

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y SISMORRESISTENTE**

**“VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL MÓDULO DE AULAS EU-622 DE LA
UNIDAD CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DEL ESTADO. DEPARTAMENTO DE
GUATEMALA. Y PROPUESTA TÉCNICA COMPARATIVA DE REFORZAMIENTO
CONVENCIONAL VS AISLAMIENTO SÍSMICO”**

TESIS PRESENTADA POR:

CARLOS ENRIQUE MONCADA DÍAZ

**PREVIO A OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
QUE LO ACREDITA COMO**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMORRESISTENTE**

ASESOR:

DR. HÉCTOR MONZÓN DESPANG

Quetzaltenango, febrero de 2022

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

AUTORIDADES

RECTOR MAGNIFICO M A. Pablo Ernesto Oliva Soto

SECRETARIA GENERAL Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

CONSEJO DIRECTIVO

DIRECTOR GENERAL DEL CUNOC Dr. Cesar Haroldo Milián Requena

SECRETARIO ADMINISTRATIVO M Sc. José Edmundo Maldonado Mazariegos

REPRESENTANTE DE CATEDRATICOS

M Sc. Freddy de Jesús Rodríguez

REPRESENTANTES DE LOS EGRESADOS DEL CUNOC

Lic. Víctor Lawrence Díaz Herrera

REPRESENTANTES DE ESTUDIANTES

Br. Aleyda Trinidad de León Paxtor

Br. Romeo Danilo Calderón

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS

M Sc. Walter Valdemar Poroj Sacor

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

Presidente: M Sc. Mirna Carolina Montes

Secretario: M Sc. Víctor Carol Hernández

Coordinador: M Sc. Víctor Carol Hernández

Experto: Dr. Genner Villareal Castro

Asesor de Tesis

Dr. Héctor Monzón Despang

NOTA: Únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en la presente tesis (artículo 31 del Reglamento de Exámenes Técnicos y Profesionales del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala)



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Occidente
Departamento de Estudios de Postgrado



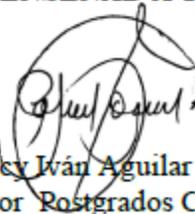
ORDEN DE IMPRESIÓN POST-CUNOC-097-2021

El Infrascrito Director del Departamento de Estudios de Postgrado del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de tener a la vista el dictamen correspondiente del asesor y la certificación del acta de examen privado No. 88-2021 de fecha 09 de noviembre de 2021, suscrita por los Miembros del Tribunal Examinador designados para realizar Examen Privado de la Tesis Titulada **“Vulnerabilidad estructural del módulo de aulas EU-622 de la Unidad Construcción de edificios del Estado-Departamento de Guatemala. Y propuesta técnica comparativa de reforzamiento Convencional vs aislamiento sísmico”** Presentada por él (la) maestrante **Carlos Enrique Moncada Diaz**, Registro Académico No. **9713465**, previo a conferirse el título de Maestro(a) en Ingeniería Estructural y Sismo Resistente, autoriza la impresión de la misma.

Quetzaltenango, Noviembre 2021

IMPRIMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Dr. Percy Iván Aguilar Argueta
Director Postgrados CUNOC



Guatemala, 26 de octubre, 2021

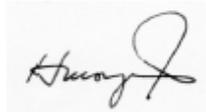
Señores
Consejo Académico de Postgrados
Centro Universitario de Occidente CUNOC
Universidad de San Carlos de Guatemala, USAC
Maestría de Ingeniería Estructural y Sismo Resistente
Presente

Estimados señores:

De acuerdo con lo resuelto en el punto QUINTO, INCISO 5.1.7) del Acta POSTGRADOS 014-2019, de la sesión celebrada por el Consejo Académico de Postgrados, el 26 de noviembre de 2019, se me nombró asesor del trabajo de tesis del Maestrante Carlos Enrique Moncada Díaz.

Tengo el gusto de informarles que he revisado el proyecto de tesis del Maestrante Carlos Enrique Moncada Díaz, carné No. 2466442300101, Registro Académico 9713465, estudiante de la Maestría en Ingeniería Estructural y Sismo Resistente. El punto de tesis se denomina "*Vulnerabilidad estructural del módulo de aulas EU-622 de la Unidad Construcción de Edificios del Estado – Departamento de Guatemala. Y propuesta técnica comparativa de reforzamiento convencional vs aislamiento sísmico*"; por este medio manifiesto que el Informe de Tesis ha sido finalizado satisfactoriamente y comunico a ustedes que emito Dictamen Favorable, para que el trabajo de referencia siga con el trámite correspondiente.

Atentamente,



Héctor Monzón Despang
Ingeniero Civil, PhD.
Tel 5318 8336



EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

CERTIFICA:

Que ha tenido a la vista el libro de Actas de Exámenes Privados del Departamento de Estudios de Postgrado del Centro Universitario de Occidente en el que se encuentra el acta No.88-2021 la que literalmente dice:-----

En la ciudad de Quetzaltenango, siendo las once horas del día martes nueve de noviembre del año dos mil veintiuno, reunidos en la plataforma virtual Meet con el link de reunión meet.google.com/ibw-fsgj-zev, el Honorable Tribunal Examinador, integrado por los siguientes profesionales: **Presidente:** M Sc. Mirna Carolina Montes, con registro de personal No. 16152; **Coordinador y secretario que certifica:** M Sc. Víctor Carol Hernández, con registro de personal No.19990600; **Asesor:** M Sc. Héctor Monzón; **Experto:** Dr. Genner Villareal Castro; con objeto de practicar el **Examen Privado** de la Maestría en **Ingeniería Estructural y Sismo Resistente** en el grado académico de **Maestro(a) en Ciencias** de él (la) Ingeniero(a) **Carlos Enrique Moncada Díaz** identificado(a) con el registro Académico No. **9713465** procediéndose de la siguiente manera:-----

PRIMERO: El (La) sustentante practicó la evaluación oral correspondiente, de conformidad con el Reglamento respectivo.-----

SEGUNDO: Después de efectuadas las preguntas necesarias, los miembros del tribunal examinador procedieron a la deliberación, habiendo sido el dictamen **FAVORABLE**.-----

TERCERO: En consecuencia él (la) sustentante **APROBO** con mención Honorífica de Magna Cum Laude examen privado de tesis para otorgarle el título profesional de **MAESTRO(A) EN INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMO RESISTENTE** ----

CUARTO: No habiendo más que hacer constar, se da por finalizada la presente, en el mismo lugar y fecha una hora con treinta minutos después de su inicio, firmando de conformidad, los que en ella intervinieron.-----

Y para los usos legales que a él (la) interesado(a) convengan, se extiende, firma y sella la presente **CERTIFICACIÓN** en una hoja membretada del Departamento de Estudios de Postgrado del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala a los veintitrés días del mes de noviembre del año dos mil veintiuno.-----

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Certifica:

Vo. Bo.


Yomara Yamileth Rodas de León
Secretaria de Postgrados


Dr. Percy Iván Aguilar Argueta
Director de Postgrados

DEDICATORIA

- A DIOS: Luz divina que iluminó mi mente.
- A MIS PADRES: José Víctor Moncada Ramos
Gloria Marina Díaz De Moncada
Por su amor incondicional, ejemplo de vida y motivación para buscar la superación personal.
- A MIS HERMANOS: Víctor Manuel, Mario René, Rosa Marina, Linda Rocío, Juan José, Diana Christal.
Por su amor y apoyo.
- A MIS CUÑADAS Y CUÑADOS: Marlyn, Josie, Julie, Carlo y Berny
Por su cariño.
- A MIS SOBRINOS: Andrea, Frida, Adriana, Sarah, Becky, Carla, José Matías, José Daniel, José Roberto, Víctor Elijah, Carlos Rafael, Santiago Jared.
Con amor.
- A MIS TIOS Y ABUELOS: En especial a Rosa Ramos, Fidelina Quintana, Baldomero Díaz. Con amor y agradecimiento por sus enseñanzas de vida. Flores hasta la mansión celestial
- A DR. HÉCTOR MONZÓN: Mentor, asesor de tesis, por su apoyo incondicional y por la formación ingenieril de mi persona. Eternamente agradecido.
- A DR. GENNER VILLAREAL: Por conocimiento compartido en la MIES y sus valiosos aportes en el proceso de tesis
- A ING. VICTOR HERNÁNDEZ: Por su trabajo y esfuerzo para que la MIES CUNOC sea una realidad y un semillero de profesionales que velen por el buen ejercicio de la ingeniería estructural en Guatemala.
- A HANSEL RODRIGUEZ Y GUSTAVO PEREZ: En reconocimiento a los aportes técnicos de esta tesis.
- A MIS AMIGOS: En agradecimiento a su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	VI
ABREVIATURAS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESÚMEN	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN	1
1.1 <i>planteamiento del problema</i>	1
1.2 <i>Justificación de la investigación</i>	3
1.3 <i>Objetivos</i>	5
1.3.1- OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 <i>Hipótesis</i>	7
1.5 <i>Metodología</i>	8
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE DE LOS EDIFICIOS ESCOLARES	9
CAPITULO III: ESTUDIO ESTRUCTURA ACTUAL MÓDULO ESCOLAR EU-622	
.....	15
3.1 <i>Arquitectura y configuración estructural actual módulo EU-622</i>	15
3.2 <i>Diseño estructural original</i>	19
3.3 <i>Vulnerabilidades</i>	22
3.4 <i>Modelo estructural edificio original EU-622</i>	24
3.5 <i>Vulnerabilidades módulo escolar EU-622</i>	28
3.6 <i>Vulnerabilidades del diseño original módulo EU-622</i>	38
CAPITULO IV: PROPUESTA DE NUEVA CONFIGURACION ESTRUCTURAL	
REFORZAMIENTOS CONVENCIONAL MÓDULO EU-622 (NUEVA	
ESTRUCTURA PROPUESTA)	39
DESCRIPCIÓN DEL MODELO ETABS DE LA NUEVA PROPUESTA ESTRUCTURAL:	41
COMBINACIONES DE CARGA	46
REVISIÓN PRESIONES EN COLUMNAS	51
PLANOS ESTRUCTURALES DE NUEVA PROPUESTA ESTRUCTURA	
CONVENCIONAL MÓDULO AULAS EU-622	58
CAPITULO V: REFUERZO ESTRUCTURA CON AISLAMIENTO SÍSMICO DE	
BASE; MÓDULO EU-622 (NUEVA ESTRUCTURA PROPUESTA)	59
TIPOS DE AISLADORES DE BASE	62
PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA	
AISLADA:	69
CAPITULO VI: COMPARATIVA ÍNDICE DE MATERIALES ENTRE	
ESTRUCTURA CONVENCIONAL VS ESTRUCTURA CON AISLAMIENTO	
SÍSMICO	94
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
PRUEBA DE HIPÓTESIS	97
CONCLUSIONES.....	98

RECOMENDACIONES.....	99
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	99
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXO 1	102
ARQUITECTURA ORIGINAL MÓDULO EU-622.....	103
ANEXO 2	122
PLANOS ESTRUCTURALES NUEVA PROPUESTA MÓDULO ESCOLAR EU-622 CONVENCIONAL	122
ANEXO 3	127
PLANOS ESTRUCTURALES NUEVA PROPUESTA MÓDULO ESCOLAR EU-622 CON AISLAMIENTO SISMICO	127

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PROCESO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	8
FIGURA 2. PROCESO CONSTRUCTIVO ESCUELA SAN PEDRO AYAMPUC, GUATEMALA.	11
FIGURA 3. DAÑO ESTRUCTURAL, TERREMOTO SAN MARCOS 2012.....	12
FIGURA 4. DAÑO ESTRUCTURAL, EFECTO COLUMNA CORTA. TERREMOTO SAN MARCOS 2012	12
FIGURA 5. PROCESO CONSTRUCTIVO ESCUELA SIPACATE, ESCUINTLA.....	13
FIGURA 6. ESCUELA SIPACATE, ESCUINTLA.	14
FIGURA 7. PLANTA DE NIVEL 1 MÓDULO DE AULAS EU-622	16
FIGURA 8. PLANTA DE NIVEL 2 MÓDULO DE AULAS EU-622	16
FIGURA 9. PLANTA DE TECHOS MÓDULO DE AULAS EU-622	17
FIGURA 10. ELEVACIONES FRONTAL Y POSTERIOR MÓDULO ESCOLAR EU-622.....	17
FIGURA 11. ELEVACIÓN LATERAL DERECHA MÓDULO ESCOLAR EU-622	18
FIGURA 12. ELEVACIÓN LATERAL DERECHA MÓDULO ESCOLAR EU-622	18
FIGURA 13. PLANTA DE CIMENTACIÓN MÓDULO ESCOLAR EU-622	19
FIGURA 14. PLANTA ESTRUCTURAL DE LOSA 1(PISO NIVEL 2) MÓDULO ESCOLAR EU-622.....	20
FIGURA 15. TECHO LIVIANO – ESTRUCTURA METÁLICA (TECHO NIVEL 2) MÓDULO ESCOLAR EU-622	20
FIGURA 16. DESARROLLO Y REFUERZO DE VIGAS LOSA 1 – (APOYADAS EN MUROS, EXCEPTO VIGA TIPO 3) MÓDULO ESCOLAR EU-622	20
FIGURA 17. DESARROLLO Y REFUERZO DE MUROS ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA CONFINADA ENTRE EJES 1 Y 3 –	21
FIGURA 18. PLANTA DE LOSA 1 (NIVEL 2) ESTRUCTURA ORIGINAL 1982 MÓDULO ESCOLAR EU-622.....	25
FIGURA 19. PLANTA DE LOSA 2 Y TECHO ESTRUCTURA METÁLICA LIVIANA ESTRUCTURA ORIGINAL 1982 MÓDULO ESCOLAR EU-622.	25
FIGURA 20. VISTA 3D DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE CUBIERTA	26
FIGURA 21. FACHADA FRONTAL Y FACHADA POSTERIOR MÓDULO ESCOLAR EU-622.	26
FIGURA 22. MODELO 3D ESTRUCTURA MÓDULO ESCOLAR EU-622	27
FIGURA 23. DESLIZAMIENTO COMO EFECTO DEL HURACÁN STAN Y ÁGATA Y POSTERIOR DAÑO EN EDIFICIO ESCOLAR.....	29
FIGURA 24. ESCUELA PRIMARIA OFICIAL RURAL MIXTA CASERÍO LOS JAZMINES, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS.	29
UBICADA A LA ORILLA DE UN BARRANCO.	29
FIGURA 25. COLUMNAS CORTAS ESCUELAS UCEE.	30
FIGURA 26. LOCALIZACIÓN DE COLUMNAS CORTA EN MÓDULO ESCOLAR EU-622.....	31
FIGURA 27.....	36
FIGURA 28. DAÑO POR SISMO, FALLA FUERA DE PLANO EN ESTRUCTURA TIPO CAJÓN DE MAMPOSTERÍA	

CON TECHO LIVIANO FLEXIBLE	37
FIGURA 29. MÓDULOS DE ESCALERAS INDEPENDIENTES ADOSADOS A CUERPOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES.	37
FIGURA 30. PLANTA DE LOSA TÍPICA DE MÓDULO DE AULAS EU-622 SISTEMA ESTRUCTURAL E1	41
FIGURA 31. ELEVACIÓN MARCO 2 - EJES NUMERO	42
FIGURA 32. ELEVACIÓN MARCO C - EJES LETRA	42
FIGURA 33. MODELO 3D PROPUESTA SISTEMA ESTRUCTURAL E1.....	43
FIGURA 34. DERIVA SÍSMICA SENTIDO ESTE – OESTE AL 27% DEL MÁXIMO.....	53
FIGURA 35. DERIVA SÍSMICA EN EL SENTIDO NORTE – SUR AL 21% DEL MÁXIMO	53
FIGURA 36. REVISIÓN DE PRESIONES EN CIMENTACIÓN. EL REFUERZO DE CIMIENTOS SE DESARROLLÓ MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA SAFE.....	57
FIGURA 37. REVISIÓN DE DEFLEXIÓN LARGO PLAZO LOSA 1. PROGRAMA SAFE.	57
FIGURA 38. REVISIÓN DE DEFLEXIÓN LARGO PLAZO LOSA 2. PROGRAMA SAFE	58
FIGURA 39. COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ENTRE UNA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SIN AISLAMIENTO SÍSMICO Y UNA ESTRUCTURA CON AISLAMIENTO DE BASE	60
FIGURA 40. REDUCCIÓN DE ACELERACIONES POR CAMBIO DE PERIODO.....	60
FIGURA 41. REDUCCIÓN DE ACELERACIONES POR INCREMENTO DE AMORTIGUAMIENTO.	61
FIGURA 42. AISLADOR TIPO LRB	63
FIGURA 43. MODELO BILINEAL DE UNA UNIDAD DE AISLAMIENTO	64
FIGURA 44. PREVISIÓN PARA EFECTOS DE LLUVIA INTENSA.....	66
FIGURA 45. PREVISIÓN PARA FUEGO. CHANNING HOUSE CALIFORNIA.....	67
FIGURA 46. DESACOPLAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	72
FIGURA 47. MODELO 3D CON AISLAMIENTO SÍSMICO	73
FIGURA 48. REGISTROS COMPATIBILIZADOS	80
(A) REGISTRO 1 – EL SALVADOR 2001	80
(B) REGISTRO 2 – INDIA 1988.....	80
(C) REGISTRO 3 – ESTADO UNIDOS.....	81
(D) REGISTRO 4 – EL SALVADOR.....	81
(E) REGISTRO 5- EL SALVADOR	82
(F) REGISTRO 6 - NICARAGUA.....	82
(G) REGISTRO 7 - NICARAGUA	83
FIGURA 49. HISTÉRESIS LINK K2 – U2	92
FIGURA 50. HISTÉRESIS LINK K2 – U3	92
FIGURA 51. DISIPACIÓN ENERGÍA DEL SISTEMA	93

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA DERIVA SÍSMICA MODELO BASADO EN DISEÑO ORIGINAL EU-622	28
TABLA II. REVISIÓN DE PRESIONES EN PAREDES DE MAMPOSTERÍA	32
TABLA III. REVISIÓN DE PRESIONES EN MOCHETAS SOBRE EJE 1	33
.....	33
TABLA IV. REVISIÓN DE PRESIONES EN MOCHETAS SOBRE EJES 2	34
TABLA V. REVISIÓN DE ESFUERZO CORTANTE EN PAREDES EJE A	35
TABLA VI. REVISIÓN DE ESFUERZO CORTANTE EN PAREDES EJE B	35
TABLA VII. FACTORES DE AGRIETAMIENTO BASADOS EN ACI 318-19	44
TABLA VIII. INTEGRACIÓN DE CARGAS GRAVITACIONALES DE DISEÑO	45
TABLA IX. PARÁMETROS SISMORRESISTENTES MÓDULOS DE AULAS EU-622	48
TABLA X. RESUMEN DE CÁLCULO C_s	50
TABLA XV. REVISIÓN TORSIÓN SENTIDO E-W	54
TABLA XVI. REVISIÓN TORSIÓN SENTIDO N-S	54
TABLA XVII. REVISIÓN P DELTA ASCE/SEI 7-16 CAPÍTULO 12.8.7 (DIRECCIONES X, Y).....	54
TABLA XVIII. REVISIÓN PISO SUAVE SENTIDO E-W (X)	55
TABLA XIX. REVISIÓN PISO SUAVE SENTIDO N-S (Y)	55
TABLA XX. REVISIÓN EFECTO IRREGULARIDAD DE MASA LOSA 1 Y LOSA 2	56
TABLA XXI. REVISIÓN DE REDUNDANCIA LOSA 1 Y LOSA 2.	56
TABLA XXII. REVISIÓN DE VOLTEO EN SENTIDO X, Y.	56
TABLA XXIII. ESPECIFICACIONES DE AISLADORES LRB-1 Y LRB-2.	68
TABLA XXVI. REGISTROS SÍSMICOS	78
TABLA XXVI. COMPARATIVO CONCRETO EDIFICIO CONVENCIONAL NORMATIVO Y CON AISLAMIENTO SÍSMICO.	94

ÍNDICE DE GRAFICAS

GRÁFICA 1. COMPARACIÓN DE ESPECTROS ELÁSTICOS CON SUELOS TIPO C Y D, NORMA NSE 2018	40
GRÁFICA 2. ESPECTRO DE DISEÑO OBRA IMPORTANTE, SUELO C	49
GRAFICA 3. DERIVA SÍSMICA SENTIDO NORTE-SUR Y SENTIDO ESTE-OESTE, CATEGORÍA ESENCIAL	53
GRÁFICA 3. MODELO BILINEAL FUERZA-DESPLAZAMIENTO: SE APRECIA LA FUERZA Y DESPLAZAMIENTO MÁXIMA DE LOS AISLADORES LRB-1 Y LRB-2.....	68
GRÁFICA 4. COMPARATIVA DE PERIODOS Y ACELERACIÓN ESPECTRAL DE MODELO DE BASE FIJA Y MODELO CON AISLAMIENTO.	77
GRÁFICA 5. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 1 MÁXIMO	84
GRÁFICA 6. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 1 ORIGINAL	84
GRÁFICA 7. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 2 MÁXIMO	85
GRÁFICA 8. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 2 ORIGINAL.....	85
FIGURA 9. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 3 MÁXIMO	86
GRÁFICA 10. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 3 ORIGINAL.....	86
GRÁFICA 11. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 4 MÁXIMO	87
GRÁFICA 12. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 4 ORIGINAL.....	87
GRÁFICA 13. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 5 MÁXIMO	88
GRÁFICA 14. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 5 ORIGINAL.....	88
GRÁFICA 15. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 6 MÁXIMO	89
GRÁFICA 16. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 6 ORIGINAL.....	90
GRÁFICA 17. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 7 MÁXIMO	90
GRÁFICA 18. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN REGISTRO 7 ORIGINAL.....	91
GRÁFICA 19. ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIÓN RESUMEN REGISTROS	91

ABREVIATURAS

C_s	Coeficiente sísmico
C_d	Factor de incremento del desplazamiento elástico
f'_c	Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días
f'_m	Resistencia especificada a la compresión de los levantados de mampostería, Kg/cm ²
F_a	coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos
F_v	Coeficiente de sitio para periodos de vibración largos
I_g	Momento de inercia del área de la sección transversal bruta de un elemento, cm ⁴
I_o	Índice de sismicidad
K_d	Factor de determinación de los niveles de diseño
K_v	Factor de reducción de carga viva
N_a	coeficiente de proximidad de las amenazas especiales para periodos cortos de vibración
N_v	coeficiente de proximidad de las amenazas especiales para periodos largos de vibración
R	Factor de modificación de respuesta sísmica
ρ	(Rho) es el factor de falta de redundancia
S_{1r}	Ordenada espectral de periodo 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés
S_{1s}	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con periodo de vibración de 1 segundo
S_{cr}	Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés
S_{cs}	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con periodo de vibración corto

V_x Corte basal en sentido X

V_y Corte basal en sentido Y

W_{masa} Masa sismica

GLOSARIO

1. Elastómero: Materias artificiales o naturales que presentan alta elongación o elasticidad y amplia elasticidad frente a cargas antes de fracturarse o romperse. Suele tratarse de polímeros cuya composición que incluye no metales.
2. Aislador elastomérico: dispositivo esencial para el aislamiento de base, limita la energía transferida del terreno a la estructura durante el sismo intenso. Este compuesto por un núcleo de plomo y capas alternas de material elastomérico y láminas de acero vulcanizado.
3. Estructura de soporte: Conjunto de elementos estructurales que, además de sostenerse a sí mismos, constituyen apoyo de otros sistemas más complejos. Así, la estructura de un edificio soporta las acciones que se ejercen sobre él.
4. Interfaz de aislamiento: sector que establece un límite imaginario entre la superestructura que está aislada y la cimentación que se mueve rígidamente con el suelo.
5. Riesgo sísmico: Se llama riesgo sísmico a una medida que combina el “peligro sísmico”, con la “vulnerabilidad” y la posibilidad de que se produzcan en ella daños por movimientos sísmicos en un período determinado.
6. Niveles de Desempeño: El nivel de desempeño describe un estado límite del daño directo. Representa una condición límite o tolerable establecida en función a los posibles daños estructurales y no estructurales, a las amenazas sobre la seguridad y respecto a la funcionalidad de la edificación.
7. Amortiguamiento: disipación de energía que se produce en una estructura en un tiempo o distancia determinada.
8. Diseño normativo: diseño estructural basado en normas y/o códigos

RESÚMEN

En Guatemala la Unidad de Construcción de Edificios del Estado (UCEE) es la encargada de desarrollo de los proyectos del Estado. El diseño actualmente utilizado data de 1982, estructura de dos niveles de mampostería reforzada. Los edificios escolares deben ser la resilientes ante desastres naturales tales como terremotos, tsunamis, huracanes, tornados, erupciones volcánicas e inundaciones.

Se identifican vulnerabilidades estructurales, carencia de muros de soporte en el sentido oriente-poniente, columnas cortas en las fachadas norte y sur, mochetas sin capacidad para resistir solicitaciones sísmicas, carencia de información de diseño original, techo liviano metálico que no cumple con su función de diafragma, dejando paredes y mochetas trabajando en voladizo. El núcleo de escaleras es una estructura independiente y podría generar colisión estructural.

La primera grada de propuesta para mejora estructural cambia el sistema estructural E2 usado en el diseño de 1982 y propone usar un sistema estructural de marcos E1 (AGIES NSE 2018), esto elimina la columna corta en toda la estructura. Las fachadas ahora no son parte del sistema sismo resistente. El techo del segundo nivel de techo metálico se sustituye por losa maciza fundida en sitio, por lo que mejora el comportamiento estructural del edificio al tener acción de diafragma rígido tanto en el entrepiso como en el techo del nivel 2, el núcleo de circulación vertical de escaleras se ha incorporado al módulo estructural principal y así se elimina la posibilidad de colisión estructural entre dos cuerpos estructurales independiente.

La segunda grada de mejora consiste en la adición aislamiento sísmico de la estructura de marcos E1. Al tener la estructura con aislamiento sísmico podemos garantizar su serviciabilidad en un evento sísmico extremo y el módulo escolar podrá funcionar como albergue inclusive. El alcance del presente trabajo de investigación no incluye compra de dispositivos o ensayos de estos.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas han sucedido colapsos de los edificios escolares en los terremotos de Haití en 2010, Colegio Rébsamen en Ciudad de México en 2017, colapso total de escuela Agripina Seda en Guánica, Puerto Rico en 2020. En Guatemala el terremoto de 1976 se evidenciaron algunos daños en los edificios educativos de la Universidad del Valle de Guatemala y colapso parcial en instalaciones del Liceo Javier. La historia reciente, el terremoto de San Marcos 2014 mostró vulnerabilidades y daños en edificios escolares de mampostería.

Actualmente el módulo de aulas EU-22 es uno de varios módulos que administra la UCEE, en el capítulo II se hace una breve descripción del Estado del Arte de la ingeniería aplicada a esas edificaciones. Para el módulo de aulas EU-622 el capítulo III describe la estructura e identifica carencias de registros de diseño con base a la revisión de los planos estructurales información disponible y vulnerabilidades estructurales. Planteamientos que conlleven a mejora de la seguridad estructural se incluye en el desarrollo de los capítulos IV por medio de gradas de mejora de la estructura que implican modificación del sistema estructural utilizando programas de cómputo para elaboración de un modelo analítico tridimensional al cual mediante análisis dinámico modal espectral y diseño normativo se establecen dimensionamiento, resistencia y refuerzo de los elementos estructurales principales. El capítulo V describe la adición de sistema de protección sísmica pasiva a la estructura E1 de la mejora previa. Para esta grada de mejora se plantea el aislamiento sísmico de base en la estructura, herramientas como el análisis Tiempo Historia es requerido en esta etapa.

El beneficio para la comunidad estudiantil y al país consiste en tener a disposición una nueva generación de estructuras que tengan resiliencia sísmica con una inversión económica razonable.

Se establecen en el capítulo VI estimados de inversión para la propuesta de estructura con aislamiento sísmico.

Debido a que las normas de diseño estructural son documentos vivos que van evolucionando en el tiempo conforme el conocimiento ingenieril y se van actualizando, es necesario que UCEE implemente un programa de actualización de estructuras para eliminar las vulnerabilidades propias de cada módulo, plantear líneas de acción con investigaciones que cubran temáticas de reforzamiento de estructuras escolares existentes y así mismo dejar la puerta abierta a otras propuestas de mejora estructura incluido pero no limitado a muros de concreto, amortiguadores sísmicos, sistemas combinados

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN

1.1

Planteamiento del problema

El diseño estructural del módulo EU-622 se realizó hace 39 años en 1982. En términos ingenieriles sencillos de entender, es un diseño estructural obsoleto y debe actualizarse.

¿Por qué la necesidad de actualización? Desde 1982 a la actualidad a nivel internacional se han realizado varias actualizaciones en los códigos de diseño y normas con avances importantes en cuanto a parámetros y criterios sismo resistentes, que aumentan protección a la vida, proveen ductilidad adecuada a la estructura y minimizan el daño estructural.

En el caso de Guatemala lo más reciente de normativa sismorresistente especificado en la norma base de la norma guatemalteca que es ASCE/SEI 7-16 ya ha sido incorporada a la Norma de Reducción de Desastres 1 (NRD-1) conocida en coloquialmente como Norma AGIES 2018.

La normativa vigente hoy en día especifica valores de carga sísmica mayor a lo usado 39 años atrás. Adicionalmente hay nuevas normativas nacionales como Norma de reducción de desastres 2 (NRD2) y Norma de reducción de desastres 3 (NRD3) se estima adecuado que la UCEE las tome en cuenta.

La vigencia de la norma NSE 7.1 Diseño de edificaciones de concreto reforzado, obliga a el uso del código ACI 318-14 se tienen especificaciones y requerimientos más restrictivos que evidentemente un diseño de hace 39 años no cumple. La inclusión de la carga axial ultima en diseño de confinamiento de columnas busca dotar a las estructuras de mayor ductilidad y de que trabajen bajo un régimen de esfuerzos menores a los que estos elementos tenían en décadas anteriores, este criterio aplicable en especial a columnas y muros.

Con estas especificaciones se busca que las estructuras tengan un mejor comportamiento durante sismos intensos y que el daño en la misma sea minimizado.

La información compartida por UCEE incluye la información básica necesaria para evaluar la edificación consta de plantas, secciones y elevaciones con información arquitectónica y planos estructurales de cimentación, columnas, armado de losas, vigas y muros de mampostería.

Se logró identificar factores de vulnerabilidad y realizar la nueva propuesta de estructura para el módulo de aulas EU-622 tanto en diseño de estructura convencional como la propuesta de una estructura con aislamiento sísmico.

Toda esta limitación tecnológica del diseño estructural original pone en riesgo a la población estudiantil que utiliza los módulos EU-622, es imperativo el rediseño.

Justificación de la investigación

Podría afirmarse que la sociedad guatemalteca, las autoridades de la UCEE y la comunidad estudiantil del Departamento de Guatemala (y todo el territorio nacional) desconocen las vulnerabilidades de los módulos escolares EU-622 ante eventos sísmicos intensos que son los que más dañan la estructura, pero también están cargas de jerarquía menor como lo es la carga de viento que esencialmente genera daño en las cubiertas livianas de estructura de uno o varios niveles. Protección a la vida, en especial la de niños en aulas escolares y minimizar daño estructural en las edificaciones es básicamente el motor principal de este trabajo de investigación. La propuesta de rediseño de la estructura se plantea en dos gradas mejoramiento.

La primera grada con refuerzo convencional consiste en el mejoramiento de la calidad de la estructura basado en una nueva propuesta de estructural, que elimine las columnas cortas y sustitución del techo de estructura metálica liviana por una losa de concreto, incorporación del módulo de gradas al módulo principal para evitar colisión entre dos cuerpos estructurales independientes. La estructura se analizará mediante un análisis modal espectral y posteriormente se desarrollará su correspondiente diseño estructural y detallado en planos.

La segunda grada de mejora estructural consiste la adición de aisladores sísmicos a la estructura rediseñada en la etapa previa. El aislamiento sísmico para la estructura de la primera grada tiene enormes ventajas ya que reduce significativamente la energía que durante el sismo entra a la estructura, minimizando desplazamientos horizontales de la misma y se minimizan los daños en estructura principal y elementos secundarios.

Se está proponiendo un avance gradual “gradas” debido a que UCEE/Gobierno de Guatemala pudiera no tener los recursos económicos para implementar el sistema con aislamiento especificado en la segunda grada, entonces

con total confianza podría usar la estructura mejorada de la primera grada, sabiendo que el daño ante un evento sísmico intenso no se puede evitar.

A nivel internacional se hace énfasis en la continuidad de servicios esenciales después de un evento sísmico de gran magnitud. Centros educativos, hospitales, centros de telecomunicaciones, estaciones de policía, estaciones de bomberos son algunos de los ejemplos de las estructuras que se busca que tengan cien por ciento funcionalidad después del evento sísmico.

Objetivos

1.3.1- Objetivo general

Obtener y proveer una nueva propuesta de estructura con un diseño estructural de módulos EU-622 que permitan ser resilientes mediante la implementación de dos diseños estructurales:

- El primer nivel de mejora sismorresistentes se logra con la actualización de la estructura de los módulos de aulas EU-622 mediante el diseño denominado normativo convencional, aplicación del Método de análisis modal espectral (AGIES NSE 3 capítulo 3) y método de diseño por resistencia (AGIES NSE 2, CAPITULO 8) que cumplen con la normativa vigente para la República de Guatemala.
- El segundo nivel de mejora se basa en la implementación del aislamiento sísmico, mediante análisis Tiempo Historia, el aislamiento se ubica en la base a los módulos de aulas EU-622 (la nueva propuesta estructural actualizada, no la original de 1982) de la Unidad de Construcción de Edificios del Estado (UCEE) del Ministerio de Comunicación Infraestructura y Vivienda.

1.3.2.- Objetivos específicos

- Indicar los factores que promueven la vulnerabilidad estructural de los edificios educativos gubernamentales EU-622 actuales para que el ente encargado de esas estructuras tome las medidas que considere adecuadas. Identificar y eliminar las deficiencias estructurales del diseño actual de la EU-622.
- Planteamiento de la primera grada de mejora estructural para el módulo escolar EU-622; nueva propuesta de configuración

estructural, eliminando columnas cortas, sustituyendo el techo liviano por losa fundida en sitio y eliminando el módulo de escaleras independiente, que este en el mismo cuerpo estructural para eliminar el riesgo de colisión estructural entre ambos cuerpos. Esta grada de mejora de diseño estructural asume ubicación para departamento de Guatemala.

- La segunda grada de mejora estructura consiste en la implementación del aislamiento sísmico, con el dispositivo que más se adecue a las necesidades y características de la estructura (la mejorada de la primera grada). Nota aclaratoria especial: se especificarán las propiedades de los aisladores, no se harán compras y/o pruebas de prototipos.
- Establecer un comparativo de costos de algunos elementos estructurales principales del diseño estructural y el diseño con aislamiento sísmico.
- Modificar la categoría de obra “importante” a “esencial” para que la estructura pueda ser utilizada como albergue en caso de desastre natural.
- Listar temas que pueden ser tomados como “líneas futuras de investigación” para que otros maestrantes o investigadores puedan desarrollar temas relacionados a las estructuras EU-622.
- Aumentar la resiliencia de las estructuras escolares del país.

Hipótesis

La información contenida en los planos estructurales se complementa con planos arquitectónicos del módulo de aulas EU-622 diseñado en 1982. Se considera factible identificar vulnerabilidades estructurales que implican una situación de riesgo a la población estudiantil. De confirmar vulnerabilidades, se propone realizar propuestas para mejorar la capacidad sismorresistente de la estructura. Lo que tendrá por beneficio a futuro ante un sismo intenso que se logre proteger la integridad física de la comunidad estudiantil y se logra minimizar daños en la estructura por un sismo intenso al usar códigos de diseño actuales y más estrictos que los originales de 1982.

Se estima a priori que las mejoras estructurales pueden hacerse de forma gradual desde el punto de vista ingenieril y sobre todo tomando en cuenta la inversión económica en cada propuesta estructural.

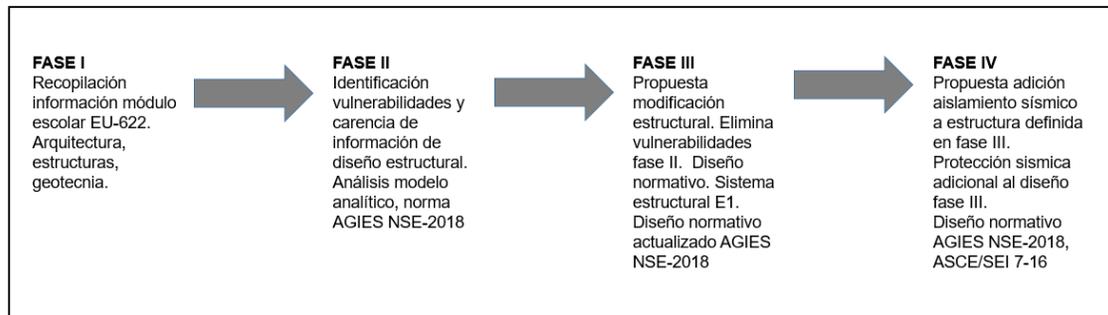
Metodología

La esencia de la investigación es ingenieril, por lo cual se considera encuadra en el tipo de investigación cuantitativa (Sampieri, 2006), dado que conlleva actividades de carácter numérico y cálculos matemáticos con orden establecido y secuencia lógica bajo el cumplimiento de normativa estructural vigente AGIES NSE-2018 y/o ASCE/SEI 7-16.

El módulo EU-622 es la única edificación de las desarrolladas por UCEE bajo estudio en esta investigación, para dicho módulo el lugar de emplazamiento se debe considerar Ciudad de Guatemala, idealizando el entorno en terreno plano sin estructuras cercanas.

El proceso metodológico utilizado es el siguiente:

Figura 1. Proceso metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia (2021)

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE DE LOS EDIFICIOS ESCOLARES

2.1 Introducción

A nivel mundial se ha modificado el enfoque sobre el diseño de edificios escolares, con el paso del tiempo y ante las amenazas naturales se ha generado una nueva cultura de protección y diseño arquitectónico y estructural de estos edificios. Los objetivos principales son protección de la vida de los estudiantes, pero también que puedan ser usados estos edificios como refugios/albergues en caso de desastres naturales mayores.

En estados Unidos hay surgido iniciativas como SESI por sus siglas en inglés (school earthquake safety initiative) de la de EERI por sus siglas en inglés (Earthquake Engineering Research Institute) en la cual se ha estudiado varias estructuras escolares y ha logrado identificar vulnerabilidades debidas a deficiencias en el refuerzo, la geometría de las estructuras, materiales o la tecnología disponible en el momento de construcción, ya sea por normativa deficiente o criterios no adecuados. Se ha intentado a través de los códigos de diseño sísmico dotar de mayor resistencia a los edificios escolares para que puedan tener un mejor desempeño durante el sismo.

El criterio básico en gestión de riesgo es que entre más resilientes son las estructuras la demanda de albergues/refugios disminuye. Se busca esta condición porque la persona de las comunidades cercanas a las escuelas tiene la sensación de que el lugar más seguro para servir de refugio son los edificios escolares. Protección ante tornados, huracanes, tsunamis, nieve, derrumbes, ceniza volcánica, inundaciones son otros de los puntos vulnerables que se desea eliminar.

EERI ha identificado que en zonas sísmicas existen varias escuelas de mampostería sin refuerzo, han desarrollado una política de reforzamiento para lograr la meta de escuelas de mampostería no vulnerables para el año 2033.

En América Latina, Perú en el documento “Criterios generales de diseño para infraestructura educativa” tiene bien especificados los criterios generales de carácter arquitectónico para diseño de edificios escolares como lo son confort térmico, iluminación, ventilación y accesibilidad. Recomienda que las escuelas no estén ubicadas cercas de oleoductos, casinos, plantas de gas, oleoductos, ventas de bebidas alcohólicas. se enfoca en que las cercanías de los centros educativos tengan servicios de calidad, drenajes, iluminación, calles pavimentadas etc. En lo referente a la parte estructural requiere el uso de la Norma Técnica E.030 RNE.

En Guatemala se utiliza el “Manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales” en este manual se establecen todos los requisitos arquitectónicos de las aulas escolares y se hace una pequeña referencia a la norma NRD1 que para el manual publicado en 2016 la norma vigente en ese entonces era AGIES 2010, ahora ya considerada como no vigente. En el presente estudio se han incorporado la última versión de las NSE 2018 de AGIES del 15 de julio de 2020. Las normas NSE 1, NSE 2, NSE 3, NSE 7.1 se convierten en la parte medular del desarrollo de la parte práctica de esta investigación. En ellas se basan las demandas sísmicas, parámetros sismorresistentes, cargas gravitacionales, combinaciones de cargas, tipos de análisis y requisitos de diseño de concreto reforzado. La norma base de la normativa guatemalteca AGIES es la norma ASCE/SEI 7-16 por lo que se da por sentado que contamos con normas actualizadas a nivel mundial.

2.2 Sistemas estructurales E2

El sistema de muros de mampostería es el sistema predominante en la construcción menor como lo son casas y edificios de pocos niveles según (Monzón Despang, 2015). El sistema tipo cajón de mampostería en Guatemala se desarrolla en gran medida de forma empírica, cerca del 70% de la construcción de mampostería está bajo la dirección de albañiles y maestros de obra, el 20% bajo la

dirección de arquitectos y el restante 10% bajo la dirección de ingenieros civiles (Chang, 2021).

Para el diseño estructural de este tipo de construcciones la normativa vigente es AGIES NSE 7.4 Diseño de Mampostería Reforzada, complementado con AGIES NSE 1, NSE 2, NSE 2.1 y NSE 3. El reporte de EERI por sus siglas en inglés Earthquake Engineering Research Institute (2013) sobre el terremoto de San Marcos en 2012 evidencio las vulnerabilidades de estructuras de mampostería que incluyen, pero no están limitadas a block de bajas resistencias técnicas deficientes de levantado, configuraciones estructurales inadecuadas como columnas cortas, irregularidades en planta y elevación, errores constructivos.

Figura 2. Proceso constructivo Escuela San Pedro Ayampuc, Guatemala.



Fuente: Publicación Gobierno Guatemala internet.

Figura 3. Daño estructural, Terremoto San Marcos 2012



Fuente: Informe EERI "The November 7, 2012, M7.4 Guatemala Earthquake and its implication for Disaster reduction and Mitigation"

Figura 4. Daño estructural, efecto columna corta. Terremoto San Marcos 2012



Fuente: Informe EERI "The November 7, 2012, M7.4 Guatemala Earthquake and its implication for disaster reduction and Mitigation"

2.3 Sistemas estructurales E1 concreto

El sistema marcos resistentes a momento de concreto de alta ductilidad es un sistema estructural que se emplea para estructuras pequeñas y medianas (Monzón Despang, 2015), muy poco uso para estructura escolar.

Para el diseño estructural de este tipo de construcciones la normativa vigente es AGIES NSE 7.1 Diseño de Concreto Reforzado (cumplir con ACI 318-14), complementado con AGIES NSE 1, NSE 2, NSE 2.1 y NSE 3.

Figura 5. Proceso constructivo Escuela Sipacate, Escuintla.



Fuente: Publicación Gobierno Guatemala internet.

2.4 Sistemas estructurales E1 acero

El sistema marcos resistentes a momento de acero estructural, alta ductilidad es un sistema estructural muy poco usado en la construcción de escuelas en Guatemala.

Para el diseño estructural de este tipo de construcciones la normativa vigente es AGIES NSE 7.5 Diseño de Edificaciones de Acero, complementado con AGIES NSE 1, NSE 2, NSE 2.1 y NSE 3.

Figura 6. Escuela Sipacate, Escuintla.



Fuente: Publicación Gobierno Guatemala internet.

CAPITULO III: ESTUDIO ESTRUCTURA ACTUAL MÓDULO ESCOLAR EU-622

3.1 Arquitectura y configuración estructural actual módulo EU-622

Los planos entregados por parte de la UCEE para la evaluación de la estructura son los siguientes:

Listado planos modulo EU-622 UCEE

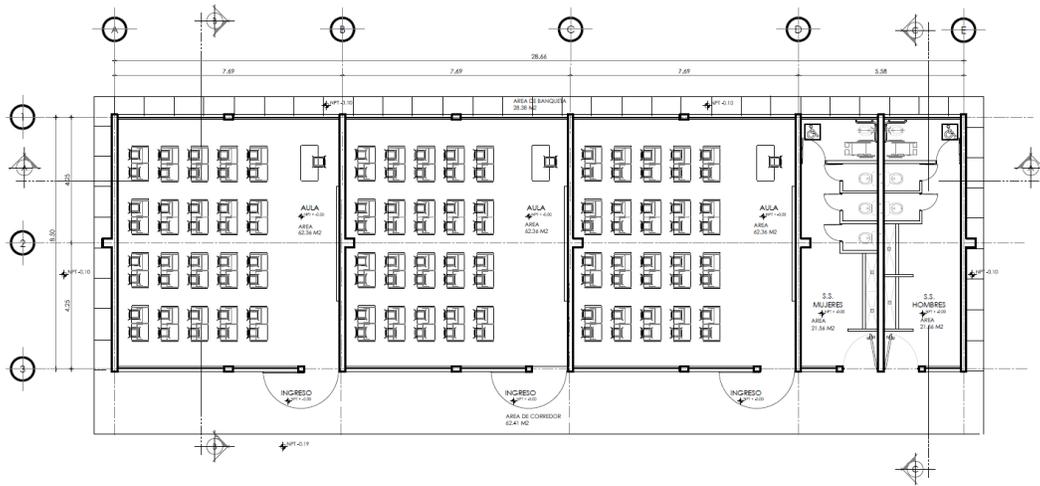
Resolucion UAIP-UEE-008-2019

Plano	Contenido	Plano	Contenido
1	Arquitectura 1er nivel	21	Cortes de muros 2
2	Arquitectura 2do nivel	22	Cortes de muros 3
3	Acotada 1er nivel	23	Cortes de muros 4
4	Acotada 2do nivel	24	Detalles de baranda de concreto
5	Acabados 1er nivel	25	Estructura portante
6	Acabados 2do nivel	26	Armado de losa de entrepiso
7	Detalles ventanas y puertas	27	Planta de techos
8	Se elimina. No corresponde a EU-622	28	Detalle de vigas de entrepiso
9	Detalles especiales de puertas 2	29	Detalle de estructuras
10	Detalles de pasadores de puertas	30	Instalacion hidraulica
11	Elevaciones longitudinales	31	Detalle S.S. de mujeres
12	Elevaciones transversales	32	Detalle S.S. de hombres
13	Sección longitudinal	33	Detalles de instalaciones sanitarias
14	Secciones transversales	34	Detalles de instalaciones sanitarias
15	Cimientos y columnas	35	Instalacion electrica 1er nivel - iluminación
16	Columnas	36	Instalacion electrica 2do nivel - iluminación
17	Detalles de cimentación	37	Detalles de instalaciones electricas
18	Detalles de columnas	38	Detalles de instalaciones electricas
19	Detalle de servicios sanitarios	39	Instalacion electrica 1er nivel - fuerza
20	Cortes de muros 1	40	Instalacion electrica 2do nivel - fuerza

La configuración arquitectónica del edificio consta de un módulo principal de dos niveles, cada nivel cuenta con 3 aulas de 62.36 m² con capacidad para 40 alumnos con su respectivo un catedrático por cada aula. Adicionalmente cuenta con un área de 43.12 m² destinada para servicios sanitarios.

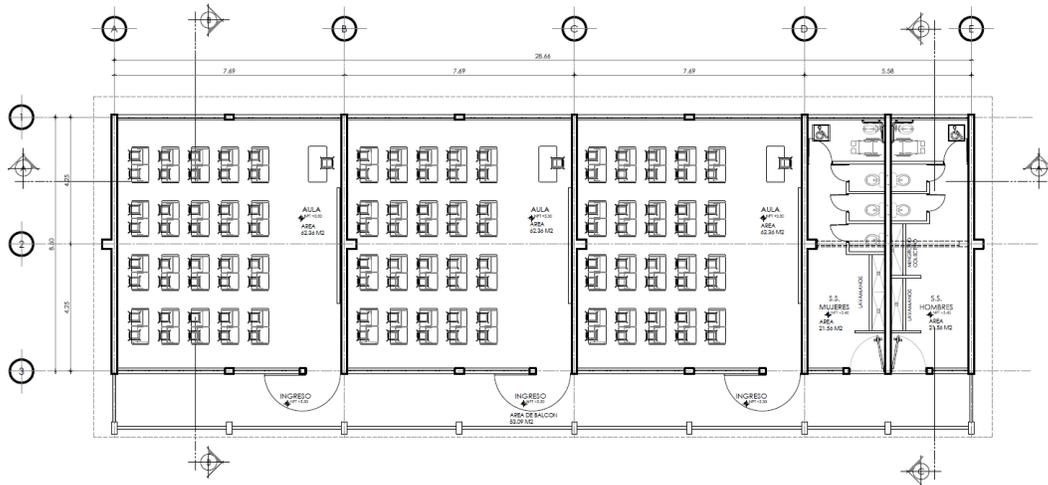
El techo está compuesto por un sector de 25 m² losas fundida en sitio para colocación de depósitos de agua potable y el resto cubierta liviana a dos aguas. En las figuras 7 a 12 se muestra la configuración arquitectónica original del módulo EU-622. Notar que están referidas las imágenes a el número de plano del listado completo de información entregada por UCEE.

Figura 7. Planta de nivel 1 módulo de aulas EU-622



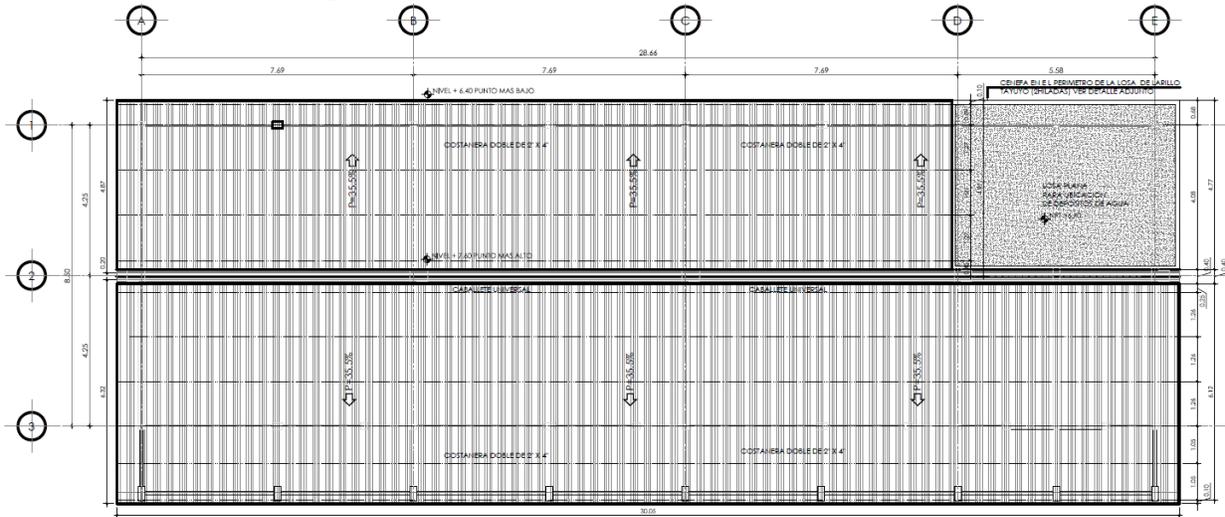
Fuente: UCEE plano 01/40.

Figura 8. Planta de nivel 2 módulo de aulas EU-622



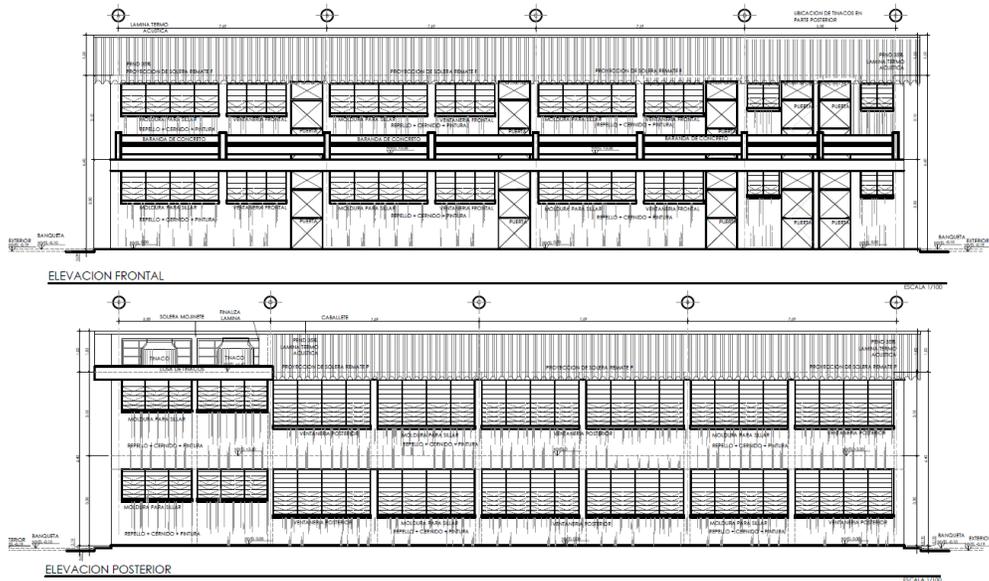
Fuente: UCEE plano 02/40.

Figura 9. Planta de techos módulo de aulas EU-622



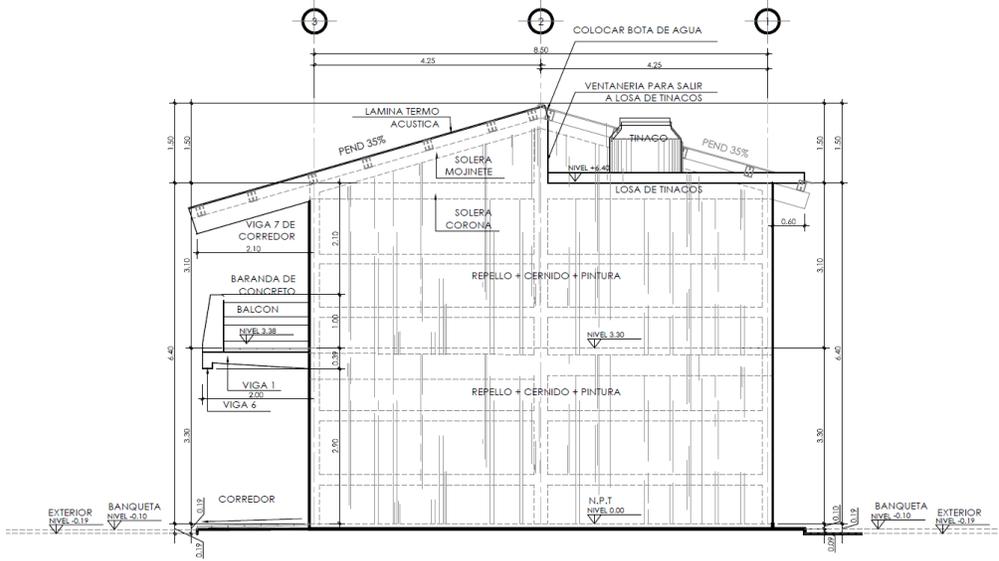
Fuente: UCEE plano 27/40.

Figura 10. Elevaciones frontal y posterior módulo escolar EU-622



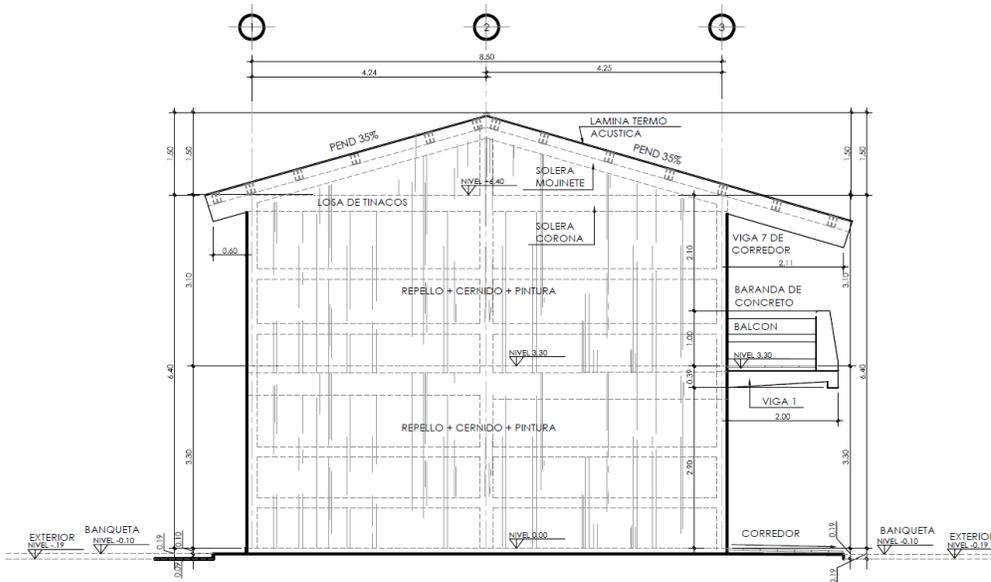
Fuente: UCEE plano 11/40.

Figura 11. Elevación lateral derecha módulo escolar EU-622



Fuente: UCEE plano 12/40.

Figura 12. Elevación lateral derecha módulo escolar EU-622



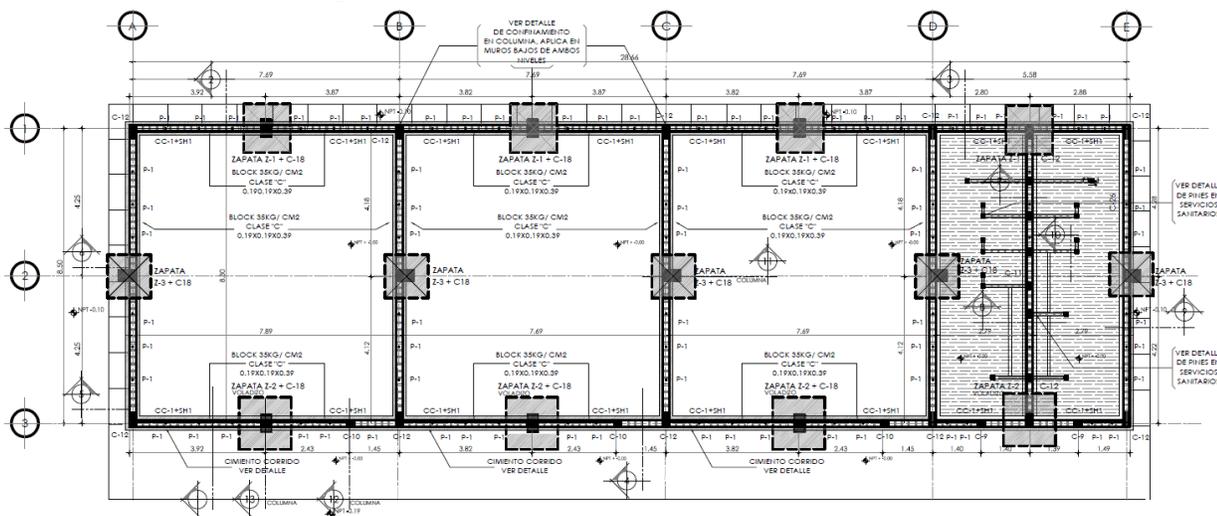
Fuente: UCEE plano 12/40.

3.2 Diseño estructural original

De los planos estructurales del diseño original podemos concluir que para su análisis y diseño se basó en una estructura de mampostería confinada tipo cajón, se tuvo acceso a la información de diseño y detallado de planos estructurales. Este sistema estructural está definido en la normativa vigente como un sistema E2 de la norma AGIES NSE3-2018. En estos sistemas las paredes de mampostería son las que deben resistir el 100% de la carga sísmica. Los muros están interconectados por medio de una losa fundida in situ y cumple con la función de diafragma rígido. La cubierta liviana que es el techo del nivel 2 se establece como un diafragma flexible y es uno de los componentes que generan vulnerabilidad como se explica en el numeral 3.3.

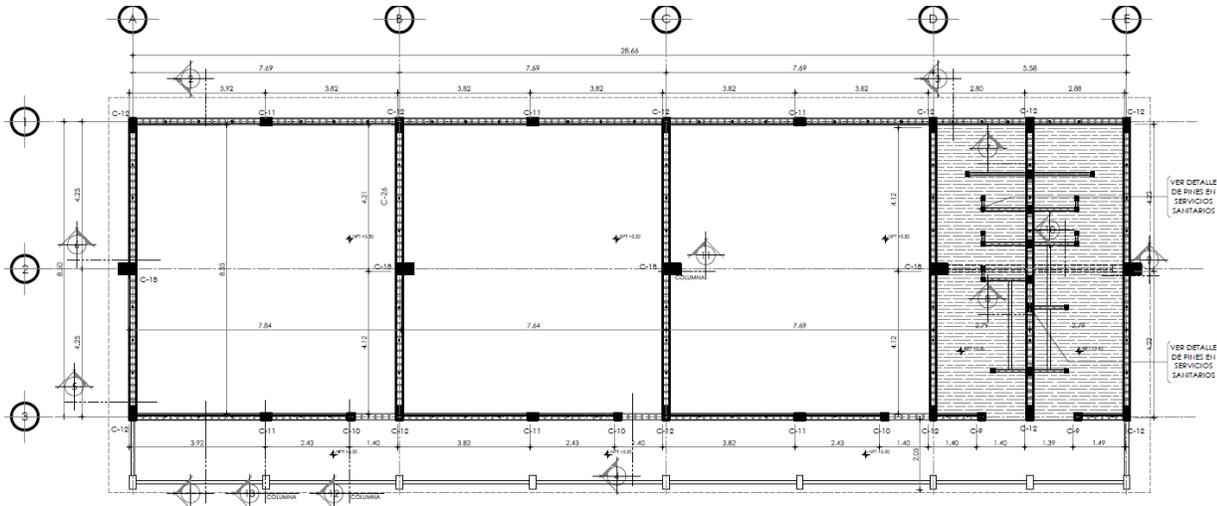
La cimentación consiste en zapatas aisladas concéntricas para las columnas tipo C-18 de 0.30X0.50m de sección, el nivel de cimentación $NAZ=-1.30m$ debajo del nivel de piso terminado del nivel 1, los muros de mampostería confinada portantes se tiene un cimiento corrido debajo de toda la trayectoria del mismo, el nivel de cimentación $NAZ=-1.00m$.

Figura 13. Planta de cimentación módulo escolar EU-622



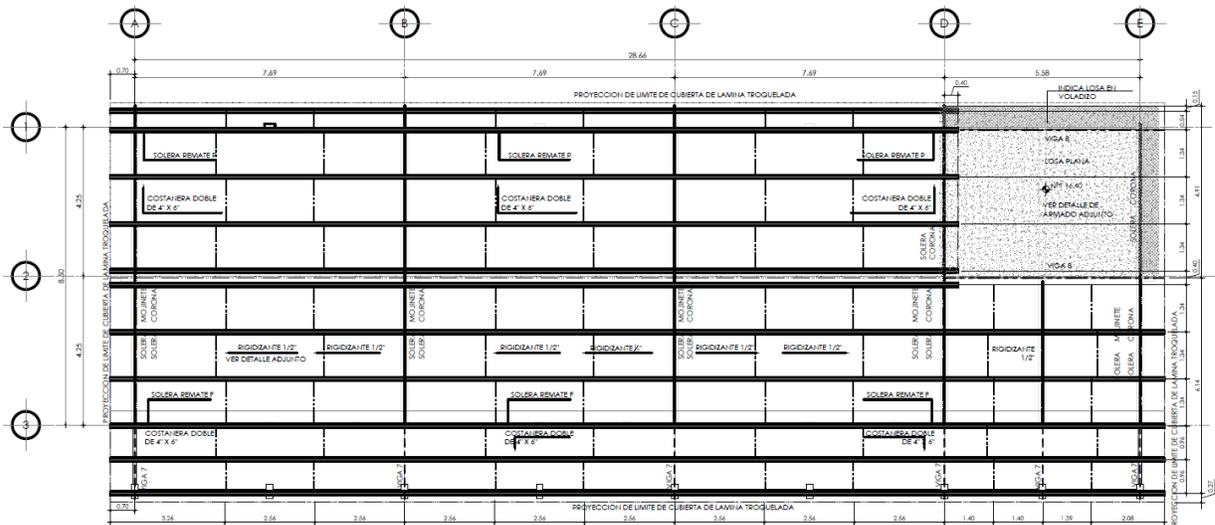
Fuente: UCEE plano 15/40.

Figura 14. Planta estructural de losa 1 (piso nivel 2) módulo escolar EU-622



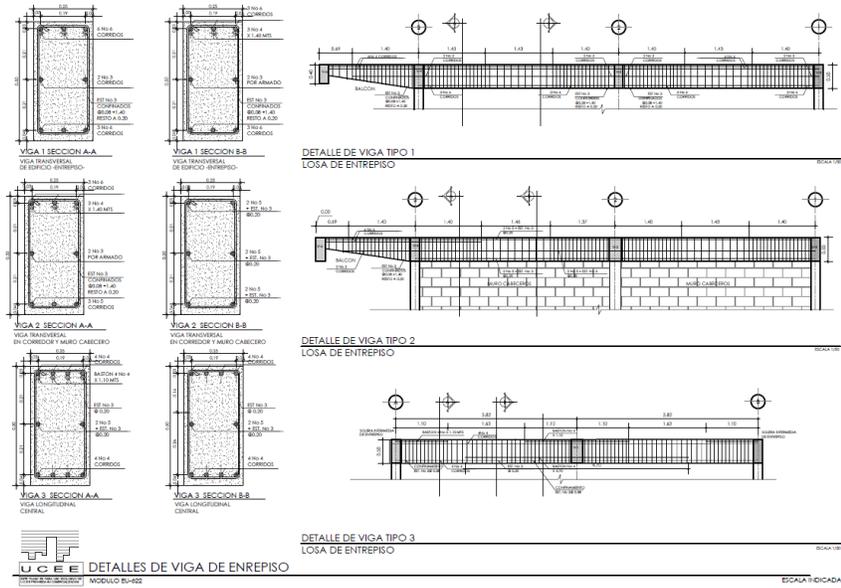
Fuente: UCEE plano 16/40.

Figura 15. Techo liviano – estructura metálica (techo nivel 2) módulo escolar EU-622



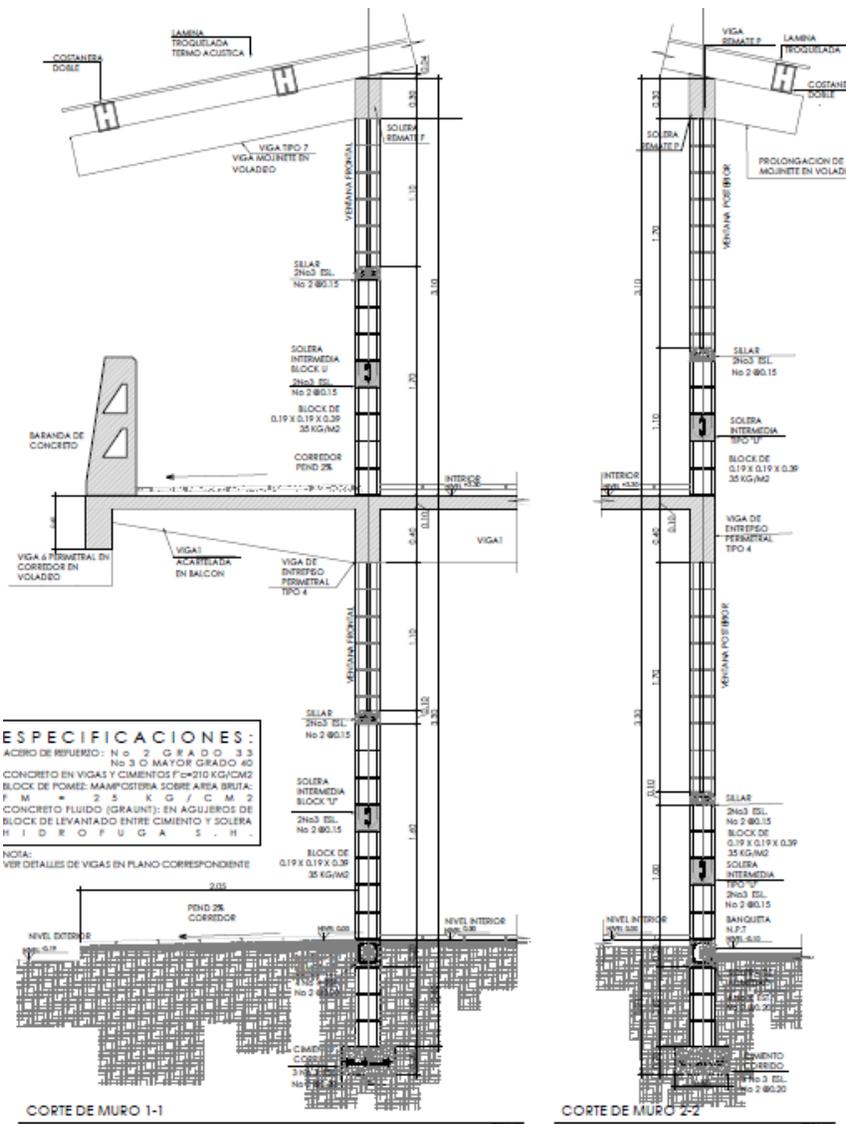
Fuente: UCEE plano 25/40.

Figura 16. Desarrollo y refuerzo de vigas losa 1 – (apoyadas en muros, excepto viga tipo 3) módulo escolar EU-622



Fuente: UCEE plano 28/40.

Figura 17. Desarrollo y refuerzo de muros estructurales de mampostería confinada entre ejes 1 y 3 –



Fuente: UCEE plano 20/40.

3.3 Vulnerabilidades

La metodología cuantitativa para determinar las vulnerabilidades de la estructura EU-622 desde el punto de vista de ingeniería estructural se debe entender por vulnerable el elemento estructural principal que es excedido en capacidad en uno o varios parámetros normativos. Estudiar, analizar y revisar toda la información de planos arquitectónicos y estructurales proporcionados por la UCEE es el proceso idóneo para la identificación de vulnerabilidades,

complementándose con un modelo analítico tridimensional en el programa ETABS para lograr establecer el comportamiento básico de la estructura y la resistencia de los elementos estructurales principales, régimen de presiones en muros de mampostería y columnas, verificación de área de acero requerida en el modelo y su comparativo con la cuantía de refuerzo instalada y detallada en los planos.

Información faltante o contradictoria entre planos también se lista para lograr enriquecer el trabajo de investigación y para que en futuros proyectos se tomen en cuenta dichas observaciones.

3.4 Modelo estructural edificio original EU-622

Se modeló la estructura usando los datos de geometría y materiales descritos en los planos estructurales del diseño de 1982. Se asignaron cargas conforme a normativa vigente NRD1 (AGIES 2018) y los parámetros sismo resistentes se listan a continuación:

Parámetros sismo resistentes

Ubicación: Guatemala Ciudad, Guatemala
Municipio Guatemala
Departamento Guatemala

Sistema estructural: E2
R= 4
Cd= 3.5
 ρ (rho) = 1.00

Índice de sismicidad: 4.2
Clase de obra: Importante
Nivel de protección: D
Sismo: severo
Probabilidad de excedencia: 5% en 50 años
Scr= 1.5 g
S1r= 0.55 g
Fa= 1.00
Fv= 1.70
Na= 1.00
Nv= 1.10
Kd= 0.8
Scd= 1.2 g
S1d= 0.8828 g
Svd= 0.20 Scd= 0.24 g

Cargas gravitacionales de diseño:

Losa 1 y losa 2:

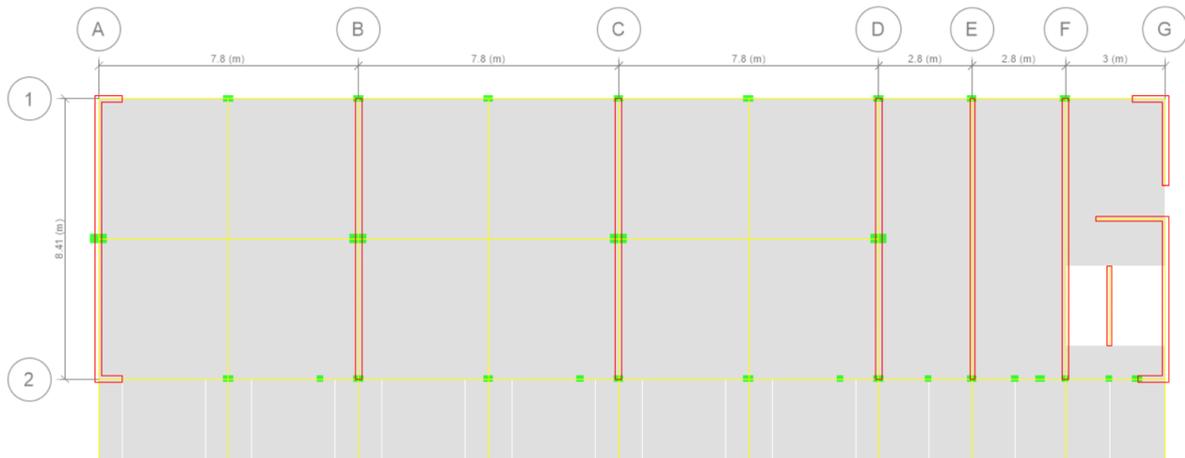
Carga muerta superpuesta: 125 Kg/m²

Carga viva = 200 Kg/m²

Pasillos:

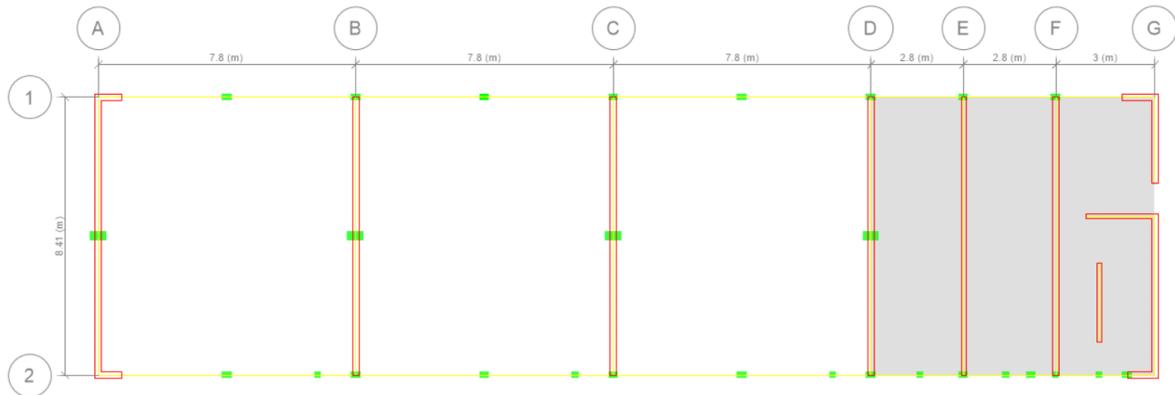
Carga muerta superpuesta=125 Kg/m²; CVNR= 500 Kg/m²

Figura 18. Planta de losa 1 (nivel 2) estructura original 1982 módulo escolar EU-622



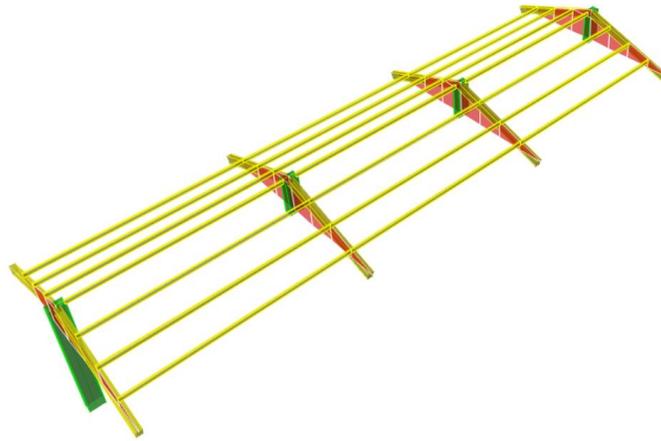
Fuente: elaboración propia. Programa Etabs.

Figura 19. Planta de losa 2 y techo estructura metálica liviana estructura original 1982 módulo escolar EU-622.



Fuente: Elaboración propia. Programa Etabs.

Figura 20. Vista 3D de la estructura metálica de cubierta

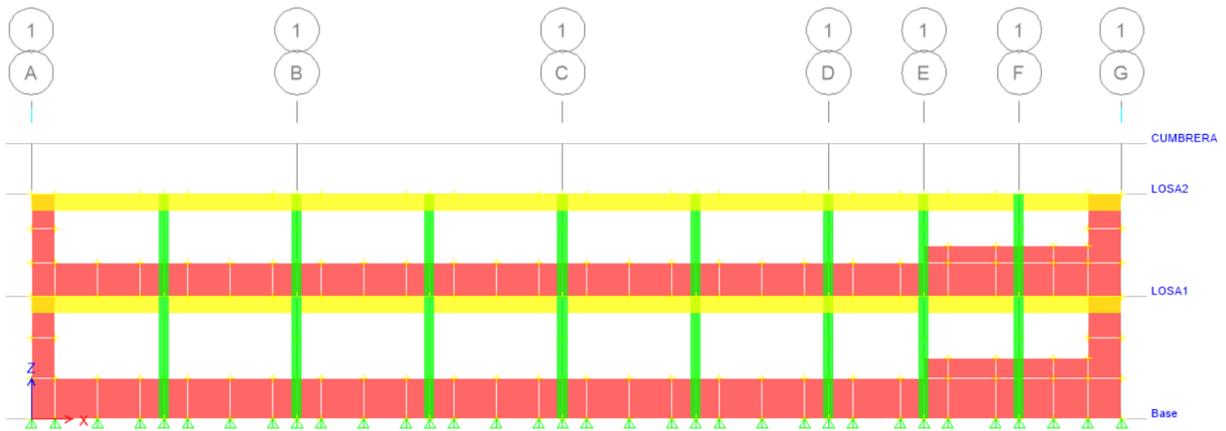


Fuente: Elaboración propia. Programa Etabs.

En las figuras 21 y 22 puede observarse como con la configuración original del módulo escolar EU-622 se generan columnas cortas en la estructura en el sentido longitudinal al quedar estas atrapadas o cautivas entre los sillares de las ventanas y al generar vanos de puertas.

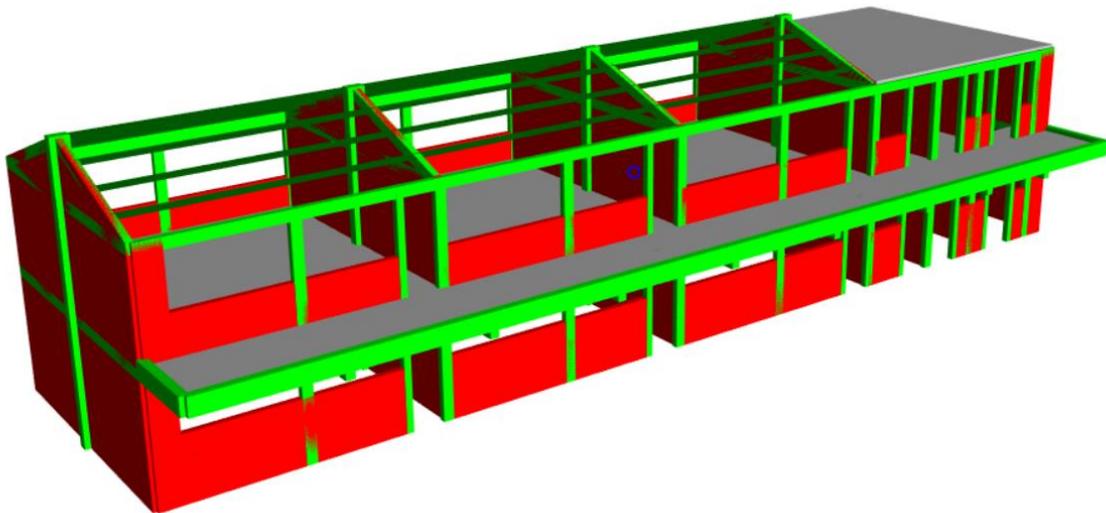
Figura 21. Fachada frontal y fachada posterior módulo escolar EU-622.





Fuente: elaboración propia. Programa Etabs.

Figura 22. Modelo 3d estructura módulo escolar EU-622



Fuente: elaboración propia. Programa Etabs.

Tabla I. Obtención de resultados de la deriva sísmica modelo basado en diseño original EU-622

Deriva sísmica

Sentido deriva	Deriva unitaria Δ admisible (0.007/cd=3.5)	Δu modelo estructural	relación Δu /Admisible	Observaciones
norte - sur	0.002	0.003698	1.849	No cumple
Este - Oeste	0.002	0.002737	1.368	No cumple

Masa sísmica

$W_{masa} = 985$ Tonf

Cortante basal

$V_x = 295$ Tonf

$V_y = 295$ Tonf

3.5 Vulnerabilidades módulo escolar EU-622

Selección incorrecta para ubicación del proyecto

Aparentemente no es el caso del módulo escolar EU-622 ya que los planos no tienen mayor información del entorno. Sin embargo, al visualizar información de la UCEE y el entorno rural guatemalteco, se debe procurar desarrollar los proyectos en ubicaciones libres de amenazas geológicas. Altamente recomendable que previo al diseño de la estructura se tenga el estudio de suelos desarrollado por un profesional de la geotecnia. Se recomienda cumplir con un estudio tipo II especificado en el numeral 4.2.3 de la norma NSE 2.1-2018 AGIES y el contenido mínimo del estudio esta descrito en el capítulo 4.4 de la norma referida con anterioridad.

El estudio deberá tener en consideración el que el lugar de emplazamiento de la estructura de módulos escolares debe estar libre de amenaza de licuefacción, deslizamientos. Dar solo un valor soporte o una tabla para con diseño de cimientos

solo basándose en un valor soporte asumido deber ser reconsiderado para prevenir daños por cimentación. El plano 17/40 de los planos de UCEE contiene la tabla de cimientos para varios valores soportes. Evitar situaciones como las ilustradas en las figuras 23 y 24.

Figura 23. Deslizamiento como efecto del huracán Stan y Ágata y posterior daño en edificio escolar.



Fuente: Prensa Libre.

Figura 24. Escuela Primaria Oficial Rural Mixta Caserío Los Jazmines, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. ubicada a la orilla de un barranco.



Fuente: UCEE

Vulnerabilidades por configuración estructural

Uno de los puntos deficientes y de mayor vulnerabilidad en la configuración estructural de estos módulos escolares es que para cumplir con requerimientos de iluminación y ventilación se requiere vanos de ventanas y puertas muy grandes, hasta de 6m² en fachada posterior y dos dimensiones en la fachada frontal, 6m² y 3.12m² para ventanas, 3.45 m² para puertas.

En general para la fachada frontal debido a estos requerimientos se pierden hasta 45% del área del muro y generalmente estos vanos están delimitados en los extremos por elementos de concreto de pequeñas dimensiones denominados como mochetas en el medio guatemalteco, estas mochetas (que no son columnas) quedan ahogadas entre los paños de mampostería y durante el sismo, las solicitaciones a las que se ven sujetas debido a su condición de columnas cortas son mayores a la capacidad del elemento.

El entrepiso solo esta soportado por en el 20% de la longitud de la fachada frontal. Este 20% está compuesto por elementos de 0.19x0.20m, 0.19x0.21m siendo el mayor 0.19x0.39m. la fachada posterior es más crítica al contar únicamente con 8% de la longitud total como soportes. Situaciones como estas son un común denominador en la escuela nacional, en la figura 19 se ilustra el caso de las columnas cortas en las escuelas UCEE.

Figura 25. Columnas cortas escuelas UCEE.

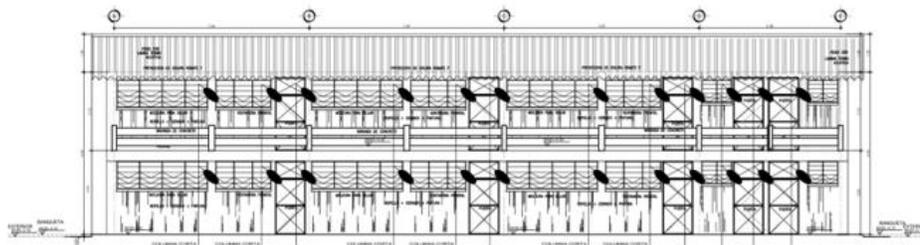


Fuente: UCEE.GOB.GT

Sismos intensos en Guatemala y otras latitudes han dejado en evidencia la falla de estos elementos, inclusive de mayor sección a los utilizados en las escuelas.

En figura 26 se puede observar la sección frontal y posterior de módulo EU-622 en la cual se han señalado las ubicaciones de mochetas que están soportando la carga del entrepiso independiente de los muros que no logran apoyarse en el entrepiso para cargar. Están quedando las mochetas como elementos de columna corta y el análisis da evidencia que el refuerzo requerido en el elemento es mayor al instalado o que el elemento ha sido excedido en su capacidad.

Figura 26. Localización de columnas corta en módulo escolar EU-622



a) Localización de columnas cortas en fachada frontal modulo escolar EU-622



b) Acero requerido en elementos de concreto verticales (mochetas) fachada frontal modelo analítico etabs modulo EU-622 actual. Puede observarse varias columnas (mochetas) fallan debido a su condición de columna corta

Fuente: Elaboración propia basado en elevación arquitectónica EU-622 de UCEE

La norma AGIES NSE 7.4 establece límites de presiones axiales y esfuerzos de corte en los elementos de soporte como lo son paredes de mampostería y así mismo requiere régimen controlado de cargas axiales para mochetas. Del modelo analizado del módulo de aulas EU-622 se determinaron que hay deficiencias de capacidad de los elementos de soporte, se atribuye a deficiencias en el diseño estructural previo, configuración, así como al uso de materiales de bajas resistencias. Se tiene especificaciones en planos que se consideran muy bajas para esta estructura, concreto con 210 Kgf/cm², block pómez de 25 Kgf/cm² y acero grado 40. Los resultados de la revisión de presiones se muestran en las tablas II a VI. La confirmación de estas deficiencias confirma que la estructura del módulo de aulas EU-622 requiere una actualización del diseño o nuevas propuestas que provean una estructura diseñada conforme a la normativa actual para beneficio de los ocupantes.

Tabla II. Revisión de presiones en paredes de mampostería

Presiones en muros de mampostería combinacion envolvente con sismo debe ser menor que $\sigma_{nm} = 0.20 f' m$ según AGIES NSE 7.4 (ecuación 5.8.2-2)

Identificación modelo	Espesor pared (cm)	Longitud pared (cm)	Area neta (cm ²)	Pu axial (Kgf)	Esfuerzo muro (Kgf/cm ²)	$\sigma_{nm} = 0.20 f' m$ max (Kgf/cm ²)	Relación Demanda/Capacidad
PIER YA1 - N2	19	420.50	3994.75	33000.00	8.26	7.00	1.18
PIER YA1 - N1	19	420.50	3994.75	75000.00	18.77	7.00	2.68
PIER YA2 - N2	19	420.50	3994.75	54000.00	13.52	7.00	1.93
PIER YA2 - N1	19	420.50	3994.75	104000.00	26.03	7.00	3.72
PIER YB1 - N2	19	420.50	3994.75	29000.00	7.26	7.00	1.04
PIER YB1 - N1	19	420.50	3994.75	67000.00	16.77	7.00	2.40
PIER YB2 - N2	19	420.50	3994.75	54000.00	13.52	7.00	1.93
PIER YB2 - N1	19	420.50	3994.75	88000.00	22.03	7.00	3.15
PIER YC1 - N2	19	420.50	3994.75	29000.00	7.26	7.00	1.04
PIER YC1 - N1	19	420.50	3994.75	66000.00	16.52	7.00	2.36
PIER YC2 - N2	19	420.50	3994.75	53000.00	13.27	7.00	1.90
PIER YC2 - N1	19	420.50	3994.75	83000.00	20.78	7.00	2.97
PIER YD1 - N2	19	420.50	3994.75	35000.00	8.76	7.00	1.25
PIER YD1 - N1	19	420.50	3994.75	61000.00	15.27	7.00	2.18
PIER YD2 - N2	19	420.50	3994.75	46000.00	11.52	7.00	1.65
PIER YD2 - N1	19	420.50	3994.75	69000.00	17.27	7.00	2.47
PIER YE1 - N2	19	840.00	7980.00	84000.00	10.53	7.00	1.50
PIER YE1 - N1	19	840.00	7980.00	111000.00	13.91	7.00	1.99
PIER YF1 - N2	19	840.00	7980.00	105000.00	13.16	7.00	1.88
PIER YF1 - N1	19	840.00	7980.00	143000.00	17.92	7.00	2.56
PIER YG1 - N2	19	840.00	7980.00	33000.00	4.14	7.00	0.59
PIER YG1 - N1	19	840.00	7980.00	109000.00	13.66	7.00	1.95
PIER YG2 - N2	19	840.00	7980.00	57000.00	7.14	7.00	1.02
PIER YG2 - N1	19	840.00	7980.00	218000.00	27.32	7.00	3.90

Datos para los ejes A, B, C, D, E, F, G en sentido transversal de la estructura

N1 = indica pared ubicada en el primer nivel de la edificación

N2 = indica pared ubicada en el segundo nivel de la edificación

Relacion demanda capacidad mayor que 1, se considera que no cumple con norma. Inadecuado

Calculo basado en resistencia minima de block AGIES NSE 7.4 capitulo 5.7.3 con $f_{ld}=50$ Kgf/cm²

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla III. Revisión de presiones en mochetas sobre eje 1

Presiones en mochetas sobre eje 1, combinación envolvente con sismo menor que 0.20 f_c
según AGIES NSE 7.4 ecuación 5.8.2-3

Identificación modelo	Ancho (cm)	Largo (cm)	Area neta (cm ²)	Pu axial (Kgf)	Esfuerzo mocheta (Kgf/cm ²)	$\sigma_{nc} = 0.20 f_c$ max (Kgf/cm ²)	Relación Demanda/Capacidad
C17 - N2	19.00	30.00	570.00	8930.00	15.67	29.40	0.53
C17 - N1	19.00	30.00	570.00	32970.00	57.84	29.40	1.97
C18 - N2	19.00	30.00	570.00	10450.00	18.33	29.40	0.62
C18 - N1	19.00	30.00	570.00	31990.00	56.12	29.40	1.91
C19 - N2	19.00	30.00	570.00	6970.00	12.23	29.40	0.42
C19 - N1	19.00	30.00	570.00	27820.00	48.81	29.40	1.66
C5 - N2	19.00	30.00	570.00	10610.00	18.61	29.40	0.63
C5 - N1	19.00	30.00	570.00	30760.00	53.96	29.40	1.84
C7 - N2	19.00	30.00	570.00	8310.00	14.58	29.40	0.50
C7 - N1	19.00	30.00	570.00	28210.00	49.49	29.40	1.68
C8 - N2	19.00	30.00	570.00	14780.00	25.93	29.40	0.88
C8 - N1	19.00	30.00	570.00	26540.00	46.56	29.40	1.58
C22 - N 2	19.00	30.00	570.00	16140.00	28.32	29.40	0.96
C22 - N1	19.00	30.00	570.00	43100.00	75.61	29.40	2.57
C23 - N2	19.00	30.00	570.00	10610.00	18.61	29.40	0.63
C23 - N1	19.00	30.00	570.00	30760.00	53.96	29.40	1.84

Datos para eje 1, en sentido longitudinal de la estructura

N1 = indica segmento de la mocheta ubicado en el primer nivel de la edificación

N2 = indica segmento de la mocheta ubicada en el segundo nivel de la edificación

Relacion demanda capacidad mayor que 1, se considera que no cumple con norma. Inadecuado

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla IV. Revisión de presiones en mochetas sobre ejes 2

Presiones en mochetas sobre eje 2, combinacion envolvente con sismo menor que 0.20 f'c según AGIES NSE 7.4 ecuacion 5.8.2-3

Identificación modelo	Ancho (cm)	Largo (cm)	Area neta (cm ²)	Pu axial (Kgf)	Esfuerzo mocheta (Kgf/cm ²)	$\sigma_{nc} = 0.20 f'c$ max (Kgf/cm ²)	Relación Demanda/Capacidad
C26 - N2	20.00	30.00	600.00	14000.00	23.33	29.40	0.79
C26 - N1	20.00	30.00	600.00	55340.00	92.23	29.40	3.14
C29 - N2	20.00	20.00	400.00	4940.00	12.35	29.40	0.42
C29 - N1	20.00	20.00	400.00	18740.00	46.85	29.40	1.59
C27 - N2	20.00	30.00	600.00	5880.00	9.80	29.40	0.33
C27 - N1	20.00	30.00	600.00	47210.00	78.68	29.40	2.68
C28 - N2	20.00	30.00	600.00	10870.00	18.12	29.40	0.62
C28 - N1	20.00	30.00	600.00	47500.00	79.17	29.40	2.69
C13 - N2	20.00	20.00	400.00	5020.00	12.55	29.40	0.43
C13 - N1	20.00	20.00	400.00	18570.00	46.43	29.40	1.58
C11 - N2	20.00	30.00	600.00	5970.00	9.95	29.40	0.34
C11 - N1	20.00	30.00	600.00	46630.00	77.72	29.40	2.64
C12 - N2	20.00	30.00	600.00	11080.00	18.47	29.40	0.63
C12 - N1	20.00	30.00	600.00	48360.00	80.60	29.40	2.74
C14 - N2	20.00	20.00	400.00	5290.00	13.23	29.40	0.45
C14 - N1	20.00	20.00	400.00	17840.00	44.60	29.40	1.52
C31 - N2	20.00	30.00	600.00	5290.00	8.82	29.40	0.30
C31 - N1	20.00	30.00	600.00	17840.00	29.73	29.40	1.01
C15 - N2	20.00	20.00	400.00	1262.00	3.16	29.40	0.11
C15 - N1	20.00	20.00	400.00	23800.00	59.50	29.40	2.02
C32 - N2	20.00	30.00	600.00	3820.00	6.37	29.40	0.22
C32 - N1	20.00	30.00	600.00	30110.00	50.18	29.40	1.71
C16 - N2	20.00	20.00	400.00	7360.00	18.40	29.40	0.63
C16 - N1	20.00	20.00	400.00	21610.00	54.03	29.40	1.84
C33 - N2	20.00	30.00	600.00	1166.00	1.94	29.40	0.07
C33 - N1	20.00	30.00	600.00	24680.00	41.13	29.40	1.40
C20 - N2	20.00	20.00	400.00	7200.00	18.00	29.40	0.61
C20 - N1	20.00	20.00	400.00	25500.00	63.75	29.40	2.17
C30 - N2	20.00	20.00	400.00	17880.00	44.70	29.40	1.52
C30 - N1	20.00	20.00	400.00	52230.00	130.58	29.40	4.44
C34 - N2	20.00	30.00	600.00	19730.00	32.88	29.40	1.12
C34 - N1	20.00	30.00	600.00	52100.00	86.83	29.40	2.95

Datos para eje 2, en sentido longitudinal de la estructura

N1 = indica segmento de la mocheta ubicado en el primer nivel de la edificación

N2 = indica segmento de la mocheta ubicada en el segundo nivel de la edificación

Relacion demanda capacidad mayor que 1, se considera que no cumple con norma. Inadecuado

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla V. Revisión de esfuerzo cortante en paredes eje A

Sentido Y - EJE A

Nivel	Pier	Longitud m	Espesor cm	Longitud cm	Sismo	Location	Axial tonf	Vu tonf	ke	Aev cm2	f'm kg/cm2	Vnm	An cm2	Vnm	Vns Ton	φ φVh Ton	0.67 φVh Ton	φVh>V	Demanda/Capacidad
N2	PIER YA1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	15.00	15.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.53
N1	PIER YA1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	27.00	33.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Falla	1.17
N2	PIER YA2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	20.00	13.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.46
N1	PIER YA2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	26.00	34.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Falla	1.20

Sentido X - EJE A

Nivel	Pier	Longitud m	t muro cm	Longitud cm	Sismo	Location	Axial tonf	Vu tonf	ke	Aev cm2	f'm kg/cm2	Vnm	An cm2	Vnm	Vns Ton	φ φVh Ton	0.67 φVh Ton	φVh>V	Demanda/Capacidad
N2	PIER YA1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	6.00	9.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.32
N1	PIER YA1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	32.00	13.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.46
N2	PIER YA2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	7.00	9.33	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.34
N1	PIER YA2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	43.00	13.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.46

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla VI. Revisión de esfuerzo cortante en paredes eje B

Sentido Y - EJE B

Nivel	Pier	Longitud m	t muro cm	Longitud cm	Sismo	Location	Axial tonf	Vu tonf	ke	Aev cm2	f'm kg/cm2	Vnm	An cm2	Vnm Manual Mamp	Vns Ton	φ φVh Ton	0.67 φVh (manual) Ton	φVh>V	Demanda/Capacidad
N2	PIER YB1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	12.00	27.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.96
N1	PIER YB1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	24.00	38.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Falla	1.35
N2	PIER YB2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	16.00	25.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.89
N1	PIER YB2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	26.00	41.00	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Falla	1.45

Sentido X - EJE B

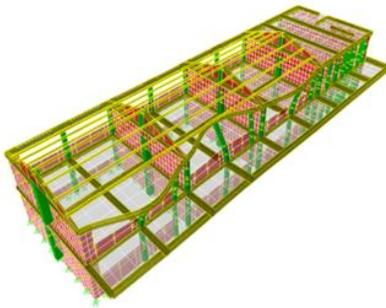
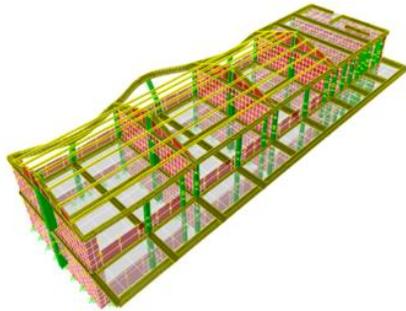
Nivel	Pier	Longitud m	t muro cm	Longitud cm	Sismo	Location	Axial tonf	Vu tonf	ke	Aev cm2	f'm kg/cm2	Vnm	An cm2	Vnm Manual Mamp	Vns Ton	φ φVh Ton	0.67 φVh (manual) Ton	φVh>V	Demanda/Capacidad
N2	PIER YB1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	0.18	0.46	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.02
N1	PIER YB1	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	0.33	0.80	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.03
N2	PIER YB2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	0.91	0.40	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.01
N1	PIER YB2	4.205	19.00	420.50	SPECY	Bottom	4.50	0.27	0.50	3994.75	35.00	10.63	3994.75	14.18	27.96	33.62	28.24	Ok	0.01

Fuente: elaboración propia (2021)

Vulnerabilidades por diafragma flexible

En estas estructuras el segundo se utiliza techo liviano de estructura metálica, este tipo de cubiertas no logran proveer una acción de diafragma adecuada para que se repartan los cortante sísmicos los muros de mampostería que son a la estructura principal. En algunos casos se podrían tener fallas fuera de plano en las paredes o inclusive fallas del techo liviano metálico debido a cargas de viento o sismo. El colapso de techos metálicos se ilustra en la figura 27b.

Figura 27. Comportamiento teórico techo flexible módulo escolar EU-622 y daño por viento edificio escolar



a) Comportamiento estructura con diafragma flexible bajo carga sísmica



b) Daño por viento en escuela.
Fuente: prensalibre.com

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Daño por sismo, falla fuera de plano en estructura tipo cajón de mampostería con techo liviano flexible.



Fuente: archivo personal. Terremoto San Marcos 2012

Vulnerabilidad módulo de escaleras independiente

Es práctica común en las escuelas de dos o más niveles el tener el módulo de escaleras independiente de la estructura principal. Periodos, masas y comportamientos diferentes promueven colisión estructural entre ellos si no se toman en cuenta juntas adecuadas.

Figura 29. Módulos de escaleras independientes adosados a cuerpos



estructurales principales.

a) San Juan del Rio, Quetzaltenango

b) Guánica, Puerto Rico

2020

Fuentes: UCEE. Telemundoutah.com

3.6 Vulnerabilidades del diseño original módulo EU-622

- La estructura incumple los límites de derivas laterales de la norma AGIES NSE 3.
- La pared de mampostería tiene una resistencia que no cumple con los mínimos de la Norma AGIES NSE 7.4
- El confinamiento en la columna C18 del diseño original se considera inadecuado.
- Las paredes de mampostería no cumplen con tener presiones menores a 0.20 f'm para combinaciones con carga sísmica.
- Las paredes de mampostería carecen de capacidad para resistir los efectos cortantes en ellas.
- Las mochetas de concreto carecen de resistencia adecuada al tener concreto con $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- El diseño original de los módulos escolares EU-622 carece de estudio de suelos formal.
- El diseño original de los módulos escolares EU-622 no tiene documentación sobre la memoria de cálculo.
- El techo liviano como diagrama flexible tiene gran incidencia en el comportamiento estructural del módulo escolar y podría ser fuente de daño parcial o total de la estructura en el segundo nivel.
- Una mala selección de ubicación del módulo escolar genera daño por colapso de taludes, asentamientos diferenciales.
- No es recomendable tener las escaleras como estructura independiente del cuerpo principal del módulo escolar porque se dará colisión estructural
- Las columnas cortas que quedan en las fachas frontal y posterior son peligrosas y comprometen la integridad de la estructura
- Se debe requerir diseño estructural de las barandas.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE NUEVA CONFIGURACION ESTRUCTURAL REFORZAMIENTOS CONVENCIONAL MÓDULO EU-622 (NUEVA ESTRUCTURA PROPUESTA)

Se idealizó la nueva configuración estructural para el módulo de aulas EU-622 eliminando las vulnerabilidades del diseño original de 1982. Para el análisis y diseño de la estructura propuesta se hará uso de las normas AGIES 2018, con la actualización del 15 en julio de 2020.

Las mejoras estructurales incorporadas al modelo estructural son las siguientes:

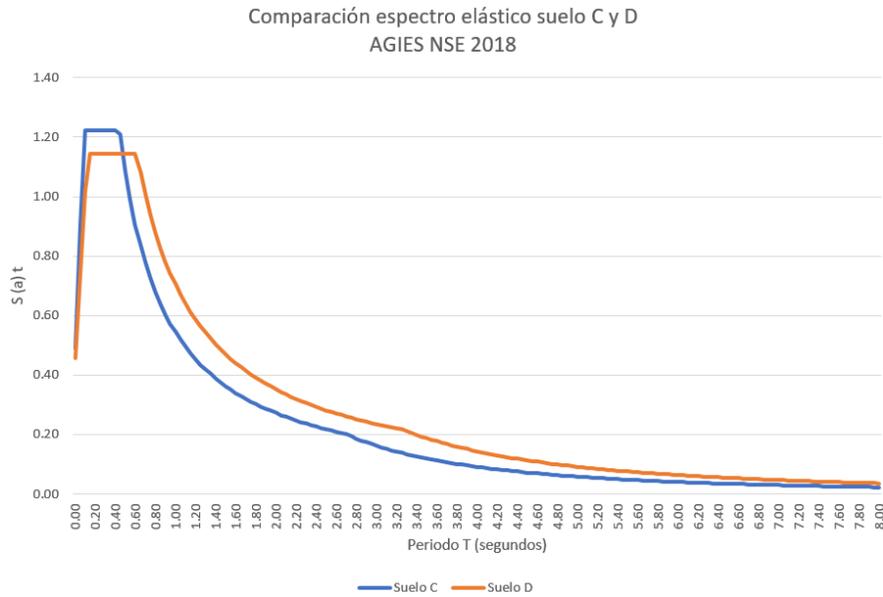
Tipología estructural: se utilizará sistema estructural E1 AGIES NSE 3, marcos resistentes a momento de alta ductilidad.

Estudio de suelos: El Ingeniero geotécnico Eric Rodas en apoyo a la presente investigación y basado en su experiencia en estudios geotécnicos en Guatemala Ciudad, confirma que en general para Ciudad de Guatemala se puede considerar conservador el uso de suelo tipo "C" y una capacidad soporte de 25 ton/m² a un nivel de desplante de 1.50m, esta información se incluye en los criterios de diseño de la nueva propuesta.

Es importante recalcar que para cada una de las escuelas públicas o privadas que se proyecten se requiere un estudio de suelos según lo estipulado en NSE 2.1 Estudios Geotécnicos.

Se ha seleccionado desarrollar el diseño de la nueva propuesta estructural para el módulo de aulas EU-622 con suelo tipo C debido a que en la normativa vigente AGIES NSE 2018 del 15 de julio de 2020, el espectro con suelo tipo C genera una mayor carga sísmica para estructuras con periodos cortos. Ver grafica 1.

Gráfica 1. Comparación de espectros elásticos con suelos tipo C y D,
Norma NSE 2018



Fuente: elaboración propia

Diafragma rígido: Requerido losa fundida in situ en losa azotea

Eliminación de columnas cortas:

- La mampostería deja de ser estructura portante principal. Solo cumple función de fachada

Escaleras de emergencia:

Se ha incorporado el módulo de gradas al cuerpo estructural principal. Este módulo se ubicó seguido del bloque de servicios sanitarios.

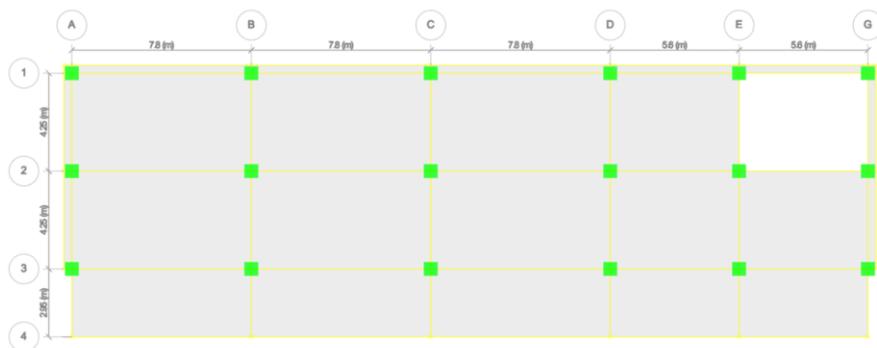
Descripción del modelo ETABS de la nueva propuesta estructural:

El modelo analítico se desarrolló en base a la nueva propuesta estructural que consiste en una estructura tipo E1, sistema de marcos de alta ductilidad tipo A de concreto reforzado, según norma AGIES 2018. Consta de un reticulado de vigas principales de 0.40x0.60m, vigas en voladizo con sección de 0.40X0.60m, losa densa 0.12m de espesor, columnas 0.60x0.60m de sección. La estructura consta de 3 marcos en sentido este-oeste y de 6 marcos estructurales en sentido norte-sur, esta configuración provee de suficiente redundancia al módulo de aulas.

La altura total del nivel es de 3.40m, se ha aumentado 0.10m a la altura original del edificio para se mantenga una altura libre de 2.80m de piso a fondo de viga de ventanera, los tabiques divisorios pueden ser de mampostería colocados detrás de las columnas de los ejes intermedios, las fachadas se han adicionado como carga lineal y no tiene interacción con las columnas.

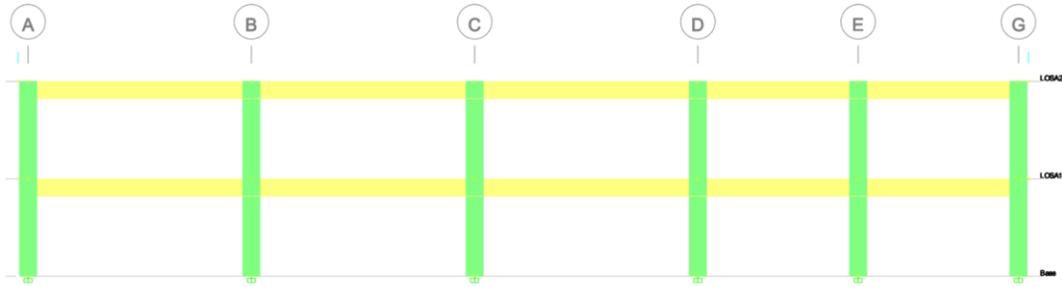
El módulo de escaleras se aloja en la esquina noreste de la estructura. en las figuras 30 a 33 se ilustra la configuración estructural y geometría de la nueva estructura propuesta.

Figura 30. Planta de losa típica de módulo de aulas EU-622 sistema estructural E1



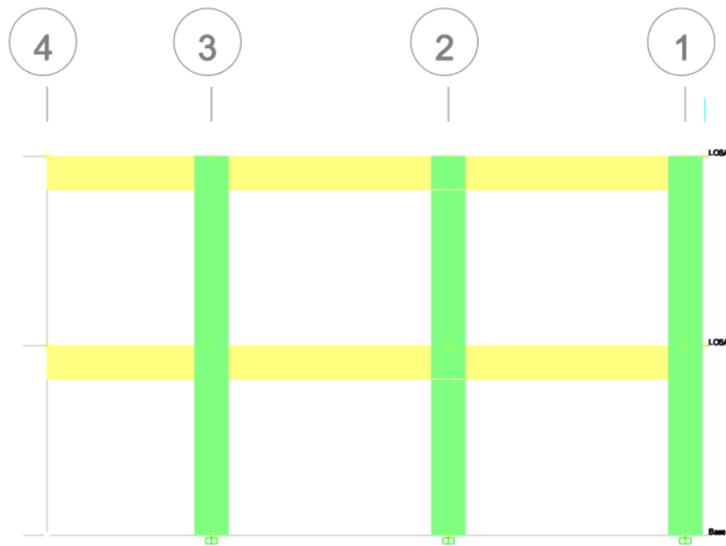
Fuente: Elaboración propia. Programa ETABS.

Figura 31. Elevación marco 2 - ejes numero



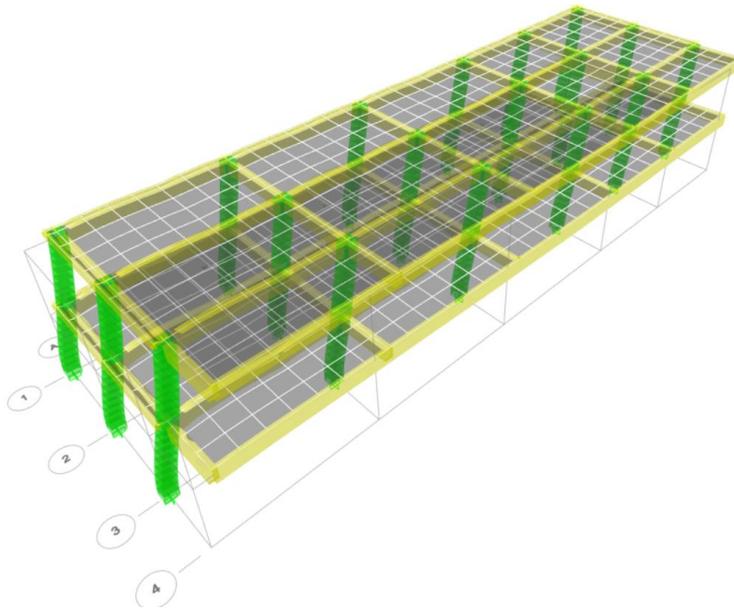
Fuente: Elaboración propia. Programa ETABS

Figura 32. Elevación marco C - ejes letra



Fuente: Elaboración propia. Programa ETABS

Figura 33. Modelo 3d propuesta sistema estructural E1



Fuente: Elaboración propia. Programa ETABS.

Modelo analítico según AGIES NSE 3-2018

Las edificaciones pueden ser analizadas por medio de modelos matemáticos tridimensionales que tengan la capacidad de representar de forma exacta la resistencia y rigidez de todos los elementos estructurales y los efectos de las cargas externas tengan en ellos.

El peso sísmico efectivo W_{masa}

Se deberá incluir al menos el 100% del peso propio de la estructura, 100% de las cargas muertas superpuestas, 25% de las cargas vivas.

$$W_{masa} = 1 \text{Peso}_{propio} + 1 \text{ CMS} + 0.25 \text{ CVR} + 0.25 \text{ CVNR} \text{ (NSE 3, Capitulo 1.11.3)}$$

Se han usado los factores de agrietamiento especificados en la tabla 6.6.3.1.1 (a) del ACI 318-19 para cada uno de los elementos estructurales principales tal como se indica en la tabla VII.

Tabla VII. Factores de agrietamiento basados en ACI 318-19

Elemento	Momento de Inercia	Área de la sección transversal
Columnas	$0.70 I_g$	1.0 A_g
Vigas	$0.35 I_g$	
Losas	$0.25 I_g$	

Fuente: Elaboración propia.

Base sísmica de la estructura

Tal y como lo especifica AGIES NSE 3 1.11.4, el nivel 0.00 será la base sísmica en la cual el movimiento sísmico horizontal del suelo inicia a interactuar con la estructura.

Análisis modal espectral

Normativamente el análisis dinámico modal espectral aplica a esta estructura, su cualidad es determinar los modos naturales y periodos de vibración de la estructura que ha sido previamente representada en un modelo matemático analítico en 3 dimensiones. Para tener resultados confiables es recomendable el uso de los factores de agrietamiento para cada elemento estructural, estos factores están consignados en la tabla VII. El uso de secciones no agrietadas en análisis modal no permite establecer fuerzas sísmicas precisas, inclusive dentro del rango elástico, también los periodos y desplazamientos de la estructura con secciones no agrietadas son erráticos.

Cargas gravitacionales

La integración de las cargas gravitacionales de la estructura de los módulos escolares EU-622 se basó en lo estipulado en la norma AGIES NSE 2. Carga muerta (capítulo 2) y Carga Viva (capítulo 3).

Tabla VIII. Integración de cargas gravitacionales de diseño

Subestructura	Uso	CMS (Kgf/m ²)	CVR (Kgf/m ²)	CVNR (Kgf/m ²)	fachada (Kgf/m)	Tabiques división aulas (Kgf/m)	Baranda pasillo (Kgf/m)
Losa 1	Aulas	125	200	n/a	850	850	n/a
Losa 2	Azotea	125	n/a	200	100	n/a	n/a
Escaleras	Circulación	100	n/a	500	n/a	n/a	n/a
Pasillo	Circulación	125	n/a	500	n/a	n/a	200

Integración carga viva conforme NSE 2- Tabla 3.7.1-1
Integración carga muerta superpuesta conforme NSE-2
Anexo B

Fuente: Elaboración propia.

$0.66 M + 0.30 Sismo X + 1 Sismo Y$ Combinación sentido Y positivo
(CR5)

Para diseño normativo de muros, columnas y cimientos la combinación CR5 cambia a CR5a de la siguiente forma: $1 M - Svd \pm Shd$

$0.76 M - 1 Sismo X - 0.30 Sismo Y$ Combinación sentido X negativo
(CR5a)

$0.76 M + 1 Sismo X + 0.30 Sismo Y$ Combinación sentido X positivo
(CR5a)

$0.76 M - 0.30 Sismo X - 1 Sismo Y$ Combinación sentido Y negativo
(CR5a)

$0.76 M + 0.30 Sismo X + 1 Sismo Y$ Combinación sentido Y positivo
(CR5a)

Combinaciones de carga para diseño normativo de cimentaciones, capítulo 9 NSE 2018.

$1 M + 1 Vp$ Combinación (CCS1)

$1M + Vp + 0.7 Kz Svd \pm 0.7 Kz Shd$ Combinacion (CCS3)

$1M \pm 0.7 Kz Shd$ Combinacion (CCS4)

Parámetros sismorresistentes

Tabla IX. Parámetros sismorresistentes módulos de aulas EU-622

Municipio	Guatemala	AGIES NSE 2 - 4.5-1
Índice de sismicidad I_0	4.1	AGIES NSE 2- Tabla A1
Categoría de obra:	III Importante	AGIES NSE 1 - Capítulo 3.1.4 (b)
Nivel de protección sísmica	D	AGIES NSE 2 - Tabla 4.2.2-1
Sismo de diseño	Severo	AGIES NSE 2 - 4.4.2 (b), Tabla 4.5.5-1
Clasificación de sitio	C	AGIES NSE 2-1 - Anexo A
Sistema estructural	E1	AGIES NSE 3 - 1.6.2
R	8.00	AGIES NSE 3 - 1.5.2 y Tabla 1.6.14-1
Ω_R	3.00	AGIES NSE 3 - 1.5.3 y Tabla 1.6.14-1
C_d	5.50	AGIES NSE 3 - 1.5.4 y Tabla 1.6.14-1
ρ (rho)	1.00	AGIES NSE 3 - 1.5.5 y Tabla 1.6.14-1
S_{cr}	1.53g	AGIES NSE2 - Tabla A1
S_{1r}	0.68g	AGIES NSE2 - Tabla A1
T_L	2.69	AGIES NSE2 - Tabla A1
F_a	1.00	AGIES NSE2 - Tabla 4.5-1
F_v	1.00	AGIES NSE 2 - Tabla 4.5-2
S_{cs}	1.63g	AGIES NSE 2 - 4.5.3-1
S_{1s}	0.68g	AGIES NSE 2 - 4.5.3-2
N_a	1.00	AGIES NSE 2 - Tabla 4.6.2-2
N_v	1.00	AGIES NSE 2 - Tabla 4.6.2-3
K_d	0.80	AGIES NSE 2 - Tabla 4.5.5-1
S_{cd}	1.22g	AGIES NSE 2 - 4.5.5-1
S_{1d}	0.54g	AGIES NSE 2 - 4.5.5-2

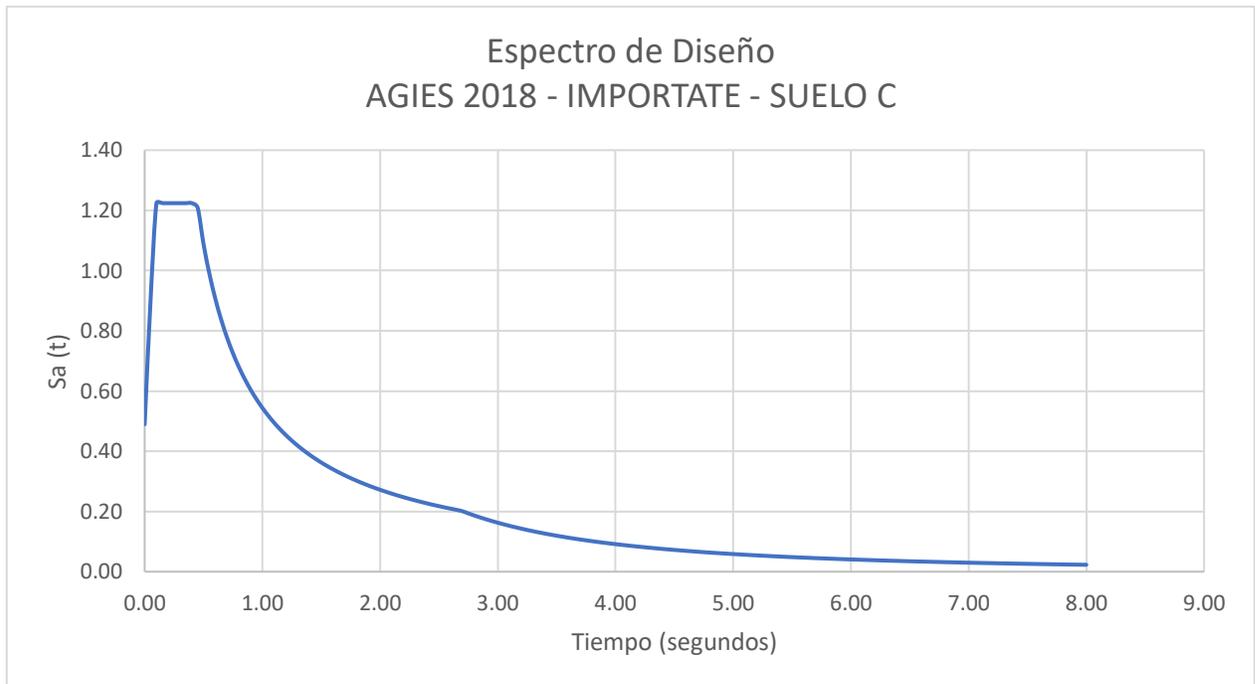
$$AMS = 0.40 \times S_{cd} = 0.40 \times 1.22g = 0.488g$$

Componente vertical del sismo:

$$S_{cd} = 1.22$$

$$S_{vd} = 0.20 S_{cd} = 0.244$$

Gráfica 2. Espectro de diseño obra Importante, suelo C



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Cortante de diseño a nivel de base:

$$W_{\text{masa}} = 766 \text{ Tonf}$$

Cálculo de C_s

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R\beta_d} \quad \text{Ecuación (2.1.3-1) – NSE 3}$$

$$C_s \min \geq \frac{0.044x S_{cd} x F_d}{\beta_d} \quad \text{Ecuación (2.1.4-1) –NSE 3}$$

$$C_s \min \geq \frac{0.45 x K_d x F_d x \beta_d}{R} \quad \text{Ecuación (2.1.4-2) –NSE 3}$$

$$F_d = \left[0.59 + \frac{4.77 S_1 d}{S_{cdx} T_f x R} \right] x \frac{1}{K_d} \quad \text{Ecuación (2.1.4-3) –NSE 3}$$

$$\beta_d = \frac{4}{1 - \ln(\varepsilon)} \quad \text{Ecuación (2.1.4-4) –NSE 3}$$

$$\varepsilon = 0.05 \quad \text{NSE 3}$$

$$T_a = K_t (h_n)^x \quad \text{Ecuación (2.1.4-4) –NSE 3}$$

$$K_t = 0.047 \quad \text{Para sistema estructural E1–NSE 3}$$

$$X = 0.85 \quad \text{Para sistema estructural E1 –NSE 3}$$

$$\frac{2}{3} K_d \leq F_d < 1 \quad \text{Ecuación 2.1.8-1–NSE 3}$$

Tabla X. Resumen de cálculo C_s

$C_s =$	0.1528
EQ 2.1.3-1 $C_s =$	0.1528
EQ 2.1.4-1 $C_{s \min} =$	0.0538
EQ 2.1.4-2 $C_{s \min} =$	0.0450
$\beta_d =$	1.00
$\varepsilon =$	0.05
$R =$	8.00
$F_d =$	1.00
$T_F =$	0.34 segundos
$T_a =$	0.24 segundos
$K_T =$	0.047
$h_n =$	6.80 m
$X =$	0.85

Corte basal X (este-oeste)

$$V_x = C_s W_{\text{masa}} = 0.1528 (766 \text{ tonf}) = 117.04 \text{ Tonf}$$

Corte basal Y (norte-sur)

$$V_y = C_s W_{\text{masa}} = 0.1528 (766 \text{ tonf}) = 117.04 \text{ Tonf}$$

Modos de vibración y participación de masa

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla XI. Modos de vibración y participación de masa sísmica

Modo vibración	Periodo segundos	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0.298	0.8956	0.0001	0.8956	0.0001
2	0.219	0.0013	0.7814	0.8969	0.7815
3	0.195	0.0044	0.0958	0.9013	0.8773
4	0.098	0.0984	8.61E-06	0.9997	0.8773
5	0.067	0.0001	0.1011	0.9998	0.9784
6	0.059	0.0002	0.0216	1	1

Fuente: elaboración propia (2021)

REVISIÓN PRESIONES EN COLUMNAS

Tabla XII. Presión en columnas eje 1

COLUMNAS EN EJE 1	ID MODELO	Carga axial P (tonf)	DIMENSIONES		CONCRETO 28 DIAS f'c (kg/cm ²)	AREA COL cm ²	ESFUERZO (kg/cm ²)	RELACION DE PRESION EN COLUMNA
			ANCHO (cm)	LARGO (cm)				
N2	C7	-18.16	60	60	280	3600	5.04	0.0180
N1	C7	-46.98	60	60	280	3600	13.05	0.0466
N2	C8	-27.90	60	60	280	3600	7.75	0.0277
N1	C8	-69.93	60	60	280	3600	19.43	0.0694
N2	C9	-27.13	60	60	280	3600	7.54	0.0269
N1	C9	-68.14	60	60	280	3600	18.93	0.0676
N2	C10	-23.89	60	60	280	3600	6.64	0.0237
N1	C10	-60.67	60	60	280	3600	16.85	0.0602
N2	C11	-21.05	60	60	280	3600	5.85	0.0209
N1	C11	-47.43	60	60	280	3600	13.18	0.0471
N2	C13	-14.70	60	60	280	3600	4.08	0.0146
N1	C13	-32.24	60	60	280	3600	8.96	0.0320

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla XIII. Presión en columnas eje 2

COLUMNAS EN EJE 2	ID MODELO	Carga axial P (tonf)	DIMENSIONES		CONCRETO 28 DIAS f'c (kg/cm ²)	AREA COL cm ²	ESFUERZO (kg/cm ²)	RELACION DE PRESION EN COLUMNA
			ANCHO (cm)	LARGO (cm)				
N2	C12	-24.47	60	60	280	3600	6.80	0.0243
N1	C12	-55.11	60	60	280	3600	15.31	0.0547
N2	C17	-39.32	60	60	280	3600	10.92	0.0390
N1	C17	-81.79	60	60	280	3600	22.72	0.0811
N2	C18	-38.78	60	60	280	3600	10.77	0.0385
N1	C18	-81.10	60	60	280	3600	22.53	0.0805
N2	C14	-34.16	60	60	280	3600	9.49	0.0339
N1	C14	-73.84	60	60	280	3600	20.51	0.0733
N2	C19	-29.81	60	60	280	3600	8.28	0.0296
N1	C19	-60.70	60	60	280	3600	16.86	0.0602
N2	C16	-21.34	60	60	280	3600	5.93	0.0212
N1	C16	-46.70	60	60	280	3600	12.97	0.0463

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla XIV. Presión en columnas eje 3

COLUMNAS EN EJE 3	ID MODELO	Carga axial P (tonf)	DIMENSIONES		CONCRETO 28 DIAS f'c (kg/cm ²)	AREA COL cm ²	ESFUERZO (kg/cm ²)	RELACION DE PRESION EN COLUMNA
			ANCHO (cm)	LARGO (cm)				
LOSA 1	C25	-34.53	60	60	280	3600	9.59	0.0343
PAVIMENTO	C25	-81.58	60	60	280	3600	22.66	0.0809
LOSA 1	C26	-56.61	60	60	280	3600	15.73	0.0562
PAVIMENTO	C26	-131.66	60	60	280	3600	36.57	0.1306
LOSA 1	C27	-54.59	60	60	280	3600	15.16	0.0542
PAVIMENTO	C27	-127.07	60	60	280	3600	35.30	0.1261
LOSA 1	C28	-48.63	60	60	280	3600	13.51	0.0482
PAVIMENTO	C28	-113.08	60	60	280	3600	31.41	0.1122
LOSA 1	C29	-42.50	60	60	280	3600	11.81	0.0422
PAVIMENTO	C29	-100.67	60	60	280	3600	27.96	0.0999
LOSA 1	C15	-27.61	60	60	280	3600	7.67	0.0274
PAVIMENTO	C15	-65.98	60	60	280	3600	18.33	0.0655

Fuente: elaboración propia (2021)

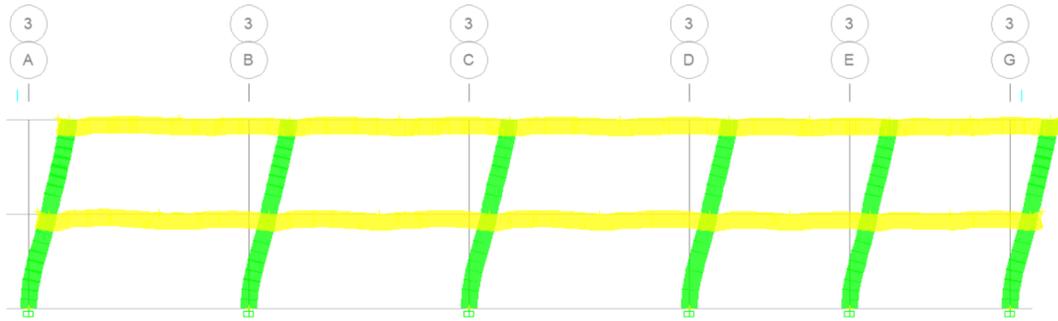
Deriva sísmica

Conservadoramente y para en beneficio de los ocupantes de la edificación, se requiere que la estructura cumpla con una deriva sísmica más exigente, deriva de categoría esencial en vez de categoría importante. En este caso se utilizó el criterio de 0.015hp en vez de 0.02 hp indicado en la norma AGIES NSE 3 capítulo 4, tabla 4.3.3.

Sentido este-oeste = 0.000755 (deriva máxima = 0.0027) = 27%

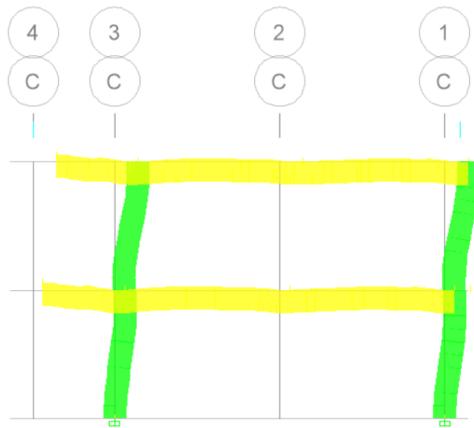
Sentido norte-sur = 0.000578 (deriva máxima = 0.0027) = 21 %

Figura 34. Deriva sísmico sentido este – oeste al 27% del máximo



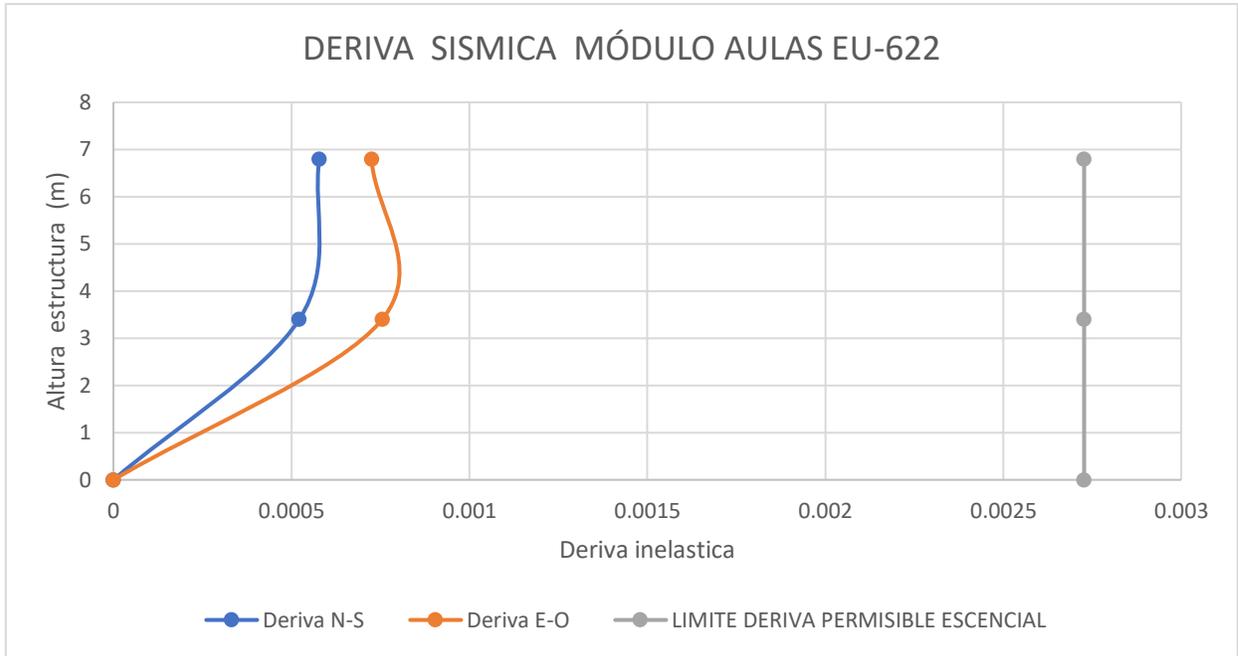
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 35. Deriva sísmica en el sentido norte – sur al 21% del máximo



Fuente: Elaboración propia (2021)

Grafica 3. Deriva sísmica sentido norte-sur y sentido este-oeste, Categoría esencial



Fuente: elaboración propia (2021)

Revisión torsión

Tabla XV. Revisión torsión sentido E-W

PASO 1. Revisión de derivas $Cd_x = 5.50$ $le = 1.20$

Direccion E-W (X)								Efectos torsionales			
Nivel	hi, m	$\Delta p = 0.015 \cdot h$, cm	Despl, cm	δ , cm	δ_{CD}/le , cm	Rel derivas	Conclusion	δ_{max} cm	δ_{prom} cm	$\delta_{max}/\delta_{prom}$	Conclusion
LOSA2	3.40	5.10	0.55	0.29	1.33	0.26	OK	0.31	0.57	0.55	No Hay Torsión
			0.58	0.31	1.42	0.28	OK				
LOSA1	3.40	5.10	0.26	0.26	1.19	0.23	OK	0.27	0.27	1.02	No Hay Torsión
			0.27	0.27	1.24	0.24	OK				

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla XVI. Revisión torsión sentido N-S

Direccion N-S (X)

Direccion N-S (X)								Efectos torsionales			
Nivel	hi, m	$\Delta p = 0.015 \cdot h$, cm	Despl, cm	δ , cm	δ_{CD}/le , cm	Rel derivas	Conclusion	δ_{max} cm	δ_{prom} cm	$\delta_{max}/\delta_{prom}$	Conclusion
LOSA2	3.40	5.10	0.24	0.11	0.50	0.10	OK	0.24	0.34	0.72	No Hay Torsión
			0.43	0.24	1.10	0.22	OK				
LOSA1	3.40	5.10	0.13	0.13	0.60	0.12	OK	0.19	0.16	1.19	No Hay Torsión
			0.19	0.19	0.87	0.17	OK				

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla XVII. Revisión P Delta ASCE/SEI 7-16 capítulo 12.8.7 (Direcciones X, Y)

DIRECCION E-W (X)							
Nivel	h (m)	P (Ton)	Δ_x (cm)	V_x (Ton)	θ_x	θ_{max}	Conclusión
LOSA2	3.40	0.00	0.58	67.80	0.000	0.09	OK
LOSA1	3.40	0.00	0.27	114.74	0.000	0.09	OK

*NO OK QUIERE DECIR QUE SE DEBE HACER UN ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN (P DELTA)

DIRECCION N-S (Y)							
Nivel	h (m)	P (Ton)	Δ_y (cm)	V_y (Ton)	θ_y	θ_{max}	Conclusión
LOSA2	3.40	0.00	0.43	69.97	0.000	0.09	OK
LOSA1	3.40	0.00	0.19	115.26	0.000	0.09	OK

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{xx} C_d} \quad (12.8-16)$$

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \leq 0.25 \quad (12.8-17)$$

$$\beta = 1.00$$

Fuente: elaboración propia (2021)

Revisión piso suave

Tabla XVIII. Revisión piso suave sentido E-W (X)

Nivel	V_x (Ton)	Δ_x (cm)	Rigidez Lateral (Ton/cm)	Conclusión
LOSA2	67.80	0.58	116.90	
LOSA1	114.74	0.27	424.98	OK

Fuente: elaboración propia (2021)

Tabla XIX. Revisión piso suave sentido N-S (Y)

Nivel	V_y (Ton)	Δ_y (cm)	Rigidez Lateral (Ton/cm)	Conclusión
LOSA2	69.97	0.43	162.73	
LOSA1	115.26	0.19	606.64	OK

Fuente: elaboración propia (2021)

Revisión efecto irregularidad de masa

Tabla XX. Revisión efecto irregularidad de masa Losa 1 y Losa 2

Nivel	P (Ton)	P (Ton)	Conclusión
LOSA2	357.41	357.41	
LOSA1	815.26	457.85	OK

Fuente: elaboración propia (2021)

Revisión redundancia

Tabla XXI. Revisión de redundancia Losa 1 y Losa 2.

Nivel	Conclusión X	Conclusión Y
LOSA2	RO = 1	RO = 1
LOSA1	RO = 1	RO = 1

Fuente: elaboración propia (2021)

Revisión de volteo

Tabla XXII. Revisión de volteo en sentido X, Y.

Sentido E-W

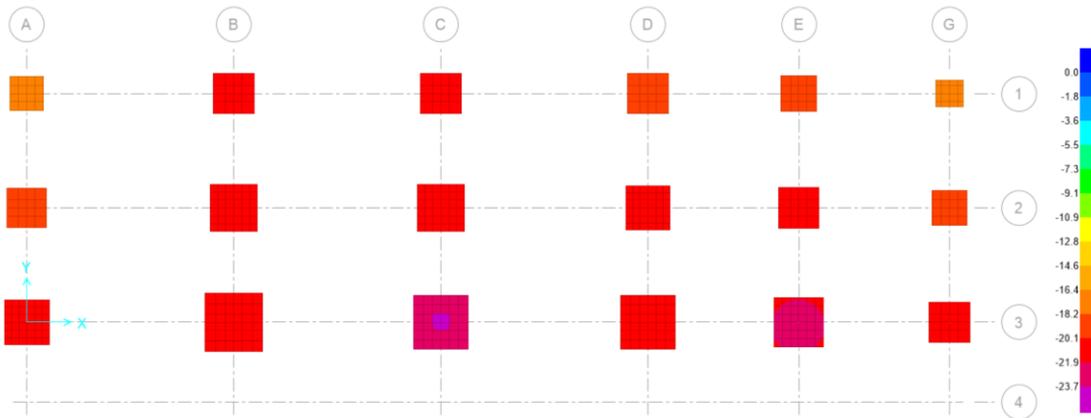
Nivel	w_x (Ton)	h_x (m)	k	$w_x h_x^k$	C_{vx}	Fuerzas por Nivel		Corte por Nivel		M_{volteo} (Ton-m)	90% PP	r_{sv} m	$M_{resistente}$ (Ton-m)	Factor Seguridad	Conclusión
						V_x (Ton)	F_x (Ton)	V_x (Ton)							
LOSA2	337.00	6.80	1.00	2,291.63	0.47		53.68	53.68	365.04			17.76	10,415.04	13.79	OK
LOSA1	766.66	3.40	1.00	2,606.65	0.53		61.06	114.74	390.13			17.52	10,274.50	13.61	OK
0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	114.74	0.00	114.74	0.00	586.57	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
			Σ	4,898.28	1.00		114.74		755.17						

Sentido N-S

Nivel	w_x (Ton)	h_x (m)	k	$w_x h_x^k$	C_{vx}	Fuerzas por Nivel		Corte por Nivel		M_{volteo} (Ton-m)	90% PP	r_{sv} m	$M_{resistente}$ (Ton-m)	Factor Seguridad	Conclusión
						V_y (Ton)	F_y (Ton)	V_y (Ton)							
LOSA2	337.00	6.80	1.00	2,291.63	0.47		53.92	53.92	366.68			4.12	2,417.08	3.19	OK
LOSA1	766.66	3.40	1.00	2,606.65	0.53		61.34	115.26	391.89			4.48	2,628.72	3.47	OK
0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	115.26	0.00	115.26	0.00	586.57	0.00	0.00	0.00	0.00	OK
			Σ	4,898.28	1.00		115.26		758.57						

Fuente: elaboración propia (2021)

Figura 36. Revisión de presiones en cimentación. El refuerzo de cimientos se desarrolló mediante el uso del programa SAFE.

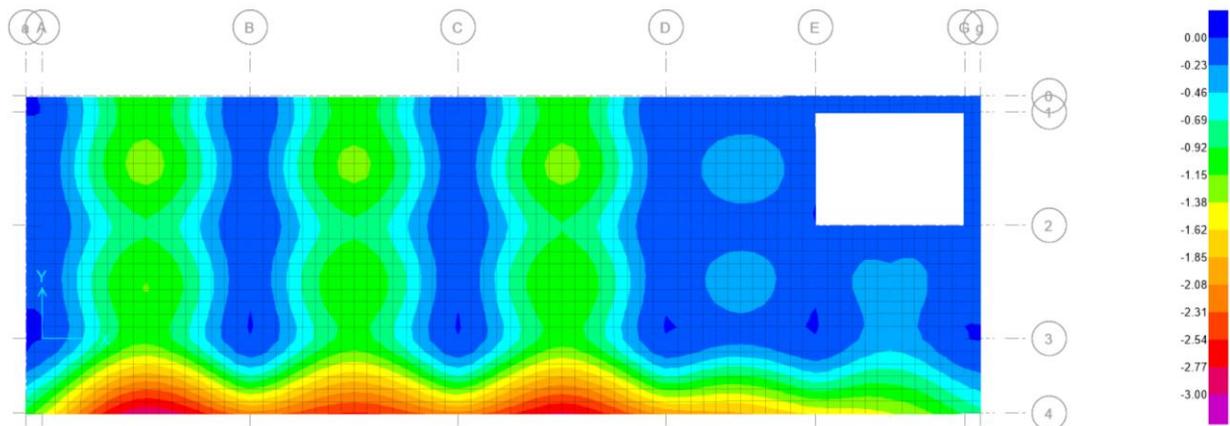


Fuente: elaboración propia. Programa SAFE.

Deformación a largo plazo:

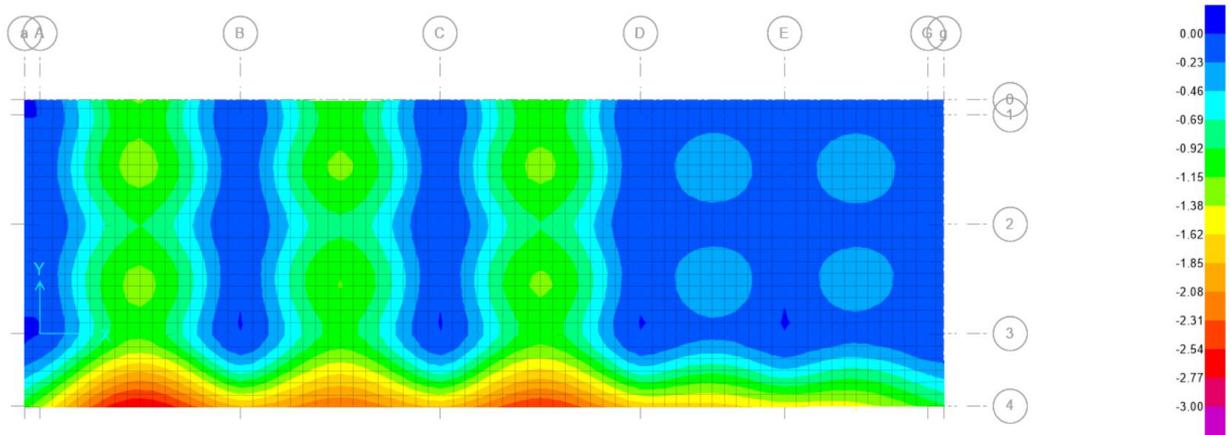
La revisión a largo plazo se realiza para verificar que la rigidez de la losa de entrepiso o de techo es la adecuada y que no tendrá deflexiones mayores que puedan agrietar pisos, tabiques de mampostería. La deformación máxima para la estructura EU-622 es la longitud es de $L/360=2.16\text{cm}$.

Figura 37. Revisión de deflexión largo plazo losa 1. Programa SAFE.



Fuente: Elaboración propia. Programa SAFE (2021)

Figura 38. Revisión de deflexión largo plazo losa 2. Programa SAFE



Fuente: Elaboración propia. Programa SAFE (2021)

Planos estructurales de nueva propuesta estructura convencional módulo aulas EU-622

Para no cargar el cuerpo del documento principal no se adicionan en este apartado los planos estructurales del nuevo planteamiento estructural. Sin embargo, si pueden ser consultados los planos S0 a S10 de la propuesta convencional en el ANEXO B.

CAPITULO V: REFUERZO ESTRUCTURA CON AISLAMIENTO SÍSMICO DE BASE; MÓDULO EU-622 (NUEVA ESTRUCTURA PROPUESTA)

Es muy importante recalcar que los códigos como ACI 318-14 y normas NSE-18 establecen requisitos mínimos de diseño estructural. Para la tecnología actual de las edificaciones diseñadas en Guatemala, aun y cuando los diseños estructurales cumplan con lo indicado en códigos. La estructura ante un sismo intenso susceptible a presentar cierto daño en elementos estructurales como lo son fisuración en vigas, columnas o muros. Esto sucede porque la estructura al disipar la energía del sismo lo hace a través de la degradación de la estructura, esto no es nada más que la práctica actual en la ingeniería guatemalteca.

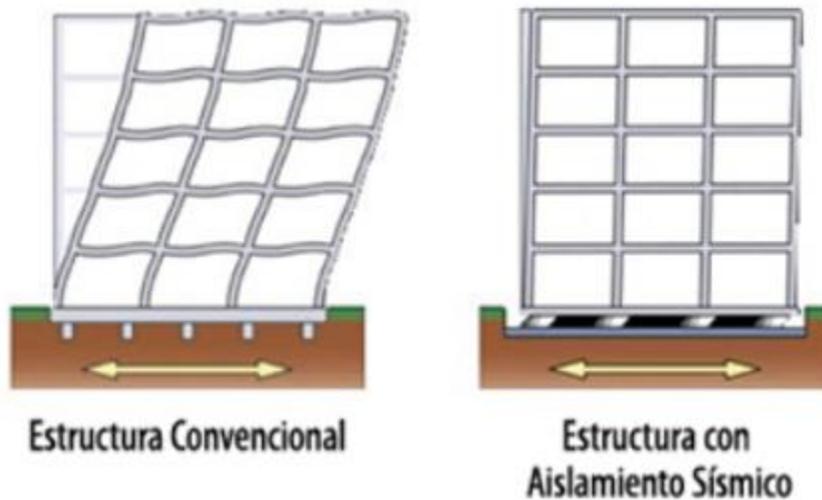
Según la intensidad del sismo habrá daño también en elementos no estructurales tales como cielos suspendidos, fachadas, ascensores, tabiques y ventanerías. Esto se debe hacer público ya sea en planos o en memoria de cálculo para no caer en exceso de confianza en que todo es invulnerable.

La vulnerabilidad sísmica es factible reducirla mediante la correcta configuración y estructuración de la edificación para que pueda resistir las acciones sísmicas - coloquialmente se puede decir que hay que darle suficiente carne al sismo para que coma-. método de diseño convencional en Ciudad de Guatemala. También está la tecnología del siglo XXI, que hoy en día es factible de adquirir en la región de Centro América. Esta tecnología consiste en implementar disipadores sísmicos, los cuales permiten mejorar el desempeño de la estructura ante una excitación sísmica. El beneficio de instalar estas nuevas herramientas es la operación inmediata y la reducción de daños en la estructura principal y por supuesto lo más importante salvaguardar la vida humana.

AISLAMIENTO SÍSMICO DE BASE O SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE BASE (SISTEMAS PASIVOS)

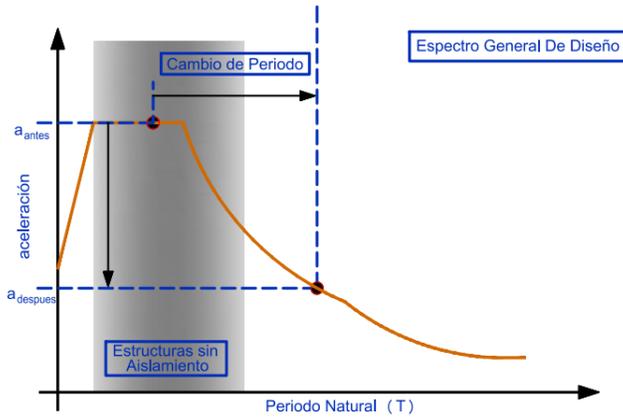
El aislamiento sísmico de base es las herramientas más eficientes que la ingeniería estructural utiliza para el control pasivo (actúa de forma inercial a la fuerza sísmica) del desplazamiento de estructuras. Esto se logra al desacoplar la estructura del movimiento del suelo/cimentación inducida por un evento sísmico ver en figura 39. La diferencia de comportamiento entre una estructura convencional y estructura aislada principalmente es el desacoplamiento entre la estructura y la superficie de soporte y el un aumento del periodo fundamental de la estructura. Esto sumado al aumento del amortiguamiento que provee el sistema de aislamiento, da como resultado una menor demanda sísmica (ver figuras 40 y 41).

Figura 39. Comparación de comportamiento entre una estructura convencional sin aislamiento sísmico y una estructura con aislamiento de base



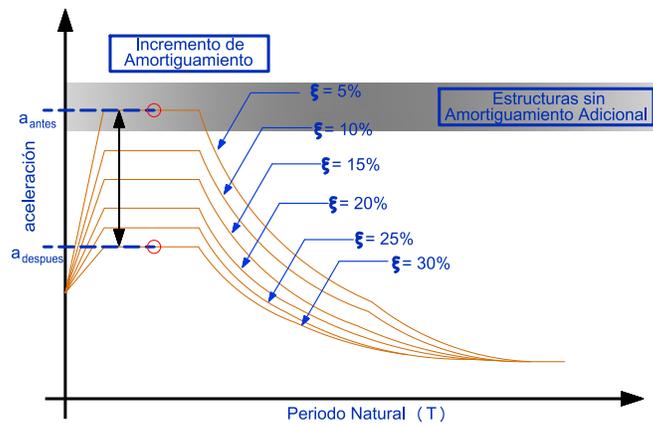
Fuente: detek.com.mx (2021)

Figura 40. Reducción de aceleraciones por cambio de periodo.



Fuente: Dr. Carlos Méndez Galindo (Mageba, 2021)

Figura 41. Reducción de aceleraciones por incremento de amortiguamiento.



Fuente: Dr. Carlos Méndez Galindo (Mageba, 2021)

Tipos de aisladores de base

Los proveedores ofrecen aisladores elastómericos de alto amortiguamiento, aisladores elastómericos con núcleo de plomo (LRB por sus siglas en ingles) y aisladores de péndulo friccionante. Cada uno de los sistemas listados anteriormente pertenecen al grupo de dispositivos pasivos y funcionan de diferente manera, esto se debe en gran parte por el material con el que son fabricados. Al final, cumplen con el mismo objetivo de reducir la demanda sísmica.

En la presente investigación nos enfocaremos especialmente en el sistema pasivo “*Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)*”. Es de suma importancia recalcar que el diseño de los aisladores no se presenta en el estudio (no está dentro del alcance), debido a que los proveedores son los encargados de proporcionar las propiedades dinámicas de los dispositivos, con base a la demanda sísmica que les proporcione el diseñador estructural. Es decir, el dispositivo es un componente que el diseñador estructural utiliza, sin especificar procesos de diseño, tal y como se hace con concreto y acero. Otra ventaja para tomar en cuenta es que los proveedores son los responsables de los materiales con los que se manufacturan los aisladores y de realizar las pruebas de desempeño de los dispositivos en laboratorios especializados. Pruebas descritas en la Norma ASCE/SEI 7-16 *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* o EN 15129 *Anti-seismic Device (Código europeo)*.

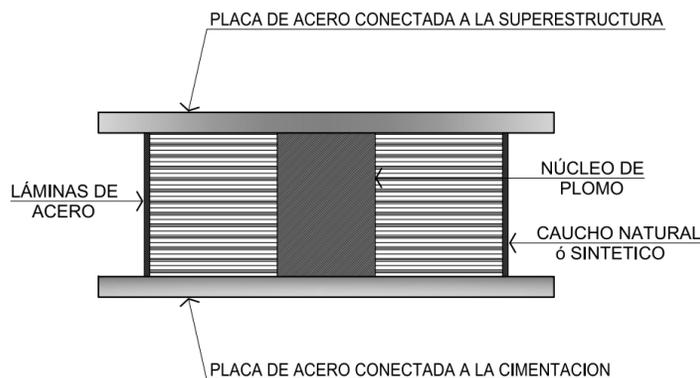
AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE NUCLEO DE PLOMO (LRB)

Los aisladores LRB están compuestos de un conjunto de capas que intercalan láminas de elastómeros y láminas de acero. Estas capas de elastómeros son vulcanizadas a las placas de acero. La sección típica de estos aisladores es circular.

Estos componentes le proporcionan rigidez vertical resistencia a la carga axial igualable a la de una columna convencional y la misma resistencia a la carga axial, proveen flexibilidad para tener los desplazamientos horizontales relativos entre el suelo/cimentación y la superestructura (parte aislada de la estructura).

Para proveer una mayor rigidez ante los desplazamientos horizontales, es necesario proveer un núcleo de plomo que experimente una deformación plástica bajo acciones de carga cortantes, disipando la energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica las capas elastómericas y el núcleo de plomo ayudan a retornar la estructura a su posición inicial u original. Mientras que el núcleo de plomo se recristaliza quedando en condiciones similares a la original para soportar un nuevo evento sísmico. Ver los componentes de un aislador LRB en la figura 42.

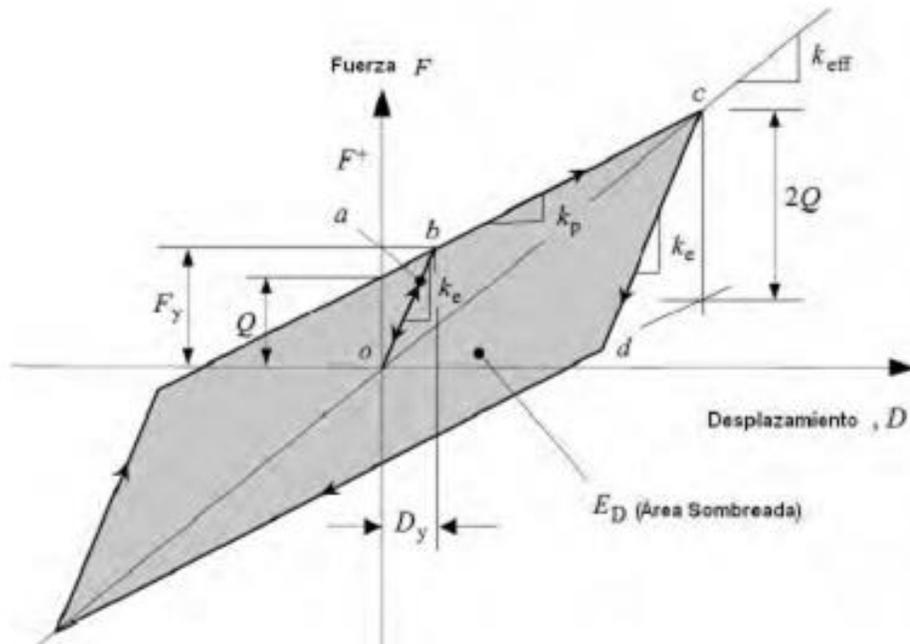
Figura 42. Aislador tipo LRB



Fuente: Dr. Carlos Méndez Galindo (Catálogo de productos Mageba)

El objetivo principal del sistema es la protección de la estructura principal y de su contenido mediante la reducción del desplazamiento entre pisos de la estructura y la disipación de energía a través de calor por medio del núcleo de plomo (valido para LRB). Esta energía disipada se grafica por medio de un modelo bilineal, que representa la relación entre la fuerza cortante y el desplazamiento lateral. El área sombreada representa la energía disipada.

Figura 43. Modelo bilineal de una unidad de aislamiento



Fuente: Catálogo Mageba

Hoy en día el propietario es más exigente respecto a lo que se refiere a daño en estructura principal y en elementos no estructurales, ellos esperan el cero daño. Es más fácil lograr mediante el uso de dispositivos como aisladores LRB los niveles más altos de desempeño para ocupación inmediata como lo requiere FEMA 356.

Un sistema efectivo de aislamiento sísmico debe presentar las siguientes funciones principales:

- Capacidad de soporte para cargas de servicio.
- Flexibilidad horizontal y rigidez vertical.
- Capacidad de recentrado del dispositivo. No debe haber deformación residual acumulada en el dispositivo.
- Proporcionar un nivel de disipación de energía adecuado con el fin de controlar los desplazamientos que podrían dañar otros elementos estructurales o no estructurales.

Ensayos en aisladores

- Rigidez en compresión
- Características horizontales bajo deformación cíclica (es en función de la altura de goma)
- Rigidez horizontal bajo carga de rampa
- Características horizontales con la frecuencia
- Características horizontales bajo carga cíclica repetida (10 ciclos)
- Capacidad en compresión con desplazamiento horizontal cero
- Capacidad lateral bajo carga vertical máxima
- Características horizontales bajo deformación cíclica (es en función del desplazamiento máximo)

Instalaciones a nivel de interfaz

Las estructuras que han incorporado el aislamiento sísmico se ven en la necesidad de hacer ajustes en todo lo referente a los servicios de energía eléctrica, agua potable, drenajes, escaleras y ascensores. La superestructura del edificio tiene desplazamientos controlados de gran magnitud comparado al suelo, para que puedan estar en funcionamiento todos los sistemas, es necesario que los proveedores de tuberías para agua potable proporcionen tuberías con segmentos flexibles para que no se dañen o rompan durante un sismo intenso. Deben ser capaces de desplazarse en todos los sentidos y deben funcionar inmediatamente después del sismo.

De igual forma, el cableado eléctrico debe proporcionar holguras suficientes para poder funcionar con los desplazamientos del edificio aislado.

Elementos de circulación vertical como escaleras y ascensores es recomendable que estén divididos en un juego de circulación vertical para la parte no aislada y otro juego de circulación vertical para la parte de la superestructura aislada. La opción de pasar un ducto de circulación vertical entre la interfaz de

asilamiento requiere una brecha sísmica alrededor del ducto, no siempre es posible y también requiere de cimentación especial con aisladores o deslizadores.

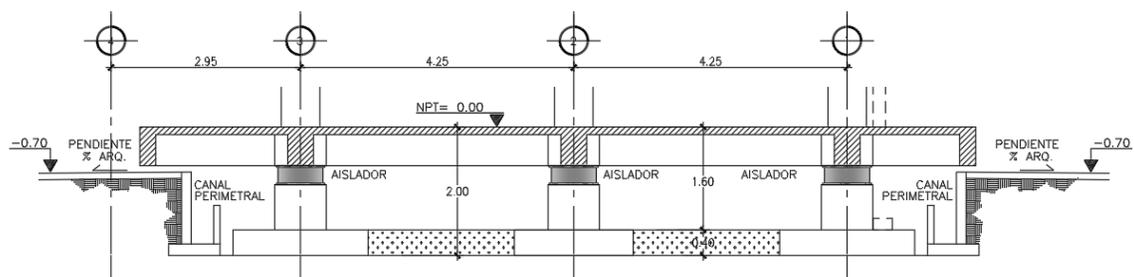
Amenazas geológicas alrededor del proyecto

La normativa vigente requiere que las edificaciones no se construyan en terrenos sujetos a amenazas geológicas tales como deslizamientos, licuefacción, fallas geológicas e inundaciones. Para ello el mecanismo de control que establece la normativa es el Estudio Geotécnico Tipo III capítulo 4.2.4 de la NSE 2.1- 2018 Estudios Geotécnicos.

Bajo esa premisa de correcta ubicación de edificios escolares se puede proveer de paliativos para lluvia intensa, tales como, canales perimetrales con capacidad de 15 m³ que han sido incorporados a la nueva propuesta y contrapendientes en pavimento serán efectivas. Ver figura No 44.

En caso de evento extremo la correcta ubicación de los aisladores no permiten que tengan interacción con aguas pluviales dado que el semisótano permite albergar hasta 300m³ sin afectar aisladores.

Figura 44. Previsión para efectos de lluvia intensa



ESQUEMA PREVENTIVO DE CANAL PLUVIAL

Fuente: elaboración propia

Protección contra fuego:

Es esencial que se protejan los aisladores de cualquier fuente de daño, el fuego tener afectaciones importantes en los dispositivos por lo cual es de suma importancia proveer de una protección contra fuego que sea integral, permanente, fácil de dar mantenimiento, de fácil reemplazo. Se recomienda que el nivel de protección sea definido por un especialista.

Figura 45. Previsión para fuego. Channing House California



Fuente: Cámara Chilena de la Construcción

PROPUESTA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA

El desempeño de la estructura propuesta en este estudio, mejora con la implementación de aislamiento sísmico.

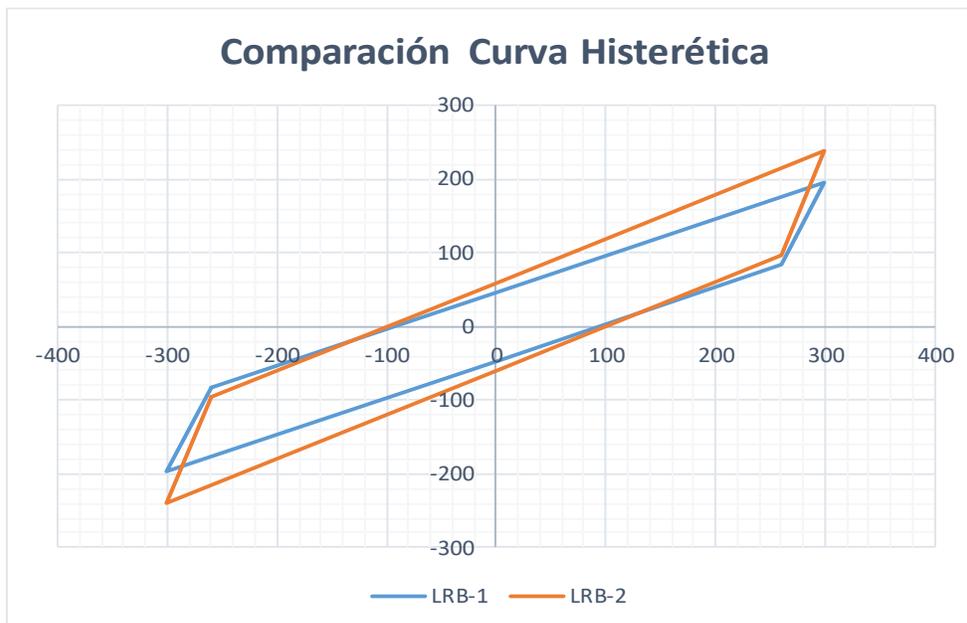
La inclusión de aisladores sísmicos en esta estructura se considera viable y es una grada de mejora en la búsqueda de un nivel de desempeño que permita la máxima protección a los alumnos y conlleve a la ocupación continua del inmueble. Adicionalmente a la autoridad competente podrá evaluar que esta propuesta también desde el punto de vista económico permite reducir al máximo el daño estructural. El análisis de esta estructura es con base al análisis Tiempo Historia no Lineal, para lo cual se usarán con registros con características similares a las del Valle de Guatemala. En tabla número XXIII se muestran las propiedades dinámicas de los aisladores utilizados.

TABLA XXIII. ESPECIFICACIONES DE AISLADORES LRB-1 y LRB-2.

Pos.	Descripción	Símbolo	LRB-1	LRB-2	Unidades
0	Cantidad		1	1	[ud]
1	Diametro externo	Φ ext	550	600	[mm]
2	Dimensiones aislador	A x B	600	650	[mm]
3	Altura total de aislador	H	330	330	[mm]
4	Altura del bloque de elastómero	Tb	280	280	[mm]
5	Espesor total del elastómero	tr	208	208	[mm]
6	Desplazamiento de diseño	Dd	200	200	[mm]
7	Desplazamiento máximo	Dm	300	300	[mm]
8	Carga máxima vertical (estática)	Nsm	1,500	2,000	[kN]
9	Carga máxima vertical (sísmica)	Nem	1,500	2,000	[kN]
10	Fuerza de diseño horizontal	Vd	146.39	179.58	[kN]
11	Fuerza máxima horizontal	Vm	196.39	240.00	[kN]
12	Resistencia característica	Qd	46.39	59.58	[kN]
13	Fuerza de fluencia	Fy	51.54	66.20	[kN]
14	Rigidez inicial	Ko	5.00	6.00	[kN/mm]
15	Rigidez horizontal	Kd	0.50	0.60	[kN/mm]
16	Rigidez vertical	Kv	392.65	538.47	[kN/mm]
17	Rigidez efectiva	Keff	0.73	0.90	[kN/mm]
18	Energía disipada por ciclo	EDC	35.20	45.04	[kN-m]
19	Razon de amortiguamiento efectivo	ξ_{eff}	19.13%	19.96%	[%]
20	Periodo de aislador	Te	2.87	2.99	[s]
21	Rigidez efectiva	Keff	0.65	0.80	[kN/mm]
22	Energía disipada por ciclo	EDC	53.75	68.87	[kN-m]
23	Razon de amortiguamiento efectivo	ξ_{eff}	14.52%	15.25%	[%]
24	Periodo de aislador	Te	3.04	3.17	[s]
25	Modulo de corte del elastómero	G	0.45	0.45	[N/mm ²]
26	Diámetro del núcleo de plomo	Φ int	75	85	[mm]
27	Temperatura de diseño	T	20±5	20±5	°C

Fuente: (Ing. Hansel Rodríguez, 2019)

Gráfica 3. Modelo bilineal fuerza-desplazamiento: Se aprecia la fuerza y desplazamiento máxima de los aisladores LRB-1 y LRB-2.



Procedimiento para análisis y diseño de una estructura aislada:

Actualmente en Guatemala no existe una norma que determine las directrices para llevar a cabo el diseño de estructuras con aislamiento. Por lo tanto, los siguientes pasos relacionan normas locales e internacionales:

- Paso 1. Basado en planos de arquitectura se debe crear un modelo analítico tridimensional digital para evaluar comportamiento sismorresistente de la estructura de base fija. Utilizar sismo de diseño (con espectro elástico de norma). El modelo tridimensional deberá ser lo más preciso posible al proyecto arquitectónico en cuanto geometría. Ingeniería define materiales, cargas gravitacionales y cargas sísmicas. Para Guatemala, los criterios sismorresistentes, cargas de diseño y demás están establecido en las normas NRD1 - AGIES NSE1- 2018, NSE2-2018, NSE 2.1-2018, NSE 3-2018.
- Paso 2. Lograr que la estructura analizada con el sismo de diseño cumpla con los requisitos establecidos por la norma AGIES NSE 3 - 2018. Los datos de período de vibración, derivas sísmicas sentido corto y sentido largo, corte basal mínimo y corte basal de diseño deberán ser archivados para comparaciones futuras.
- Paso 3. Los proyectos deben contar con un estudio específico del sitio de emplazamiento para obtener el Espectro de Sitio de referencia y espectro de desplazamiento esperado. NSE 2, capítulo 4 rige el tema de espectros. En caso no se cuenta con el Estudio de Sitio, está la opción de evaluarse con un espectro de norma, teniendo como criterio el período de esquina. Por lo general el encargado del estudio de sitio (geotécnico) otorgara los parámetros sísmicos del sitio con un 5% de probabilidad de ocurrencia. Este espectro de sitio debe elevarse a un espectro de 2% de probabilidad de

ocurrencia o MCE (máximo credible earthquake) por sus siglas en inglés. Con el sismo máximo esperado del sitio (MCE) deberá evaluarse idealmente el modelo del paso 2 y obtener los valores de referencia.

- Paso 3.1 el espectro de sitio debe contemplar registros sísmicos con características similares al sitio de interés. También debe contemplarse la cercanía a una falla local, ya que la componente vertical del sismo suele aumentarse en estos casos.
- Paso 4. Definir el tipo de disipación sísmica (elastómericas).
- Paso 5. Establecer el nivel de interfaz de aislamiento (desacoplar la estructura). Tomar en cuenta para el perímetro de la estructura o colindancias una brecha de aislamiento mayor o igual al desplazamiento máximo esperado; obtenido del espectro de desplazamiento.
- Paso 6. Por la tipología de la estructura, en este caso la norma ASCE/SEI 7-16 -capítulo 17- permite hacer un análisis estático equivalente. Pero si se desea valores óptimos, se puede realizar un análisis no lineal, tiempo historia. Si se opta por análisis no lineal (tiempo historia) la norma ASCE7-16 solicita realizar el análisis con 7 pares de registros con características similares al sitio de interés. Estos acelerogramas deberán ser escalados al espectro de sitio (convertido a un sismo con el 2% de probabilidad de ocurrencia o MCE).
- Paso 7. Proveedor otorgará las propiedades dinámicas de los aisladores. Los cuales fueron definidos con el modelo del paso 2.
- Paso 8. Elaborar un nuevo modelo con la interfaz de aislamiento y definir las propiedades lineales y no lineales de los aisladores otorgados en el paso 7. Todo esto en el software.

- Paso 8.1. Realizar el análisis con cada acelerograma previamente escalado y evaluar el desempeño a corte, axial y desplazamiento de los aisladores. Comparar los resultados con las capacidades establecidas por el proveedor. Es importante mencionar que los aisladores no deben presentar “tensión”. El funcionamiento del sistema no sería el adecuado, ya que los aisladores no están provistos para desempeñarse ante este tipo de carga.

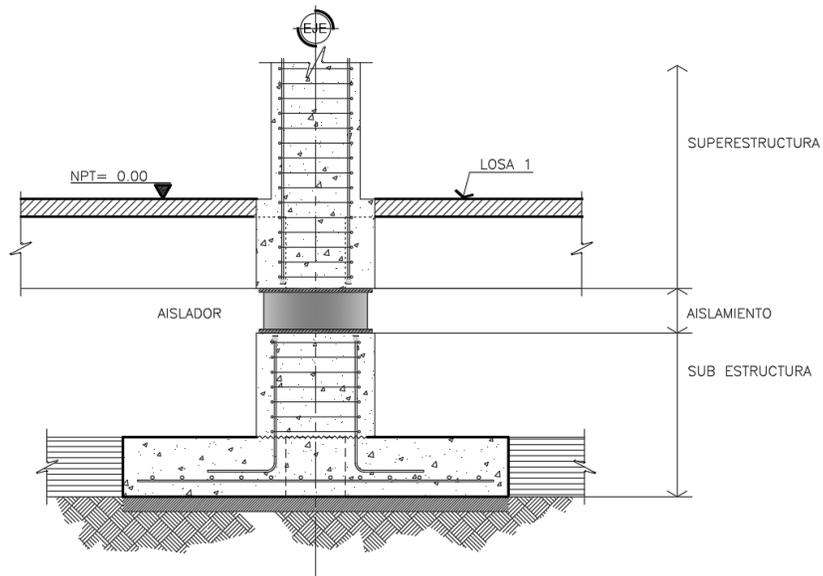
Proceso iterativo hasta obtener el desempeño adecuado y que la estructura cumpla con las derivas requeridas por la norma ASCE/SEI 7-16 para estructuras aisladas.

- Paso 9. Luego se establece un cortante para la subestructura y la superestructura.

Para el método estático se tendrá un valor mínimo de corte, establecido por la rigidez del sistema del aislamiento, este valor se utilizará para el diseño de la subestructura y para la superestructura se dividirá el córtate de la subestructura por un nuevo factor R_i . El nuevo valor de R_i se obtiene de la siguiente ecuación $R_1=3/8$ de R (el factor de reducción “ R ” de la estructura convencional). El resultado de la operación aritmética no podrá ser mayor a 2 cumpliendo ASCE 7-16. Este valor de R se usará para el chequeo de la súper estructura. Ya que la estructura se va a desempeñar en un rango elástico.

Caso contrario para el análisis no lineal, donde el valor de corte se obtendrá del promedio de los resultados obtenidos de los 7 pares de registros o el valor más desfavorable. Queda a criterio del diseñador estructural, comparar estos valores con los obtenidos por el método estático. Proceso que se utiliza para calibrar un análisis modal espectral.

Figura 46. Desacoplamiento de la estructura



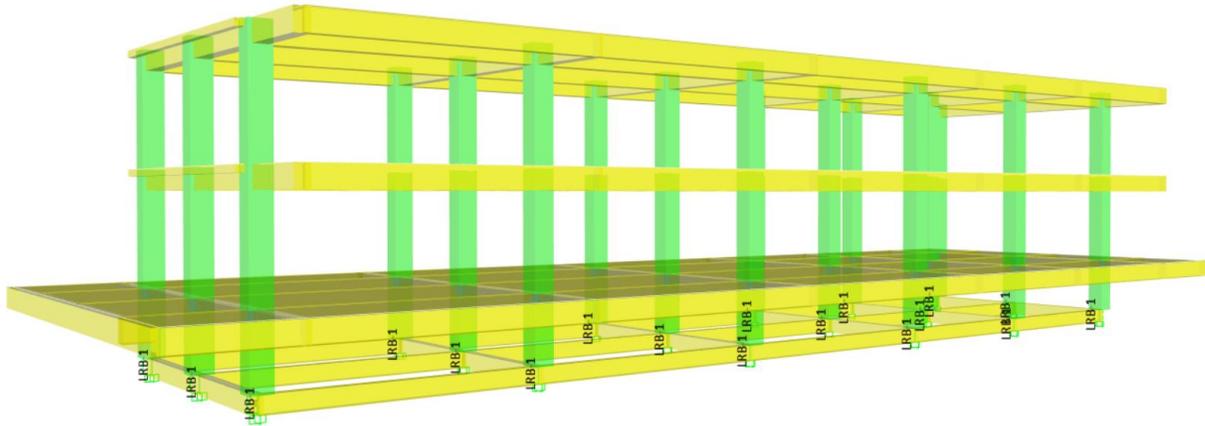
Fuente: Elaboración propi (2021)

- Paso 10. La estructura se diseña con el cortante establecido en el paso 9, según el criterio del diseñador.
- Paso 11. Los valores obtenidos de la estructura aislada se compararán con los datos obtenidos con el modelo de base fija, y así poder demostrar la reducción de cortante y derivas.

Datos fase análisis y diseño estructura con aislamiento sísmico

- a) Modelo *ETABS* nueva propuesta estructural módulo de aulas EU-622 diseño convencional normativo se toma como base para la construcción del modelo con aislamiento sísmico. Ver figura 46.

Figura 47. Modelo 3D con aislamiento sísmico



Fuente: Elaboración propia.

- b) Datos modelo convencional $K_d=0.80$

Modelo con base fija

Periodo (T)	0.378	segundos
Masa de la estructura	1341.13	Tonf

Corte a nivel de Base

* Calibrado al 100% del estático
con sismo de diseño
 $K_d=0.8$

Factor de Reducción $R=8$

c) Modelo convencional $K_d=0.8$

Modelo con base fija
 $K_d=0.8$

Corte sentido X	239.44	Tonf
Corte sentido Y	239.44	Tonf

con sismo Máximo
 $K_d=1$
Factor de Reducción
 $R=1$

Corte sentido X	1,482.31	Tonf
Corte sentido Y	1,395.27	Tonf

d) Modelo con aislamiento

Las propiedades que se emplean para dimensionar este tipo de dispositivos son las siguientes:

- Capacidad de carga (σ_{AC}): 12 MPa (102 kg/cm²)
- Deformación última de corte: 500%
- Módulo de cortante (G): 1 MPa (10.19 kg/cm²)
- Amortiguamiento efectivo: 14.52%
- Período objetivo (T_D): 2.07 segundos
- Espesor de capas (t): 8 mm
- Masa soportada: 1,405.90 ton

Para la implementación de los aisladores en el modelo analítico, es necesario poner énfasis en la rigidez efectiva, rigidez vertical, área y altura de los dispositivos.

La rigidez efectiva total se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$K_T = M * \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 = 1405.9 \text{Ton} * \left(\frac{2\pi}{2.07 \text{s}}\right)^2 = 12,953 \text{kN/m}$$

Mientras que la sumatoria de las rigideces de todos los aisladores completa la rigidez del sistema, con la relación que se desarrolla a continuación se consigue la rigidez propia de cada uno:

$$K_h = \frac{K_T}{N} = \frac{12,953 \text{kN/m}}{18} = 719.62 \text{kN/m}$$

El área total requerida por el “sistema de aislamiento” se obtiene con la ecuación:

$$A_T = \frac{P_{max}}{\sigma_{AC}} = \frac{227 \text{ Ton} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.4}{12 \text{ MPa}} = 2.59 \text{m}^2$$

Por lo que el área individual de cada uno se consigue con la ecuación:

$$A_o = \pi D^2/4 = \pi(2.59 \text{m}^2) / 4 = 526 \text{mm}^2$$

Para ello se requiere usar aisladores circulares con diámetro de 550 mm.

Para obtener el espesor de caucho del aislador se utiliza la Ecuación

$$e = \frac{G * A}{K_T} = \frac{1 \text{MPa} * 4.45 \text{m}^2}{12,953.09 \text{kN/m}} = 200 \text{mm}$$

Esto requiere 25 capas de 8mm cada una, a lo cual se le debe adicionar el espesor total de las láminas metálicas que conforman el aislador.

La rigidez vertical se obtiene mediante la siguiente ecuación, donde el período en la dirección vertical no debe ser mayor a 0.1 segundos:

$$K_v = M * \left(\frac{2\pi}{T_v}\right)^2 = 1,405.90 \text{ Ton} * \left(\frac{2\pi}{0.1}\right)^2 = 5,550,270.73 \text{ kN/m}$$

El valor de la relación Kv y KT debe ser igual o mayor a 50, lo que efectivamente se cumple.

Datos del modelo analítico con aislamiento sísmico

Amortiguamiento efectivo: 14.52%

Período objetivo (T_D): 2.07 segundos

Masa soportada: 1,405.90 ton

Desplazamiento máximo: 300 mm

Cortante a nivel de base con K_d=1 y R=1; V_x = 309 Tonf; V_y=299 Tonf

Tabla XXIV. Desplazamientos modelo base fija sismo diseño K_d=0.8

Modelo Base fija SISMO DE DISEÑO K_d=0.8

SENTIDO X

Nivel	Altura nivel, cm	Elevación, cm	Desplazamiento elástico, cm	Desplazamiento elástico entre nivel, cm	Deriva postelástica, Cd=5.5	Relación de deriva con límite	OBSERVACION
losa 2	340	820	1.1259	0.4273	0.006912206	0.46	CUMPLE
losa 1	340	480	0.6986	0.6054	0.009793235	0.65	CUMPLE
pavimento	140	140	0.0932	0.0932	0.003661429	0.24	CUMPLE
BASE	0	0	0	0.3878	N/A	N/A	N/A

SENTIDO Y

Nivel	Altura nivel, cm	Elevación, cm	Desplazamiento elástico, cm	Desplazamiento elástico entre nivel, cm	Deriva postelástica, Cd=5.5	Relación de deriva con límite	OBSERVACION
losa 2	340	820	0.5203	0.2165	0.003502206	0.23	CUMPLE
losa 1	340	480	0.3038	0.2604	0.004212353	0.28	CUMPLE
pavimento	140	140	0.0434	0.0434	0.001705	0.11	CUMPLE
BASE	0	0	0	0.3878	N/A	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia

Tabla XXV. Desplazamientos modelo aislado sismo diseño Kd=1.00

Modelo Aislado SISMO DE DISEÑO Kd=1

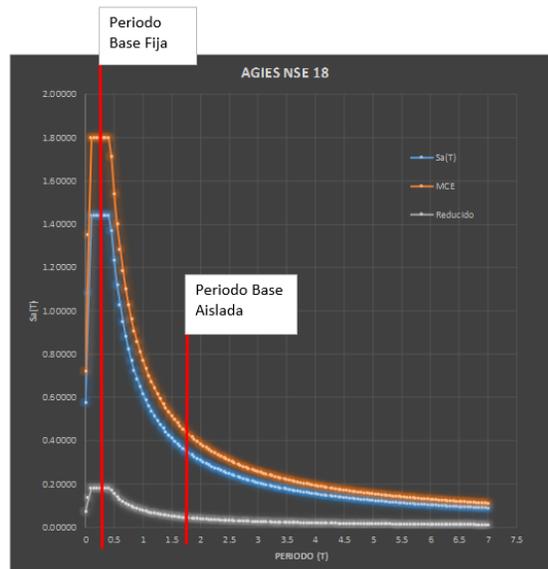
SENTIDO X

Nivel	Altura nivel, cm	Elevación, cm	Desplazamiento elástico, cm	Desplazamiento o elástico entre nivel, cm	Deriva postelástica, Cd=5.5	Relación de deriva con límite	OBSERVACION
losa 2	340	920	24.59	0.3032	0.004904706	0.33	CUMPLE
losa 1	340	580	24.28	0.5723	0.009257794	0.62	CUMPLE
pavimento	200	240	23.71	0.3112	0.008558	0.57	CUMPLE
DISIPADOR	INTERFAZ	40	23.40	0.3878	N/A	N/A	N/A

SENTIDO Y

Nivel	Altura nivel, cm	Elevación, cm	Desplazamiento elástico, cm	Desplazamiento o elástico entre nivel, cm	Deriva postelástica, Cd=5.5	Relación de deriva con límite	OBSERVACION
losa 2	340	920	22.54	0.2221	0.003592794	0.24	CUMPLE
losa 1	340	580	22.32	0.3551	0.005744265	0.38	CUMPLE
pavimento	200	240	21.97	0.2205	0.00606375	0.40	CUMPLE
DISIPADOR	INTERFAZ	40	21.75	0.2626	N/A	N/A	N/A

Gráfica 4. Comparativa de periodos y aceleración espectral de Modelo de base fija y modelo con aislamiento.



Fuente: Elaboración propia

Registros sísmicos

Basados en la experiencia del asesor de trabajo de graduación Dr. Héctor Monzón Despang, respecto a las características y cantidad de registros sísmicos se determinó emplear la siguiente información.

Sismo de control

Monzón Despang (2019) establece que la referencia adecuada para Guatemala es el estudio RESIS II de evaluación de la amenaza sísmica en Centroamérica, que determina para Ciudad de Guatemala claramente un sismo de control, asociado al para $M=6.5$ y $R=15$ Km., que resulta dominante para todos los periodos de retorno y para la PGA y SA (1s).

Otro sismo de mayor magnitud entre 7 y 7.5, con un rango de distancias mayores entre 135 y 180 Km, tiene contribución mayor al periodo de retorno de 2500 años. La amenaza está dominada por fallamiento local, para periodos de retorno mayores la más importante es la falla del Motagua.

Tabla XXVI. Registros sísmicos

Registros sísmicos											
No.	Sismo	Fecha	Magnitud [Mw]	Distancia Ep. [km]	Profundidad [km]	Registro	Componente	PGA [cm/s ²]	Duracion [seg]	DT [seg]	No. Puntos
1	El Salvador	13/01/2001	7.6	157.36	60.00	ES-CIG-AH-270 ES-CIG-AH-360	270 360	143.09 210.02	49.975	0.005	9995
2	India	06/08/1988	7.3	166.95	90.50	IN-IIT-BOK-NE-A IN-IIT-BOK-SE-A	N34E S56E	148.00 220.00	57.78	0.02	2889
3	Estados Unidos	28/06/1992	6.4	12.40	3.60	EU-CSIMP-22561-270 EU-CSIMP-22561-360	270 360	472.17 534.23	60.01	0.01	6001
4	El Salvador	10/10/1986	5.7	-	10.00	RSN568_SANSALV_GIC090 RSN568_SANSALV_GIC180	90 180	690.85 412.84	9.025	0.005	1805
5	El Salvador	10/10/1986	5.7	-	10.00	RSN569_SANSALV_NGI180 RSN569_SANSALV_NGI270	180 270	396.29 524.27	20.26	0.005	4052
6	Nicaragua	23/12/1972	6.3	-	10.00	RSN95_MANAGUA_A-ESO090 RSN95_MANAGUA_A-ESO180	90 180	364.77 323.26	45.69	0.005	9138
7	Nicaragua	23/12/1972	6.3	-	10.00	RSN96_MANAGUA_B-ESO090 RSN96_MANAGUA_B-ESO180	90 180	257.84 216.66	47.885	0.005	9577

Fuente: Dr. Héctor Monzón Despang, 2019

Método de compatibilización de registros

Para realizar al análisis Tiempo Historia no lineal se requiere del uso de registros sísmicos sintéticos que sean compatibles con el espectro máximo del sitio. Para lograr realizar la compatibilización de los registros se utilizó el procedimiento de compatibilización en el dominio del tiempo, incluido en el software ETABS de Computes and Structures Inc. (CSI). Los dos métodos de compatibilización de registros en el programa ETABS que están disponibles desde las versiones de 2015, Método de dominio de la frecuencia (The Frequency Domain Method) y el Método de Dominio en el Tiempo (Time Domain Method),

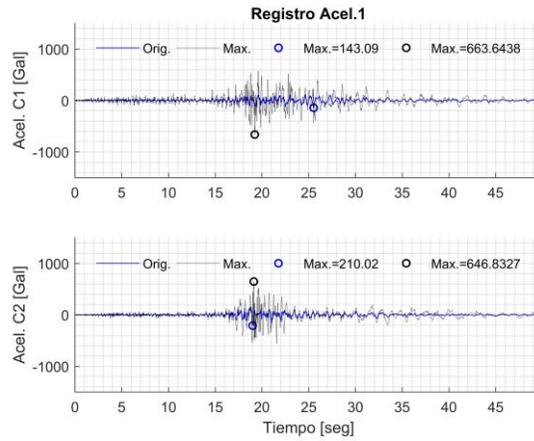
Este último aplicado a la presente investigación debido a que se ajusta de una mejor forma a la aceleración del registro Tiempo Historia en el dominio del tiempo mediante la adición de ondas de complemento. El método del Dominio en el Tiempo fue desarrollado por Lilhanand y Tseng (1987, 1988). Asumían fundamentalmente que en este método la respuesta máxima no cambia como resultado del ajuste de las ondas de complemento.

Figura 48. Registros compatibilizados

(a) Registro 1 – El Salvador 2001

ES-CIG-AH-270

ES-CIG-AH-360

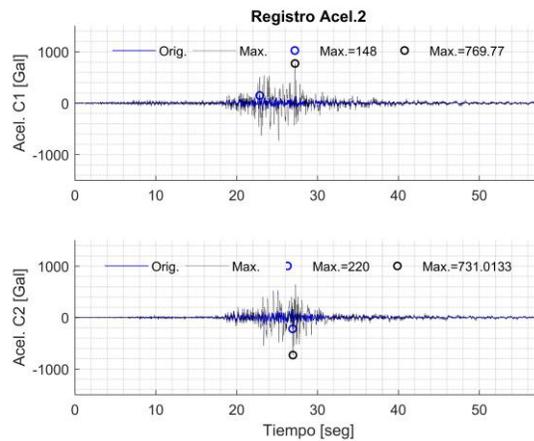


Fuente: Tabla XXVI

(b) Registro 2 – India 1988

IN-IIT-BOK-NE-A N34E

IN-IIT-BOK-NE-A S56E

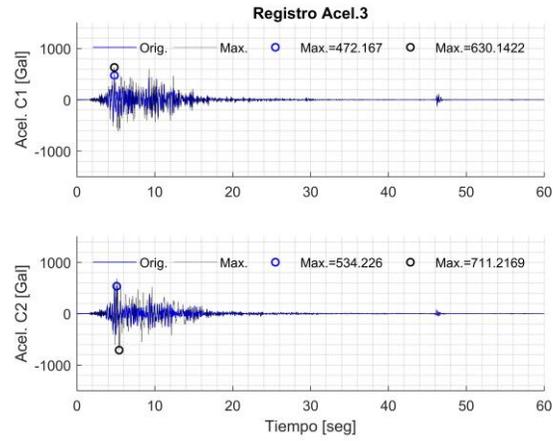


Fuente: Tabla XXVI

(c) Registro 3 – Estado Unidos

EU-CSIMP-22561-270

EU-CSIMP-22561-360

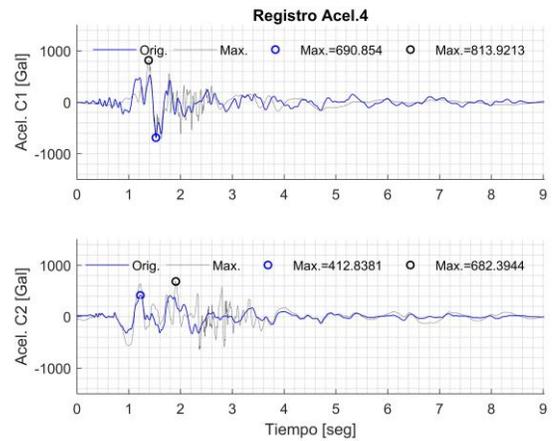


Fuente: Tabla XXVI

(d) Registro 4 – El Salvador

RSN568_SANSALV_GIC090

RSN568_SANSALV_GIC180

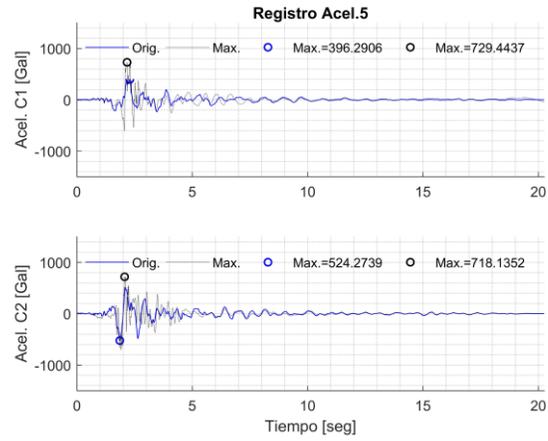


Fuente: Tabla XXVI

(e) Registro 5- El Salvador

RSN569_SANSALB_NGI180

RSN_SANSALV_NGI270

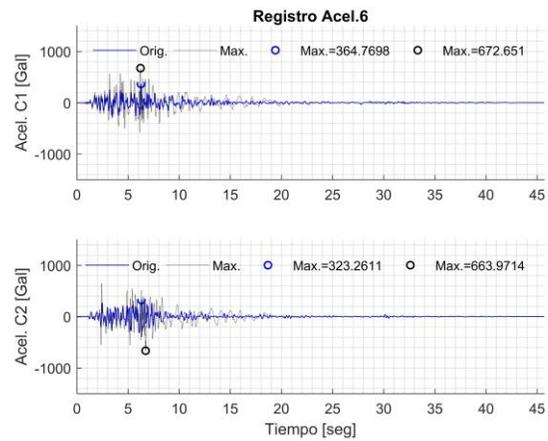


Fuente: Tabla XXVI

(f) Registro 6 - Nicaragua

RSN95_MANAGUA_A-ESO090

RSN95_MANAGUA_A-ESO180

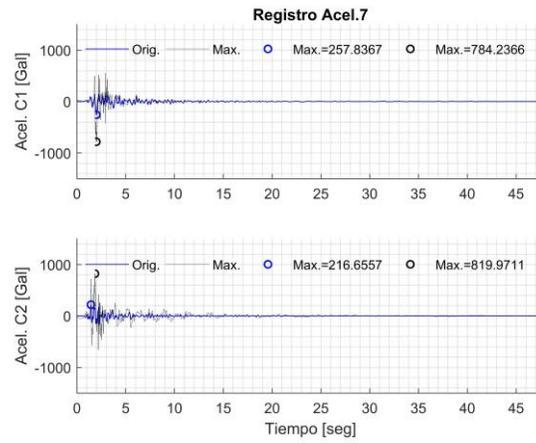


Fuente: Tabla XXVI

(g) Registro 7 - Nicaragua

RSN95_MANAGUA_B-ESO090

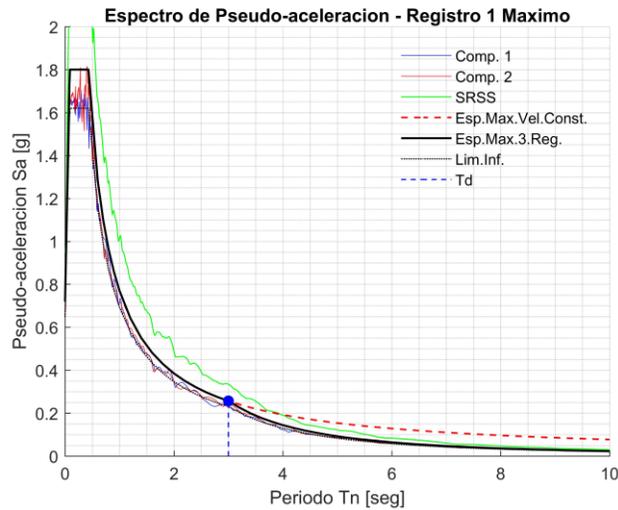
RSN95_MANAGUA_B-ESO180



Fuente: Tabla XXVI

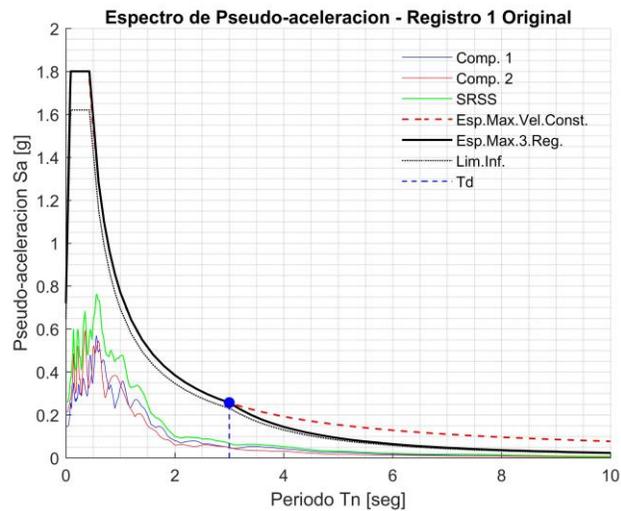
Registros compatibilizados al espectro objetivo

Gráfica 5. Espectro de pseudo-aceleración registro 1 máximo



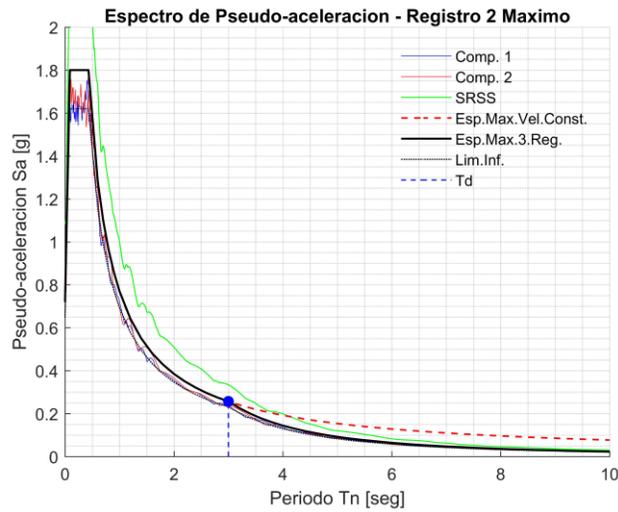
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 6. Espectro de pseudo-aceleración registro 1 Original



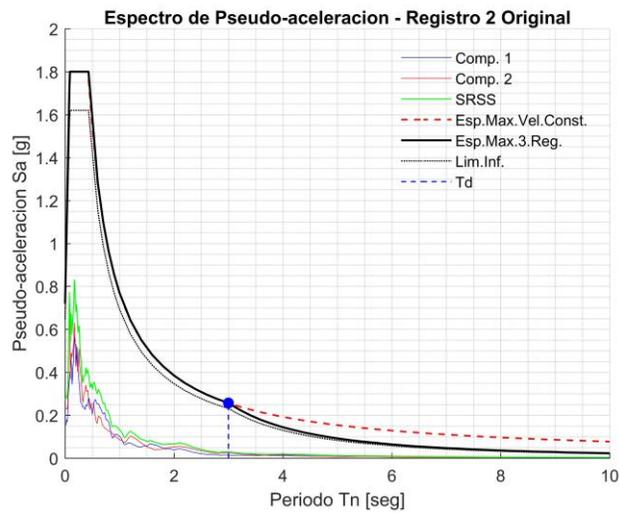
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 7. Espectro de pseudo-aceleración registro 2 Máximo



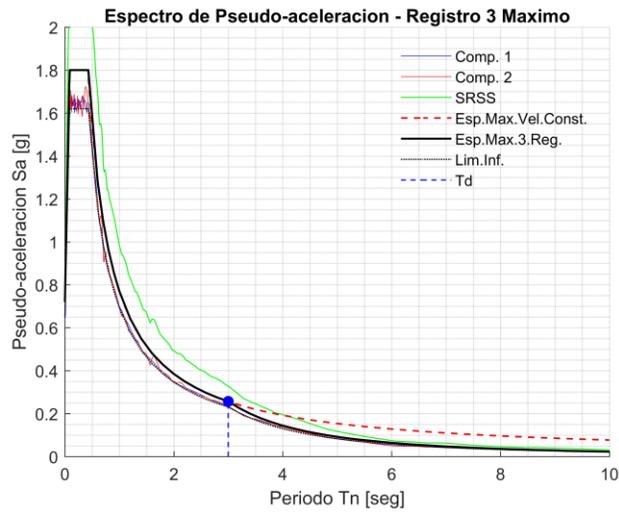
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 8. Espectro de pseudo-aceleración registro 2 original



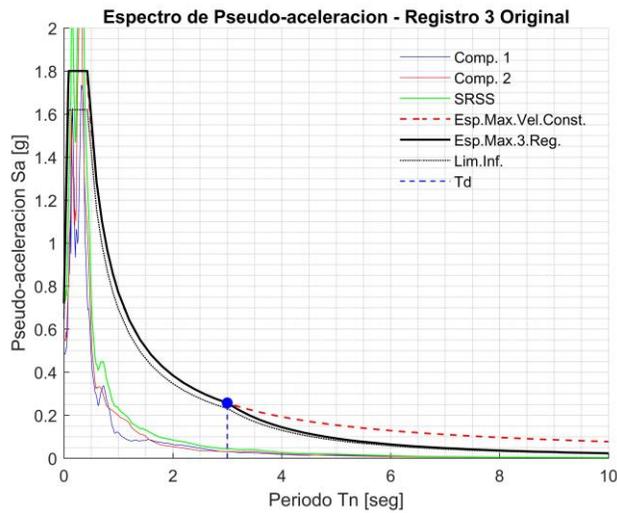
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Figura 9. Espectro de pseudo-aceleración registro 3 máximo



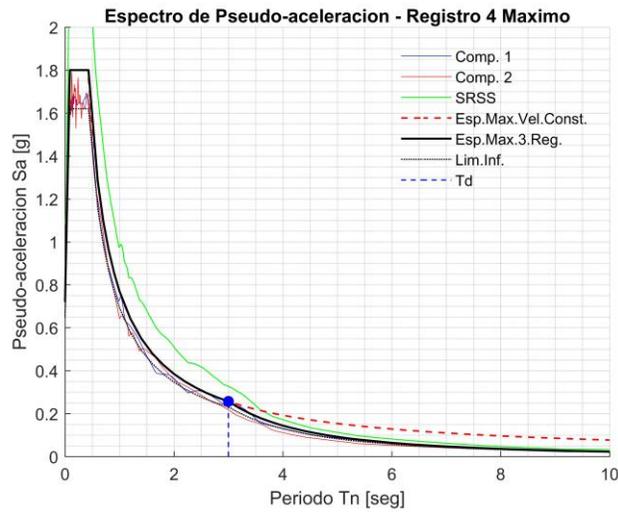
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 10. Espectro de pseudo-aceleración registro 3 original



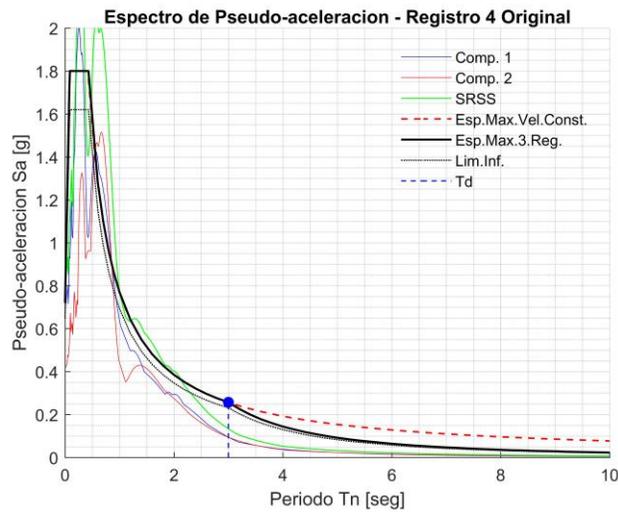
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 11. Espectro de pseudo-aceleración registro 4 máximo



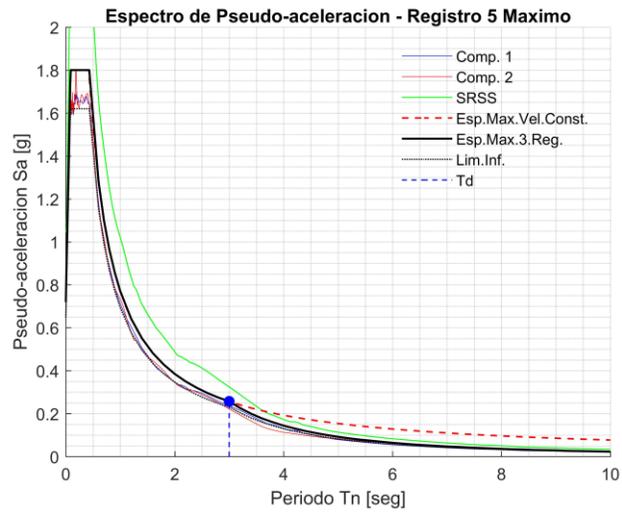
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 12. Espectro de pseudo-aceleración registro 4 original



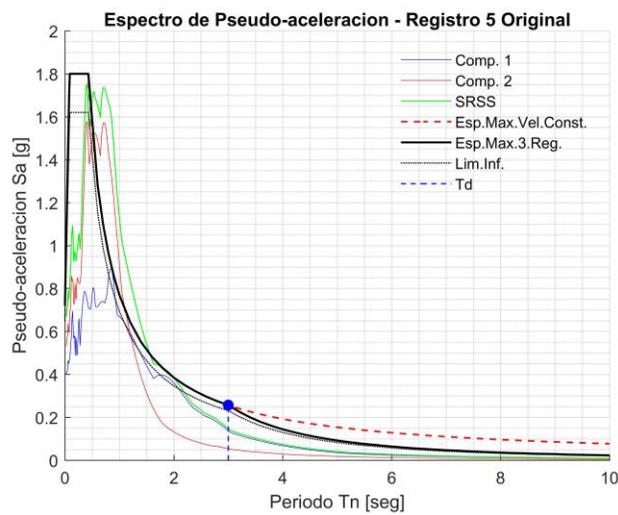
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 13. Espectro de pseudo-aceleración registro 5 máximo



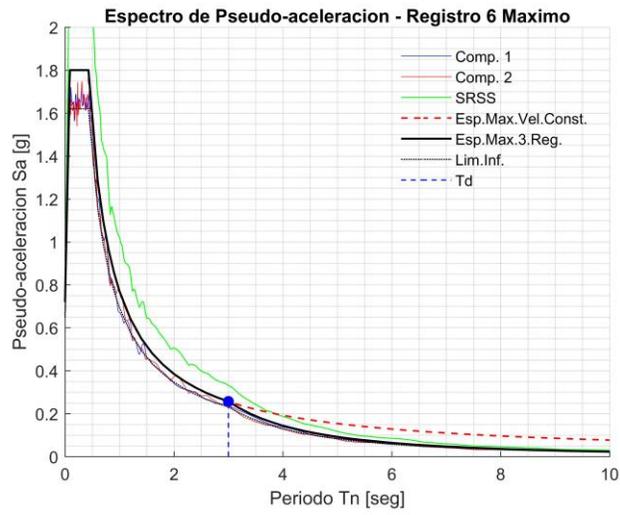
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 14. Espectro de pseudo-aceleración registro 5 original



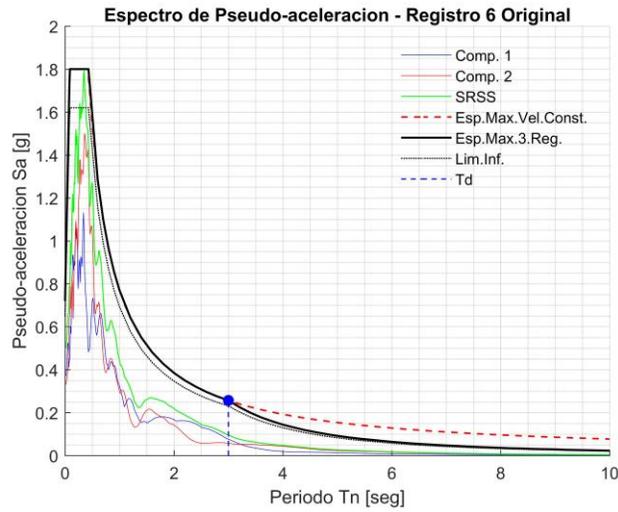
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 15. Espectro de pseudo-aceleración registro 6 máximo



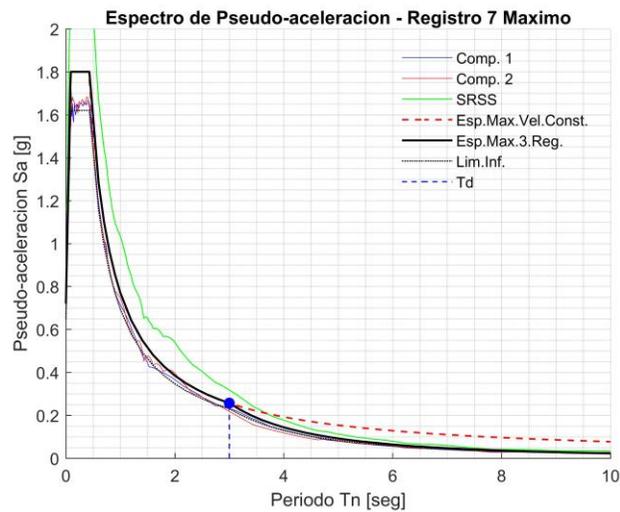
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 16. Espectro de pseudo-aceleración registro 6 original



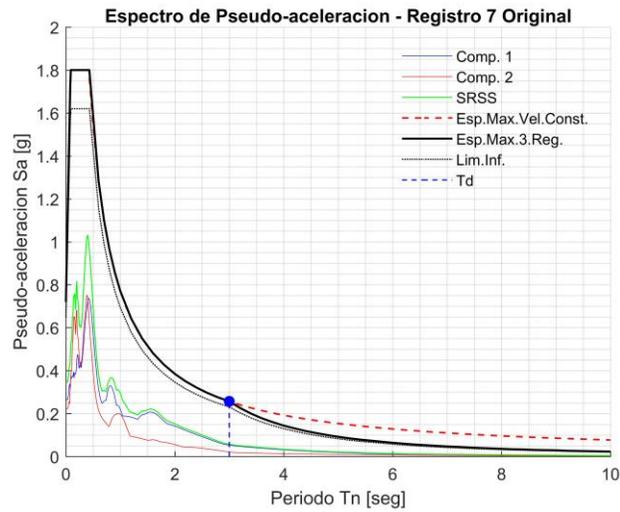
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 17. Espectro de pseudo-aceleración registro 7 máximo



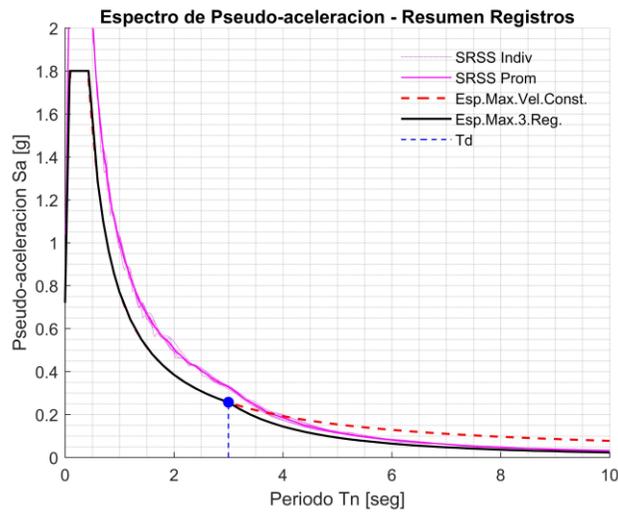
Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

Gráfica 18. Espectro de pseudo-aceleración registro 7 original



Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

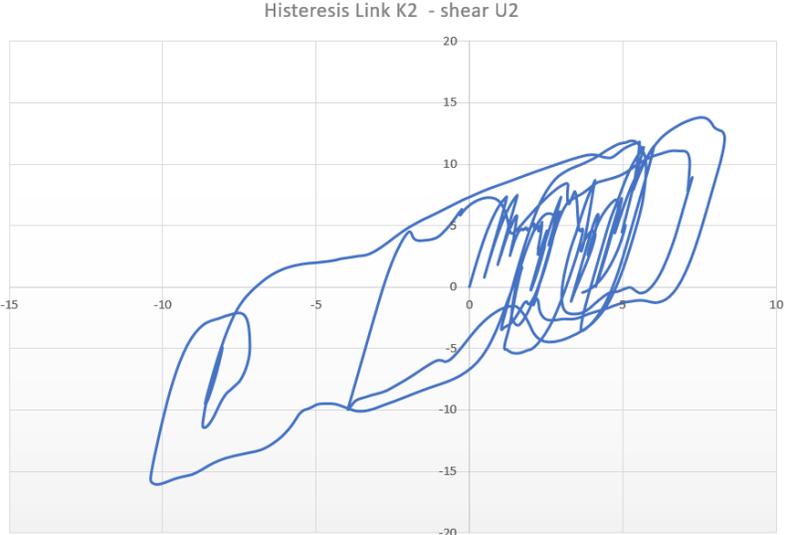
Gráfica 19. Espectro de pseudo-aceleración resumen registros



Fuente: (Dr. Héctor Monzón e Ing. Hansel Rodriguez, 2019)

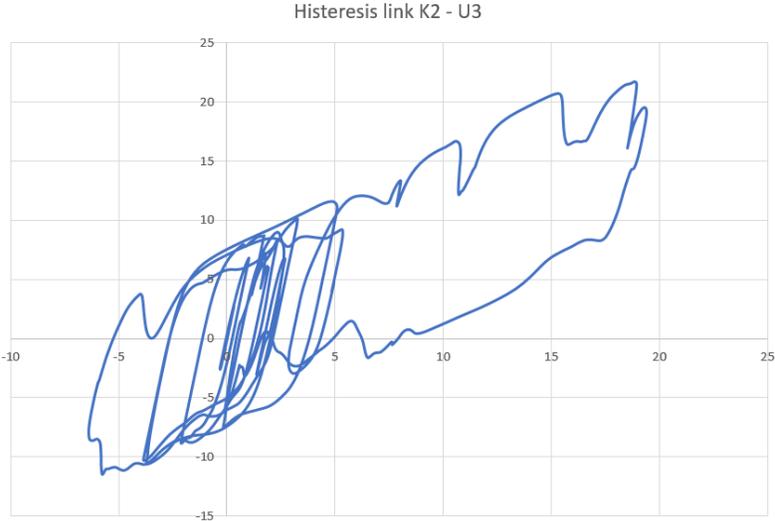
Comportamiento histérico

Figura 49. Histéresis link K2 – U2



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Histéresis link K2 – U3

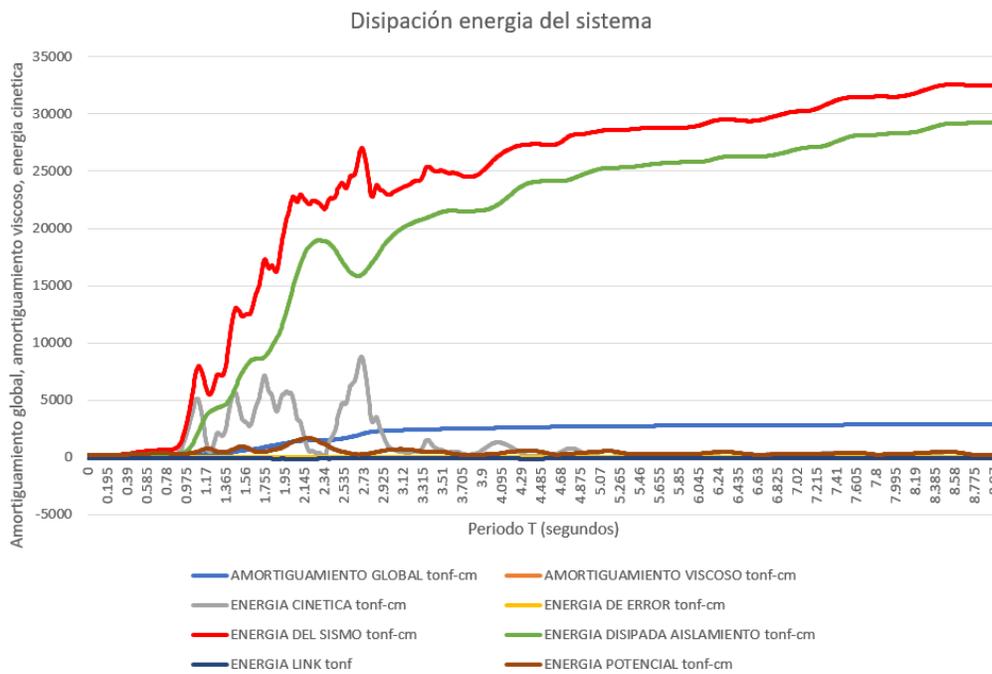


Fuente: elaboración propia.

Disipación de energía del sistema

La eficiencia de disipación de energía por medio del sistema de aislamiento sísmico se puede apreciar en la figura 51 donde está indicada la energía del sismo y la energía disipada por el sistema.

Figura 51. Disipación energía del sistema



Fuente: elaboración propia.

CAPITULO VI: COMPARATIVA ÍNDICE DE MATERIALES ENTRE ESTRUCTURA CONVENCIONAL VS ESTRUCTURA CON AISLAMIENTO SÍSMICO

Entre la estructura propuesta diseño normativo convencional y estructura con aislamiento sísmico una de las diferencias en tema de materiales es la adición de una losa adicional, losa de nivel 1.

En el diseño normativo convencional el nivel 1 era auto portante debido a que era pavimento. En la versión con aislamiento sísmico se ha tenido que adicionar una losa en ese nivel que permita tener la interfaz de aislamiento por debajo. La diferencia de metros cúbicos totales se lista en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. Comparativo concreto edificio convencional normativo y con aislamiento sísmico.

Modelo	m ³ /m ²	m ³ totales	Diferencia
Convencional	0.2756	218	-----
Aislamiento sísmico	0.2779	382	1.75

Fuente: Tabla XX

Reducción en acero de refuerzo de columnas

El módulo de aulas escolares EU-622 tanto en la versión de diseño convencional normativo como en la de aislamiento sísmico consta de 18 columnas con 0.60x0.60m se sección.

Los refuerzos de columnas están consignados en los planos S3 de cada propuesta estructural. En la versión de aislamiento sísmico se obtuvo la reducción en 24% del acero longitudinal para 14 columnas.

Reducción en acero de refuerzo de vigas

El módulo de aulas escolares EU-622 tanto en la versión de diseño convencional normativo como en la de aislamiento sísmico consta de 9 vigas principales con 0.40x0.60m se sección.

Los refuerzos de vigas están consignados en los planos S4A, S7 y S10 de cada propuesta estructural. En la versión de aislamiento sísmico se obtuvo la reducción entre 18-22% del acero total de la viga, esto debido a la significativa reducción de esfuerzos y que las vigas no requirieron de bastones de refuerzo en su desarrollo.

Estimación costo de aisladores

El módulo de aulas escolares EU-622 tiene 12 aisladores LRB-1 y 6 aisladores LRB-2, cuya estimación de costo unitario es USD \$ 3,000 y \$ 4,000 el total de aisladores es USD \$ 60,000. Representan un impacto económico aproximado de USD \$ 50/m², incluido fabricación, transporte, ensayos. Se considera adecuado y dentro de lo económicamente aceptable según Dr. Genner Villareal (2020).

Para el módulo escolar EU-622 La implementación del aislamiento sísmico se contempla adicional la losa 1 y el costo de los aisladores como costos directos.

Inversiones adicionales asociadas con aislamiento sísmico

Actividades complementarias de supervisión de anclaje de aisladores, cargo especial de proceso constructivo al anclar los aisladores, tuberías especiales, juntas sísmicas perimetrales, mantenimiento periódico anual

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La finalidad de este estudio fue determinar qué tipo de vulnerabilidades posee el diseño de 1982 de los módulos EU-622, se ha comprobado que requiere urgentemente una actualización de diseño estructural que cumpla con la normativa vigente.

En la primera grada de mejora los beneficios son una estructura simple, con resistencia y ductilidad adecuada a la importancia de la estructura. No se compromete la estabilidad de la estructura con columnas cortas, su comportamiento es adecuado, control de presiones en columnas, control de derivas sísmicas. El diseño modal espectral es normativo.

El uso o no de aislamiento sísmico quedará a juicio de la UCEE quien, en algún momento tras un análisis de los beneficios en seguridad, desempeño y bajo mantenimiento podría instituirlo como obligatorio para los edificios del Estado. La reducción significativa de los desplazamientos de la superestructura, minimizar daños en la estructura principal o secundaria y el aumento de la resiliencia sísmica son beneficios que deben apreciarse para proteger a la niñez que usa los módulos escolares. La inversión económica se juzga importante pero también asequible para el Estado.

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Mediante la elaboración de un modelo analítico tridimensional que contiene la información estructural consignada en planos del módulo de aulas EU-622 se ha analizado la estructura conforme a la normativa estructural actual para Guatemala NRD1 (AGIES NSE 2018) pudiendo confirmar numéricamente las vulnerabilidades del módulo de aulas EU-622 diseñado en 1982. Estas vulnerabilidades se confirman al realizar la evaluación ingenieril de elementos estructurales principales y constatar que exceden los límites de la normativa en esfuerzos y deformaciones, concluyendo que está comprometida la integridad estructural de la edificación y la seguridad de los ocupantes. Factores que riñen con los objetivos primordiales de la ingeniería estructural, protección a la estructura y sus usuarios.

Las dos gradas de mejora para el módulo de aulas EU-622 como lo son la estructura convencional y la estructura con aislamiento sísmico eliminan las vulnerabilidades de origen del diseño de 1982, estas propuestas cumplen con la normativa estructural vigente, son estructuras con resistencia y ductilidad adecuada para poder proveer la protección a la estructura misma y a la población estudiantil. Los parámetros sismorresistentes numéricos y la información de diseño de estas estructuras está consignada tanto en este estudio como en los planos incluidos en el anexo de esta investigación.

CONCLUSIONES

- La estructura actual con diseño de 1982 es altamente vulnerable debido a que excede las derivas sísmicas máximas permisibles requeridas en la Norma AGIES NSE 3 – 2018.
- La estructura actual con diseño de 1982 es altamente vulnerable debido los muros de mampostería están especificados con resistencias que incumplen la normativa vigente AGIES NSE 7.4-2018 y adicionalmente la presión por combinación de carga envolvente con sismo excede el máximo permisible de 0.20 f'm de la misma norma.
- La estructura actual con diseño de 1982 es altamente vulnerable debido los muros de mampostería no tienen capacidad suficiente por cortante AGIES NSE 7.4-2018.
- La estructura actual con diseño de 1982 es altamente vulnerable debido a que las mochetas de concreto usadas en ese diseño exceden la presión máxima de 0.20 f'c requerido por la Norma AGIES NSE 7.4 – 2018.
- La estructura actual con diseño de 1982 si se puede y debe mejorar.
- La nueva propuesta de estructura para el módulo escolar EU-622 cumple con lo establecido en NRD1 (AGIES NSE 2018).
- La estructura del módulo EU-622 con E1 si es factible adicionarle aislamiento sísmico para elevar la seguridad de los ocupantes.

RECOMENDACIONES

- Revisar y renovar todos los módulos de aulas de la UCEE.
- La UCEE debe tener un departamento de ingeniería estructural que actualice los diseños.
- Se debe aplicar la NRD1, NRD 2 Y NRD 3 a las aulas EU-622.
- Poner especial atención a las líneas futuras de investigación.

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Disipadores aplicados a estructuras escolares.
- Análisis por desempeño de estructura escolares.
- Reforzamiento de estructuras escolares existentes.
- Actualización continua de diseño estructural de edificios escolares.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES NSE 2018. *NSE 1 GENERALIDADES, ADMINISTRACION DE LAS NORMAS Y SUPERVISION TECNICA*. Guatemala, Guatemala: Asociación guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES NSE 2018. *NSE 2 DEMANDAS ESTRUCTURALES Y CONDICIONES DE SITIO*. Guatemala, Guatemala: Asociación guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES NSE 2018. *NSE 2.1 ESTUDIOS GEOTECNICOS*. Guatemala, Guatemala: Asociación guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES.
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES NSE 2018. *NSE 3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES*. Guatemala, Guatemala: Asociación guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES.
5. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES NSE 2018. *NSE 7.1 DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO*. Guatemala, Guatemala: Asociación guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. AGIES.
6. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural(ACI 318-19) (Version en español y en sistema metrico SI)*. Farmington Hills, Michigan, U.S.A.: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI.
7. Ministerio de educación de Guatemala. MANUAL DE CRITERIOS NORMATIVOS PARA EL DISEÑO ARQUITECTONICO DE CENTROS EDUCATIVOS OFICIALES. Guatemala 2016. Editorial Serví Prensa
8. Índice de seguridad de centros educativos ISCE. GUIA DEL EVALUADOR DE CENTROS EDUCATIVOS SEGUROS. Basado en el índice de seguridad hospitalaria. Banco Mundial 2010

9. ASCE/SEI 7-16 Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
10. ASCE/SEI, 41-17, Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
11. Registro fotográfico de daños en terremotos EERI. Earthquake Engineering Research Institute. [www. eeri.org](http://www.eeri.org)
12. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Fema 440.
13. School earthquake safety initiative. Earthquake Engineering Research Institute
14. School safety guide for natural hazards. 16th world conference on earthquake. Santiago Chile 2017. M. Mahoney, V. Cedillos, A. Hortascu, L. Peck, B. Welliver
15. The installation of seismic isolation system for building retrofit. 2001. Kelly, P. John. MIT (Massachusetts Institute of technology)

ANEXO 1

RESOLUCION UAIP-UCEE-008-2019E


GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE
GUATEMALA
MINISTERIO DE COMUNICACIONES
INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA
UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS
DEL ESTADO

**UNIDAD DE INFORMACIÓN PÚBLICA
UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DEL ESTADO -UCEE-
No. EXPEDIENTE:**

UAIP-UCEE-008-2019

No. RESOLUCIÓN:
UAIP-UCEE-008-2019

Lugar y Fecha
Guatemala, 05 de agosto 2019

Nombre del Interesado
CARLOS ENRIQUE MONCADA DIAZ

Nombre Rep. Legal
.....

Dirección Interesado
.....

Fecha de solicitud
25 de julio de 2019

Resumen de la información solicitada:

Planos completos módulo de aulas EU- 622 en formato dwg o pdf

Se tiene a la vista para resolver la solicitud de información arriba identificada la cual fuera solicitada de conformidad con lo que al efecto estipula el Decreto número 57-2008 del Congreso de la República, "Ley de Acceso a la Información Pública"; y

CONSIDERANDO

Que de conformidad con lo regulado en el Artículo 30 de la Constitución Política de la República de Guatemala, todos los actos de la administración son públicos. Los interesados tienen derecho a obtener, en cualquier tiempo, informes, copias, reproducciones y certificaciones que soliciten y la exhibición de los expedientes que deseen consultar, salvo que se trate de asuntos militares o diplomáticos de seguridad nacional, o de datos suministrados por particulares bajo garantía de confidencia.

CCNSIDERANDO

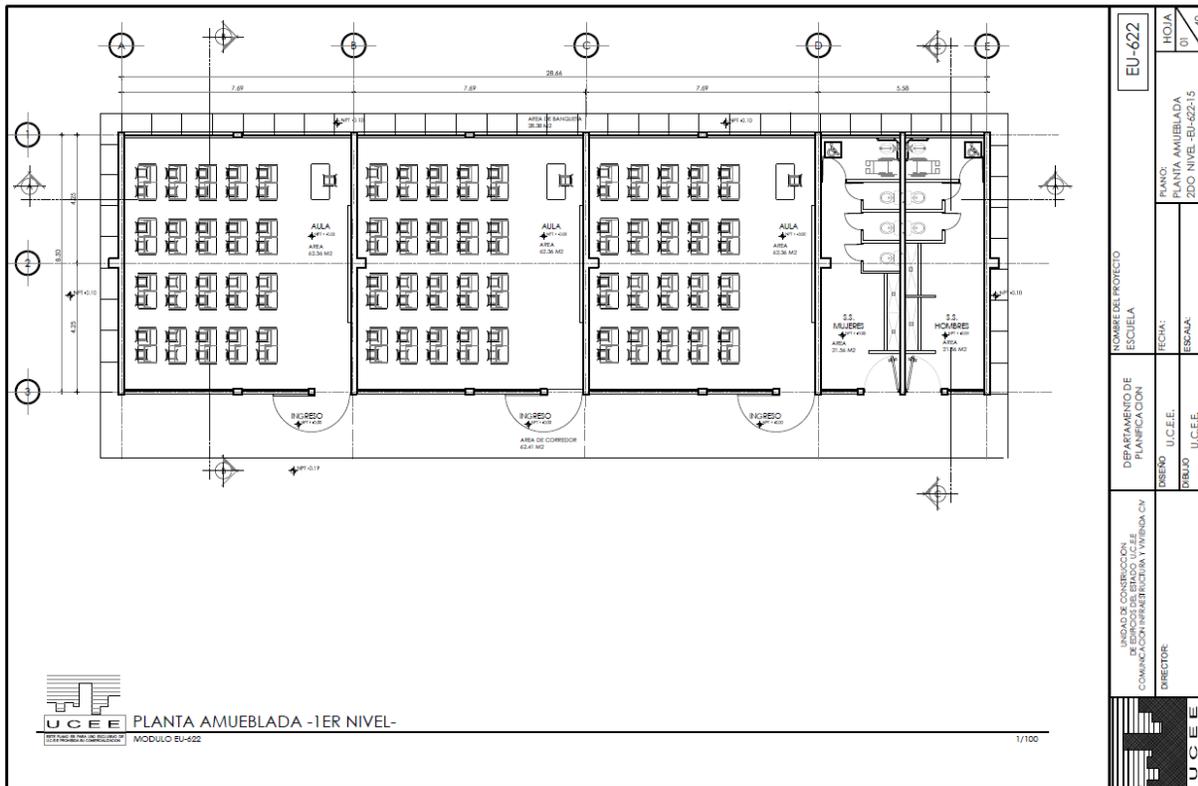
Que la anterior norma constitucional se desarrolla en el Decreto número 57-2008 del Congreso de la República "Ley de Acceso a la Información Pública", en la cual se establece el derecho de toda persona a tener acceso a la información pública en posesión de los sujetos obligados, debiendo para el efecto solicitarla de conformidad con las reglas estipuladas en dicho cuerpo normativo.

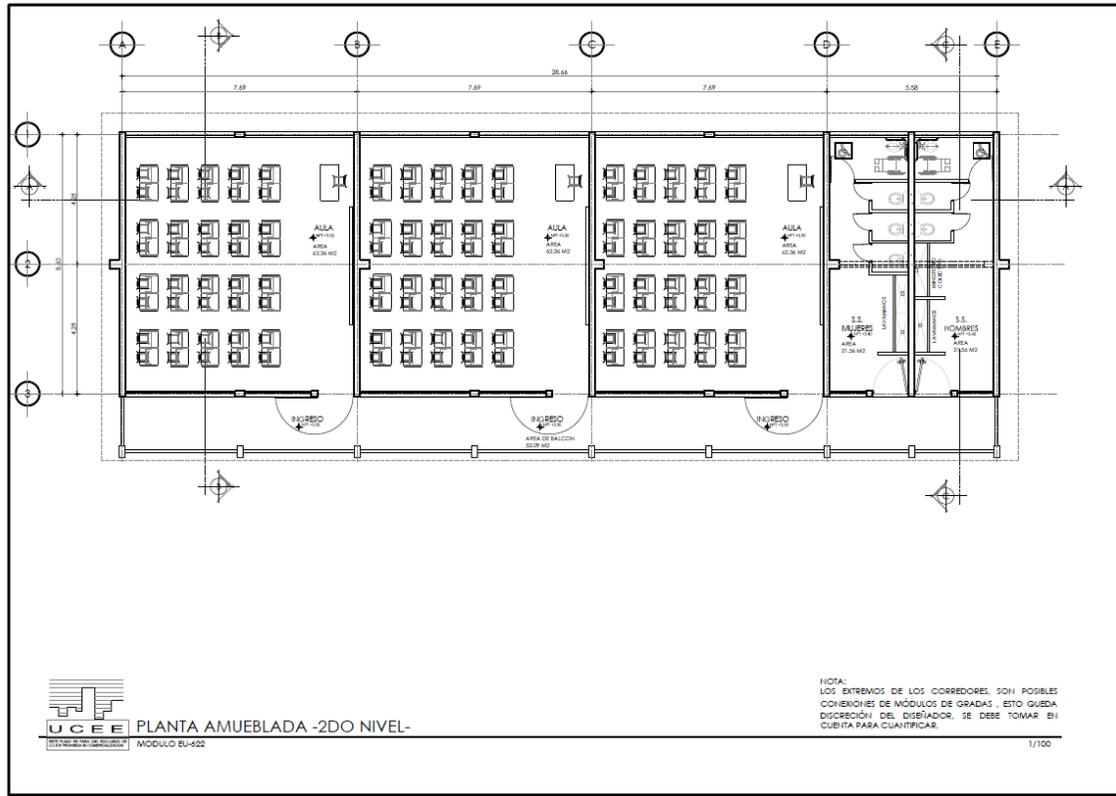
 @uceeciv
2ª calle "A" 8-49, zona 10, Guatemala, teléfono 2245-1212
www.ucee.gov.gt

 /Unidad de Construcción de Edificios del Estado

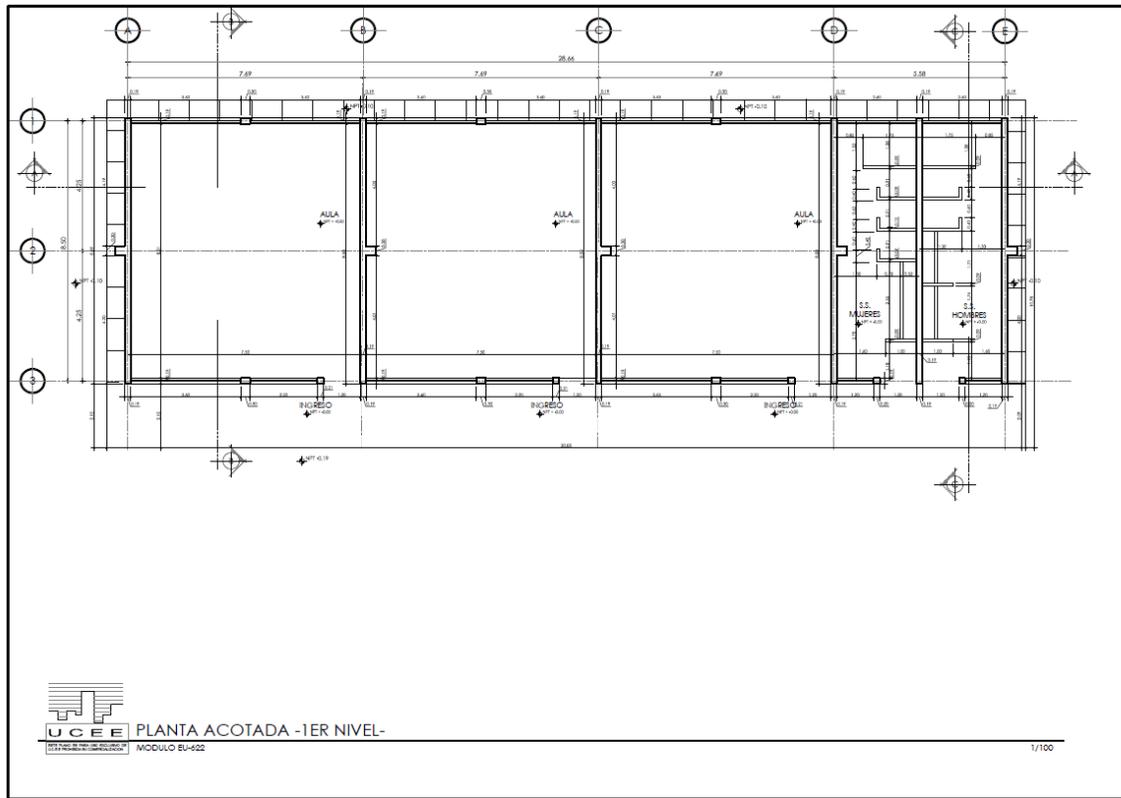

Página 1 de 2

Arquitectura original módulo EU-622

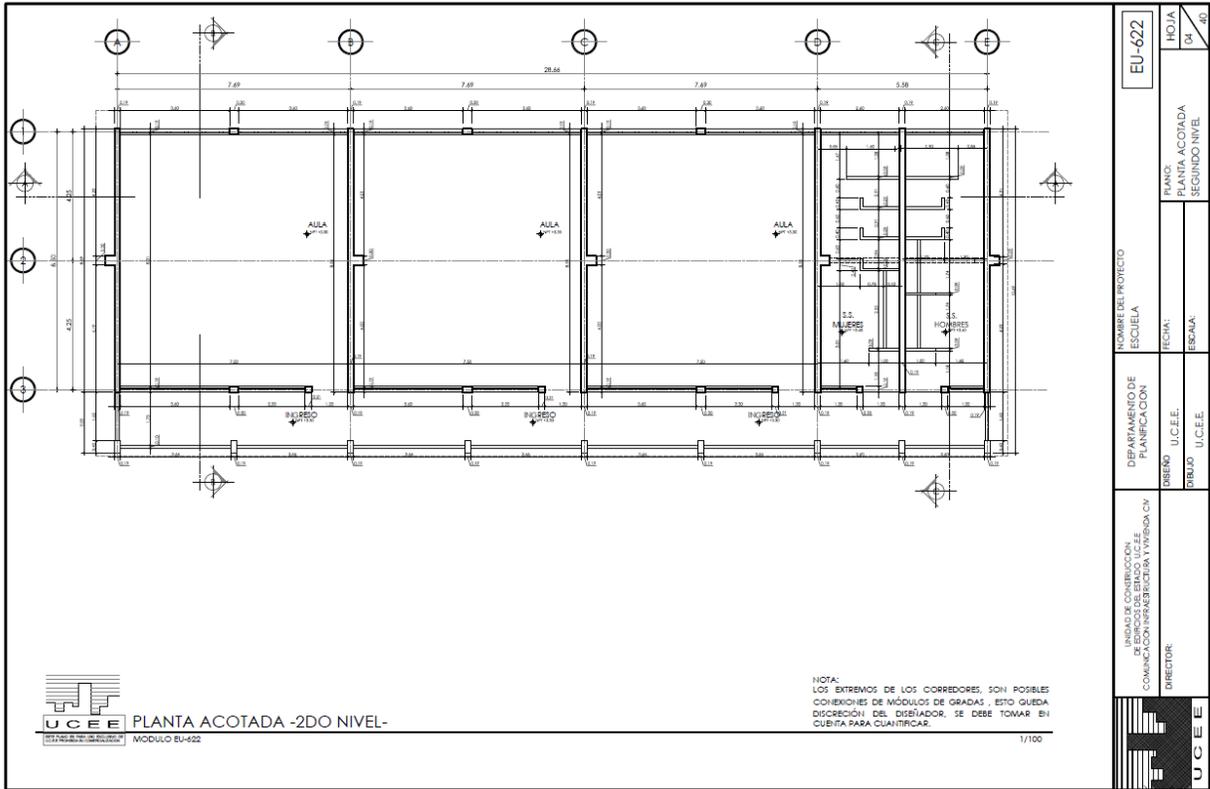




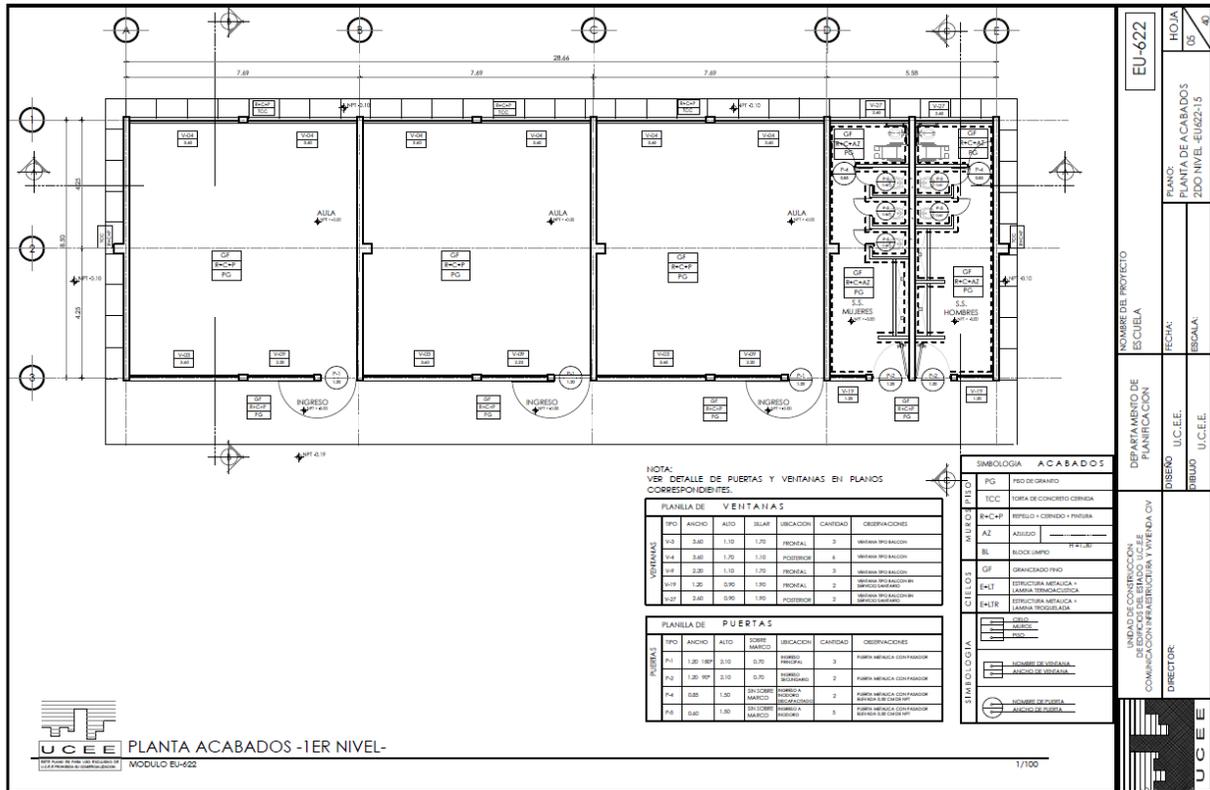
EU-622		NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA		HOJA 02 / 40	
UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CONEXIÓN INSTRUCTIVA Y VISUAL CV		DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		PLANO PLANTA AMUEBLADA 1ER NIVEL-EU-622-15	
DIRECTOR		DISEÑO U.C.E.E. DIBUJO U.C.E.E.		FECHA: ESCALA:	
UC EE		UC EE		UC EE	



EU-622		NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA		HOJA 03 / 40	
UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CONEXIÓN INSTRUCTIVA Y VISUAL CV		DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		PLANO PLANTA ACOTADA PRIMER NIVEL	
DIRECTOR		DISEÑO U.C.E.E. DIBUJO U.C.E.E.		FECHA: ESCALA:	
UC EE		UC EE		UC EE	



EU-622		HOJA 05 / 60	
NOMBRE DEL PROYECTO ESUELA		PLANO: PLANTA ACOTADA SEGUNDO NIVEL	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		FECHA: ESCALA:	
DISEÑO U.C.E.E.		DIRECCION: U.C.E.E.	
UNIDAD DE COMUNICACION DE EDIFICIOS DEL ENLACE U.C.E.E. COMUNICACION INGENIERERIA Y VENDA CIV		DIRECCION: U.C.E.E.	
UCEE		UCEE	



PLANTILLA DE VENTANAS

TIPO	ANCHO	ALTO	UBICACION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
V10	3,00	1,75	FRONTAL	3	VENTANA BIFASICA
V14	3,00	1,75	POSTERIOR	3	VENTANA BIFASICA
V16	2,00	1,75	FRONTAL	3	VENTANA BIFASICA
V19	1,50	0,90	FRONTAL	2	VENTANA BIFASICA
V27	2,00	0,90	POSTERIOR	2	VENTANA BIFASICA

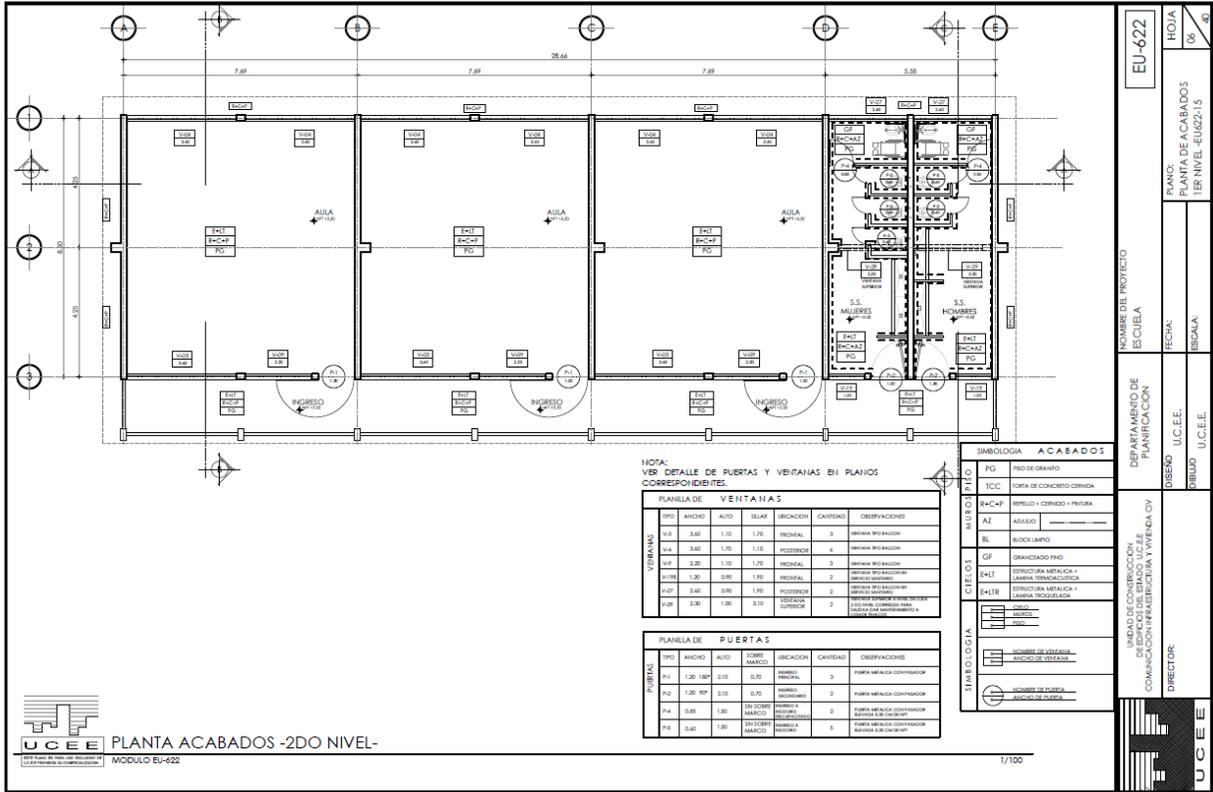
PLANTILLA DE PUERTAS

TIPO	ANCHO	ALTO	UBICACION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
P1	1,20	2,10	0,30	3	Puerta metalica con forjador
P2	1,20	2,10	0,30	2	Puerta metalica con forjador
P4	0,80	1,50	EN CORREDORES	2	Puerta metalica con forjador
P6	0,80	1,50	EN CORREDORES	1	Puerta metalica con forjador

SIMBOLOGIA ACABADOS

TIPO	ACABADO
PG	PIEDRA GRANITO
CC	TIPO DE CONCRETO CEMENTA
B+C+P	REFLEJO + CEROSO + PINTURA
AZ	AZULEJO
BL	BLOQUE LIGERO
GF	GRANITADO PINTADO
MT	ESTRUCTURA METALICA + LAMINA TENSILACONDUCTIVA
MT+R	ESTRUCTURA METALICA + LAMINA TENSILACONDUCTIVA + REFORZADA

EU-622		HOJA 05 / 60	
NOMBRE DEL PROYECTO ESUELA		PLANO: PLANTA ACABADOS 2DO NIVEL EU/622-15	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		FECHA: ESCALA:	
DISEÑO U.C.E.E.		DIRECCION: U.C.E.E.	
UNIDAD DE COMUNICACION DE EDIFICIOS DEL ENLACE U.C.E.E. COMUNICACION INGENIERERIA Y VENDA CIV		DIRECCION: U.C.E.E.	
UCEE		UCEE	



NOTA:
VER DETALLE DE PUERTAS Y VENTANAS EN PLANOS
CORRESPONDIENTES.

PLANILLA DE VENTANAS							
VENTANAS	TIPO	ANCHO	ALTO	ALAPA	UBICACION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
V01	3x3	3,40	1,10	1,70	FRENAL	3	VENTANA W/ BALCON
V02	3x4	3,40	1,10	1,10	POSTERIOR	6	VENTANA W/ BALCON
V03	3x4	3,20	1,10	1,70	FRENAL	3	VENTANA W/ BALCON
V04	3x4	3,20	0,90	1,90	FRENAL	3	VENTANA W/ BALCON
V05	3x3	3,40	0,90	1,90	POSTERIOR	3	VENTANA W/ BALCON
V06	3x3	3,20	1,00	3,10	POSTERIOR	3	VENTANA W/ BALCON

PLANILLA DE PUERTAS							
PUERTAS	TIPO	ANCHO	ALTO	TIPO MARCO	UBICACION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
P01	1,20	1,80	2,10	0,70	FRENAL	3	PUERTA METALICA CONTRAFUEGO
P02	1,20	1,80	2,10	0,70	FRENAL	2	PUERTA METALICA CONTRAFUEGO
P03	0,80	1,80	1,80	0,70	FRENAL	3	PUERTA METALICA CONTRAFUEGO
P04	0,80	1,80	1,80	0,70	FRENAL	3	PUERTA METALICA CONTRAFUEGO

SIMBOLOGIA ACABADOS	
PG	PRO DE GRANITO
TCC	TORTA DE CONCRETO CRUDA
SC+CF	MEZCLA Y CEMENTO + FERRASA
AZ	AZULEJO
SL	BLOCK LAMP
GF	GRANITADO FRO
EMT	ESTRUCTURA METALICA + LAMINA TERNOCALCOTICA
SM+LW	ESTRUCTURA METALICA + LAMINA TROQUELEADA



PLANTA ACABADOS -2DO NIVEL-
MODULO EU-622

1/100

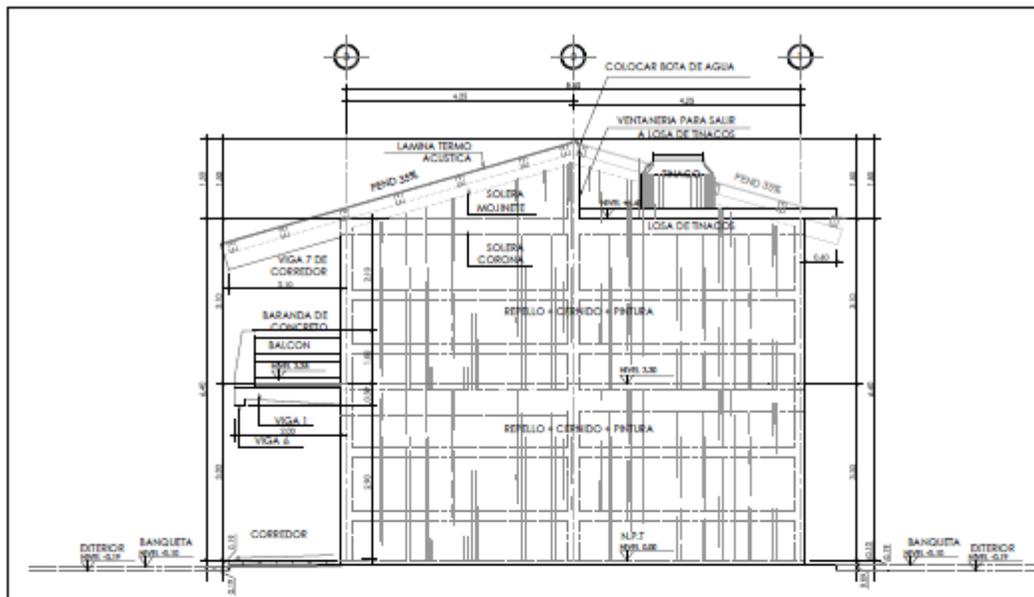
EU-622	
HOJA	06
PLANO: PLANTA DE ACABADOS 1ER NIVEL -EU622-15	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	FECHA:
ESQUEMA	BOCALA:
DISEÑO	U.C.E.E.
TRAZO	U.C.E.E.
NOMBRE DEL PROYECTO: ESCUELA NOMBRE DEL COMISIONADO: DEDICADOS DEL BARRIO U.C.E.E. COMISIONADO: INGENIERIA Y VENTA, CV DIRECTOR:	




ELEVACIONES ARQUITECTONICAS
 MODULO EU-622

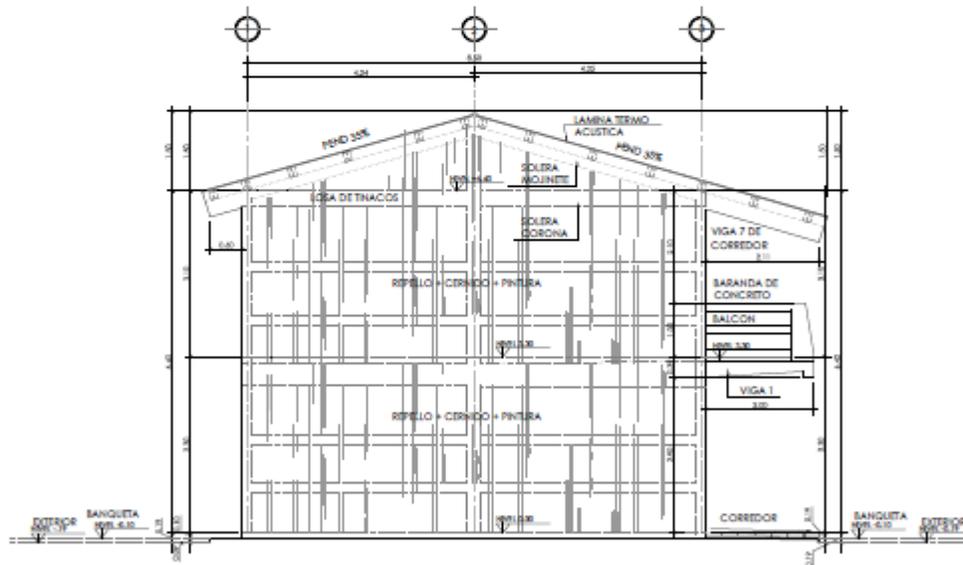
1/100

EU-622		HOJA	40
NOMBRE DEL PROYECTO		PLANO:	ELEVACIONES ARC. LONGITUDINALES EU-622-15
ESCUELA		FECHA:	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		DISEÑO:	U.C.E.E.
UNIDAD DE CONSERVACION DE BARRIOS DE ERANDU U.C.E.E. COMUNICACION Y TRANSACCIONES		DIBUJO:	U.C.E.E.
DIRECTOR:			



ELEVACION DERECHA

ESCALA 1/75



ELEVACION IZQUIERDA

ESCALA 1/75

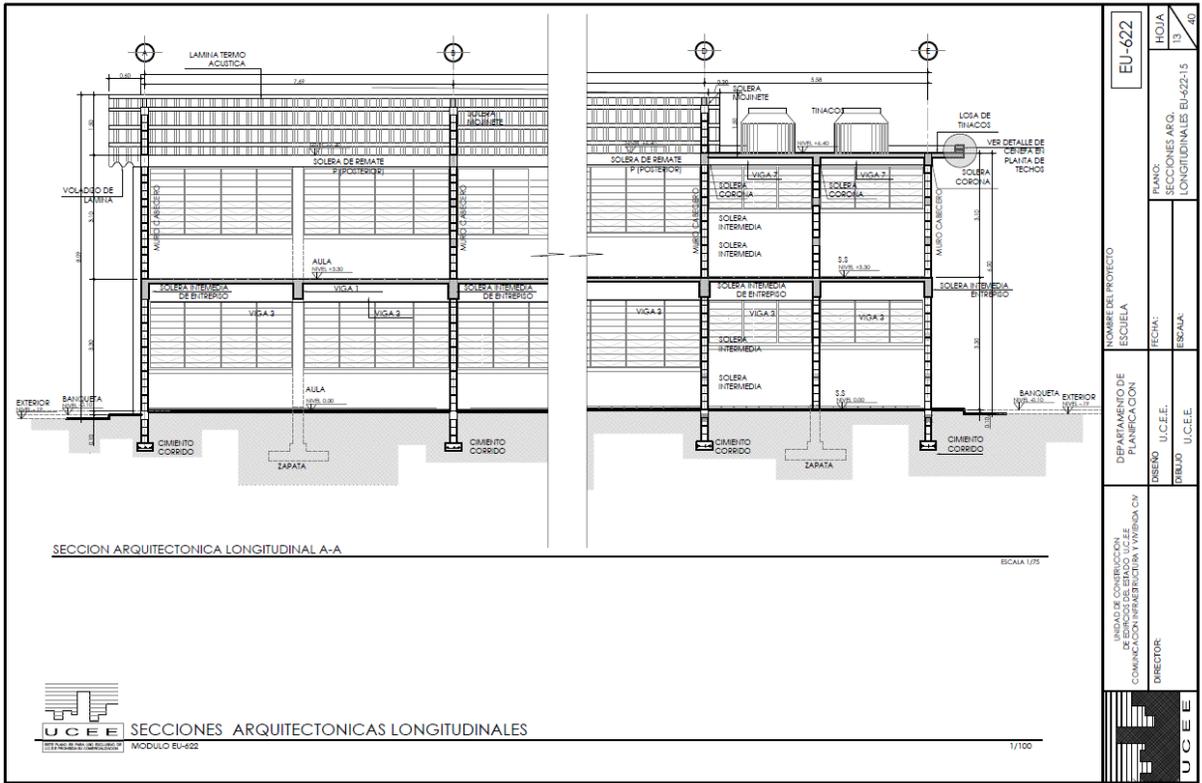


ELEVACIONES ARQUITECTONICAS

MODULO EU-622

1/75

	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIV	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA	EU-622
	DIRECTOR:	DISEÑO U.C.E.E. DIBUJO U.C.E.E.	FECHA: ESCALA:	PLANO: ELEVACIONES ARQ. TRANSVERSALES EU-622-15



SECCION ARQUITECTONICA LONGITUDINAL A-A

ESCALA 1/75

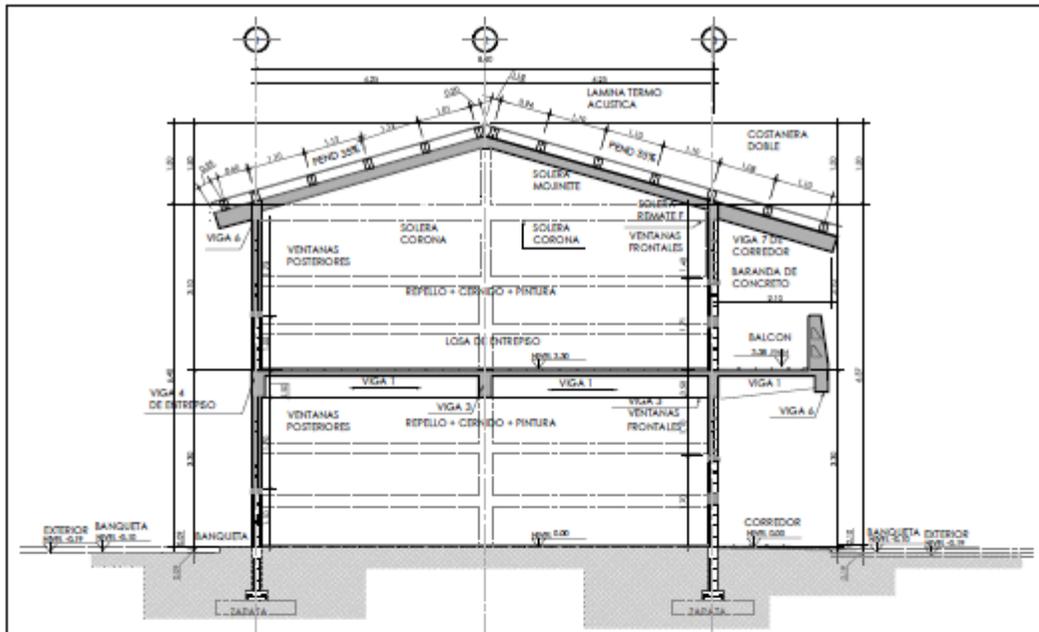


SECCIONES ARQUITECTONICAS LONGITUDINALES

MODULO EU-622

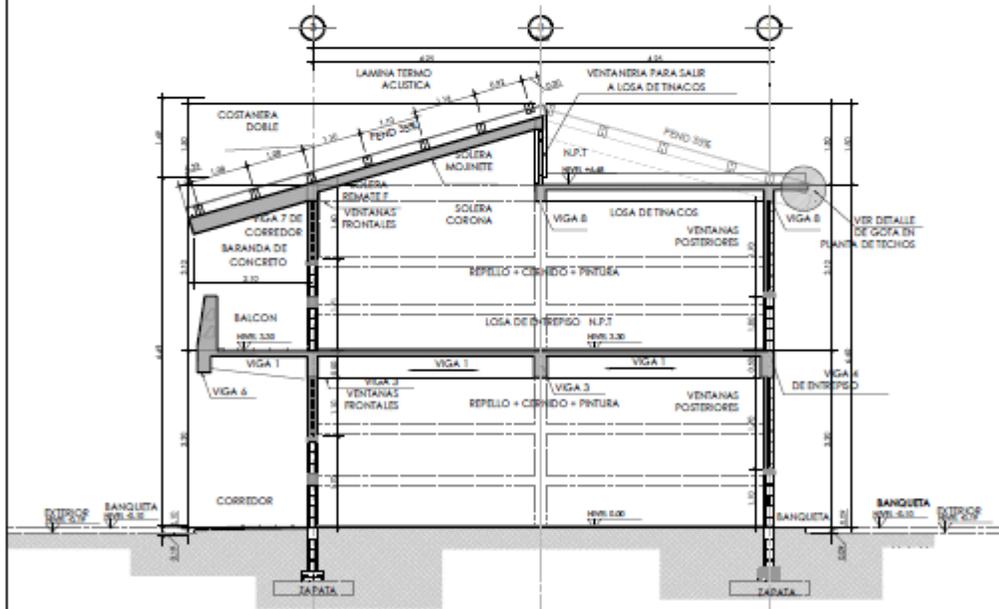
1/100

EU-622		HOJA	13
SECCIONES ARQ.		LONGITUDINALES EU-622-15	
NOMBRE DEL PROYECTO		FECHA:	SECCION:
ESCUOLA		U.C.E.E.	U.C.E.E.
DISEÑO		U.C.E.E.	U.C.E.E.
DIRECCION		U.C.E.E.	



SECCION ARQUITECTONICA TRANSVERSAL B-B

ESCALA 1:10



SECCION ARQUITECTONICA TRANSVERSAL C-C

ESCALA 1:10

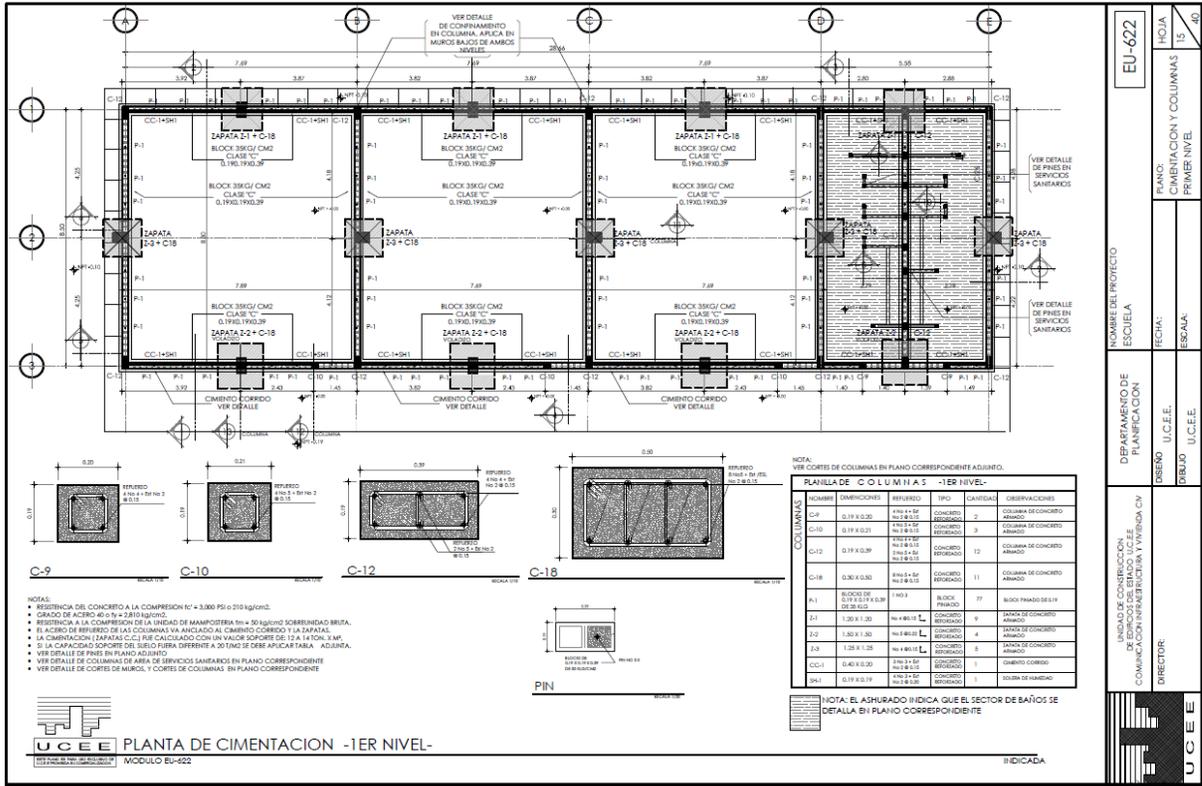


SECCIONES ARQUITECTONICAS TRANSVERSALES

MÓDULO EU-622

INDICADA

	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIVIL	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA	EU-622
	DIRECTOR:	DISEÑO: U.C.E.E. DIBUJO: U.C.E.E.	FECHA: ESCALA:	PLANO: SECCIONES ARQ. TRANSVERSALES EU-622-15



EU-622

HOJA 15

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION

ESCALA: U.C.E.E.

FECHA:

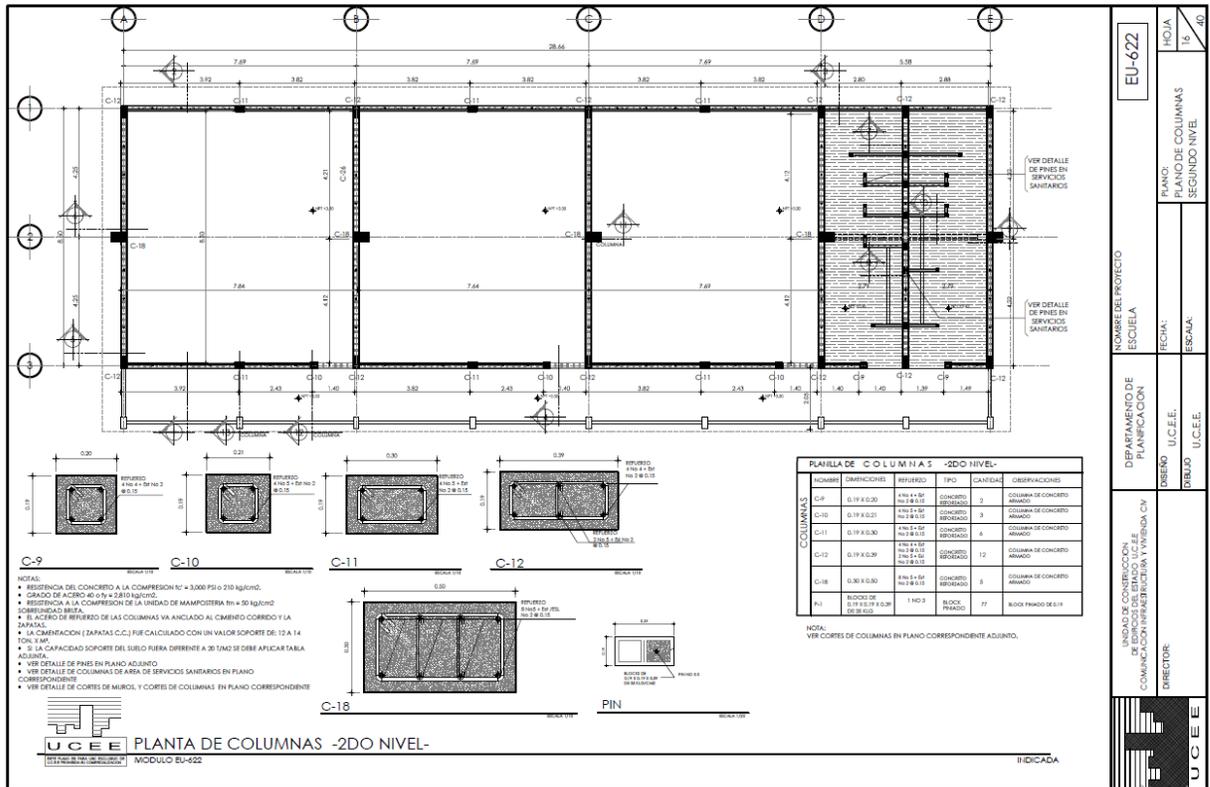
DISEÑO: U.C.E.E.

DIBUJO: U.C.E.E.

COMUNICACION INTERFACIAL Y VEREDA C.V.

DIRECTOR:

U.C.E.E.



EU-622

HOJA 16

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION

ESCALA: U.C.E.E.

FECHA:

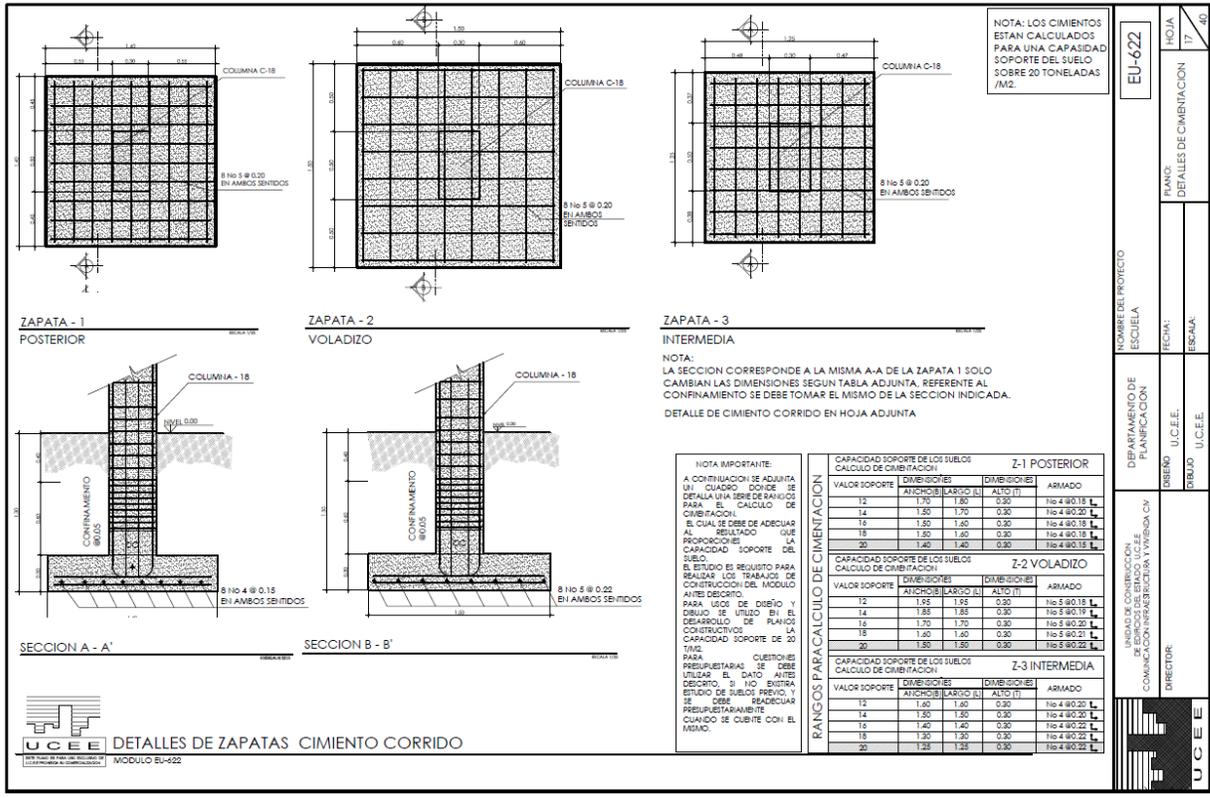
DISEÑO: U.C.E.E.

DIBUJO: U.C.E.E.

COMUNICACION INTERFACIAL Y VEREDA C.V.

DIRECTOR:

U.C.E.E.



NOTA: LOS CIMENTOS ESTAN CALCULADOS PARA UNA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO SOBRE 20 TONELADAS /M2.

ZAPATA - 1 POSTERIOR
ZAPATA - 2 VOLADIZO
ZAPATA - 3 INTERMEDIA

NOTA:
 LA SECCION CORRESPONDE A LA MISMA A-A DE LA ZAPATA 1 SOLO CAMBIAN LAS DIMENSIONES SEGUN TABLA ADJUNTA. REFERENTE AL CONFINAMIENTO SE DEBE TOMAR EL MISMO DE LA SECCION INDICADA.
 DETALLE DE CIMENTO CORRIDO EN HOJA ADJUNTA

NOTA IMPORTANTE:
 A CONTINUACION SE ADJUNTA UN CUADRO DONDE SE DETALLA UNA SERIE DE RANGOS PARA EL CALCULO DE CIMENTACION. EL CUAL SE DEBE ADECUAR AL RESULTADO QUE PROPORCIONEN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO. EL ESTUDIO ES REQUISITO PARA REALIZAR LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION DEL MODELO ANTES DESCRITO.
 PARA USOS DE DISTO DIBUJO SE UTILIZO EN EL DESARROLLO DE PLANOS CONSTRUCTIVOS LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE 20 TONELADAS.
 PARA CUESTIONES PRELIMINARES SE DEBE UTILIZAR EL DATO ANTES DESCRITO. SI NO ENTRA ESTUDIO DE SUELOS PREVIO, SE DEBE READECUAR PRELIMINARMENTE CUANDO SE CUBIEN CON EL MISMO.

CAPACIDAD SOPORTE DE LOS SUELOS CALCULO DE CIMENTACION					
VALOR SOPORTE	DIMENSIONES		DIMENSIONES		ARMADO
	ANCHO (L)	LARGO (L)	ALTO (H)	ALTO (H)	
12	1.70	1.80	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.15
14	1.80	1.70	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.20
16	1.50	1.60	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.15
18	1.60	1.20	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.15
20	1.40	1.40	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.15

CAPACIDAD SOPORTE DE LOS SUELOS CALCULO DE CIMENTACION					
VALOR SOPORTE	DIMENSIONES		DIMENSIONES		ARMADO
	ANCHO (L)	LARGO (L)	ALTO (H)	ALTO (H)	
12	1.75	1.75	0.30	0.30	8 No 5 @ 0.18
14	1.85	1.85	0.30	0.30	8 No 5 @ 0.19
16	1.70	1.70	0.30	0.30	8 No 5 @ 0.20
18	1.60	1.60	0.30	0.30	8 No 5 @ 0.21
20	1.50	1.50	0.30	0.30	8 No 5 @ 0.22

CAPACIDAD SOPORTE DE LOS SUELOS CALCULO DE CIMENTACION					
VALOR SOPORTE	DIMENSIONES		DIMENSIONES		ARMADO
	ANCHO (L)	LARGO (L)	ALTO (H)	ALTO (H)	
12	1.60	1.60	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.20
14	1.50	1.50	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.20
16	1.40	1.40	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.22
18	1.30	1.30	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.22
20	1.25	1.25	0.30	0.30	8 No 4 @ 0.22



DETALLES DE ZAPATAS CIMENTO CORRIDO
 MODULO EU-622

EU-622

HOJA 17 DE 40

PLANOS DE DETALLES DE CIMENTACION

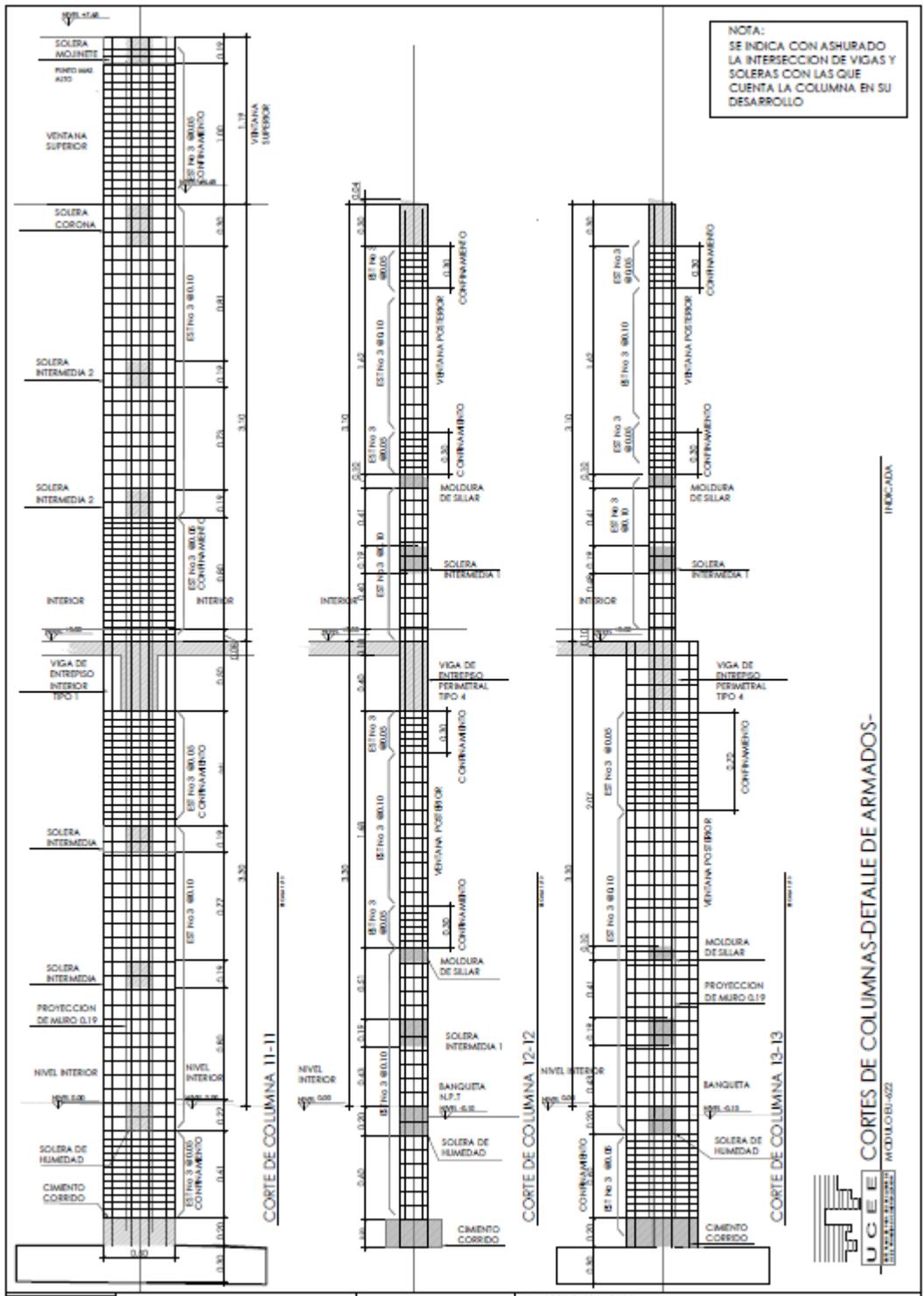
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION

RECTOR: U.C.E.E.

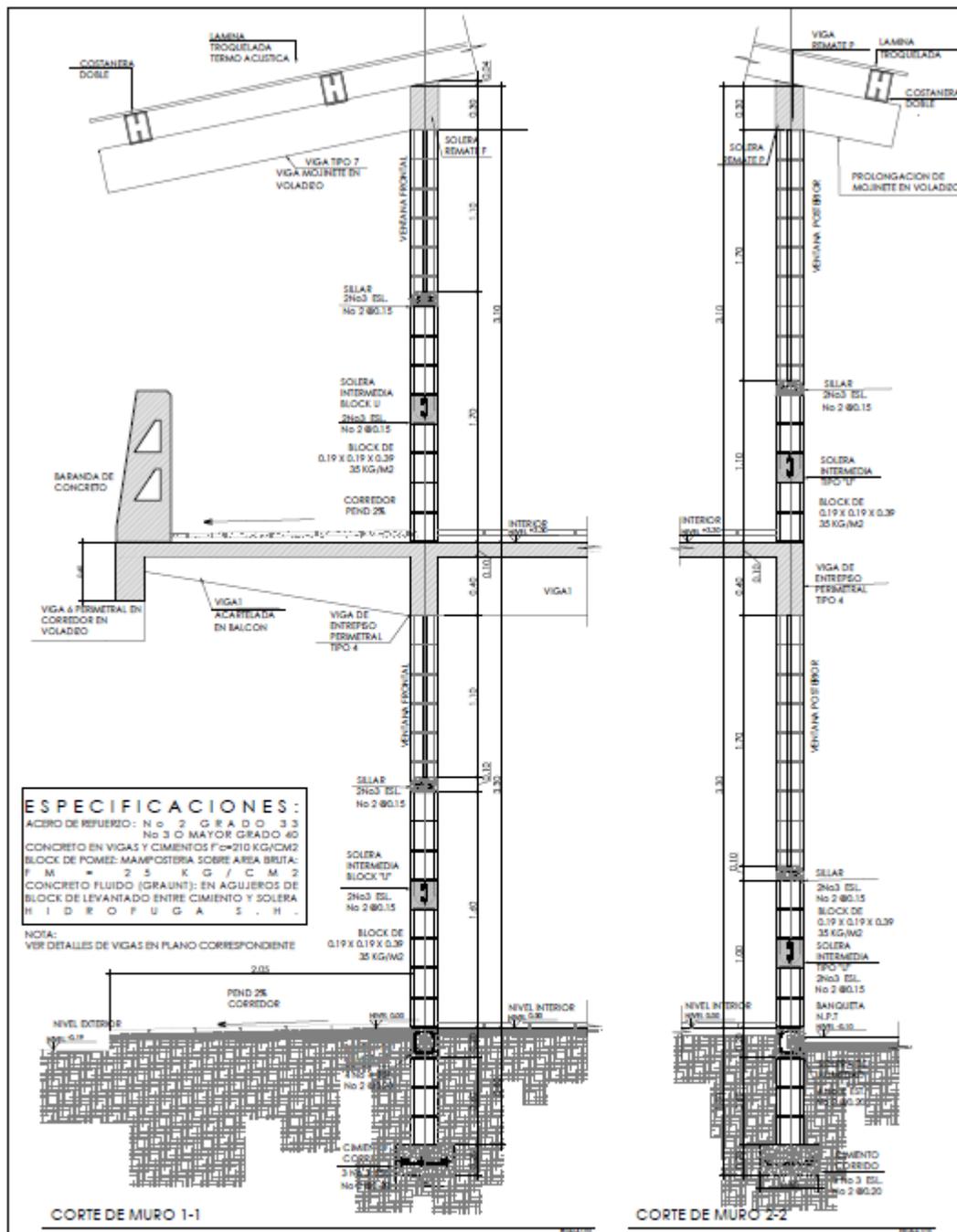
ESCALA: U.C.E.E.

DEPARTAMENTO DE COMUNICACION, INFORMATICA Y WEBGRAFIA

DIRECCION: U.C.E.E.



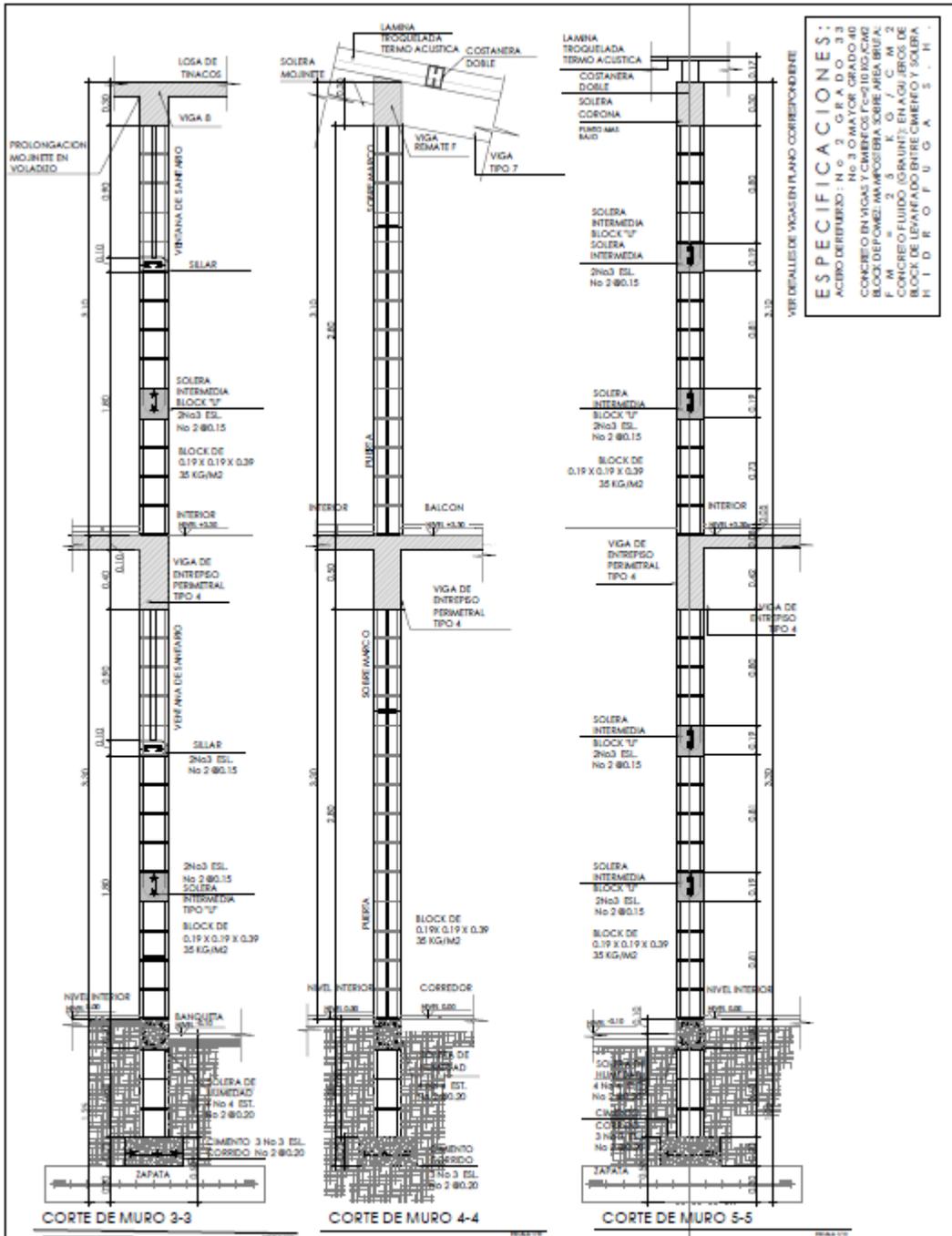
	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIVIL	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA		EU-622
	DIRECTOR:	DISEÑO U.C.E.E. DIBUJO U.C.E.E.	FECHA: ESCALA:	PLANO: DETALLES DE COLUMNAS CORTES	



CORTES DE MURO MODULO EU 622 1/4
 MODULO EU-622

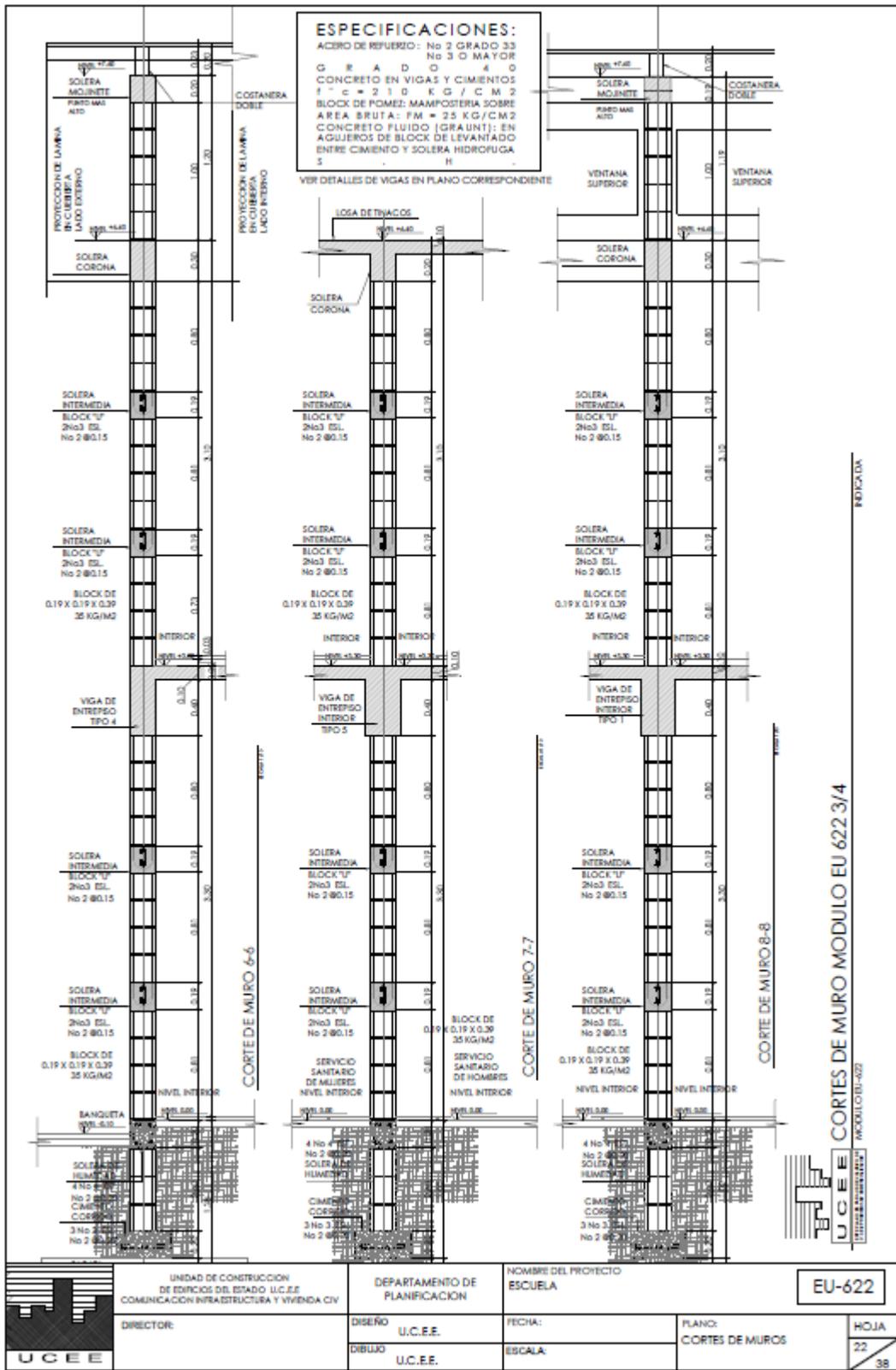
INDICADA

	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO. U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIVIL	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA		EU-622
	DIRECTOR:	DISEÑO U.C.E.E. DIBUJO U.C.E.E.	FECHA: ESCALA:	PLANO: CORTES DE MUROS	



UCEE CORTES DE MURO MODULO EU 622 2/4
 MODULO EU-622 INDICADA

UCEE	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIV	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA	EU-622
	DIRECTOR	DISEÑO U.C.E.E. DIBUJO U.C.E.E.	FECHA: ESCALA:	
				HOJA 21 38

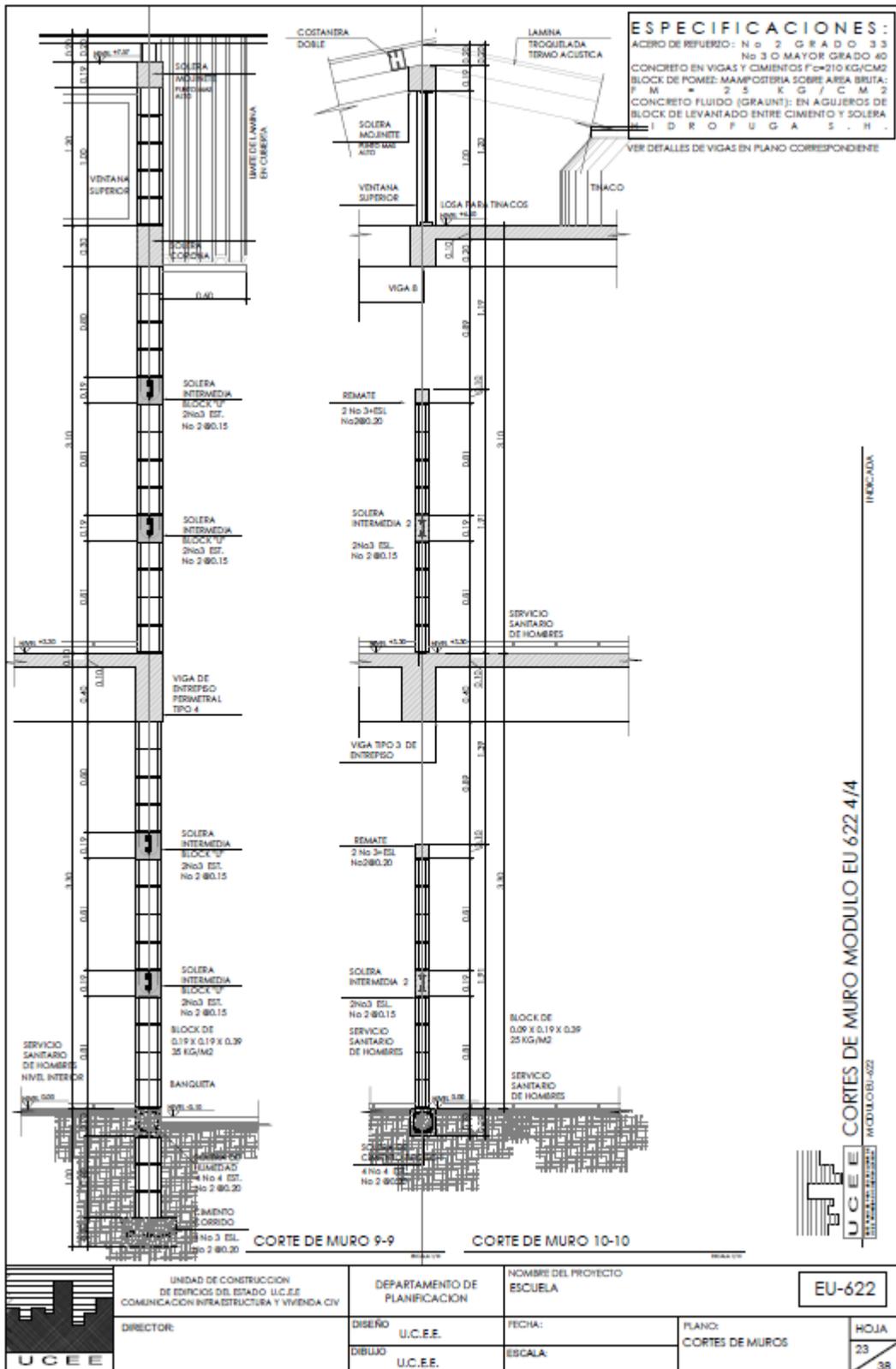


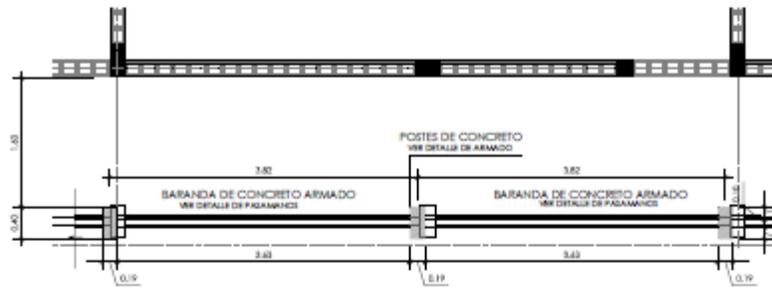
CORTES DE MURO MODULO EU 622 3/4

MODULO EU-622

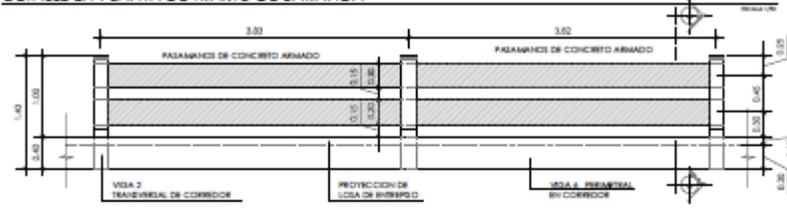


	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIVIL	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA		EU-622
	DIRECTOR:	DISEÑO: U.C.E.E. DIBUJO: U.C.E.E.	FECHA:	PLANO: CORTES DE MUROS	HOJA 22 38

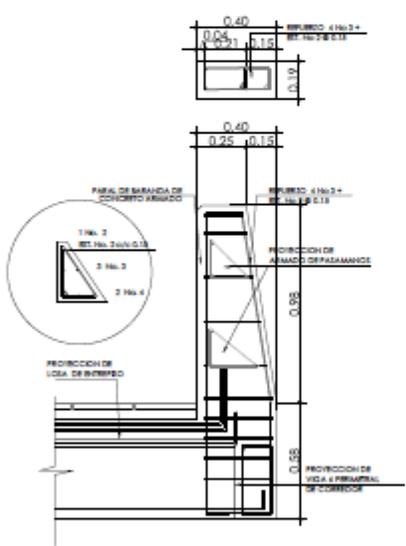




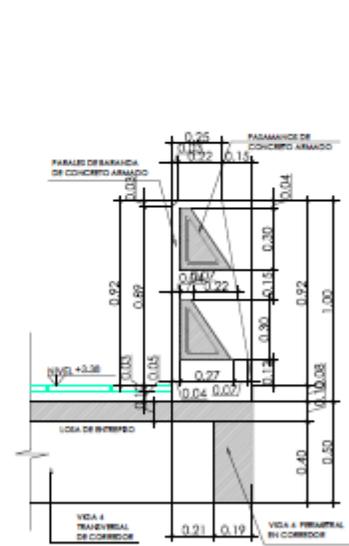
DETALLE EN PLANTA DE TRAMO DE BARANDA



DETALLE EN ELEVACION DE TRAMO DE BARANDA



SECCION TRANSVERSAL A-A DE BARANDA
DETALLE DE ARMADO



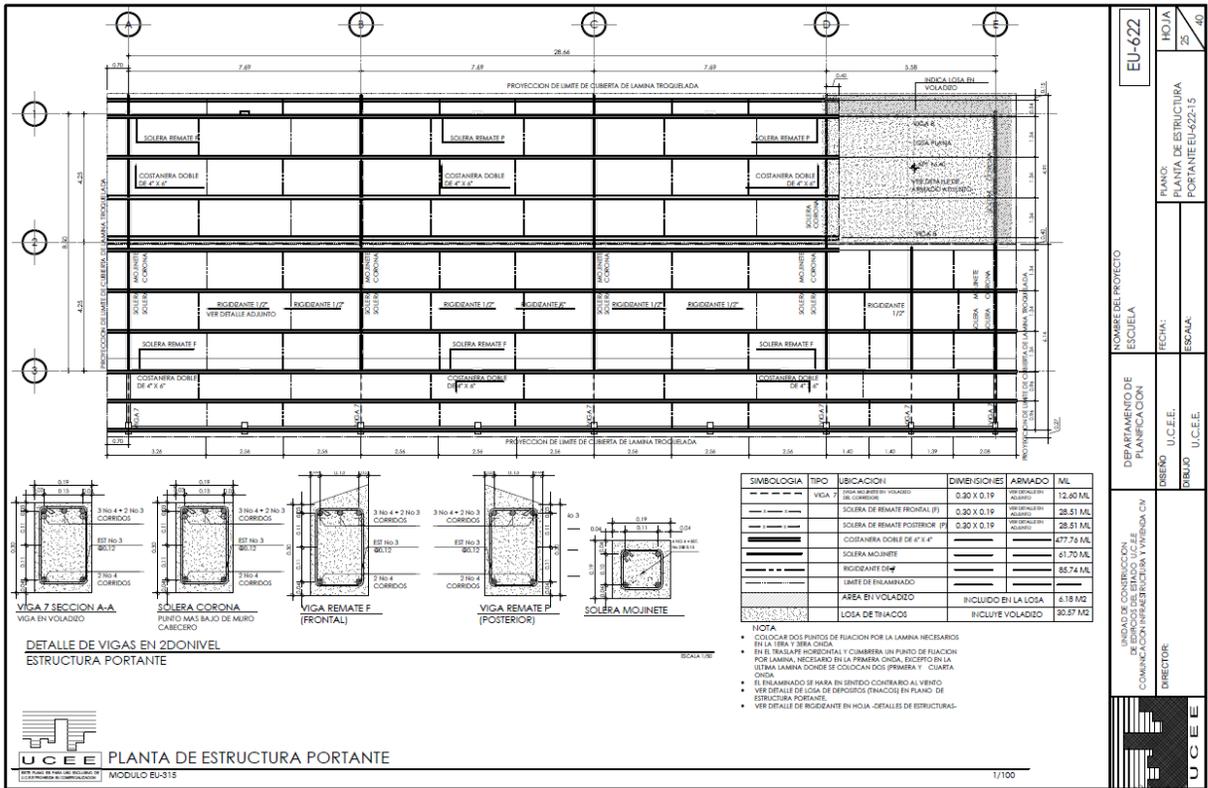
SECCION TRANSVERSAL A-A DE BARANDA



DETALLE DE BARANDA EN CORREDOR 2DO NIVEL

INDICADA

	UNIDAD DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS DEL ESTADO U.C.E.E. COMUNICACION INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA CIV	DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION	NOMBRE DEL PROYECTO ESCUELA		EU-622
	DIRECTOR:	DISEÑO: U.C.E.E. DIBUJO: U.C.E.E.	FECHA:	PLANO: DETALLES DE BARANDA SEGUNDO NIVEL	



EU-622

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION

ESUELA

FECHA: U.C.E.E.

UBICACION: U.C.E.E.

DISEÑO: U.C.E.E.

REVISADO: U.C.E.E.

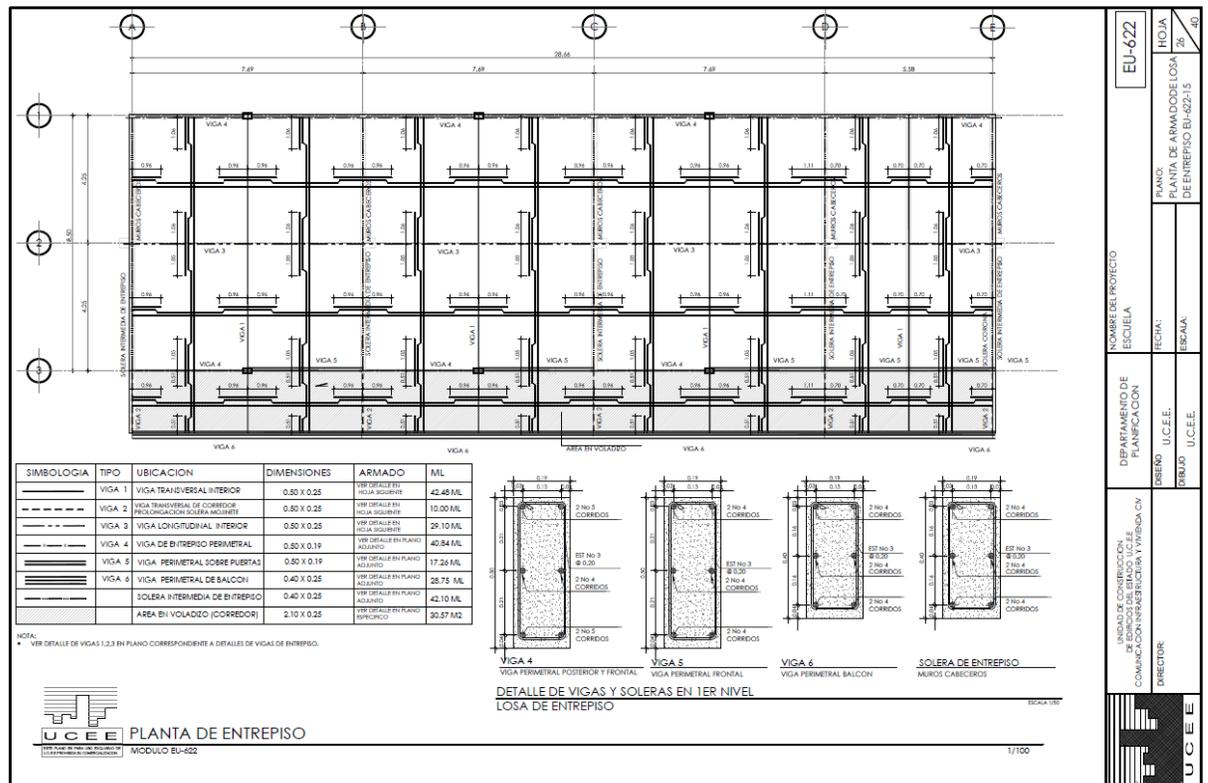
UNIDAD DE CONSTRUCCION DE BARRIO U.C.E.E. COMANDO EN JEFE: INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: U.C.E.E.

PLANO: PLANTA DE ESTRUCTURA PORTANTE EU-622-15

HOJA: 25

40



EU-622

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION

ESUELA

FECHA: U.C.E.E.

UBICACION: U.C.E.E.

DISEÑO: U.C.E.E.

REVISADO: U.C.E.E.

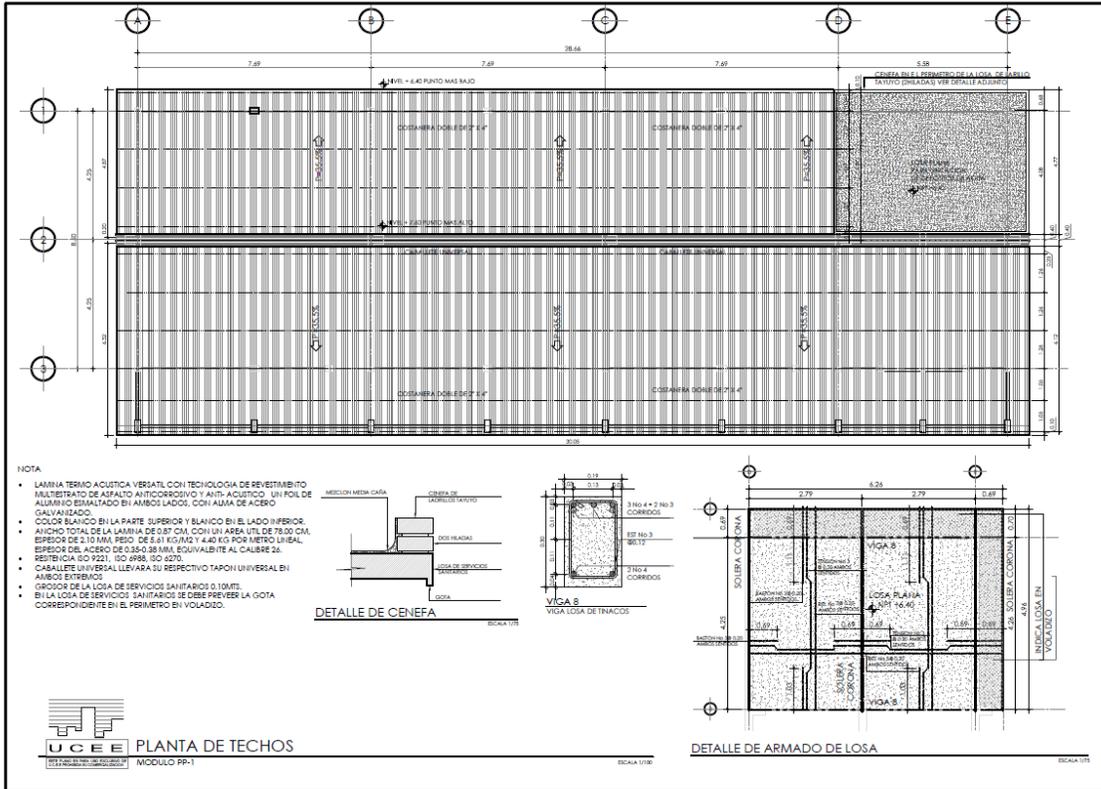
UNIDAD DE CONSTRUCCION DE BARRIO U.C.E.E. COMANDO EN JEFE: INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: U.C.E.E.

PLANO: PLANTA DE ENTREPISO EU-622-16

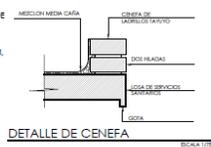
HOJA: 26

40



NOTA

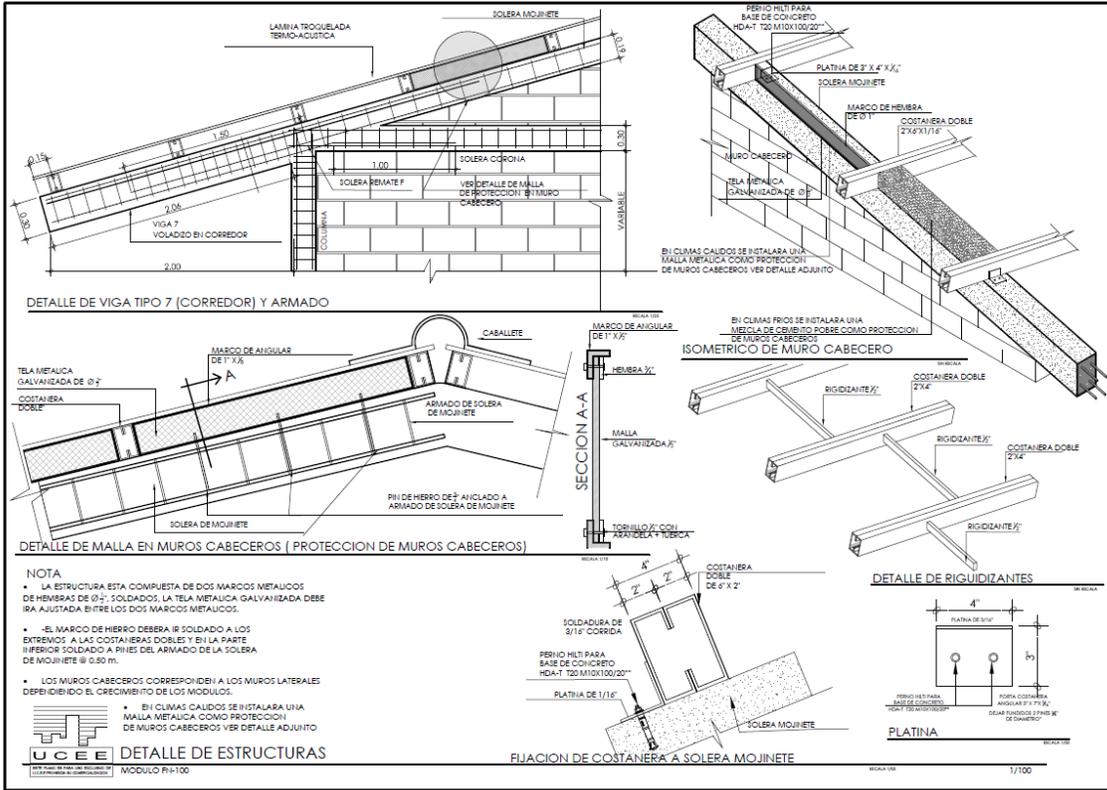
- LAMINA TERMO ACUSTICA VERSATIL CON TECNOLOGIA DE REVESTIMIENTO MULTISTRATO DE ASFALTO ANTICORROSIVO Y ANTI-ACUSTICO. UN FOL DE ALUMINIO ESMALTADO EN AMBOS LADOS, CON ALMA DE ACERO GALVANIZADO.
- COLOR BLANCO EN LA PARTE SUPERIOR Y BLANCO EN EL LADO INFERIOR.
- ANCHO TOTAL DE LA LAMINA DE 0.97 CM. CON UN AREA UTIL DE 76.50 CM². ESPESOR DE 2.10 MM. PESO DE 3.61 KG/M² Y 4.40 KG POR METRO LINEAL.
- ESPESOR DEL ACERO DE 0.35-0.38 MM. EQUIVALENTE AL CALIBRE 26.
- RESISTENCIA ISO 9221, ISO 4988, ISO 4270.
- CABALLETE UNIVERSAL LLEVARA SU RESPECTIVO TAPON UNIVERSAL EN AMBOS EXTREMOS.
- GROSOR DE LA LOSA DE SERVICIOS SANITARIOS 0.10MTS.
- EN LA LOSA DE SERVICIOS SANITARIOS SE DEBE PREVER LA GOTA CORRESPONDIENTE EN EL PERIMETRO EN VOLADIZO.



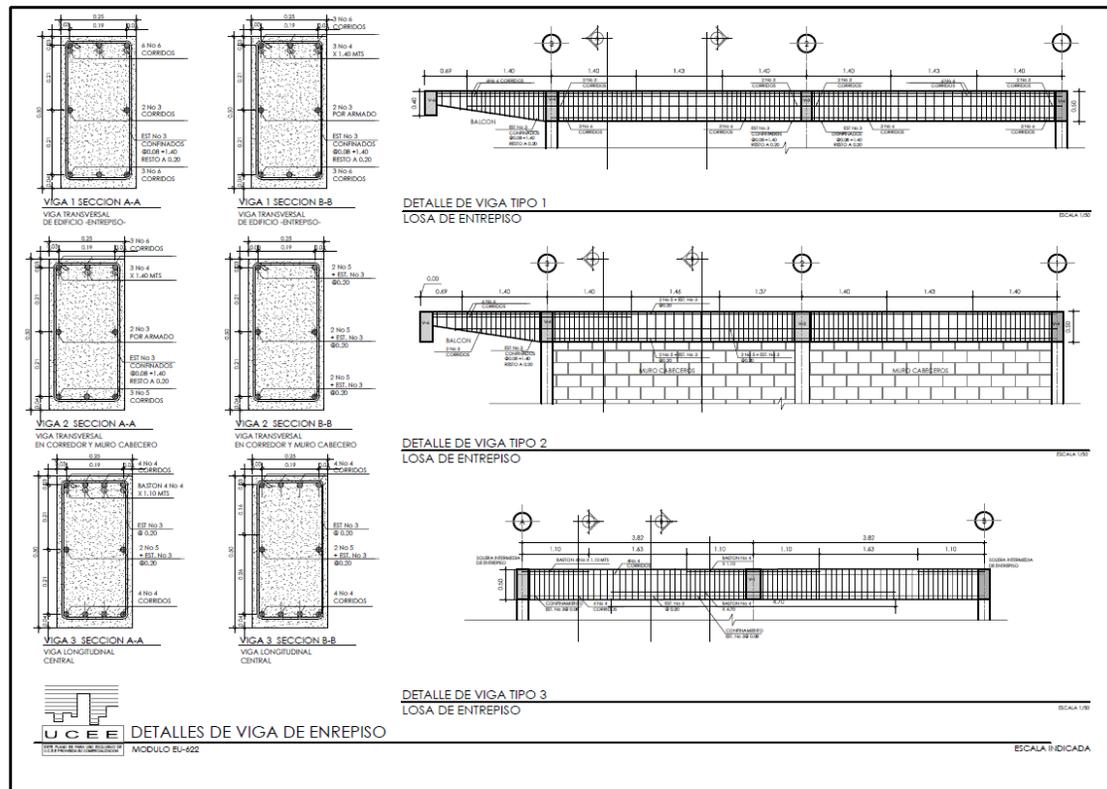
UCEE PLANTA DE TECHOS
 MODULO PP-1

DETALLE DE ARMADO DE LOSA
 ESCALA 1/10

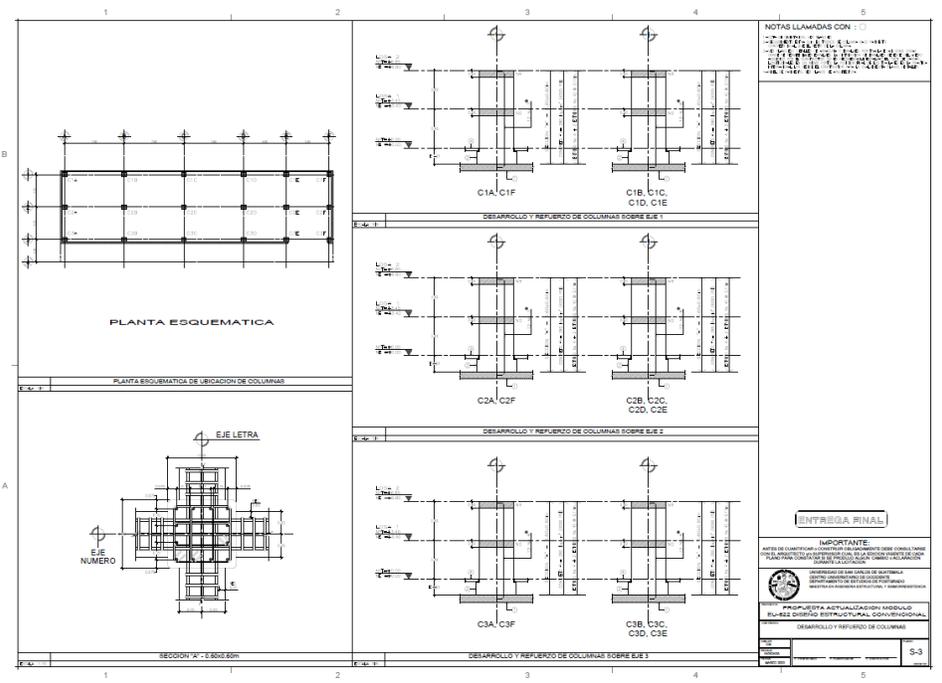
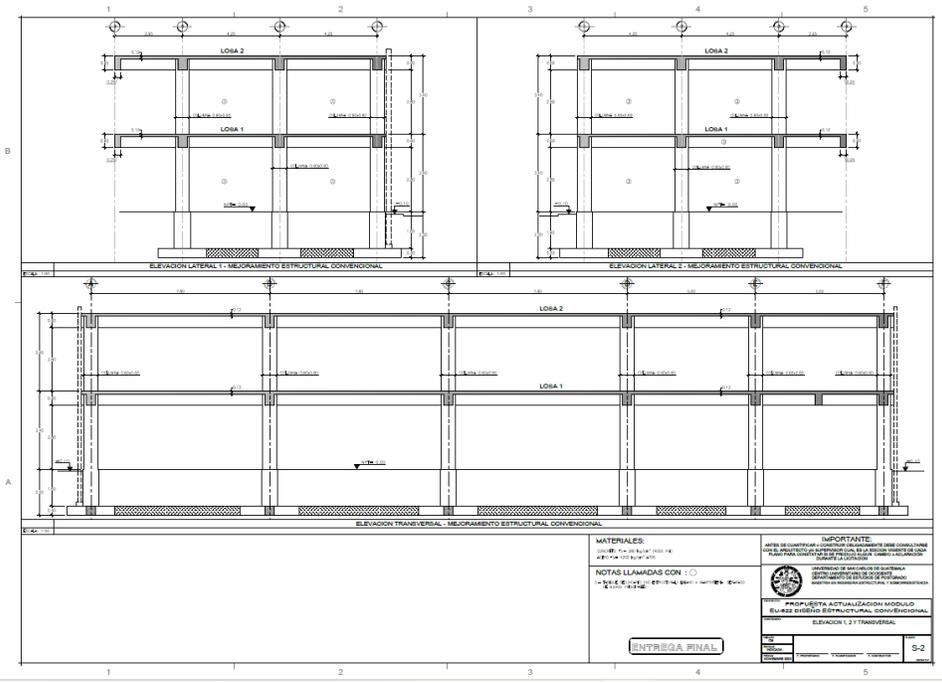
NOMBRE DEL PROYECTO ESQUEJA		EU-622	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		PLANO: PLANTA DE TECHOS	
DISEÑO: U.C.E.E. DIRECCION: U.C.E.E.		FECHA: ESCALA:	
INDICACION: ESQUEJA DE COMUNICACION DE SERVICIOS SANITARIOS Y TUBERIA EN		HOJA: 27 / 40	
DIRECCION: UCEE			

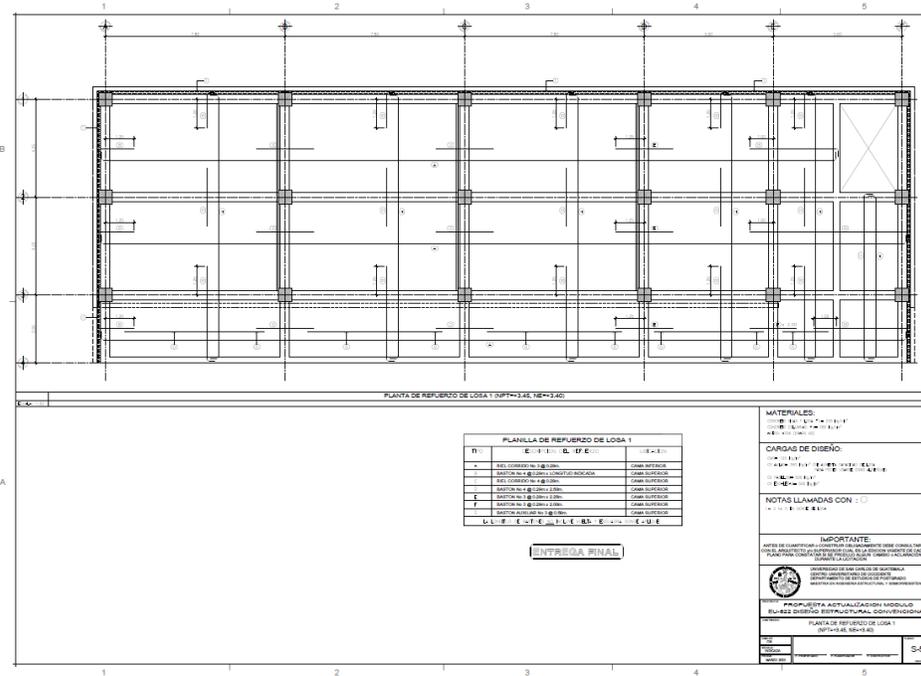
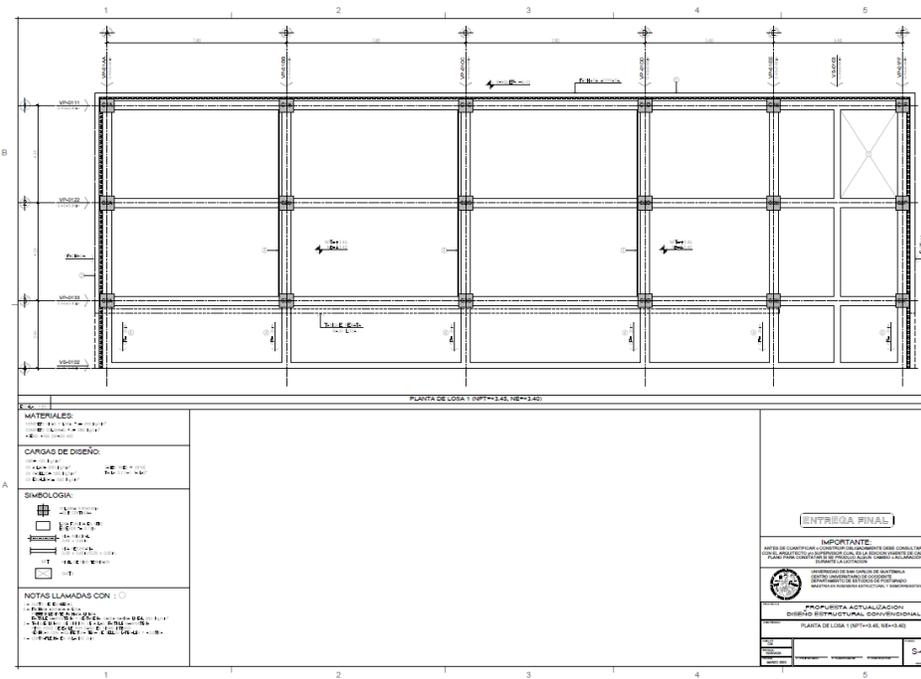


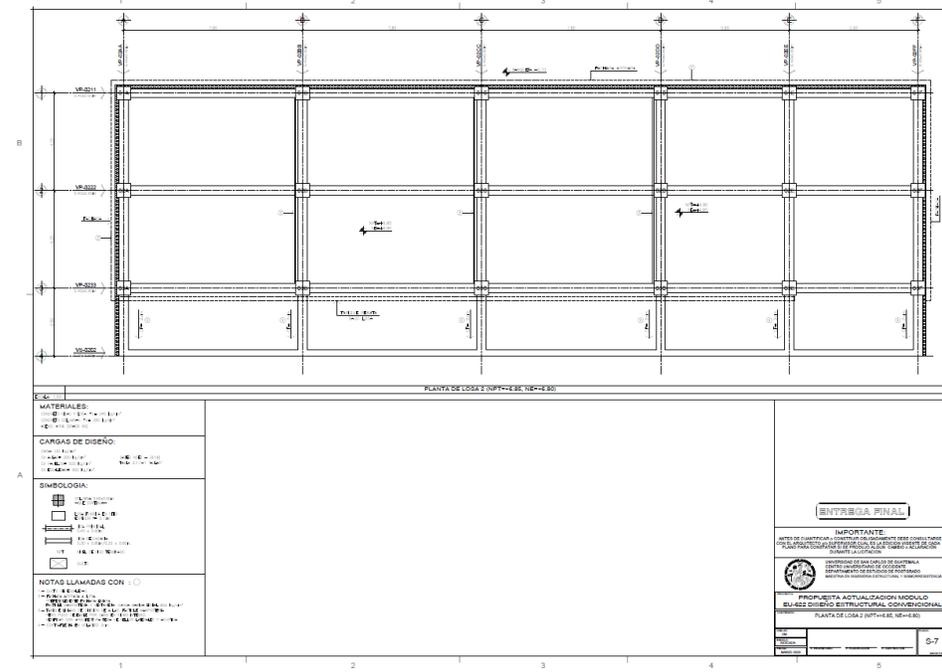
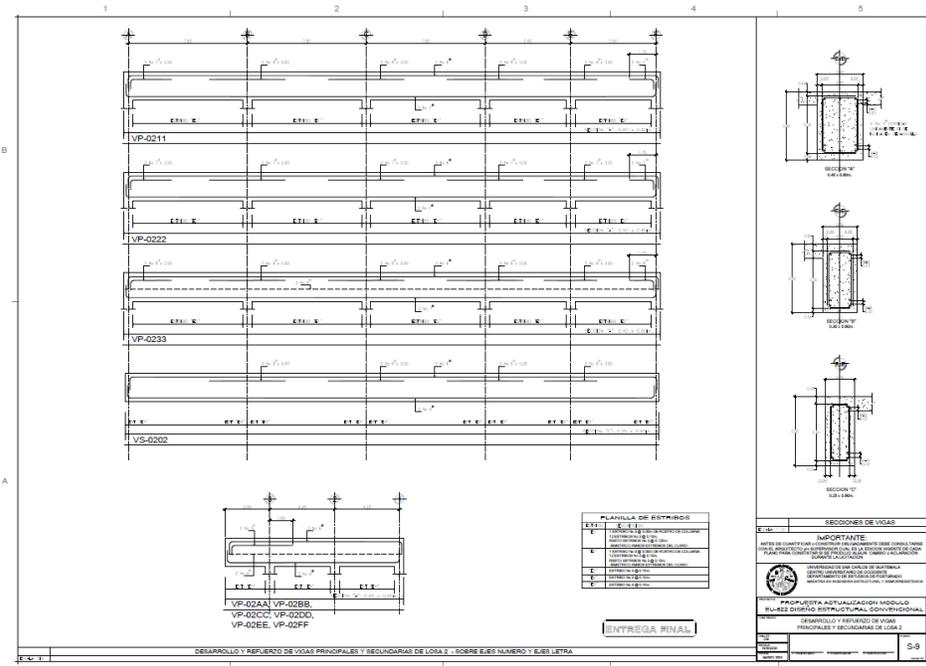
EU-622	HOJA	29	40
NOMBRE DEL PROYECTO		PLANO: DETALLES DE ESTRUCTURAS CERRAMIENTOS EU-622-1-15	
ESQUELA		FECHA:	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		ESCALA:	
DISEÑO		U.C.E.E.	
DIBUJO		U.C.E.E.	
INDICADOR DE CONSTRUCCION DE EDIFICIO DEL BANDO U.C.E.E. COMUNICACION INTERPRETATIVA Y VISUALIZA. CN		DIRECTOR:	
U.C.E.E.		U.C.E.E.	

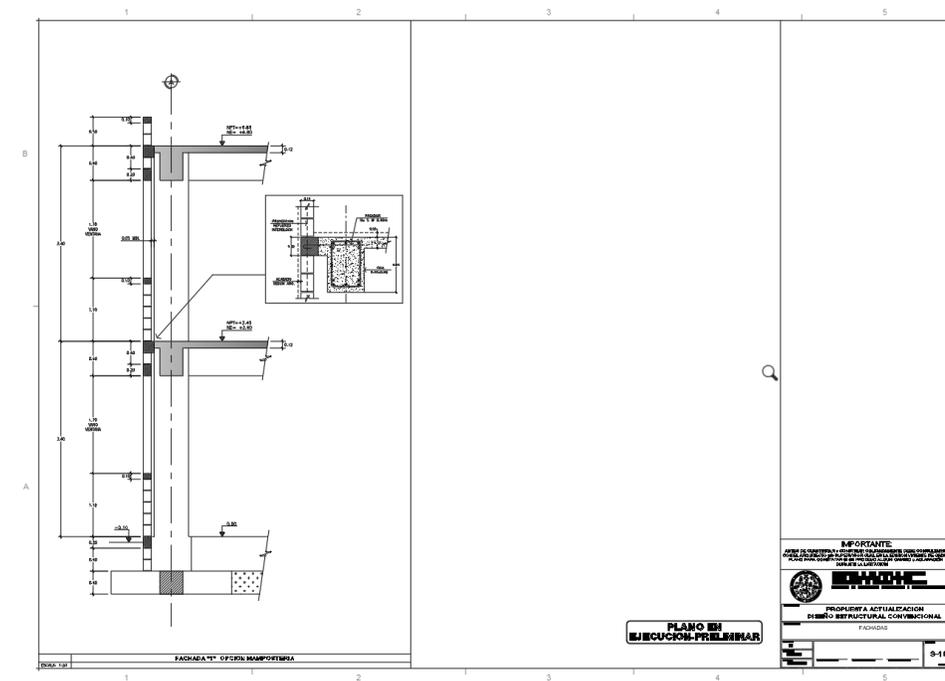
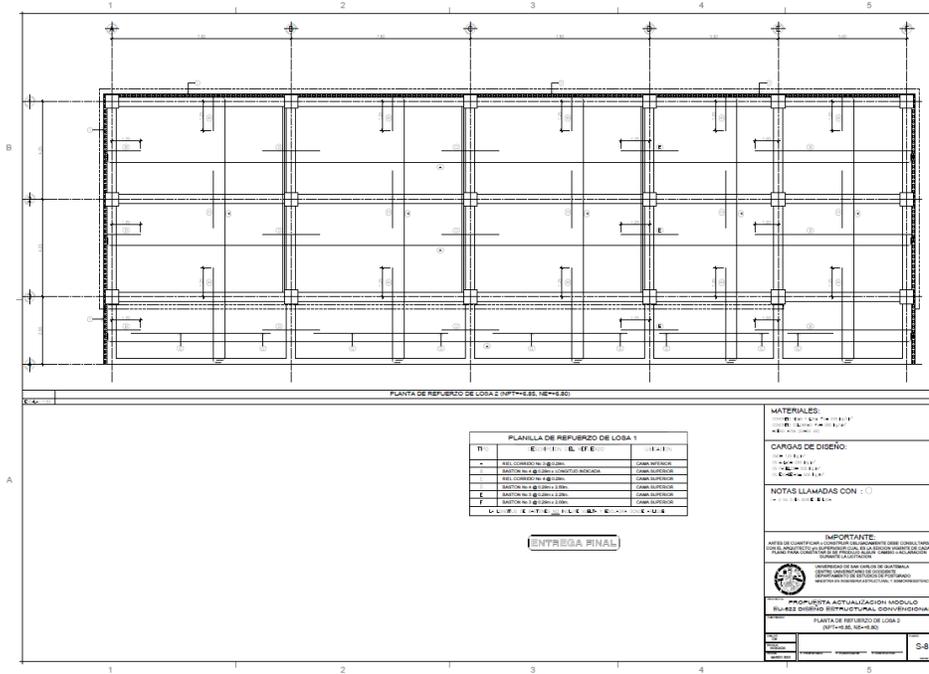


EU-622	HOJA	29	40
NOMBRE DEL PROYECTO		PLANO: DETALLES DE ESTRUCTURAS Y VIGAS EU-622-1-15	
ESQUELA		FECHA:	
DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION		ESCALA:	
DISEÑO		U.C.E.E.	
DIBUJO		U.C.E.E.	
INDICADOR DE CONSTRUCCION DE EDIFICIO DEL BANDO U.C.E.E. COMUNICACION INTERPRETATIVA Y VISUALIZA. CN		DIRECTOR:	
U.C.E.E.		U.C.E.E.	



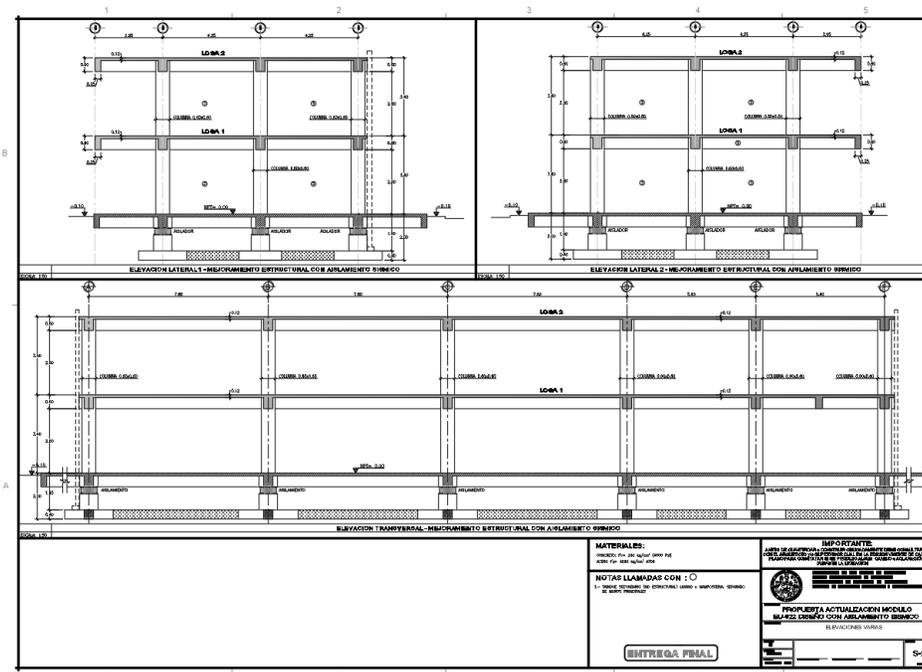


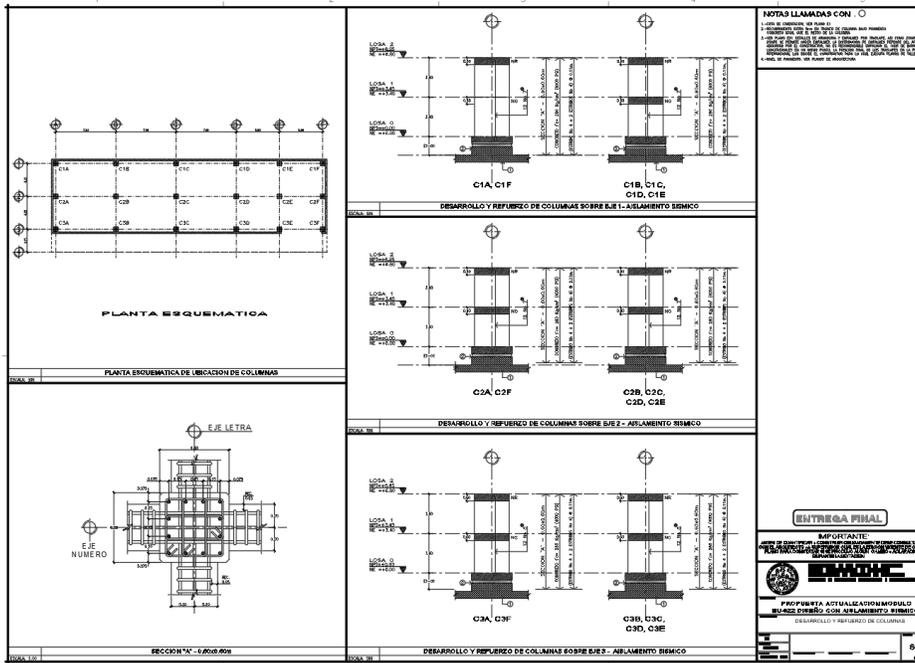
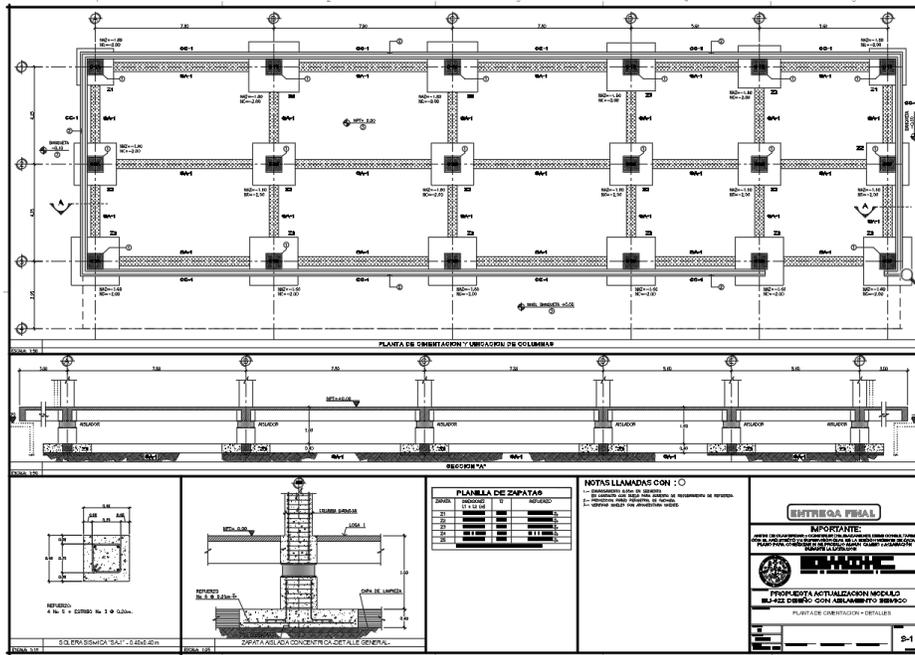


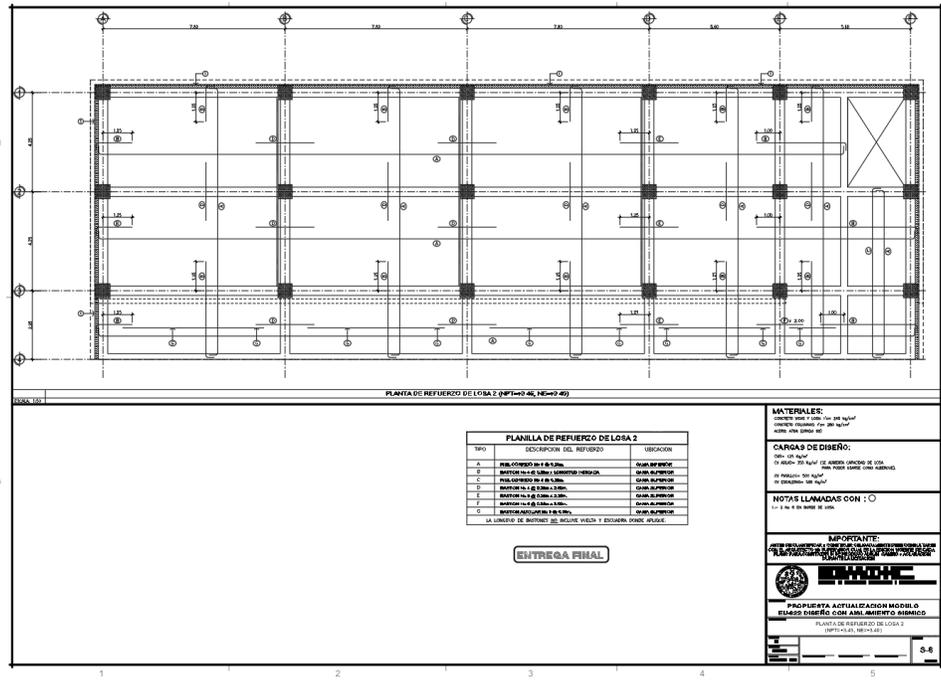
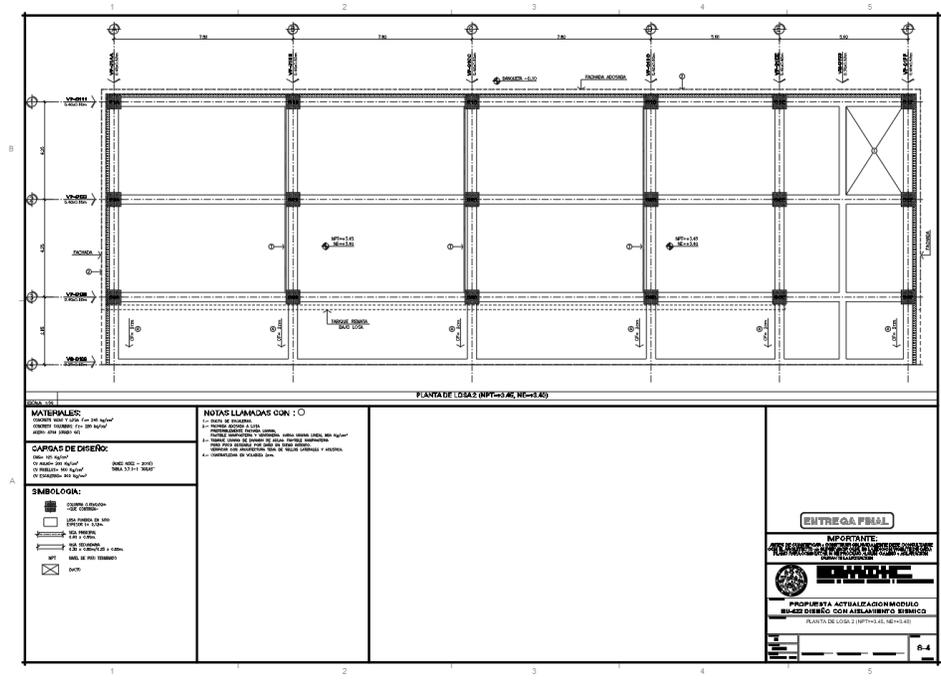


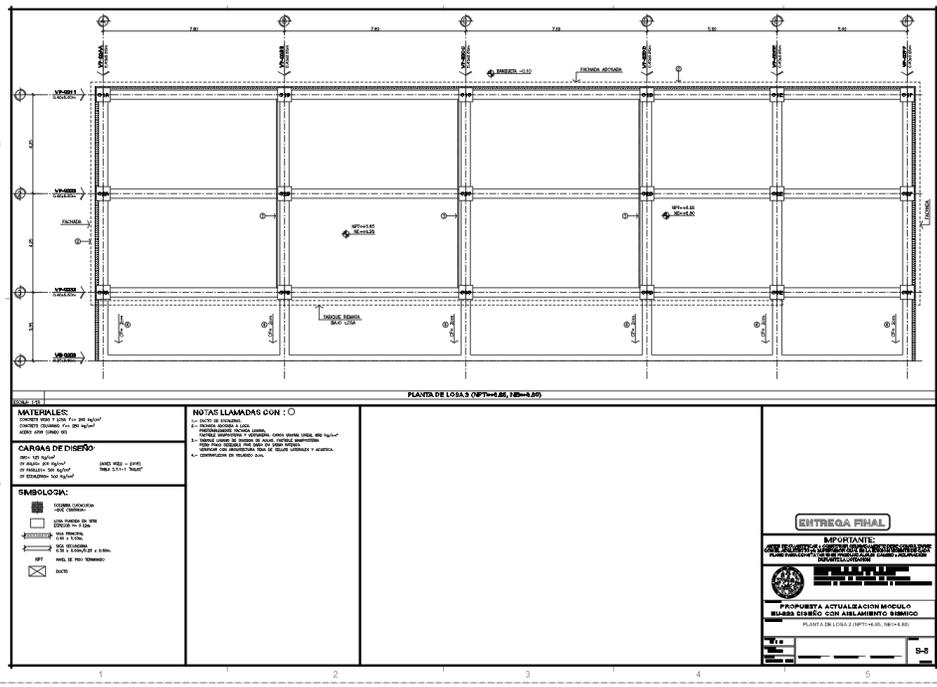
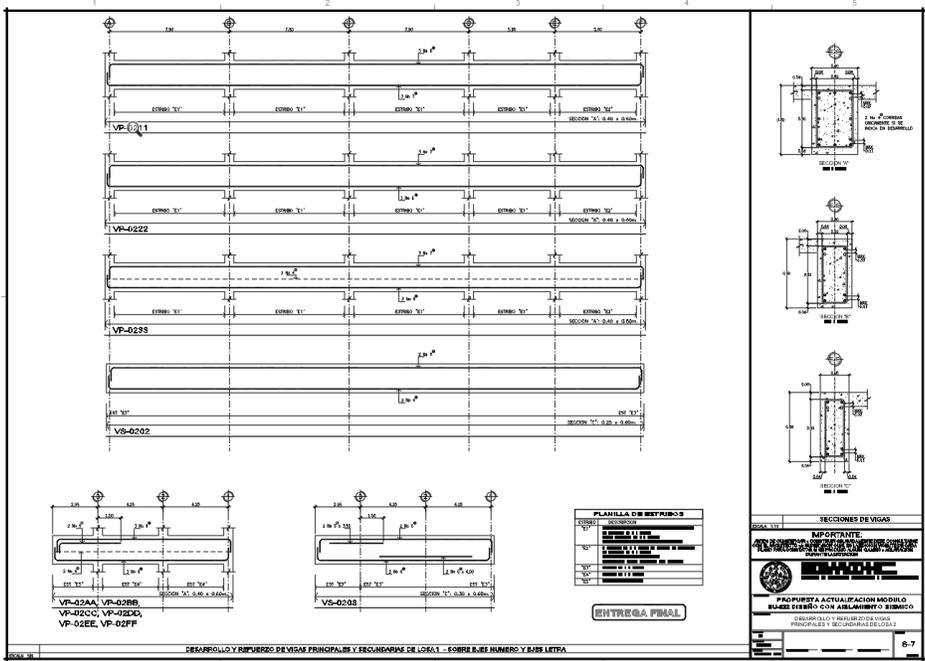
ANEXO 3

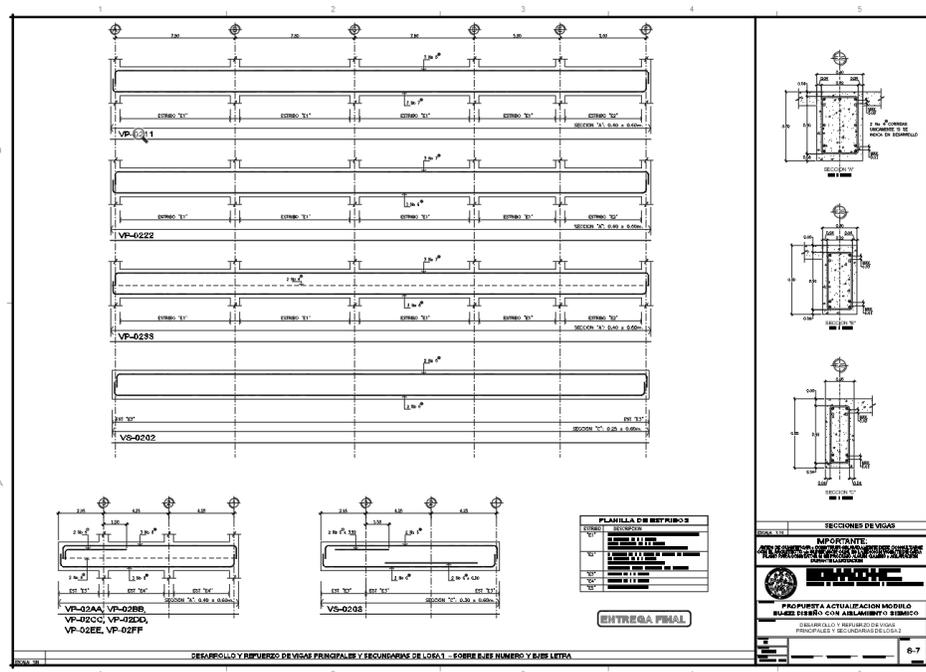
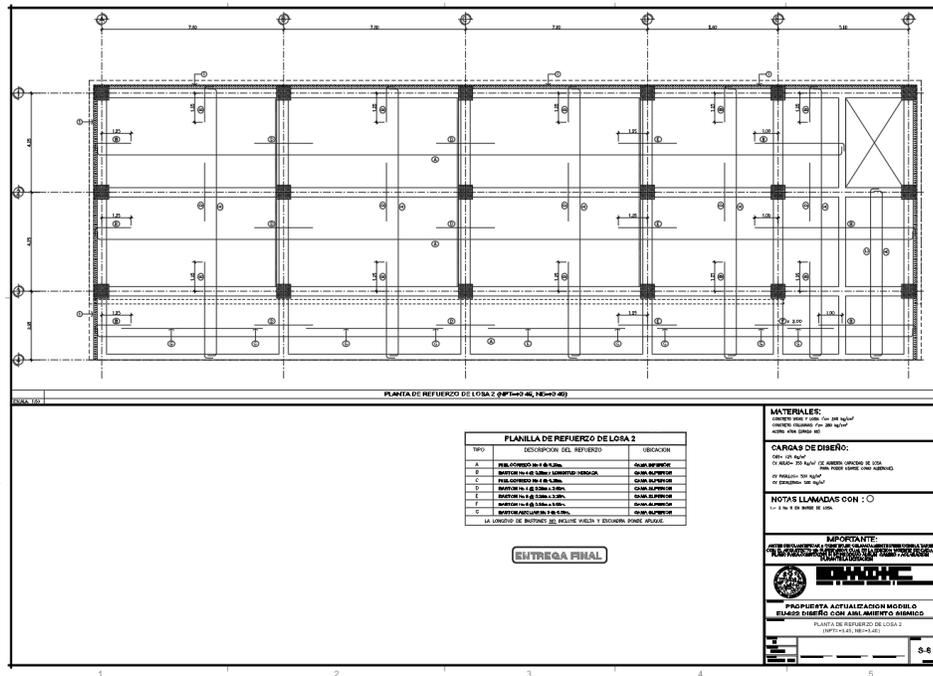
PLANOS ESTRUCTURALES NUEVA PROPUESTA MÓDULO ESCOLAR EU-622 CON AISLAMIENTO SISMICO

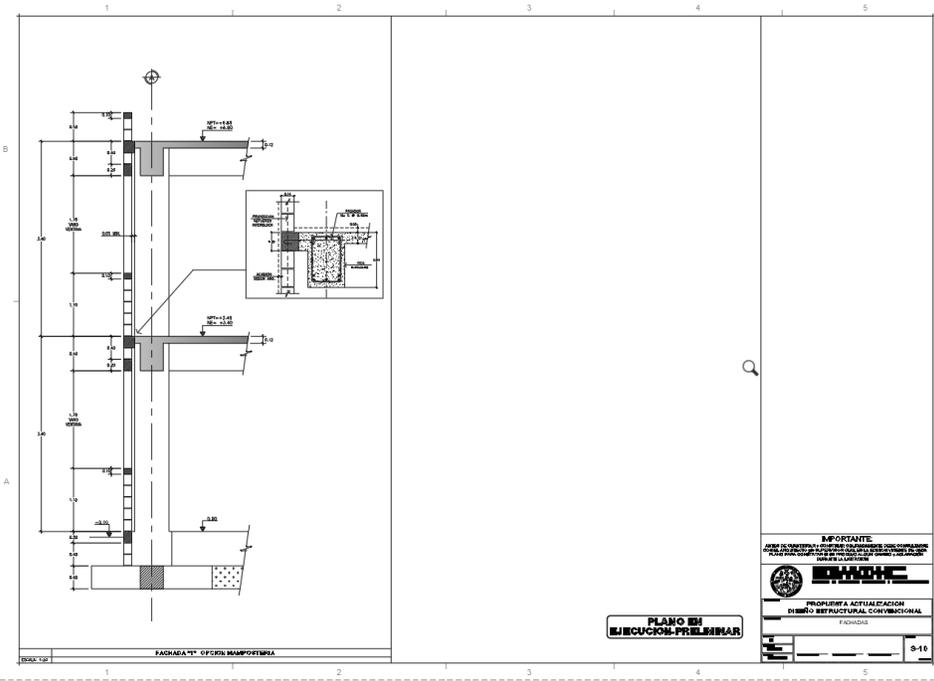












**PLANO EN
EJECUCION PRELIMAR**

IMPORTANTE
 ASESORÍA EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 CONSULTORÍA EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE OBRAS
 INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**PROPIEDAD Y ACTUALIZACIÓN
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

FUNDOS

9-16