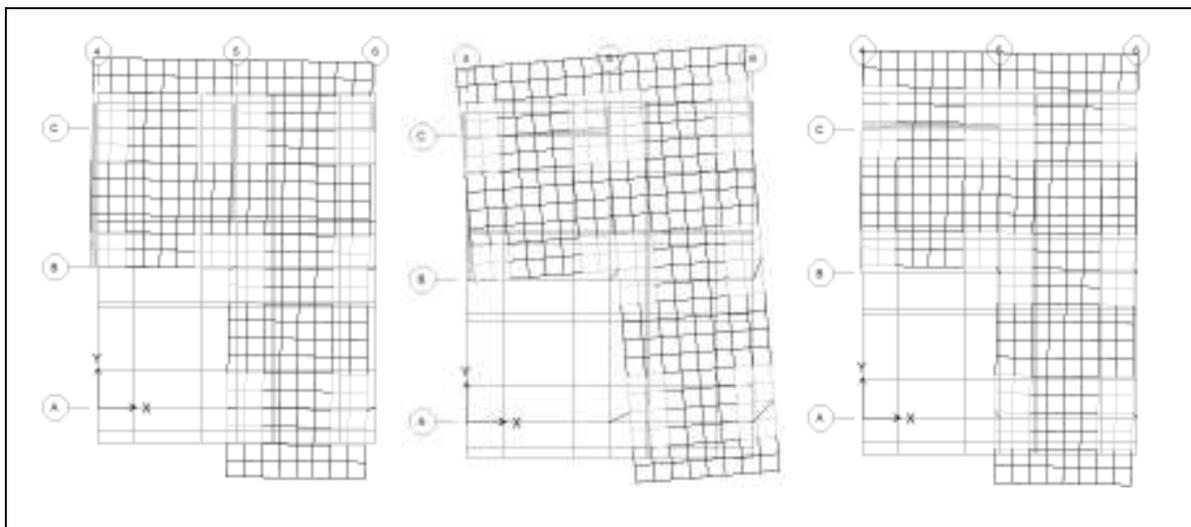


Figura D.11 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 1 en el Modelo 3

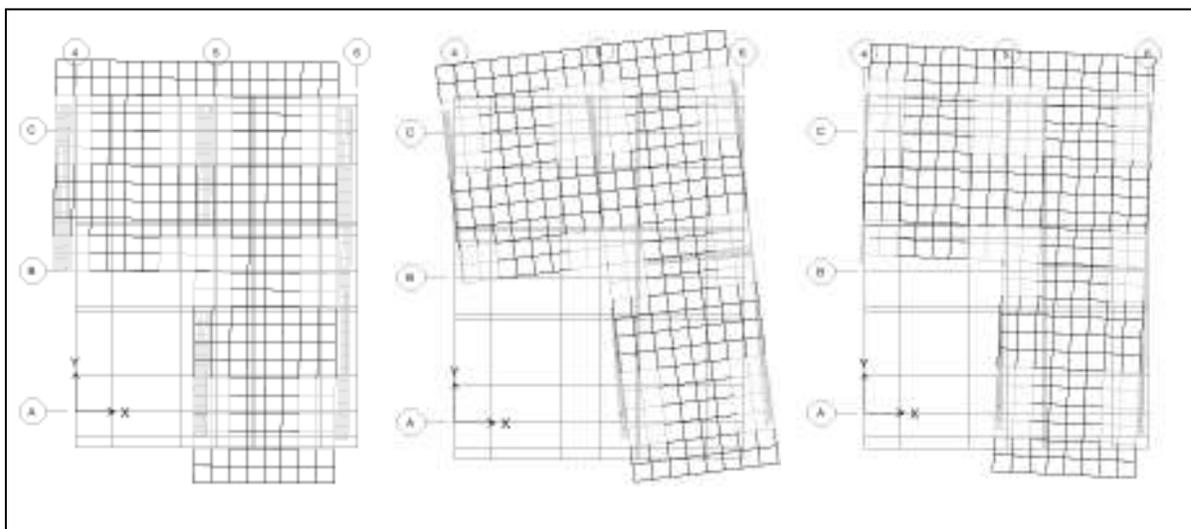


Figura D.12 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 2 en el Modelo 3

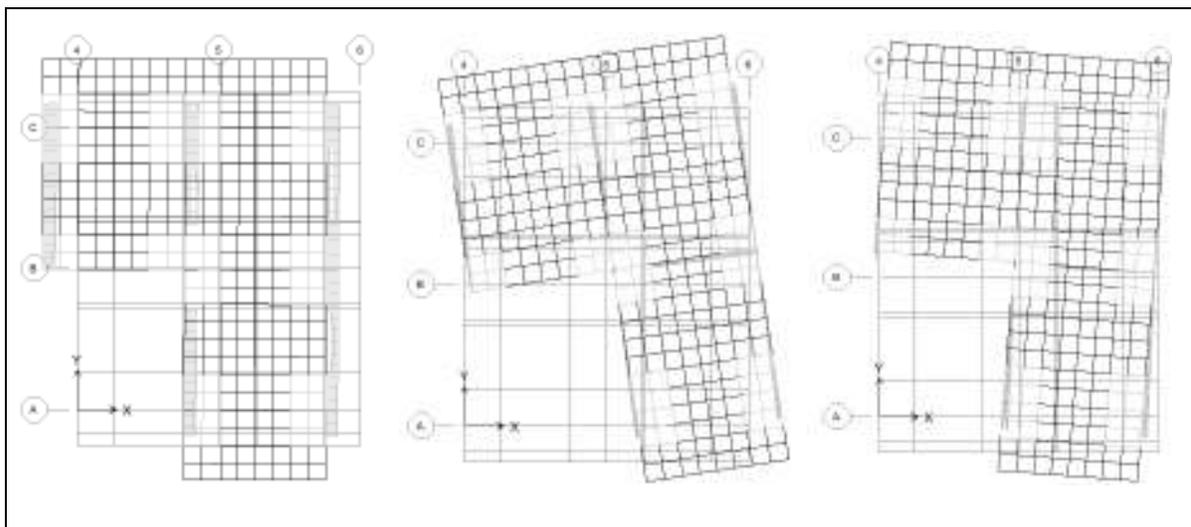


Figura D.13 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 3 en el Modelo 3

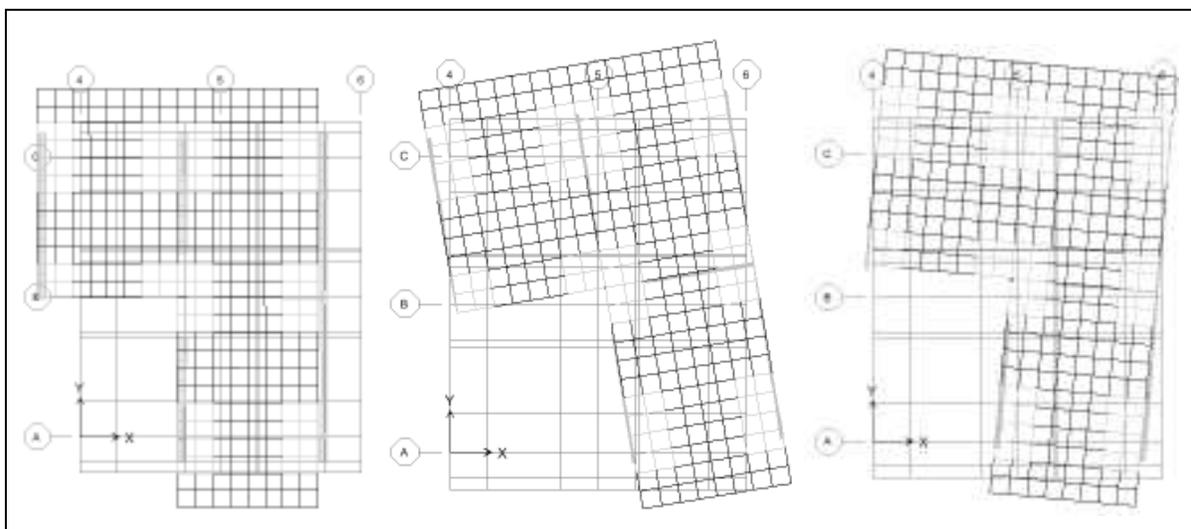


Figura D.14 – Modo 1, 2 y 3 del Nivel 4 en el Modelo 3

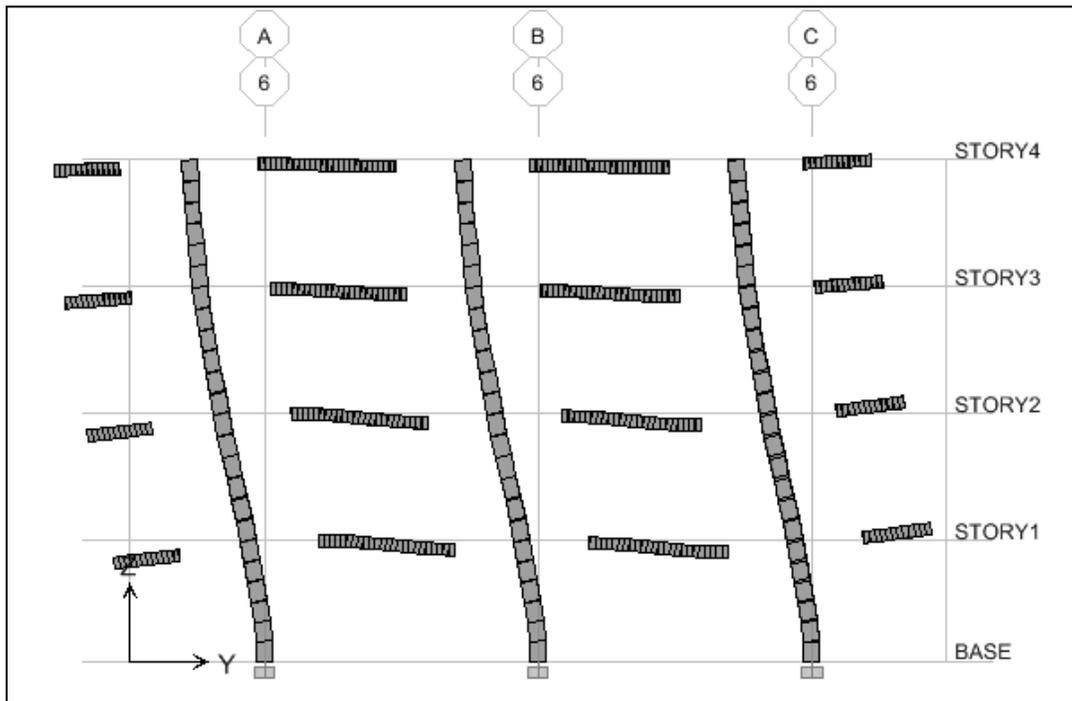


Figura D.15 – Modo 1 del Pórtico 6 en el Modelo 1

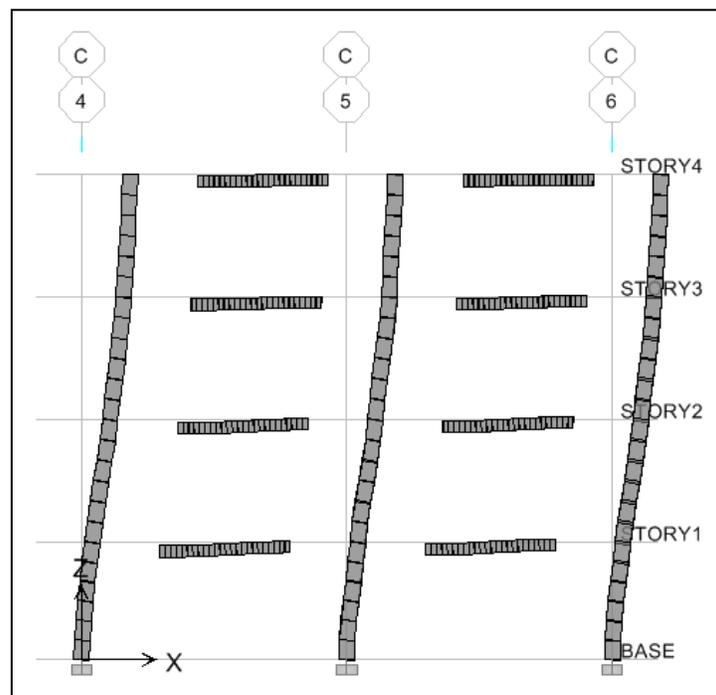


Figura D.16 – Modo 1 del Pórtico C en el Modelo 1

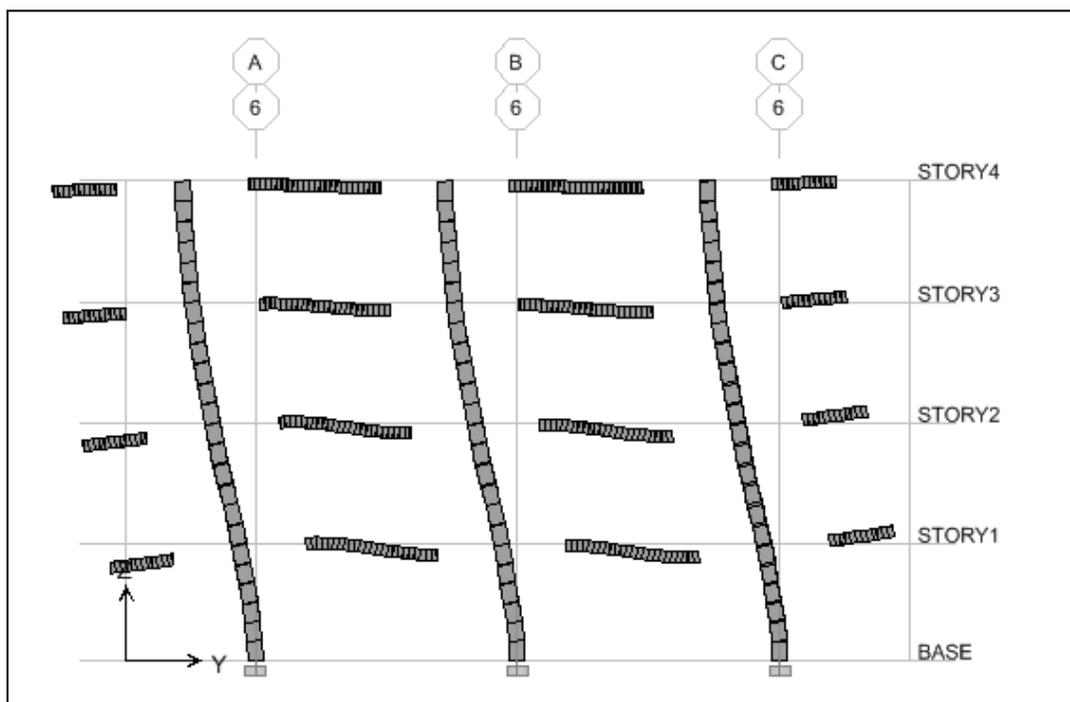


Figura D.17 – Modo 1 del Pórtico 6 en el Modelo 2

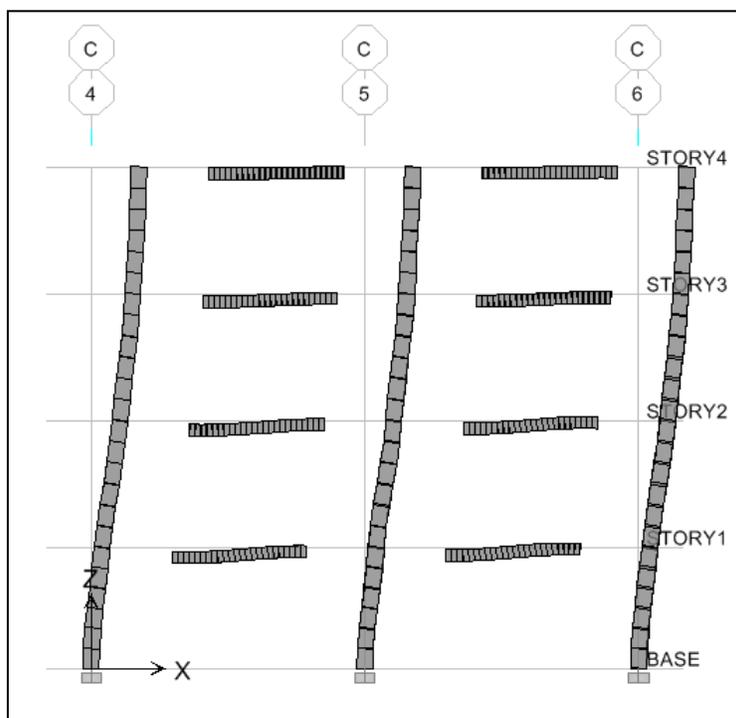


Figura D.18 – Modo 1 del Pórtico C en el Modelo 2

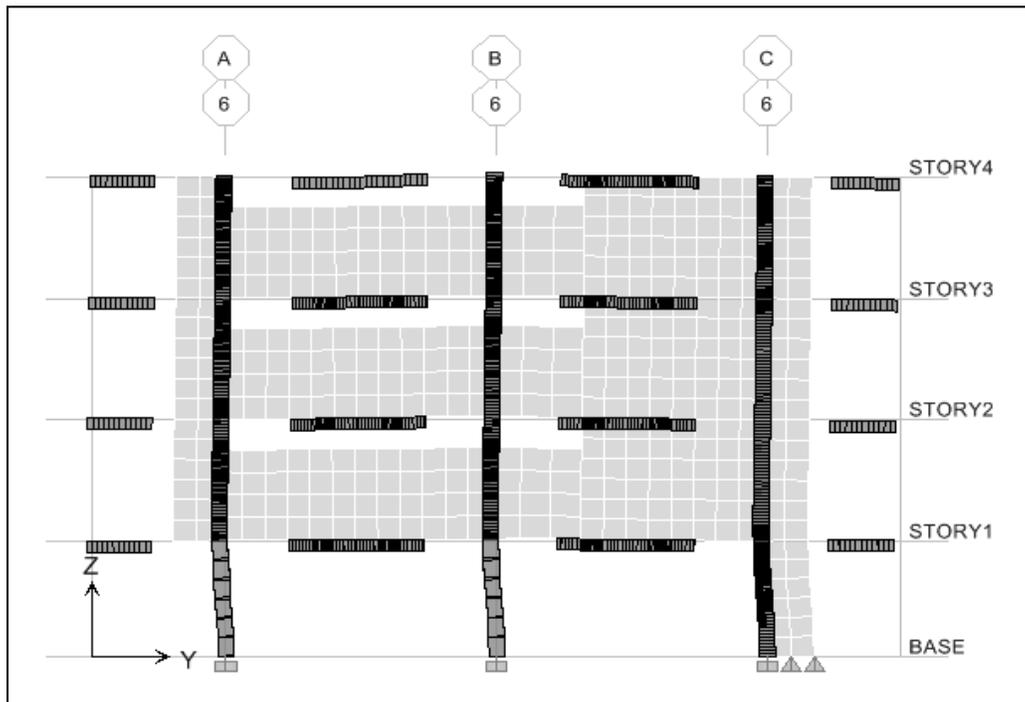


Figura D.19 – Modo 1 del Pórtico 6 en el Modelo 3

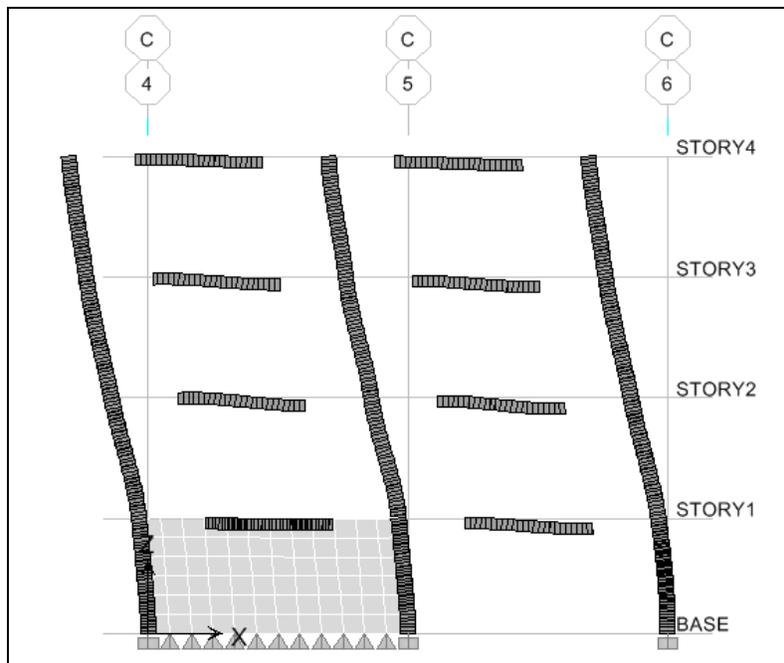


Figura D.20 – Modo 1 del Pórtico C en el Modelo