



**UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR-LINK BOZZO (SLB)”**

**Autor: Alexis Vidal Chifla Ruiz**

**Tutor: Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera**

**AMBATO - ECUADOR**

**Marzo – 2023**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CONVENCIONAL Y CON EL USO DE DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR-LINK BOZZO (SLB)”**, elaborado por el Sr. Alexis Vidal Chifla Ruiz, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804460259, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



---

**Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, Alexis Vidal Chifla Ruiz con C.I. 1804460259 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CONVENCIONAL Y CON EL USO DE DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR-LINK BOZZO (SLB)”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



---

**Alexis Vidal Chifla Ruiz**

**C.I. 1804460259**

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Ambato, marzo 2023



---

**Alexis Vidal Chifla Ruiz**

**C.I. 1804460259**

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Alexis Vidal Chifla Ruiz de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CONVENCIONAL Y CON EL USO DE DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR-LINK BOZZO (SLB)”**

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



---

Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



---

Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo lo dedico a Dios que me permitió tener sabiduría en mi etapa universitaria y a mis padres Segundo e Hilda quienes han sido mi fuente de apoyo emocional y económico a lo largo de toda mi vida estudiantil, el esfuerzo que han realizado día a día permitió que logre cumplir mi meta y poder llegar a ser alguien productivo en la sociedad.*

*Alexis Chifla*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por bendecirme a lo largo de toda mi carrera universitaria y permitirme ser constante, fuerte y perseverante siguiendo el camino correcto en la obtención de mi sueño.*

*A mis padres, hermanos e hija quienes han sido mi motor para seguir adelante con el anhelado sueño de culminar la carrera de ingeniería civil, gracias a su apoyo y sus consejos brindados durante este transcurso para lograr una meta más en mi vida.*

*A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica quienes han impartido su conocimiento, permitiendo así, nutrirme adecuadamente para obtener un desempeño correcto en el ámbito laboral y un agradecimiento especial a mi tutor de tesis el Ing. Wladimir Ramírez quién me guió en todo el proceso de titulación.*

*Alexis Chifla*

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica .....	3
1.1.3.1 Movimientos sísmicos.....	3
1.1.3.2 Sismicidad en el Ecuador .....	4
1.1.3.3 Disipación de energía en estructuras .....	6
1.1.3.4 Sistemas de control estructural.....	7
1.1.3.5 Tipo de disipadores .....	11
1.1.3.6 Configuración de los disipadores .....	14
1.1.3.7 Disipadores SLB.....	16
1.1.3.8 Análisis lineal .....	30
1.1.3.9 Análisis no lineal .....	33
1.2 HIPÓTESIS.....	38



1.3	OBJETIVOS .....	38
1.3.1	Objetivo General .....	38
1.3.2	Objetivos Específicos .....	38
CAPÍTULO II .....		40
METODOLOGÍA .....		40
2.1	MATERIALES Y EQUIPOS.....	40
2.1.1	Materiales .....	40
2.1.2	Equipos.....	40
2.2	MÉTODOS .....	40
2.2.1	Plan de recolección de datos .....	40
2.2.1.1	Datos.....	40
2.2.1.2	Planos de la estructura .....	42
2.2.1.3	Cuantificación de cargas .....	45
2.2.2	Plan de procesamiento y análisis.....	46
2.2.2.1	Estructura convencional .....	46
2.2.2.2	Irregularidad en planta.....	48
2.2.3	Respuestas Estructurales .....	52
2.2.3.1	Cortante Basal dinámico .....	52
2.2.3.2	Derivas.....	53
2.2.3.3	Torsión.....	56
2.2.3.4	Irregularidad torsional .....	57
2.2.3.5	Participación de masa .....	58
2.2.3.6	Deflexiones.....	58
2.2.3.7	Estructura con disipadores SLB .....	60
2.3	COSTO ECONÓMICO .....	99
2.3.1	Estructura convencional .....	100
2.3.2	Estructura con disipadores SLB .....	101
CAPÍTULO III.....		102
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		102

3.1	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	102
3.1.1	Comparación comportamiento estructural .....	102
3.1.1.1	Derivas.....	102
3.1.1.2	Desplazamientos.....	104
3.1.1.3	Cortante .....	105
3.1.1.4	Costo económico .....	107
3.2	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	107
	CAPÍTULO IV.....	108
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
4.1	CONCLUSIONES .....	108
4.2	RECOMENDACIONES .....	109
	BIBLIOGRAFÍA .....	110
	ANEXOS .....	115
5.1	CUANTIFICACIÓN DE CARGA .....	115
5.1.1	Carga muerta losa.....	115
5.1.2	Carga muerta pared .....	116
5.2	PREDISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	119
5.2.1	Losa .....	119
5.2.2	Columnas.....	120
5.2.3	Vigas.....	121
5.3	ESPECTRO DE DISEÑO.....	122
5.4	PLANOS ESTRUCTURALES.....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sismicidad y placas tectónicas. ....	4
<b>Figura 2.</b> a) Sismicidad en el Ecuador, b) Sismicidad en la Costa .....	4
<b>Figura 3.</b> Disipación de energía en estructuras .....	7
<b>Figura 4.</b> Sistemas de control Estructural. ....	8
<b>Figura 5.</b> Sistema de control pasivo .....	9
<b>Figura 6.</b> Sistema de control activo.....	10
<b>Figura 7.</b> Disipadores TADAS sobre contraviento Chevrón .....	12
<b>Figura 8.</b> Disipadores de energía Viscoelásticos .....	13
<b>Figura 9.</b> Disipadores de energía de fluido viscoso .....	14
<b>Figura 10.</b> Configuración de los disipadores .....	15
<b>Figura 11.</b> Disipación de energía de los dispositivos SLB .....	16
<b>Figura 12.</b> Disipadores de energía tipo SLB .....	17
<b>Figura 13.</b> Diagrama de flujo para el análisis con disipadores SLB .....	18
<b>Figura 14.</b> Diagrama de flujo del método de iteración directo .....	19
<b>Figura 15.</b> Diagrama de flujo del método de iteración inversa.....	19
<b>Figura 16.</b> Dispositivos SLB con conexión almenada .....	20
<b>Figura 17.</b> Conexión almenada, anclajes y disipador SLB .....	22
<b>Figura 18.</b> Marco y ventanas de los disipadores .....	22
<b>Figura 19.</b> Modelo analítico de los disipadores SLB .....	24
<b>Figura 20.</b> Rigidez del marco y ventana .....	24
<b>Figura 21.</b> Diagrama bilineal .....	25
<b>Figura 22.</b> Rigidez axial y horizontal del disipador .....	27
<b>Figura 23.</b> Modelo histerético de Wen.....	29
<b>Figura 24.</b> Deformación por cortante .....	29
<b>Figura 25.</b> Espectro elástico de diseño en aceleraciones .....	33
<b>Figura 26.</b> Curva de capacidad.....	34
<b>Figura 27.</b> Desempeño de una estructura .....	36
<b>Figura 28.</b> Punto de desempeño .....	36
<b>Figura 29.</b> Proceso de análisis dinámico no lineal. ....	37
<b>Figura 30.</b> Ubicación Estructura .....	41
<b>Figura 31.</b> Planta baja N+0.2 .....	42

<b>Figura 32.</b> Planta N+ 3.06, N+ 6.12.....	42
<b>Figura 33.</b> Planta N+ 9.18, N+ 12.24, N+ 15.3.....	43
<b>Figura 34.</b> Terraza y Tapagrada .....	43
<b>Figura 35.</b> Fachada Frontal .....	44
<b>Figura 36.</b> Fachada Lateral.....	44
<b>Figura 37.</b> Ingreso de sección tipo .....	47
<b>Figura 38.</b> Irregularidad en planta.....	48
<b>Figura 39.</b> Irregularidad en elevación .....	49
<b>Figura 40.</b> Espectro elástico e inelástico.....	50
<b>Figura 41.</b> Espectro de respuesta (R=6).....	50
<b>Figura 42.</b> Patrones de cargas .....	51
<b>Figura 43.</b> Sismo estático dirección X e Y.....	51
<b>Figura 44.</b> Sismos dinámicos X e Y.....	52
<b>Figura 45.</b> Definición de masa. ....	52
<b>Figura 46.</b> Desplazamiento máximo sentido x (estático).....	54
<b>Figura 47.</b> Desplazamiento máximo sentido y (estático).....	54
<b>Figura 48.</b> Desplazamiento máximo sentido x (dinámico).....	55
<b>Figura 49.</b> Desplazamiento máximo sentido y (dinámico).....	55
<b>Figura 50.</b> Irregularidad torsión e Irregularidad torsional extrema.....	57
<b>Figura 51.</b> Deflexión de la viga más cargada.....	58
<b>Figura 52.</b> Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas .....	59
<b>Figura 53.</b> Deflexión de la viga.....	60
<b>Figura 54.</b> Espectro elástico .....	61
<b>Figura 55.</b> Espectro de respuesta (R=1).....	61
<b>Figura 56.</b> Criterios de modelamiento.....	62
<b>Figura 57.</b> Parámetros de deformación de los disipadores SLB .....	63
<b>Figura 58.</b> Propiedades de los disipadores SLB.....	64
<b>Figura 59.</b> Ingreso de los disipadores mediante el pluing Dissipa SLB .....	65
<b>Figura 60.</b> Diagonales Metálicas.....	66
<b>Figura 61.</b> Modelado de disipadores SLB.....	66
<b>Figura 62.</b> Registro sísmico Duzce Filtrado.....	68
<b>Figura 63.</b> Registro Sísmico Loma Prieta Filtrado .....	69
<b>Figura 64.</b> Registro Sísmico Northridge Filtrado.....	70

<b>Figura 65.</b> Ajuste de registro sísmico.....	71
<b>Figura 66.</b> Registro sísmico Duzce N-S ajustado .....	71
<b>Figura 67.</b> Registro sísmico Duzce E-O ajustado .....	72
<b>Figura 68.</b> Registro sísmico Loma Prieta N-S ajustado .....	72
<b>Figura 69.</b> Registro sísmico Loma Prieta E-O ajustado.....	73
<b>Figura 70.</b> Registro sísmico Loma Prieta N-S ajustado .....	73
<b>Figura 71.</b> Registro sísmico Northridge E-O ajustado.....	74
<b>Figura 72.</b> Función tiempo historia .....	74
<b>Figura 73.</b> Caso Modal.....	75
<b>Figura 74.</b> Función rampa .....	76
<b>Figura 75.</b> Carga de gravedad para ANLD .....	76
<b>Figura 76.</b> Caso análisis dinámico no lineal (Tiempo-Historia).....	77
<b>Figura 77.</b> Amortiguación integración directa .....	78
<b>Figura 78.</b> Método de Newmark .....	78
<b>Figura 79.</b> Columna tipo .....	79
<b>Figura 80.</b> Rótula Plástica .....	82
<b>Figura 81.</b> Asignación de rótulas plásticas (Columnas).....	83
<b>Figura 82.</b> Rótula plástica Etabs .....	83
<b>Figura 83.</b> Viga .....	84
<b>Figura 84.</b> Rótula plástica .....	86
<b>Figura 85.</b> Asignación de rótula plástica vigas .....	86
<b>Figura 86.</b> Rótula Plástica Etabs .....	87
<b>Figura 87.</b> Asignación de distancia de rótula plástica.....	87
<b>Figura 88.</b> Performance check .....	88
<b>Figura 89.</b> Derivas registros sísmicos .....	89
<b>Figura 90.</b> Cortante Basal Registro Duzce N-S .....	90
<b>Figura 91.</b> Cortante Basal Registro Duzce E-O .....	90
<b>Figura 92.</b> Desplazamientos registros sísmicos .....	91
<b>Figura 93.</b> Disipación de energía registro sísmico Duzce.....	92
<b>Figura 94.</b> Disipación de energía registro Loma Prieta .....	92
<b>Figura 95.</b> Disipación de energía registro Northridge.....	93
<b>Figura 96.</b> Ubicación de los disipadores .....	94
<b>Figura 97.</b> Curva histerética registro Duzce.....	95

<b>Figura 98.</b> Curva histerética registro Loma Prieta .....	95
<b>Figura 99.</b> Curva histerética registro Northridge .....	96
<b>Figura 100.</b> Diagrama Demanda/Capacidad de los disipadores SLB .....	98
<b>Figura 101.</b> Capacidad de los disipadores SLB. ....	99
<b>Figura 102.</b> Comparación derivas sentido X.....	102
<b>Figura 103.</b> Comparación derivas sentido Y.....	103
<b>Figura 104.</b> Comparación desplazamientos sentido X.....	104
<b>Figura 105.</b> Comparación desplazamientos sentido Y .....	105
<b>Figura 106.</b> Comparación cortante sentido X .....	106
<b>Figura 107.</b> Comparación cortante sentido Y .....	106
<b>Figura 108.</b> Losa Tipo.....	115
<b>Figura 109.</b> Tipo de paredes.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.</b> Edificaciones con disipadores SLB en Ecuador. ....	30
<b>Tabla N° 2.</b> Niveles de sismicidad .....	32
<b>Tabla N° 3.</b> Nivel de peligro sísmico .....	32
<b>Tabla N° 4.</b> Coordenadas Geográficas .....	41
<b>Tabla N° 5.</b> Carga Muerta .....	45
<b>Tabla N° 6.</b> Cargas vivas.....	45
<b>Tabla N° 7.</b> Irregularidad en planta.....	48
<b>Tabla N° 8.</b> Cortante basal estático y dinámico .....	53
<b>Tabla N° 9.</b> Valores de deriva máxima .....	53
<b>Tabla N° 10.</b> Modos de vibración .....	56
<b>Tabla N° 11.</b> Irregularidad Torsional ASCE 7 (X) .....	57
<b>Tabla N° 12.</b> Irregularidad Torsional ASCE 7 (Y) .....	58
<b>Tabla N° 13.</b> Propiedades de dispositivos SBL. Acero ASTM A36.....	63
<b>Tabla N° 14.</b> Prediseño de disipadores SLB (Método de iteración directa) .....	67
<b>Tabla N° 15.</b> Registros sísmicos .....	68
<b>Tabla N° 16.</b> Condiciones del refuerzo transversal columnas .....	80
<b>Tabla N° 17.</b> Criterios de aceptación (columnas) .....	81
<b>Tabla N° 18.</b> Parámetros para asignación de rótulas plásticas (Columnas).....	82
<b>Tabla N° 19.</b> Parámetros para asignación de rótulas plásticas (Vigas).....	85
<b>Tabla N° 20.</b> Criterios de aceptación .....	86
<b>Tabla N° 21.</b> Derivas registros sísmicos .....	89
<b>Tabla N° 22.</b> Cortante Basal.....	90
<b>Tabla N° 23.</b> Desplazamientos registros sísmicos .....	91
<b>Tabla N° 24.</b> Balance de energía.....	93
<b>Tabla N° 25.</b> Fuerza máxima del disipador SLB .....	94
<b>Tabla N° 26.</b> Fuerza máxima disipadores SLB.....	96
<b>Tabla N° 27.</b> Demanda/Capacidad de cada disipador .....	97
<b>Tabla N° 28.</b> Precios disipadores SLB.....	99
<b>Tabla N° 29.</b> Costo estructura convencional.....	100
<b>Tabla N° 30.</b> Costo estructura con inclusión de disipadores SLB .....	101
<b>Tabla N° 31.</b> Comparación derivas con y sin disipadores .....	102

<b>Tabla N° 32.</b> Comparación derivas con y sin disipadores .....	103
<b>Tabla N° 33.</b> Comparación desplazamientos con y sin disipadores.....	104
<b>Tabla N° 34.</b> Comparación desplazamientos con y sin disipadores.....	104
<b>Tabla N° 35.</b> Comparación cortante sentido X .....	105
<b>Tabla N° 36.</b> Comparación cortante sentido Y .....	106
<b>Tabla N° 37.</b> Costo económico .....	107
<b>Tabla N° 38.</b> Carga Losa.....	115
<b>Tabla N° 39.</b> Carga Muerta de pared .....	117
<b>Tabla N° 40.</b> Prediseño Losa.....	119
<b>Tabla N° 41.</b> Dimensión Losa dependiendo de la longitud .....	119
<b>Tabla N° 42.</b> Prediseño columna.....	120
<b>Tabla N° 43.</b> Prediseño de vigas .....	121
<b>Tabla N° 44.</b> Espectro de diseño .....	122



## RESUMEN

El presente trabajo experimental busca tener una nueva alternativa de diseño para mejorar la respuesta estructural, debido que, nuestra zona al encontrarse en el cinturón de fuego está propenso a sufrir daños considerados por la acción sísmica.

Se realizó el análisis lineal de una estructura de hormigón armado convencional tomando en cuenta los requisitos para una estructura sismorresistente que proporciona la norma NEC-SE-DS y el ACI318. Además, se realizó un análisis dinámico no lineal (tiempo-historia) incluyendo disipadores de energía SLB tomando los diversos parámetros que proporcionan los diseñadores. Mediante esto, se comparó las siguientes respuestas estructurales: derivas, cortantes, desplazamientos y aceleraciones entre la estructura convencional y la estructura con la incorporación de disipadores SLB. También, cabe recalcar que la primera estructura se realizó con el espectro de diseño con factor de reducción  $R=6$ , mientras que, en la estructura con inclusión de disipadores se usó 3 pares de registros sísmicos que fueron escalados para el mismo sismo sin el factor de reducción.

Posteriormente, se obtuvo el presupuesto de la estructura convencional y la estructura con disipadores SLB tomando en cuenta algunos rubros empleados en la construcción, lo cual, nos permitió realizar una comparación económica y mediante esto conocer el porcentaje de aumento en el costo entre los dos modelos planteados.

Finalmente, se concluye que los disipadores de energía SLB proporcionan un mejor comportamiento estructural al someterse a un evento sísmico, disminuyendo tanto las derivas como los desplazamientos de la estructura; además, que estos dispositivos disipan gran cantidad de energía del total de la estructura, dicho esto, todo el daño lo reciben los disipadores.

**Palabras claves:** Disipadores SLB, Análisis lineal, Deriva de piso, Cortante basal, NDP

## ABSTRACT

The present experimental work seeks to have a new design alternative to improve the structural response, due to the fact that our area, being located in the fire belt, is prone to suffer damages considered by seismic action.

The linear analysis of a conventional reinforced concrete structure was carried out taking into account the requirements for a seismic-resistant structure provided by the NEC-SE-DS standard and the ACI318. In addition, a nonlinear dynamic analysis (time-history) was performed including SLB energy dissipators taking the various parameters provided by the designers. Through this, the following structural responses were compared: drifts, shears, displacements and accelerations between the conventional structure and the structure with the incorporation of SLB dissipators. Also, it should be noted that the first structure was carried out with the design spectrum with reduction factor  $R=6$ , while in the structure with the inclusion of dissipaters, 3 pairs of seismic records were used, which were scaled for the same earthquake without the reduction factor.

Subsequently, the budget of the conventional structure and the structure with SLB dissipators was obtained taking into account some items used in the construction, which allowed us to make an economic comparison and through this to know the percentage of increase in the cost between the two models proposed.

Finally, it is concluded that the SLB energy dissipaters provide a better structural behavior when subjected to a seismic event, decreasing both the drifts and the displacements of the structure; furthermore, these devices dissipate a great amount of energy from the total of the structure, that said, all the damage is received by the dissipaters.

**Keywords:** SLB dissipaters, Linear analysis, Storey drift, Basal shear, NDP

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1 Antecedentes

Como se demuestra en [1], las pruebas realizadas del sistema de disipación de energía SLB en distintos laboratorios como son el ISMES en Italia, LNEC en Portugal y la Universidad Católica en Perú demostraron que una estructura integrada con este tipo de disipadores al estar expuesta a un sismo severo no es necesario cambiar el sistema. Además, los disipadores son capaces de absorber energía generada por terremotos de hasta 8 grados y la protección sísmica se activa desde bajos desplazamientos.

En nuestro país se ha realizado estudios para rehabilitación de estructuras afectadas por el terremoto del 2016, siendo una de estas un silo de almacenamiento de harina donde se propuso el uso dos tipos de disipadores el TADAS y el Shear Link Bozzo de tercera generación, debido que, el costo del SLB es diez veces menor que el costo del TADAS [2]. Otro estudio se realizó en Holguín (Cuba) donde se presentó una evaluación sísmica y rehabilitación del hospital Guillermo Luis que está conformado por elementos de hormigón prefabricados denominados giron y al incorporar los sistemas de disipación de energía se evidencia un mejor comportamiento ante cargas laterales sísmicas evitando fallas como piso blando, piso débil y torsión [3].

Se llevo a cabo un estudio experimental en el laboratorio de estructuras para ingeniería y arquitectura en la ciudad de Nápoles (Italia), donde se realizó pruebas monótonas y cíclicas a diez probetas en la máquina de ensayo con actuador hidráulico axial. Además, las primeras se lo realizo a una velocidad de 0.05 mm/s del actuador, mientras que, las cíclicas se realizó mediante la historia-tiempo de desplazamiento. Dichos ensayos arrojaron que fuerza máxima es similar en ambos ensayos, el comportamiento elástico inicial es muy rígido en todos los ensayos y que el corte controla la deformación durante el comportamiento elástico [4].

Estos estudios ya sea como rehabilitación de estructura o ensayos de laboratorio evidencian una mejora la respuesta sísmica de la estructura que conlleva la integración de los dispositivos SLB, además, que el costo es menor en comparación a otros dispositivos de disipación de energía.

### **1.1.2 Justificación**

El presente trabajo experimental tiene como finalidad buscar una alternativa de diseño para edificaciones, ya que al encontrarse sometida a diferentes factores naturales estas pueden sufrir daños considerables; por esta razón, es necesario reforzar con elementos que permitan disipar energía de mejor manera, siendo uno de estos los disipadores de energía SLB que permiten obtener seguridad, economía, funcionalidad e innovación. Además, el comportamiento estructural mejora considerablemente aumentando la ductilidad, disminuyendo las deformaciones, reduciendo la pérdida de funcionalidad en la estructura y reduciendo la pérdida de rigidez, por ende, la estructura no sufrirá grandes daños en los elementos estructurales ante un posible evento sísmico.

Las construcciones en la ciudad de Ambato al no ser realizadas con mano de obra calificada tienden a estar propensas a sufrir daños en caso de ocurrir un evento sísmico, por tal motivo, algunas o en su mayoría necesitan ser rehabilitadas para que estas generen seguridad de vida a los usuarios. Además, se busca nuevos mecanismos que permitan un mejor comportamiento estructural, tomando en cuenta que estos deben cumplir y alcanzar los rangos establecidos por la normativa de construcción que rige en nuestro país.

Sin embargo, a pesar de que la normativa permite el uso de disipadores de energía en nuestro medio, el diseño de estructuras con este tipo de mecanismos es poco conocido, ya que, en muchas ocasiones se ha evidenciado la falta de conocimiento en la construcción al pensar que las estructuras realizadas con hormigón son las mejores y no ven la necesidad de mejorar el comportamiento de las mismas. Por lo cual, se ve en la necesidad de desarrollar proyectos que integren los dispositivos de disipación de energía para mejorar el comportamiento estructural, sin aumentar drásticamente el costo de la construcción.

Por otra parte, los disipadores de energía se encuentran divididos en dos grupos, el primero denominados como sistemas pasivos que no necesitan un control diario de su funcionamiento y son los más utilizados por su facilidad de instalación, mientras que, el segundo grupo denominados sistemas activos al necesitar un control permanente de su sistema tienden a elevar su costo, por tal motivo, el uso de estos sistemas es bajo ya que nuestra región no cuenta con los recursos necesarios. Además, los disipadores de energía proporcionan una mejora en el comportamiento estructural ante eventos sísmicos.

### **1.1.3 Fundamentación Teórica**

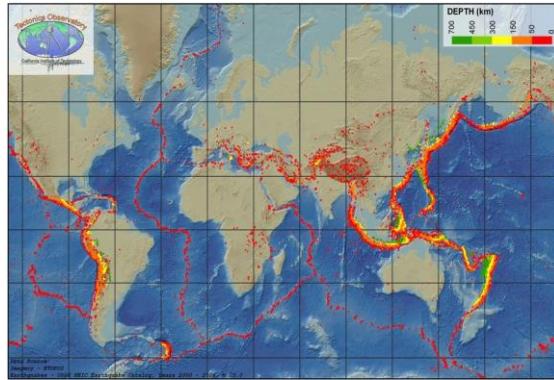
#### **1.1.3.1 Movimientos sísmicos**

El planeta desde su formación se ha visto sujeta a diferentes procesos internos dando lugar a modificaciones, tanto en su forma como en relieve. Por consiguiente, la superficie terrestre se encuentra conformada por bloques rígidos denominados como placas tectónicas que interactúan entre sí provocando deformaciones en la zona de contacto que se va acumulando a lo largo del tiempo hasta que los esfuerzos excedan y al producirse la ruptura ocasiona ondas sísmicas que se propagan en diferentes direcciones. Dicho proceso se presenta en tres etapas siendo estas la inter-sísmica (acumulación), co-sísmica (liberación) y post-sísmica (recuperación) [5].

Ecuador al encontrarse en la zona denominada como cinturón de fuego del pacífico, localizándose exactamente en el extremo occidental de la placa Sudamericana y al entrar en contacto con la Placa de Nazca provoca los grandes eventos sísmicos afectando también a zonas costeras de países como Colombia, Chile y Perú. Dicho proceso se denomina subducción.

Para Quinde & Reinoso [6], la mayoría de los terremotos son productos de origen tectónico, producto de la fricción existente en las fallas ya que pueden ser inestables, sin embargo, no se debe dejar de lado otras causas que generan los distintos tipos de terremotos de manera natural como son de origen volcánicos y de colapso.

**Figura 1.** Sismicidad y placas tectónicas.



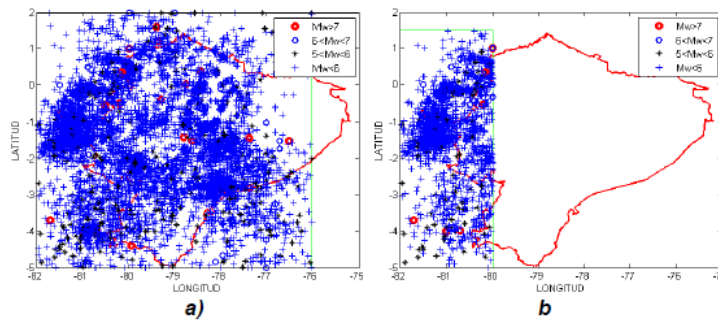
**Fuente:** Desastres naturales, 2018 [5].

### 1.1.3.2 Sismicidad en el Ecuador

El Ecuador al encontrarse en el cinturón de fuego del pacífico, esta propenso a sufrir eventos sísmicos originados por el proceso de subducción entre la placa oceánica (Nazca) y continental (Sudamericana), es decir, la placa de Nazca se hunde bajo la placa sudamericana en dirección Este-Oeste. Dicha interacción provoca que se vaya acumulando fuerzas internas, lo cual al liberar esta energía produce el fenómeno natural denominado sismo [7].

Se ha realizado un ploteo de los sismos que se han producido en Ecuador hasta una profundidad de 300 km, se aprecia en la figura 2 (a), donde se evidencia que la región nororiental existe poca actividad sísmica. Además, se aprecia en la figura 2 (b) epicentros que se han dado a una profundidad menor a 30 km, registrados en la zona costera de Ecuador [8].

**Figura 2.** a) Sismicidad en el Ecuador, b) Sismicidad en la Costa



**Fuente:** Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía, 2016 [8].

La zona costera al encontrarse en una zona con mayor acoplamiento entre placas esta propensa a sufrir sismos, especialmente en la provincia de Manabí y Esmeraldas, caso contrario, son las provincias del Sur del País que tiene menor riesgo sísmico [8]. Siendo los eventos sísmicos más importantes los siguientes:

- Riobamba (1797)

El terremoto con epicentro en Riobamba se produjo el 4 de febrero, siendo el más destructivo que se ha presentado en el territorio ecuatoriano con una magnitud de 8.3 También, se conoce que los daños se extendieron desde el norte de Quito has 60 km al sur de Riobamba, además, de ciudades como Ambato, Guaranda, Latacunga, Baños, Saquisilí y la más afectada Quero que fue destruida. Dicho evento ocasionando la muerte de 40.000 habitantes en el territorio ecuatoriano [9].

- Ibarra (1868)

El evento sísmico de 1868 tuvo dos replicas la primera el 15 de agosto cerca del Ángel, provincia del Carchi y la segunda el 16 de agosto cerca de la ciudad de Ibarra, con una magnitud de 6.3 y 6.7 MW. Además, causo la destrucción total de la ciudad y pérdidas humanas estimadas de 40.000 hasta 70.000 [9].

- Esmeraldas (1906)

Fue considerado como el gran terremoto de Esmeraldas el 31 de enero de 1906 que azoto las costas de Ecuador y Colombia, cuyo epicentro fue a 18 km al noroeste de la ciudad de Esmeraldas, en una zona denominada Chontaduro y a una profundidad de 20 km con magnitud de 8.8. En consecuencia, se produjo una ruptura en la zona de falla de longitud entre 500 a 600 km.

- Ambato (1949)

El terremoto con epicentro en Ambato se produjo el 5 de agosto de 1949 a una profundidad de 15 km y con una magnitud de 6.8 en la escala de Richter, además, fue considerado como un cataclismo que causó la muerte de 5.050 personas y grandes pérdidas económicas en las ciudades más cercanas, tales como, Pelileo, Patate, Guano y Píllaro [10].

- Esmeraldas (2016)

El evento sísmico se dio origen el 16 de abril de 2015 cuyo epicentro se produjo en el cantón pedernales perteneciente a la provincia de Esmeraldas con magnitud de 7,8 en la escala de Richter, además, se lo considera como el más fuerte desde el ocurrido en 1979. En consecuencia, hubo un total de 673 pérdidas humanas y daños económicos superiores a 3.000 millones de dólares [9].

### 1.1.3.3 Disipación de energía en estructuras

Para Lafuente M. [11], los diseños sísmicos de estructuras tradicionales establecen la idea de que las mismas sufran daño sin que éstas lleguen al colapso ni que generen pérdidas humanas. También, las deformaciones introducidas por las fuerzas horizontales generan que los materiales ingresen en un rango inelástico al cesar un evento sísmico de gran magnitud. Por tal motivo, se espera que la estructura se vea afectada.

Por otra parte, la ecuación de balance de energía en una estructura viene dado por la siguiente ecuación

$$E_k + E_a + E_h + E_d = E_s$$

Donde

$E_k$  = energía cinética absoluta

$E_a$  = energía disipada por amortiguamiento

$E_h$  = energía de deformación elástica

$E_d$  = energía disipada por deformación inelástica

$E_s$  = energía introducida por cargas dinámicas externas

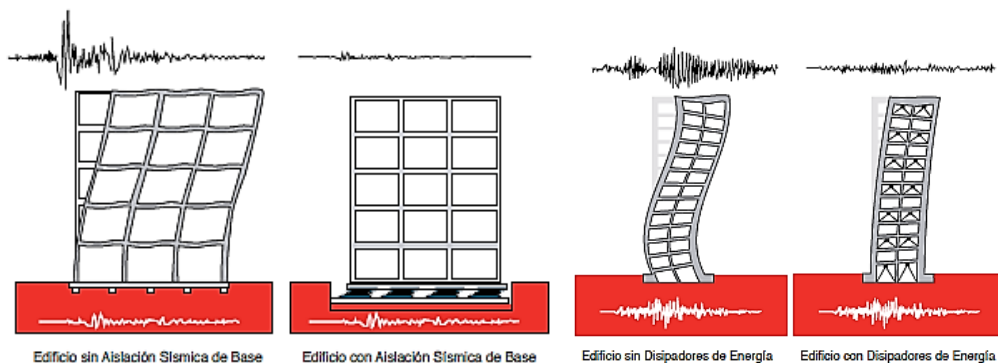
Para Villareal G. [12], la ecuación representa la energía de entrada  $E_s$  que es la fuerza de corte total en la cimentación producto del movimiento del suelo y que contiene las fuerzas de inercia de la estructura. Además, el diseño convencional se encuentra acompañado por la presencia de deformaciones inelásticas que afectan o modifican directamente la energía  $E_h$ . Este efecto incrementa la flexibilidad como porción de la energía sísmica, por lo tanto, reduce la aceleración y deformaciones en las zonas de las rótulas plásticas.



Al realizar un buen diseño sísmico es posible visualizar las zonas donde se van ubicar las principales fuentes de disipación de energía por la inelasticidad de los materiales. Por lo tanto, se debe formar las rótulas plásticas cerca de los nodos en los elementos vigas y luego en las columnas y mediante esto controlar las fallas de la estructura. Ahora bien, a través del tiempo se han realizado investigaciones para limitar los daños en la estructura y que resistan las fuerzas aplicadas producto de un evento sísmico. Dichos avances han permitido la introducción de sistemas de control de respuesta sísmica que permiten adquirir capacidad para disipar energía [11].

Existe dos sistemas que permiten disipar energía a la estructura siendo estos los disipadores de energía y los aisladores sísmicos, cuya diferencia radica en que los primero no son capaces de que las fuerzas sísmicas sean transferidas del suelo a la estructura. Dichos dispositivos permiten el aumento considerable del amortiguamiento de la estructura y se los puede ubicar en un lugar estratégico de la estructura, permitiendo disminuir la respuesta estructural. Además, ambos sistemas de protección sísmica se han utilizado alrededor del mundo tanto en estructuras nuevas como para reforzamiento de estructuras existentes [13].

**Figura 3.** Disipación de energía en estructuras



**Fuente:** Protección sísmica de estructuras, 2011[13].

#### 1.1.3.4 Sistemas de control estructural

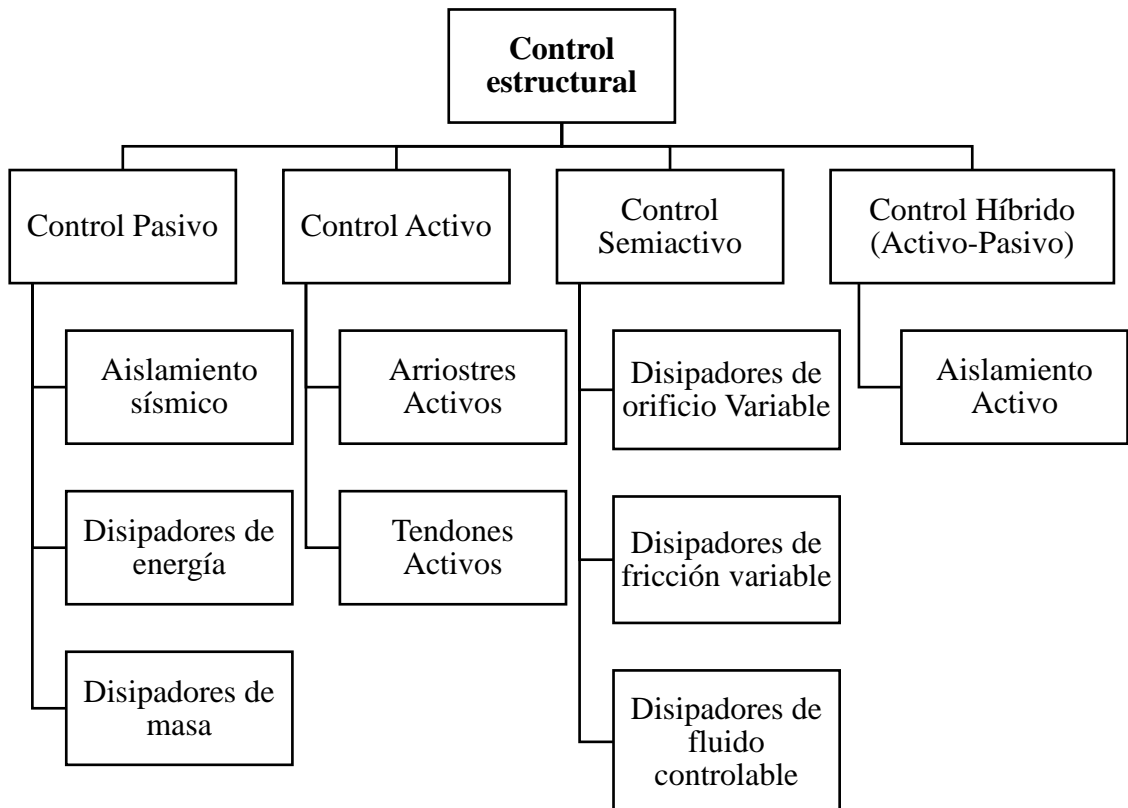
Para Villareal G. [12], las edificaciones en su mayoría se diseñan considerando efectos gravitacionales y se determinan mediante el peso propio de la estructura, además, de la ocupación que se va a tener. Por otra parte, se debe considerar las cargas horizontales

a las que va estar expuesta la estructura, por lo cual, a través de tiempo se ha brindado una serie de propuestas denominado como control estructural que proporciona protección y ayuda a mitigar la respuesta dinámica.

Además, las vibraciones a las que se encuentra sometido una estructura producto de los sismos o viento se puede controlar mediante sistemas de control estructural. Se establece estos sistemas como métodos alternativos que disminuyen las fuerzas internas, lo cual permite mejorar considerablemente sus propiedades [11].

Nitsche et al. [13], demostraron que actualmente los sistemas control estructural incluyen del más simple hasta sistemas avanzados automatizados, los cuales se clasifican en cuatro categorías: sistemas de control activos, semiactivos, pasivos e híbridos, sin embargo, el más utilizado en el sector de la construcción son los pasivos por su costo y su facilidad de instalación.

**Figura 4.** Sistemas de control Estructural.

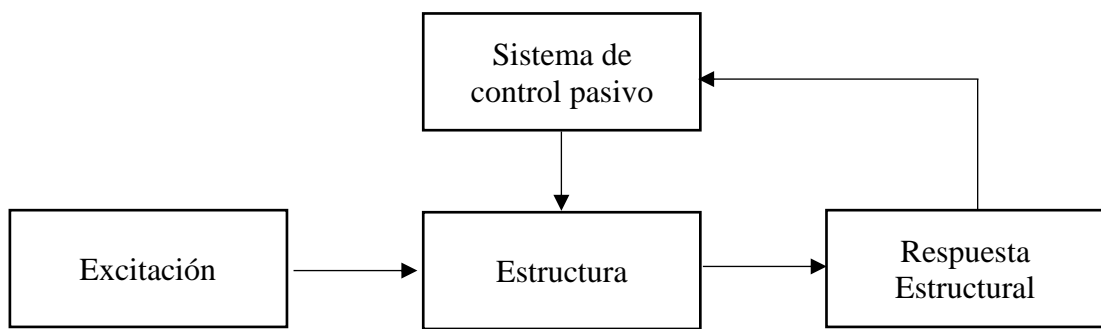


**Fuente:** Elaboración propia

#### 1.1.3.4.1 Sistemas de control pasivo

Como se indica en [11], [12], los sistemas de control pasivo no basan su funcionamiento en una fuente externa, al contrario, responden al movimiento que genera la estructura y disipa la energía mediante el desacoplamiento entra la estructura y el movimiento del suelo. Por lo tanto, para lograr este funcionamiento se lo realiza mediante dispositivos flexibles a los movimientos laterales y dispositivos rígidos para desplazamientos verticales. Además, por su bajo costo son los más utilizados en nuestro medio.

**Figura 5.** Sistema de control pasivo



**Fuente:** Protección sísmica de estructuras, 2011 [13].

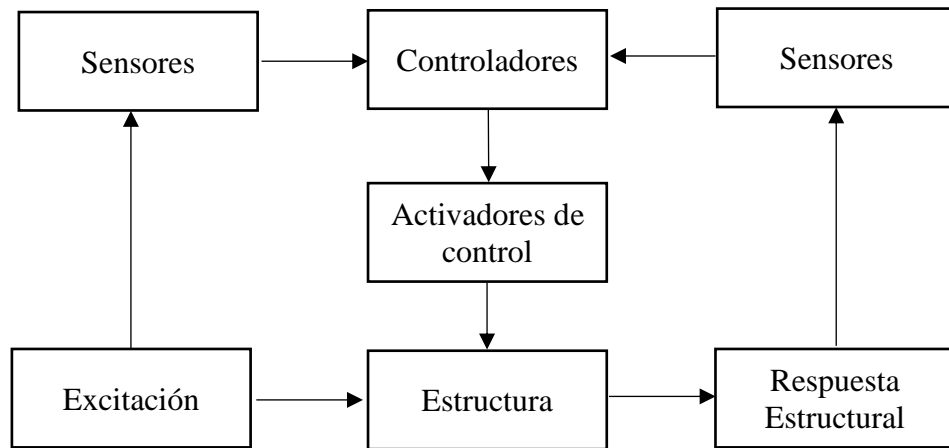
#### 1.1.3.4.2 Sistemas activos

La función de los sistemas activos es monitorear la actividad sísmica y activarse al detectar un movimiento sísmico, pero su funcionamiento es complejo ya que cuentan con sensores de movimiento, sistemas de control, procesadores de datos y actuadores dinámicos [11]. Sin embargo, a pesar de ser la mejor alternativa de protección sísmica existe desventajas que disminuyen su uso, siendo uno de estos el elevado costo de la fuente externa ya que su funcionamiento debe ser permanente [13].

Como se indica en [12], Un sistema activo consiste en:

- Sensores que se colocan en la estructura para medir la excitación externa o la respuesta estructura y también para medir ambas variables.
- Sistemas que contrarrestan las fuerzas laterales producto de sismos.
- Actuadores que contrarrestan el movimiento sísmico.

**Figura 6.** Sistema de control activo



**Fuente:** Edificaciones con disipadores de energía, 2009 [12].

#### 1.1.3.4.3 Sistemas Semiactivos

Como se demuestra en [12], los sistemas semiactivos son similares a los sistemas activos únicamente se diferencia en el dispositivo de control estructural que es de carácter reactivo. Además, al estar compuesto por fluidos variables de densidad o viscosidad se puede controlar las condiciones de amortiguamiento. Por otro lado, estos fluidos pueden ser de tipo electro-reológico (ER) o magneto-reológico (MR) caracterizados por su cambio de estado de viscoso lineal a semisólido al momento de someterlos a una fuerza en campo electrónico o magnético [11].

#### 1.1.3.4.4 Sistemas Híbridos

Para Villareal G. [12], Los sistemas híbridos basan su funcionamiento en un sistema combinado de activos y pasivos, debido a que, el control se da a partir de un dispositivo pasivo. Dichos dispositivos permiten mejorar las propiedades en comparación con los sistemas activos, siendo estos:

- En caso de existir una falla por parte del componente activo, el sistema pasivo pasa a cumplir las funciones de control.
- El requerimiento energético es inferior.

Los sistemas híbridos más solicitados son los amortiguadores Hibrid Mass Damper (HMD) que están conformados por una masa oscilante pasiva que permite reducir considerablemente la respuesta del edificio, por otro lado, está el actuador activo que mejora el sistema y proporciona mayor resistencia a cambios dinámicos. Además, se usa el aislador de base con control activo del desplazamiento que permite desacoplar la estructura del terreno por efecto del desplazamiento entre la subestructura y superestructura [12].

### **1.1.3.5 Tipo de disipadores**

#### **1.1.3.5.1 Disipadores histeréticos metálicos**

Para Crisafulli [14], estos dispositivos de control pasivo son los primeros en emerger en la industria de la construcción como una mejora al sistema de pórticos arriostrados excéntricamente, cuya función es proporcionar un componente dúctil, es decir, un disipador fuera del elemento viga. Siendo los más conocidos:

#### **ADAS (Added damping and stiffness)**

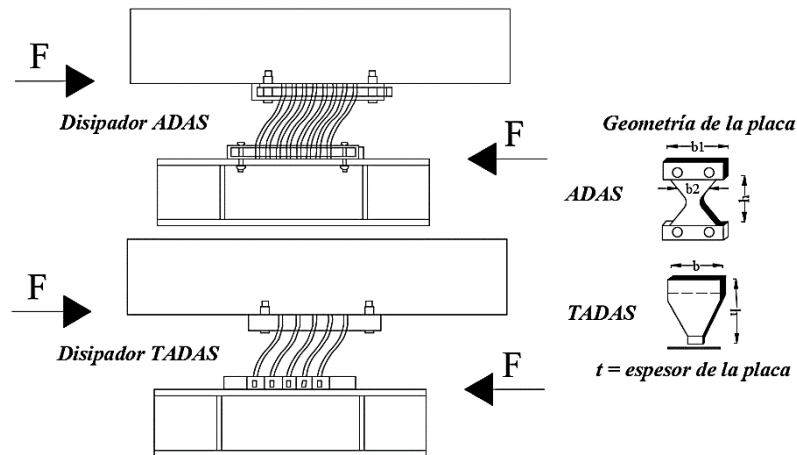
Como se indica en [15], los disipadores ADAS se ancla la parte superior del disipador al elemento viga y la inferior a la viga de contraviento, cuyo funcionamiento se basa en la acción de fuerzas equivalentes para generar un desplazamiento relativo, lo cual da paso a la disipación de energía mediante la fluencia del material. Por eso, es necesario que las diagonales de contraviento sean rígidas permitiendo que trabajen dentro del rango elástico ante un eventual movimiento sísmico y proporcionando un desplazamiento similar tanto en la parte inferior del disipador como en el entrepiso inferior.

#### **TADAS (Triangular plates added damping)**

En el caso de los disipadores tipo TADAS la parte superior en contacto con el elemento viga se lo hace mediante un empotramiento móvil, mientras que, el otro lado se encuentra conectado mediante articulación. Dicha conexión, permite el desplazamiento vertical en todos los agujeros ovalados y por ende disipa energía,

además, se evidencia un desplazamiento lateral relativo entre las dos partes y para evitar restricciones en el sistema el lado articulado se levanta al momento del desplazamiento [15].

**Figura 7.** Disipadores TADAS sobre contraviento Chevrón



**Fuente:** Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS, 2016 [15].

### 1.1.3.5.2 Disipadores Viscoelásticos

Estos dispositivos son óptimos para reducir la respuesta en edificios de gran altura ante la presencia de viento, por otra parte, se ha realizado varios estudios para el uso de estos disipadores con fines sismorresistentes. Los disipadores viscoelásticos compuestos por chapas metálicas presentan ciclos histeréticos de manera elíptica.

Como se indica en [12], la acción disipativa funciona mediante el aumento del amortiguamiento estructura, lo cual permite obtener ventajas considerables en relación con los disipadores histeréticos, siendo estos:

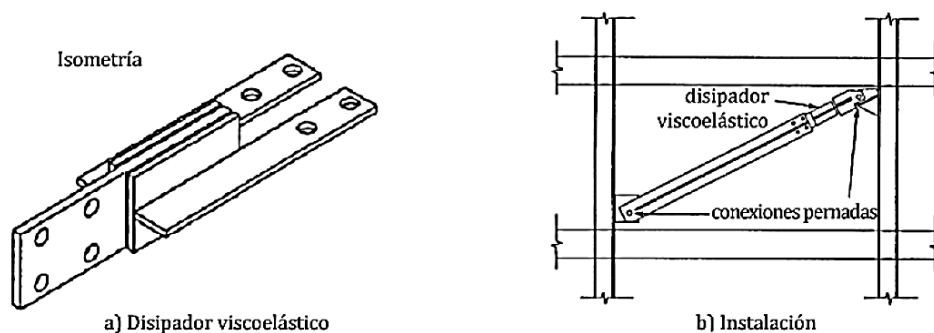
- No interviene una fuerza para la acción disipativa de la estructura.
- Los periodos de vibración no se ven afectados por los cambios significativos, permitiendo brindar un comportamiento lineal a la estructura y esto permite una fácil modelación.

- Los materiales que conforman este dispositivo al ser polímeros, proporcionan gran capacidad de disipación al deformarse ante la acción cortante.

Sin embargo, estos sistemas presentan inconvenientes tanto en su uso como en su aplicación, siendo estos los siguientes:

- A pesar de la poca variación del período, su comportamiento resonante no se ve alterado, es decir, cambia.
- Con respecto a los materiales que conforman el sistema viscoelástico tienden a ser sensibles ante cambios como son la temperatura, deformación y frecuencia, por lo cual, se ve en la necesidad de disminuir la influencia de estos para que los resultados buscados sean adecuados.
- Para aumentar el amortiguamiento de la estructura es necesario colocar una cantidad considerable de dispositivos ya que permiten reducir considerablemente la respuesta estructural.

**Figura 8.** Disipadores de energía Viscoelásticos

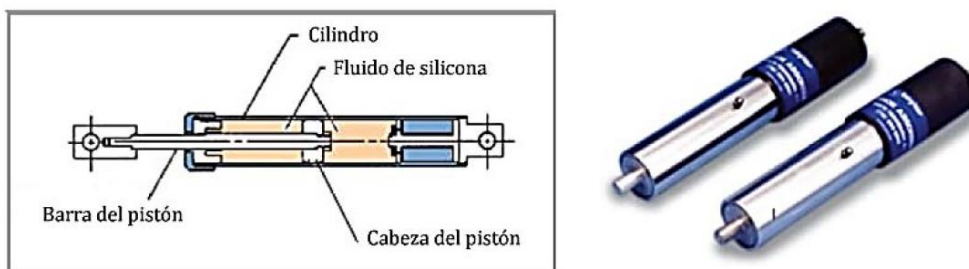


**Fuente:** Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras, 2016 [11].

### 1.1.3.5.3 Disipadores de fluidos viscosos

Estos dispositivos también conocidos como dampers basan su funcionalidad en fluidos altamente viscosos que recorren en el interior de un cilindro que contiene un pistón embebido en el fluido, además, este fluido pasa por orificios pequeños a medida que el pistón se desplaza y mediante esto se logra disipar energía [11].

**Figura 9.** Disipadores de energía de fluido viscoso



**Fuente:** Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras, 2016 [11].

#### 1.1.3.5.4 Disipadores de fricción

Para Bustos J. [16], los disipadores de fricción se basan en el aprovechamiento de la deformación relativa que se da entre dos puntos y mediante esto permite disipar energía a través de las fuerzas de fricción internas. Además, estos sistemas crean enlaces histeréticos rectangulares cuyas propiedades corresponden a la fricción de coulomb, sin embargo, no todos los componentes friccionales son elastoplásticos.

se puede recalcar que las características más importantes son:

- Comportamiento autocentrante con desarrollo de fuerza de fricción proporcional al desplazamiento.
- Su comportamiento es sofisticado con un mecanismo simple.
- Permite el desarrollo de tipos de fuerza-desplazamiento a base de la fricción.

#### 1.1.3.6 Configuración de los disipadores

##### 1.1.3.6.1 Disposición Chevron

La configuración se basa en colocar el amortiguador en sentido horizontal de forma paralela al plano de techo, permitiendo que este absorba las fuerzas horizontales que se somete a la estructura. Dicho esto, el comportamiento mejora considerablemente reduciendo las derivas. En conjunto con los disipadores SLB conectados en la parte superior al centro de la viga y en los nudos inferiores en la unión viga-columna; además, de la existencia de una junta en la parte superior entre la V invertida y el disipador, de tal manera que trabaje únicamente por fuerza horizontal y no por carga vertical [17].



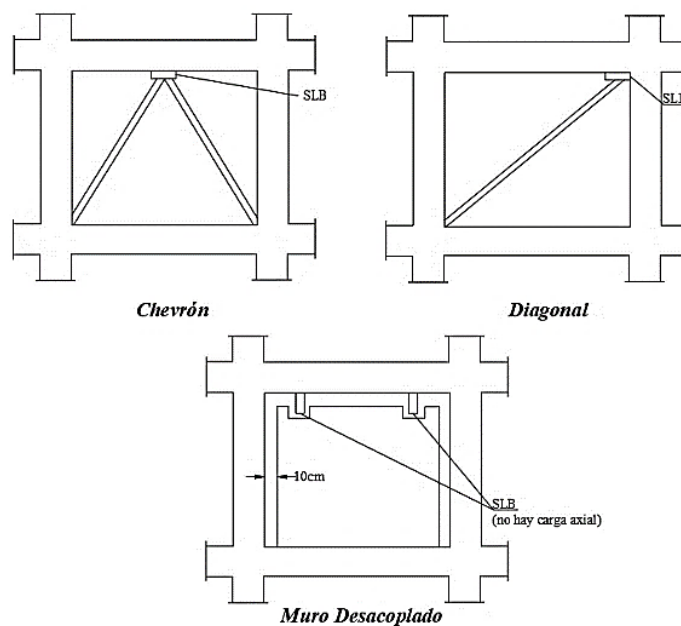
### 1.1.3.6.2 Disposición Diagonal

La configuración diagonal como su nombre lo indica se coloca el dispositivo en el ángulo diagonal al pórtico, siendo este el único que participa en la absorción de las fuerzas horizontales. Estos dispositivos no requieren ningún refuerzo adicional al pórtico debido a que los nudos pueden ser diseñados para los esfuerzos que se añaden a los amortiguadores [17].

### 1.1.3.6.3 Muros Desacoplados

Se conoce a los muros desacoplados al sistema formado por un pórtico con un muro interior y que a su vez cuenta con juntas laterales y en la cara superior. La configuración proporciona rigidez con solución dúctil a comparación de los muros convencionales, además, es segura en caso de discontinuidades excesivas. Por otra parte, para la sobre resistencia se controla mediante un ensayo de platina acorde a cada dispositivo. En conjunto con los dispositivos SLB proporcionan ductilidad y la conexión patentada se encarga de transferir los cortantes sísmicos sin carga axial al panel disipativo [17].

**Figura 10.** Configuración de los disipadores



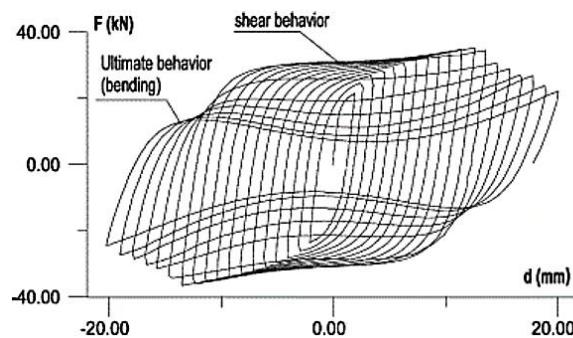
**Fuente:** Disipadores sísmicos SLB, 2018 [1].

### 1.1.3.7 Disipadores SLB

Este tipo de disipadores de energía fueron creados en 1995 basándose en los dispositivos ADAS y TADAS, pertenecientes al grupo de histeréticos metálicos. La primera etapa se basa netamente en un análisis numérico para identificar la eficiencia de los dispositivos. Posteriormente en los años 1997 y 2000 se desarrolla el primer dispositivo aplicando el mecanismo que generan planos de menor rigidez para la protección de muros, cuyas dimensiones fueron de aproximadamente 200 mm x 250 mm, además, de propiedades que plastificaban a decimas de mm al someterse a fuerzas de 10 KN y transferencia máxima de 40 KN [18].

Más tarde, se desarrolla en 2008 la segunda generación de los dispositivos a un rango de plastificación de 14 y 435 KN fabricado como un perfil metálico vertical y con rigidizadores horizontales, además, se realizó una variación en el ancho de cada dispositivo. Por ejemplo, el SL30\_2 posee una zona disipativa de 300 mm de ancho. Por otra parte, se desarrolló un modelado numérico mediante el programa ANSYS con fines experimentes y mediante esto obtener tablas de diseño con las propiedades mecánicas de 24 dispositivos [19].

**Figura 11.** Disipación de energía de los dispositivos SLB



**Fuente:** Edificios Prefabricados equipados con dispositivos sísmicos SLB, 2020 [20].

Actualmente, los dispositivos SLB son fabricados en acero comercial A36 y ASTM 572, donde el comportamiento histerético del acero se deforma en un rango inelástico cediendo a partir de desplazamientos muy pequeños lo cual lo diferencia de otros

sistemas metálicos que tardan más tiempo en activar su sistema de protección. Además, mediante ensayos realizados a los disipadores SLB se ha evidenciado una doble deformación para disipar energía como se muestra en la figura 10, siendo la principal deformación producto de los esfuerzos cortantes en las ventas disipativas y produciéndose una segunda forma de disipar energía después del punto de ruptura debido a los esfuerzos de flexión en el marco de refuerzo [20].

Por otro lado, buscan unificar los campos de control moderno y el diseño estructural clásico mediante el uso de conexiones no lineales denominadas Shear Link Bozzo (SBL). Además, estos dispositivos concentran las demandas de ductilidad en conexiones que son fabricadas de forma industrial y con propiedades mecánicas definidas lo que permite que las estructuras de diseño clásico avancen en base a la ductilidad y híperstatismo. También, a pesar de ser un disipador de energía se lo puede considerar como una rótula plástica en donde interviene el criterio del diseñar para su correcta ubicación [18].

Los dispositivos SLB se han empleado en distintos proyectos, por ejemplo la mega planta Lindley que cuenta con 250 unidades instaladas, la facultad de odontología de USMP ubicada en Lima con un total de 20 dispositivos, la torre de 62 pisos Paradox que cuenta con un total de 250 unidades, la torre de 30 pisos ubicada en Acapulco con 6 unidades, el proyecto urbina con 120 unidades y el proyecto de Ixtapa ubicado en México con un total de 160 dispositivos, además, todos fueron desarrollados en la fábrica Postensa SAC con supervisión de la calidad [19].

**Figura 12.** Disipadores de energía tipo SLB

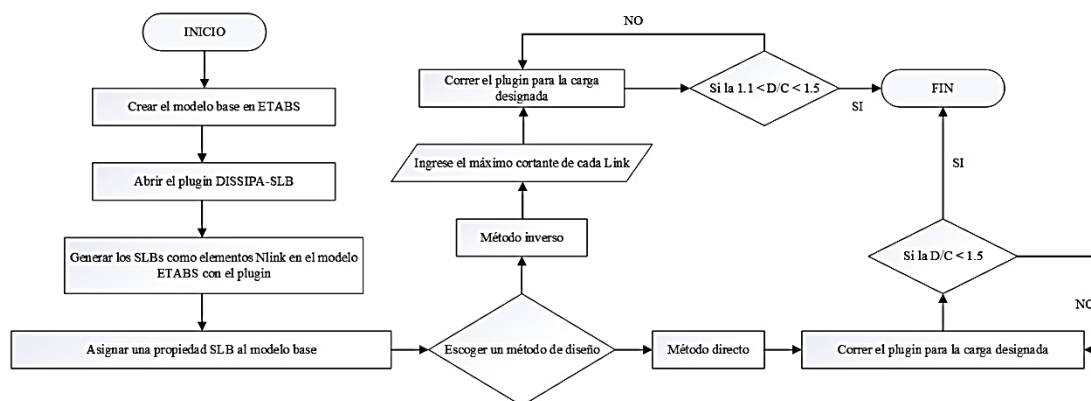


**Fuente:** Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo, 2016 [19].

### 1.1.3.7.1 Procedimiento para el diseño de los disipadores SLB

Existe dos métodos para la selección de dispositivos SLB que se encuentran incorporados en una aplicación conectada al software ETABS. Ambos métodos de prediseño se basan en un análisis modal espectral, lo cual permite que se reemplace procedimientos que hacen uso del análisis tiempo historia no lineal. Permitiendo así, un ahorro considerable en el tiempo computacional. Sin embargo, es necesario que el prediseño realizado se verifique mediante un análisis no lineal para corroborar que los disipadores trabajen en óptimas condiciones [20].

**Figura 13.** Diagrama de flujo para el análisis con disipadores SLB



**Fuente:** Disipadores SLB, 2021 [17].

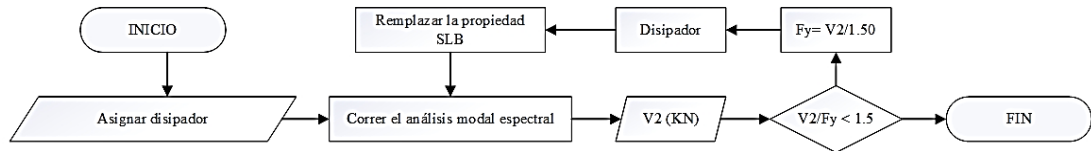
El proceso está compuesto por dos métodos iterativos directa e inversa y se los ha automatizado mediante un complemento DISSIPA SLB (PLUG-IN), siendo este una aplicación de gran utilidad ya que nos obtener resultados de información precisa, evitando así que se presente errores al momento de realizar iteraciones de forma manual [21].

#### **Método de iteración directa**

Según L. Bozzo et al. [21], el método de iteración directa consiste en iterar la selección de dispositivos mediante diversos análisis mediante el método modal espectral que es de tipo lineal, de manera que los dispositivos inicialmente vayan actualizándose, según la fuerza cortante que se presenta en cada iteración hasta que el cortante alcance una

relación D/C de 1.5 con la fuerza de fluencia del dispositivo. Dicha relación abarca diversos factores como es el endurecimiento cinemático del acero o su mayor resistencia a la acción de cargas dinámicas que son considerados con precisión en análisis tiempo historia no lineal.

**Figura 14.** Diagrama de flujo del método de iteración directa

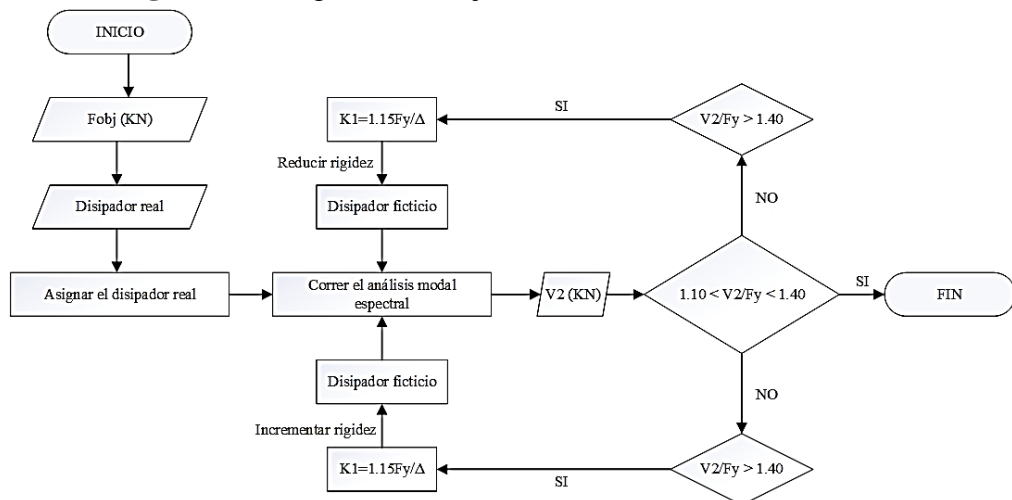


**Fuente:** Disipadores SLB, 2021[17].

### Método de iteración Inversa

El método de iteración inversa también conocido como método de la fuerza fija donde su procedimiento busca limitar la fuerza cortante en la selección de los disipadores. Es decir, este método no requiere del análisis sísmico para la selección de los dispositivos, ya que, se lo efectúa a partir de un cortante objetivo fijado por el diseñador. Además, consiste en iterar la rigidez considerada como rigidez ficticia del dispositivo hasta lograr que las fuerzas obtenidas en el análisis se encuentren en un rango de  $1.1 F_y$  y  $1.4 F_y$ . Por tal motivo, es necesario emplear las deformaciones obtenidas de los análisis congruentes al corte de diseño [21].

**Figura 15.** Diagrama de flujo del método de iteración inversa



**Fuente:** Disipadores SLB, 2021[17].

### 1.1.3.7.2 Campo de aplicación de los disipadores SLB

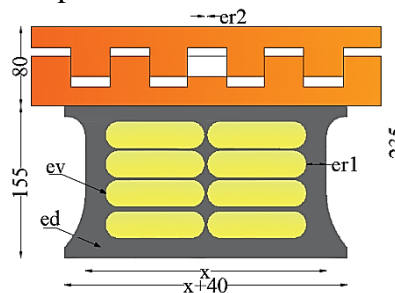
Según G. Bozzo & J. Ramírez [22], es conveniente el uso de los disipadores tipo SLB en las siguientes condiciones:

- En estructuras que se presente alta torsión en planta, ubicados de manera opuesta a los elementos que provocan torsión; sin embargo, no es necesaria colocarlos en toda la altura.
- En estructuras que presenten pisos blandos, añadiendo únicamente los elementos en los sitios donde se necesiten.
- En estructuras donde la implantación de la edificación sea de forma rectangular alargada.
- Para proporcionar rigidez y ductilidad a estructuras existentes.
- Debido a que la conexión Almenada que conforma el dispositivo no transfiere carga, se los puede colocar en cualquier sitio; lo cual permite rigidizar únicamente en donde se necesite.

### 1.1.3.7.3 Geometría de los disipadores SLB

La altura total del disipador de energía SLB corresponde a la altura de la placa dentada o conexión almenada y la del dispositivo, siendo estos de 80 mm y 155 mm respectivamente dando un total de 235 mm; sin embargo, para fines de cálculo únicamente se debe utilizar la altura del dispositivo. Dichos dispositivos se fabrican con material de alta ductilidad siendo estos el acero ASTM 36 o ASTM 572, para el segundo caso se debe realizar modificaciones a la tabla N° 1 donde se debe aplicar un factor de 1.4 a los valores de  $F_{max}$  y  $F_y$  [22].

**Figura 16.** Dispositivos SLB con conexión almenada



**Fuente:** Disipadores sísmicos SLB [17].

Donde

$er1$ , Separación entre la ventana y la placa

$er2$ , Separación entre ventanas

La simbología para identificar a cada dispositivo se lo realiza a partir de las dimensiones utilizadas y basa mediante la siguiente nomenclatura

$$SLB(ed) x_y$$

Donde

$x$ , ancho del dissipador

$ev$ , espesor de la ventana

$ed$ , espesor del dissipador

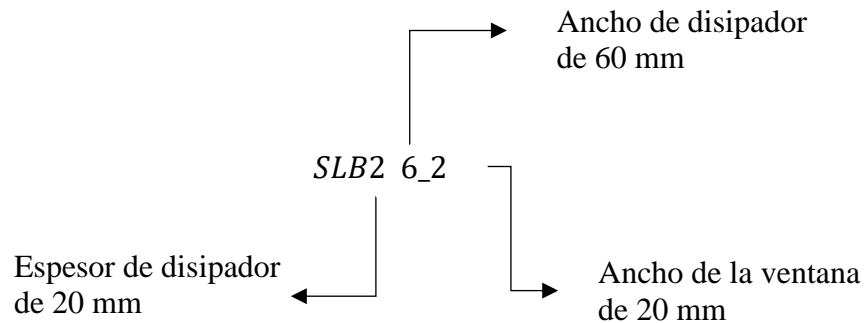
Por otra parte  $ed$ , se numera de la siguiente forma, a partir de las placas de cada dispositivo

$ed = 2$ , placas de 20 mm

$ed = 3$ , placas de 25 mm

$ed = 4$ , placas de 38 mm

Se establece un ejemplo de la nomenclatura del dispositivo SLB



Para los dos tipos de acero se realiza la misma nomenclatura y únicamente para el ASTM 572 se antepone la letra E.

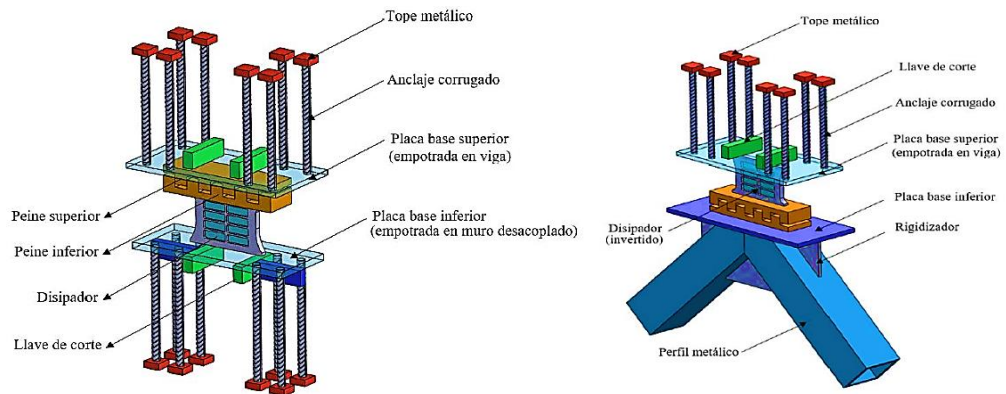
### Conexión Almenada

La conexión almenada tipo peine está separado uno de otro en 15 mm sin contacto vertical entre ellos, lo cual impide la transferencia de carga axial de la estructura al dissipador y únicamente está sujeto a fuerzas de corte laterales. Por otra parte, su

ubicación depende del sistema que se utilice en caso de muro desacoplado al ser más rígido que la viga la conexión almenada se coloca en la parte superior y la base del disipador se conecta al muro, ya que, en la base se va a presentar el mayor momento.

Caso contrario, al momento de utilizar diagonales metálicas la conexión debe ir en la parte inferior porque la viga presenta mayor rigidez que las diagonales, por lo tanto, para que el disipador trabaje es necesario que el momento que se presenta en este se ubique en el elemento más rígido [20].

**Figura 17.** Conexión almenada, anclajes y disipador SLB

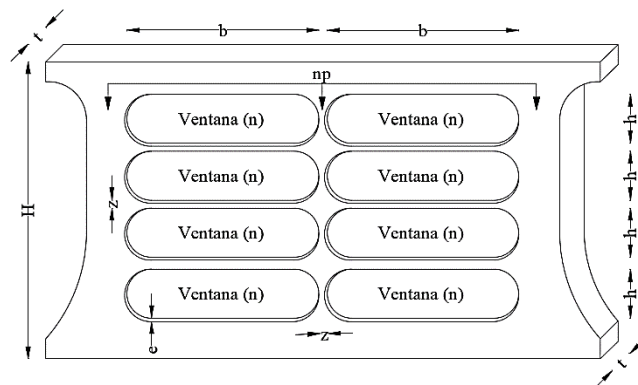


**Fuente:** Disipadores SLB, 2021 [17].

#### 1.1.3.7.4 Análisis de los disipadores SLB

De acuerdo a R. Aguiar, L. Bozzo, H. Coyago & C. Andino [19], se aplican las siguientes fórmulas para determinar las dimensiones de los dispositivos:

**Figura 18.** Marco y ventanas de los disipadores



**Fuente:** Elaboración propia.



## Rigidez del marco

Para los dispositivos de energía SLB el marco trabaja como una columna empotrada en sus extremos con una rigidez

$$k_r = np \frac{12 EI}{h^3}$$

Donde

$np$ , cantidad de elementos verticales

$h$ , altura de una ventana

$E$ , Módulo de elasticidad del acero

$I$ , Inercia

$$I = \frac{tz^3}{12}$$

Donde

$t, z$ , dimensiones de la sección transversal del marco

## Rigidez de las ventanas

Para determinar la rigidez de la ventana se basa en la siguiente ecuación

$$k_w = n \frac{GA_w}{h}$$

Donde

$n$ , número de ventanas

$h$ , altura de una ventana

$G$ , módulo de corte del material

$A_w$ , área

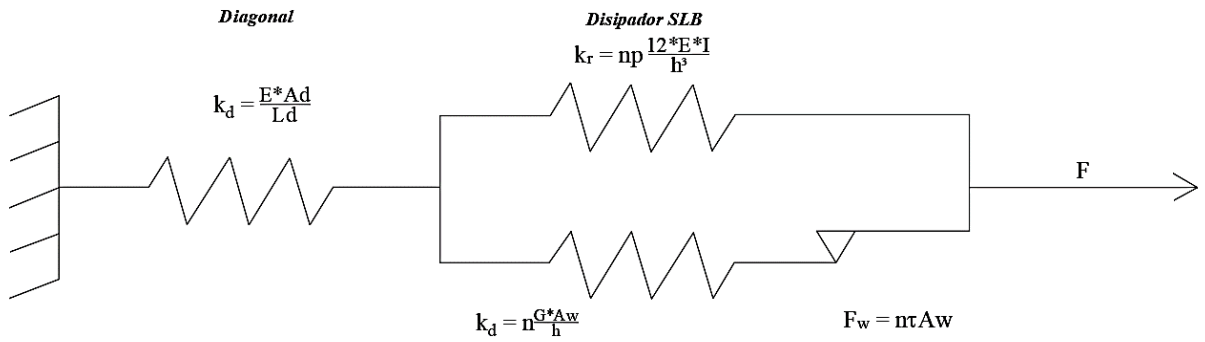
$$A_w = be$$

Donde

$b$ , base de una ventana

$e$ , espesor de una ventana

**Figura 19.** Modelo analítico de los disipadores SLB

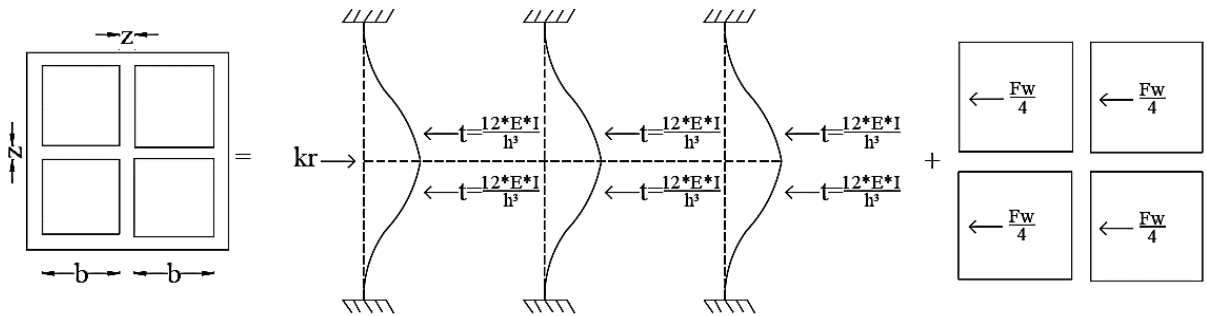


**Fuente:** Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo, 2016 [19].

**Rigidez del marco y ventanas**

El desplazamiento lateral del marco es el mismo que el de la ventana, por lo tanto, se evidencia un trabajo como dos resortes en paralelo.

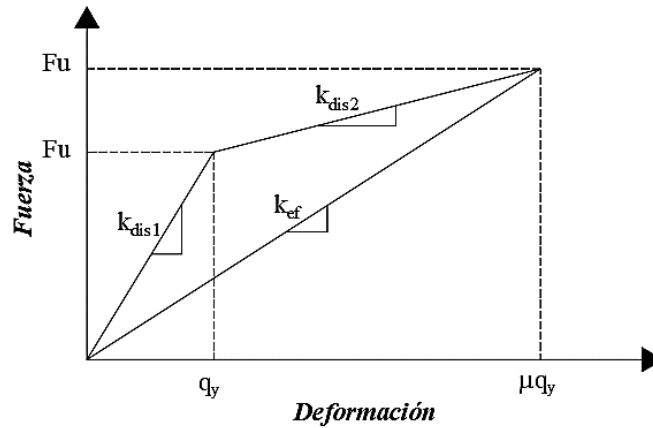
**Figura 20.** Rigidez del marco y ventana



**Fuente:** Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo, 2016 [19].

Se considera que la ventana y el marco trabaja dentro del rango inelástico y únicamente el marco en el rango plástico. Por otro lado, se basa en un modelo bilineal para el comportamiento fuerzas-deformación lateral.

**Figura 21.** Diagrama bilineal



**Fuente:** Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo, 2016 [19].

Se considera a la rigidez elástica  $k_{dis1}$  como la sumatoria entre la rigidez de la ventana y la del marco

$$k_{dis1} = k_r + k_v$$

Donde

$k_r$ , rigidez del marco

$k_v$ , rigidez de la ventana

Mientras que la rigidez plástica  $k_{dis2}$ , únicamente trabaja el marco en el en el rango no lineal.

$$k_{dis2} = \alpha k_r A_w$$

$\alpha$ , relación de la rigidez post fluencia y la elástica

$k_r$ , rigidez de la ventana

### **Fuerza de fluencia**

La fuerza de corte a nivel de fluencia se determina bajo la siguiente ecuación

$$F_w = n\tau A_w$$

Donde

$\tau$ , esfuerzo de corte

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y$$

Para determinar la fuerza lateral del marco a nivel de fluencia se aplica la siguiente formula

$$q_y = \frac{F_r}{k_r} = \frac{F_w}{k_w} \rightarrow F_r = \frac{k_r}{k_w} F_w$$

Mientras que para determinar la fuerza de fluencia se da bajo la siguiente condición

$$F_y = F_w + F_r$$

### **Rigidez Efectiva**

Para determinar la fuerza última se consigue base la siguiente condición

$$q_u = \mu q_y$$

$$F_u = F_y + k_{dis1} q_y (\mu - 1)$$

Otro de los parámetros a obtener es la rigidez efectiva o rigidez secante, la cual se obtiene mediante la ecuación

$$k_{ef} = \frac{F_u}{\mu q_y}$$

Donde

$F_u$ , Fuerza última

$\mu$ , Ductilidad

$q_y$ , Desplazamiento de fluencia

#### **1.1.3.7.5 Análisis de diagonales de los disipadores SLB**

Según R. Aguiar, L. Bozzo, H. Coyago & C. Andino [19], los disipadores SLB al colocarse sobre diagonales, posee una rigidez axial que se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$k_d = \frac{EA_d}{L_d}$$

Donde

$A_d$ , Área de la sección transversal del perfil diagonal

$L_d$ , Longitud de la diagonal

Existen dos alternativas para trabajar, la primera donde  $k_{dis}$  puede ser igual a  $k_{dis1}$  o  $k_{dis2}$ , dependiendo el desplazamiento producido y la segunda opción puede ser  $k_{ef}$  si se opta por trabajar con rigidez secante.

Ahora bien, es importante tomar en cuenta que la rigidez de la viga y del marco trabajan en conjunto, es decir, en forma paralela obteniendo así la siguiente condición:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_{dis}}$$

Al trabajar con la rigidez secante, se debe destacar que el  $k_d$  se establece como rigidez axial y  $k_{ef}$  como rigidez horizontal. Por otro lado, al trabajar con una rigidez equivalente es necesario dividir la rigidez horizontal para cada diagonal, para compartir la mitad de la rigidez efectiva y así obtener la rigidez efectiva que se establece bajo la siguiente condición:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_d} + \frac{2 \cos^2 \theta}{k_{ef}}$$

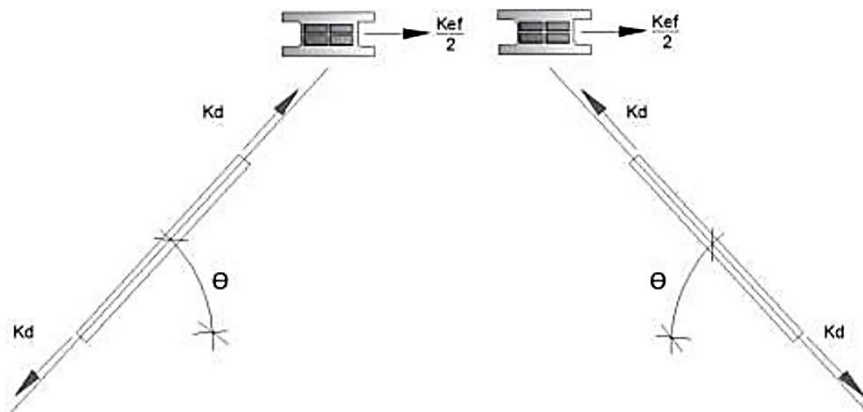
Donde

$\theta$ , ángulo entre la diagonal y el eje horizontal

Al despejar la ecuación se obtiene

$$k_{eq} = \frac{k_d k_{ef}}{k_{ef} + 2 k_d \cos^2 \theta}$$

**Figura 22.** Rigidez axial y horizontal del disipador



**Fuente:** Análisis sísmico de bloque estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo, 2016 [19].

### 1.1.3.7.6 Modelado de disipadores SLB

Como se demuestra en [23], para el modelado de los disipadores se puede realizar mediante dos tipos de elementos siendo estos los FRAME y NLINK, donde se realiza un análisis modal espectral en primera instancia. Sin embargo, de los dos elementos el más adecuado es el NLINK, ya que, proporciona valores similares al FRAME y este prepara un modelo para un posterior análisis tiempo historia no lineal.

Los programas SAP 2000 y ETABS ofrecen diferentes tipos de NLINK, de los cuales se usa el modelo Plastic (Wen) que representa el comportamiento histerético de los disipadores metálicos, además, este puede disimular adecuadamente el efecto Baushinger y la respuesta cíclica del acero en su rango inelástico.

El modelo plástico evidencia una relación de desplazamiento y fuerza no lineal que viene dada por la siguiente ecuación:

$$f = \alpha k_1 d + (1-\alpha)f_y z$$

Donde

$k$ , rigidez elástica

$f_y$ , fuerza de fluencia

$\alpha$ , relación entre la rigidez post fluencia y rigidez elástica

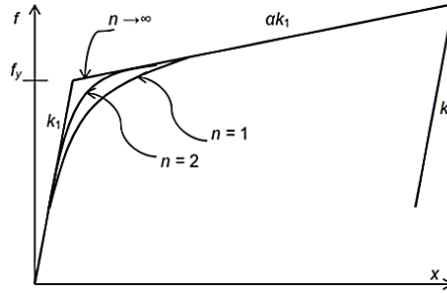
$z$ , variable histerética interna

La variable  $z$  tiene un rango entre  $z \leq 1$ , con superficie de fluencia presentada por  $z = 1$ , donde el valor inicial de  $z$  inicia en cero y evoluciona conforma a la ecuación diferencial

$$z = \frac{k}{f_y} \begin{cases} d(1 - |z|^{\exp}) & \text{si } dz > 0 \\ d & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Para el caso de los disipadores SLB, el valor  $\exp$  es igual a 2.

**Figura 23.** Modelo histerético de Wen



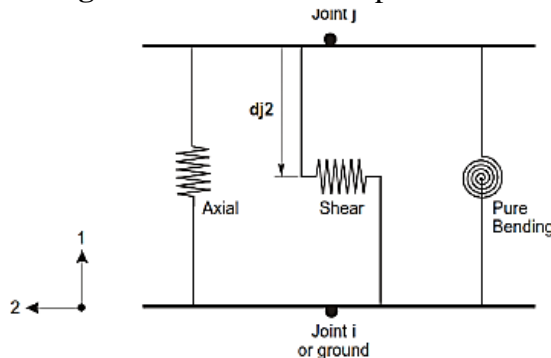
**Fuente:** Modelado, Análisis y diseño sísmico de estructuras Utilizando disipadores de energía SLB, 2019 [23].

En caso de estructuras con paredes desacopladas y disipadores SLB, el tamaño del dispositivo y la longitud de las paredes se mide desde la cara superior de las vigas; tomando en cuenta que los dispositivos convencionales miden 155 mm, por lo cual, se considera los muros de apoyo con su altura inicial [23].

#### 1.1.3.7.7 Elemento NLINK

Para el uso de este elemento es necesario tomar en cuenta un parámetro importante denominado lugar de deformación por cortante, es decir punto de momento nulo. Dicho punto se considera como la distancia al punto de inflexión o donde el impulso debido al corte en el enlace es cero, sin embargo, este debe ser medido desde el punto J o nudo final del link. Por consiguiente, al hacer uso de los disipadores SLB este punto se presenta en la conexión almenada donde el momento igual a cero [23].

**Figura 24.** Deformación por cortante



**Fuente:** Modelado, Análisis y diseño sísmico de estructuras Utilizando disipadores de energía SLB, 2019 [23].

### 1.1.3.7.8 Empleo de disipadores SLB en Ecuador

Los dispositivos SLB han sido instalados en diversas ciudades de diferentes países como Lima, Acapulco, Santa Fe, Guadalajara, con una fabricación de aproximadamente 2182 ejemplares. Además, en Ecuador se ha optado por el uso de estos dispositivos para reforzamiento, siendo el hotel ceibo uno de ellos que se rehabilito mediante el uso de muros desacoplados y diagonales metálicas con el fin de no alterar el espacio arquitectónico y cumplir con todos los requisitos de diseño sismorresistente que establece la normativa vigente. También, se ha utilizado en otras estructuras que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 1.** Edificaciones con disipadores SLB en Ecuador.

<b>EDIFICACIONES CON MECANISMO SLB</b>						
<b>Ítem</b>	<b>Nombre del proyecto</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>N° de pisos</b>	<b>Etapas de Proyecto</b>	<b>Año de construcción</b>
1	Clínica Riobamba	Riobamba	17	6	Construido	2016
2	Hotel Ceibo Dorado	Manta	43	7	Construido	2016
3	Laboratorio Universidad FF AA	Quito	31	4	Construido	2017
4	Silos	Guayaquil	44	4	Construido	2017

**Fuente:** Análisis y diseño utilizando disipadores sísmico tipo SLB, [22].

### 1.1.3.8 Análisis lineal

El análisis lineal de una estructura hace referencia al estudio del comportamiento ante la acción de fuerzas externas donde el material se mantiene dentro del rango elástico, es decir, el esfuerzo es proporcional a la deformación. Además, este análisis considera deformaciones.



La normativa NEC en su capítulo de peligrosidad sísmica establece que existe 3 métodos de análisis uno estático y dos dinámicos:

#### **1.1.3.8.1 Estático**

Como se indica en [24], este análisis es el más antiguo de todos donde se considera que la estructura se comporta como un cuerpo rígido indeformable que se desplaza en función del movimiento horizontal del suelo. Dicho esto, la aceleración de la estructura llega a ser igual a la del terreno provocando una fuerza inercial que es igual a la masa por la aceleración.

También se puede decir que es un método que estima el efecto del sismo sobre una estructura mediante la aplicación de fuerzas horizontales que actúan en el centro de masa de cada piso, además, permite obtener respuestas estructurales como son fuerzas internas y desplazamientos.

#### **1.1.3.8.2 Análisis dinámicos**

##### **Análisis dinámico espectral**

El análisis dinámico modal espectral se basa en análisis de sistemas elásticos lineales al desacoplar las ecuaciones dinámicas de la estructura mediante las propiedades de ortogonalidad de los modos de oscilación. También, se entiende como un análisis basado en un espectro de respuesta elástico que toma en cuenta el período de la estructura y así obtener la respuesta de cada forma modal [24].

Para la realización del análisis modal se debe incluir una cantidad considerable de modos para obtener una participación modal del 100% de la masa de la estructura. Por ello, se permite representar los modos con períodos inferiores a 0.05s en un modo de cuerpo rígido, sin embargo, se permitirá un análisis que incluya un número mínimo de modos para la obtención de una participación modal combinada de la masa de 90% de la masa real en cada dirección ortogonal [25].

## **Análisis dinámico paso a paso en el tiempo**

Como se indica en [26],[27], un análisis paso a paso en el tiempo o historia de la respuesta lineal consiste en un modelo matemático lineal de la estructura para determinar su respuesta, mediante métodos de integración numérica y conjuntos de historias de aceleración del movimiento del suelo compatible con el espectro de respuesta de diseño para el emplazamiento. Dicho en otras palabras, este método usa acelerogramas para el sitio en específico donde se va implantar la construcción, siendo estos sismos reales que se esperan en la zona, además, se aplicara a estructuras con sistemas con disipadores de energía.

### **1.1.3.8.3 Nivel de peligro sísmico**

La norma ASCE 41-17 establece que los análisis lineales y no lineales requieren de la aceleración del movimiento del suelo para representar el peligro sísmico del lugar, ya que, los movimientos del terrero son muy variables y no se afectan a la estructura en una sola dirección. Dicho esto, se presenta en la siguiente tabla los niveles de amenaza o peligro sísmico:

**Tabla N° 2.** Niveles de sismicidad

<b>Nivel de sismo</b>	<b>SDS</b>	<b>SD1</b>
Muy bajo	$< 0.617g$	$< 0.067g$
Bajo	$\geq 0.167g$	$\geq 0.067g$
	$< 0.33g$	$< 0.133g$
Moderado	$\geq 0.33g$	$\geq 0.133g$
	$< 0.5g$	$< 0.2g$
alto	$\geq 0.5g$	$\geq 0.2g$

**Fuente:** ASCE 41-17, 2017 [28].

La norma NEC-SE-DS establece que se clasifica a los sismos en cuatro tipos según el nivel de peligro y el período de retorno

**Tabla N° 3.** Nivel de peligro sísmico

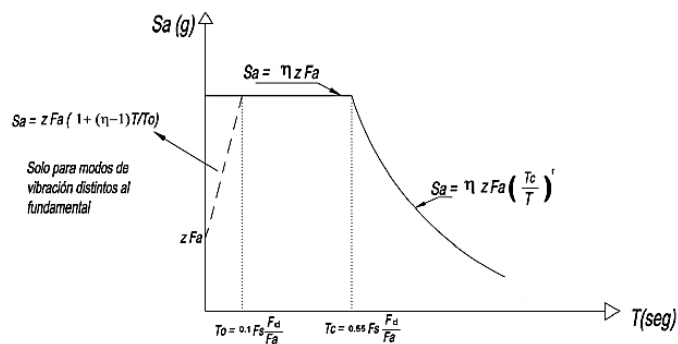
Nivel de sismo	sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno Tr (años)	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro (Extremo)	2%	2500	0.0004

Fuente: NEC-SE-DS Peligro sísmico, 2015 [27].

#### 1.1.3.8.4 Espectro elástico de diseño en aceleraciones

Los espectros de respuesta elástico de aceleraciones son elaborados mediante los mapas de zonificación sísmica los cuales se toma en cuenta el factor de zona sísmica Z, tipo de suelo de la implantación de la estructura y coeficientes de amplificación del suelo  $F_a$ ,  $F_d$ ,  $F_s$ .

Figura 25. Espectro elástico de diseño en aceleraciones



Fuente: NEC-SE-DS Peligro sísmico, 2015 [27].

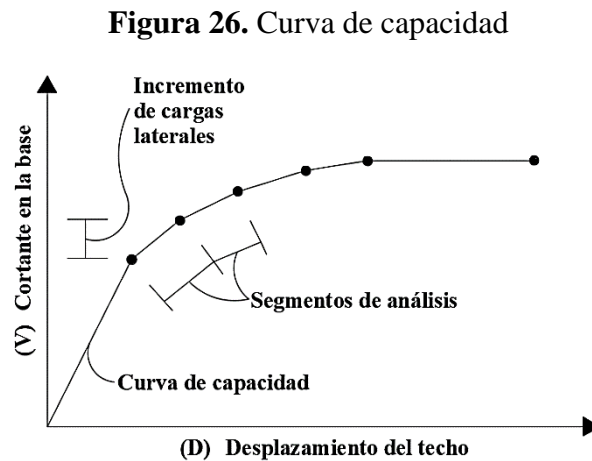
Además, el espectro de respuesta de aceleraciones debe calcularse con un 5% de amortiguamiento en la dirección de la máxima respuesta horizontal calculada para dicho período.

#### 1.1.3.9 Análisis no lineal

Dentro de los análisis inelásticos el más completo es el análisis no lineal tiempo-historia, sin embargo, al ser un método complejo se ha planteado métodos más simples de análisis no lineal que se denomina análisis estáticos no lineales.

### Curva de capacidad

La curva de capacidad es la base de los procedimientos estáticos no lineales que se generan sometiendo un modelo estructural a una variedad de cargas laterales y luego la carga total genera una relación inelástica de fuerza-deformación para la estructura global. Además, existe diferentes métodos para obtener la curva de capacidad propuestos por el FEMA 356 (método de coeficiente) donde el cortante basal y el desplazamiento son los parámetros globales, y el ATC-40 (método de capacidad-espectro) donde estos se transforman en aceleración espectral y desplazamiento espectral. También, estos métodos de iteración nos permiten obtener el punto de desempeño de la estructura [29].



**Fuente:** ATC-40, 1996 [30].

La capacidad de una estructura y la demanda aplicada no son independientes, es decir, se desprende una fuente de dependencia mutua de la curva de capacidad donde a medida que aumenta la demanda, la estructura cede y se evidencia en la disminución de la rigidez que provoca la alegación del período. Otro caso de dependencia mutua es

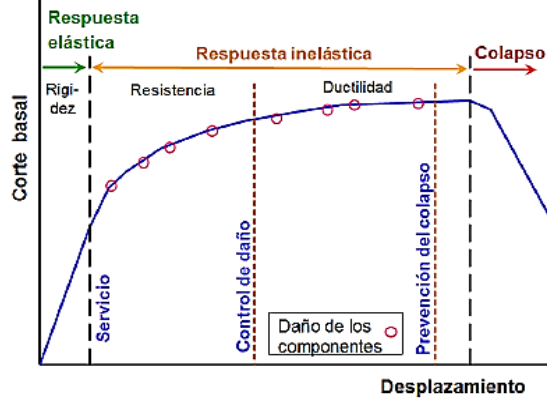
la amortiguación efectiva cuando la estructura ceda ante la acción sísmica esta disipa energía con amortiguación histerética [30].

## **Desempeño**

Como se indica en [30], [31], el desempeño de la estructura se evalúa siempre y cuando se determine la curva de capacidad y se defina el desplazamiento de demanda, permitiendo así supervisar que los elementos estructurales y no estructurales no se vean afectados más allá de los límites de desempeño aceptados. Se establece cuatro tipos de categorías para determinar el nivel de desempeño de una estructura, siendo estos los siguientes:

- Nivel operacional: el daño es muy ligero o casi nulo y la estructura no presenta deriva permanente, conserva la rigidez y resistencia original. Además, se presenta un agrietamiento menor en los elementos no estructurales.
- Ocupación Inmediata: el nivel de daño es ligero y al igual que el nivel operacional la estructura no llega a presenciar una deriva permanente, conserva sustancialmente la resistencia y rigidez original. Además, se presenta un agrietamiento menor elementos no estructurales.
- Seguridad de vida: se presenta un daño moderado y se llega a presenciar alguna deriva permanente, pero conserva algo de resistencia y rigidez en todos los pisos. Otro aspecto, es que la estructura puede estar más allá de una reparación económica.
- Prevención de colapso: el daño en la estructura es severo, presenta grandes derivas permanentes, poca rigidez y resistencia, pero las columnas y muros funcionan.

**Figura 27.** Desempeño de una estructura

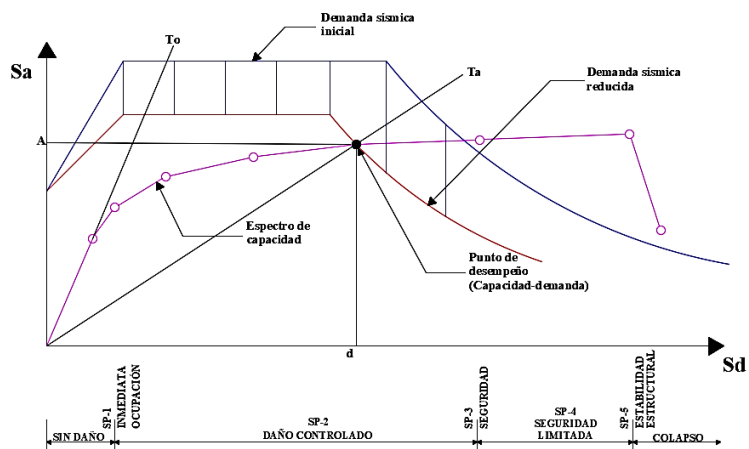


**Fuente:** Diseño sismorresistente de construcciones de acero, 2018 [14].

### Punto de desempeño

El desplazamiento de demanda en el espectro de capacidad se presenta en cierto punto sobre el espectro que se lo denomina como punto de desempeño y este representa la igualdad entre la capacidad sísmica y la demanda sobre la estructura debido a movimientos sísmicos. Por otra parte, el desplazamiento que se presenta en el punto de desempeño debe estimarse mediante la técnica denominada aproximación de igual desplazamiento, asumiendo así que el desplazamiento inelástico espectral es igual al desplazamiento elástico. Además, la técnica mencionada nos permite estimar el inicio de la iteración para obtener el punto de desempeño [32].

**Figura 28.** Punto de desempeño



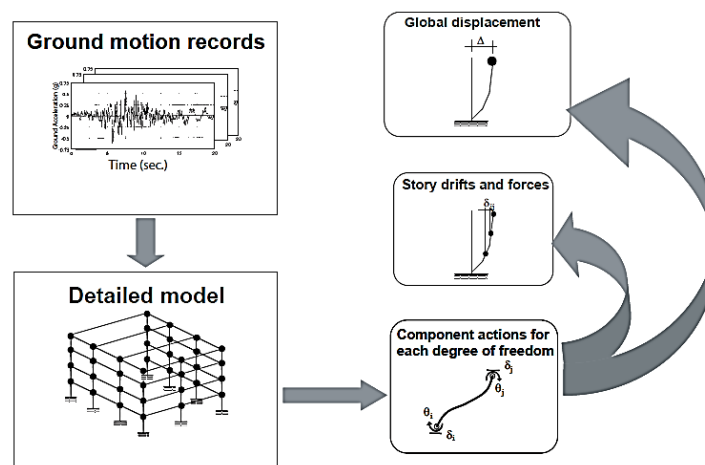
**Fuente:** ATC-40, 1996 [30].

### 1.1.3.9.1 Análisis dinámico no lineal tiempo-historia

Este análisis es el más completo ya que nos proporciona el comportamiento estructural frente a la acción sísmica, sin embargo, es el más costoso por el desgaste computacional que conlleva este análisis. Para realizarlo se puede utilizar métodos de plasticidad ya sea concentrada o distribuida y la acción sísmica se la puede definir en función del tiempo o mediante acelerogramas que pueden ser de un registro sísmico o mediante el uso de acelerogramas sintéticos. Además, mediante este análisis se determina el máximo desplazamiento cuando la estructura colapsa y este a su vez es obtenido cuando la estructura alcanza el máximo cortante en la base [33].

Dado que este análisis dinámico no lineal incorpora la no linealidad de los componentes estructurales bajo la acción sísmica, este simula explícitamente la disipación de energía histerética en el rango no lineal y únicamente es necesario añadir el amortiguamiento en el rango lineal y otra disipación de energía mediante un amortiguamiento viscoso. Otro aspecto, es que en el análisis dinámico no lineal interviene menos suposiciones que el procedimiento estático no lineal, lo cual, permite que las limitaciones sean menores. Sin embargo, la exactitud de los resultados depende de los detalles del modelamiento y la precisión con la que se capte los efectos significativos del comportamiento de la estructura [34].

**Figura 29.** Proceso de análisis dinámico no lineal.



**Fuente:** FEMA 440, 2005 [29].

El análisis incorpora características no lineales de carga-deformación de los componentes que conforman la estructura sometiéndolas a sacudidas sísmicas representadas por historias de tiempo del movimiento del suelo y mediante esto obtener fuerzas y desplazamientos [28].

## **Acelerogramas**

La NEC-SE-DS establece que para el análisis paso a paso en el tiempo se debe usar registros de acelerogramas no menos de 3 eventos sísmicos, sin embargo, para que los acelerogramas sean validos deben cumplir con ciertas características como son magnitud, distancia a la falla, mecanismos de falla y efectos de suelo. Además, en caso de realizar un análisis para los 3 pares de registros se debe tomar la máxima respuesta de diseño de interés, mientras que, si se utiliza 7 o más registros sísmicos se debe utilizar un promedio de la respuesta de interés.

### **1.2 Hipótesis**

La estructura de hormigón armado integrada con disipadores SLB presentan un mejor comportamiento estructural que la estructura de hormigón armado convencional.

El sistema SLB permite reducir considerablemente las derivas de la estructura permitiendo cumplir con los rangos establecidos por la norma ecuatoriana de la construcción, además, disipan aproximadamente un 50% de la energía total de la estructura.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar la respuesta estructural de un edificio de hormigón armado convencional y con el uso de disipadores de energía Shear Link Bozzo (SLB).

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**



- Realizar la modelación estructural de un edificio de hormigón armado convencional mediante un análisis lineal.
- Realizar la modelación estructural de un edificio de hormigón armado con disipadores SLB mediante un análisis no lineal tiempo historia.
- Comparar el costo entre un edificio de hormigón armado convencional respecto a uno integrado con disipadores SLB.

## **CAPÍTULO II METODOLOGÍA**

### **2.1 Materiales y equipos**

#### **2.1.1 Materiales**

- Material de oficina (Hojas, lápiz, esfero, etc.)
- Material Bibliográfico (Revistas, artículos científicos, libros, etc.)

#### **2.1.2 Equipos**

- Laptop

**Marca:** Dell Inspiron 15

**Procesador:** Intel(R) Core (TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz

**RAM:** 16.0 GB (15.9 GB utilizable)

**Id del dispositivo:** F7C54CB3-56D4-4993-9B17-D90E103C8624

- Programa

**Marca:** Etabs

**Fabricante:** Computers and Structures, Inc.

**Código:** 1NDUZ9B5NHXCGGP

### **2.2 Métodos**

#### **2.2.1 Plan de recolección de datos**

##### **2.2.1.1 Datos**

La estructura se va encontrar ubicada en la parroquia Totoras perteneciente a la ciudad de Ambato compuesta por cinco pisos donde la planta baja será para parqueadero y las 4 plantas restantes serán para viviendas, además, consta con un tapagrada y terraza accesible. Además, está conformada por un sistema estructural aporticado de hormigón armada que se va a modelar en el software Etabs para realizar un primer

análisis mediante el análisis lineal y se tendrá un segundo análisis con la incorporación de disipadores de energía SLB, donde se realizará un prediseño de estos dispositivos mediante el análisis modal espectral y se verificará mediante un análisis dinámico no lineal

#### 2.2.1.1.1 Coordenadas Geográficas

**Tabla N° 4.** Coordenadas Geográficas

<b>Coordenadas Geográficas</b>			
<b>Puntos</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Elevación (m)</b>
1	9855903.75	766732.12	2728
2	9855887.19	766749.40	2728
3	9855926.32	766768.72	2728
4	9855906.71	766783.24	2728

**Fuente:** Google Earth.

#### 2.2.1.1.2 Ubicación de la estructura en planta

**Figura 30.** Ubicación Estructura

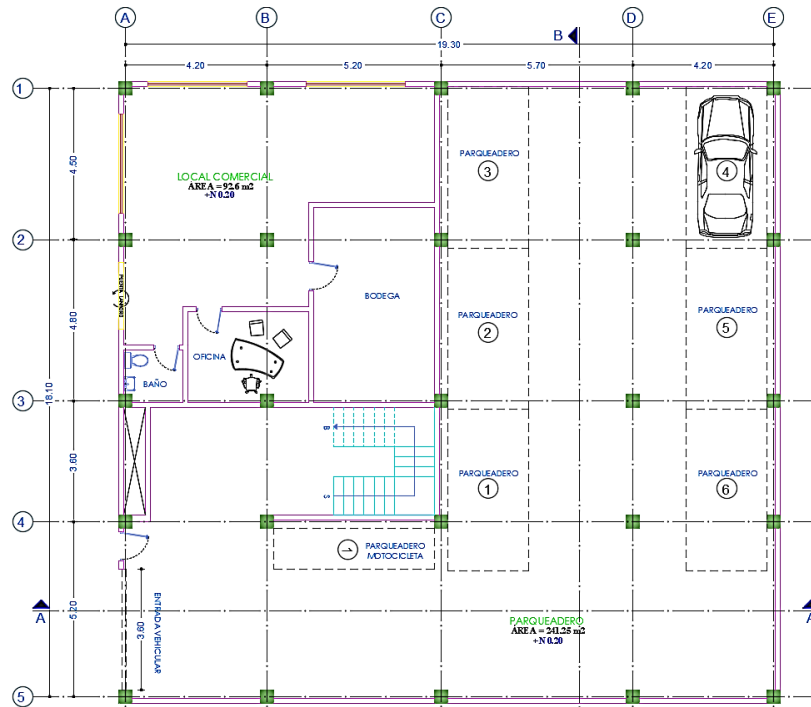


**Fuente:** Google Earth.

## 2.2.1.2 Planos de la estructura

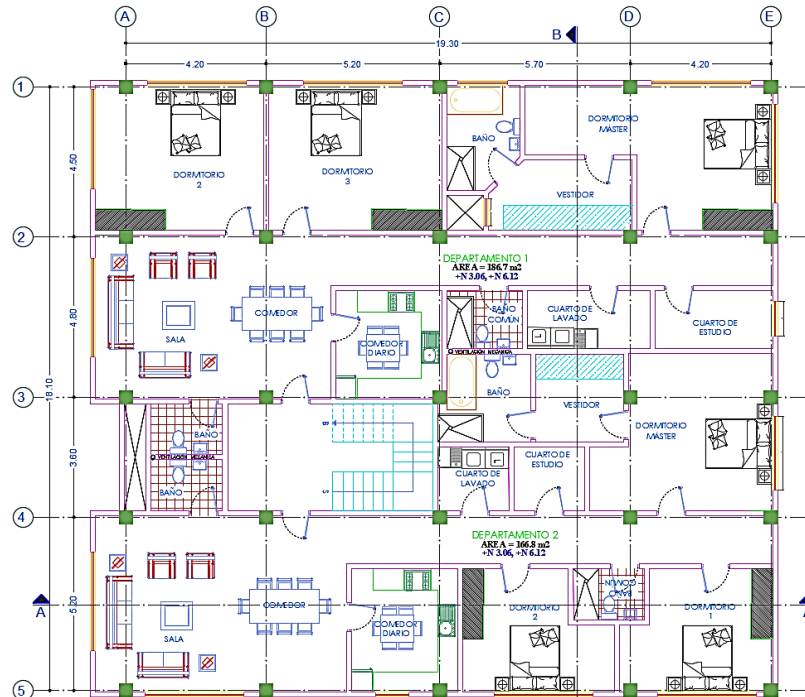
### 2.2.1.2.1 Estructura en planta

Figura 31. Planta baja N+0.2



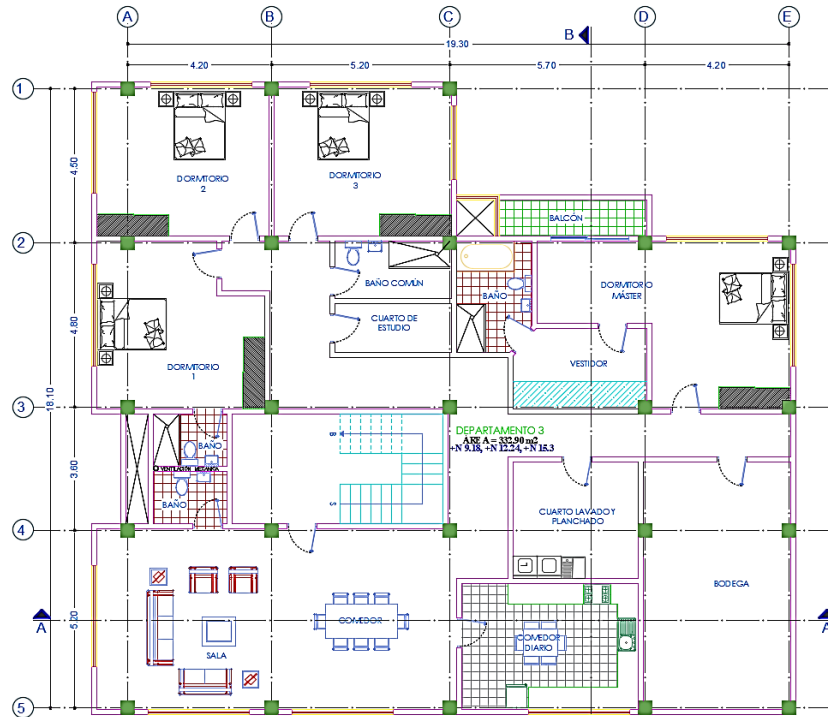
Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Planta N+ 3.06, N+ 6.12



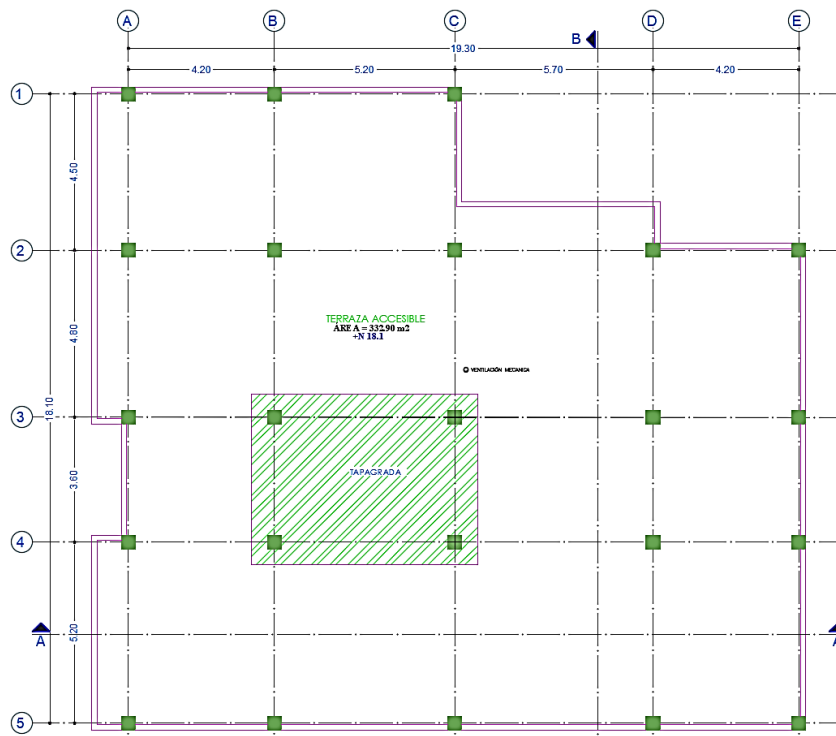
Fuente: Elaboración propia

**Figura 33. Planta N+ 9.18, N+ 12.24, N+ 15.3**



**Fuente: Elaboración Propia**

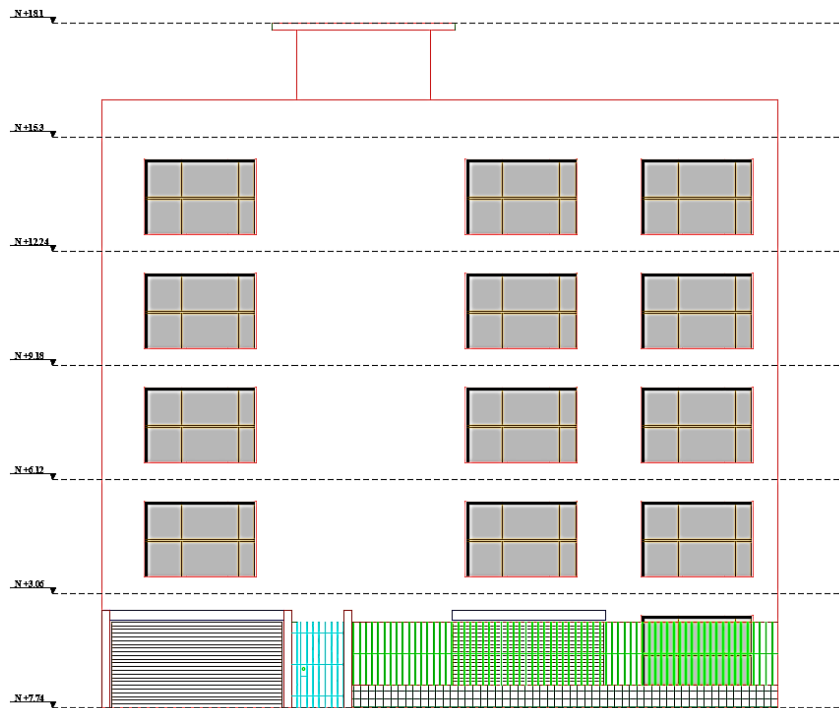
**Figura 34. Terraza y Tapagrada**



**Fuente: Elaboración Propia**

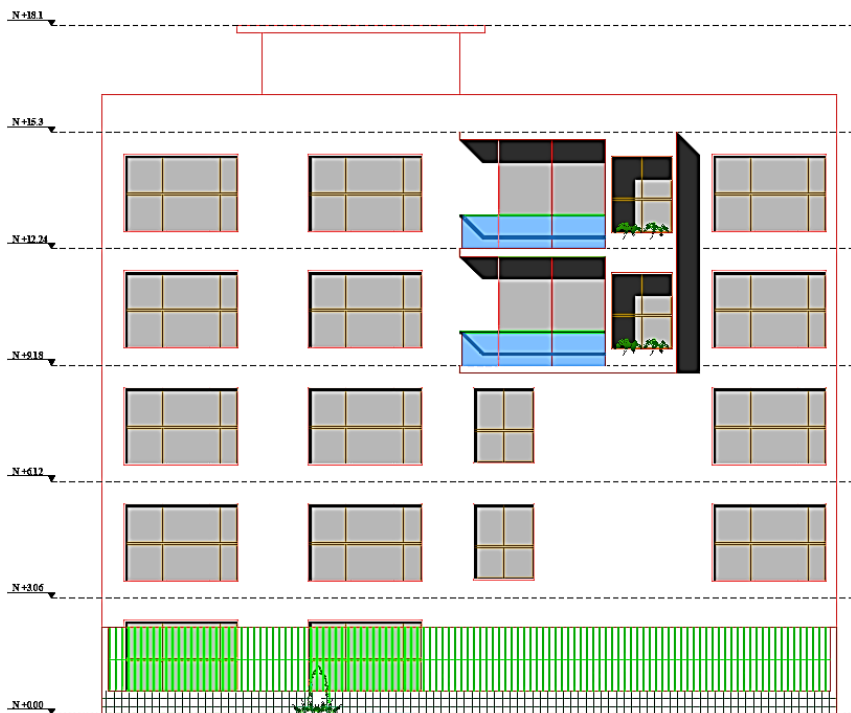
### 2.2.1.2.2 Estructura en elevación

**Figura 35.** Fachada Frontal



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 36.** Fachada Lateral



**Fuente:** Elaboración Propia

### 2.2.1.3 Cuantificación de cargas

#### 2.2.1.3.1 Carga muerta

La estructura cuenta con diversos tipos de paredes, por lo cual, se calcula el peso de cada uno de ellos considerando el peso unitario de cada material que se lo obtiene de la norma NEC (Cargas no sísmicas). Además, se cuantifica el peso de la losa con sus respectivos acabados y los resultados se presentan en tabla N° 5 tanto el peso de la losa como el de las paredes, mientras que, los cálculos respectivos para la obtención del peso se lo presentan en el anexo 5.1.1 y 5.1.2 respectivamente.

**Tabla N° 5. Carga Muerta**

<b>Carga Losa</b>	
528.6 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Carga Paredes</b>	
<b>Nivel N+3.06, N+ 6.12</b>	
342 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Nivel N+ 9.18, N+ 12.24</b>	
333 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Nivel + 15.3 (Perimetrales)</b>	
II	631.2 kg
III	192 kg

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.2.1.3.2 Carga Viva

La carga viva de la estructura se basa en la norma NEC (Cargas no sísmicas) donde proporcionan distintos valores acordes al uso que se va a dar en la estructura.

**Tabla N° 6. Cargas vivas**

<b>Carga viva</b>		
<b>Datos generales</b>		
<b>Ocupación</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Vivienda	200	kg/m <sup>2</sup>
Cubierta	70	kg/m <sup>2</sup>
Bodega	360	kg/m <sup>2</sup>
Terraza accesible	300	kg/m <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración propia.

## **2.2.2 Plan de procesamiento y análisis**

Se plantea dos análisis estructurales el primero se basa en el modelamiento de la estructura de manera convencional y en el caso de necesitar reforzamiento para cumplir con los requerimientos de la norma se optará el uso de muros de corte que son los más utilizados en nuestro medio para rigidizar la estructura. Por otra parte, para el segundo análisis se plantea el modelamiento de la estructura con la inclusión de disipadores de energía SLB y mediante esto se realiza una comparación para determinar que estructura presenta mejor respuesta estructural.

### **2.2.2.1 Estructura convencional**

#### **2.2.2.1.1 Definición de materiales**

Cada elemento estructural que conforma el edificio tendrá una resistencia última a compresión del hormigón de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y para la obtención del módulo de elasticidad se obtendrá utilizando  $13100 * \sqrt[2]{f'c}$  que corresponde a los materiales que se encuentran en la ciudad de Ambato. Mientras que, para el acero se tendrá una resistencia a fluencia de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **2.2.2.1.2 Modelado de la estructura**

##### **Losa**

En el Anexo 5.2.1 se presenta el prediseño de una losa aligerada acorde a las luces en las que se puede emplear, dicho esto, siendo la luz con mayor distancia de 5.7 m en la estructura, se opta por tomar una altura de 25 cm.

##### **Columnas**

En base al prediseño realizado que se presenta en el Anexo 5.2.2, se obtuvo tres tipos de columnas cuadradas que serán empleadas en la estructura, siendo la primera de  $55*55 \text{ (cm)}$  que se empleará en los dos primeros pisos, mientras que, en el tercer y cuarto piso se colocará secciones de  $50*50 \text{ (cm)}$  y en el último piso de  $45*45 \text{ (cm)}$ .



Además, la normativa ecuatoriana establece que para el caso columnas es necesario ingresar una inercia agrieta del 80%.

## Vigas

Para el caso de vigas la inercia agrietada será del 50% acorde a norma y las dimensiones obtenidas mediante el prediseño que se presenta en el Anexo 5.2.3, tendrán secciones de 40\*50 (cm) y se implementarán en todos los niveles de la estructura a excepción del tapagrada que serán de 25\*35 (cm).

**Figura 37.** Ingreso de sección tipo

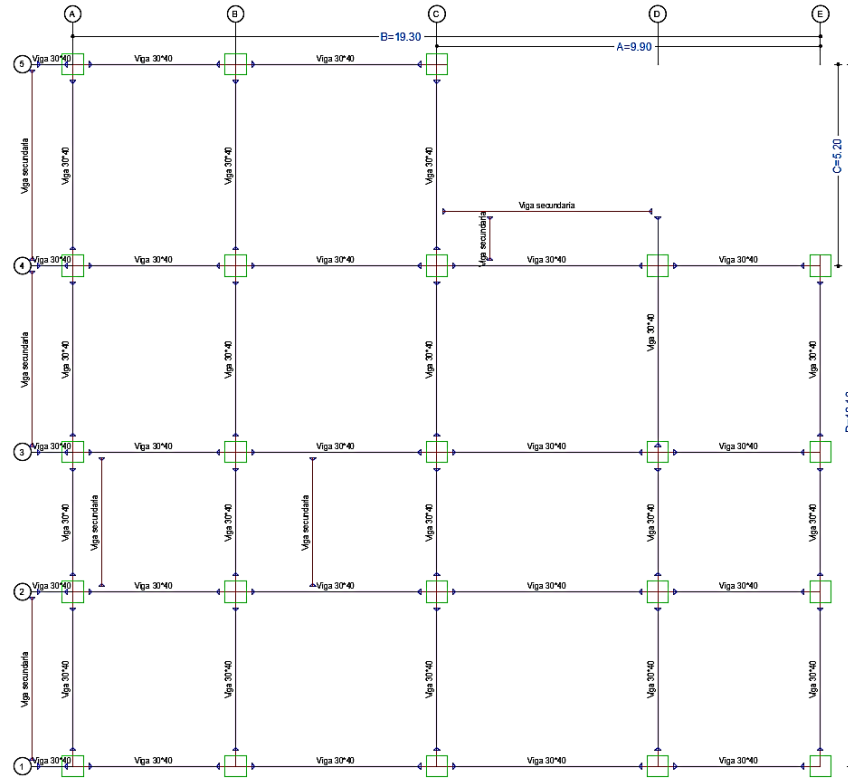
The image displays two overlapping software dialog boxes. The top dialog, titled "Frame Section Property Data", is used for defining the properties of a frame section. It includes fields for "Property Name" (set to "Columna 55\*55"), "Material" (set to "210 kg/cm<sup>3</sup>"), and "Section Shape" (set to "Concrete Rectangular"). The "Section Dimensions" section shows "Depth" and "Width" both set to "0.55 m". A reinforcement diagram on the right shows a square grid with axes 2 and 3. The bottom dialog, titled "Property/Stiffness Modification Factors", shows "Property/Stiffness Modifiers for Analysis" with a "Cross-section (axial) Area" of 1 and "Moment of Inertia about 2 axis" and "Moment of Inertia about 3 axis" both set to 0.8.

Property	Value
Property Name	Columna 55*55
Material	210 kg/cm <sup>3</sup>
Section Shape	Concrete Rectangular
Section Property Source	Source: User Defined
Section Dimensions	
Depth	0.55 m
Width	0.55 m
Property Modifiers	Currently User Specified
Reinforcement	Modify/Show Rebar...
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.8
Moment of Inertia about 3 axis	0.8
Mass	1
Weight	1

**Fuente:** Etabs.

## 2.2.2.2 Irregularidad en planta

**Figura 38.** Irregularidad en planta.



Fuente: Elaboración propia

Irregularidad Tipo 1

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$

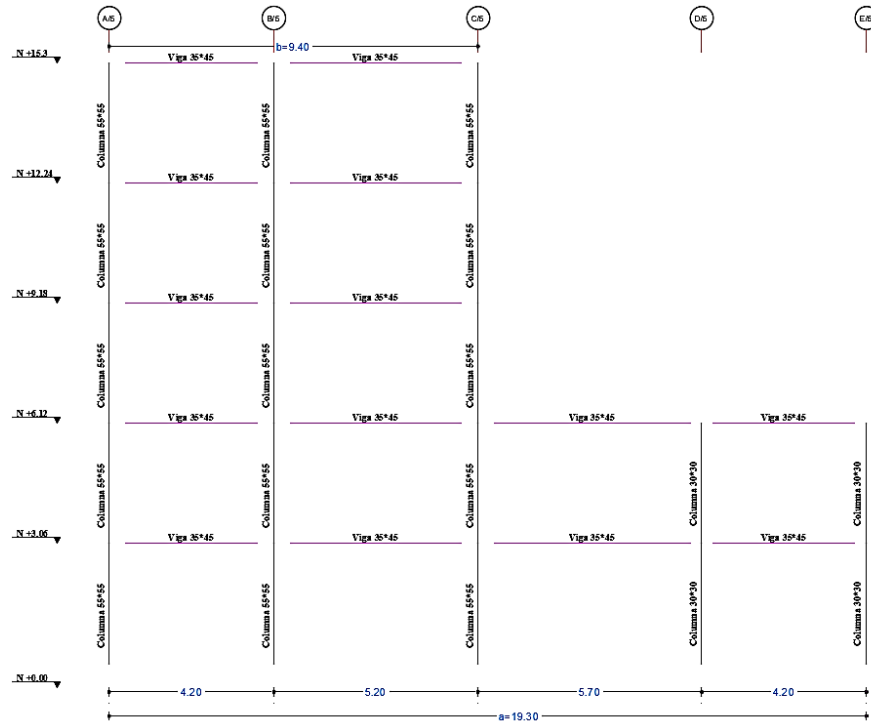
**Tabla N° 7.** Irregularidad en planta

Irregularidad Tipo 1		
A	B	Comprobación
5.2	18.1	Irregularidad
C	D	Comprobación
9.9	19.3	Irregularidad

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2.2.1 Irregularidad en elevación

Figura 39. Irregularidad en elevación



Fuente: Elaboración propia

### Irregularidad Tipo 3

$$a > 1.3b$$

$$19.3 > 1.3(9.4)$$

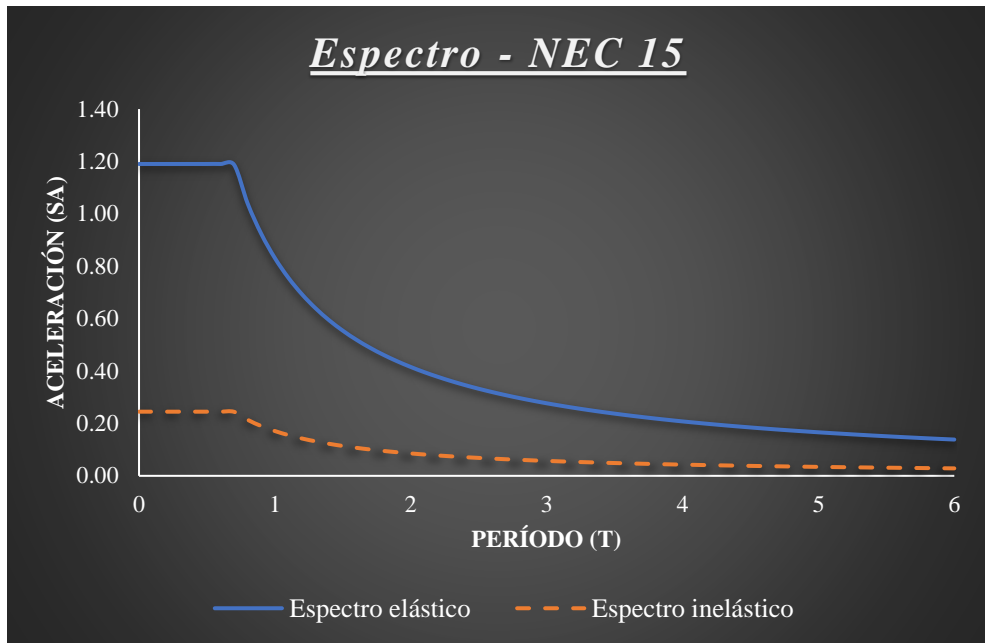
$$19.3 > 12.22 \text{ Irregularidad}$$

La estructura presenta irregularidad, por lo cual, se castiga con un factor de 0.9 tanto la irregularidad en elevación como para la irregularidad en planta.

### 2.2.2.2.2 Espectro de diseño

El espectro de respuesta se realiza para un período de retorno de 475 años, donde se incluyen diversos factores dependiendo de la configuración estructural y de la zona donde se va implantar la estructura.

**Figura 40.** Espectro elástico e inelástico

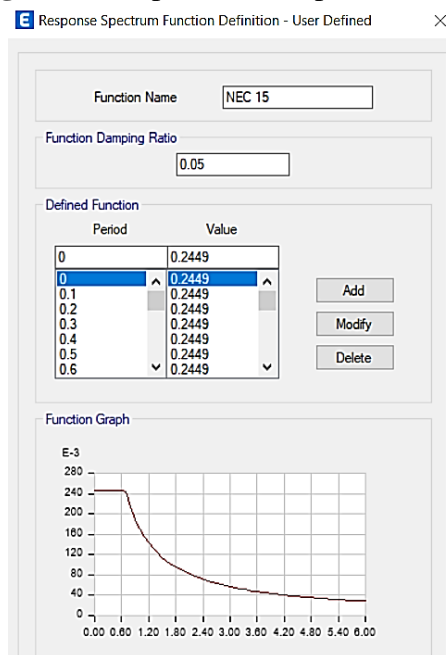


**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.2.2.2.3 Definición de espectro de respuesta

El espectro de respuesta se lo define de manera manual, debido que el Etabs no considera factores y los valores obtenidos no son correctos.

**Figura 41.** Espectro de respuesta (R=6)

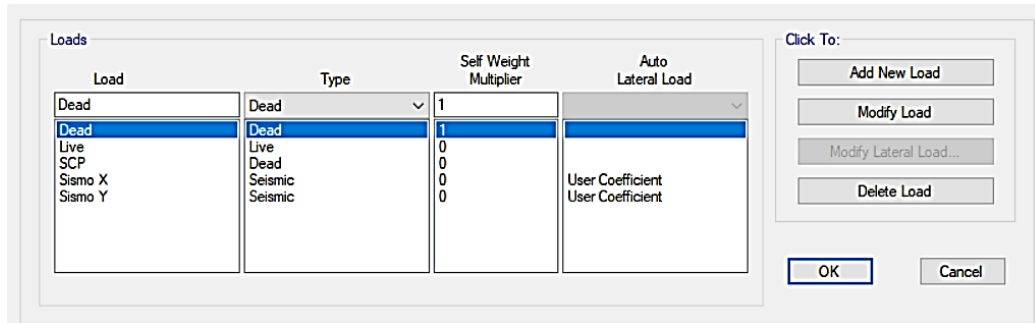


**Fuente:** Etabs.

#### 2.2.2.2.4 Asignación de patrones de cargas

Se asigna los patrones para carga muerta, carga viva, sobrecarga (carga pared)

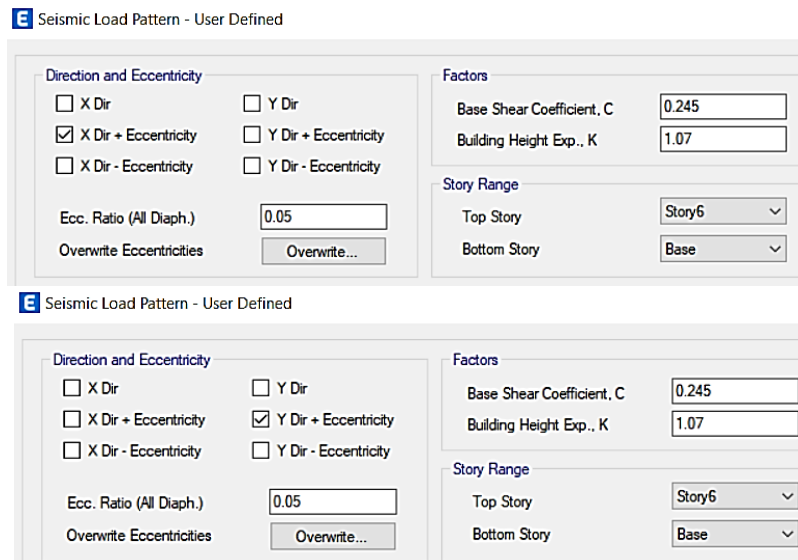
**Figura 42.** Patrones de cargas



**Fuente:** Etabs.

Para el análisis estático se considera los sismos estáticos en dos direcciones X e Y, por lo cual, se ingresa los factores de cortante basal (C) y el factor k.

**Figura 43.** Sismo estático dirección X e Y



**Fuente:** Etabs.

#### 2.2.2.2.5 Asignación de casos de carga

En esta sección se asigna los casos de carga para los sismos dinámicos para el análisis modal espectral en las direcciones X e Y.

**Figura 44.** Sismos dinámicos X e Y

The figure displays two side-by-side screenshots of the 'Load Case Data' dialog box. The left window is for 'Sismo Dinámico X' and the right is for 'Sismo Dinámico Y'. Both windows have a 'General' section with fields for Load Case Name, Load Case Type (Response Spectrum), Mass Source (Previous (MsSrc1)), and Analysis Model (Default). Below this is a 'Loads Applied' table with columns: Load Type, Load Name, Function, and Scale Factor. In the X case, the table contains one row: Acceleration, U1, NEC 15, 1110.309. In the Y case, it contains one row: Acceleration, U2, NEC 15, 1121.488. Below the table are 'Add', 'Delete', and 'Advanced' buttons. The 'Other Parameters' section includes: Modal Load Case (Modal), Modal Combination Method (CQC), an unchecked 'Include Rigid Response' checkbox, fields for Rigid Frequency, f1 and f2, and Periodic + Rigid Type, Earthquake Duration, td, Directional Combination Type (SRSS), Absolute Directional Combination Scale Factor, Modal Damping (Constant at 0.05), and Diaphragm Eccentricity (0 for All Diaphragms).

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2.2.6 Definición de fuente de masa

Para la definición de masa se especifica los patrones de carga considerando el 100% de la carga muerta y un 25% de la carga viva.

**Figura 45.** Definición de masa.

The figure shows the 'Mass Source' dialog box. The 'Mass Source Name' field contains 'MsSrc1'. The 'Mass Source' section has three options: 'Element Self Mass' (unchecked), 'Additional Mass' (unchecked), and 'Specified Load Patterns' (checked). Below this is an option to 'Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:' with two empty input fields. The 'Mass Multipliers for Load Patterns' section contains a table with columns 'Load Pattern' and 'Multiplier'. The table has three rows: Dead (Multiplier: 1), SCP (Multiplier: 1), and Live (Multiplier: 0.25). To the right of the table are 'Add', 'Modify', and 'Delete' buttons. The 'Mass Options' section has three options: 'Include Lateral Mass' (checked), 'Include Vertical Mass' (unchecked), and 'Lump Lateral Mass at Story Levels' (checked).

Fuente: Etabs.

## 2.2.3 Respuestas Estructurales

### 2.2.3.1 Cortante Basal dinámico

La NEC 15 establece que el cortante basal dinámico no debe ser menor al 85% del cortante basal estático para estructuras irregulares.

**Tabla N° 8.** Cortante basal estático y dinámico

<b>CORTANTE BASAL</b>		
<b>Caso</b>	<b>FX (Ton)</b>	<b>FY (Ton)</b>
Sismo X	-416.6791	0
Sismo Y	0	-416.6791
Sismo Dinámico X	358.2264	12.5685
Sismo Dinámico Y	12.695	358.2307

**Fuente:** Etabs.

**Sentido X**

$$\frac{V_{DINÁMICO X}}{V_{ESTÁTICO X}} > 85\%$$

$$\frac{358.2264}{416.6791} > 85\%$$

$$86\% \geq 85\%$$

**Sentido Y**

$$\frac{V_{DINÁMICO X}}{V_{ESTÁTICO X}} > 85\%$$

$$\frac{358.2307}{416.6791} > 85\%$$

$$86\% \geq 85\%$$

**2.2.3.2 Derivas**

Según [27], la deriva máxima en cualquier piso de la estructura no debe superar la deriva inelástica, por lo cual, para el caso de una estructura de hormigón armado no deben superar el 2%.

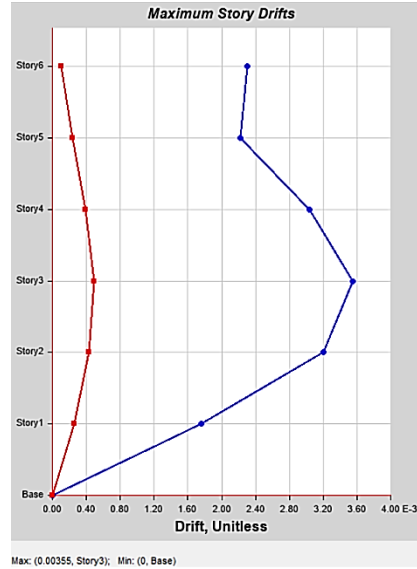
**Tabla N° 9.** Valores de deriva máxima

<b>Estructuras de:</b>	<b><math>\Delta_M</math> máxima (sin unidad)</b>
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

**Fuente:** NEC-SE-DS, 2015 [27].

## Derivas Estáticas

**Figura 46.** Desplazamiento máximo sentido x (estático)



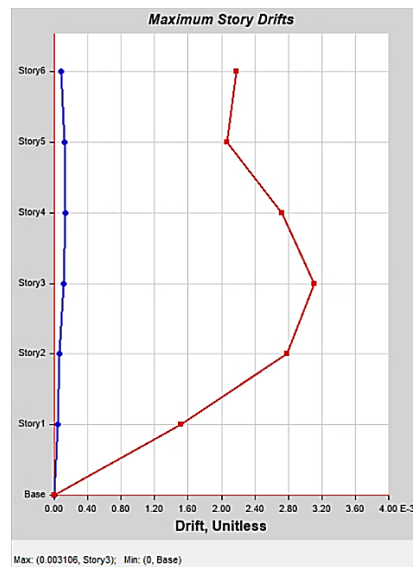
**Fuente:** Etabs.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E = 0.75 * 6 * 0.00355$$

$$\Delta_M < \Delta_M \text{Máxima}$$

$$1.60\% < 2\% \text{ Cumple}$$

**Figura 47.** Desplazamiento máximo sentido y (estático)



**Fuente:** Etabs.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E = 0.75 * 6 * 0.003106$$

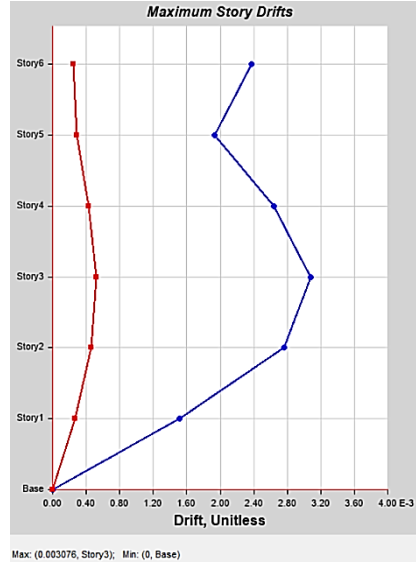
$$\Delta_M < \Delta_M \text{Máxima}$$

$$1.40\% < 2\% \text{ Cumple}$$



## Derivas Dinámicas

**Figura 48.** Desplazamiento máximo sentido x (dinámico)



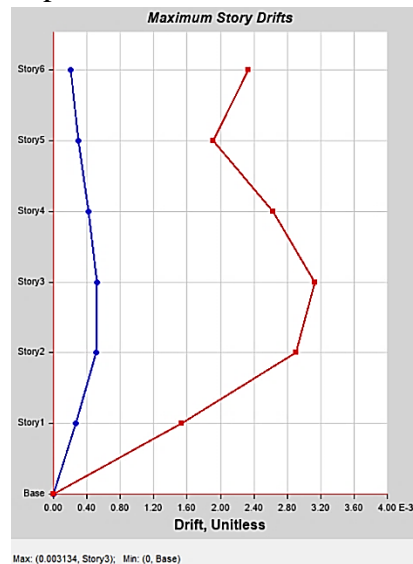
**Fuente:** Etabs

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E = 0.75 * 6 * 0.003076$$

$$\Delta_M < \Delta_M \text{Máxima}$$

$$1.38\% < 2\% \text{ Cumple}$$

**Figura 49.** Desplazamiento máximo sentido y (dinámico)



**Fuente:** Etabs

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E = 0.75 * 6 * 0.003134$$

$$\Delta_M < \Delta_M \text{Máxima}$$

$$1.41\% < 2\% \text{ Cumple}$$

### 2.2.3.3 Torsión

Una estructura no presenta torsión en planta cuando sus dos primeros modos de vibración son traslacionales, mientras que, el tercer modo de vibración puede presentar torsión, permitiendo así un comportamiento adecuado la estructura. Por tal motivo, se establece que el porcentaje de torsión no debe ser mayor a 20%.

**Tabla N° 10.** Modos de vibración

MODOS DE VIBRACIÓN														
Caso	Modo	Periodo seg	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.591	0.6971	0.0562	0	0.6971	0.0562	0	0.0189	0.2491	0.0013	0.0189	0.2491	0.0013
Modal	2	0.587	0.0496	0.681	0	0.7467	0.7372	0	0.247	0.017	0.0289	0.2659	0.2661	0.0301
Modal	3	0.452	0.0077	0.0195	0	0.7544	0.7567	0	0.004	0.0069	0.7109	0.27	0.273	0.741
Modal	4	0.196	0.0965	0.0015	0	0.8509	0.7582	0	0.0059	0.3351	0.0016	0.2759	0.6082	0.7427
Modal	5	0.194	0.0013	0.0907	0	0.8522	0.8489	0	0.3282	0.0038	0.0019	0.6041	0.612	0.7446
Modal	6	0.154	0.0366	0.0024	0	0.8887	0.8513	0	0.0063	0.1033	0.0316	0.6104	0.7152	0.7762
Modal	7	0.149	0.0005	0.0549	0	0.8893	0.9062	0	0.1569	0.0014	0.0003	0.7672	0.7166	0.7764
Modal	8	0.144	0.0114	0.0012	0	0.9007	0.9074	0	0.0028	0.0322	0.0151	0.77	0.7488	0.7916
Modal	9	0.128	0.0082	0.0017	0	0.9089	0.909	0	0.0036	0.0243	0.1107	0.7737	0.7731	0.9023
Modal	10	0.085	0.0489	0.0004	0	0.9578	0.9094	0	0.0007	0.1027	0.0035	0.7744	0.8758	0.9057
Modal	11	0.083	0.0001	0.0512	0	0.9579	0.9606	0	0.1076	0.0003	0.0012	0.8819	0.876	0.907
Modal	12	0.062	0.0038	0.0015	0	0.9617	0.9621	0	0.0036	0.0084	0.0544	0.8855	0.8844	0.9613
Modal	13	0.051	0.0267	0.0004	0	0.9884	0.9625	0	0.0013	0.0819	0.0026	0.8868	0.9663	0.9639
Modal	14	0.05	0.0009	0.0272	0	0.9893	0.9897	0	0.0834	0.0027	0.0003	0.9702	0.969	0.9642
Modal	15	0.038	0.0022	0.0005	0	0.9915	0.9902	0	0.0015	0.0064	0.0156	0.9717	0.9754	0.9798
Modal	16	0.037	0.0036	0.007	0	0.9952	0.9972	0	0.0203	0.0107	0.004	0.9921	0.986	0.9838
Modal	17	0.036	0.0043	0.0027	0	0.9994	0.9999	0	0.0078	0.0124	0.009	0.9998	0.9984	0.9928
Modal	18	0.027	0.0006	0.0001	0	1	1	0	0.0002	0.0016	0.0072	1	1	1

Fuente: Etabs.

#### Modo 1

$$M1 = \frac{Rz}{\max(Ux; Uy)}$$

$$M1 = \frac{0.0013}{0.6971} \approx 5.67\%$$

0.19% ≤ 30% *Traslacional*

#### Modo 2

$$M2 = \frac{Rz}{\max(Ux; Uy)}$$

$$M2 = \frac{0.0289}{0.681} \approx 9.87\%$$

4.24% ≤ 30% *Traslacional*

#### Modo 3

$$M3 = \frac{Rz}{\max(Ux; Uy)}$$

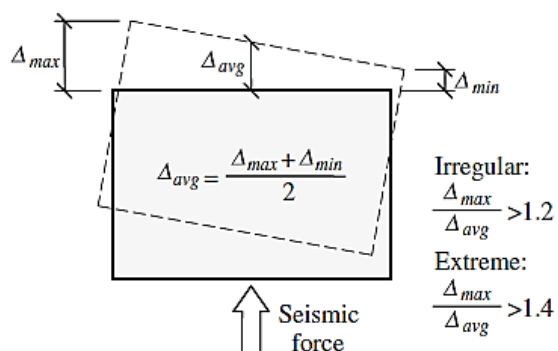
$$M3 = \frac{0.7109}{0.0195} \approx 3645.64\%$$

$$3645.64\% > 30\% \text{ Rotacional}$$

### 2.2.3.4 Irregularidad torsional

Según la normativa ASCE 7-16 una estructura presenta irregularidad torsional cuando la relación entre el desplazamiento máximo y el promedio de los desplazamientos en los dos extremos de la estructura no superan el valor de 1.2 y para que no existe irregularidad torsional extrema este no debe superar el 1.4, caso contrario, será necesario calcular un factor de corrección.

**Figura 50.** Irregularidad torsión e Irregularidad torsional extrema.



**Fuente:** ASCE/SEI 7-16, 2016 [35].

**Tabla N° 11.** Irregularidad Torsional ASCE 7 (X)

IRREGULARIDAD TORSIONAL X						
Pisos	Caso	Dirección (m)	Max Drift (m)	Avg Drift (m)	Ratio	Comprobación
6	Sismo X	X	0.0071	0.0068	1.033	Regular
5	Sismo X	X	0.0068	0.0062	1.099	Regular
4	Sismo X	X	0.0093	0.0083	1.12	Regular
3	Sismo X	X	0.0109	0.0097	1.125	Regular
2	Sismo X	X	0.0098	0.0088	1.119	Regular
1	Sismo X	X	0.0054	0.0048	1.132	Regular

**Fuente:** Etabs.

**Tabla N° 12. Irregularidad Torsional ASCE 7 (Y)**

IRREGULARIDAD TORSIONAL Y						
Pisos	Caso	Dirección (m)	Max Drift (m)	Avg Drift (m)	Ratio	Comprobación
6	Sismo Y	Y	0.0067	0.0064	1.038	Regular
5	Sismo Y	Y	0.0063	0.0059	1.071	Regular
4	Sismo Y	Y	0.0083	0.0080	1.045	Regular
3	Sismo Y	Y	0.0095	0.0093	1.022	Regular
2	Sismo Y	Y	0.0085	0.0085	1.001	Regular
1	Sismo Y	Y	0.0046	0.0046	1.006	Regular

**Fuente:** Etabs.

### 2.2.3.5 Participación de masa

La estructura cumple con el 90% de la masa participativa en el octavo modo de vibración en dirección x e y acorde a la Tabla N° 10.

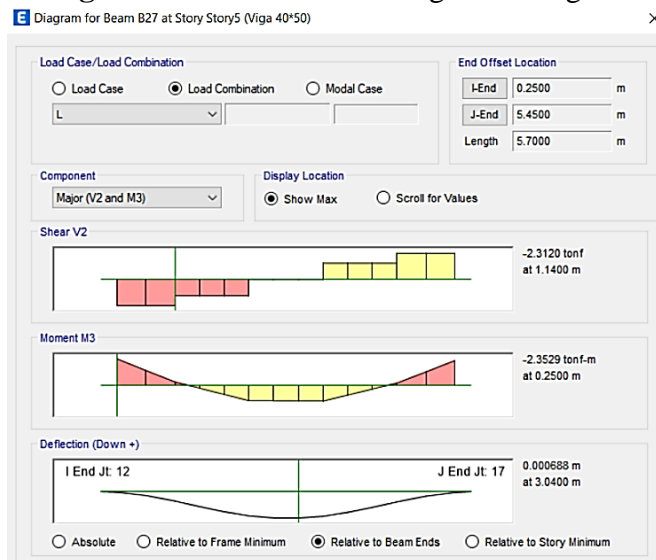
### 2.2.3.6 Deflexiones

#### Deflexión inmediata

Según [36], la deflexión máxima admisible debido a carga viva se calcula en base a la siguiente condición:

$$\frac{L}{360} = \frac{5.7}{360} = 0.01583 \text{ m}$$

**Figura 51. Deflexión de la viga más cargada**



**Fuente:** Etabs.

$$d_{admisible} > d_{programa}$$

$$0.01583 > 0.000688 \text{ Cumple}$$

### Deflexión diferida en el tiempo

Para el cálculo de la deflexión dependiente del tiempo se determina mediante la siguiente condición:

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + \rho'}$$

Donde el factor dependiente del tiempo  $\xi$  se lo obtiene considerando que la duración de la carga sostenida es mayor a 60 meses

**Figura 52.** Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas

Duración de la carga sostenida, meses	Factor dependiente del tiempo, $\xi$
3	1.0
6	1.2
12	1.4
60 ó más	2.0

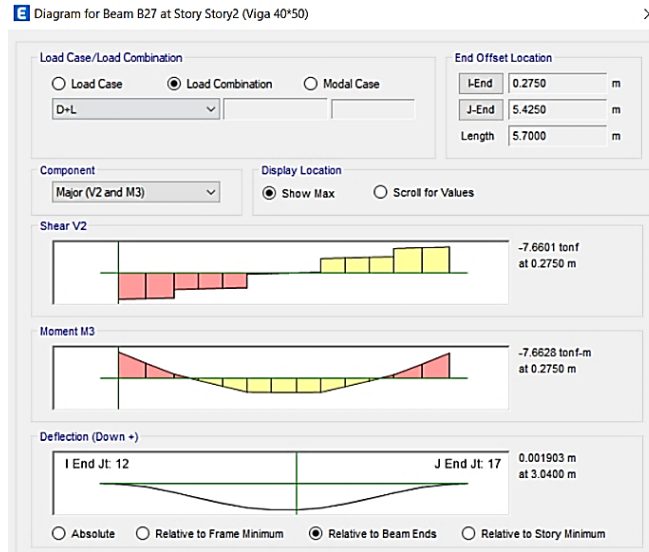
**Fuente:** Requisitos del reglamento para concreto estructural, 2014 [37].

Por otra parte, el valor  $\rho'$  que corresponde a la cuantía de acero de la viga más cargada se lo obtiene del programa Etabs y mediante esto se obtiene el factor  $\lambda_{\Delta}$

$$\rho' = 0.0032$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{2}{1 + 50(0.0032)} = 1.724$$

**Figura 53.** Deflexión de la viga



**Fuente:** Etabs.

La normativa ACI318-14 también establece que para obtener la deflexión adicional dependiente del tiempo se debe multiplicar por la deflexión provocada por la carga sostenida.

$$0.001903 * \lambda_{\Delta} = 0.001903 * 1.724 = 0.0033$$

Además, la deflexión admisible que se puede considerar en la estructura se lo obtiene bajo la siguiente condición

$$\frac{L}{480} = \frac{5.7}{480} = 0.0118 \text{ m}$$

$$d_{admissible} > d_{programa} \rightarrow 0.0118 > 0.0033 \text{ Cumple}$$

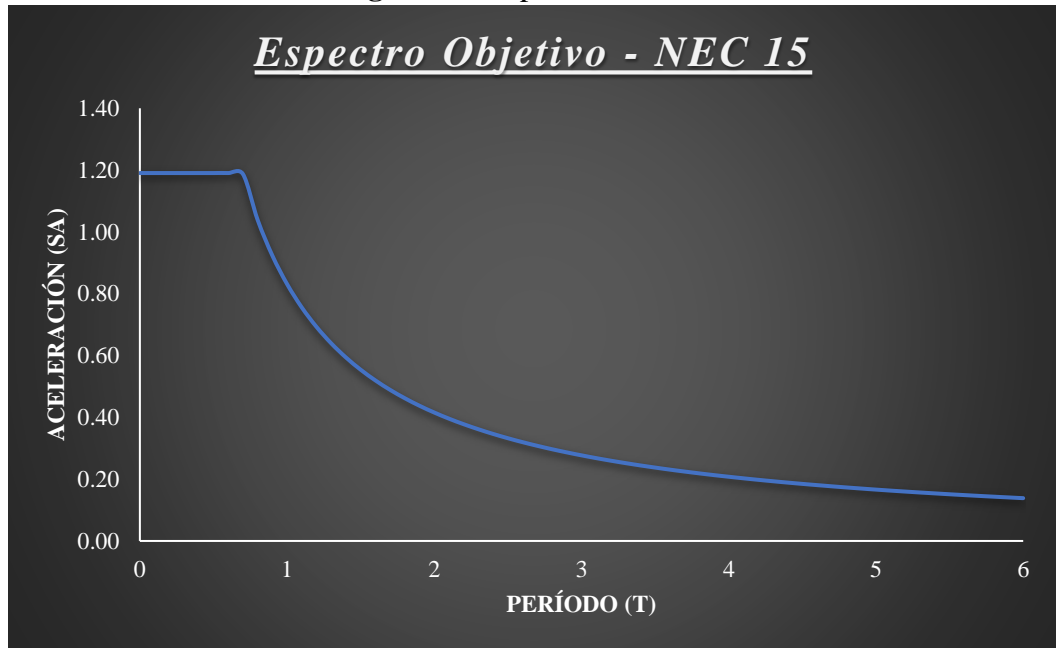
### 2.2.3.7 Estructura con disipadores SLB

Para el análisis estructural con la inclusión de disipadores de energía SLB, se realiza un análisis dinámico no lineal mediante acelerogramas que serán escalados al espectro de diseño sin factor de reducción establecido por la norma ASCE 7-16.

#### 2.2.3.7.1 Espectro de respuesta

En la Figura 54 se muestra el espectro objetivo sin escalar (R=1)

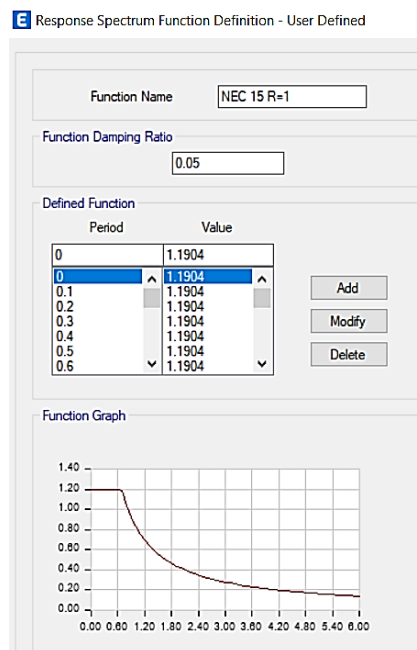
**Figura 54.** Espectro elástico



**Fuente:** Elaboración propia.

Por otra parte, para poder realizar la comparación con las derivas que se obtendrán mediante el análisis dinámico no lineal (NDP), se obtendrán las respuestas estructurales con un factor de reducción de  $R=1$  para el caso de la estructura convencional.

**Figura 55.** Espectro de respuesta ( $R=1$ )



**Fuente:** Etabs.

### 2.2.3.7.2 Prediseño de los disipadores

Para determinar el tamaño de los disipadores SLB que se va implementar en el proyecto se lo puede realizar de forma manual mediante el método de iteración directa e inversa propuesto por el Dr. Luis Bozzo, sin embargo, la empresa Postensa que se encarga de la fabricación y distribución de estos dispositivos en Sudamérica ha desarrollado un pluing denominado Dissipa SLB que permite realizar este prediseño de manera más optima [23].

### Asignación de las propiedades en los dispositivos

Como se indica [18], los disipadores SLB se modelan mediante el uso del elemento Link, donde se debe asignar el modelo histerético plastic Wen como primer paso, ya que, este permite representar las características de los disipadores histeréticos metálicos.

**Figura 56.** Criterios de modelamiento

The screenshot shows the 'Link Property Data' dialog box with the following details:

- General:** Link Property Name: SLB3 6\_2; Link Type: Plastic (Wen); Acceptance Criteria: Uz specified.
- Total Mass and Weight:** Mass: 0 tonf-s<sup>2</sup>/m; Weight: 0 tonf; Rotational Inertia 1, 2, and 3: 0 tonf-m<sup>2</sup>.
- Factors for Line and Area Springs:** Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m; Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m<sup>2</sup>.
- Directional Properties:** A table with columns for Direction (U1, U2, U3), Fixed, NonLinear, and Properties. U1, U2, and U3 are checked under the Fixed column.
- Stiffness Options:** Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear.

**Fuente:** Etabs.

En el segundo parámetro se asigna los criterios de aceptación donde se establece la deformación de los disipadores de tercera generación en dirección F2



**Figura 57.** Parámetros de deformación de los disipadores SLB

The screenshot shows a software dialog box titled "Link Acceptance Criteria Definition". It has a close button (X) in the top right. The "Link/Support Property Name" field contains "SLB3\_6\_2". Under "Acceptance Criteria Type", "Displacement" is selected with a radio button. On the left, "Direction Controls" includes checkboxes for F1, F2 (checked), F3, M1, M2, and M3. Below this is a checked "Symmetric" checkbox. The main "Acceptance Criteria" section is a table with columns for F1 (m), F2 (m), F3 (m), M1 (rad), M2 (rad), and M3 (rad). Under "Positive:" there are rows for IO, LS, and CP. Under "Negative:" there are rows for IO, LS, and CP. The F2 column has values: IO (0.013), LS (0.026), and CP (0.04). At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

Fuente: Etabs.

En el tercer parámetro se ingresa la información de las propiedades de los disipadores acorde a las tablas de diseño proporcionada por lo diseñadores.

**Tabla N° 13.** Propiedades de dispositivos SBL. Acero ASTM A36.

DISPOSITIVO	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS				PROPIEDADES MECÁNICAS							
	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	Rigidez inicial K1 (KN/cm)	Rigidez post-plastificación K2 (KN/cm)	Rigidez perpendicular K3 (KN/cm)	r=K2/K1	Despla. de plastificación Dy (mm)	Fuerza de plastificación Fy (KN)	Fuerza máxima Fmáx (KN)	Energía disipada ED (KN.cm)
SLB3_6_2	19.00	13.00	-	2.00	363.33	9.75	12.39	0.02684	0.98	35.60	69.01	87.08
SLB3_6_3	19.00	13.00	-	3.00	397.80	10.75	12.44	0.02702	1.03	41.00	79.21	99.25
SLB3_6_4	19.00	13.00	-	4.00	421.73	11.65	12.53	0.02764	1.06	44.90	88.58	108.31
SLB3_6_5	19.00	13.00	-	5.00	439.60	12.78	12.67	0.02907	1.08	47.40	96.67	115.18
SLB3_8_2	19.00	15.00	-	2.00	592.87	13.86	14.30	0.02338	0.81	48.10	92.76	119.78
SLB3_8_3	19.00	15.00	-	3.00	676.27	15.38	14.37	0.02275	0.86	58.00	107.57	141.77
SLB3_8_4	19.00	15.00	-	4.00	737.00	16.28	14.50	0.02208	0.90	66.30	120.87	159.39
SLB3_8_5	19.00	15.00	-	5.00	784.27	17.43	14.71	0.02223	0.93	72.70	133.29	173.71
SLB3_10_2	19.00	20.00	-	2.00	893.40	19.15	19.07	0.02143	0.76	68.00	128.71	168.89
SLB3_10_3	19.00	20.00	-	3.00	1039.13	21.57	19.15	0.02075	0.78	81.10	148.63	198.84
SLB3_10_4	19.00	20.00	-	4.00	1149.53	22.96	19.30	0.01997	0.81	93.00	166.26	224.54
SLB3_10_5	19.00	20.00	-	5.00	1237.80	14.93	19.56	0.01206	0.91	112.20	182.26	246.55
SLB3_15_2	19.00	20.00	-	2.00	1571.47	31.17	19.10	0.01984	0.65	101.80	199.61	258.66
SLB3_15_3	19.00	20.00	-	3.00	1961.47	37.36	19.24	0.01904	0.64	126.10	240.45	318.16
SLB3_15_4	19.00	20.00	-	4.00	2290.27	42.03	19.53	0.01835	0.65	149.70	276.57	373.16
SLB3_15_5	19.00	20.00	-	5.00	2775.60	45.69	19.99	0.01774	0.67	172.50	310.13	424.52
SLB3_20_2	19.00	25.00	5.00	2.00	2073.33	37.83	26.26	0.01824	0.60	124.60	243.14	316.64
SLB3_20_3	19.00	25.00	5.00	3.00	2630.13	46.27	26.45	0.01759	0.60	156.90	298.30	396.26
SLB3_20_4	19.00	25.00	5.00	4.00	3105.53	53.03	26.82	0.01708	0.61	188.30	348.53	470.63
SLB3_20_5	19.00	25.00	5.00	5.00	3520.20	58.63	27.43	0.01666	0.62	218.40	395.71	540.18
SLB3_25_2	25.00	30.00	5.00	2.00	3214.07	58.98	70.57	0.01835	0.61	194.80	383.50	494.69
SLB3_25_3	25.00	30.00	5.00	3.00	4046.67	70.69	70.82	0.01747	0.59	238.20	457.15	602.54
SLB3_25_4	25.00	30.00	5.00	4.00	4783.20	81.04	71.29	0.01694	0.58	279.60	526.49	703.70
SLB3_25_5	25.00	30.00	5.00	5.00	5447.47	90.85	72.08	0.01668	0.59	319.00	592.39	799.88
SLB3_25_6	25.00	30.00	5.00	6.00	6064.13	99.65	73.24	0.01643	0.59	357.10	655.63	891.48
SLB3_25_7	25.00	30.00	5.00	7.00	6644.13	107.41	74.87	0.01617	0.59	394.50	716.83	979.51
SLB3_25_8	25.00	30.00	5.00	8.00	7191.47	114.57	77.04	0.01593	0.60	430.70	776.40	1064.12
SLB3_25_9	25.00	30.00	5.00	9.00	7711.07	120.73	79.83	0.01566	0.60	466.40	843.90	1145.71
SLB3_30_2	25.00	30.00	5.00	2.00	3666.73	64.22	70.60	0.01751	0.58	212.10	415.33	539.19
SLB3_30_3	25.00	30.00	5.00	3.00	4717.00	78.76	70.91	0.01670	0.56	265.70	507.23	672.79
SLB3_30_4	25.00	30.00	5.00	4.00	5661.33	92.21	71.52	0.01629	0.56	316.90	594.62	799.16
SLB3_30_5	25.00	30.00	5.00	5.00	6525.67	104.99	72.51	0.01609	0.56	366.10	678.62	920.34
SLB3_30_6	25.00	30.00	5.00	6.00	7336.60	116.45	73.99	0.01587	0.56	414.20	759.77	1036.63

PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LOS DISIPADORES SHEAR LINK BOZZO												
DISPOSITIVO	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS				PROPIEDADES MECÁNICAS							
	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	Rigidez inicial K1 (KN/cm)	Rigidez post-plastificación K2 (KN/cm)	Rigidez perpendicular K3 (KN/cm)	r=K2/K1	Despla. de plastificación Dy (mm)	Fuerza de plastificación Fy (KN)	Fuerza máxima Fmáx (KN)	Energía disipada ED (KN.cm)
SLB3 30_7	25.00	30.00	5.00	7.00	8106.07	126.92	76.06	0.01566	0.57	461.30	838.79	1149.06
SLB3 30_8	25.00	30.00	5.00	8.00	8840.00	135.98	78.82	0.01538	0.57	508.00	915.50	1257.99
SLB3 30_9	25.00	30.00	5.00	9.00	9542.20	145.74	82.36	0.01527	0.58	552.50	992.12	1363.85
SLB3 40_2	25.00	30.00	5.00	2.00	4571.07	76.44	70.66	0.01672	0.54	248.30	482.60	634.54
SLB3 40_3	25.00	30.00	5.00	3.00	6043.67	97.23	71.10	0.01609	0.53	321.00	609.64	817.79
SLB3 40_4	25.00	30.00	5.00	4.00	7393.67	116.17	71.96	0.01571	0.53	391.60	732.20	993.03
SLB3 40_5	25.00	30.00	5.00	5.00	8650.00	133.79	73.38	0.01547	0.53	460.80	851.48	1162.82
SLB3 40_6	25.00	30.00	5.00	6.00	9843.00	149.92	75.49	0.01523	0.54	528.70	967.95	1327.13
SLB3 40_7	25.00	30.00	5.00	7.00	10988.00	165.19	78.44	0.01503	0.54	595.40	1082.30	1487.36
SLB3 40_8	25.00	30.00	5.00	8.00	12091.27	179.81	82.37	0.01487	0.55	660.90	1195.00	1643.93
SLB3 40_9	25.00	30.00	5.00	9.00	13156.07	194.00	87.42	0.01475	0.55	725.10	1306.30	1797.11
SLB3 50_2	25.00	30.00	5.00	2.00	5479.60	88.67	70.71	0.01618	0.52	284.90	551.27	730.67
SLB3 50_3	25.00	30.00	5.00	3.00	7367.13	114.64	71.29	0.01556	0.51	377.50	713.65	963.00
SLB3 50_4	25.00	30.00	5.00	4.00	9116.00	138.30	72.40	0.01517	0.51	468.10	871.40	1186.77
SLB3 50_5	25.00	30.00	5.00	5.00	10759.13	160.81	74.24	0.01495	0.52	557.00	1025.70	1404.77
SLB3 50_6	25.00	30.00	5.00	6.00	12328.87	181.80	76.99	0.01475	0.52	644.40	1177.30	1616.83
SLB3 50_7	25.00	30.00	5.00	7.00	13844.20	202.03	80.82	0.01459	0.53	730.30	1326.80	1824.36
SLB3 50_8	25.00	30.00	5.00	8.00	15312.67	221.80	85.93	0.01448	0.53	814.70	1474.50	2028.05
SLB3 50_9	25.00	30.00	5.00	9.00	16737.00	241.37	92.48	0.01442	0.54	897.70	1621.20	2228.51

**Fuente:** Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB, 2019 [22].

Para ingresar dicha información se lo realiza en las siguientes tres direcciones:

- U1: el disipador al contar con una conexión almenada no genera rigidez axial, por lo tanto, el valor a colocar es 0.
- U2: en esta dirección se establece la rigidez para el análisis lineal (2), la deformación por corte con un valor de 0 (3) y las propiedades no lineales del disipador (4).
- U3: se establece la rigidez perpendicular al plano del disipador.

**Figura 58.** Propiedades de los disipadores SLB

**Fuente:** Elaboración propia.

Como última asignación se selecciona “effective stiffness from zero, else nonlinear”.

Sin embargo, para disminuir el tiempo de trabajo al ingresar todos los dispositivos proporcionados por el fabricante se utiliza el Plugin proporcionado por la empresa Postensa que se vincula al proyecto en ETABS y mediante esto cargar todos los dispositivos con sus respectivas propiedades.

**Figura 59.** Ingreso de los disipadores mediante el pluing Dissipa SLB

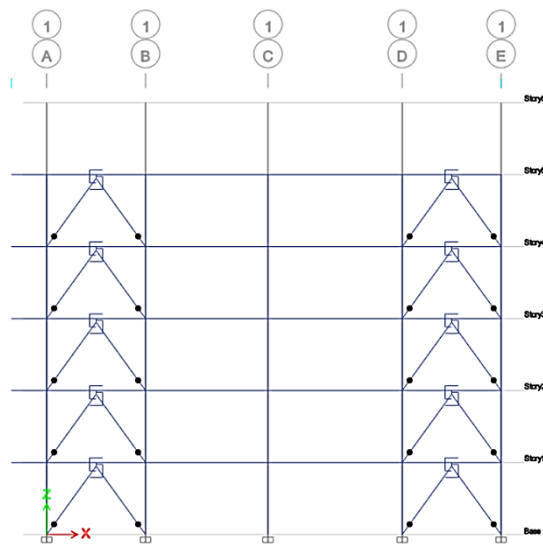
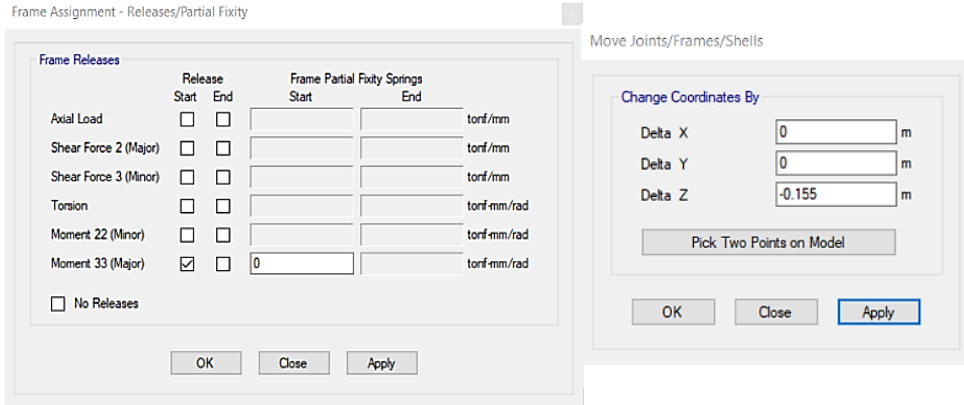
ID	Device	K1(KN/cm)	K2(KN/cm)	K2/K1	Fy (KN)	Fmax(KN)	K(U)(KN/cm)	Kr(U)(KN/cm)
1	SLB3_6_2	363.33	9.75	0.0268353	35.60	69.01	12.39	
2	SLB3_6_3	397.80	10.75	0.0270223	41.00	79.21	12.44	
3	SLB3_6_4	421.73	11.65	0.0276358	44.90	88.58	12.53	
4	SLB3_6_5	439.60	12.78	0.0290719	47.40	96.67	12.67	
5	SLB3_8_2	592.87	13.86	0.0233836	48.10	92.76	14.30	
6	SLB3_8_3	676.27	15.38	0.0227472	58.00	107.57	14.37	
7	SLB3_8_4	737.00	16.28	0.0220843	66.30	120.87	14.50	
8	SLB3_8_5	784.27	17.43	0.0222284	72.70	133.29	14.71	
9	SLB3_10_2	893.40	19.15	0.0214336	68.00	128.71	19.07	
10	SLB3_10_3	1039.13	21.57	0.0207544	81.10	148.63	19.15	
11	SLB3_10_4	1149.53	22.96	0.0199722	93.00	166.26	19.30	
12	SLB3_10_5	1237.80	14.93	0.0120589	112.20	182.26	19.56	
13	SLB3_15_2	1571.47	31.17	0.0198380	101.80	199.61	19.10	
14	SLB3_15_3	1961.47	37.36	0.0190448	126.10	240.45	19.24	
15	SLB3_15_4	2290.27	42.03	0.0183532	149.70	276.57	19.53	
16	SLB3_15_5	2575.60	45.69	0.0177396	172.50	310.13	19.99	
17	SLB3_20_2	2073.33	37.83	0.0182444	124.60	243.14	26.26	
18	SLB3_20_3	2630.13	46.27	0.0175923	156.90	298.30	26.45	
19	SLB3_20_4	3105.53	53.03	0.0170769	188.30	343.53	26.82	
20	SLB3_20_5	3630.33	60.03	0.0165561	218.40	398.71	27.43	

Fuente: Elaboración propia.

### Modelado de los disipadores

Para la modelación de los disipadores se opta el uso de diagonales metálicas de sección cuadrada de 150x150x9 (mm) en forma de chevrón. Además, se libera el extremo inicial de las diagonales, tomando en cuenta que el disipador al tener una conexión almenada en el extremo superior no transmite momento y la liberación no es necesaria. También, se debe considerar una distancia entre la viga y las diagonales de 155 mm que será la altura del disipador proporcionado por los diseñadores [38].

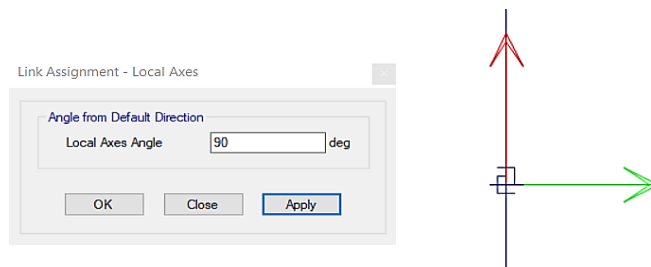
**Figura 60. Diagonales Metálicas**



**Fuente: Etabs.**

Para la modelación del disipador se lo realiza mediante el elemento Link en la dirección x e y, tomando en cuenta que en la dirección y se debe girar 90° el disipador para trabajar con las propiedades en la dirección local U2, caso contrario, las propiedades del disipador se las debe asignar en la dirección local U3.

**Figura 61. Modelado de disipadores SLB**



**Fuente: Etabs.**

## Método de iteración directa

Para iniciar el método de iteración directa se modela la estructura con el disipador más pequeño que proporciona la empresa, siendo este el SLB3 6\_2, para evitar que el programa de iteración tome disipadores excesivamente grandes. El método que se va llevar a cabo se lo realiza mediante un análisis modal espectral, donde se revisa el cortante de cada disipador y se realiza una relación con el Fy del mismo para obtener una demanda/capacidad que sea menor o igual a 1.50.

Se realizó cuatro iteraciones para llegar a demanda/capacidad que establece el diseñador y se obtuvo los siguientes disipadores para cada nivel de la estructura.

**Tabla N° 14.** Prediseño de disipadores SLB (Método de iteración directa)

MÉTODO DE ITERACIÓN DIRECTA											
Story	Link	V2 (kN)	Dissipator	Fy (KN)	Fy max (KN)	Dissipator ETABS	Fy (kN) ETABS	Fy max (kN) ETABS	V2 (kN) It.	D/C It.	Dissipator It.
Story5	K10	103.39	SLB3 8_5	72.7	133.29	SLB3 10_3	81.1	148.63	115.76	1.43	Ok!
Story5	K22	135.53	SLB3 10_4	93	166.26	SLB3 15_4	149.7	276.57	217.03	1.45	Ok!
Story5	K27	135.52	SLB3 10_4	93	166.26	SLB3 15_4	149.7	276.57	209.37	1.4	Ok!
Story5	K5	107.9	SLB3 8_5	72.7	133.29	SLB3 10_4	93	166.26	126.69	1.36	Ok!
Story5	K15	136.55	SLB3 10_4	93	166.26	SLB3 15_4	149.7	276.57	210.97	1.41	Ok!
Story4	K9	188.74	SLB3 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	391.08	1.4	Ok!
Story4	K21	236.74	SLB3 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_7	394.5	716.83	575.89	1.46	Ok!
Story4	K26	242.92	SLB3 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	608.68	1.41	Ok!
Story4	K4	192.64	SLB3 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	392.16	1.4	Ok!
Story4	K14	245.35	SLB3 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_7	394.5	716.83	570.3	1.45	Ok!
Story3	K8	259.37	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 25_7	394.5	716.83	559.92	1.42	Ok!
Story3	K20	320.63	SLB3 20_5	218.4	395.71	SLB3 40_7	595.4	1082.3	855.39	1.44	Ok!
Story3	K25	312.75	SLB3 20_5	218.4	395.71	SLB3 40_7	595.4	1082.3	871.14	1.46	Ok!
Story3	K3	263.84	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 25_7	394.5	716.83	563.5	1.43	Ok!
Story3	K13	318.66	SLB3 20_5	218.4	395.71	SLB3 40_7	595.4	1082.3	810.32	1.36	Ok!
Story2	K7	273.07	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 25_8	430.7	776.4	623.09	1.45	Ok!
Story2	K17	297.03	SLB3 20_5	218.4	395.71	SLB3 40_6	528.7	967.95	783.24	1.48	Ok!
Story2	K19	328.31	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 40_8	660.9	1195	933	1.41	Ok!
Story2	K24	283.73	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 30_8	508	915.5	716.95	1.41	Ok!
Story2	K29	289.55	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 40_6	528.7	967.95	777.74	1.47	Ok!
Story2	K2	279.5	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 25_8	430.7	776.4	637.4	1.48	Ok!
Story2	K12	288.3	SLB3 20_4	188.3	348.53	SLB3 25_8	430.7	776.4	612.94	1.42	Ok!
Story1	K6	198.12	SLB3 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	558.36	1.42	Ok!
Story1	K16	204.97	SLB3 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_7	394.5	716.83	582.05	1.48	Ok!
Story1	K18	226.62	SLB3 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_6	528.7	967.95	778.25	1.47	Ok!
Story1	K23	197.76	SLB3 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_8	430.7	776.4	624.98	1.45	Ok!
Story1	K28	196.13	SLB3 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	575.31	1.46	Ok!
Story1	K1	198.29	SLB3 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	558.37	1.42	Ok!
Story1	K11	204.28	SLB3 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_7	394.5	716.83	572.53	1.45	Ok!

Fuente: DissipaSLB.

### 2.2.3.7.3 Selección de sismos

Para realizar un análisis dinámico no lineal es necesario el uso de las dos componentes horizontales de no menos de 3 eventos sísmicos que deberán ser escalados, por lo tanto, estos se obtendrán de la base de datos de PEER Ground Motion que registra los movimientos del suelo en todo el mundo. Sin embargo, para seleccionar un registro

sísmico se debe tomar en cuenta diversos parámetros como es la magnitud, mecanismos y distancia de falla, además del efecto del suelo [39].

El país al no contar con suficiente información acerca de eventos sísmicos, los sismos se seleccionan tomando en cuenta que el sismo más fuerte que ha evidenciado la ciudad de Ambato es de magnitud 6.8, por lo cual, se escoge registros sísmicos con magnitud cercana a esta.

**Tabla N° 15.** Registros sísmicos

<b>Registros sísmicos</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Estación</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Fecha</b>
Northridge	Canyon Country - W Lost Cany	6.69	17/01/1994
Loma Prieta	Saratoga - W Valley Coll.	6.93	18/10/1989
Duzce, Turkey	Bolu	7.14	12/11/1999

**Fuente:** PEER Ground Motion [40].

#### 2.2.3.7.4 Tratamiento de registros

##### Corrección por línea base y filtrado

Para la corrección por línea base y filtrado de los registros sísmicos seleccionados se lo realiza mediante el software SeismoSignal que nos permite eliminar frecuencias de ruidos u otros sonidos que no pertenecen al movimiento sísmico.

##### Evento sísmico Duzce

**Figura 62.** Registro sísmico Duzce Filtrado

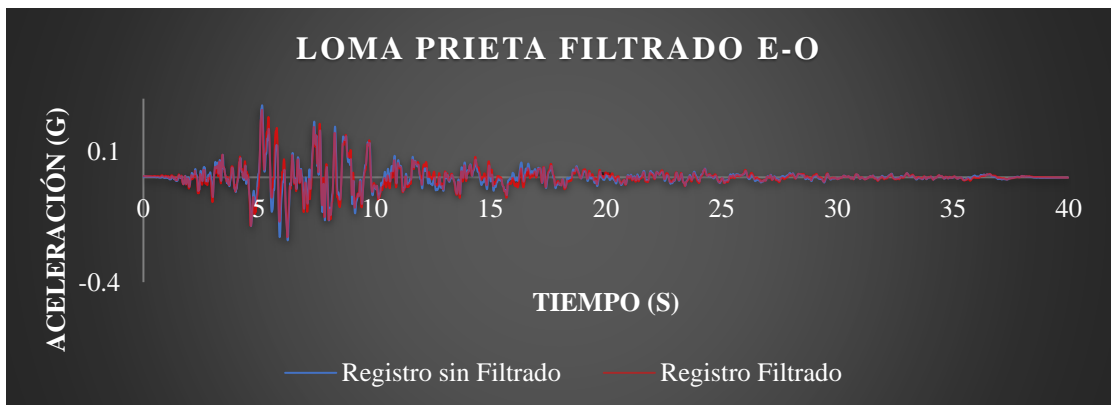




**Fuente:** Elaboración propia.

**Evento sísmico Loma Prieta**

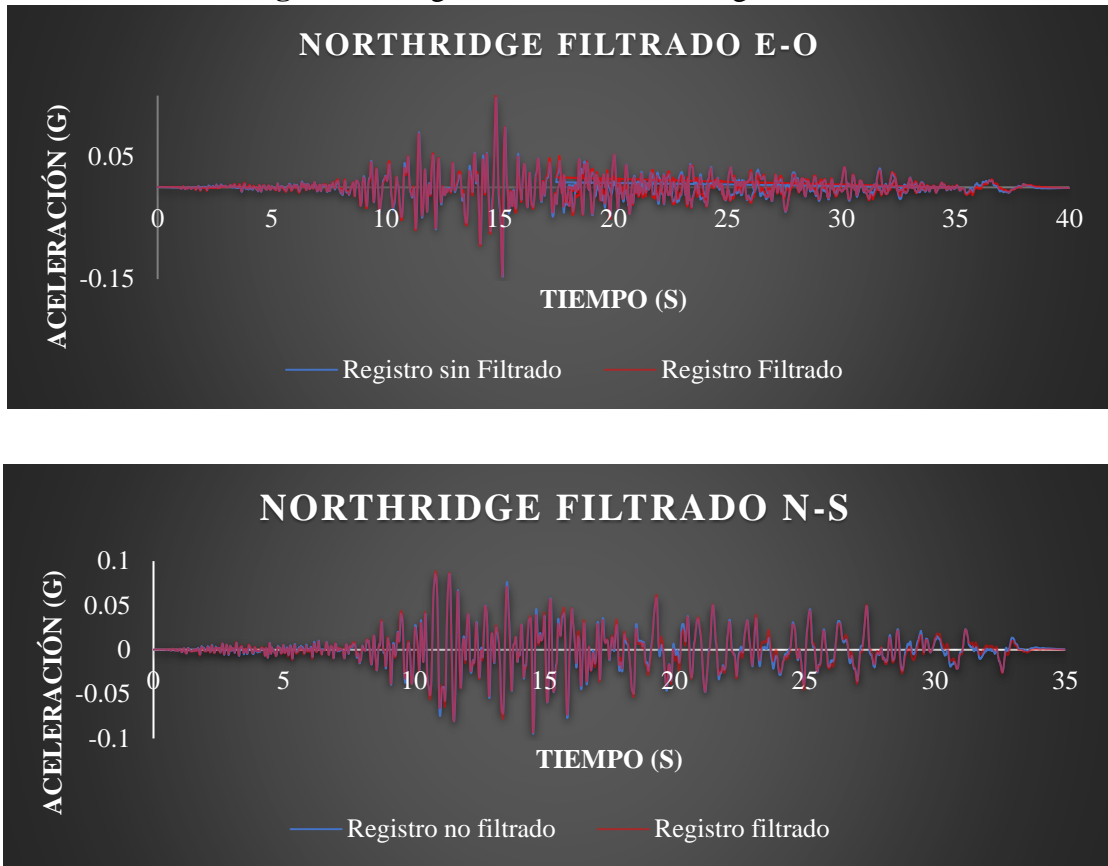
**Figura 63.** Registro Sísmico Loma Prieta Filtrado



**Fuente:** Elaboración propia.

**Evento sísmico Northridge**

**Figura 64. Registro Sísmico Northridge Filtrado**



**Fuente:** Elaboración propia.

### Escalado espectral de registros sísmicos

Finalmente, para ajustar los registros sísmicos se utiliza el programa SeismoMatch tomando en cuenta que la Norma NEC establece que se debe escalar en un rango de  $0.2T$  y  $1.5T$  para cada par de registros sísmicos. Además, estos registros deben converger con el espectro objetivo.

El período fundamental de la estructura obtenido mediante el programa Etabs es de 0.717, obteniendo así el intervalo de aceptación para el escalamiento del registro sísmico de:

$$T_1 = 0.2 T_{m\acute{a}x} = 0.2(0.717) = 0.1434$$

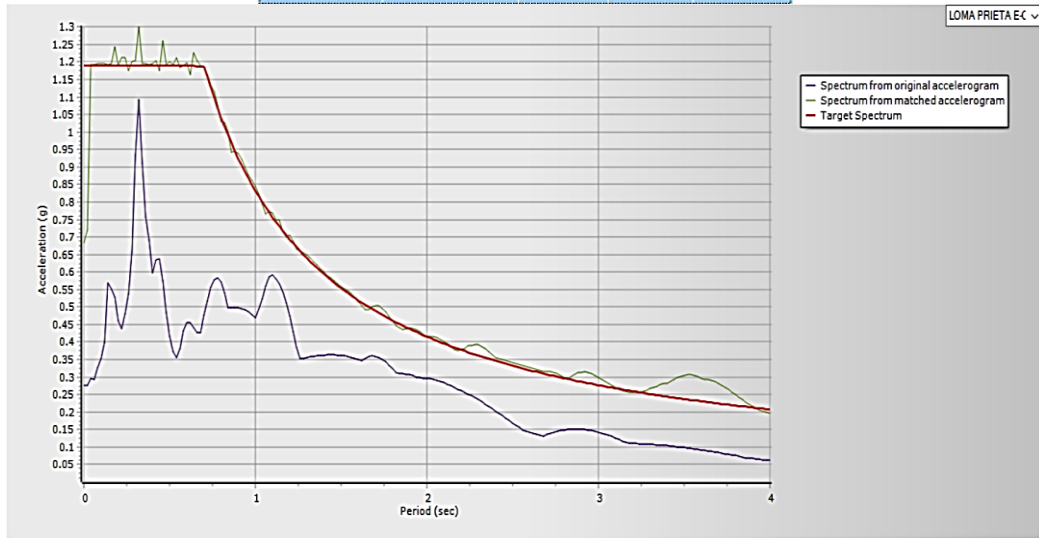
$$T_2 = 1.5 T_{m\acute{a}x} = 1.5(0.717) = 1.0755$$

Además, para que un evento sísmico se encuentre escalado de manera correcta este debe converger adecuadamente al espectro objetivo.



**Figura 65.** Ajuste de registro sísmico

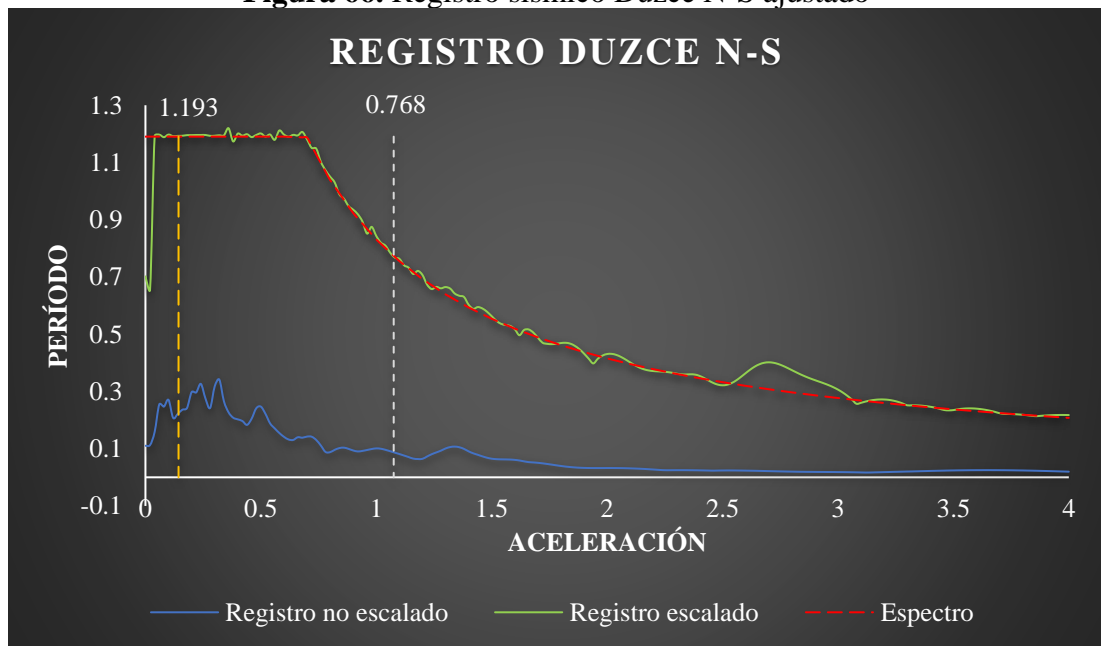
Accelerogram	Matching	Ave Misfit	Max Misfit	Iterations
N-S DUZCE	Converged	3.0 %	26.0 %	20
E-O DUZCE	Converged	2.3 %	22.7 %	17
E-O LOMA P	Converged	4.6 %	29.8 %	15
N-S LOMA P	Converged	3.0 %	20.2 %	9
E-O NORTHR	Converged	2.1 %	24.7 %	11
N-S NORTHR	Converged	3.2 %	26.0 %	11



**Fuente:** SeismoMatch.

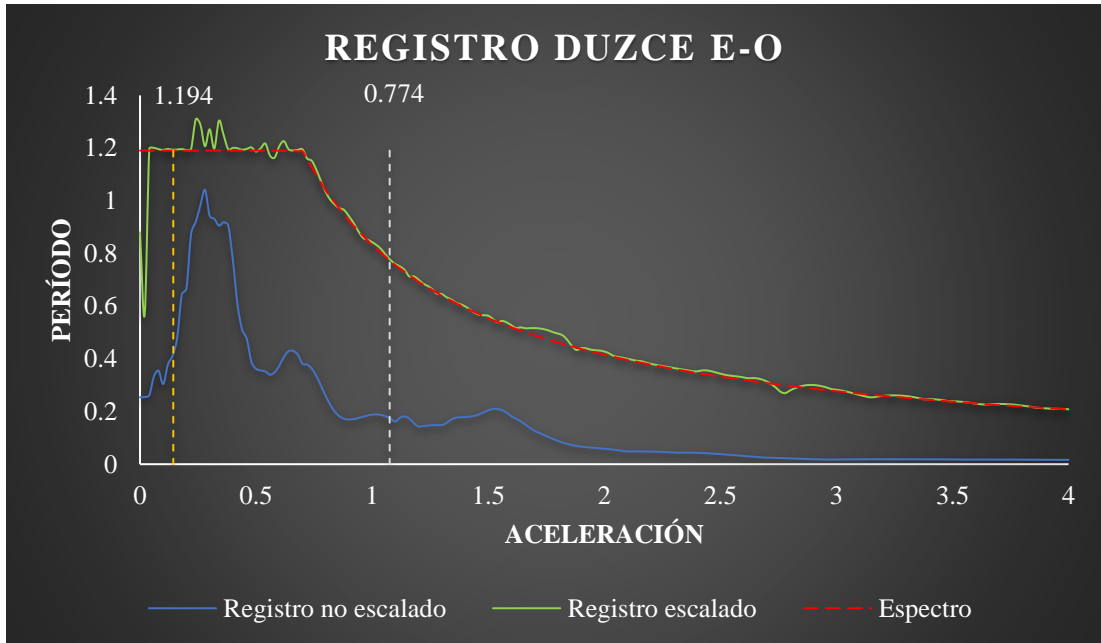
**Evento sísmico Duzce**

**Figura 66.** Registro sísmico Duzce N-S ajustado



**Fuente:** Elaboración propia.

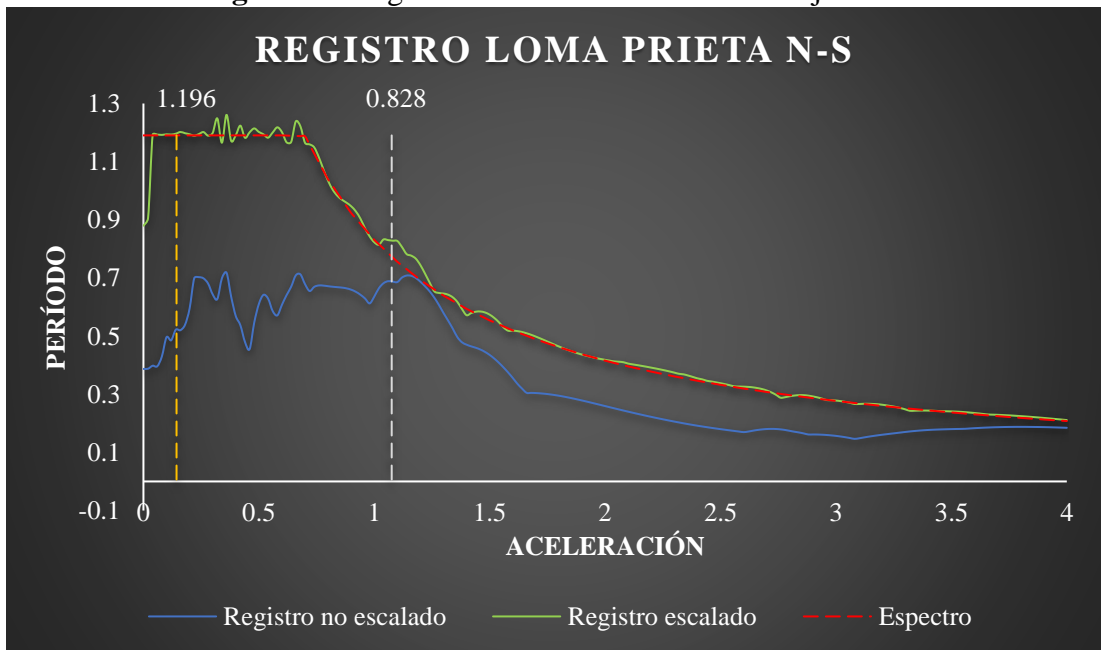
**Figura 67.** Registro sísmico Duzce E-O ajustado



**Fuente:** Elaboración propia.

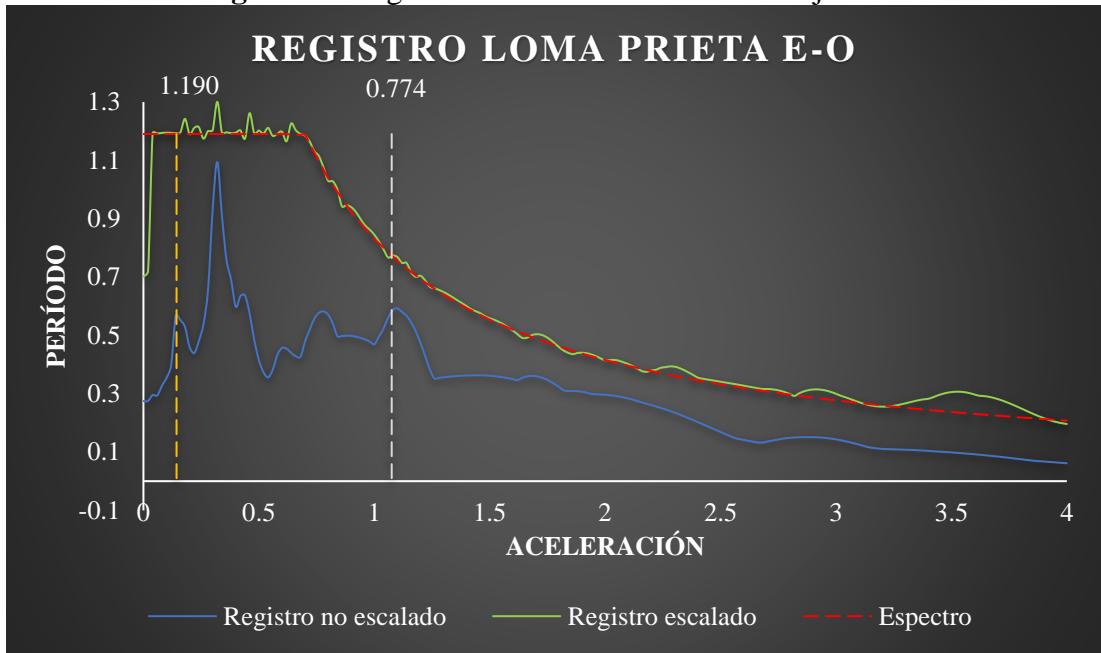
### Evento sísmico Loma Prieta

**Figura 68.** Registro sísmico Loma Prieta N-S ajustado



**Fuente:** Elaboración propia.

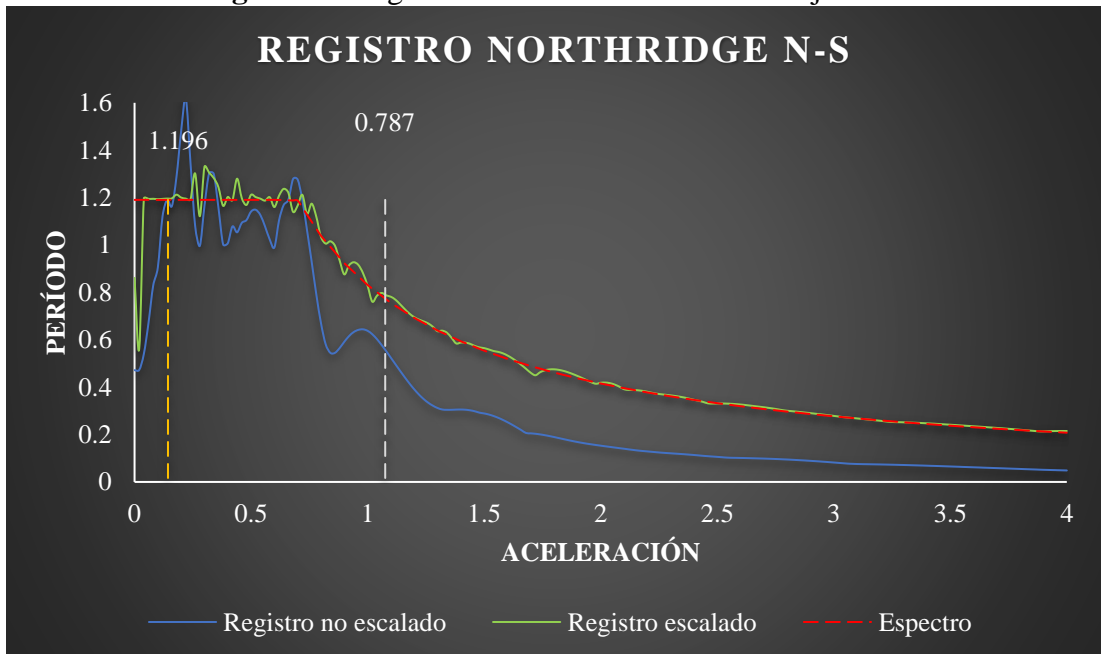
**Figura 69.** Registro sísmico Loma Prieta E-O ajustado



**Fuente:** Elaboración propia.

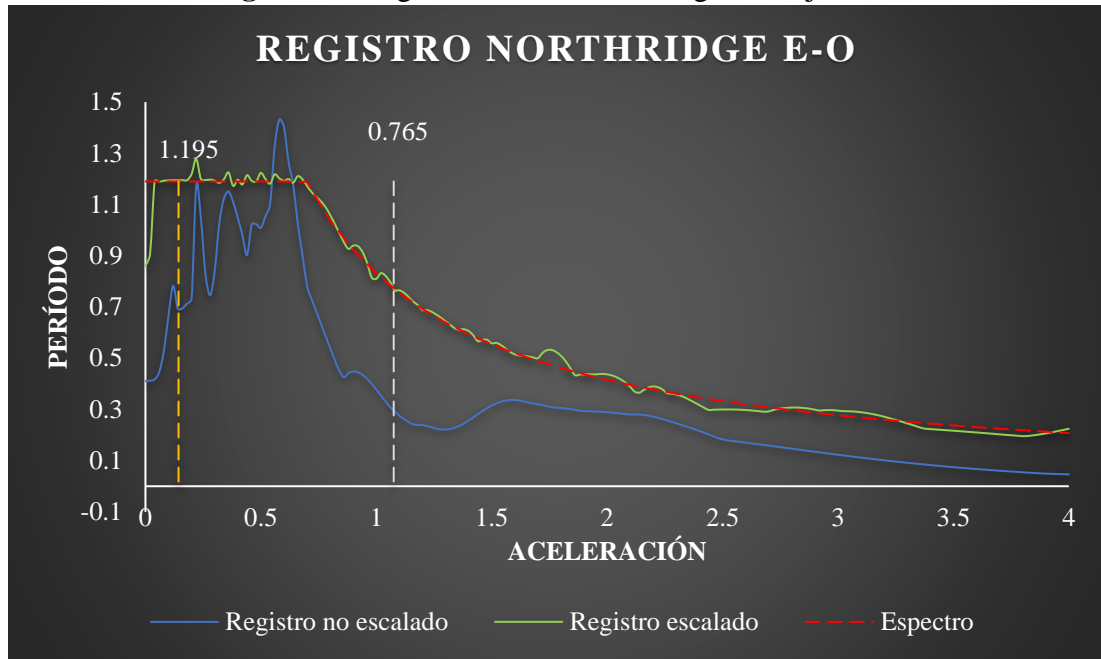
### Evento sísmico Northridge

**Figura 70.** Registro sísmico Loma Prieta N-S ajustado



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 71.** Registro sísmico Northridge E-O ajustado

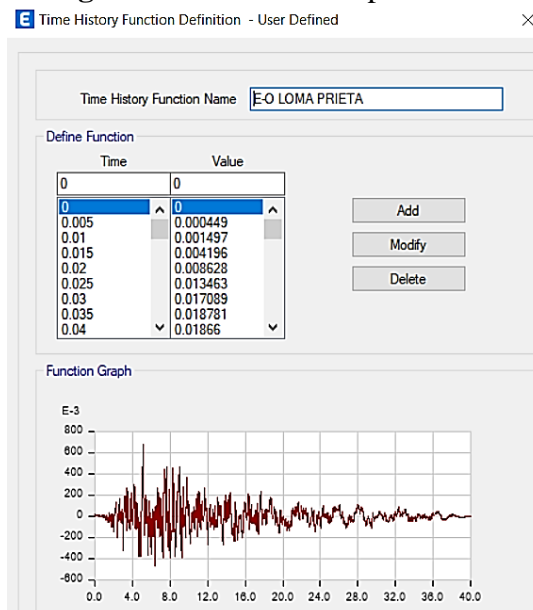


**Fuente:** Elaboración propia.

### Ingreso de registros

Una vez escalado cada evento sísmico a nuestro espectro objetivo se procede a ingresar al programa mediante la función tiempo historia a partir de un archivo, además, ingresando datos como es el

**Figura 72.** Función tiempo historia



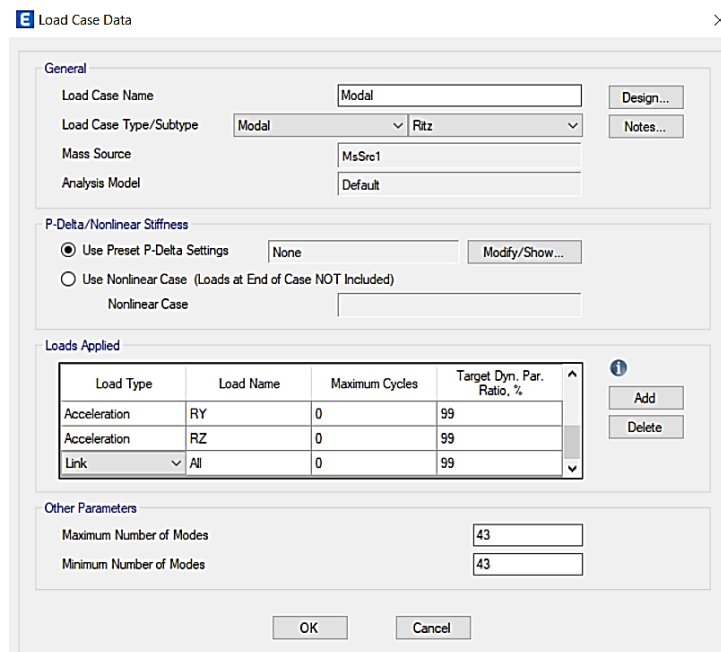
**Fuente:** Etabs.

## Caso modal Ritz

Como se demuestra en [41], los modos naturales de vibración libre no son los adecuados para el análisis de superposición de modos de la estructura sometida a cargas dinámicas, por lo tanto, los vectores Ritz son los más adecuados porque obtienen mejores resultados al tomar en cuenta la distribución espacial de la carga dinámica.

Además, al integrar disipadores de energía lo más recomendable es el uso de vectores Ritz, debido que, considera de mejor manera la no linealidad de los elementos link y obtiene mejores respuestas en la estructura. Por lo tanto, el número máximo y mínimo de modos de la estructura con la inclusión de los disipadores se considera mediante la siguiente condición:

**Figura 73.** Caso Modal



The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:**
  - Load Case Name: Modal
  - Load Case Type/Subtype: Modal (Type) / Ritz (Subtype)
  - Mass Source: MsSrc1
  - Analysis Model: Default
- P-Delta/Nonlinear Stiffness:**
  - Use Preset P-Delta Settings: None
  - Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dyn. Par. Ratio, %
Acceleration	RY	0	99
Acceleration	RZ	0	99
Link	All	0	99
- Other Parameters:**
  - Maximum Number of Modes: 43
  - Minimum Number of Modes: 43

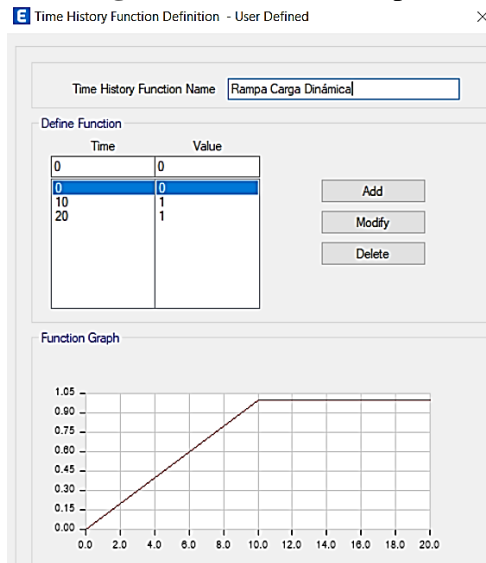
**Fuente:** Etabs.

### 2.2.3.7.5 Asignación de la carga dinámica

Según [41], para realizar un análisis no lineal tiempo historia es necesario considerar las cargas gravitacionales mediante la creación de una función rampa que permite

convertir las cargas estáticas en cargas dinámicas como una condición inicial para el análisis dinámico no lineal. Además, análisis dinámico no lineal no considera el principio de superposición es necesario crear la función que toma en cuenta el peso de la estructura (carga gravitacional) convirtiéndolo en cargas laterales ante la acción del movimiento del suelo.

**Figura 74. Función rampa**



**Fuente:** Etabs.

Una vez definido la función rampa se procede a crear la carga gravitacional que integra el 100% de la carga muerta y un 25% de la carga viva.

**Figura 75. Carga de gravedad para ANLD**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	Dead	Rampa Carga Dinám...	1
Load Pattern	SCP	Rampa Carga Dinám...	1
Load Pattern	Live	Rampa Carga Dinám...	0.25

**Fuente:** Etabs.

### 2.2.3.7.6 Ingreso de casos

Para el ingreso del caso de análisis no lineal se requiere de distintos parámetros siendo estos los siguientes:

**Figura 76.** Caso análisis dinámico no lineal (Tiempo-Historia)

Load Case Data

General

Load Case Name: Registro Duzce

Load Case Type/Subtype: 1 Time History Nonlinear Direct Integration

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

2  Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: Carga Gravitacional Dinámica

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Duzce N-S Ajustado	9.81
Acceleration	U2	Duzce E-O Ajustado	9.81

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

3 Number of Output Time Steps: 3551

4 Output Time Step Size: 0.01 sec

5 Damping: Mass: 0.4127; Stiff: 0.0007; Modal: Yes

Time Integration: Newmark

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Only

**Fuente:** Etabs.

1. El primer punto a realizar es la selección del caso por el método de integración directa que es el método más exacto para determinar el comportamiento de una estructura.
2. En el segundo paso se considera que la condición inicial ya no es a partir de cero, por lo cual, se debe continuar desde un caso no lineal de carga gravitacional dinámica.
3. Como tercer paso se ingresa el número de paso en el intervalo de tiempo, para el caso del registro de Duzce se presenta en 3551 pasos en un intervalo de 0.01 segundos.
4. Como cuarto paso se utiliza el modelo de amortiguamiento de Rayleigh para obtener el coeficiente proporcional de masa y el coeficiente proporcional de rigidez y

mediante esto alcanzar el requerimiento de amortiguamiento viscoso a dos frecuencias. De manera que se ingresa el período que se produce en el primer modo de vibración y el segundo período cuando el modo de vibración alcanza el 90% de masa participativa, además, se considera un amortiguamiento del 2%.

**Figura 77.** Amortiguación integración directa

Modal Load Case: Modal

Viscous Proportional Damping

Direct Specification  
 Specify Damping by Period  
 Specify Damping by Frequency  
 Specify as Period Ratio, T/T\_mode, for This Mode

	Mass Proportional Coefficient	Stiffness Proportional Coefficient
	0.2738 1/sec	9.994E-04 sec

	Period	Frequency	Damping
1 First	0.717 sec	cyc/sec	0.02
2 Second	0.201 sec	cyc/sec	0.02

Additional Modal Damping

Include Additional Modal Damping  
 Maximum Considered Modal Frequency: 100 1/sec

Modify/Show Modal Damping Parameters...

**Fuente:** Etabs.

5. Como último paso se utilizará el método integración directa de Newmark con los siguientes valores:

$$\text{Gamma} = 0.5$$

$$\text{Beta} = 0.25$$

**Figura 78.** Método de Newmark

Time Integration Parameters

Method

Newmark  
 Gamma: 0.5  
 Beta: 0.25

**Fuente:** Elaboración propia.



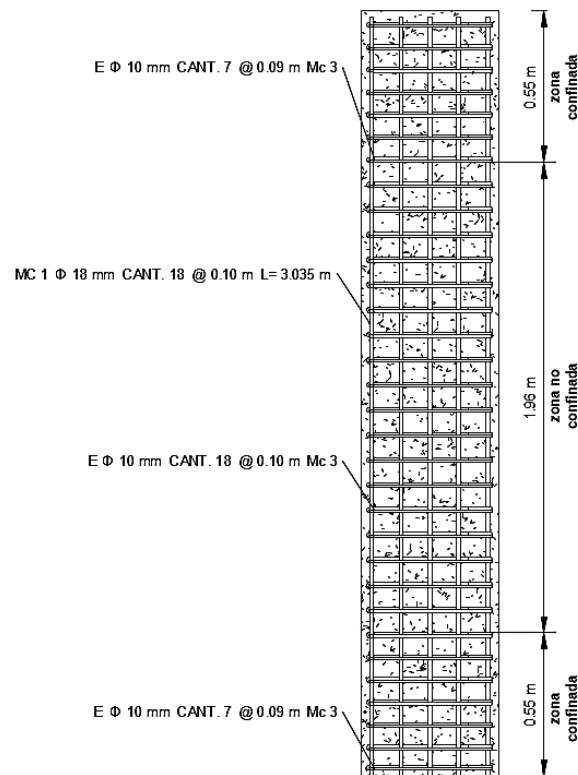
### 2.2.3.7.7 Asignación de rótulas plásticas

Para asignar las propiedades no lineales de los elementos estructurales se lo realiza mediante el uso de rótulas plásticas concentradas, además, los criterios de aceptación de las mismas para procedimientos no lineales se consideran a partir de la norma ASCE 41-13 para elemento viga y columna.

#### Columnas

Para el cálculo de las rótulas plásticas se realiza para la columna de sección 55 cm \* 55 cm con el siguiente armado asignado.

**Figura 79.** Columna tipo



**Fuente:** Elaboración propia.

Tomando en cuenta que la columna puede encontrarse sometida a cuatro condiciones como se muestra en la Tabla N° 17, se debe determinar el tipo de condición a la que se encuentra la columna bajo los siguientes parámetros:

**Tabla N° 16.** Condiciones del refuerzo transversal columnas

Table 10-11. Transverse Reinforcement Details: Condition to Be Used for Columns In Table 10-8

Shear Capacity Ratio	ACI 318 Conforming Seismic Details with 135-Degree Hooks	Closed Hoops with 90-Degree Hooks	Other (Including Lap-Spliced Transverse Reinforcement)
$V_p/V_o \leq 0.6$	i <sup>a</sup>	ii	ii
$1.0 \geq V_p/V_o > 0.6$	ii	ii	iii
$V_p/V_o > 1.0$	iii	iii	iii

<sup>a</sup>To qualify for condition i, a column should have  $A_v/b_w s \geq 0.002$  and  $s/d \leq 0.5$  within flexural plastic hinge region. Otherwise, the column is assigned to condition ii.

**Fuente:** ASCE 41-13, 2014 [42].

Para que una columna se encuentre en el rango de condición i debe cumplir con las siguientes relaciones

**Relación 1**

Considerando el armado en la zona confinada de la columna en la Figura 63, el área de estribo ( $A_v$ ) es de 2.36 cm<sup>2</sup> y un espaciamiento entre estribos de 9.6 cm.

$$\frac{A_v}{b_w s} \geq 0.002$$

$$\frac{2.36 \text{ cm}^2}{55 \text{ cm} * 9.6 \text{ cm}} \geq 0.002$$

$$0.0045 \geq 0.002$$

**Relación 2**

El peralte efectivo es de 50.6 cm.

$$\frac{s}{d} \leq 0.5$$

$$\frac{9.6 \text{ cm}}{50.6 \text{ cm}} \leq 0.5$$

$$0.1897 \leq 0.5$$

Los resultados obtenidos determinan que la columna se encuentra controlada por flexión, sin embargo, esto se cumple si los parámetros sismorresistentes se respetan al momento de la construcción. Por tal motivo, nuestro medio al no contar con una manera adecuada de construcción y evitar problemas en las columnas se toma la condición ii, es decir, la columna se encuentra controlada por flexo-compresión.

Una vez determinado esto se procede a calcular los valores para determinar los criterios de aceptación de las columnas.

### Parámetro 1

En el parámetro 1 se considera una carga puntual de 62.29 ton a la que se va a someter a la columna.

$$\frac{P}{A_g f' c} = \frac{111542.2 \text{ kg}}{(55 \text{ cm} * 55 \text{ cm}) * 210 \text{ kg/cm}^2} = 0.176$$

### Parámetro 2

En el parámetro el resultado es el mismo que la relación 1.

$$\rho = \frac{A_v}{b_w s} = 0.0045$$

### Parámetro 3

El tercer parámetro considera el corte de la columna, por lo cual, el cortante al que se va a encontrar la columna es de ton.

$$\frac{V}{b * d * \sqrt{f' c}} = \frac{12.94335 \text{ klb}}{21.65 \text{ in} * 19.92 \text{ in} * \sqrt{2.9883 \text{ klb/in}^2}} = 0.017$$

Una vez obtenido los valores se determina que se debe interpolar debido que se encuentra entre dos rangos de la Tabla N° 17, obteniendo así los siguientes valores:

**Tabla N° 17.** Criterios de aceptación (columnas)

Cond	a	b	c	IO	LS	CP
<b>0.006</b>	0.032	0.06	0.2	0.005	0.045	0.06
<b>0.0005</b>	0.012	0.012	0.2	0.005	0.01	0.012
<b>0.004</b>	<b>0.0264</b>	<b>0.0466</b>	<b>0.2000</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.0352</b>	<b>0.0466</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 18.** Parámetros para asignación de rótulas plásticas (Columnas)

Table 10-8. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns

Conditions			Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>		
			Plastic Rotations Angle (radians)	Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)			
					IO	LS	CP	
Condition i. <sup>b</sup>			a	b	c			
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
$\leq 0.1$	$= 0.002$		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
$\geq 0.6$	$= 0.002$		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii. <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ <sup>d</sup>						
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	$\leq 3 (0.25)$	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$	$\geq 6 (0.5)$	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	$\leq 3 (0.25)$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$	$\geq 6 (0.5)$	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\leq 3 (0.25)$	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$	$\geq 6 (0.5)$	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	$\leq 3 (0.25)$	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$	$\geq 6 (0.5)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii. <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>b</sup>								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
$\leq 0.1$	$\geq 0.006$		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
$\geq 0.6$	$\geq 0.006$		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
$\leq 0.1$	$\leq 0.0005$		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
$\geq 0.6$	$\leq 0.0005$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NOTE:  $f'_c$  is in lb/in.<sup>2</sup> (MPa) units.

<sup>a</sup>Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

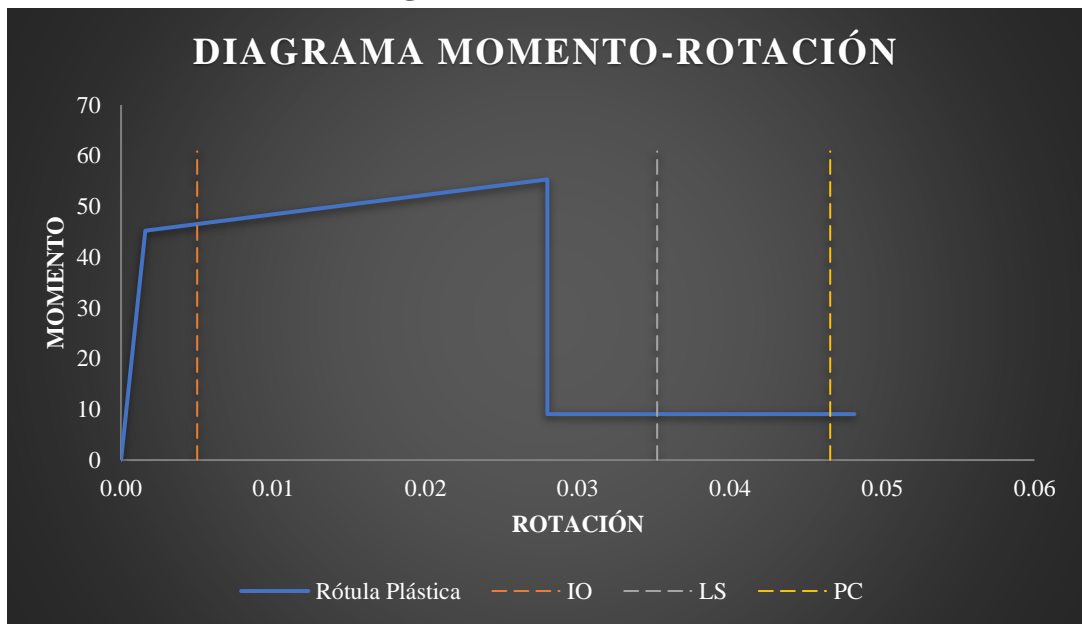
<sup>b</sup>Refer to Section 10.4.2.2.2 for definition of conditions i, ii, and iii. Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-2). Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

<sup>c</sup>Where  $P > 0.7A_s f'_c$ , the plastic rotation angles should be taken as zero for all performance levels unless the column has transverse reinforcement consisting of hoops with 135-degree hooks spaced at  $\leq d/3$  and the strength provided by the hoops ( $V_h$ ) is at least 3/4 of the design shear. Axial load  $P$  should be based on the maximum expected axial loads caused by gravity and earthquake loads.

<sup>d</sup> $V$  is the design shear force from NSP or NDP.

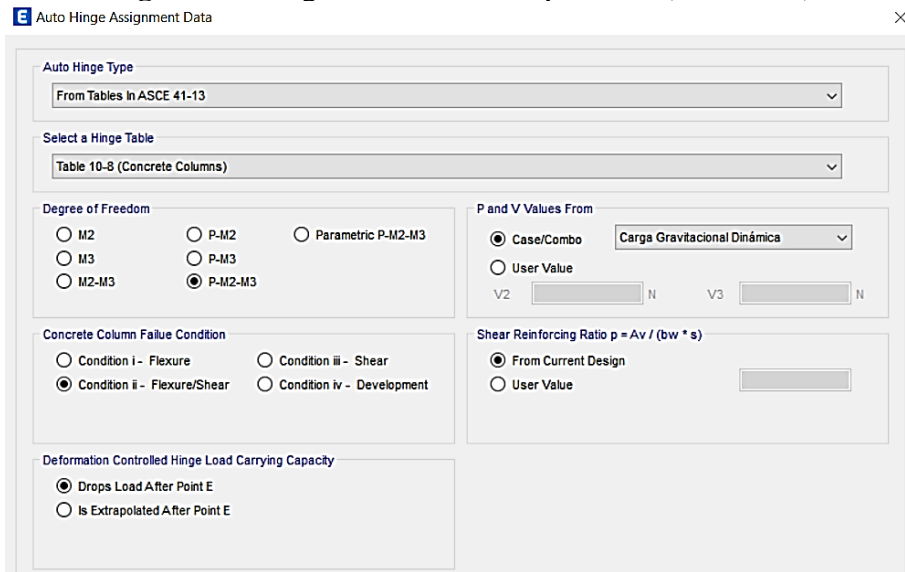
Fuente: ASCE 41-13, 2014 [42].

**Figura 80.** Rótula Plástica



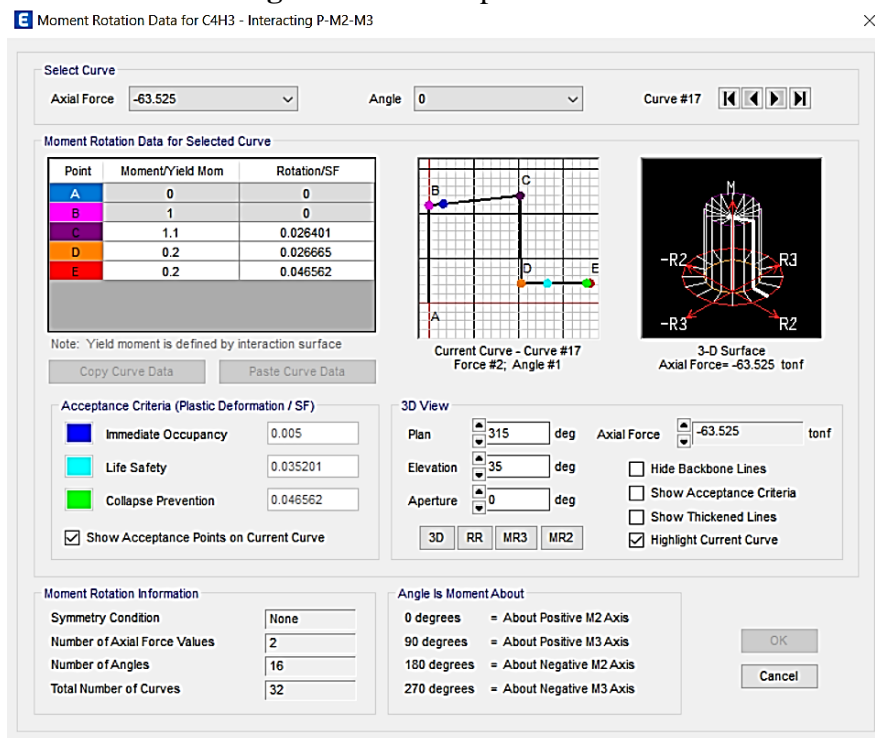
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 81. Asignación de rótulas plásticas (Columnas)**



Fuente: Etabs.

**Figura 82. Rótula plástica Etabs**

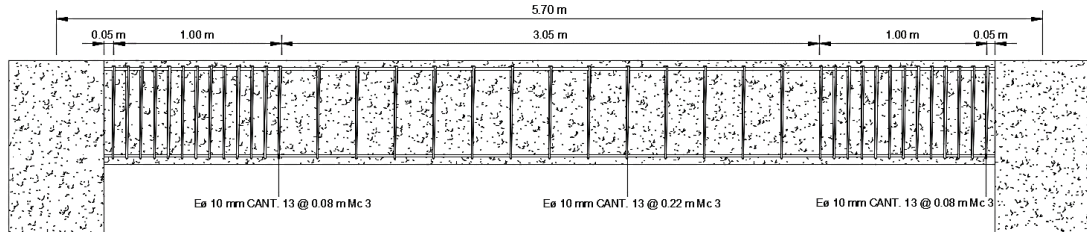


Fuente: Etabs.

## Vigas

Para el cálculo de rótulas plásticas en las vigas se realiza para la viga más cargada con sección 40 cm \* 60 cm.

**Figura 83. Viga**



**Fuente:** elaboración propia.

La estructura al ser diseñada con parámetros sismorresistentes se considera que el elemento se encuentra controlado por flexión, siempre y cuando cumpla con las siguientes 3 condiciones:

### Parámetro 1

Se calcula el rango de los criterios de aceptación mediante la diferencia de la cuantía de acero superior e inferior dividido para la cuantía balanceada

$$\frac{p - p'}{\rho_{bal}}$$

$$\frac{0.28\% - 0.14\%}{2.14\%}$$

$$0.065$$

### Parámetro 2

En la condición dos se debe considerar si el acero transversal es conforme o no conforme, siendo la primera condición a cumplir la siguiente:

$$at \leq \frac{d}{3}$$

Tomando en cuenta que la altura de las vigas es de 50 cm y un recubrimiento de 2.5 cm, se obtiene un peralte efectivo 45.90 cm. Además, el espaciado de los estribos de la viga en la zona confinada es de 8 cm

$$8 \leq \frac{45.90}{3}$$

$$8 \leq 15.30 \text{ *Conforme*}$$

Además, se considera conforme si la resistencia a corte del refuerzo transversal es menor o igual al cortante actuante.

$$V \geq \frac{3}{4} V_s$$

El cortante actuante ( $V$ ) en la viga más cargada es de 15.6025 ton y el cortante del refuerzo transversal ( $V_s$ ) es de 37.85 ton.

$$15.6025 \text{ ton} \leq \frac{3}{4} (37.85 \text{ ton})$$

$$15.6025 \text{ ton} \leq 28.39 \text{ ton} \text{ *Conforme*}$$

### Condición 3

En la tercera condición se establece el cortante actuante que se determina mediante la siguiente expresión:

$$\frac{V}{b * d * \sqrt{f'c}}$$

$$\frac{33.394 \text{ klb}}{15.748 \text{ in} * 18.071 \text{ in} * \sqrt{2.9883 \text{ klb/in}^2}}$$

$$0.068$$

Una vez obtenido todos los requisitos se procede a realizar una interpolación, ya que, los resultados obtenidos se encuentran entre los siguientes rangos:

**Tabla N° 19.** Parámetros para asignación de rótulas plásticas (Vigas)

Table 10-7. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beams

Conditions	Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>		
	Plastic Rotations Angle (radians)	Residual Strength Ratio		Plastic Rotations Angle (radians)		
				Performance Level		
				IO	LS	CP
a	b	c	IO	LS	CP	
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>						
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ <sup>d</sup>				
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010 0.025 0.05
≤0.0	C	≥6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005 0.02 0.04
≥0.5	C	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005 0.02 0.03
≥0.5	C	≥6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005 0.015 0.02
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005 0.02 0.03
≤0.0	NC	≥6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015 0.01 0.015
≥0.5	NC	≤3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005 0.01 0.015
≥0.5	NC	≥6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015 0.005 0.01
Condition ii. Beams controlled by shear <sup>b</sup>						
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015 0.01 0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015 0.005 0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span <sup>b</sup>						
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.0	0.0015 0.01 0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.0	0.0015 0.005 0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint <sup>b</sup>						
			0.015	0.03	0.2	0.01 0.02 0.03

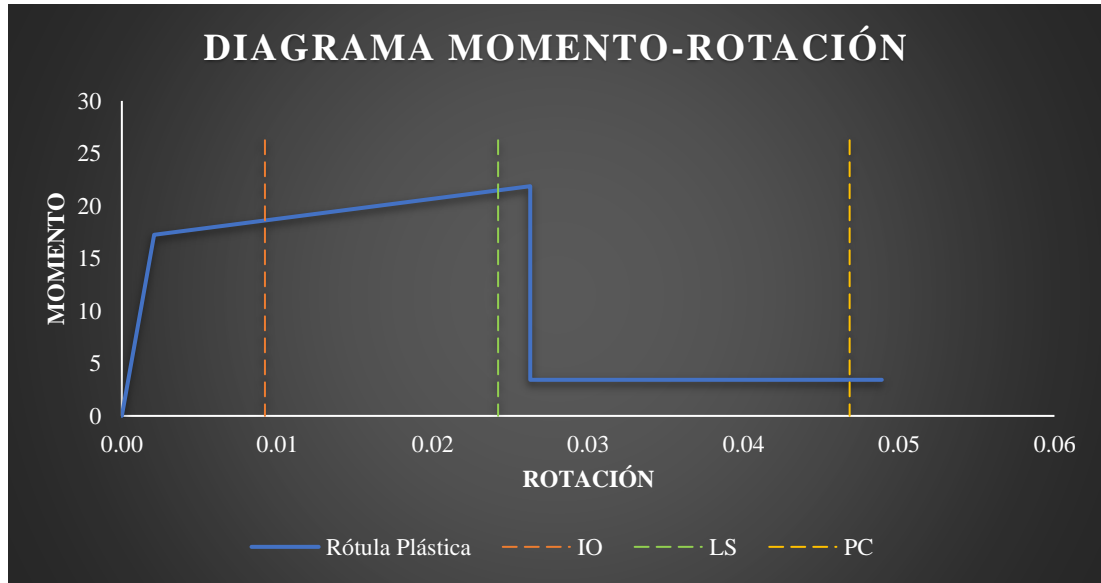
Fuente: ASCE 41-13, 2014 [42].

**Tabla N° 20.** Criterios de aceptación

Cond	a	b	c	IO	LS	CP
<b>0</b>	0.025	0.05	0.2	0.01	0.025	0.05
<b>0.5</b>	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
<b>0.07</b>	<b>0.0243</b>	<b>0.0474</b>	<b>0.2000</b>	<b>0.0093</b>	<b>0.0243</b>	<b>0.0474</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 84.** Rótula plástica



**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez realizado el procedimiento se asigna la rótula plástica a cada elemento viga tomando en cuenta las consideraciones mencionadas.

**Figura 85.** Asignación de rótula plástica vigas

**Auto Hinge Assignment Data**

Auto Hinge Type: From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom:  M2  M3

V Value From:  Case/Combo (Carga Gravitacional Dinámica)  User Value (V2)

Transverse Reinforcing:  Transverse Reinforcing is Conforming

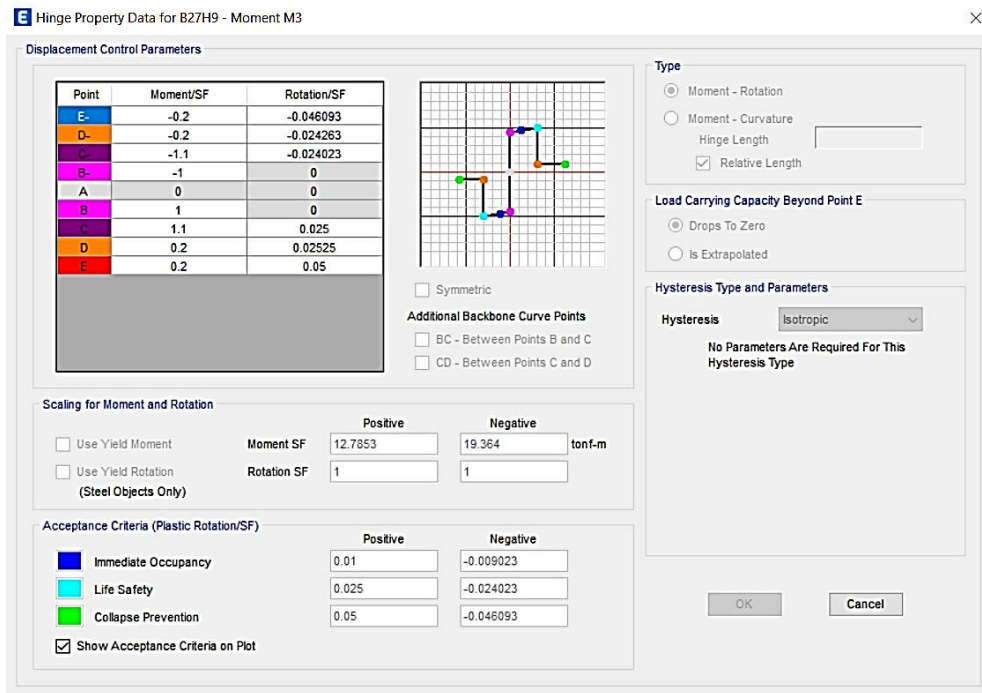
Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced:  From Current Design  User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:  Drops Load After Point E  Is Extrapolated After Point E

**Fuente:** Etabs.



**Figura 86. Rótula Plástica Etabs**

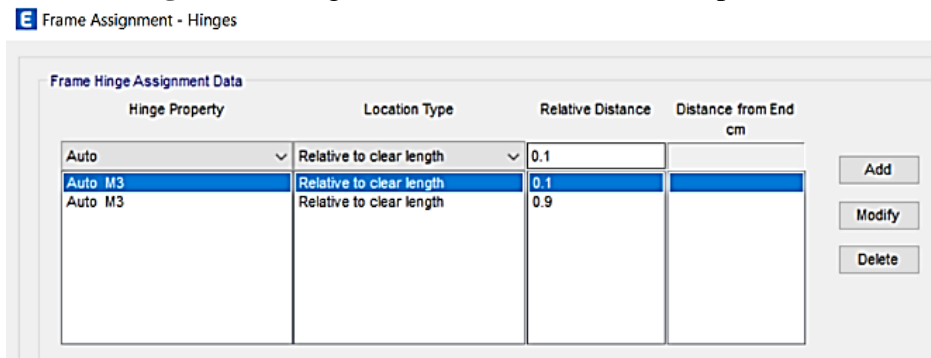


**Fuente:** Etabs.

### Distancia rótula plástica

La ubicación de la rótula plástica se lo realiza tomando en cuenta que, al trabajar con brazos rígidos en el nudo, por lo tanto, se lo coloca en la cara de la columna más un valor de  $h/2$  y este valor a su vez se lo divide para la luz libre de la viga obteniendo un valor cercano al 10%, por lo tanto, la formación de las rótulas plásticas tanto en las vigas como en las columnas se lo va a realizar a un 10% de la longitud en ambos extremos.

**Figura 87. Asignación de distancia de rótula plástica**



**Fuente:** Etabs.

### 2.2.3.7.8 Deformación de los disipadores

Para realizar la revisión de deformaciones permitidas en los disipadores es necesario crear un performance check, que permite determinar la demanda/capacidad de los disipadores para los niveles de desempeño de los eventos sísmicos Loma Prieta, Duzce y Northridge.

**Figura 88.** Performance check

Performance Check Data

Performance Check Name: Deformaciones  
Group: All

Demand Set List

Duzce	Add Delete
Loma Prieta	
Northridge	

Combination Method for Demand Sets

Use Mean Plus Multiplier Times Standard Deviation  
 Use Maximum Demand

Data for Demand Set

Demand Set Name: Duzce

Load Case	Step Number
Registro Duzce	

Load Case Combination Method: Maximum

Include

Frame Hinges     Strain Gauges  
 Wall Hinges     Pier and Spandrel Forces  
 Links     Panel Zones

**Fuente:** Etabs.

### 2.2.3.7.9 Respuesta estructural

Se determinaron los siguientes valores de la estructura con la inclusión de disipadores de energía para los tres eventos sísmicos seleccionados:

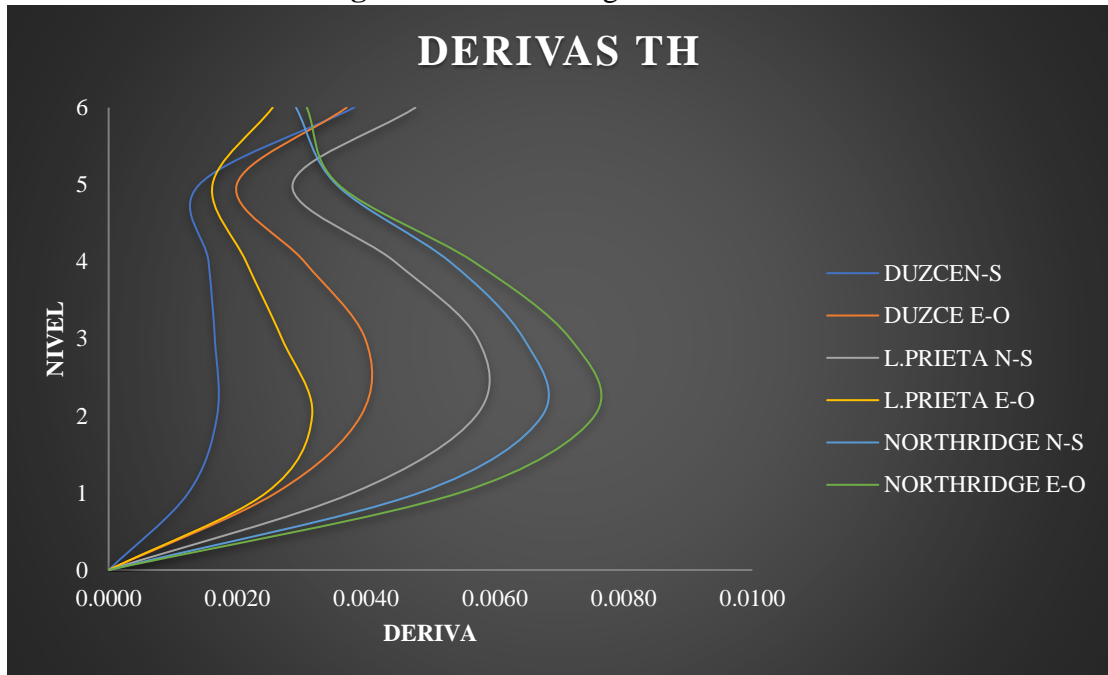
## Derivas

**Tabla N° 21.** Derivas registros sísmicos

Pisos	Derivas					
	Duzce		Loma Prieta		Northridge	
	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O
6	0.0038	0.0037	0.0048	0.0025	0.0029	0.0031
5	0.0014	0.0020	0.0029	0.0016	0.0035	0.0036
4	0.0016	0.0030	0.0044	0.0021	0.0053	0.0057
3	0.0017	0.0040	0.0047	0.0027	0.0064	0.0072
2	0.0017	0.0039	0.0047	0.0032	0.0067	0.0075
1	0.0012	0.0026	0.0038	0.0024	0.0048	0.0054

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 89.** Derivas registros sísmicos

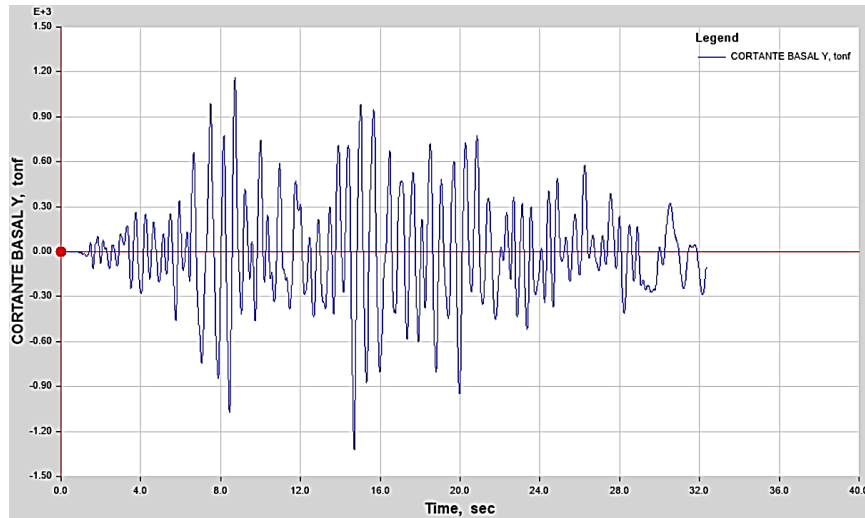


**Fuente:** Elaboración propia.

## Cortantes

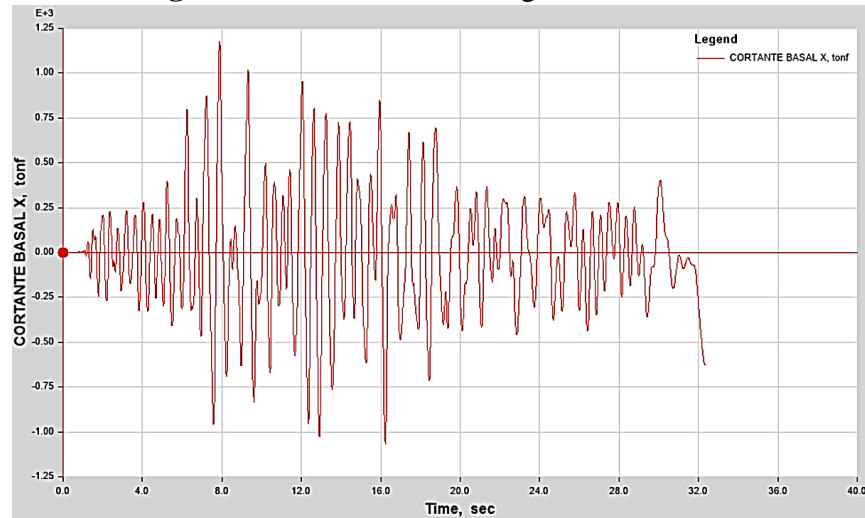
Para fines demostrativos se define una función para la obtención del cortante basal máximo únicamente para el registro Duzce tanto para la dirección X como para la dirección Y, mientras que, los cortantes basales de los pares de registros sísmicos se presentan en la Tabla N°24.

**Figura 90. Cortante Basal Registro Duzce N-S**



**Fuente:** Etabs.

**Figura 91. Cortante Basal Registro Duzce E-O**



**Fuente:** Etabs.

**Tabla N° 22. Cortante Basal**

<b>Cortante Basal Disipadores SLB (tonf)</b>						
<b>Pisos</b>	<b>Duzce</b>		<b>Loma Prieta</b>		<b>Northridge</b>	
	<b>N-S</b>	<b>E-O</b>	<b>N-S</b>	<b>E-O</b>	<b>N-S</b>	<b>E-O</b>
6	31.36870	33.13	21.73970	25.34480	31.29090	28.66790
5	142.58730	146.724	138.25850	122.25590	141.99930	171.33740
4	327.32710	259.9981	279.07890	223.47810	293.19330	338.83060
3	482.88900	396.8967	420.99700	315.43480	439.99010	487.48270
2	575.42900	489.2956	545.83350	440.09340	558.55670	655.89360
1	631.44090	535.0299	624.05370	545.63890	626.41480	776.64450

**Fuente:** Elaboración propia.

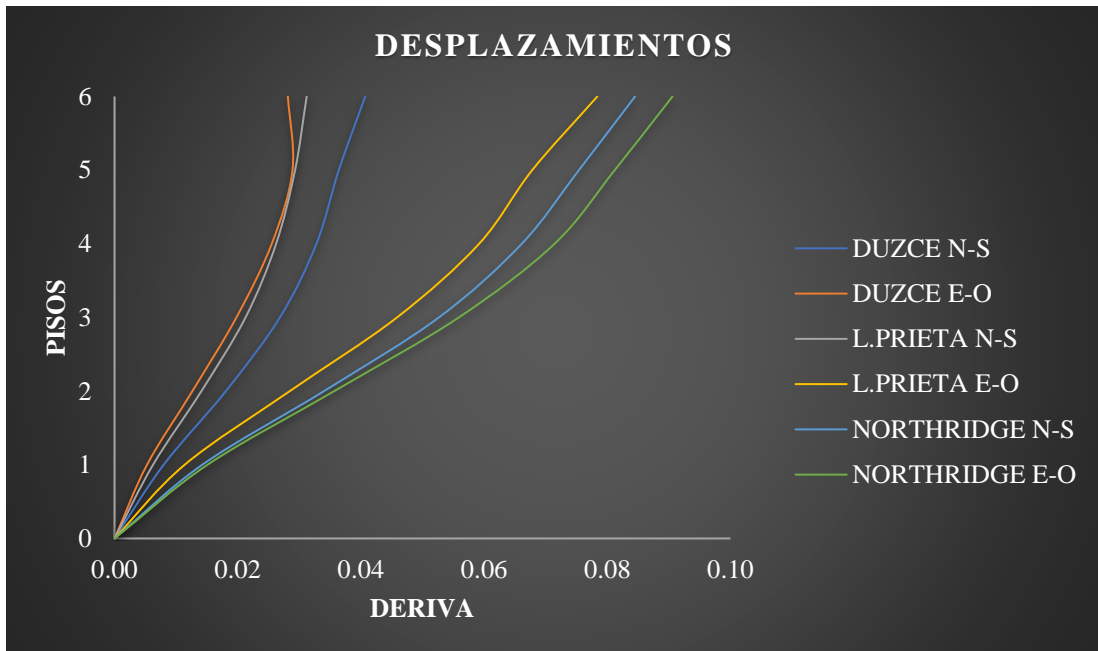
## Desplazamientos

**Tabla N° 23.** Desplazamientos registros sísmicos

Pisos	Desplazamientos					
	Duzce		Loma Prieta		Northridge	
	N-S	E-O	N-S	E-O	N-S	E-O
6	0.0407	0.0281	0.0312	0.0784	0.0845	0.0906
5	0.0364	0.0289	0.0293	0.0678	0.0754	0.0812
4	0.0328	0.0255	0.0262	0.0592	0.0661	0.0714
3	0.0268	0.0198	0.0213	0.0459	0.0527	0.0559
2	0.0181	0.0126	0.0141	0.0285	0.0340	0.0357
1	0.0080	0.0053	0.0062	0.0114	0.0142	0.0151

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 92.** Desplazamientos registros sísmicos



**Fuente:** Elaboración propia.

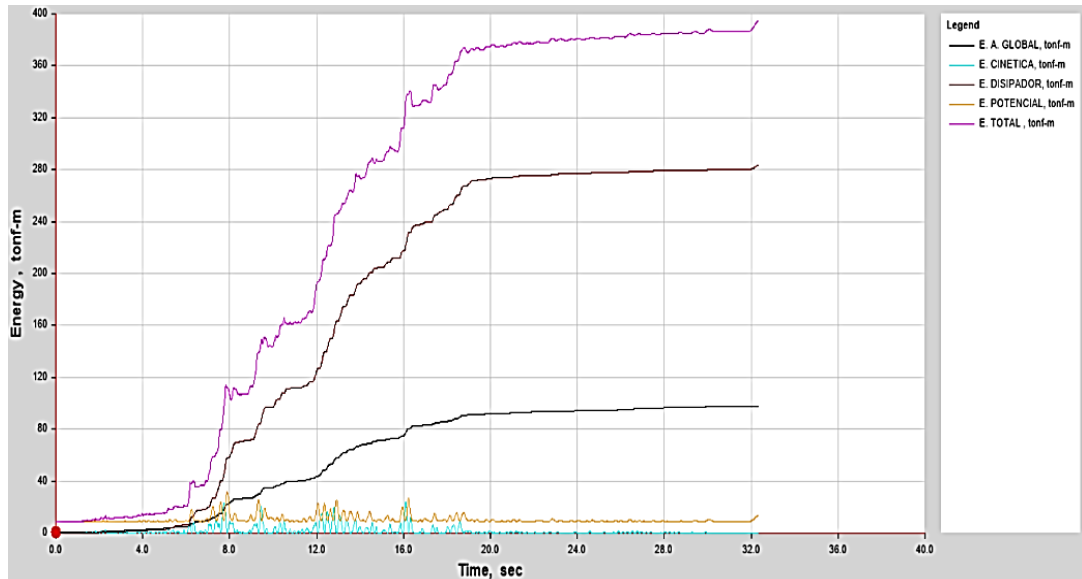
Una vez obtenido los resultados se evidencia que las máximas respuestas se presentan en el evento sísmico de Northridge, por lo cual, para se utilizaran para la comparación estructural como se establece en la norma NEC.

## Disipación de energía

Las siguientes figuras representan los diferentes componentes de disipación de energía, para evidenciar la cantidad de energía disipada por la estructura y por los

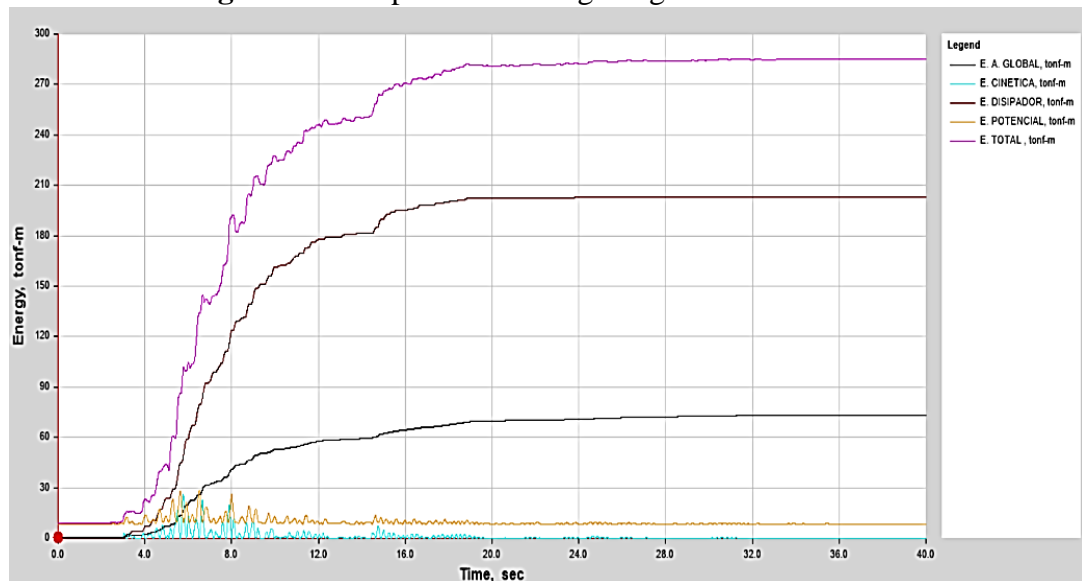
disipadores de energía en la dirección N-S y se muestra en la tabla N° 22 el porcentaje de disipación de energía de los disipadores y de los elementos estructurales en las dos direcciones de análisis con los registros sísmicos. Además, se tomará en cuenta distintos tipos de energía como es la energía cinética, energía potencia, energía total, energía de amortiguamiento global y energía de amortiguamiento histórico.

**Figura 93.** Disipación de energía registro sísmico Duzce.



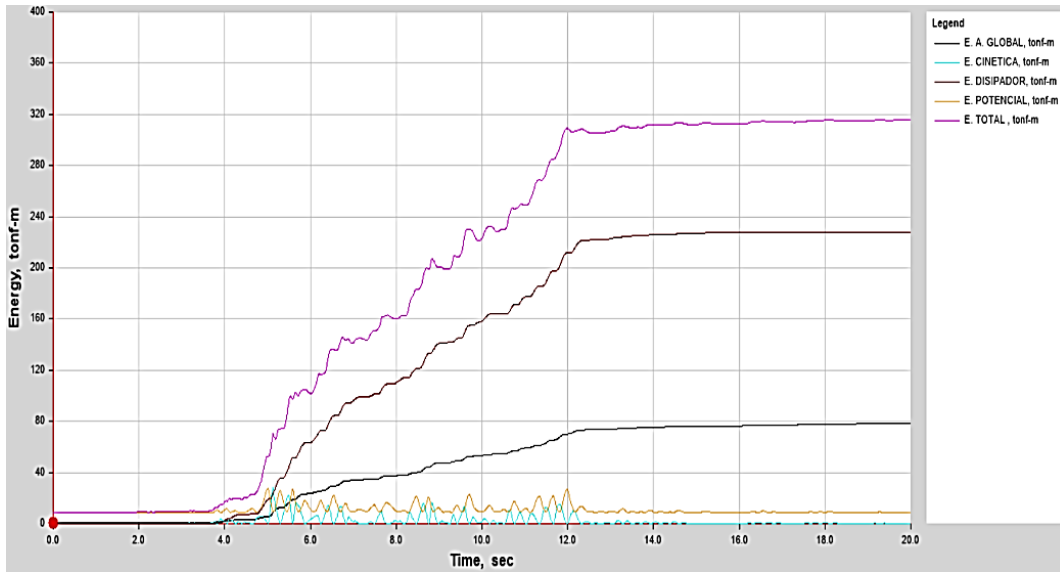
Fuente: Etabs.

**Figura 94.** Disipación de energía registro Loma Prieta



Fuente: Etabs.

**Figura 95.** Disipación de energía registro Northridge



Fuente: Etabs.

**Tabla N° 24.** Balance de energía

<b>Energía disipada</b>				
<b>Dirección</b>	<b>E. Total tonf-m</b>	<b>E. Disipador tonf-m</b>	<b>% Estructura</b>	<b>% Disipador</b>
<b>Duzce</b>				
<b>N-S</b>	394.4161	215.3013	45.4%	54.6%
<b>E-O</b>	389.2981	208.9556	46.3%	53.7%
<b>Loma Prieta</b>				
<b>N-S</b>	285.138	160.192	43.8%	56.2%
<b>E-O</b>	274.7422	144.7795	47.3%	52.7%
<b>Northridge</b>				
<b>N-S</b>	315.486	191.1507	39.4%	60.6%
<b>E-O</b>	303.4432	170.0785	44.0%	56.0%
<b>Promedio</b>				55.6%

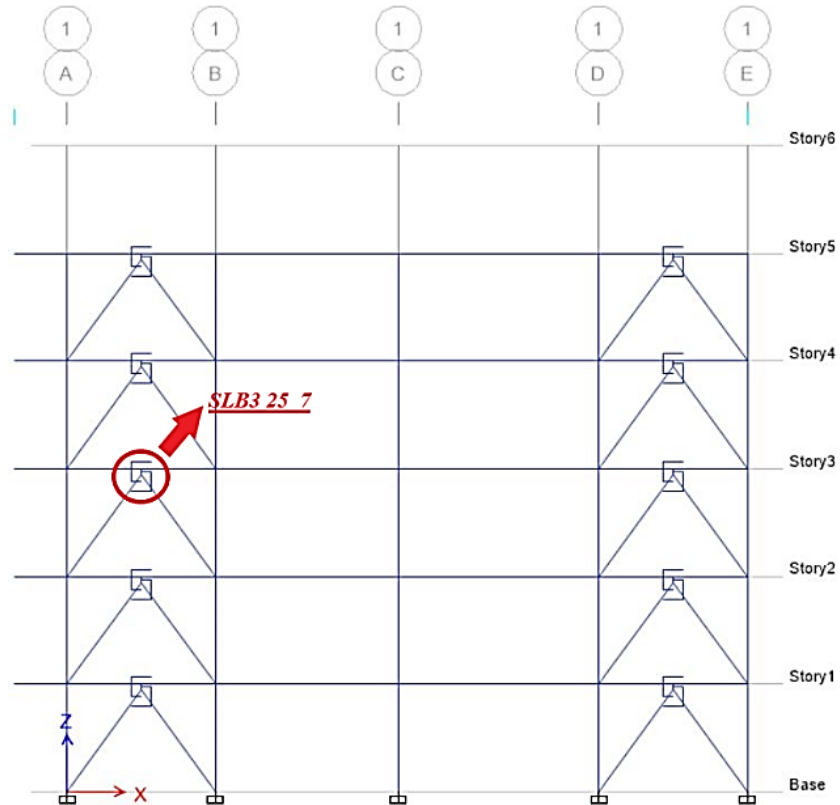
Fuente: Elaboración propia.

Mediante la tabla N° 22 se determinó que los disipadores SLB disipan un 55.6%, mientras que, los elementos estructurales disipan un 44.4% de la energía total. Constatando de esta manera que los disipadores de energía tienen la capacidad de disipar entre un 30% a 60% aproximadamente [43].

## Curva histerética de los disipadores

En la figura 69 se muestra el disipador SLB3 25\_7 que será el ejemplo para mostrar las curvas de histéresis y evidenciar el correcto funcionamiento del mismo.

**Figura 96.** Ubicación de los disipadores



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 25.** Fuerza máxima del disipador SLB

<b>DISIPADORES SHEAR LINK BOZZO</b>	
<b>DISPOSITIVO</b>	<b>Fuerza máxima F<sub>máx</sub> (KN)</b>
SLB3 25_7	716.83

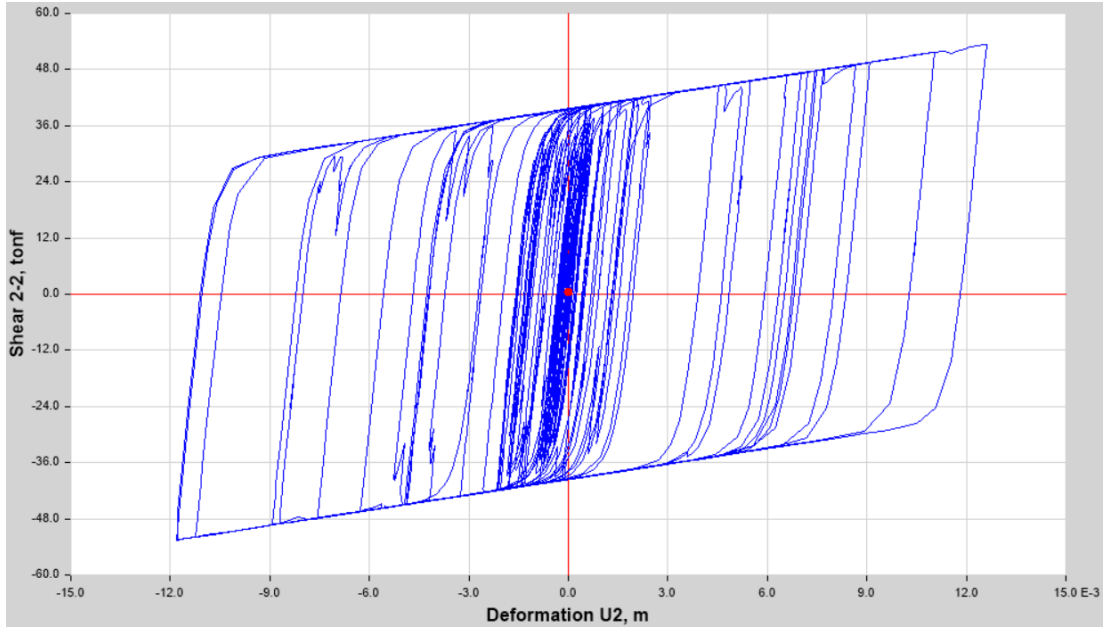
**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante las curvas histeréticas se determina la capacidad al corte que posee cada disipador y la deformación de cada dispositivo instalado, mediante esto, se corrobora que este trabajando en óptimas condiciones. Además, la formación adecuada de los



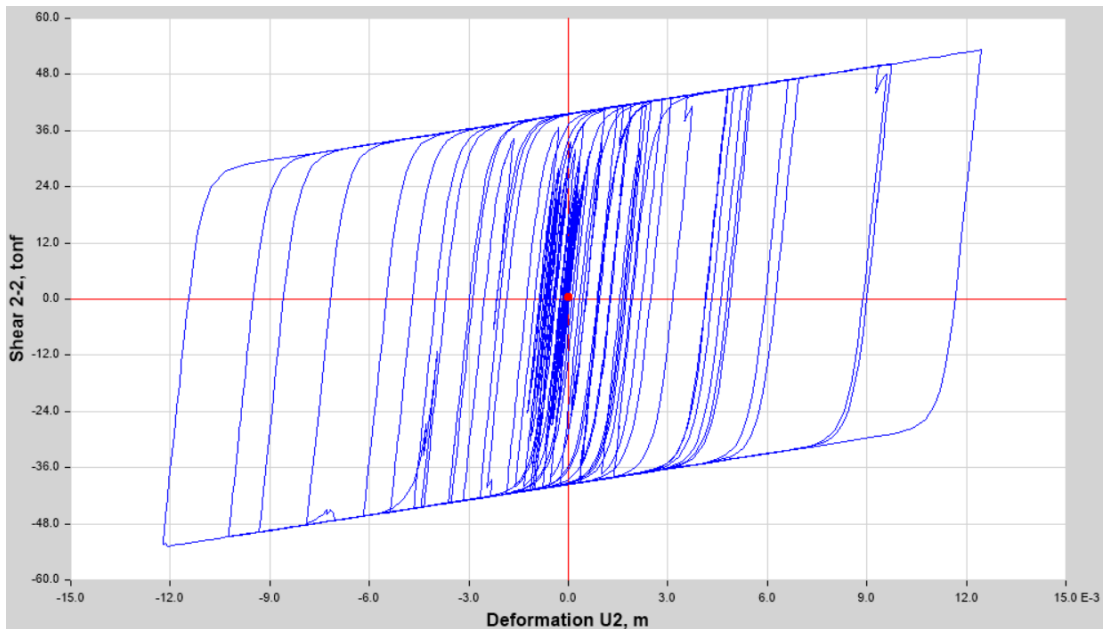
lazos histereticos es otro punto que nos permite visualizar si los disipadores disipan energía ante la acción sísmica.

**Figura 97.** Curva histerética registro Duzce



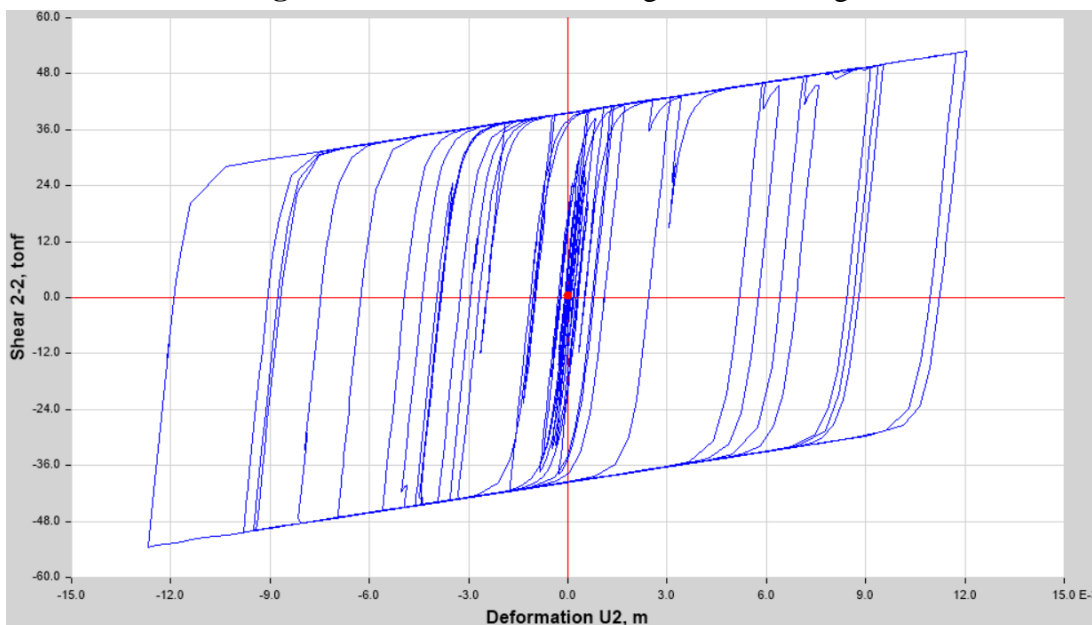
**Fuente:** Etabs.

**Figura 98.** Curva histerética registro Loma Prieta



**Fuente:** Etabs.

**Figura 99.** Curva histerética registro Northridge



**Fuente:** Etabs.

Para los registros sísmicos de Duzce, Loma Prieta y Northridge se presentan deformaciones máximas de 523.489 kN, 521.963 kN y 517.632 kN respectivamente, lo cual, indica que en ningún caso superan la fuerza máxima de 716.83 kN.

**Tabla N° 26.** Fuerza máxima disipadores SLB

Fuerza máxima disipadores SLB							
Nivel	Disipador	SLB	Fmáx Etabs (kN)			Fmáx (kN)	Comprobación
			Duzce	Loma Prieta	Northridge		
Story5	K5	SLB3 10_4	116.422	113.136	110.042	166.26	OK
Story5	K10	SLB3 10_3	102.600	99.464	96.864	148.63	OK
Story5	K15	SLB3 15_4	186.770	182.402	176.493	276.57	OK
Story5	K22	SLB3 15_4	201.482	201.482	193.117	276.57	OK
Story5	K27	SLB3 15_4	187.262	187.262	181.799	276.57	OK
Story4	K4	SLB3 25_4	398.102	387.504	381.199	526.49	OK
Story4	K9	SLB3 25_4	395.314	385.293	379.092	526.49	OK
Story4	K14	SLB3 25_7	544.152	528.487	512.431	716.83	OK
Story4	K21	SLB3 25_7	601.423	601.423	563.290	716.83	OK
Story4	K26	SLB3 25_8	602.367	602.367	571.549	776.40	OK

Story3	K3	SLB3 25_7	592.762	567.187	558.488	716.83	OK
Story3	K8	SLB3 25_7	589.872	565.076	556.714	716.83	OK
Story3	K13	SLB3 40_7	867.771	828.383	806.324	1082.30	OK
Story3	K20	SLB3 40_7	973.671	973.671	894.915	1082.30	OK
Story3	K25	SLB3 40_7	896.988	896.988	836.955	1082.30	OK
Story2	K2	SLB3 25_8	630.871	620.808	613.557	776.40	OK
Story2	K7	SLB3 25_8	629.414	619.780	612.183	776.40	OK
Story2	K12	SLB3 25_8	603.606	594.618	588.210	776.40	OK
Story2	K17	SLB3 40_6	756.681	740.628	735.331	967.95	OK
Story2	K19	SLB3 40_8	1037.395	1037.395	994.044	1195.00	OK
Story2	K24	SLB3 30_8	727.370	727.370	711.165	915.50	OK
Story2	K29	SLB3 40_6	778.344	778.344	754.271	967.95	OK
Story1	K1	SLB3 25_7	523.334	521.956	517.460	716.83	OK
Story1	K6	SLB3 25_7	523.489	521.963	517.632	716.83	OK
Story1	K11	SLB3 25_7	506.665	503.325	500.001	716.83	OK
Story1	K16	SLB3 25_7	506.586	503.449	500.377	716.83	OK
Story1	K18	SLB3 40_6	734.502	734.502	729.877	967.95	OK
Story1	K23	SLB3 25_8	544.264	544.264	557.439	776.40	OK
Story1	K28	SLB3 25_7	501.150	501.150	513.207	716.83	OK

Fuentes: Elaboración propia.

### Deformación de los disipadores

Mediante el performance check se determina la demanda/capacidad de los disipadores de energía, los cuales no deben sobrepasar el valor de 1 para los niveles de desempeño, obteniendo disipadores óptimos que no sobrepasen la deformación máxima.

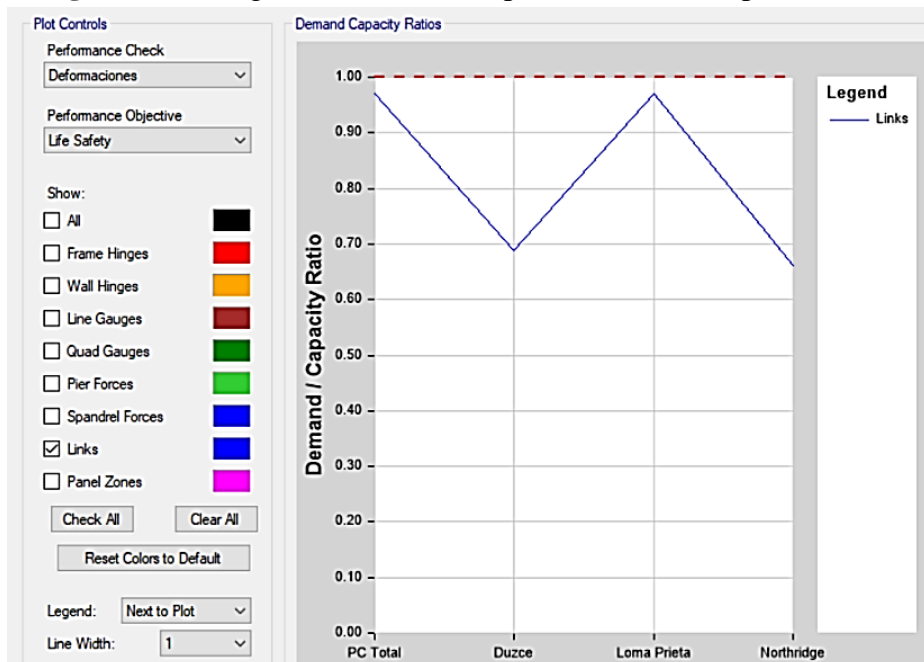
Tabla N° 27. Demanda/Capacidad de cada disipador

Deformaciones disipadoras SLB					
Story	Link	Link	DC Ratio for LS	DC Ratio for CP	Comprobación
Story5	K5	SLB3 10_4	0.425	0.276	OK
Story5	K10	SLB3 10_3	0.415	0.27	OK
Story5	K15	SLB3 15_4	0.369	0.24	OK
Story5	K22	SLB3 15_4	0.525	0.341	OK
Story5	K27	SLB3 15_4	0.408	0.265	OK
Story4	K4	SLB3 25_4	0.591	0.384	OK
Story4	K9	SLB3 25_4	0.579	0.376	OK
Story4	K14	SLB3 25_7	0.559	0.364	OK
Story4	K21	SLB3 25_7	0.764	0.497	OK

Story4	K26	SLB3 25_8	0.656	0.427	OK
Story3	K3	SLB3 25_7	0.733	0.477	OK
Story3	K8	SLB3 25_7	0.723	0.47	OK
Story3	K13	SLB3 40_7	0.656	0.426	OK
Story3	K20	SLB3 40_7	0.916	0.596	OK
Story3	K25	SLB3 40_7	0.812	0.528	OK
Story2	K2	SLB3 25_8	0.701	0.456	OK
Story2	K7	SLB3 25_8	0.698	0.454	OK
Story2	K12	SLB3 25_8	0.612	0.398	OK
Story2	K17	SLB3 40_6	0.611	0.397	OK
Story2	K19	SLB3 40_8	0.881	0.572	OK
Story2	K24	SLB3 30_8	0.767	0.499	OK
Story2	K29	SLB3 40_6	0.771	0.501	OK
Story1	K1	SLB3 25_7	0.489	0.318	OK
Story1	K6	SLB3 25_7	0.489	0.318	OK
Story1	K11	SLB3 25_7	0.449	0.292	OK
Story1	K16	SLB3 25_7	0.45	0.292	OK
Story1	K18	SLB3 40_6	0.595	0.387	OK
Story1	K23	SLB3 25_8	0.528	0.343	OK
Story1	K28	SLB3 25_7	0.528	0.343	OK

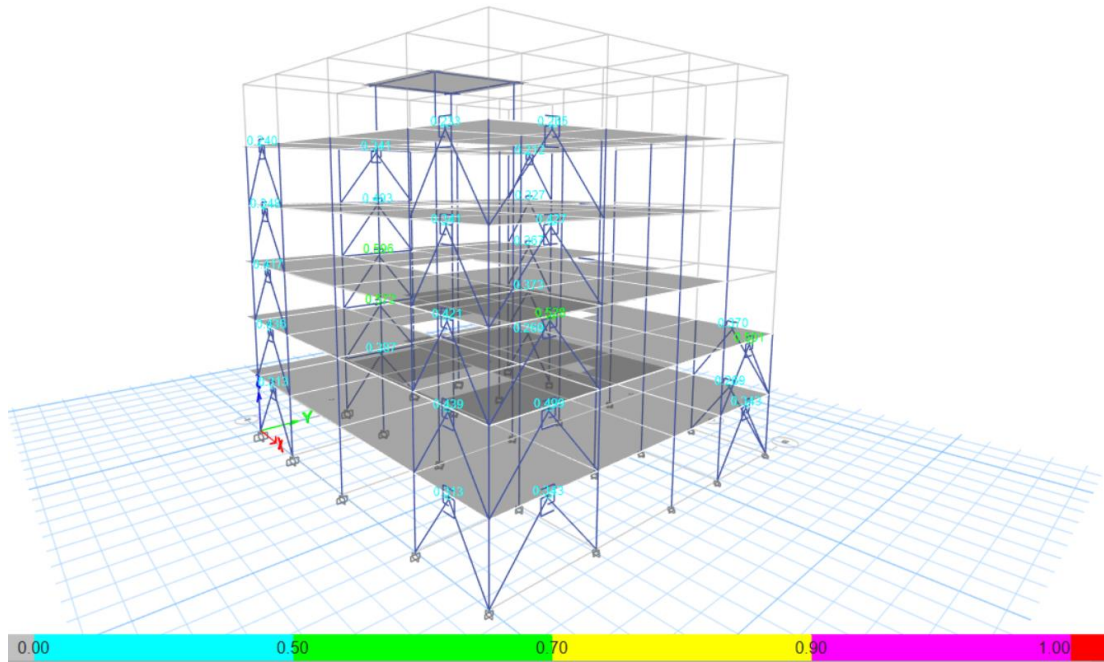
Fuente: Etabs.

Figura 100. Diagrama Demanda/Capacidad de los disipadores SLB



Fuente: Etabs.

**Figura 101.** Capacidad de los disipadores SLB.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.3 Costo económico

Para el costo de la estructura convencional como la estructura con disipadores SLB, se obtuvo la cuantificación de los materiales, además, se toma en cuenta los rubros más importantes al momento de iniciar la construcción. Para el caso de la estructura con disipadores de energía SLB el precio varía conforme el tamaño del disipador.

**Tabla N° 28.** Precios disipadores SLB

Disipadores SLB		
Item	Disipador	Precio Unitario
1	SLB3 50_A	880
2	SLB3 40_A	700
3	SLB3 30_A	630
4	SLB3 25_A	530
5	SLB3 20_A	480
6	SLB3 15_A	420
7	SLB3 10_A	400
8	SLB3 8_A	350
9	SLB3 6_A	320

**Fuente:** Reforzamiento sísmico mediante el uso de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima, 2019 [44].

Los precios unitarios de los materiales se los obtiene de la revista publicada por la cámara de la industria de la construcción (CAMICON) que proporciona precios de rubros referenciales, salarios, materiales y equipos para la construcción [45].

### 2.3.1 Estructura convencional

**Tabla N° 29.** Costo estructura convencional

<b>ESTRUCTURA CONVENCIONAL</b>				
<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Excavación</b>				
Desbroce y limpieza de terreno	m <sup>2</sup>	400	2.14	856
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	400	1.77	708
Excavación	m <sup>3</sup>	30.65	6.57	201.3705
<b>Encofrado</b>				
Encofrado láminas metálicas (columnas)	m <sup>2</sup>	815.76	4.78	3899.3328
Encofrado con tablero contrachapado (Vigas)	m <sup>2</sup>	1158.2	38.94	45100.308
Encofrado con tablero contrachapado (Losa)	m <sup>2</sup>	2093.1	56.14	117506.634
Encofrado paneles metálicos (Muro)	m <sup>2</sup>	73.1	6.13	448.103
<b>Hormigón</b>				
Columnas	m <sup>3</sup>	100.69	93.06	9370.2114
Vigas	m <sup>3</sup>	114.53	93.06	10658.1618
Losa nervada	m <sup>3</sup>	523.28	93.06	48696.4368
Muro	m <sup>3</sup>	10.89	115.47	1257.4683
<b>Acero</b>				
Columnas	kg	6143.62	2.54	15604.7948
Vigas	kg	9380.93	2.54	23827.5622
Losa nervada	kg	1768.575	2.54	4492.1805
Muro	kg	209.1	2.54	531.114
<b>Total</b>				\$ 283,157.68

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 2.3.2 Estructura con disipadores SLB

**Tabla N° 30.** Costo estructura con inclusión de disipadores SLB

<b>ESTRUCTURA DISIPADORES SLB</b>				
<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Excavación</b>				
Desbroce y limpieza de terreno	m <sup>2</sup>	400	2.14	856
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	400	1.77	708
Excavación	m <sup>3</sup>	30.65	6.57	201.3705
<b>Encofrado</b>				
Encofrado láminas metálicas (columnas)	m <sup>2</sup>	815.76	4.78	3899.3328
Encofrado con tablero contrachapado (Vigas)	m <sup>2</sup>	1158.2	38.94	45100.308
Encofrado con tablero contrachapado (Losa)	m <sup>2</sup>	2093.1	56.14	117506.634
<b>Hormigón</b>				
Columnas	m <sup>3</sup>	100.69	93.06	9370.2114
Vigas	m <sup>3</sup>	114.53	93.06	10658.1618
Losa nervada	m <sup>3</sup>	523.28	93.06	48696.4368
<b>Acero</b>				
Columnas	kg	6143.62	2.54	15604.7948
Vigas	kg	9380.93	2.54	23827.5622
Losa nervada	kg	1768.575	2.54	4492.1805
<b>Diagonales</b>				
Diagonales	u	58	33.31	1931.98
<b>Disipadores</b>				
SLB3 10_A	u	2	400	800
SLB3 15_A	u	3	420	1260
SLB3 25_A	u	16	530	8480
SLB3 40_A	u	8	700	5600
<b>Total</b>				\$ 298,992.97

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis e interpretación de resultados

Se muestra los resultados obtenidos de la edificación convencional y con la inclusión de disipadores de energía, además, de la comparación del comportamiento estructural entre ambas estructuras.

#### 3.1.1 Comparación comportamiento estructural

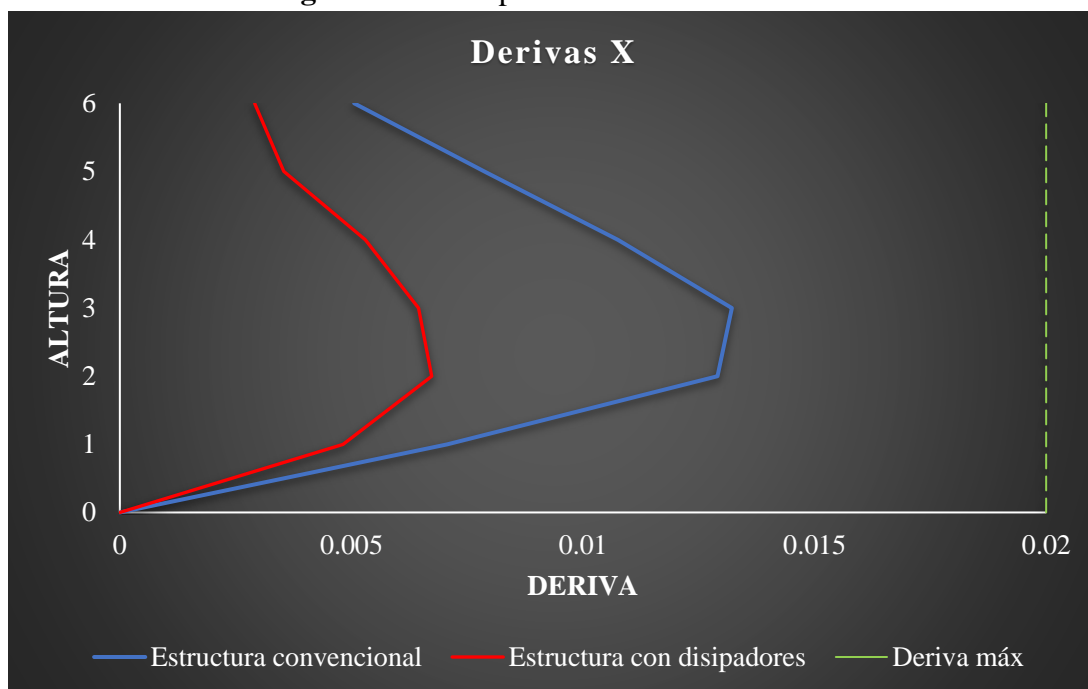
##### 3.1.1.1 Derivas

**Tabla N° 31.** Comparación derivas con y sin disipadores

<b>Derivas X</b>				
<b>Pisos</b>	<b>Convencional</b>	<b>Disipadores SLB</b>	<b>% reducción</b>	<b>Control de deriva</b>
6	0.005062	0.002911	42.49%	OK
5	0.007867	0.003541	54.99%	OK
4	0.010756	0.0053	50.73%	OK
3	0.013214	0.006449	51.20%	OK
2	0.012907	0.006734	47.83%	OK
1	0.007065	0.004821	31.76%	OK
<b>Porcentaje</b>			46.50%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 102.** Comparación derivas sentido X



Fuente: Elaboración propia.

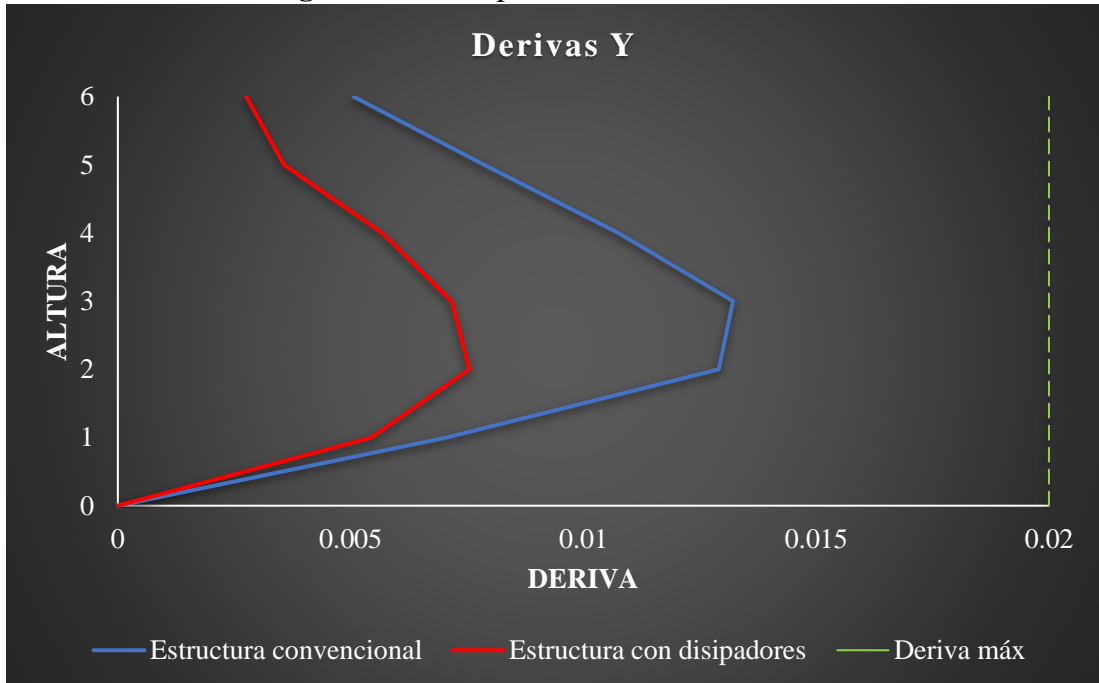


**Tabla N° 32.** Comparación derivas con y sin disipadores

Derivas Y				
Pisos	Convencional	Disipadores SLB	% reducción	Control de deriva
6	0.005062	0.002759	45.50%	OK
5	0.007867	0.00357	54.62%	OK
4	0.010756	0.00567	47.29%	OK
3	0.013214	0.007172	45.72%	OK
2	0.012907	0.007548	41.52%	OK
1	0.007065	0.005443	22.96%	OK
Porcentaje			42.93%	

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 103.** Comparación derivas sentido Y



**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante las tablas y gráficos mostrados se evidencia una disminución de derivas de 46.5% en el sentido X, mientras que, en el sentido Y se presenta una disminución de 42.93%, siendo el piso 3 el que presenta la deriva máxima de la estructura. Además, análisis realizados previamente estable una reducción del 46.64% en las derivas corroborando de esta manera que los resultados obtenidos en nuestro análisis se asemejan a otros autores [44].

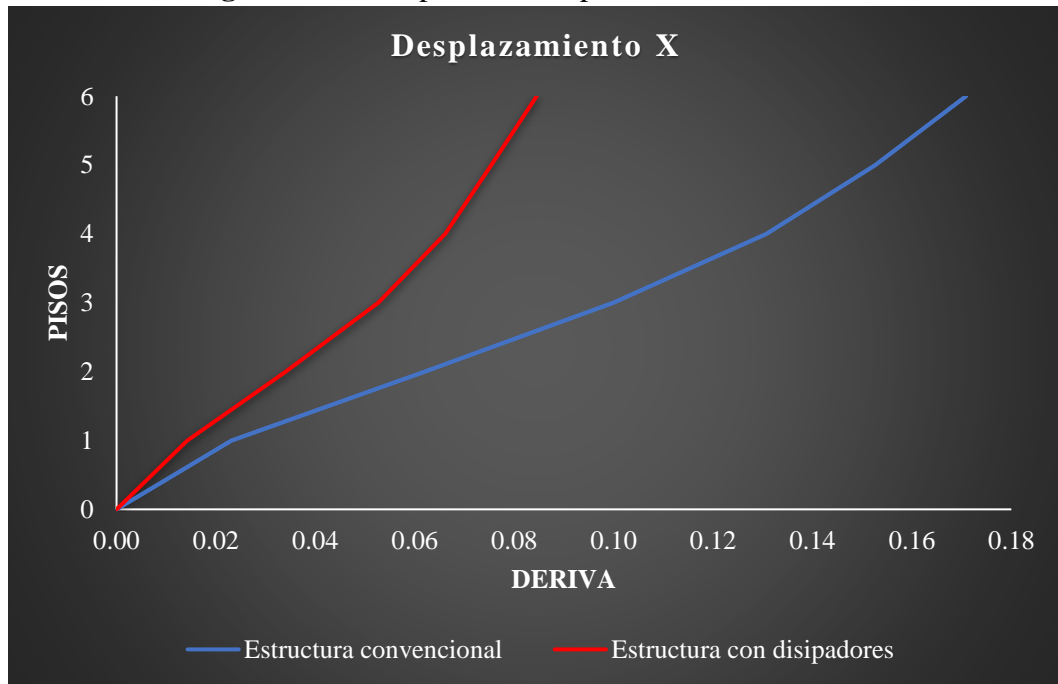
### 3.1.1.2 Desplazamientos

**Tabla N° 33.** Comparación desplazamientos con y sin disipadores

<b>Desplazamientos X</b>			
<b>Pisos</b>	<b>Convencional (m)</b>	<b>Disipadores SLB (m)</b>	<b>% reducción</b>
6	0.17088	0.08452	50.54%
5	0.15268	0.07540	50.62%
4	0.13075	0.06611	49.43%
3	0.10002	0.05266	47.35%
2	0.06191	0.03400	45.09%
1	0.02314	0.01424	38.47%
<b>Promedio</b>			<b>46.92%</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 104.** Comparación desplazamientos sentido X



Fuente: Elaboración propia.

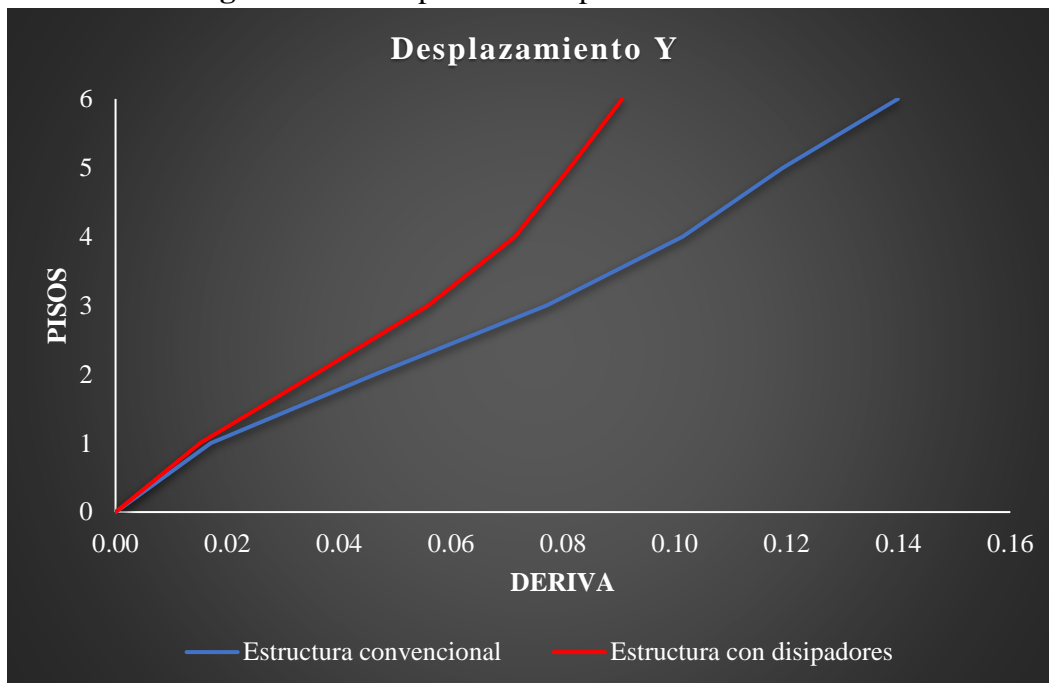
**Tabla N° 34.** Comparación desplazamientos con y sin disipadores

<b>Desplazamientos Y</b>			
<b>Pisos</b>	<b>Convencional</b>	<b>Disipadores SLB</b>	<b>% reducción</b>
6	0.1399	0.090596	35.24%
5	0.1193	0.08121	31.95%
4	0.1014	0.07144	29.57%
3	0.0771	0.055895	27.51%
2	0.0464	0.035668	23.17%

1	0.0170	0.015083	11.51%
<b>Promedio</b>			26.49%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 105.** Comparación desplazamientos sentido Y



**Fuente:** Elaboración propia.

Brito et al. [46], obtienen una disminución en el modelo de hormigón armado con el uso de disipadores SLB en los desplazamientos máximos de 43.08% en el sentido X y 26.58% en el sentido Y, mientras que, en nuestro análisis se logra una disminución en el sentido X de 46.92% y en el sentido Y de 26.49%. Esta comparación permite tener una noción que los datos obtenidos en nuestro análisis están correctos, ya que, se encuentran cercanos a los obtenidos por otros autores.

### 3.1.1.3 Cortante

**Tabla N° 35.** Comparación cortante sentido X

<b>Cortante X</b>		
<b>Pisos</b>	<b>Convencional (m)</b>	<b>Disipadores SLB (m)</b>
6	13.410	31.291
5	122.995	141.999
4	239.369	293.193
3	324.909	439.990
2	386.791	558.557
1	416.679	626.415

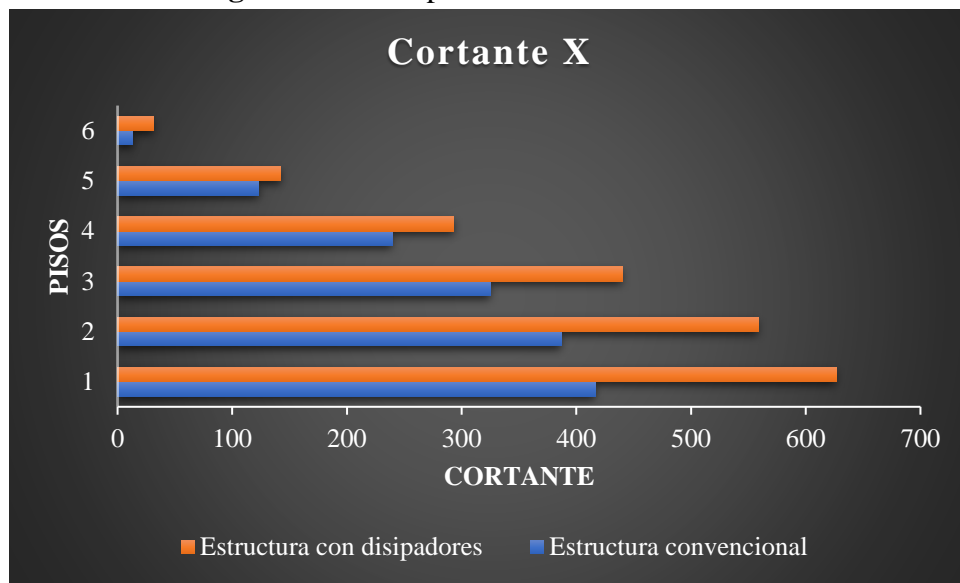
**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla N° 36.** Comparación cortante sentido Y

Cortante Y		
Pisos	Convencional	Disipadores SLB
6	13.410	28.668
5	122.995	171.337
4	239.369	338.831
3	324.909	487.483
2	386.791	655.894
1	416.679	776.645

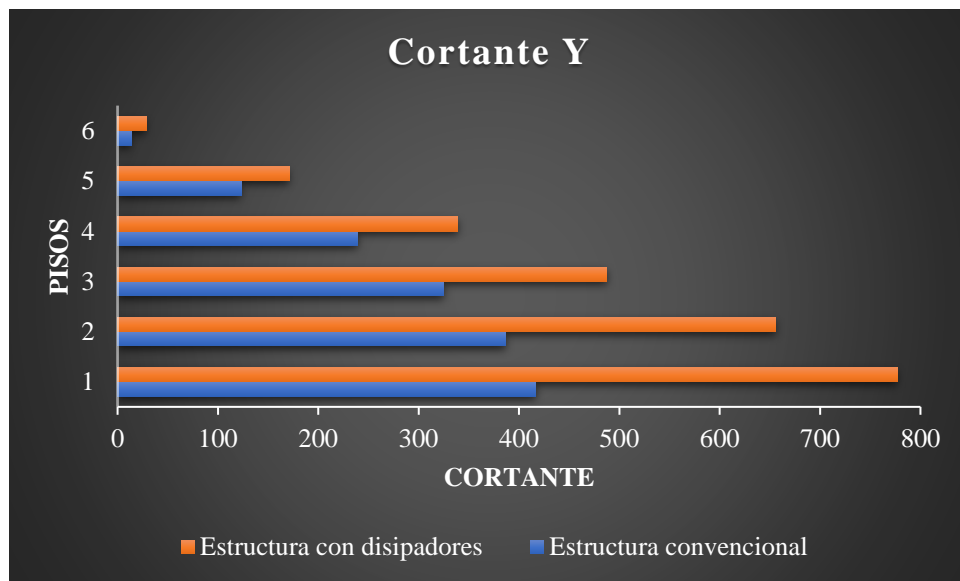
**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura 106.** Comparación cortante sentido X



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 107.** Comparación cortante sentido Y



**Fuente:** Elaboración propia.

La figura 77 y la figura 78 se muestra la comparación de la fuerza cortante de la estructura en la dirección X e Y, donde se nota un incremento de las fuerzas cortantes al incluir los disipadores de energía SLB.

#### 3.1.1.4 Costo económico

Como se indica en [47],[48] los dispositivos SLB por su bajo costo permite emplearlos de manera competitiva en el mercado ya sea para reforzamiento como para proyectos nuevos. Además, diversas comparaciones realizadas por la empresa POSTENSA ha determinado una variación entre el 5% a 10% del costo global de la estructura.

**Tabla N° 37.** Costo económico

<b>Comparación costo económico</b>			
<b>Estructura</b>	<b>Precio Global</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Sin disipadores	\$ 283,157.68	\$ 15,835.29	5.3%
Con disipadores	\$ 298,992.97		

**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez obtenido los costos globales de la estructura se obtiene un aumento de \$ 15,835.29 en la estructura con disipadores de energía SLB, es decir, aumenta en un 5.3%.

### 3.2 Verificación de hipótesis

Una vez obtenido los resultados de los análisis se comprueba que al integrar disipadores de energía SLB a la estructura disminuye considerablemente las derivas, desplazamientos, etc., en comparación con la estructura convencional, tomando en cuenta que ninguna de las dos estructuras sobrepasó los límites establecidos por la norma ecuatoriana. Además, los dispositivos SLB disipan aproximadamente un 50% de la energía total y mediante esto los elementos estructurales menoran el daño estructural ante la acción sísmica.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

1. Una vez obtenido los resultados de los análisis se comprobó que la respuesta estructural al incluir disipadores de energía presenta un mejor comportamiento con respecto a la estructura convencional, obteniendo así derivas y desplazamientos con una disminución entre un 40% y 50%.
2. Se determinó que las deformaciones de los disipadores de energía SLB no superan la demanda-capacidad, lo cual, indica que los disipadores poseen un comportamiento óptimo, además, las curvas histeréticas de los disipadores muestran que estos no superan la fuerza máxima ni la deformación de rotura de 30 mm del dispositivo establecida en las tablas de diseño.
3. Una vez obtenido los resultados se concluyó que los disipadores disipan un 55.6% de la energía total de la estructura, lo cual, nos indica que al implementar estos dispositivos permite que los elementos estructurales no sean los principales componentes encargados de disipar energía previniendo de esta manera que no sufran daño.
4. Se determinó un aumento en los cortantes de la estructura con la inclusión de disipadores de energía en ambas direcciones de análisis, sin embargo, se debe tomar en cuenta que los dispositivos van absorben aproximadamente un 50% del cortante total.
5. Al implementar disipadores SLB se determinó que la estructura aumento su costo en un 5.3% con respecto a la estructura de hormigón armado convencional, sin embargo, se considera que el aumento es bajo en comparación a los beneficios que se obtienen.

## 4.2 Recomendaciones

1. Los disipadores de energía SLB con el uso de diagonales mejoran el comportamiento estructural, sin embargo, se debe realizar una comparación con el uso de muros acoplados para determinar que alternativa es la adecuada para reforzar la estructura, es decir, el costo-beneficio de la estructura.
2. El país cuenta con parámetros limitados para el análisis con disipadores de energía, por lo tanto, es necesario recurrir a normas internacionales como el ASCE 7-16 donde cuentan con la metodología adecuada.
3. Se recomienda realizar el prediseño de los disipadores de energía mediante el análisis modal espectral con la finalidad de únicamente comprobar el correcto funcionamiento y comportamiento estructural mediante el análisis dinámico no lineal, y mediante esto, disminuir el tiempo de análisis de la estructura.
4. Es necesario realizar el presupuesto de la estructura de manera detallada tanto para la estructura convencional como para la estructura con disipadores de energía SLB y mediante esto obtener una estimación adecuada del aumento en el costo de la estructura.
5. Se recomienda utilizar mínimo siete registros sísmicos para realizar un análisis dinámico no lineal con la finalidad de apegarse a la realidad, debido que, al utilizar tres registros sísmicos como indica la norma NEC los resultados obtenidos son limitados para analizar correctamente una estructura.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Bozzo, “Disipadores sísmicos SLB,” 2018. <https://luisbozzo.com/> (accessed Apr. 15, 2022).
- [2] R. Aguiar, “Reforzamiento De Una Estructura Industrial Con Dos Tipos De Disipadores De Energía Reinforcement of an Industrial Structure With Two Types of Energy Dispensers,” *Rev. Gac. Técnica. Vol. Vol.*, vol. 16, no. 161, pp. 61–81, 2016.
- [3] V. M. Valdés, D. Pupo, R. M. Fernández, R. Martínez, and C. A. Recarey, “New Proposal for Seismic Rehabilitation of Hospitals in Cuba,” *OALib*, vol. 06, no. 11, pp. 1–5, 2019, doi: 10.4236/oalib.1105825.
- [4] I. Nuzzo, D. Losanno, N. Caterino, G. Serino, and L. M. Bozzo Rotondo, “Experimental and analytical characterization of steel shear links for seismic energy dissipation,” *Eng. Struct.*, vol. 172, no. July 2017, pp. 405–418, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.06.005.
- [5] E. Norabuena, “Ciencia y Sociedad : ‘ Desastres naturales ’; Investigación Científica y Marco Institucional de Acción,” pp. 1–8, 2018.
- [6] F. Vidal, “Los terremotos y sus causas,” in *El estudio de los terremotos en Almería*, 1994, pp. 17–38.
- [7] F. Rivadeneira *et al.*, “Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador,” *Quito: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. CORPORACIÓN EDITORA NACIONAL, Quito, p. 101, 2007.
- [8] R. Aguiar, M. Zevallos, J. Palacios, L. García, and E. Menéndez, *Reforzamiento de Estructuras con Disipadores de Energía*, Primera ed. Portoviejo: FRONTIER PUBLICIDAD, 2016.
- [9] L. Araujo, “Historia Sísmica Del Ecuador,” pp. 1–24, 2017, [Online]. Available: [https://www.academia.edu/36726670/HISTORIA\\_SÍSMICA\\_DEL\\_ECUADOR](https://www.academia.edu/36726670/HISTORIA_SÍSMICA_DEL_ECUADOR)
- [10] T. Moncayo, “Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970,” *Ingeniería*, vol. 21, no. 2, pp. 55–64, 2017.
- [11] C. Genatios and M. Lafuente, *Aisladores sísmicos ¿Una innovación en la ingeniería sismorresistente?* 2016.



- [12] G. Villareal and R. Oviedo, “Edificaciones con Disipadores de Energía,” p. 120, 2009, [Online]. Available: <http://librosdoctorgennervillarrealcastro.blogspot.com/?view=classic>.
- [13] Camara Chilena de la construcción, *Protección Sísmica de Estructuras*. 2011.
- [14] F. J. Crisafulli, “Diseño sismorresistente de construcciones de acero,” *Asoc. Latinoam. del Acero. ALACERO. Chile*, p. 214, 2018, [Online]. Available: <http://www.alacero.org/es/page/publicaciones/disenosismorresistente-de-construcciones-de-acero>.
- [15] M. M. Rodriguez, D. Mora, and R. Aguiar, *Análisis Sísmico de Estructuras con Disipadores de Energía ADAS o TADAS*, no. May. 2016.
- [16] L. Carrera and P. Constante, “Estudio comparativo de una estructura sismorresistente de hormigón armado utilizando la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC15) y la Norma Chilena de la construcción (NCh433 mod2009) Trabajo,” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2019.
- [17] E. Muñoz, “Disipadores sísmicos SLB,” *Postensa*. <https://postensa.pe/disipadores-sismicos-slb/> (accessed Apr. 11, 2022).
- [18] G. Gaxiola, H. Gonzales, and B. Luis, “Proceso De Analisis Y Diseño Utilizando Disipadores Sismicos Tipo Slb,” 2016.
- [19] R. Aguiar, L. Bozzo, H. Coyago, and C. Andino, “Análisis Sísmico de Bloque Estructural 4 de UFA-ESPE con Disipadores de Energía Shear Link Bozzo,” *Rev. Cienc.*, vol. 18, pp. 123–160, 2016, [Online]. Available: [www.luisbozzo.com](http://www.luisbozzo.com).
- [20] L. M. Bozzo, J. Ramirez, J. Bairan, G. Bozzo, and E. Muñoz, “Precast Buildings Equipped With Slb Seismic Devices,” 2020.
- [21] F. Ciliento, J. Ramirez, I. Nuzzo, L. M. Bozzo, N. Caterino, and G. Serino, “COMPARISON OF SEISMIC DESIGN PROCEDURES FOR STRUCTURES EQUIPPED WITH HYSTERETIC DAMPERS,” pp. 1–12, 2020.
- [22] B. Luis, “Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB,” p. 94, 2019.
- [23] L. M. Bozzo, H. Gonzales, M. Pantoja, M. Muñoz, and J. Ramirez, “Modeling, analysis and seismic design of structures using energy dissipators SLB,” *Tecnia*, vol. 29, no. 2, pp. 81–90, 2019, doi: 10.21754/tecnica.v29i2.713.

- [24] S. Navarro, I. Annarelys, H. Hernández, and I. Alejandro, “Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado . Análisis comparativo entre el método análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hor,” vol. 15, 2021.
- [25] American Society of civil engineers, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Virginia: American Society of civil engineers, 2022.
- [26] FEMA, “Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450),” no. Fema 450, p. 338, 2003.
- [27] NEC, *PELIGRO SISIMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*, Primera Ed. Quito: MIDUVI, 2015.
- [28] American Society of Civil Engineers, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Virginia: American Society of civil engineers, 2017.
- [29] FEMA 440, “Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures,” *FEMA 440, Fed. Emerg. Manag. Agency, Washingt. DC*, vol. 440, no. June, p. 392, 2005.
- [30] ATC-40, “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Buildings,” *Appl. Technol. Counc.*, vol. 1, 1996.
- [31] ASCE, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*, no. November. Washington: American Society of civil engineers, 2000.
- [32] M. Agostini, G. M. Gerbaudo, J. G. Etse, B. M. Luccioni, M. A. Pucheta, and M. A. Storti, “Análisis Estático No-Lineal Para Cuantificar La Vulnerabilidad Sísmica De Edificios De Hormigón Armado,” *Mecánica Comput.*, vol. XXXVI, pp. 103–112, 2018, [Online]. Available: <http://www.efn.uncor.edu/www.amcaonline.org.ar>.
- [33] C. V. J., H. . B. A., and O. S., “Proyecto sismoresistente de estructuras porticadas,” *Stateg. Agric. L. Use Baseline 2015*, vol. 1, p. vii, 2015.
- [34] G. Deierlein, A. Reinhorn, and M. Willford, “Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design,” *NEHRP Seism. Des. Tech. Br. No. 4*, no. 4, pp. 1–32, 2010, [Online]. Available: [www.curee.org](http://www.curee.org).
- [35] American Society of Civil Engineers, *ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-16*

*Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, no. 7 98. 2016.

- [36] ACI, *REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-14)*, Segunda Ed. U.S.A: American Concrete Institute, 2015.
- [37] ACI, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)*, vol. 10, no. SUPPL. 1. U.S.A: American Concrete Institute, 2015.
- [38] L. Bozzo, “Análisis, diseño y refuerzo estructural empleando disipadores de energía,” 2019, p. 165.
- [39] P. D. Quinde Martínez and E. Reinoso Angulo, “Estudio De Peligro Sísmico De Ecuador Y Propuesta De Espectros De Diseño Para La Ciudad De Cuenca,” *Rev. Ing. Sísmica*, vol. 26, no. 94, pp. 1–26, 2016, doi: 10.18867/ris.94.274.
- [40] Pacific Earthquake Engineering Research Center, “PEER Ground Motion Database,” *PEER Ground Motion Database*, 2014. <https://ngawest2.berkeley.edu/> (accessed Nov. 02, 2022).
- [41] CSI, *CSI ANALYSIS REFERENCE MANUAL FOR SAP2000, ETABS, SAFE AND CSIBRIDGE*, Primera ed. California: CSI, 2016.
- [42] A. Standard, *Seismic Evaluation and retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-06)*. Virginia: American Society of civil engineers, 2014.
- [43] S. Aguirre, E. Vidal, and G. Huaco, “Structural Behavior of Mid-Rise Essential Facility using base isolators and SLB dissipators,” *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, vol. 2021, no. 175610, pp. 1–19, 2021, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85121995552&doi=10.18687%2FLACCEI2021.1.1.466&partnerID=40&md5=1811ab5874dcff952c86441f211be905>.
- [44] C. K. QUISPE HUAMÁN and P. A. GARCÍA URRUTIA, “Reforzamiento Sísmico Mediante El Uso De Disipadores Histeréticos Tipo Shear Link Bozzo En Un Edificio De 14 Niveles En La Ciudad De Lima,” UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, 2019.
- [45] CAMICON, “REVISTA CONSTRUCCIÓN,” QUITO, p. 118, 2022.
- [46] J. Brito, R. Terán, and D. Guerrero, “Influencia Estructural de Disipadores SLB para Muros Desacoplados en Estructuras de Concreto Armado y

Arriostramientos en Estructuras Metálicas.pdf,” p. 18, 2022.

[47] B. Luis, “SLB DEVICES,” 2022. <https://slbdevices.com/faqs/#hfaq-post-3416> (accessed Dec. 17, 2022).

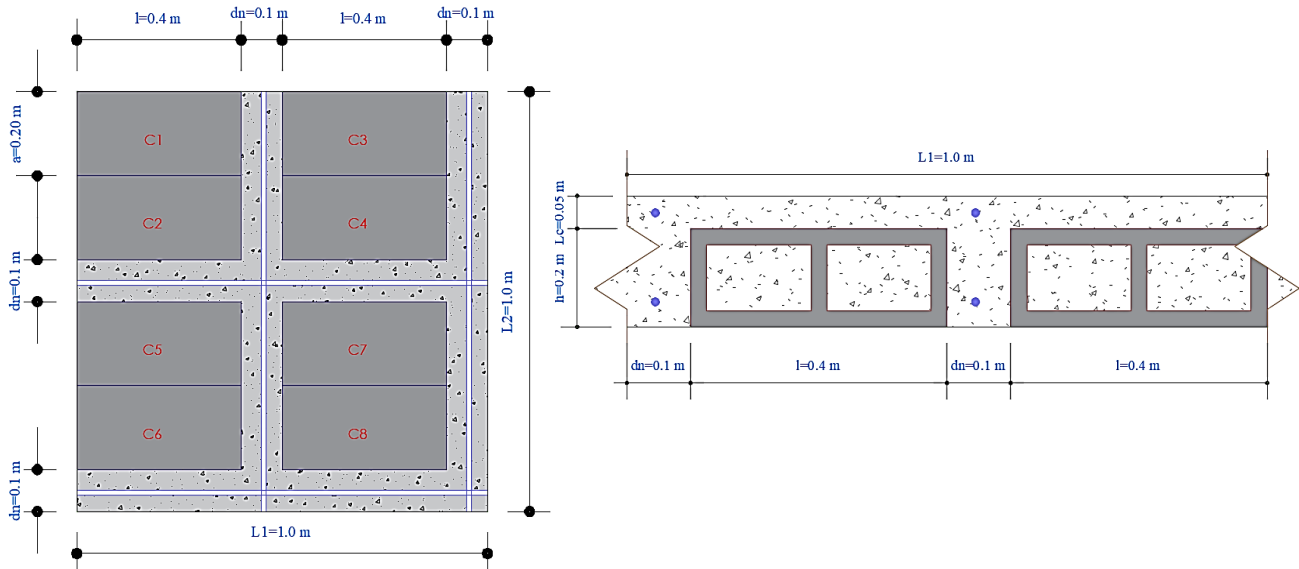
[48] J. Paucarpura, “Análisis estructural y reforzamiento de un edificio irregular con disipadores histeréticos,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, 2019.

## ANEXOS

### 5.1 Cuantificación de carga

#### 5.1.1 Carga muerta losa

**Figura 108. Losa Tipo**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 38. Carga Losa**

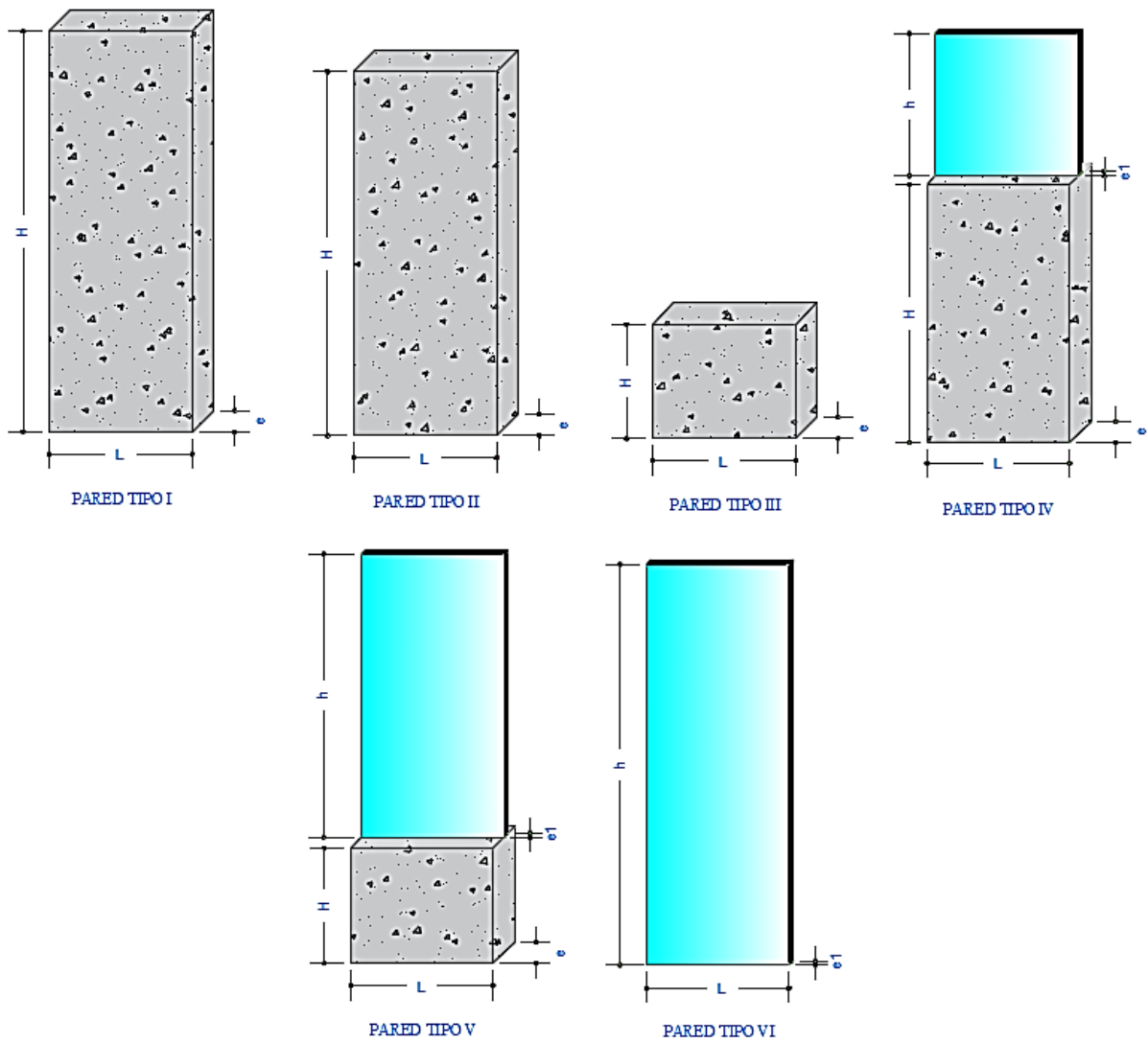
<i>Losa</i>											
<b>Datos</b>											
<b>Nomenclatura</b>	<b>Dimensiones</b>									<b>Peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Descripción</b>
	<b>L1 (m)</b>	<b>L2 (m)</b>	<b>e (m)</b>	<b>dn (m)</b>	<b>l (m)</b>	<b>a (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b>C (u)</b>	<b>γ (kg/m<sup>3</sup>)</b>		
Lc	1	1	0.05						2400	120	Peso loseta de compresión
Nt				0.1	0.4	0.2		4	2400	76.8	Peso nervios transversales
NI	1			0.1		0.2		2	2400	96	Peso nervios longitudinales
A					0.4	0.2	0.2	8	850	108.8	Peso alivianamientos

Mi	1	1	0.03						1900	57	Peso masillado inferior
Ms	1	1	0.02						1900	38	Peso masillado superior
Ac	1	1	0.02						1600	32	Peso acabado
Total										528.6	

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2 Carga muerta pared

Figura 109. Tipo de paredes



Fuente: Elaboración propia.

## Nomenclatura

H= Altura de Pared

h= Altura de vidrio

e= Espesor

PP= Peso Pared

PV= Peso Vidrio

Cm= Carga Muerta

**Tabla N° 39.** Carga Muerta de pared

Tipo	Nomenclatura	Dimensiones		$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Calculo	Unidad
		h (m), H(m)	e (m), e1 (m)				
<b>Nivel N+3.06, N+ 6.12</b>							
I	PP	2.81	0.15	1600	162.1	109320.2	kg
IV	PP	1.81	0.15	1600	11.07	4808.8	kg
	PV	1	0.005	2600		143.9	kg
V	PP	0.81	0.150	1600	62.2	12091.7	kg
	PV	2	0.005	2600		1617.2	kg
Total						127981.8	kg
Área						374.2	m <sup>2</sup>
Cm						<b>342.0</b>	kg/m <sup>2</sup>
<b>Nivel N+ 9.18, N+ 12.24</b>							
I	PP	2.81	0.15	1600	135.1	91111.4	kg
IV	PP	1.81	0.15	1600	9.15	3974.8	kg
	PV	1	0.005	2600		119.0	kg
V	PP	0.81	0.150	1600	53.5	10400.4	kg
	PV	2	0.005	2600		1391.0	kg
VI	PV	2.81	0.005	2600	2.3	84.0	kg
Total						107080.6	kg
Área						321.6	m <sup>2</sup>
Cm						<b>333.0</b>	kg/m <sup>2</sup>
<b>Nivel + 15.3 (Perimetrales)</b>							
II	PP	2.63	0.15	1600		631.2	kg
III	PP	0.8	0.15	1600		192.0	kg

**Fuente:** Elaboración propia.

## Cálculo Típico

### Peso de la pared Tipo I

$$PP = h * e * L * \gamma$$

$$PP = 2.81 \text{ m} * 0.15 \text{ m} * 162.1 \text{ m} * 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$PP = 109320.2 \text{ kg}$$

$$P_I = 109320.2 \text{ kg}$$

### Peso de la pared Tipo IV

$$PP = h * e * L * \gamma$$

$$PP = 1.81 \text{ m} * 0.15 \text{ m} * 11.07 \text{ m} * 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$PP = 4808.8 \text{ kg}$$

$$PV = h * e * L * \gamma$$

$$PV = 1 \text{ m} * 0.005 \text{ m} * 11.07 \text{ m} * 2600 \text{ kg/m}^3$$

$$PV = 143.9 \text{ kg}$$

$$P_{IV} = PP + PV$$

$$P_{IV} = 4808.8 \text{ kg} + 143.9 \text{ kg}$$

$$P_{IV} = 44952.7 \text{ kg}$$

### Peso de la pared Tipo IV

$$PP = h * e * L * \gamma$$

$$PP = 0.81 \text{ m} * 0.15 \text{ m} * 62.2 \text{ m} * 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$PP = 12091.7 \text{ kg}$$

$$PV = h * e * L * \gamma$$

$$PV = 2 \text{ m} * 0.005 \text{ m} * 62.2 \text{ m} * 2600 \text{ kg/m}^3$$

$$PV = 1617.2 \text{ kg}$$

$$P_V = PP + PV$$

$$P_V = 12091.7 \text{ kg} + 1617.2 \text{ kg}$$

$$P_V = 13708.9 \text{ kg}$$

### Cálculo de la carga Muerta

$$Cm = \frac{P_I + P_{IV} + P_V}{\text{Área}}$$

$$Cm = \frac{109320.2 \text{ kg} + 12091.7 \text{ kg} + 13708.9 \text{ kg}}{374.2 \text{ m}^2}$$

$$Cm = \frac{127981.8 \text{ kg}}{374.2 \text{ m}^2}$$



$$Cm = 342 \text{ kg/m}^2$$

**Nota:** Se realiza el mismo procedimiento para obtener la carga muerta que se distribuye en cada piso de la estructura, tomando en cuenta que en caso de cargas perimetrales se colocara la carga en la viga.

## 5.2 Prediseño de elementos estructurales

### 5.2.1 Losa

**Tabla N° 40.** Prediseño Losa

<i>Losa</i>			
Nomenclatura	Valor	Unidad	Descripción
ht	25	cm	altura total
lc	5	cm	loseta de compresión
bn	10	cm	ancho de nervios
ba	40	cm	ancho del alivianamiento
Lmax	5.7	m	Luz crítica
hmín	17.1	cm	altura losa maciza
Imín	41668	cm <sup>4</sup>	Inercia mínima
It	49097		Inercia total de la losa nervada
O. K			

	<i>A</i>	<i>y</i>	<i>Ay</i>	<i>Io</i>	<i>d</i> <sup>2</sup>	<i>It</i>
	Área del elemento	centro de gravedad		Inercia propia	distancia	Inercia total
	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>
1	200	10	2000	6667	48.23	16312
2	200	10	2000	6667	48.23	16312
3	500	22.5	11250	1042	30.86	16474
	900		15250			49097

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 41.** Dimensión Losa dependiendo de la longitud

<i>Losa</i>	
Luz (m)	Altura de losa (cm)
≥ 3.6	15
3.6 hasta 4.8	20
4.8 hasta 6	25
< 6	25 + viga secundaria

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.2.2 Columnas

Tabla N° 42. Prediseño columna

<b>DIMENSIONES DE LA COLUMNA</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Ancho	55.0	cm	Base de la columna
Profundidad	55.0	cm	Largo de la columna
var a	5	u	Número de varillas en sentido ancho
var p	5	u	Número de varillas en sentido largo
$\phi$ long	16	mm	Diámetro de varilla
$\phi$ esq	18	mm	Diámetro de varilla en esquinas
$\phi$ est	12	mm	Diámetro de estribos
rec	2.50	cm	Recubrimiento
At	25.34	m <sup>2</sup>	Área tributaria
Cu	7.30	tn/m <sup>2</sup>	Combinación de cargas
Pu	221.85	tn	Carga
Ag	2907.59	cm <sup>2</sup>	Área de hormigón
num	16	u	Número de varillas
bc	50	cm	Ancho confinado
pc	50	cm	Longitud confinada
Ac	2500	cm <sup>2</sup>	Área confinada
<b>Ag r</b>	<b>3025</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>Área real del hormigón</b>
As long	2.01	cm <sup>2</sup>	Área de acero varillas
As esq	2.5	cm <sup>2</sup>	Área de acero varillas esquineras
As est	1.13	cm <sup>2</sup>	Área de acero de estribo
As total	34.31	cm <sup>2</sup>	Ácero total
Cuantía	1.13%	%	Cuantía de Acero
OK			
sep b	9.8	cm	Separación de varillas ancho
OK			
sep p	9.8	cm	Separación de varillas largo
OK			
<b>Confinamientos extremos</b>			
Lo	55.0	cm	zona confinada
s	9.6	cm	Distancia entre estribos
nece	5.73	u	Número de estribos
Ash	2.2	cm <sup>2</sup>	Área de confinamiento
<b>Vin</b>	<b>2</b>	<b>u</b>	<b>Número de ramales o vinchas</b>
<b>Confinamiento Zona Central</b>			
Lc	2.0	m	Zona central
szc	9.6	cm	Separación Zona Central

nezc	20.42	u	Número de estribos
Aplast	0.63		Aplastamiento
OK			

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3 Vigas

Tabla N° 43. Prediseño de vigas

<b>DATOS DE CARGAS</b>					
Nomenclatura	Nivel			Unidad	Descripción
	N+3.06, N+ 6.12	N+ 9.18, N+ 12.24	N+ 15.3		
Cm	0.5286	0.8706	0.5286	tn/m <sup>2</sup>	Carga muerta
Cv	0.3	0.2	0.07	tn/m <sup>2</sup>	Carga viva
Cu	1.11	1.36	0.75	tn/m <sup>2</sup>	Cargas mayorizadas
Me	18.47	22.62	12.37	tn	Momento estático
Md	12.25	15.00	8.20	tn	Momento de diseño
b	40	40	25	cm	Ancho de la viga
h	34	38	35	cm	Altura de la viga
hreal	50	50	35	cm	Altura real de la viga
real	1.25	1.25	1.40		Relación
d	OK	OK	OK	cm	Peralte efectivo
	<b>45.80</b>	<b>45.70</b>	<b>30.70</b>		
<b>ARMADO DE LA VIGA</b>					
Asmin	6.11	6.09	2.56	cm <sup>2</sup>	Acero mínimo
φ	14	16	16	mm	Diámetro de varilla
As φ	1.54	2.01	2.01	cm <sup>2</sup>	Área del acero
num mín	3	3	2	u	Número de varillas mínimas
As ad (-)	8.02	9.85	8.02	cm <sup>2</sup>	Acero negativo o adicional
num var	3	2	2	u	Número de varillas adicionales
As total	9.24	10.05	8.04	cm <sup>2</sup>	Acero total
Cuantía	0.46%	0.50%	0.92%	%	Ductilidad
	OK	OK	OK		
sep	4.9	6.3	3.9	cm	Separación de la varilla
sep mín	2.54	2.54	2.54	cm	Separación mínima
	OK	OK	OK		
As (+)	3	3	2	u	Acero positivo
zp	100	100	70	cm	Zona protegida
Sep zp	8.4	9.6	7.7	cm	Separación en la zona protegida
Zc	315.0	315.0	375.0	cm	Zona central

Sep <sub>zc</sub>	11.2	12.8	12.8	cm	Separación en zona central
Duct	0.46%	0.50%	0.92%	%	Ductilidad
	OK	OK	OK		
Ld	90.73	103.69	103.69		Longitud de desarrollo o traslape

Fuente: Elaboración propia.

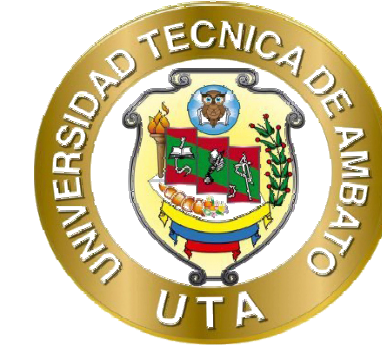
### 5.3 Espectro de diseño

Tabla N° 44. Espectro de diseño

<b>ESPECTRO DE DISEÑO</b>			
<b>Datos generales</b>			
<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>
I	1.000	4.1	Factor de Importancia
Z	V	3.1.1	Factor de zona
VZ	0.400	3.1.1	Valor Factor de zona
S	D	3.2.1	Perfil de suelo
Fa	1.200	3.2.2	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto
Fd	1.190	3.2.2	Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca
Fs	1.280	3.2.2	Comportamiento no lineal de los suelos
r	1.000	3.3.1	Factor usado en el espectro de diseño elástico
n	2.480	3.3.1	Razón entre la aceleración espectral y el período de retorno
h	18.360		Altura del edificio
Tipo de estructura	Pórticos especiales de H.A con muros estructurales o digonales rigidizadoras		
Ct	0.055	6.3.3	Coefficiente dependiente del tipo de estructura
$\alpha$	0.750	6.3.3	Coefficiente dependiente del tipo de estructura
To	0.127	3.3.1	Límite para el período de vibración
T	0.488		Período de vibración de la estructura
Tc	0.698	3.3.1	Límite para el período de vibración
k	1.000	6.3.5	Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura
Sa (Ta)	1.190	3.3.1	Pseudoaceleración
R	6.000	6.3.4	Factor de Reducción sísmica
$\phi_p$	0.900	5.3	Configuración en planta
$\phi_e$	0.900	5.3	Configuración en elevación
V	0.245	6.3.2	Coefficiente sísmico

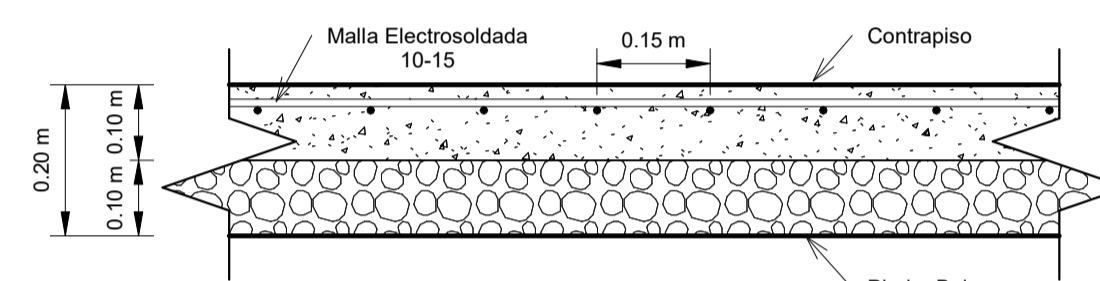
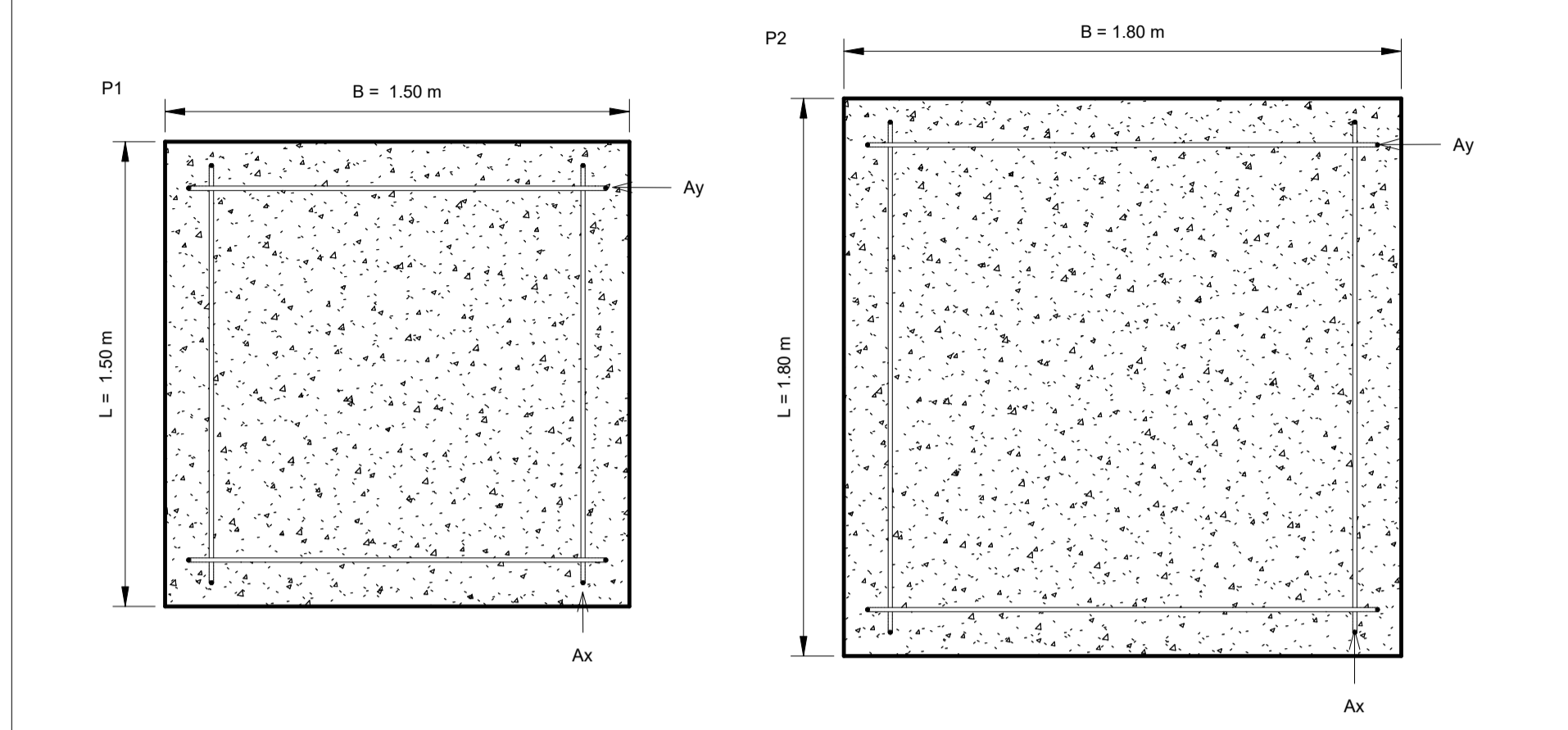
Fuente: Elaboración propia.

## **5.4 PLANOS ESTRUCTURALES**

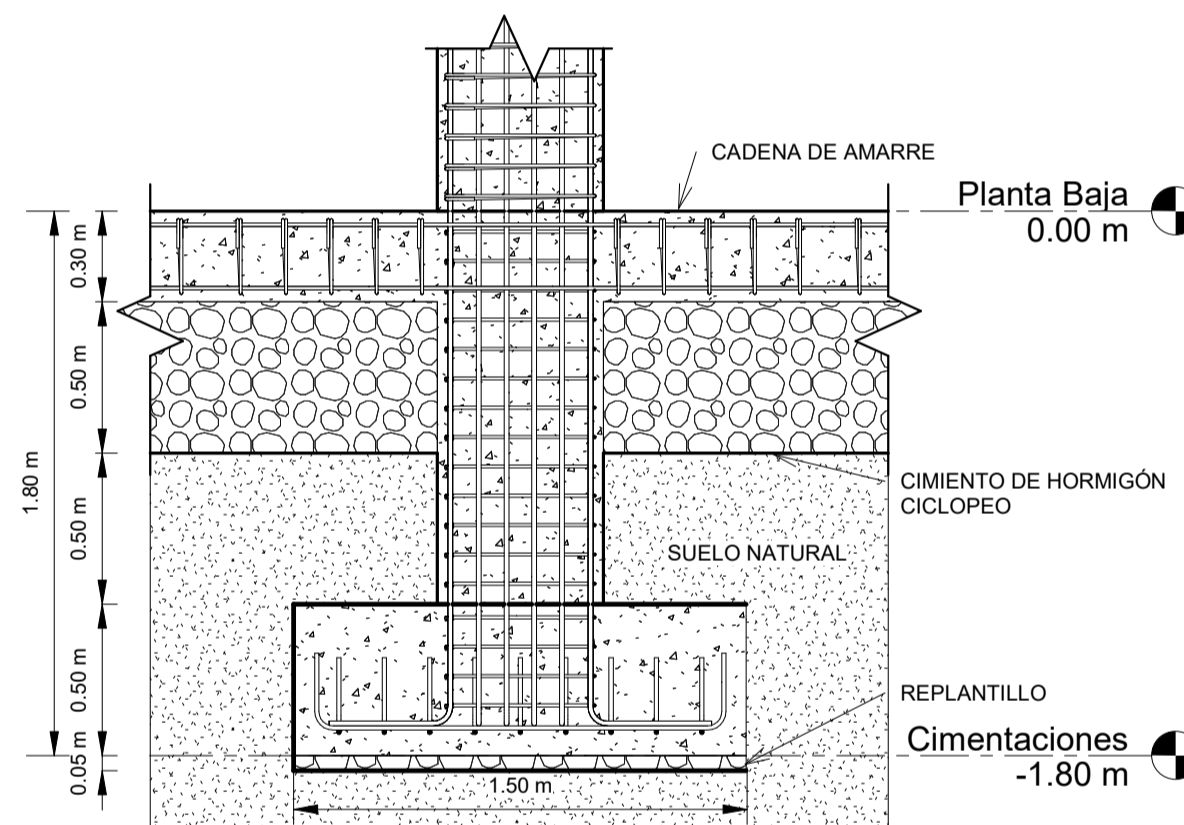


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

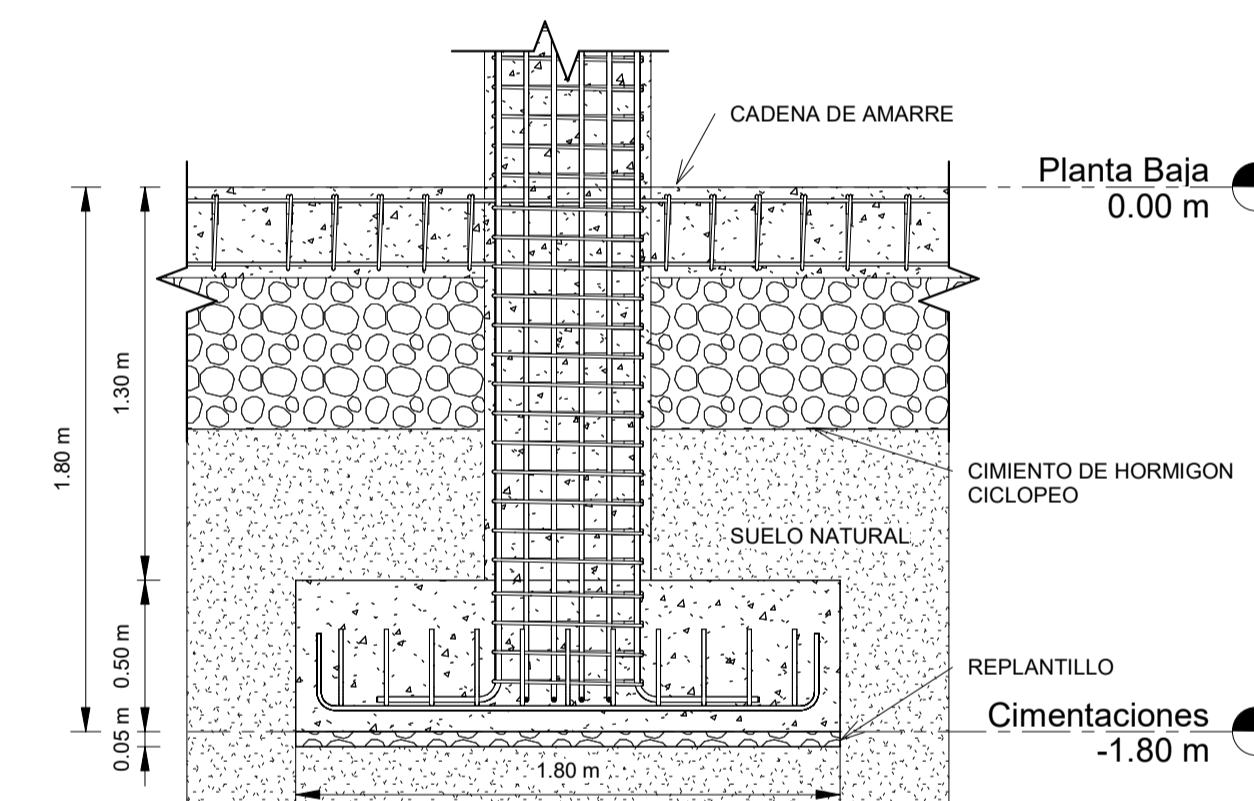
CUADRO DE CIMENTACIONES									
TIPO	UBICACIÓN	CANT.	B (m)	L (m)	h (m)	Asx	Asy	q(ton/m²)	N. Fundación (m)
P1	A1, A2, A3, A4, A5, B1, B5, C1, C5, D1, D5, E1, E2, E3, E4, E5	11	1.5	1.5	0.5	1 ø14mm @ 15 cm Mc 208	1 ø14mm @ 15 cm Mc 209	21	1.8
P2	B2, B3, B4, C2, C3, C4, D2, D3, D4	9	1.8	1.8	0.5	1 ø14mm @ 15 cm Mc 209	1 ø14mm @ 15 cm Mc 209	21	1.8



11 Detalle Contrapiso  
1 : 10

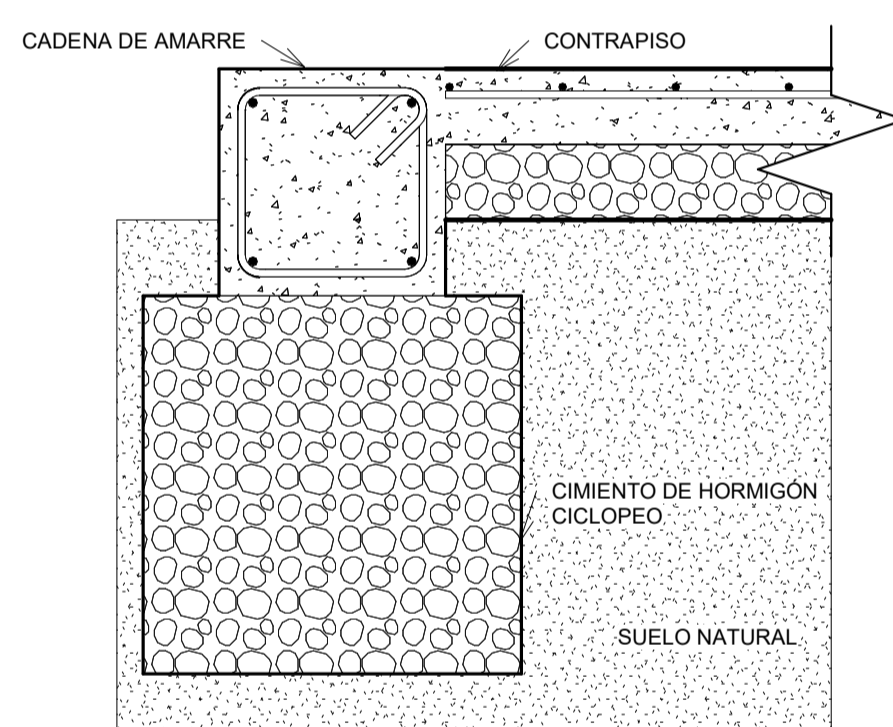


5 Cimentación P1  
1 : 25

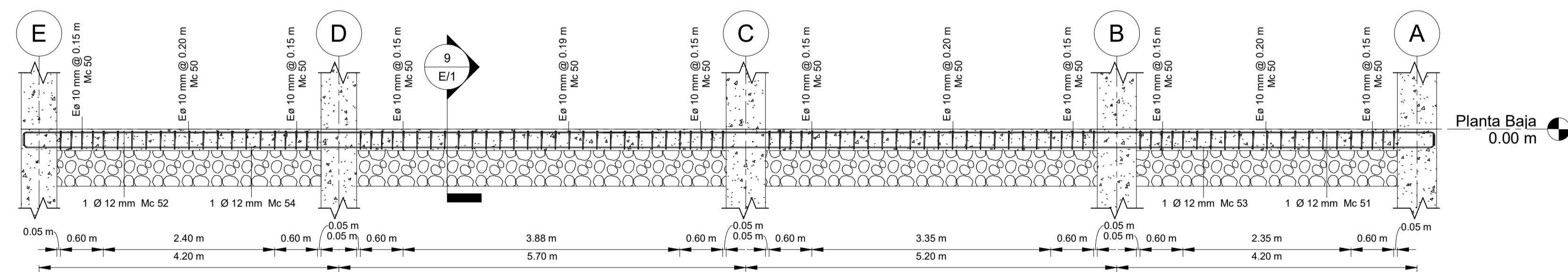


4 Cimentación P2  
1 : 25

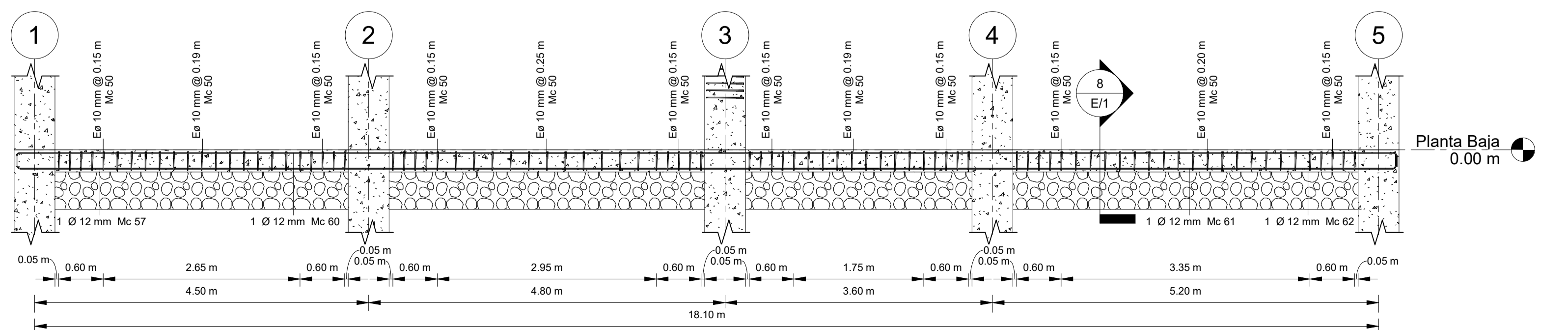
2 Cimentaciones N-1.8  
1 : 100



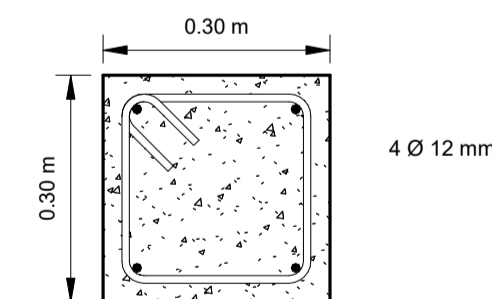
10 Detalle Cadena de Amarre  
1 : 10



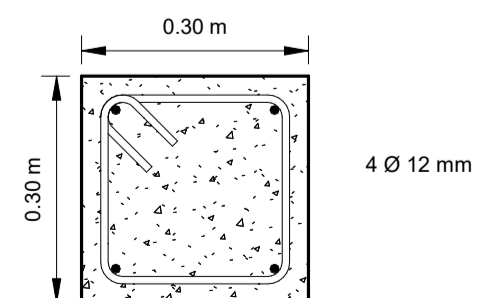
6 Cadena de Amarre Eje 1, 2, 3, 4, 5  
1 : 50



7 Cadena de Amarre Eje A, B, C, D, E  
1 : 50



9 Sección 9  
1 : 10

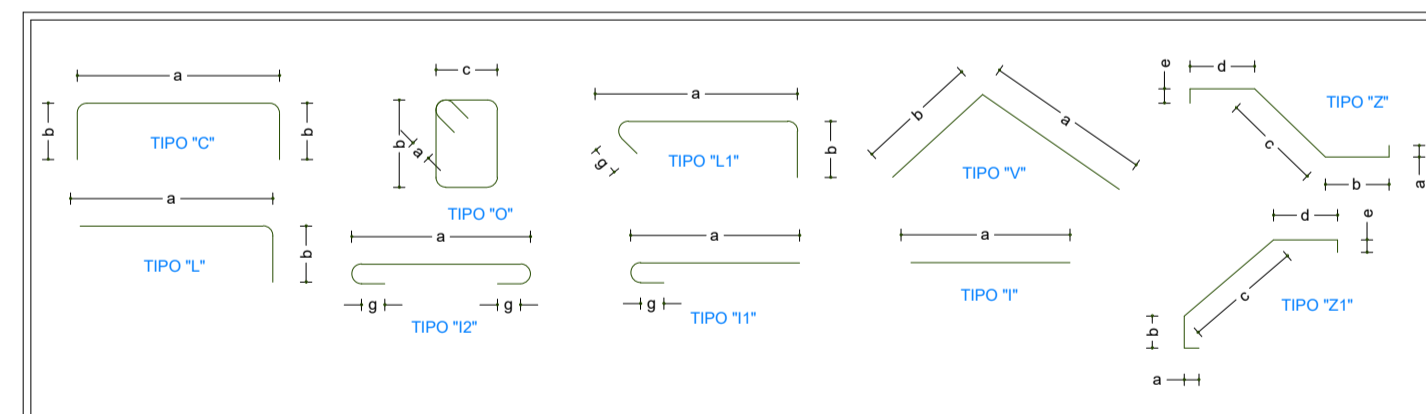


8 Sección 8  
1 : 10

PLANILLA

PLANILLA DE ACEROS

Marca	Tipo	Ø (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		
<b>Cadena de amarre</b>										
50	O	10	931	0.10	0.25	0.25	0.25	0.25	137.06	1014.28
51	L	12	10	0.19	11.65	0.00	0.00	0.00	118.00	1257.90
52	L	12	2	8.91	0.19	0.00	0.00	0.00	18.13	193.26
53	L	12	2	8.93	0.19	0.00	0.00	0.00	18.16	193.59
54	L	12	6	0.19	11.60	0.00	0.00	0.00	70.55	752.10
55	L	12	8	8.93	0.19	0.00	0.00	0.00	72.71	775.13
56	L	12	8	8.96	0.19	0.00	0.00	0.00	72.88	776.91
57	L	12	14	0.19	11.60	0.00	0.00	0.00	164.55	1754.15
58	L	12	4	7.71	0.19	0.00	0.00	0.00	31.46	335.35
59	L	12	4	7.73	0.19	0.00	0.00	0.00	31.52	336.01
60	L	12	6	7.73	0.19	0.00	0.00	0.00	47.34	504.62
61	L	12	6	7.76	0.19	0.00	0.00	0.00	47.46	505.93
62	L	12	10	0.19	11.65	0.00	0.00	0.00	118.01	1257.93
<b>Cimentación</b>										
100	C	14	198	0.11	1.66	0.11	0.00	0.00	37.68	546.30
101	C	14	288	0.11	1.36	0.11	0.00	0.00	57.38	832.00



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Resistencia del hormigón a los 28 días de edad ( $f_c=240 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Resistencia del hormigón ciclopeo ( $f_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Capacidad portante del suelo ( $q=15 \text{ tonf/m}^2$ )
- Esfuerzo de fluencia de Acero de refuerzo ( $f_{sy}=4200 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Composición del hormigón ciclopeo (60% de hormigón y 40% de piedra bola.)
- Las medidas y dobléz del Acero se verificaran en obra por el residente de obra.
- El cambio de algun elemento de construcción debe ser consultado con el residente de obra y el calculista.

UBICACIÓN:



Propietario: Universidad Técnica de Ambato

Firma:

Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado y con el uso de disipadores de energía Shear Link Bozzo (SLB)

Área del Proyecto: 400 m²

Equipo de trabajo

Firma

Diseño: Alexis Chiffa

Dibujo: Alexis Chiffa

Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez

Dirección técnica: Designer

Fecha: 02/15/23

Código: E001

Escala: Indicadas

Lámina: E/1

Formato: A1

Contenido:

Cimentaciones, Cadena de amarre



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

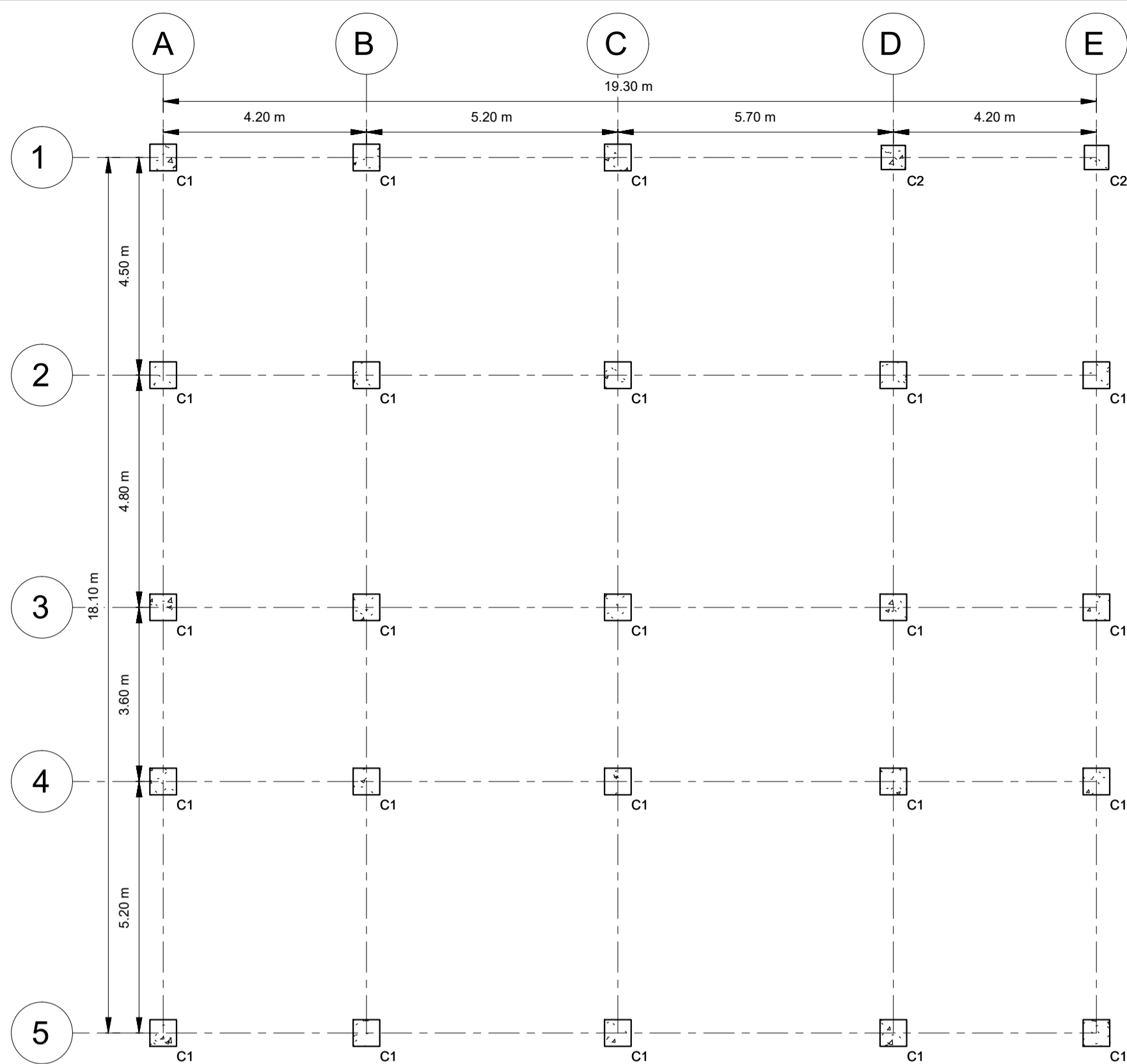
PLANILLA

PLANILLA DE ACEROS (COLUMNAS)

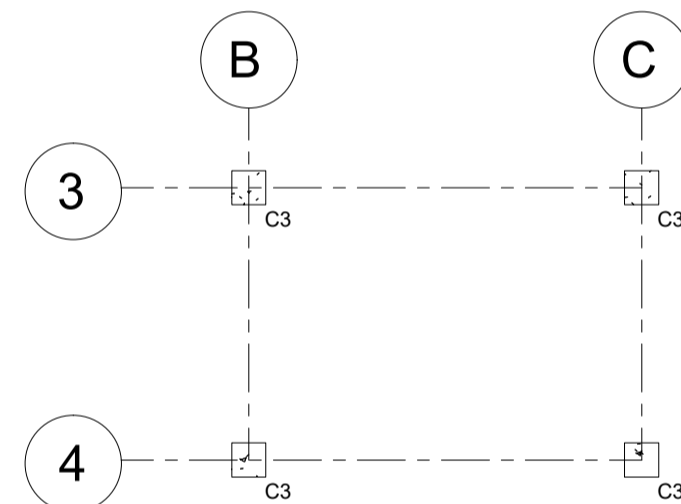
Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		

Columna

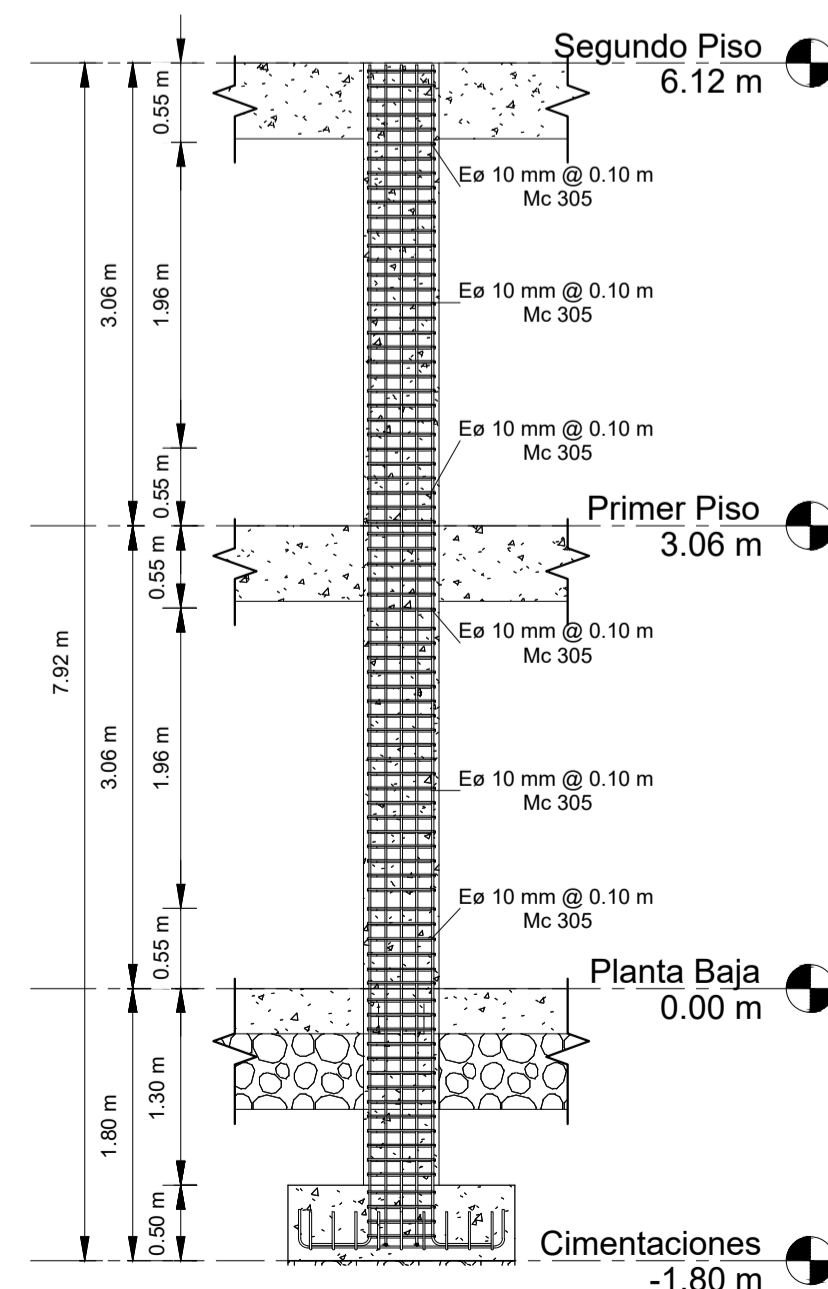
300	L	16	230	17.00	0.40	0.00	0.00	0.00	3994.40	75653.86
301	L	16	96	17.00	0.41	0.00	0.00	0.00	1667.53	31582.94
302	L	14	24	7.81	0.40	0.00	0.00	0.00	196.20	2844.90
303	O	10	3915	0.10	0.50	0.50	0.50	0.50	835.46	6182.41
304	O	10	7020	0.10	0.50	0.16	0.50	0.16	994.00	7355.59
305	O	10	160	0.10	0.45	0.45	0.45	0.45	31.08	229.96
306	L1	10	252	0.11	0.45	0.00	0.00	0.00	15.19	112.40
307	L	16	32	13.94	0.41	0.00	0.00	0.00	457.92	8673.04
308	O	10	31	0.10	0.47	0.47	0.47	0.47	6.11	45.23
309	O	10	62	0.10	0.47	0.15	0.47	0.15	8.34	61.73
310	O	10	116	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	20.91	154.71
311	Z	16	4	0.11	2.56	0.40	0.74	0.00	14.79	280.17
312	Z	16	16	0.11	2.56	0.51	0.70	0.00	60.23	1140.76
313	Z	16	28	0.11	2.56	0.50	0.70	0.00	105.34	1995.10
314	L	16	48	2.77	0.00	0.00	0.00	0.00	133.20	2522.81
315	L	18	60	17.00	0.41	0.00	0.00	0.00	1041.75	24981.23
316	L	18	16	17.00	0.41	0.00	0.00	0.00	277.85	6662.86
317	L	16	8	7.81	0.40	0.00	0.00	0.00	65.40	1238.76
318	L	18	16	13.94	0.41	0.00	0.00	0.00	228.89	5488.80



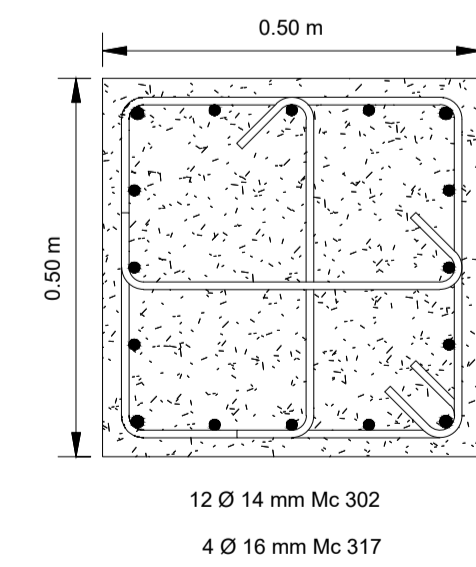
8 Ubicación Columnas  
1 : 100



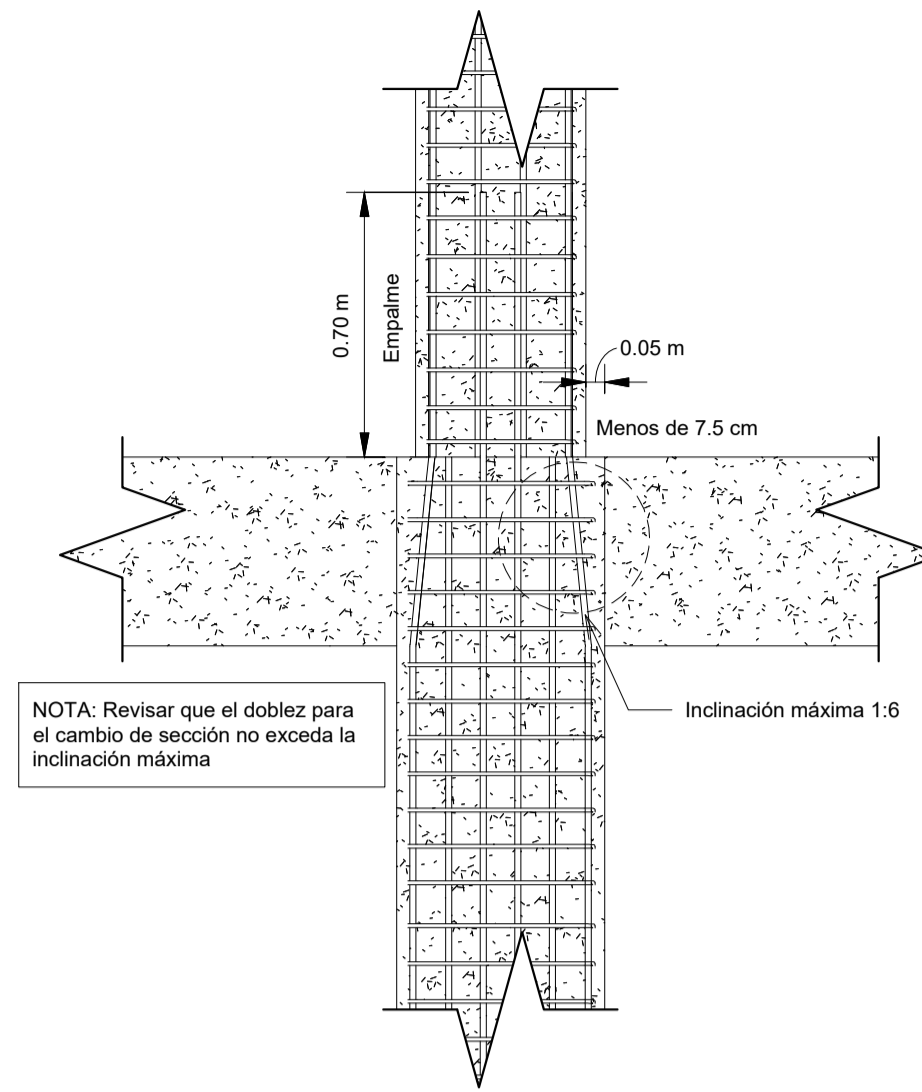
9 Ubicación Columnas Cubierta  
1 : 100



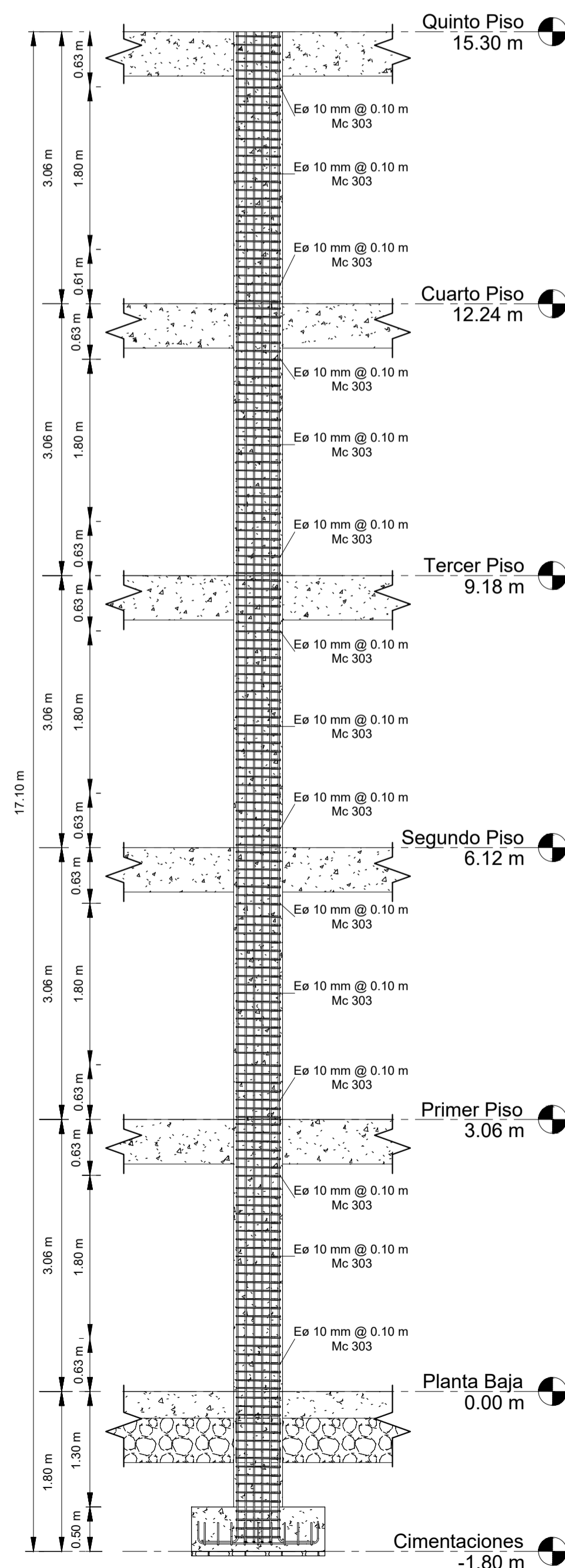
1 Columna Tipo III  
1 : 50



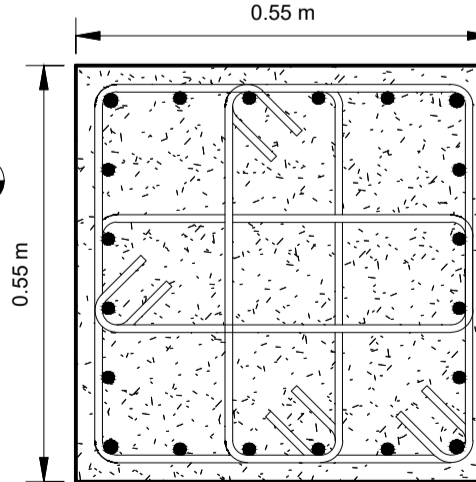
3 Sección C2  
1 : 10



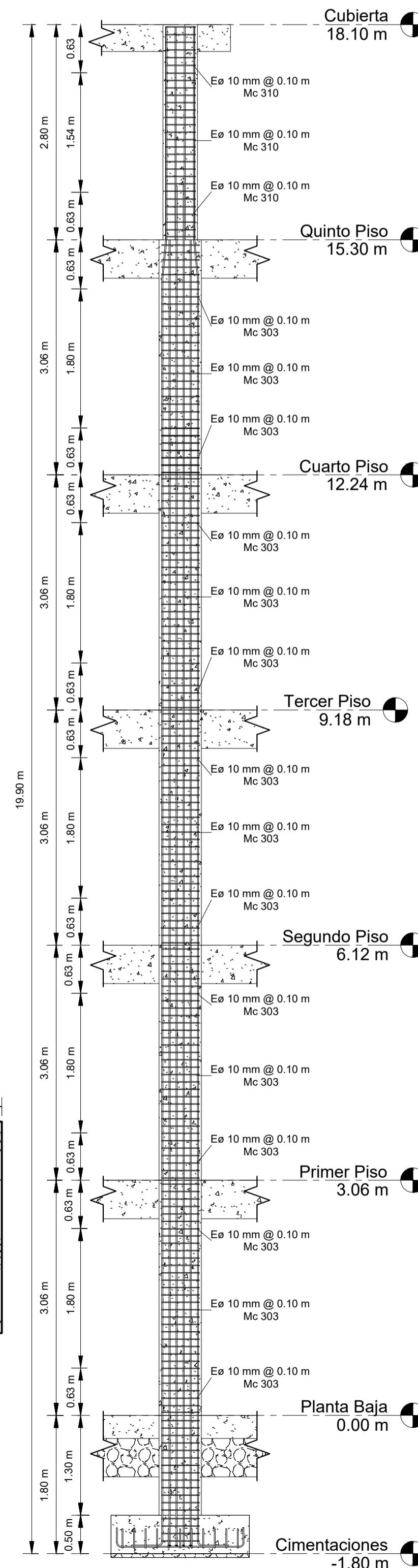
10 Detalle cambio de sección  
1 : 20



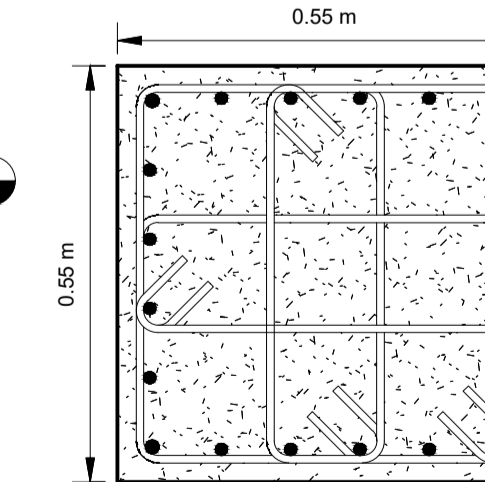
6 Columna Tipo II  
1 : 50



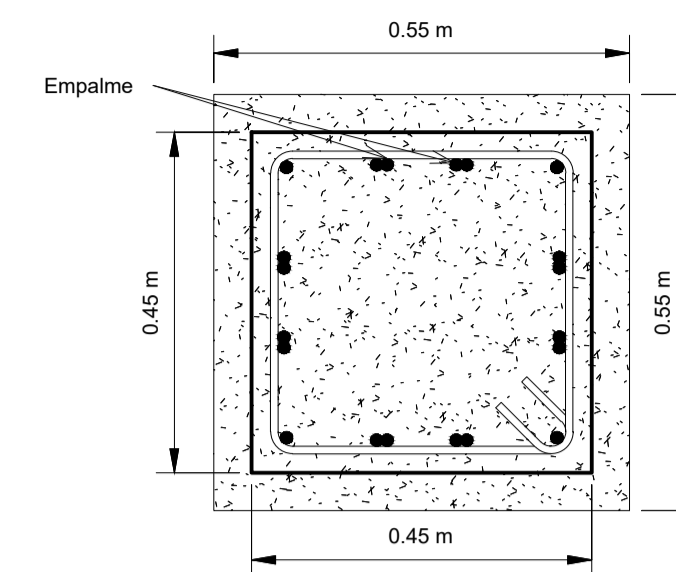
7 Sección C4  
1 : 10



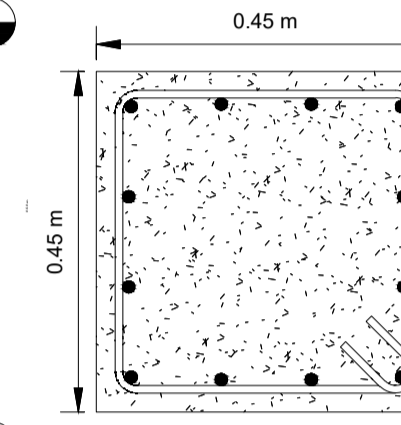
2 Columna Tipo I  
1 : 50



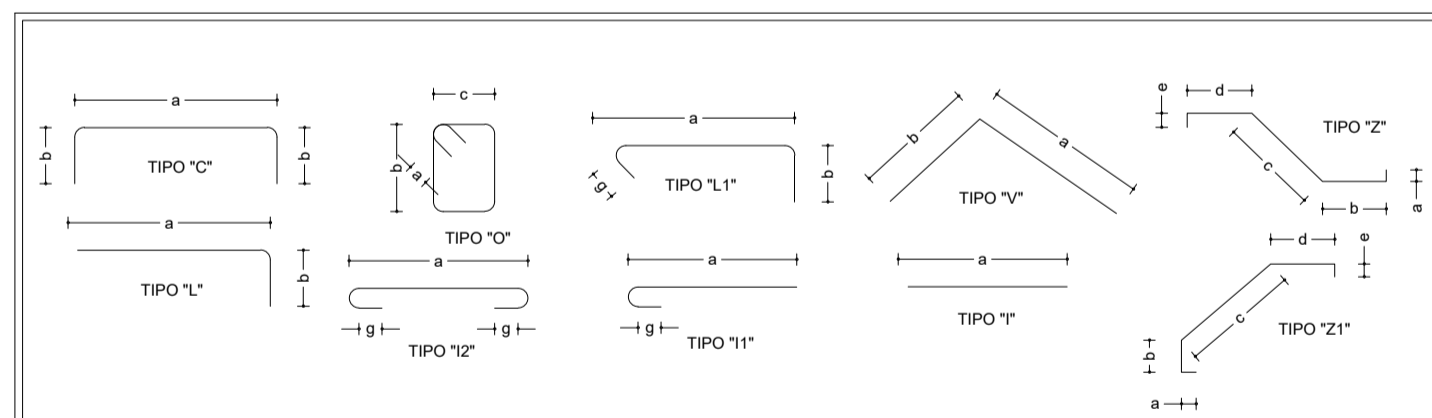
4 Sección C1  
1 : 10



11 Detalle cambio de sección  
1 : 10



5 Sección C3  
1 : 10



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Resistencia del hormigón a los 28 días de edad ( $f_c=240 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Resistencia del hormigón ciclópeo ( $f_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Capacidad portante del suelo ( $q=15 \text{ tonf/m}^2$ )
- Esfuerzo de fluencia de Acero de refuerzo ( $f_{sy}=4200 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Composición del hormigón ciclópeo (80% de hormigón y 40% de piedra bola.)
- Las medidas y doblar del Acero se verificaran en obra por el residente de obra.
- El cambio de algún elemento de construcción debe ser consultado con el residente de obra y el calculista.

UBICACIÓN:



Propietario: Universidad Técnica de Ambato

Firma:

Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado convencional y con el uso de disipadores de energía Shear-Link Bozzo (SLB)

Área del Proyecto: 400 m<sup>2</sup>

Equipo de trabajo: Firma

Diseño: Alexis Chifla

Dibujo: Alexis Chifla

Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez

Dirección técnica:

Fecha: 02/14/23

Código: E002

Escala: Indicadas

Lámina: E/2

Formato: A1

Contenido: Columnas

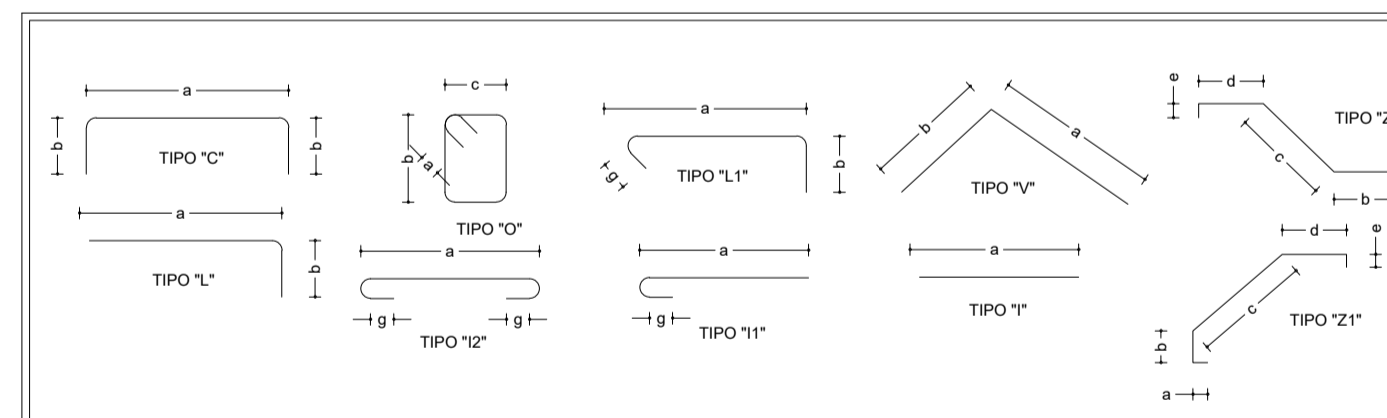


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PLANILLA

PLANILLA DE ACEROS (LOSAS N+3.06, N+6.12)										
Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		
<b>Losa</b>										
400	C	14	25	0.17	2.60	0.17	0.00	0.00	73.5	88.82
401	C	14	37	0.17	1.60	0.17	0.00	0.00	71.76	86.74
402	C	14	66	0.17	3.20	0.17	0.00	0.00	233.64	282.33
403	C	14	25	0.17	3.80	0.17	0.00	0.00	103.5	125.07
404	C	14	11	0.17	2.20	0.17	0.00	0.00	27.94	33.76
405	C	14	31	0.17	3.40	0.17	0.00	0.00	115.94	140.10
406	C	14	37	0.17	1.8	0.17	0.00	0.00	79.18	95.68
407	C	14	28	0.17	2.80	0.17	0.00	0.00	87.92	106.24
408	C	14	37	0.17	2.00	0.17	0.00	0.00	86.58	104.62
409	C	14	5	0.17	2.40	0.17	0.00	0.00	13.7	16.56
410	C	14	28	0.17	3.00	0.17	0.00	0.00	93.52	113.01
411	C	14	13	11.90	0.00	0.00	0.00	0.00	156	138.50
412	I	12	13	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	123.5	109.65
413	I	12	12	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	114	101.21
414	I	12	12	11.90	0.00	0.00	0.00	0.00	114	127.85
415	I	12	6	5.52	0.00	0.00	0.00	0.00	40.32	53.69
416	I	12	6	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	62.4	85.40
417	I	12	2	5.55	0.00	0.00	0.00	0.00	11.5	10.21
418	I	12	5	5.95	0.00	0.00	0.00	0.00	30.75	27.30
419	I	12	2	9.65	0.00	0.00	0.00	0.00	19.7	17.49
420	I	12	5	10.05	0.00	0.00	0.00	0.00	51.25	45.50
421	I	12	14	11.05	0.00	0.00	0.00	0.00	156.1	138.59
422	I	12	14	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	116.2	103.16
423	I	12	14	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.4	100.68
424	I	12	14	11.30	0.00	0.00	0.00	0.00	159.6	141.70

PLANILLA DE ACEROS (LOSAS N+9.18, N+12.24, N+15.3)										
Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		
<b>Losa</b>										
500	C	14	30	0.17	2.40	0.17	0.00	0.00	82.2	93.33
501	C	14	49	0.17	3.20	0.17	0.00	0.00	173.46	209.61
502	C	14	29	0.17	1.60	0.17	0.00	0.00	56.26	67.99
503	C	14	6	0.17	3.80	0.17	0.00	0.00	24.84	30.02
504	C	14	11	0.17	2.20	0.17	0.00	0.00	27.94	33.76
505	C	14	45	0.17	2.00	0.17	0.00	0.00	105.3	107.25
506	C	14	23	0.17	3.40	0.17	0.00	0.00	86.02	103.95
507	C	14	37	0.17	1.80	0.17	0.00	0.00	86.02	103.95
508	C	14	28	0.17	2.80	0.17	0.00	0.00	79.18	95.68
509	C	14	28	0.17	3.00	0.17	0.00	0.00	87.92	106.24
510	I	12	17	11.90	0.00	0.00	0.00	0.10	93.52	113.01
511	I	12	9	9.40	0.00	0.00	0.00	0.10	204	181.11
512	I	12	8	7.60	0.00	0.00	0.00	0.10	85.5	75.91
513	I	12	16	11.05	0.00	0.00	0.00	0.10	61.6	53.69
514	I	12	8	8.20	0.00	0.00	0.00	0.10	178.4	158.39
515	I	12	17	8.00	0.00	0.00	0.00	0.10	66.4	58.95
516	I	12	8	11.30	0.00	0.00	0.00	0.10	137.7	122.25
517	I	12	9	6.80	0.00	0.00	0.00	0.10	91.2	80.97
518	I	12	8	3.70	0.00	0.00	0.00	0.10	62.1	55.13
519	I	12	6	6.52	0.00	0.00	0.00	0.10	30.4	26.99
520	I	12	6	10.20	0.00	0.00	0.00	0.10	62.4	55.40
521	I	12	8	10.60	0.00	0.00	0.00	0.10	86.4	76.71
522	I	12	2	5.55	0.00	0.00	0.00	0.10	11.5	10.21
523	I	12	5	5.95	0.00	0.00	0.00	0.10	30.75	27.30
524	I	12	2	9.65	0.00	0.00	0.00	0.10	19.7	17.49
525	I	12	5	10.05	0.00	0.00	0.00	0.10	51.25	45.50
526	I	12	6	4.30	0.00	0.00	0.00	0.10	26.4	23.86
527	I	12	2	5.6	0.00	0.00	0.00	0.10	11.4	10.19
528	I	12	2	5.7	0.00	0.00	0.00	0.10	11.6	10.24



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:**

- Acero estructural ASTM A36
- Diagonales 150\*150\*9 mm ASTM A36
- Planchas de conexión ASTM A36
- Barras de anclaje corrugadas (F<sub>yk</sub> = 4200 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Soldadura con electrodo E-70XX
- Soldadura conforme será conforme a lo especificado por el código de soldadura AWS D.1.1/D.1.1M 2010
- El personal a cargo de la soldadura debe estar certificado

**UBICACIÓN:**

**Propietario:** Universidad Técnica de Ambato

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Proyecto:** Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado convencional y con el uso de dispositivos de energía Shear-Link Bozzo (SLB)

**Área del Proyecto:** 400 m<sup>2</sup>

<b>Equipo de trabajo</b>	<b>Firma</b>
_____	_____

**Diseño:** Alexis Chiffa

**Dibujo:** Alexis Chiffa

**Fecha:** 02/14/23

**Código:** E003

**Formato:** A1

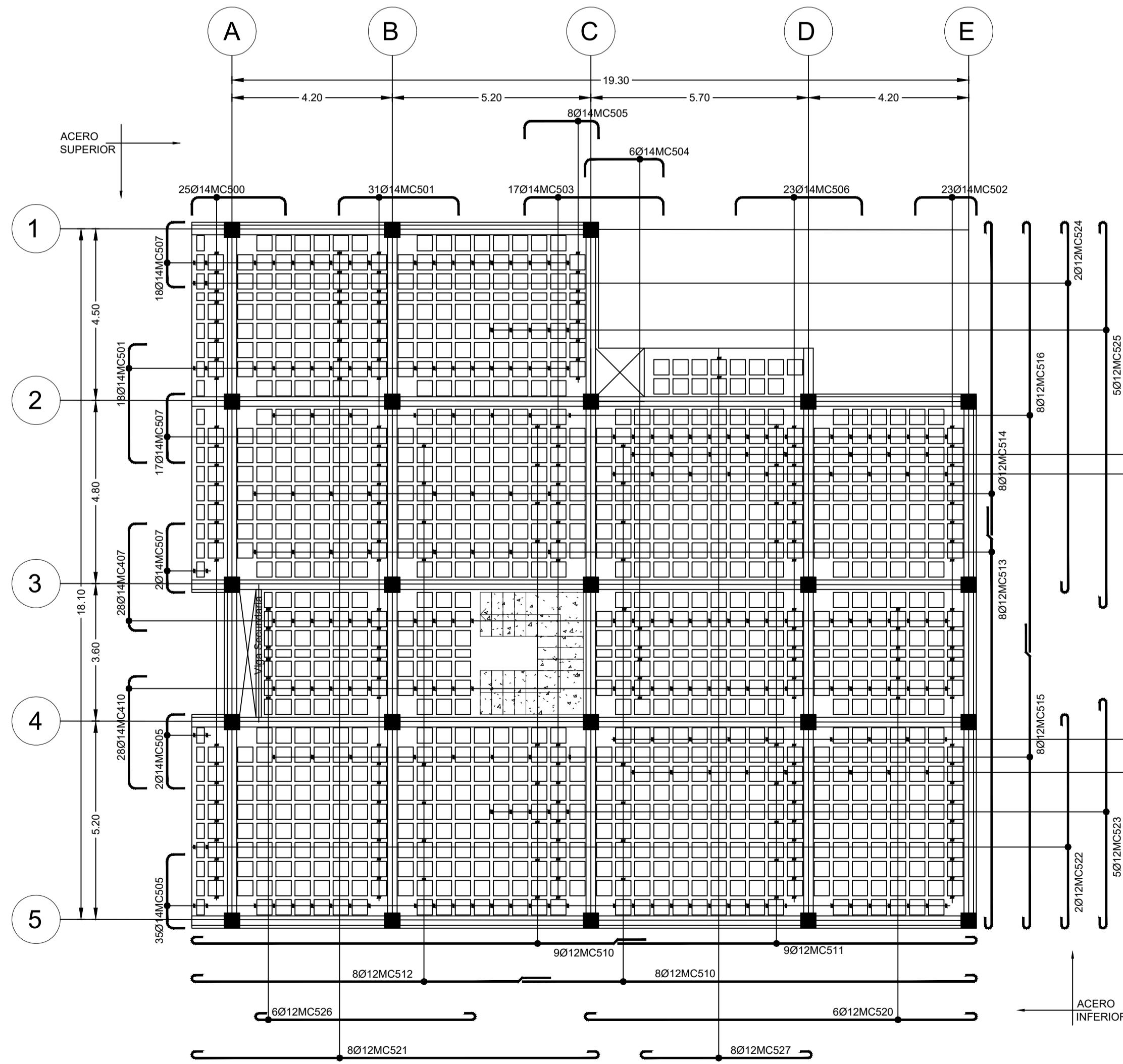
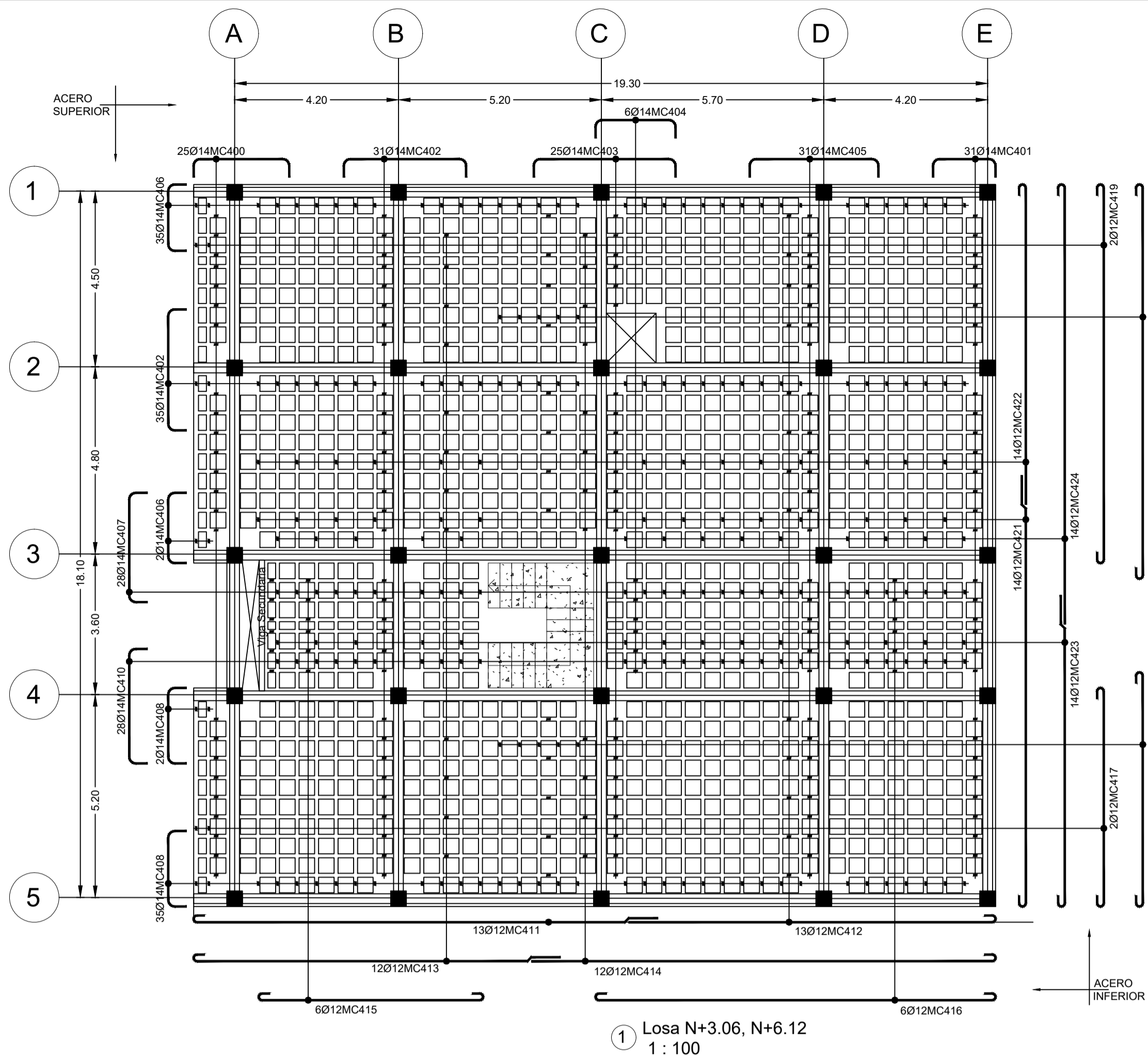
**Escala:** Indicadas

**Lámina:** E/3

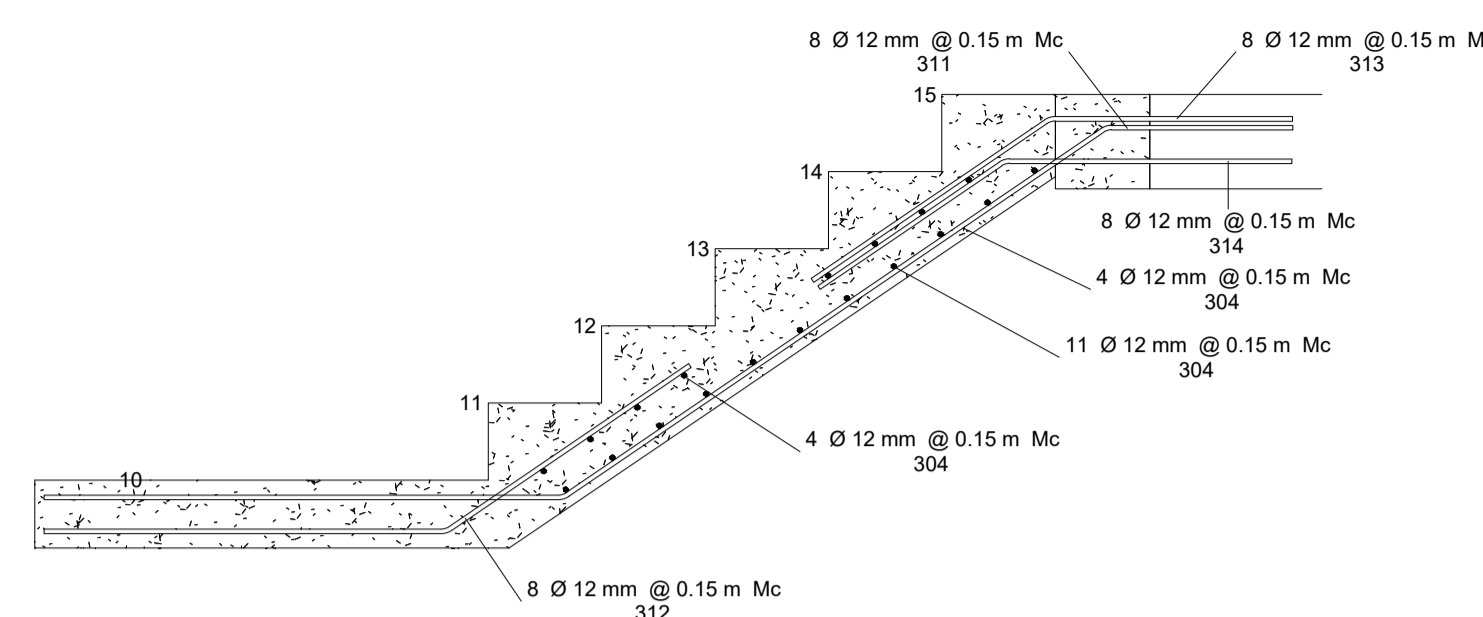
**Aprobo:** Ing. Wladimir Ramirez

**Dirección técnica:** \_\_\_\_\_

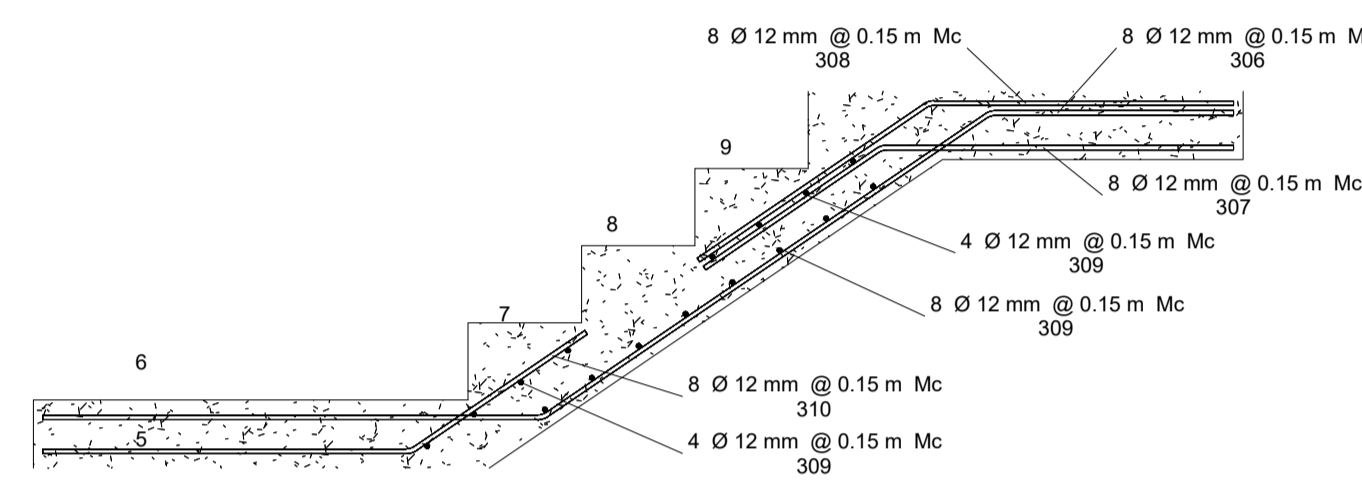
**Contenido:** Losas N+3.06, N+6.12, N+9.18 y Gradas



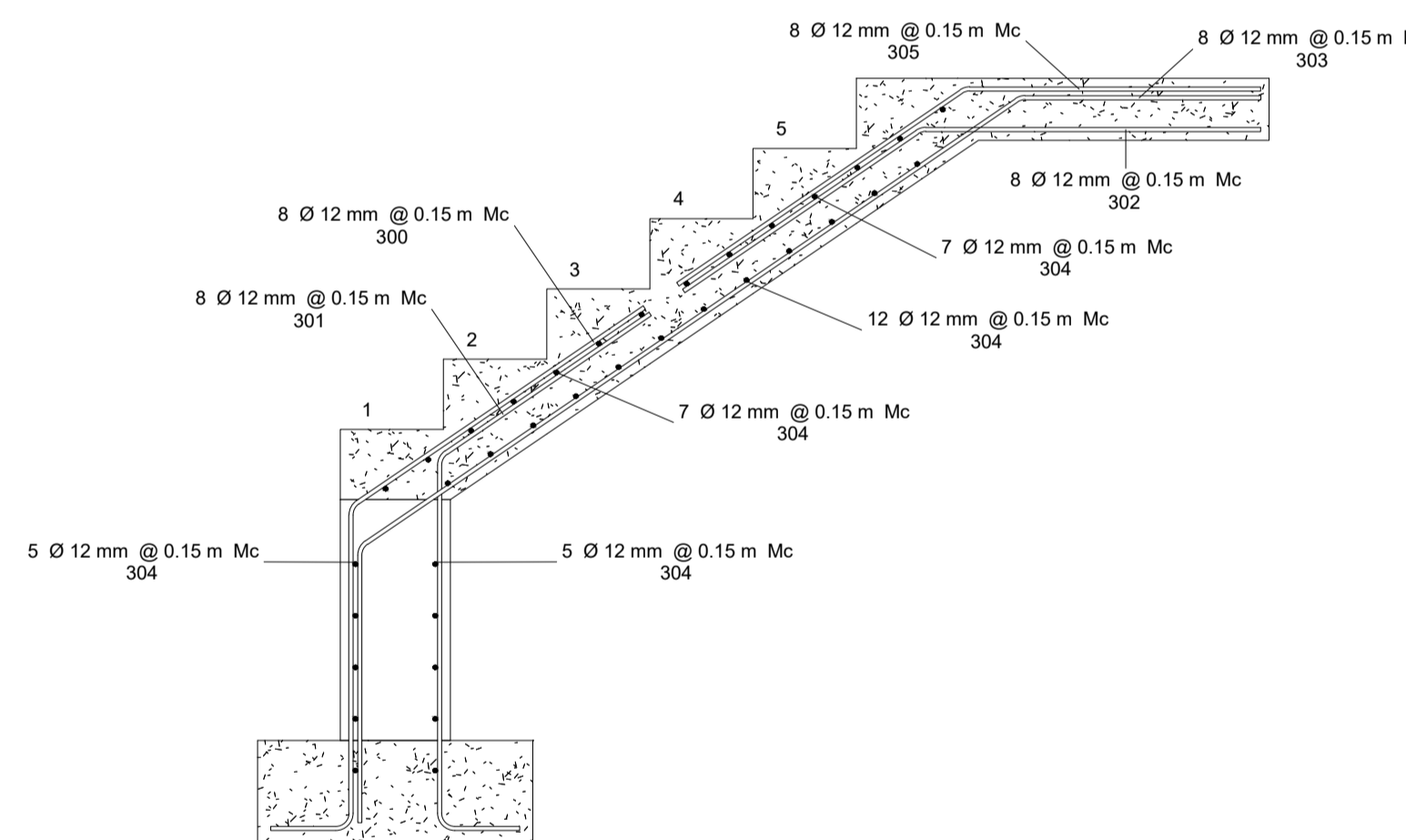
② Losa N+9.18, N+12.24  
1 : 100



① Tramo 1 Gradas  
1 : 20



① Tramo 2 Gradas  
1 : 20



① Tramo 3 Gradas  
1 : 20

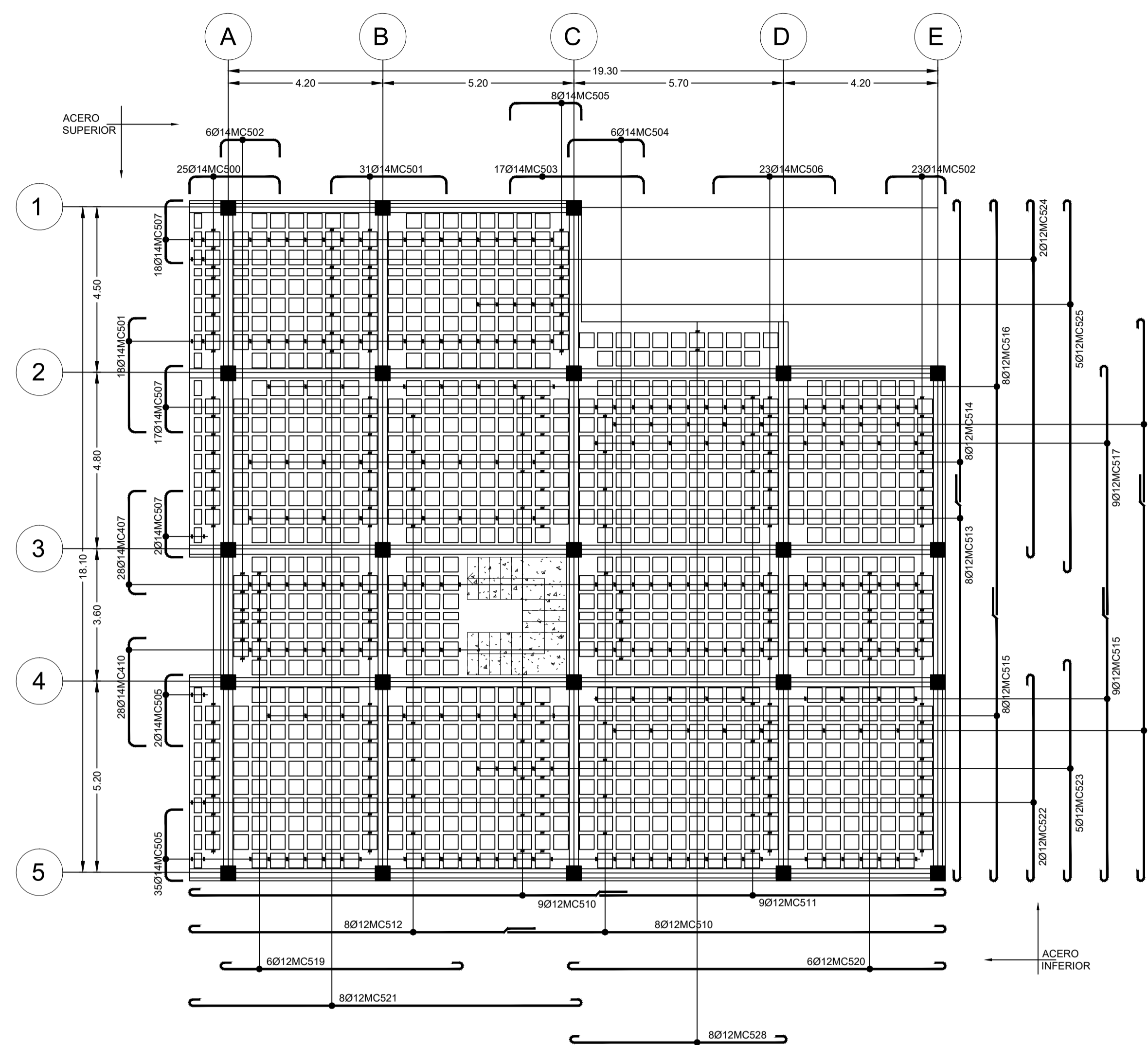
PLANILLA DE ACEROS (ESCALERAS)										
Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		

Escala										
300	Rebar Shape 4	12	8	1.03	0.94	0.24	0.00	0.00	2.18	23.19
301	Rebar Shape 5	12	8	0.00	0.24	1.09	0.74	0.00	2.03	21.63
302	V	12	8	0.99	0.84	0.00	0.00	0.00	1.82	19.40
303	C1	12	8	0.70	2.33	0.80	0.00	0.00	3.82	40.69
304	I	12	55	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80	93.81
305	V	12	8	1.01	0.86	0.00	0.00	0.00	1.87	19.50
306	Z	12	8	0.11	0.65	1.44	1.32	0.00	3.40	36.20
307	V	12	8	0.93	0.57	0.00	0.00	0.00	1.50	15.96
308	V	12	8	0.74	0.81	0.00	0.00	0.00	1.54	16.45
309	I	12	16	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	3.45	36.78
310	V	12	8	0.56	0.98	0.00	0.00	0.00	1.53	16.34
311	Z	12	8	0.11	0.50	1.74	1.37	0.00	3.60	38.41
312	V	12	8	0.78	1.07	0.00	0.00	0.00	1.64	19.64
313	V	12	40	0.64	0.76	0.00	0.00	0.00	7.00	74.62
314	V	12	8	0.76	0.60	0.00	0.00	0.00	1.35	14.42
315	I	12	32	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	3.82	40.74
316	V	12	32	0.99	0.84	0.00	0.00	0.00	7.31	77.88
317	V	12	32	0.71	2.04	0.00	0.00	0.00	10.98	117.03
318	I	12	180	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	26.69	284.47
319	V	12	32	1.01	0.87	0.00	0.00	0.00	7.49	78.87
320	Z	12	32	0.11	0.65	1.44	1.33	0.00	13.63	145.32
321	V	12	32	0.94	0.58	0.00	0.00	0.00	6.04	64.41
322	V	12	32	0.74	0.81	0.00	0.00	0.00	6.19	65.98
323	I	12	64	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	13.94	148.63
324	V	12	32	0.57	0.98	0.00	0.00	0.00	6.20	66.08
325	Z	12	32	0.11	0.50	1.74	1.38	0.00	14.44	153.89
326	V	12	32	0.78	1.07	0.00	0.00	0.00	7.39	78.83
327	V	12	32	0.76	0.69	0.00	0.00	0.00	5.38	57.38
328	I	12	32	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	39.40

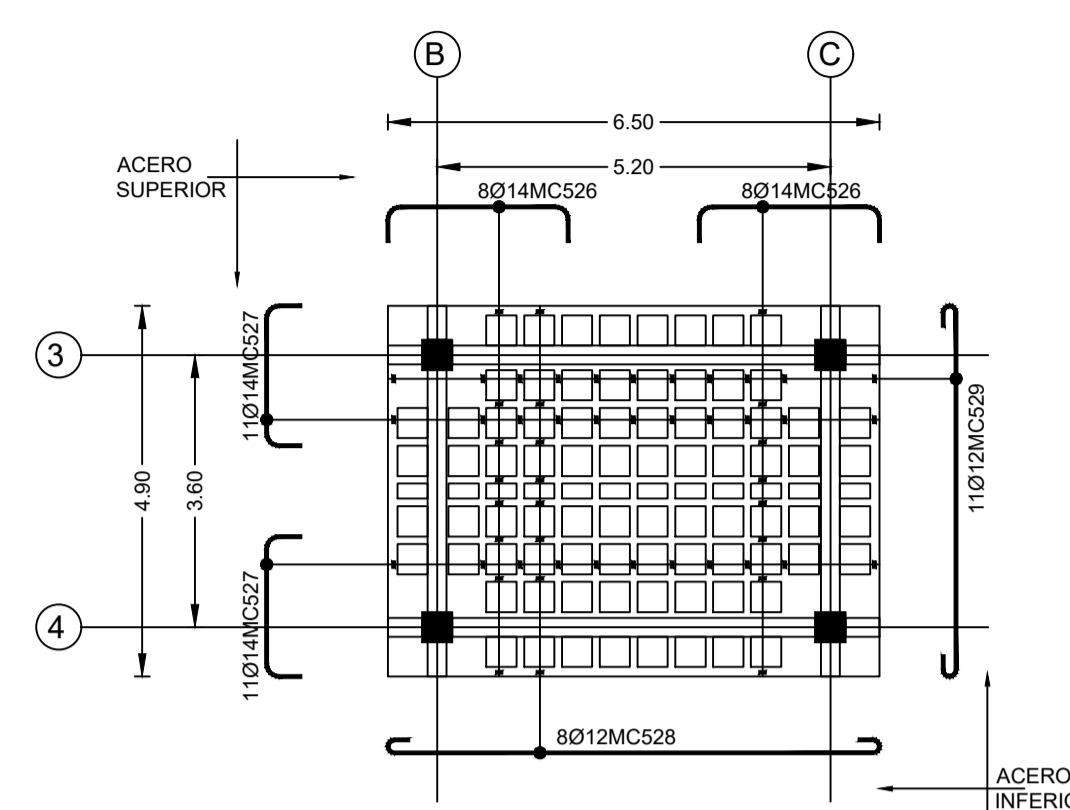




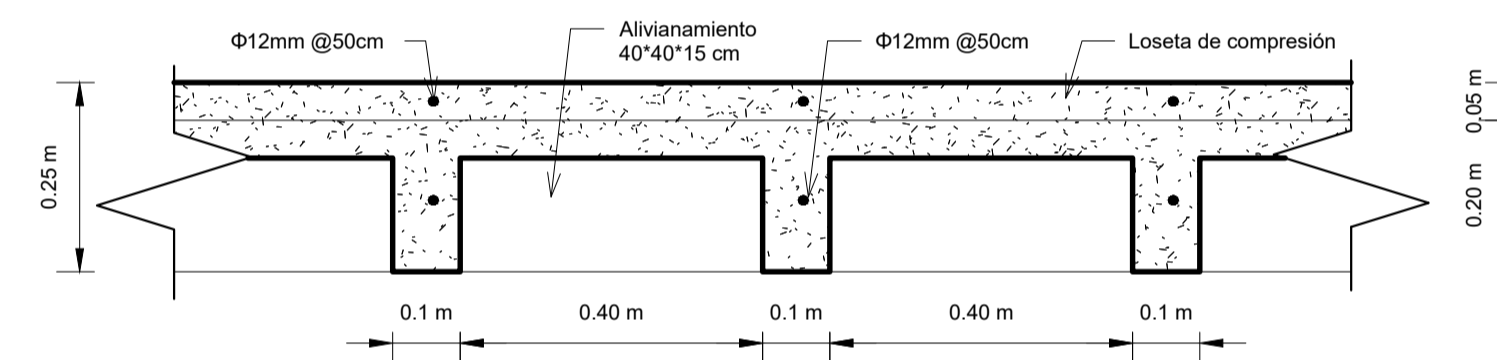
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



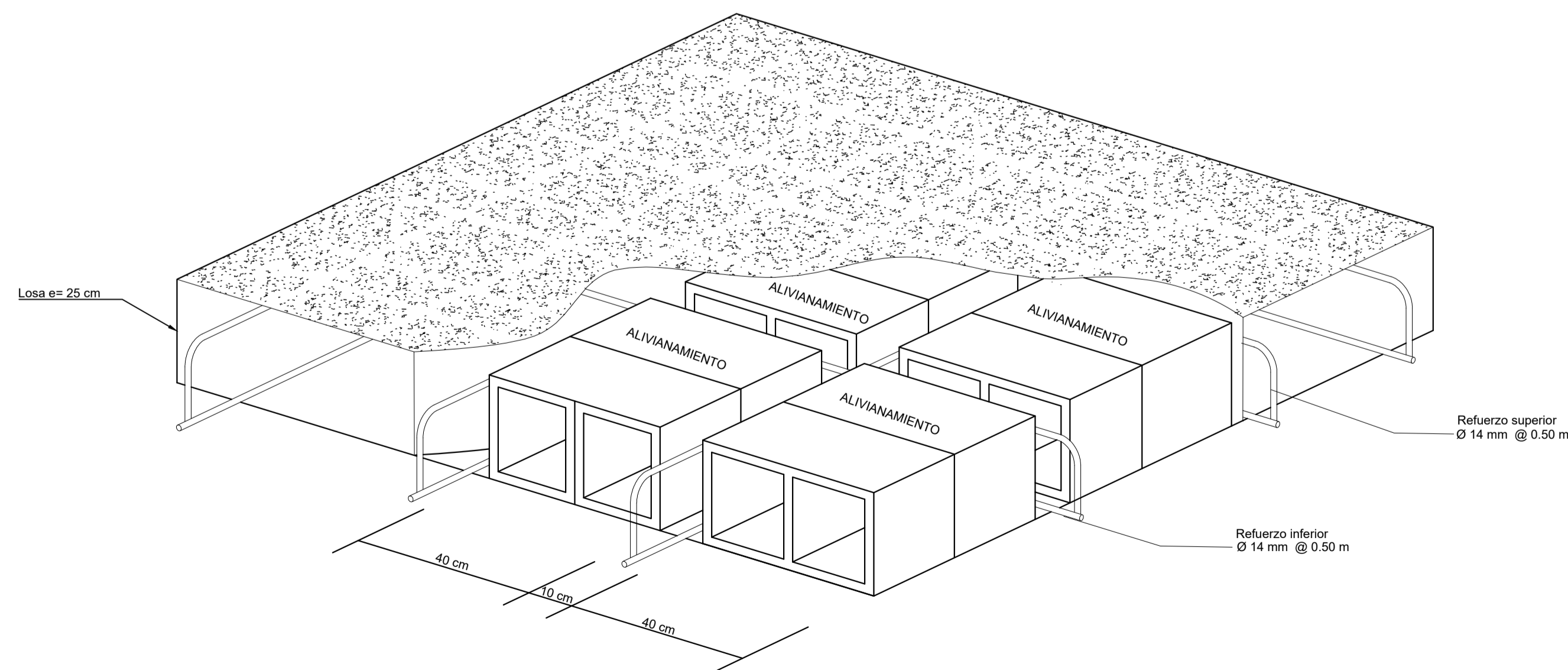
1 Losa N+15.30  
1 : 100



2 Losa N+18.10  
1 : 100



3 Detalle Losa  
1 : 10

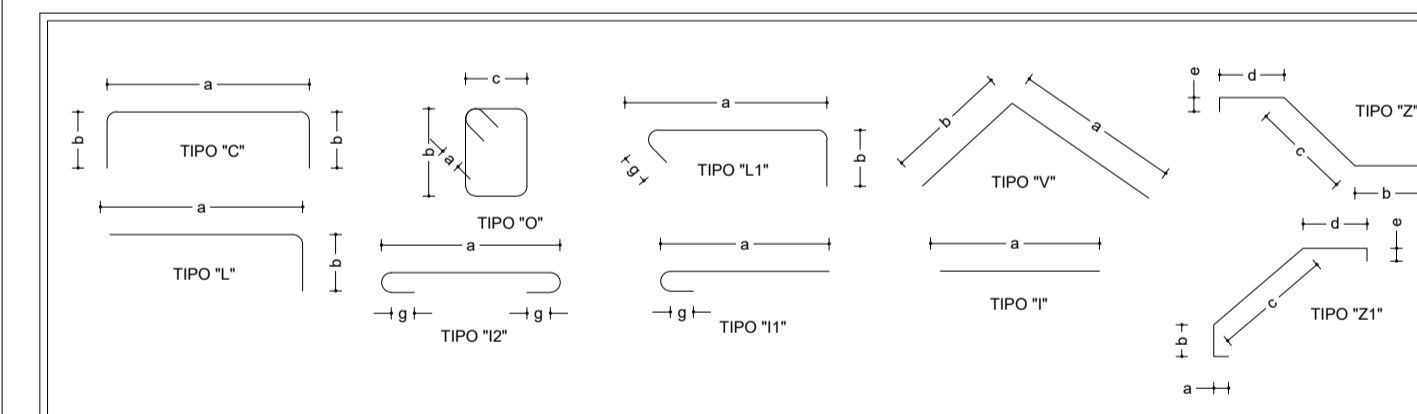


4 Detalle Isométrico Losa Alivianada  
S/E

PLANILLA

PLANILLA DE ACEROS (LOSAS N+9.18, N+12.24, N+15.3)

Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		
<b>Losa</b>										
500	C	14	30	0.17	2.40	0.17	0.00	0.00	82.2	93.33
501	C	14	49	0.17	3.20	0.17	0.00	0.00	173.46	209.61
502	C	14	29	0.17	1.60	0.17	0.00	0.00	56.26	67.99
503	C	14	6	0.17	3.80	0.17	0.00	0.00	24.84	30.02
504	C	14	11	0.17	2.20	0.17	0.00	0.00	27.94	33.76
505	C	14	45	0.17	2.00	0.17	0.00	0.00	105.3	127.25
506	C	14	23	0.17	3.40	0.17	0.00	0.00	86.02	103.95
507	C	14	37	0.17	1.80	0.17	0.00	0.00	86.02	103.95
508	C	14	28	0.17	2.80	0.17	0.00	0.00	79.18	95.68
509	C	14	28	0.17	3.00	0.17	0.00	0.00	87.92	106.24
510	II	12	17	11.90	0.00	0.00	0.00	0.10	93.52	113.01
511	II	12	9	9.40	0.00	0.00	0.00	0.10	204	161.11
512	II	12	8	7.60	0.00	0.00	0.00	0.10	85.5	75.91
513	II	12	16	11.05	0.00	0.00	0.00	0.10	61.6	54.69
514	II	12	8	8.20	0.00	0.00	0.00	0.10	178.4	158.39
515	II	12	17	8.00	0.00	0.00	0.00	0.10	66.4	58.95
516	II	12	8	11.30	0.00	0.00	0.00	0.10	137.7	122.25
517	II	12	9	6.80	0.00	0.00	0.00	0.10	91.2	80.97
518	II	12	8	3.70	0.00	0.00	0.00	0.10	62.1	55.13
519	II	12	6	6.52	0.00	0.00	0.00	0.10	30.4	28.99
520	I	12	6	10.20	0.00	0.00	0.00	0.10	62.4	55.40
521	I	12	8	10.60	0.00	0.00	0.00	0.10	86.4	76.71
522	I	12	2	5.55	0.00	0.00	0.00	0.10	11.5	10.21
523	I	12	5	5.95	0.00	0.00	0.00	0.10	30.75	27.30
524	I	12	2	9.65	0.00	0.00	0.00	0.10	19.7	17.49
525	I	12	5	10.05	0.00	0.00	0.00	0.10	51.25	45.50
526	I	12	6	4.30	0.00	0.00	0.00	0.10	26.4	29.86
527	I	12	2	5.6	0.00	0.00	0.00	0.10	11.4	10.19
528	I	12	2	5.7	0.00	0.00	0.00	0.10	11.6	10.24



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Acero estructural ASTM A36
- Diagonales 150\*150\*9 mm ASTM A36
- Planchas de conexión ASTM A36
- Barras de anclaje corrugadas (F<sub>yk</sub> = 4200 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Soldadura con electrodo E-70XX
- Soldadura conforme será conforme a lo especificado por el código de soldadura AWS D.1.1/D.1.1M 2010
- El personal a cargo de la soldadura debe estar certificado

UBICACIÓN:



Propietario: Universidad Técnica de Ambato

Firma:

Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado convencional y con el uso de dispositivos de energía Shear-Link Bozzo (SLB)

Área del Proyecto: 400 m<sup>2</sup>

Equipo de trabajo: Firma

Diseño: Alexis Chiffa

Dibujo: Alexis Chiffa

Fecha: 02/14/23

Código: E004

Escala: Indicadas

Lámina: E/4

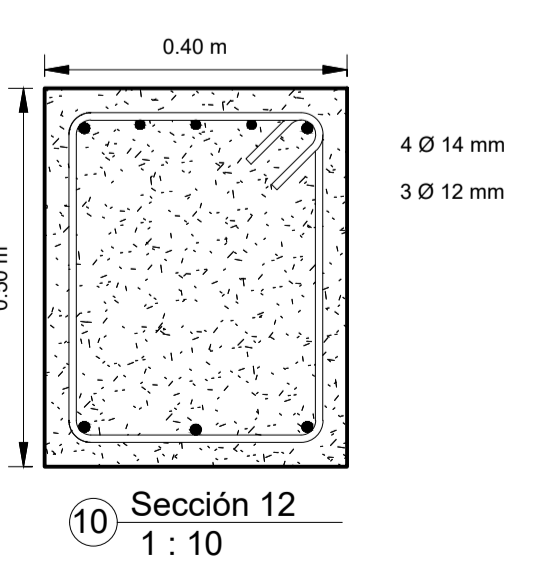
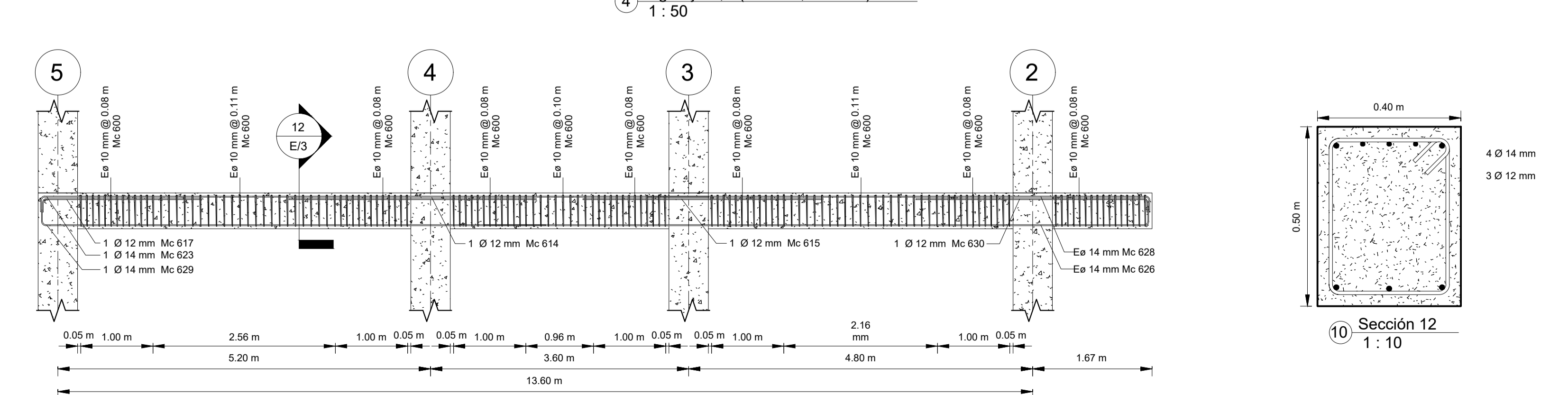
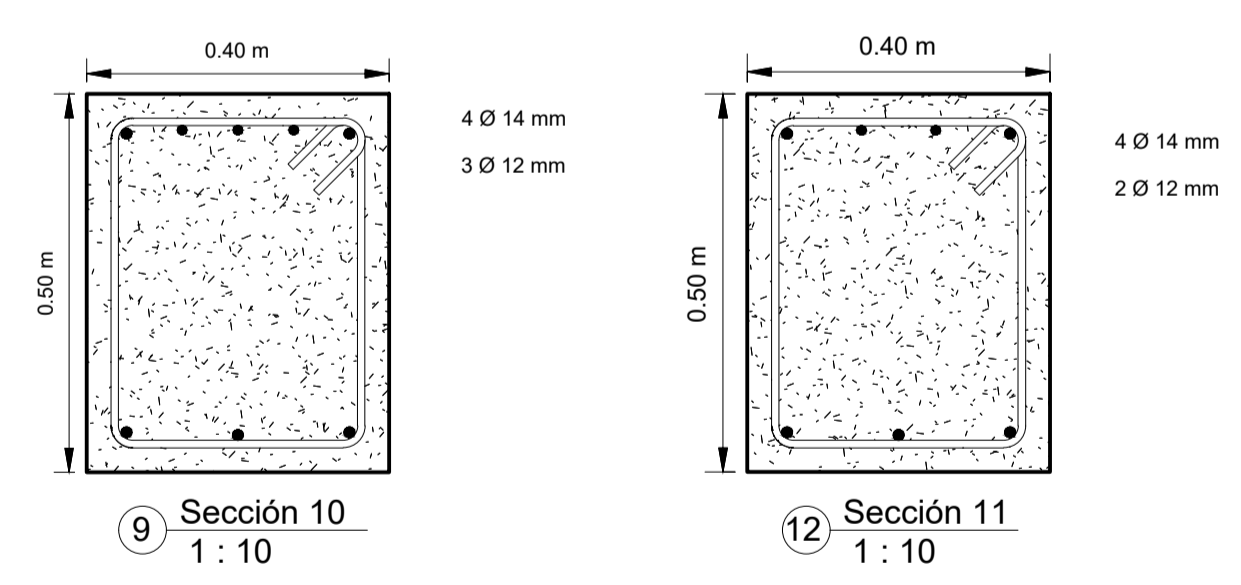
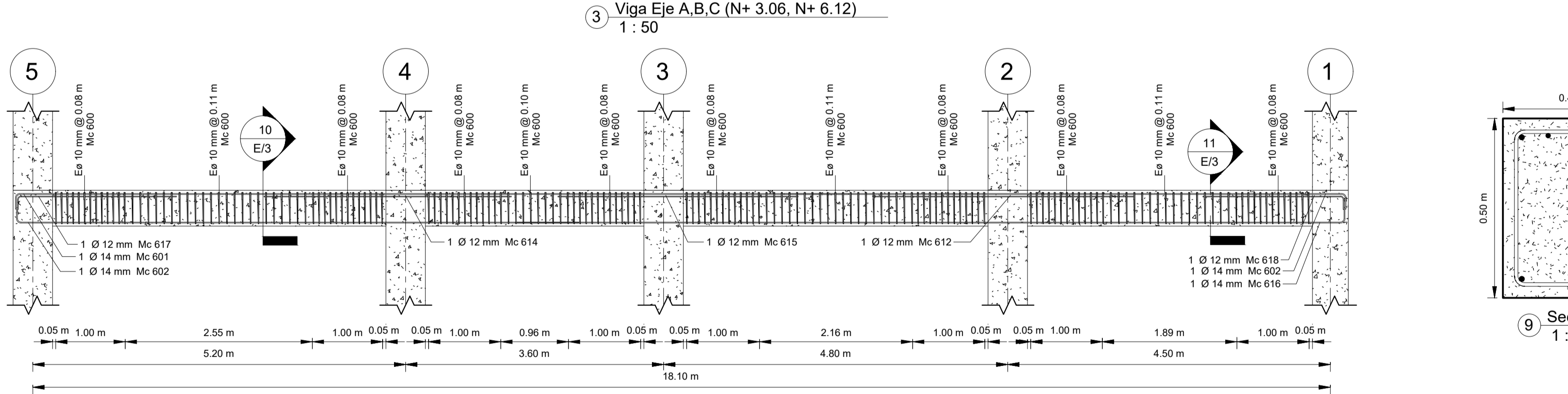
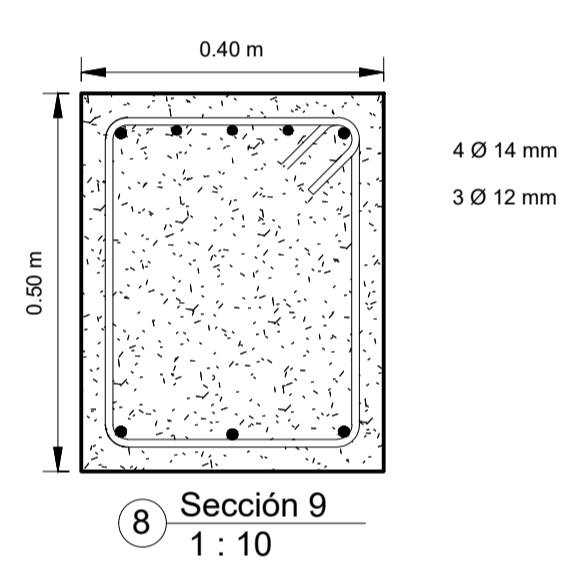
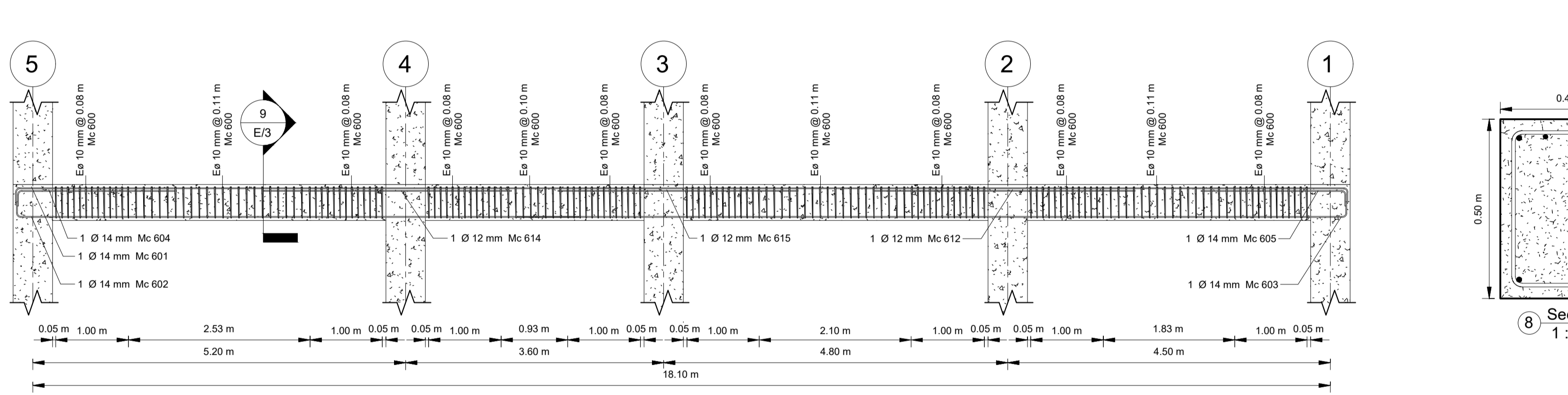
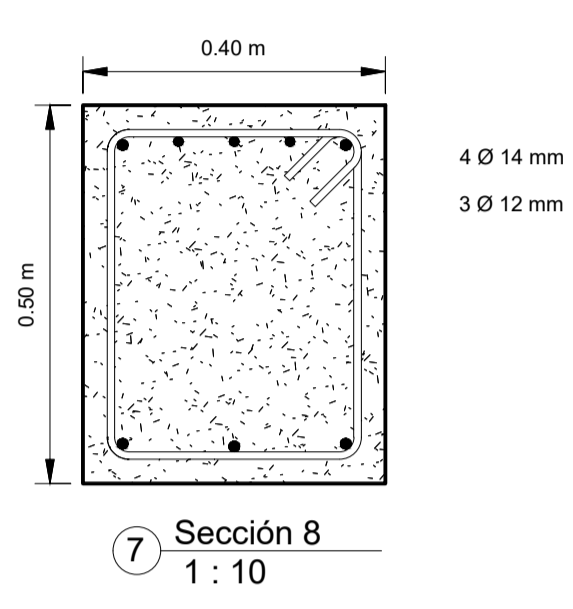
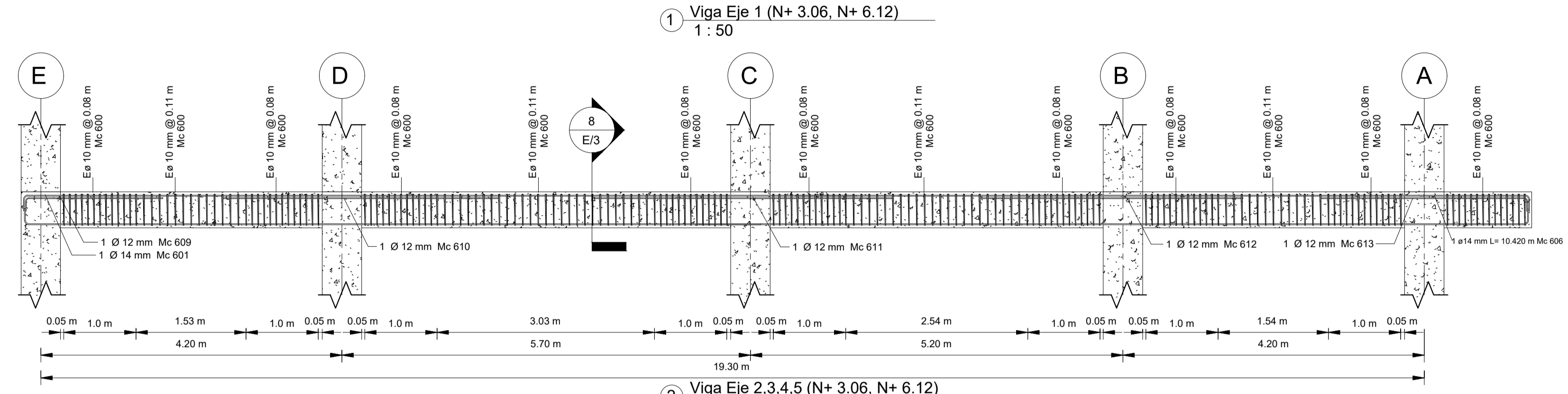
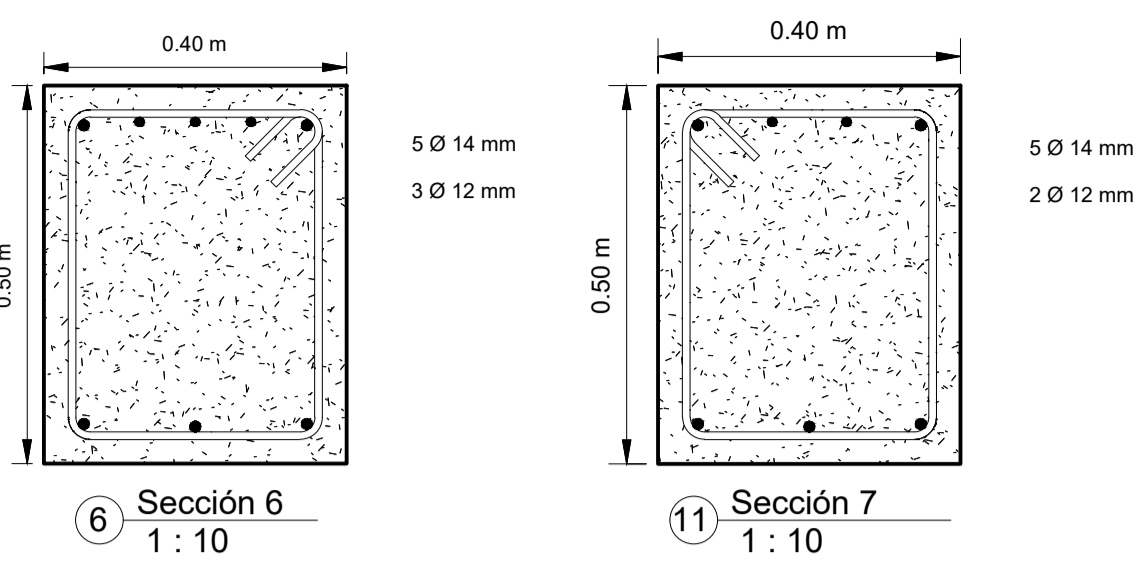
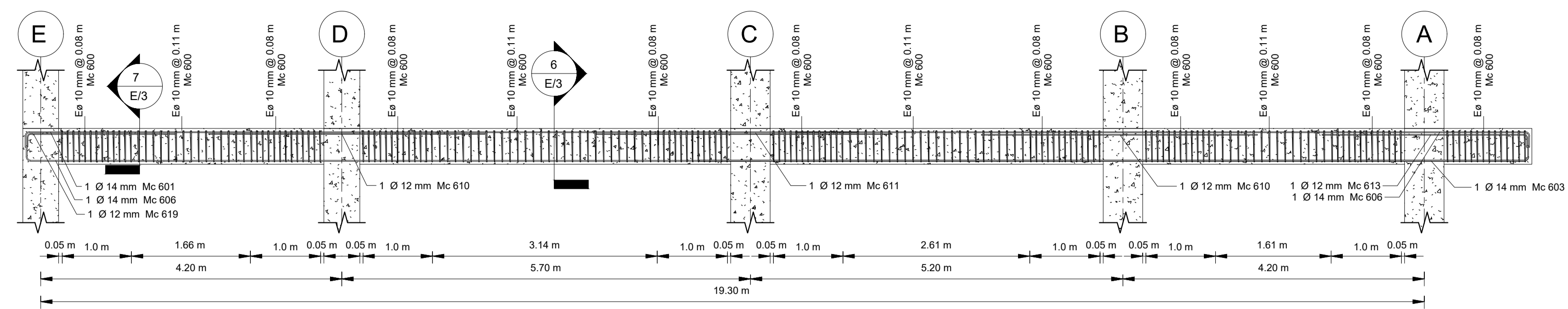
Formato: A1

Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez

Dirección técnica:

Contenido:

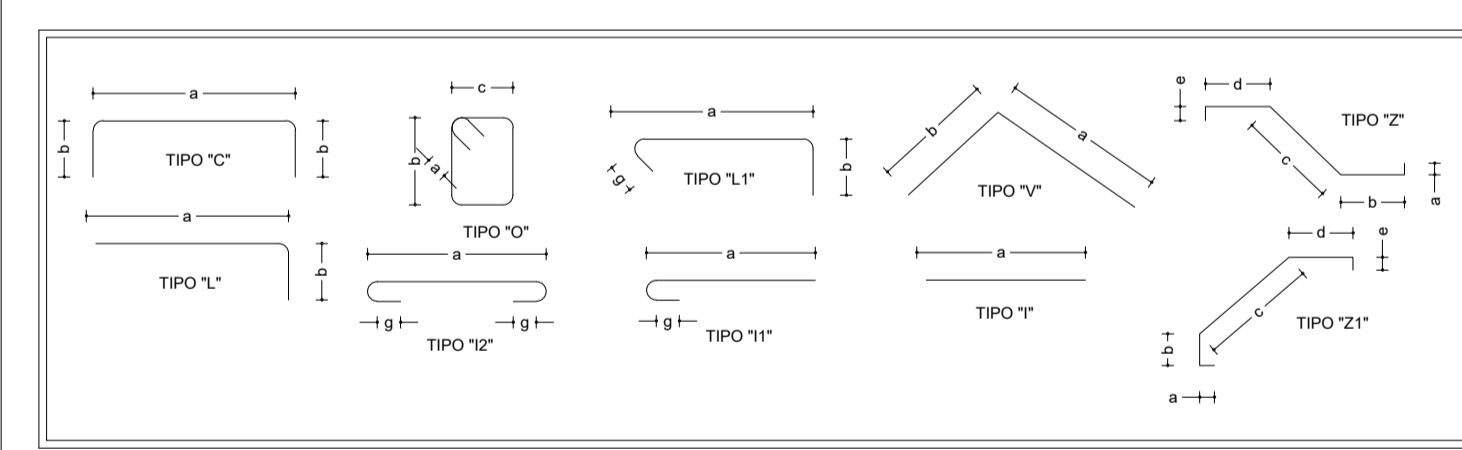
Losa N+15.3, N+18.1



PLANILLA

**PLANILLA DE ACEROS (VIGAS)**

Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		
<b>Viga</b>										
400	O	10	8587	0.10	0.44	0.34	0.44	0.34	998.02	7385.4
401	L'	14	82	0.22	11.62	0.00	0.00	0.00	967.60	14030.2
402	L'	14	95	7.84	0.22	0.00	0.00	0.00	761.90	11047.5
403	L'	14	51	0.22	11.57	0.00	0.00	0.00	599.10	8686.9
404	L'	14	45	0.22	2.22	0.00	0.00	0.00	107.89	1564.4
405	L'	14	45	2.02	0.22	0.00	0.00	0.00	98.89	1433.9
406	L'	14	50	10.24	0.22	0.00	0.00	0.00	520.38	7554.2
407	L'	14	60	10.27	0.22	0.00	0.00	0.00	627.00	9091.5
408	L'	14	60	0.22	11.57	0.00	0.00	0.00	704.82	10219.9
409	L'	12	60	0.19	1.92	0.00	0.00	0.00	124.38	1325.9
410	I'	12	79	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	304.15	3242.2
411	I'	12	66	4.15	0.00	0.00	0.00	0.00	273.90	2919.8
412	F'	12	117	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	427.05	4552.4
413	L'	12	75	2.87	0.19	0.00	0.00	0.00	226.73	2416.9
414	I'	12	75	3.45	0.00	0.00	0.00	0.00	258.75	2758.3
415	I'	12	75	3.35	0.00	0.00	0.00	0.00	251.25	2678.3
416	L'	14	12	0.22	11.57	0.00	0.00	0.00	141.02	2044.9
417	L'	12	30	0.19	2.22	0.00	0.00	0.00	71.19	758.9
418	L'	12	8	1.97	0.19	0.00	0.00	0.00	16.98	181.1
419	L'	12	4	0.19	2.07	0.00	0.00	0.00	8.89	94.8
420	O	10	296	0.10	0.19	0.19	0.19	0.19	21.26	157.3
421	C'	12	16	0.15	3.54	0.15	0.00	0.00	60.26	642.3
422	C'	12	16	0.15	3.51	0.15	0.00	0.00	59.87	638.2
423	L'	14	12	0.22	9.32	0.00	0.00	0.00	114.00	1653.0
424	L'	14	6	5.62	0.22	0.00	0.00	0.00	34.77	504.2
425	L'	14	9	5.64	0.22	0.00	0.00	0.00	52.38	759.5
426	L'	14	18	0.22	9.27	0.00	0.00	0.00	170.05	2465.7
427	L'	12	9	1.39	0.19	0.00	0.00	0.00	13.93	148.5
428	L'	14	6	7.01	0.22	0.00	0.00	0.00	43.11	625.1
429	L'	14	9	7.03	0.22	0.00	0.00	0.00	64.89	940.9
430	L'	12	9	3.23	0.19	0.00	0.00	0.00	30.49	325.0
431	C'	14	9	0.22	11.08	0.22	0.00	0.00	102.98	1493.2
432	L'	12	9	2.19	0.22	0.00	0.00	0.00	21.42	228.3
433	C'	14	6	0.22	11.10	0.22	0.00	0.00	68.78	997.4



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:**

- Resistencia del hormigón a los 28 días de edad ( $f_c=240 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Resistencia del hormigón ciclópeo ( $f_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Capacidad portante del suelo ( $q=15 \text{ tonf/m}^2$ )
- Esfuerzo de fluencia de Acero de refuerzo ( $f_{sy}=4200 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Composición del hormigón ciclópeo (80% de hormigón y 40% de piedra bola.)
- Las medidas y dobles del Acero se verificaran en obra por el resi dente de obra.
- El cambio de algun elemento de construcción debe ser consultado con el residente de obra y el calculista.

**UBICACIÓN:**

Propietario: Universidad Técnica de Ambato

Firma:

Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado y con el uso de disipadores de energía Shear Link-Bozzo (SLB)

Área del Proyecto: 400 m<sup>2</sup>

Equipo de trabajo: Firma

Diseño: Alexis Chiffa

Dibujo: Alexis Chiffa

Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez

Dirección técnica:

Fecha: 02/14/23

Código: E005

Formato: A1

Escala: Indicadas

Lámina: E/5

Contenido: Vigas



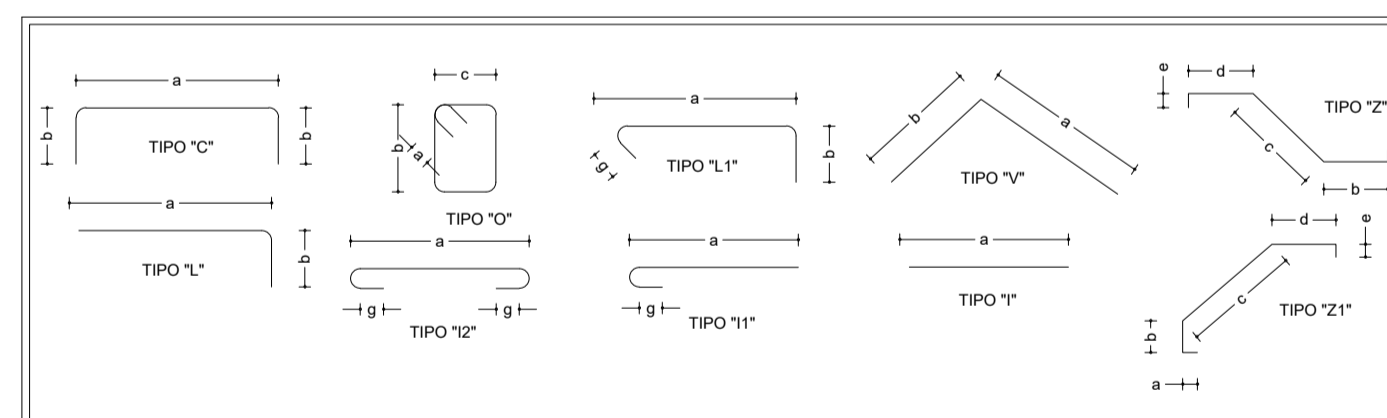
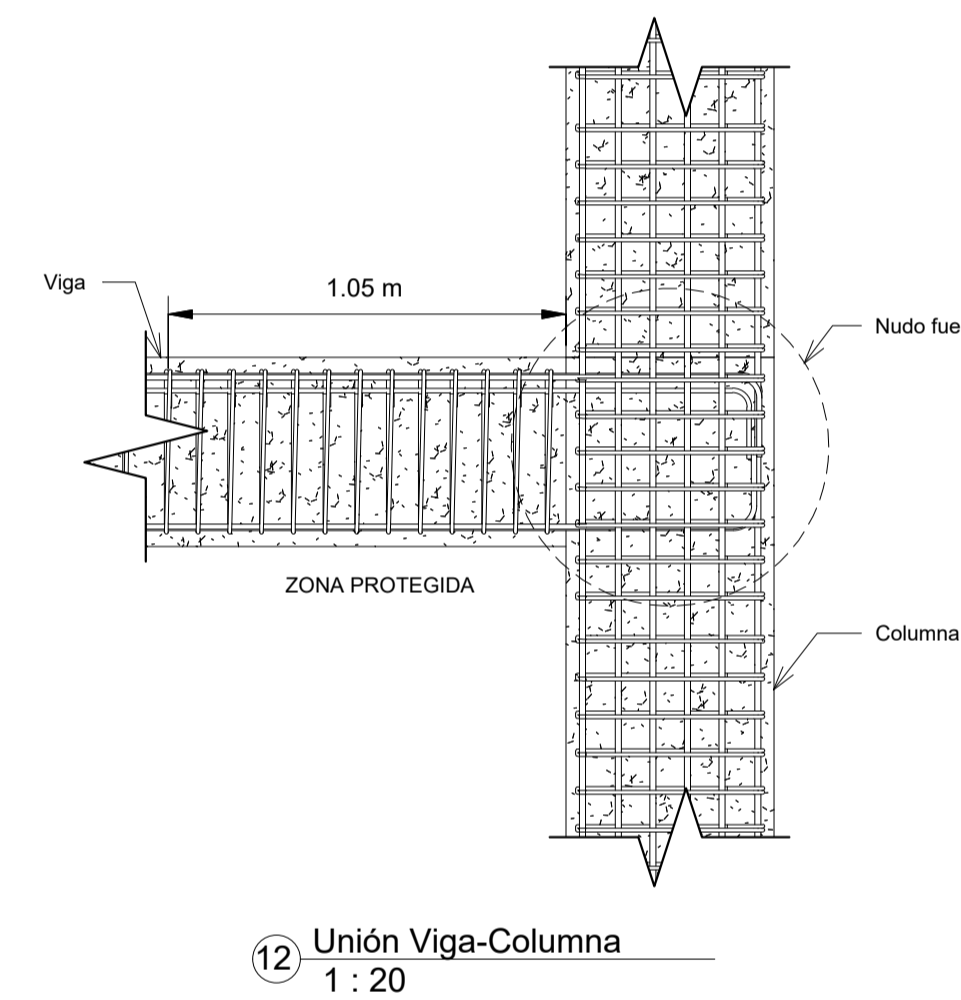
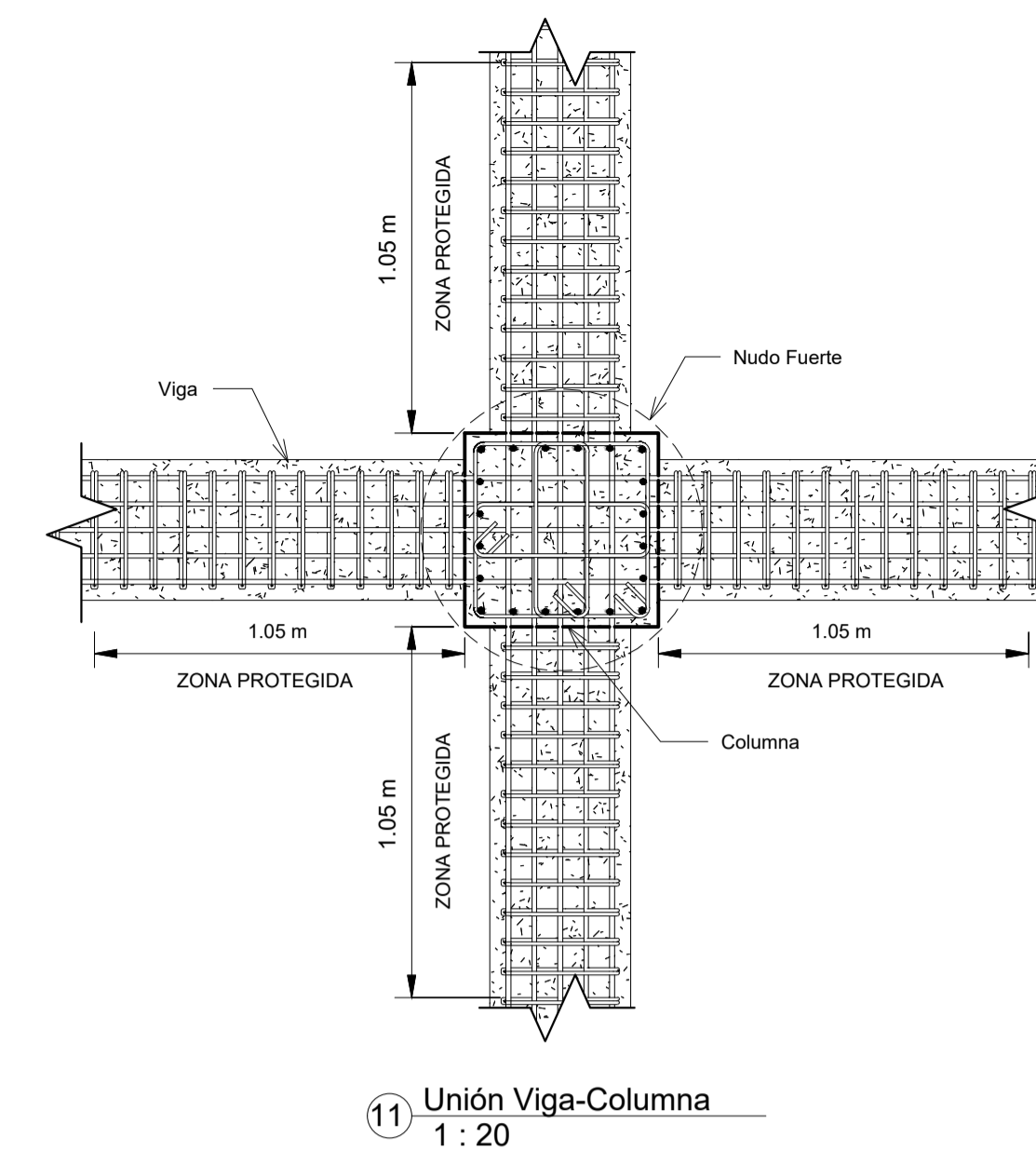
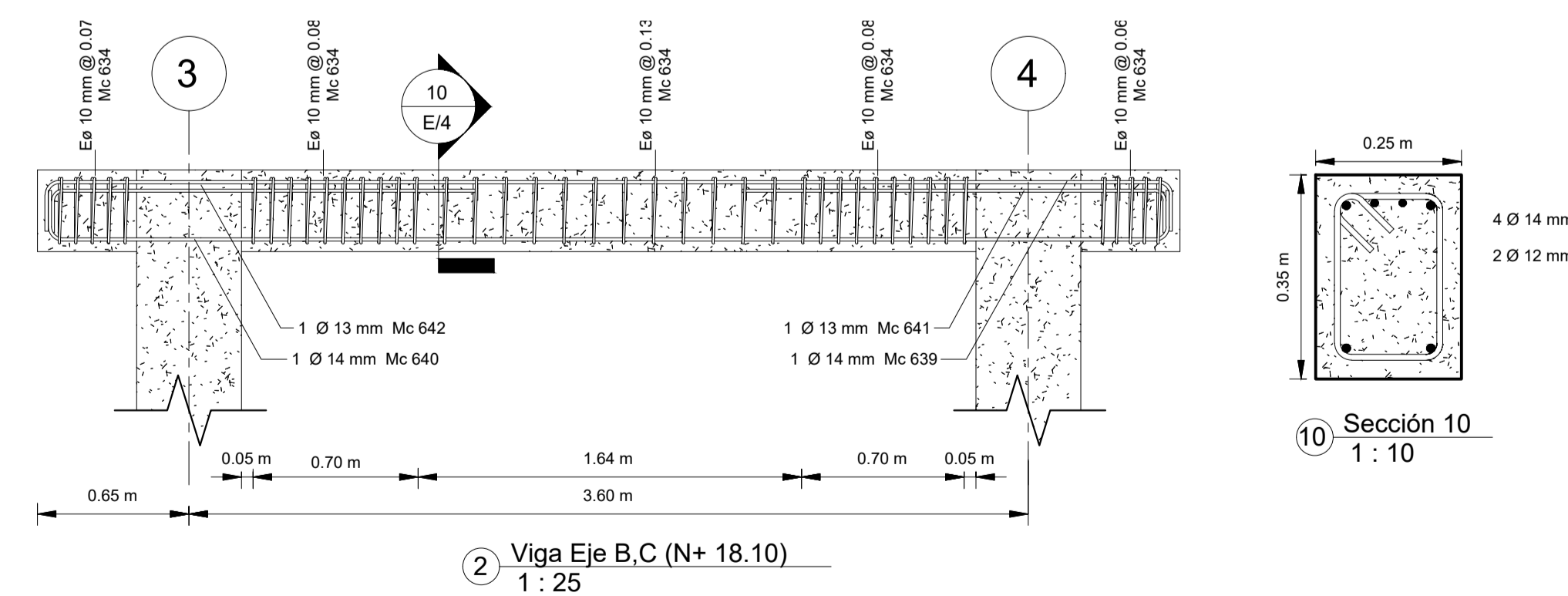
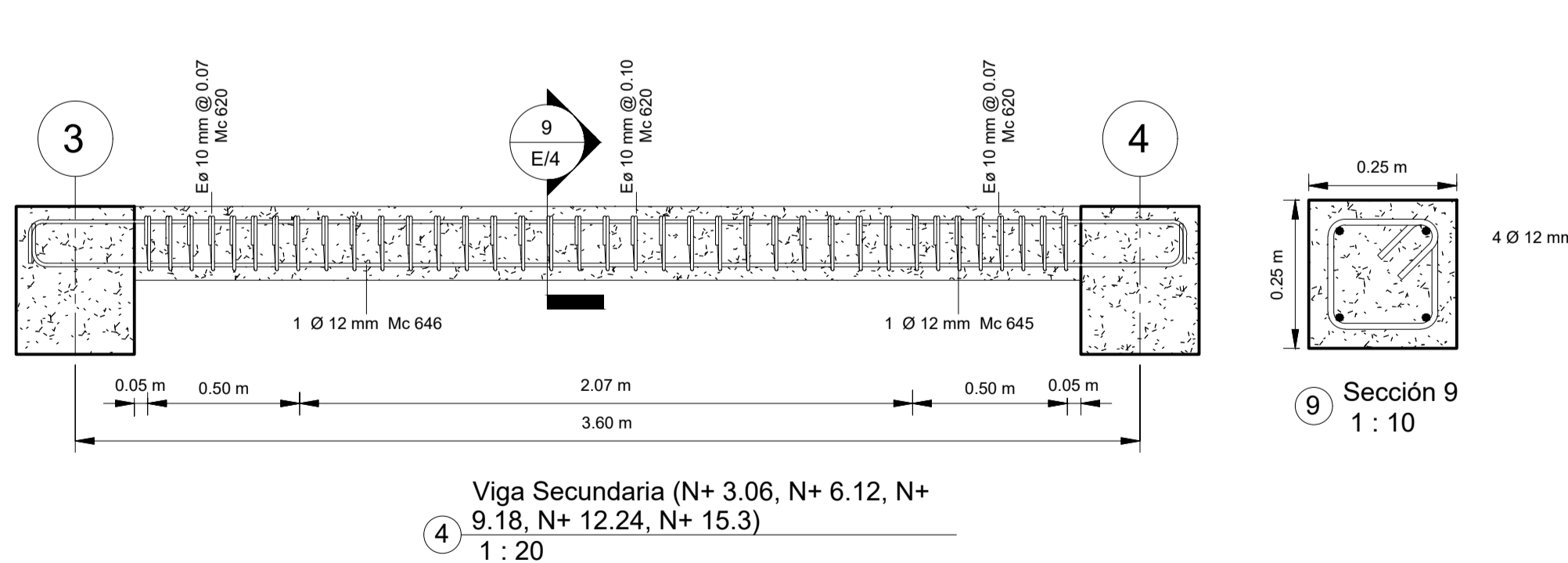
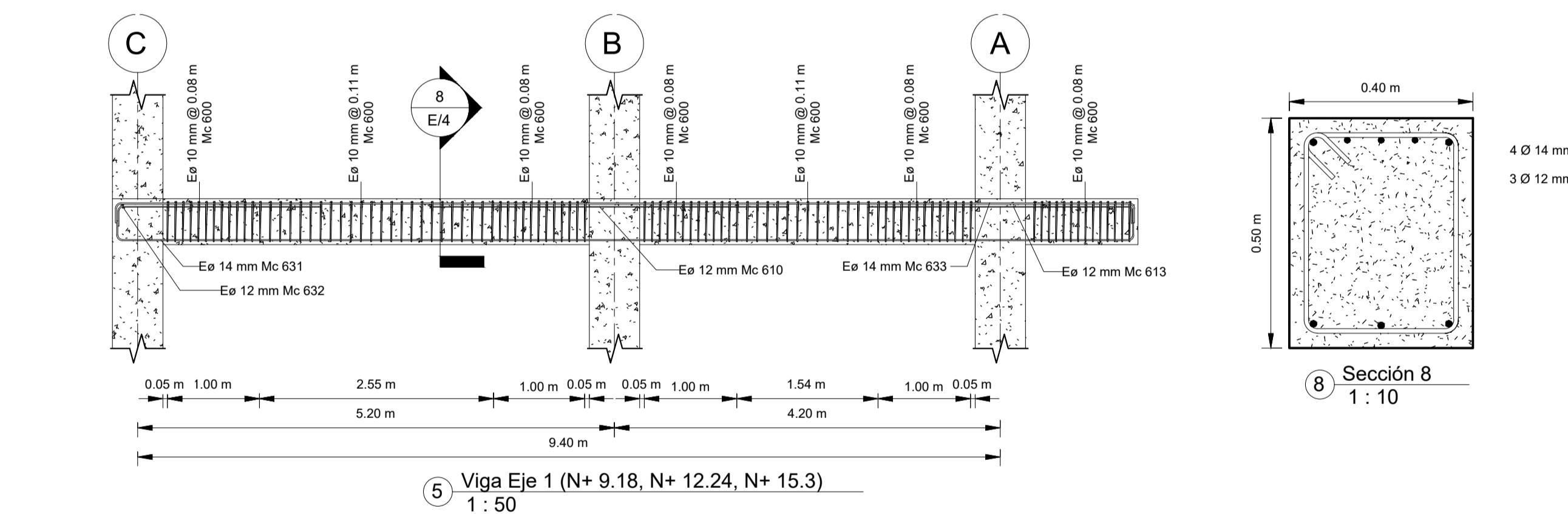
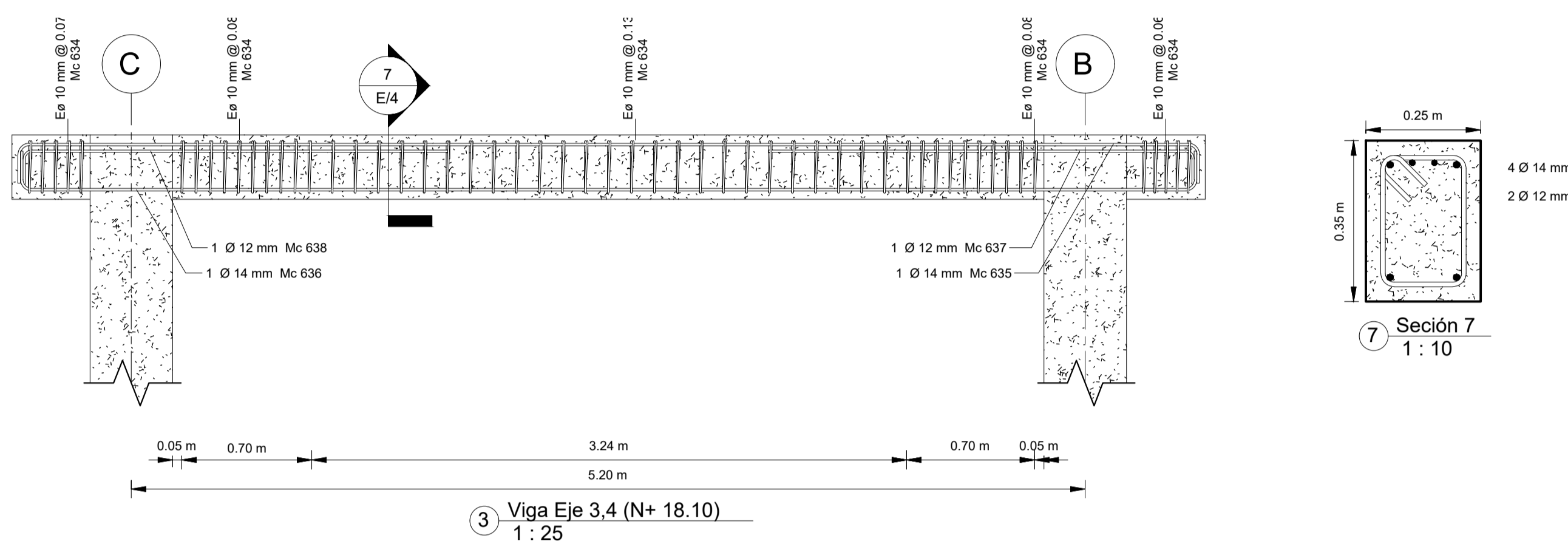
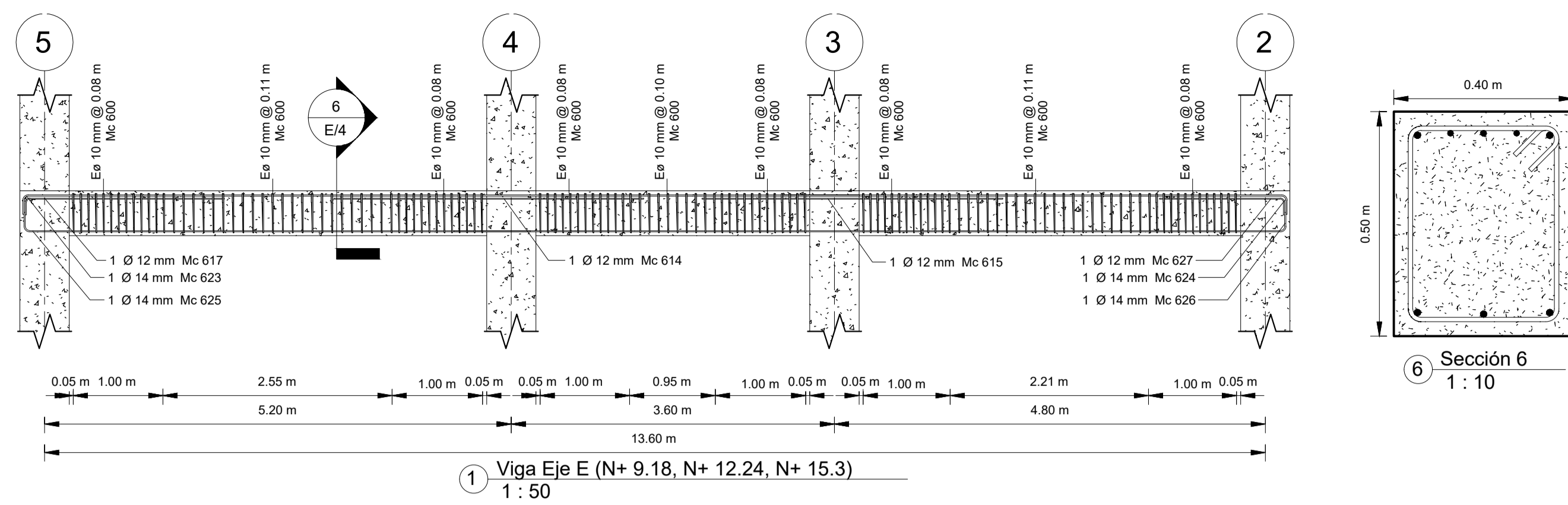
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PLANILLA

PLANILLA DE ACEROS (VIGAS)

Marca	Tipo	Ø (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		

Viga										
400	O	10	8587	0.10	0.44	0.34	0.44	0.34	998.02	7385.4
401	L'	14	82	0.22	11.62	0.00	0.00	0.00	967.60	14030.2
402	L'	14	95	7.84	0.22	0.00	0.00	0.00	761.90	11047.5
403	L'	14	51	0.22	11.57	0.00	0.00	0.00	599.10	8686.9
404	L'	14	45	0.22	2.22	0.00	0.00	0.00	107.89	1564.4
405	L'	14	45	2.02	0.22	0.00	0.00	0.00	98.89	1433.9
406	L'	14	50	10.24	0.22	0.00	0.00	0.00	520.98	7554.2
407	L'	14	60	10.27	0.22	0.00	0.00	0.00	627.00	9091.5
408	L'	14	60	0.22	11.57	0.00	0.00	0.00	704.82	10219.9
409	L'	12	60	0.19	1.92	0.00	0.00	0.00	124.38	1325.9
410	F'	12	79	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	304.15	3242.2
411	F'	12	66	4.15	0.00	0.00	0.00	0.00	273.90	2919.8
412	F'	12	117	3.65	0.00	0.00	0.00	0.00	427.05	4552.4
413	L'	12	75	2.87	0.19	0.00	0.00	0.00	226.73	2416.9
414	F'	12	75	3.45	0.00	0.00	0.00	0.00	258.75	2758.3
415	F'	12	75	3.35	0.00	0.00	0.00	0.00	251.25	2678.3
416	L'	14	12	0.22	11.57	0.00	0.00	0.00	141.02	2044.9
417	L'	12	30	0.19	2.22	0.00	0.00	0.00	71.19	758.9
418	L'	12	8	1.97	0.19	0.00	0.00	0.00	16.98	181.1
419	L'	12	4	0.19	2.07	0.00	0.00	0.00	8.89	94.8
420	O	10	296	0.10	0.19	0.19	0.19	0.19	21.26	157.3
421	C'	12	16	0.15	3.54	0.15	0.00	0.00	60.26	642.3
422	C'	12	16	0.15	3.51	0.15	0.00	0.00	59.87	638.2
423	L'	14	12	0.22	9.32	0.00	0.00	0.00	114.00	1653.0
424	L'	14	6	5.62	0.22	0.00	0.00	0.00	34.77	504.2
425	L'	14	9	5.64	0.22	0.00	0.00	0.00	52.38	759.5
426	L'	14	18	0.22	9.27	0.00	0.00	0.00	170.05	2465.7
427	L'	12	9	1.39	0.19	0.00	0.00	0.00	13.93	148.5
428	L'	14	6	7.01	0.22	0.00	0.00	0.00	43.11	625.1
429	L'	14	9	7.03	0.22	0.00	0.00	0.00	64.89	940.9
430	L'	12	9	3.23	0.19	0.00	0.00	0.00	30.49	325.0
431	C'	14	9	0.22	11.08	0.22	0.00	0.00	102.98	1493.2
432	L'	12	9	2.19	0.22	0.00	0.00	0.00	21.42	228.3
433	C'	14	6	0.22	11.10	0.22	0.00	0.00	68.78	997.4



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Resistencia del hormigón a los 28 días de edad ( $f_c=240 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Resistencia del hormigón ciclópeo ( $f_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Capacidad portante del suelo ( $q=15 \text{ tonf/m}^2$ )
- Esfuerzo de fluencia de Acero de refuerzo ( $f_{sy}=4200 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Composición del hormigón ciclópeo (80% de hormigón y 40% de piedra bola.)
- Las medidas y doblez del Acero se verificarán en obra por el residente de obra.
- El cambio de algún elemento de construcción debe ser consultado con el residente de obra y el calculista.

UBICACIÓN:		Propietario: Universidad Técnica de Ambato	
		Firma:	
		Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado y con el uso de disipadores de energía Shear Link Bozzo (SLB)	
Área del Proyecto: 400 m <sup>2</sup>		Firma	
Equipo de trabajo		Firma	
Diseño: Alexis Chiffa			
Dibujo: Alexis Chiffa			
Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez			
Dirección técnica:			
Fecha: 02/14/23	Código: E006	Formato: A1	
Escala: Indicadas	Lámina: E/6		
Contenido: Vigas y Secciones			

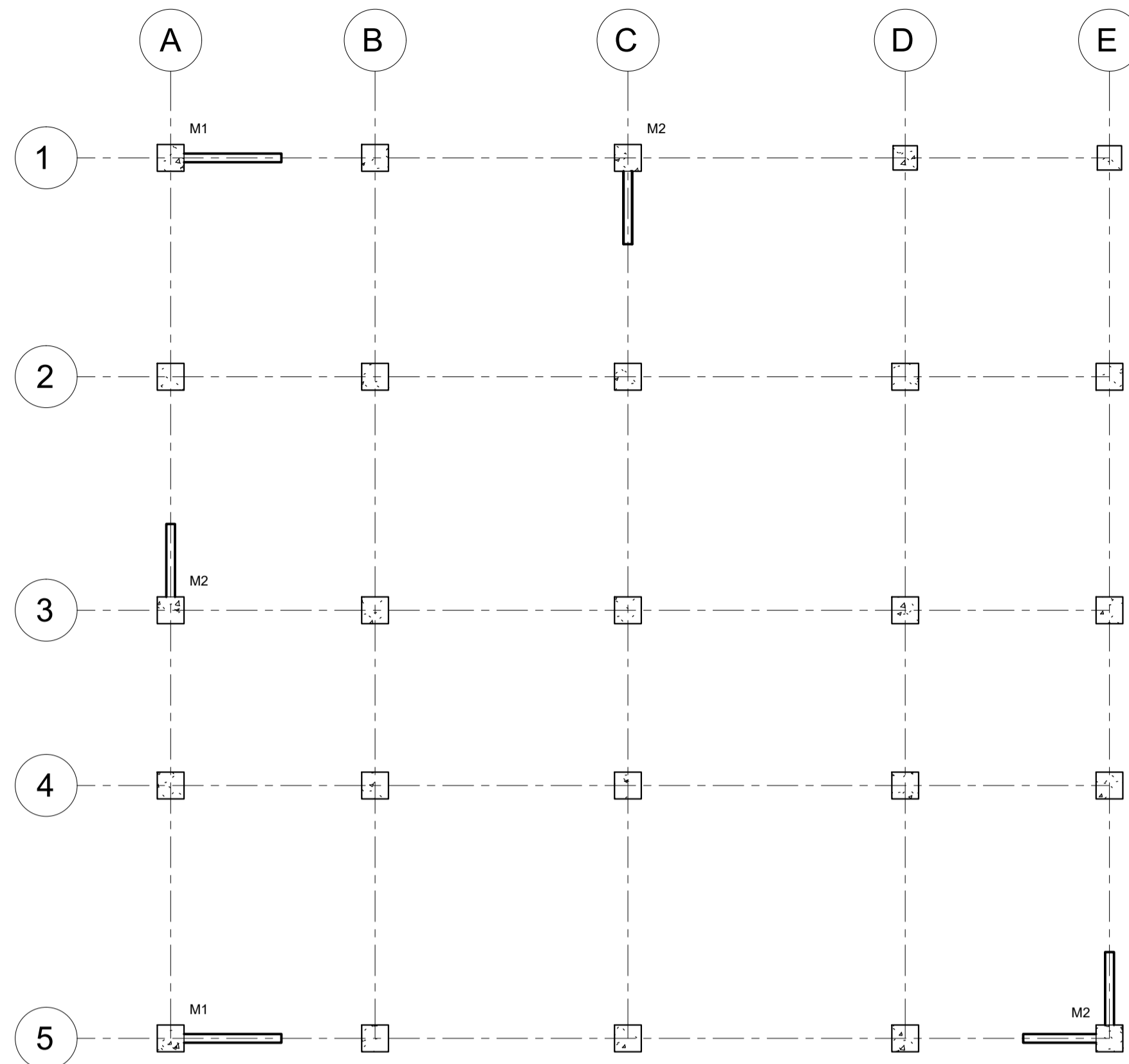


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

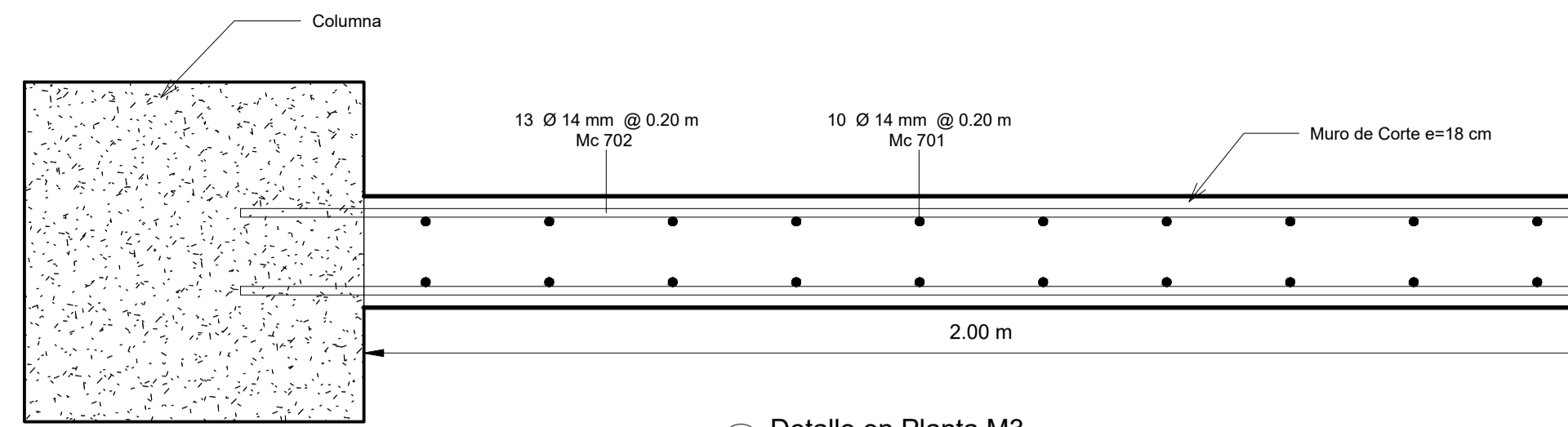
PLANILLA

**PLANILLA DE ACEROS (MUROS DE CORTE)**

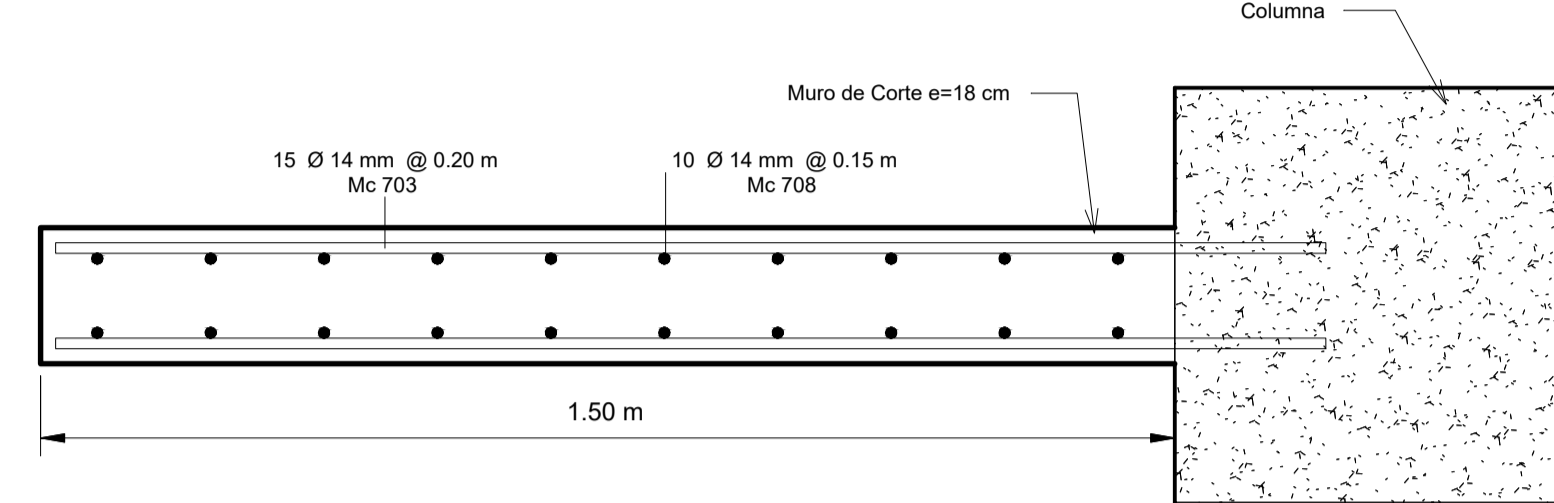
Marca	Tipo	Φ (mm)	Cantidad	Dimensiones (m)					Longitud	Peso (Kg)
				A	B	C	D	E		
<b>Muro de Corte</b>										
700	I'	14	52	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	7.84	113.7
701	I'	14	320	3.06	0.00	0.00	0.00	0.00	97.92	1419.8
702	I'	14	215	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	32.70	474.2
703	I'	14	450	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	50.40	730.8
704	I'	14	50	3.22	0.00	0.00	0.00	0.00	16.10	233.5
705	I'	14	50	3.24	0.00	0.00	0.00	0.00	16.20	234.9
706	I'	14	13	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	28.4
707	L'	14	120	3.23	0.08	0.00	0.00	0.00	39.31	570.4
708	I'	14	80	3.07	0.00	0.00	0.00	0.00	24.58	356.5
709	I'	14	180	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	23.86	346.0



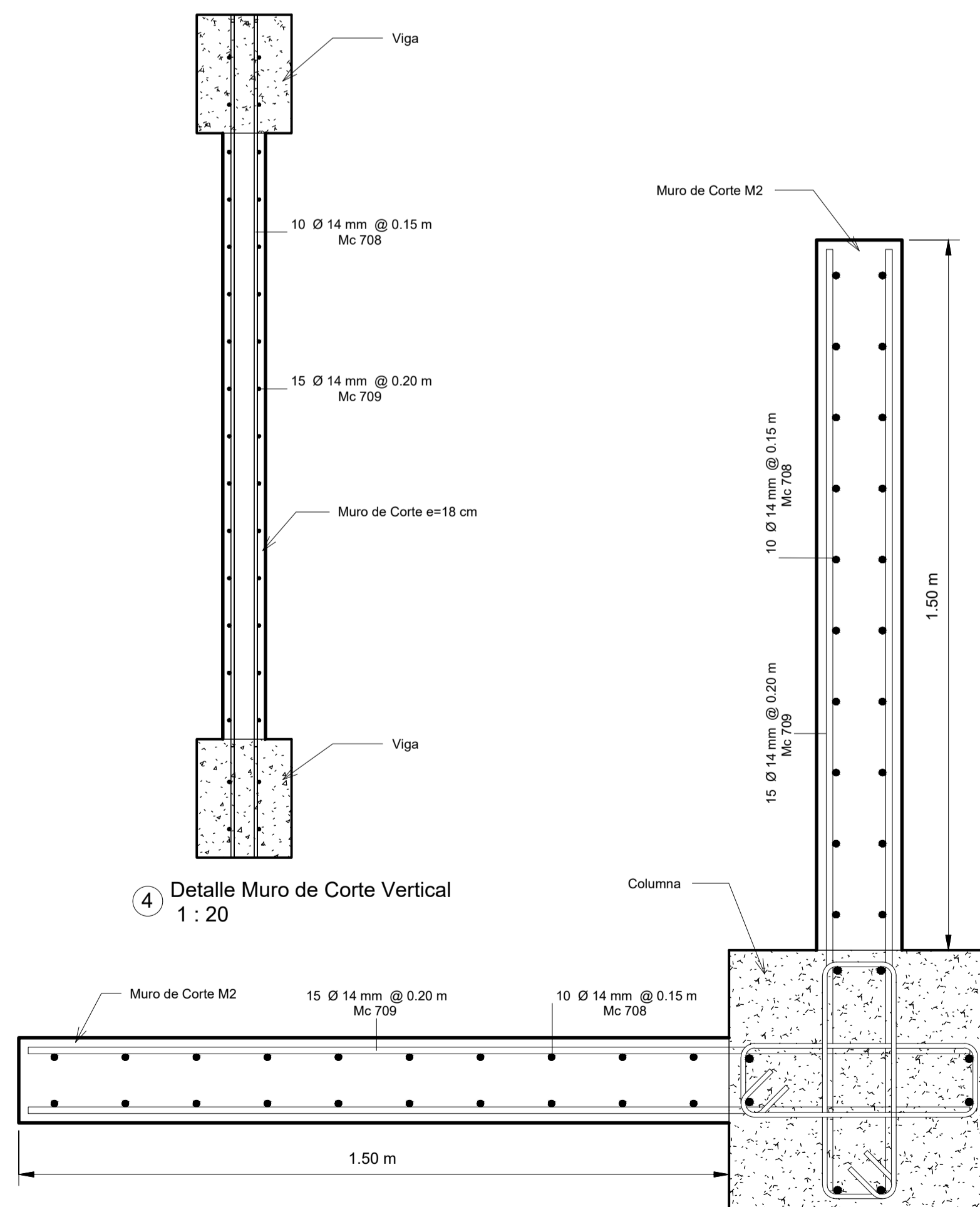
1 Ubicación Muro de Corte  
1 : 100



5 Detalle en Planta M3  
1 : 10

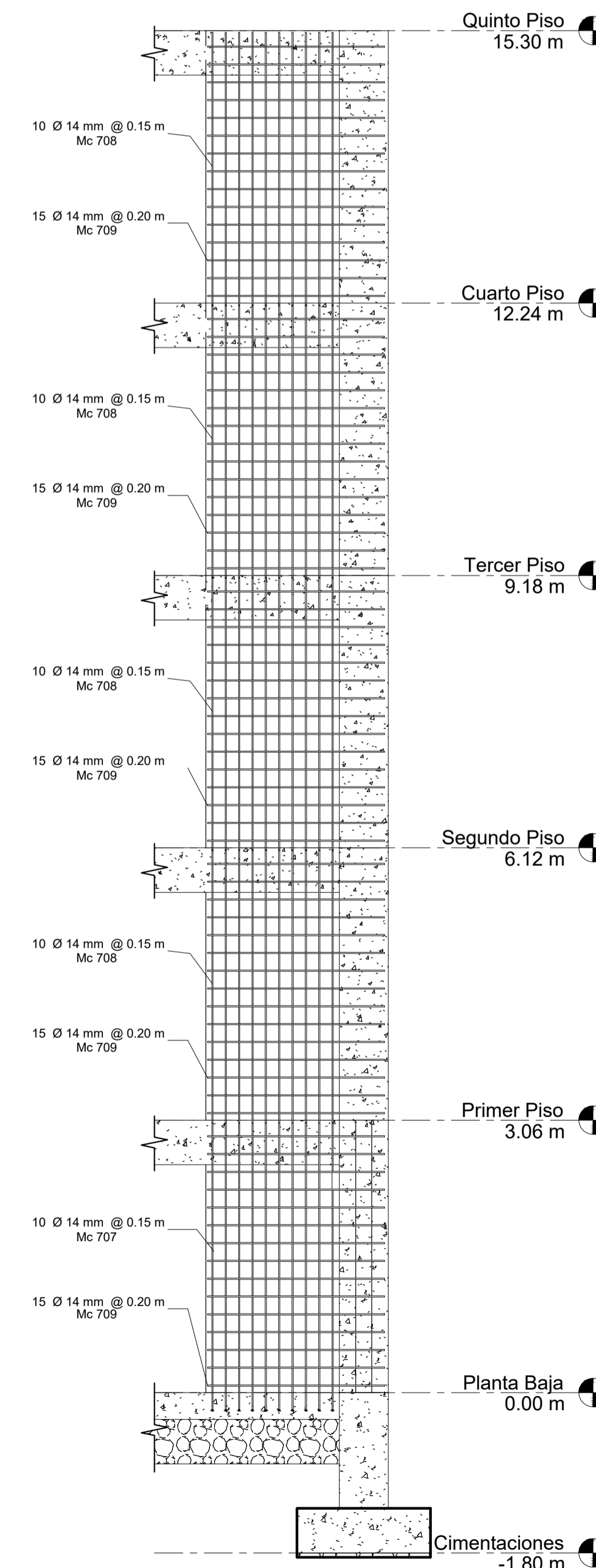


6 Detalle en Planta M2  
1 : 10

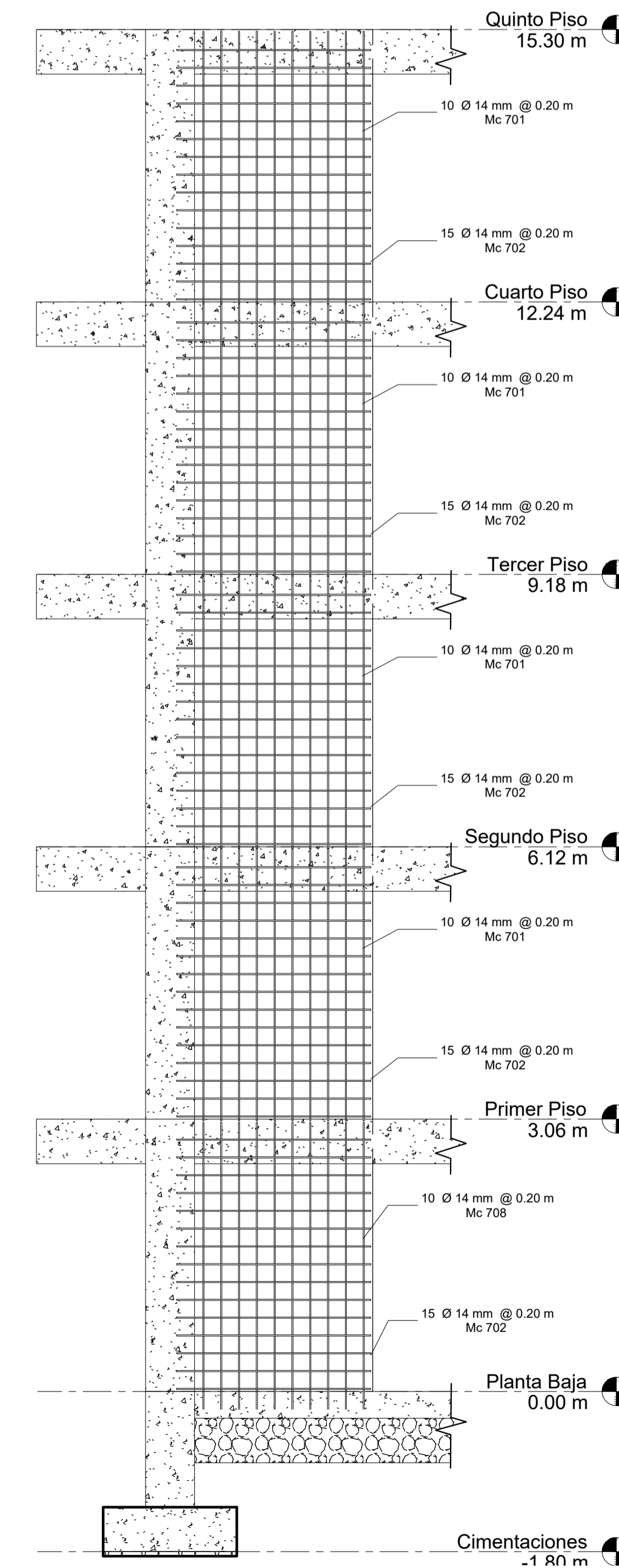


4 Detalle Muro de Corte Vertical  
1 : 20

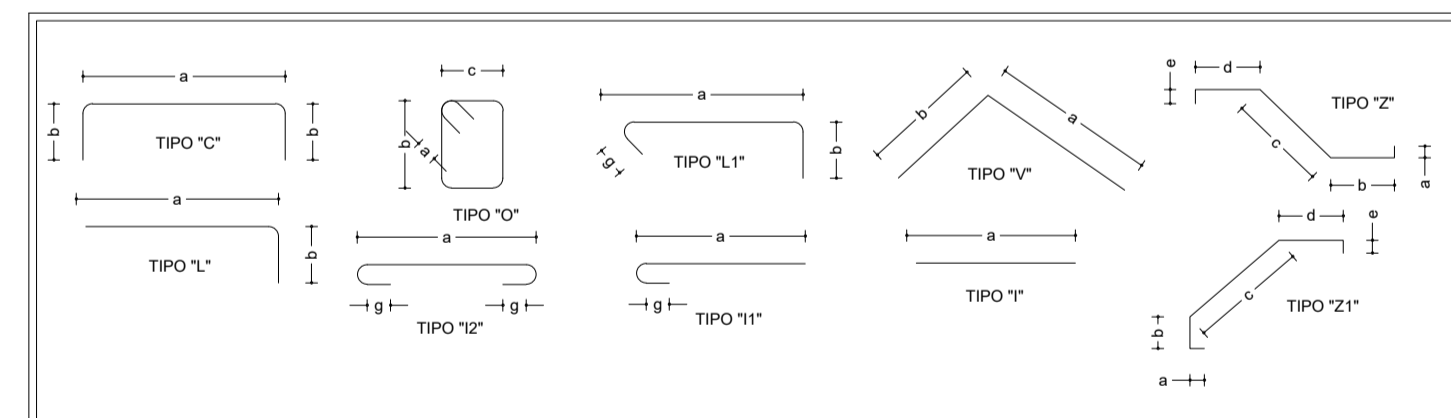
7 Detalle Encuentro Muro  
1 : 10



3 Muro de Corte (M2)  
1 : 50



2 Muro de Corte (M1)  
1 : 50



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:**

- Resistencia del hormigón a los 28 días de edad ( $f_c=240 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Resistencia del hormigón ciclópeo ( $f_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Capacidad portante del suelo ( $q=15 \text{ tonf/m}^2$ )
- Esfuerzo de fluencia de Acero de refuerzo ( $f_{sy}=4200 \text{ kgf/cm}^2$ )
- Composición del hormigón ciclópeo (60% de hormigón y 40% de piedra bola.)
- Las medidas y dobles del Acero se verificarán en obra por el residente de obra.
- El cambio de algún elemento de construcción debe ser consultado con el residente de obra y el calculista.

**UBICACIÓN:**



Propietario:	Universidad Técnica de Ambato
Firma:	
Proyecto:	Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado y con el uso de disipadores de energía Shear Link Bozzo (SLB)
Área del Proyecto:	400 m <sup>2</sup>
Equipo de trabajo	Firma
Diseño:	Alexis Chiffa
Dibujo:	Alexis Chiffa
Aprobo:	Ing. Wladimir Ramirez
Dirección técnica:	Designer

Fecha: 02/14/23

Código: E007

Escala: Indicadas

Contenido: Refuerzo con Muros de Corte

Formato: A1

Lámina: E/7

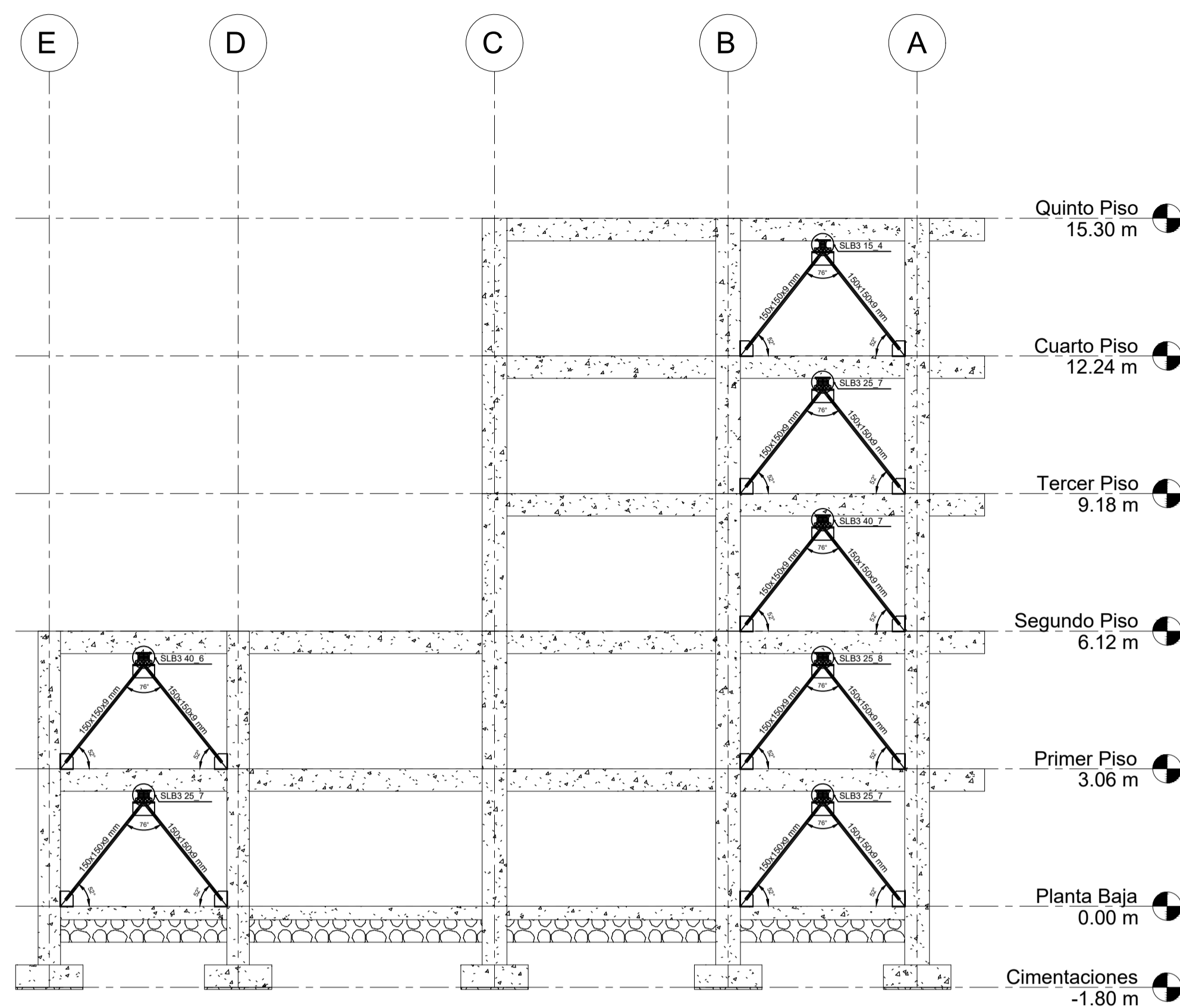


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

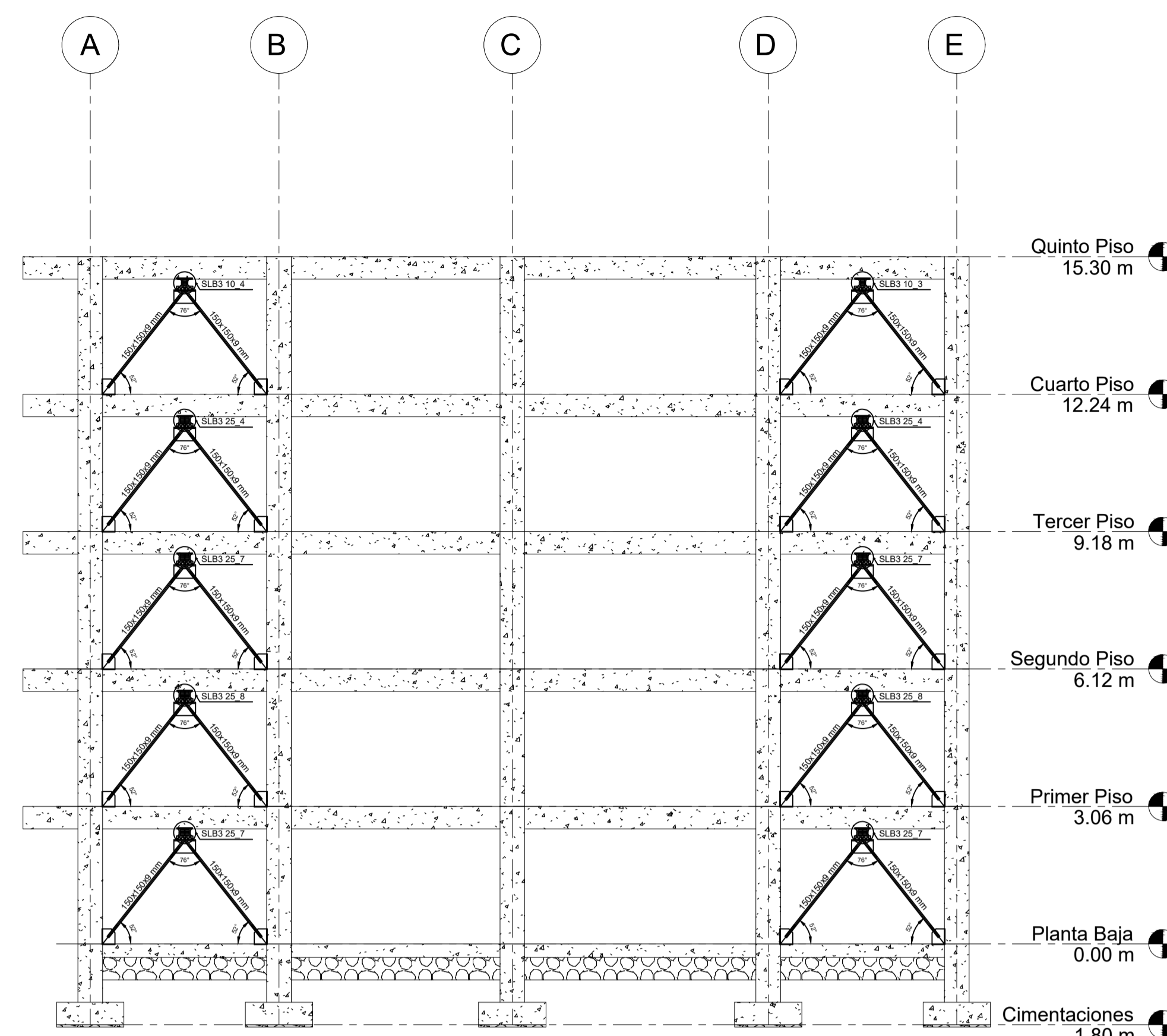
PLANILLA

MARCA	TIPO	ÁNGULO (grados)	CANTIDAD	DIMENSIONES (mm)			LONGITUD (m)	LONGITUD TOT. (m)	PESO UNIT. (kg)	PESO TOT. (kg)
				H	B	e				
100	150°150°9	52	34	0.15	0.15	0.009	2.8	95.2	494.55	16814.7
101	150°150°9	49	4	0.15	0.15	0.009	2.85	11.4	503.38	2013.525
102	150°150°9	47	10	0.15	0.15	0.009	2.95	29.5	521.04	5210.4375
103	150°150°9	45	10	0.15	0.15	0.009	3.1	31	547.54	5475.375

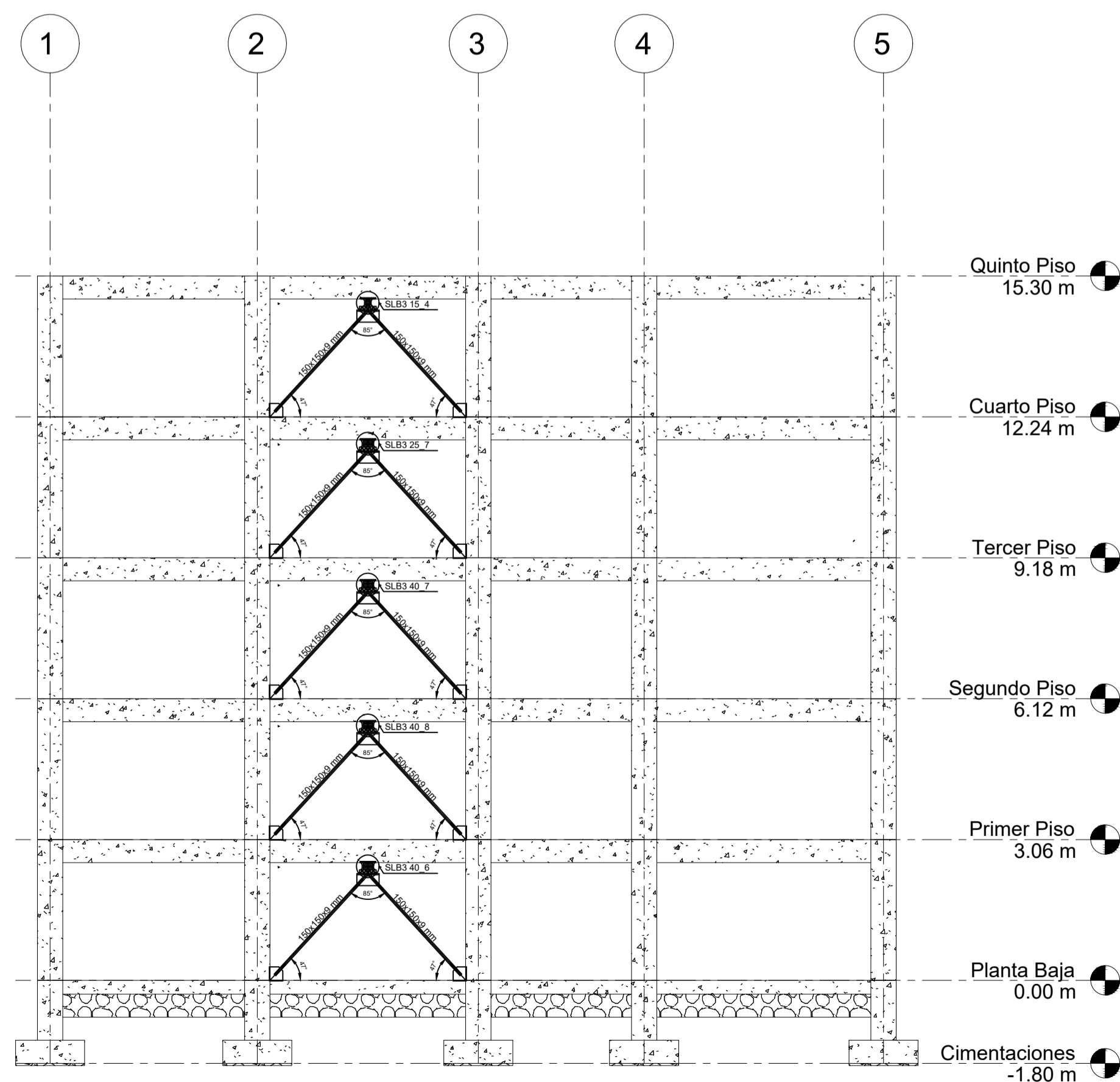
PESO TOTAL (kg) 18828.225



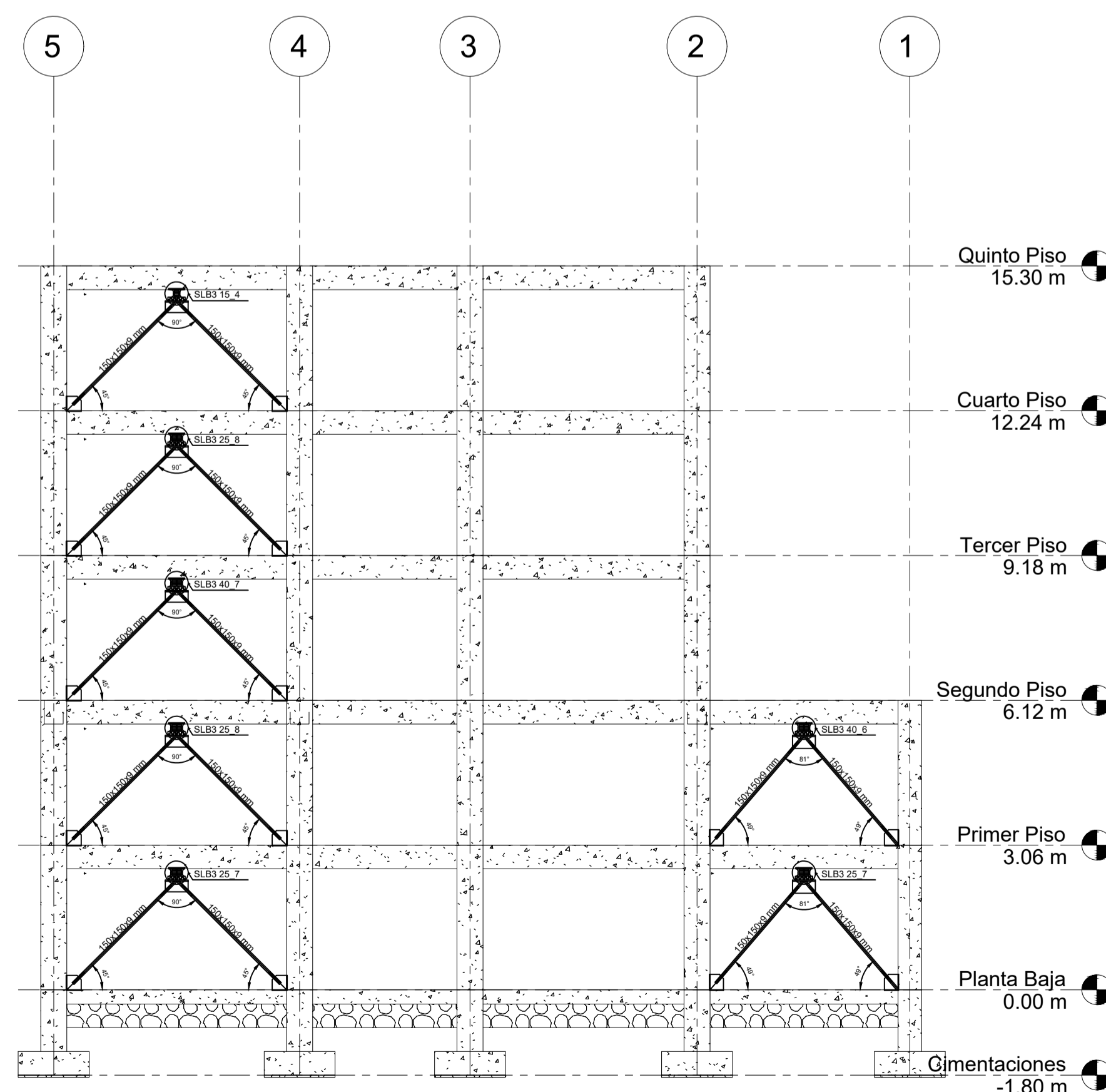
1 Elevación Norte  
1 : 100



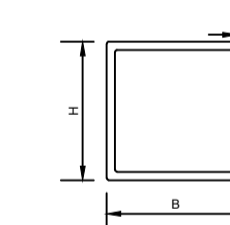
2 Elevación Sur  
1 : 100



3 Elevación Este  
1 : 100



4 Elevación Oeste  
1 : 100



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Acero estructural ASTM A36
- Diagonales 150°150°9 mm ASTM A36
- Planchas de conexión ASTM A36
- Barras de anclaje corrugadas (F<sub>sy</sub>= 4200 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Soldadura con electrodo E-70XX
- Soldadura conforme será conforme a lo especificado por el código de soldadura AWS D.1.1/D.1.1M 2010
- El personal a cargo de la soldadura debe estar certificado

UBICACIÓN:



Propietario: Universidad Técnica de Ambato

Firma:

Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado convencional y con el uso de disipadores de energía Shear-Link Bozzo (SLB)

Área del Proyecto: 400 m<sup>2</sup>

Equipo de trabajo Firma

Diseño: Alexis Chiffa

Fecha: 02/21/23

Dibujo: Alexis Chiffa

Código: E008

Formato: A1

Escala: Indicadas

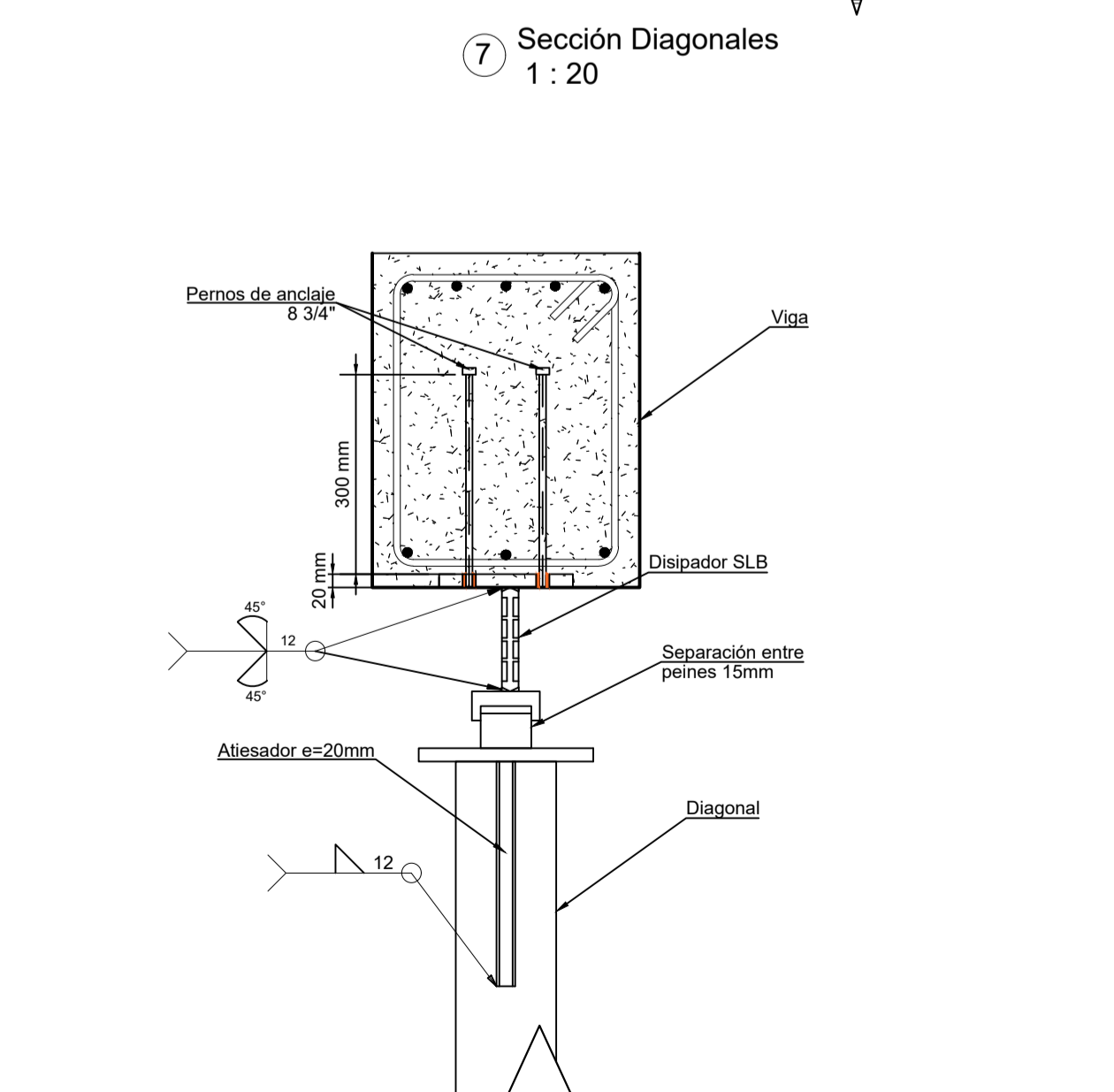
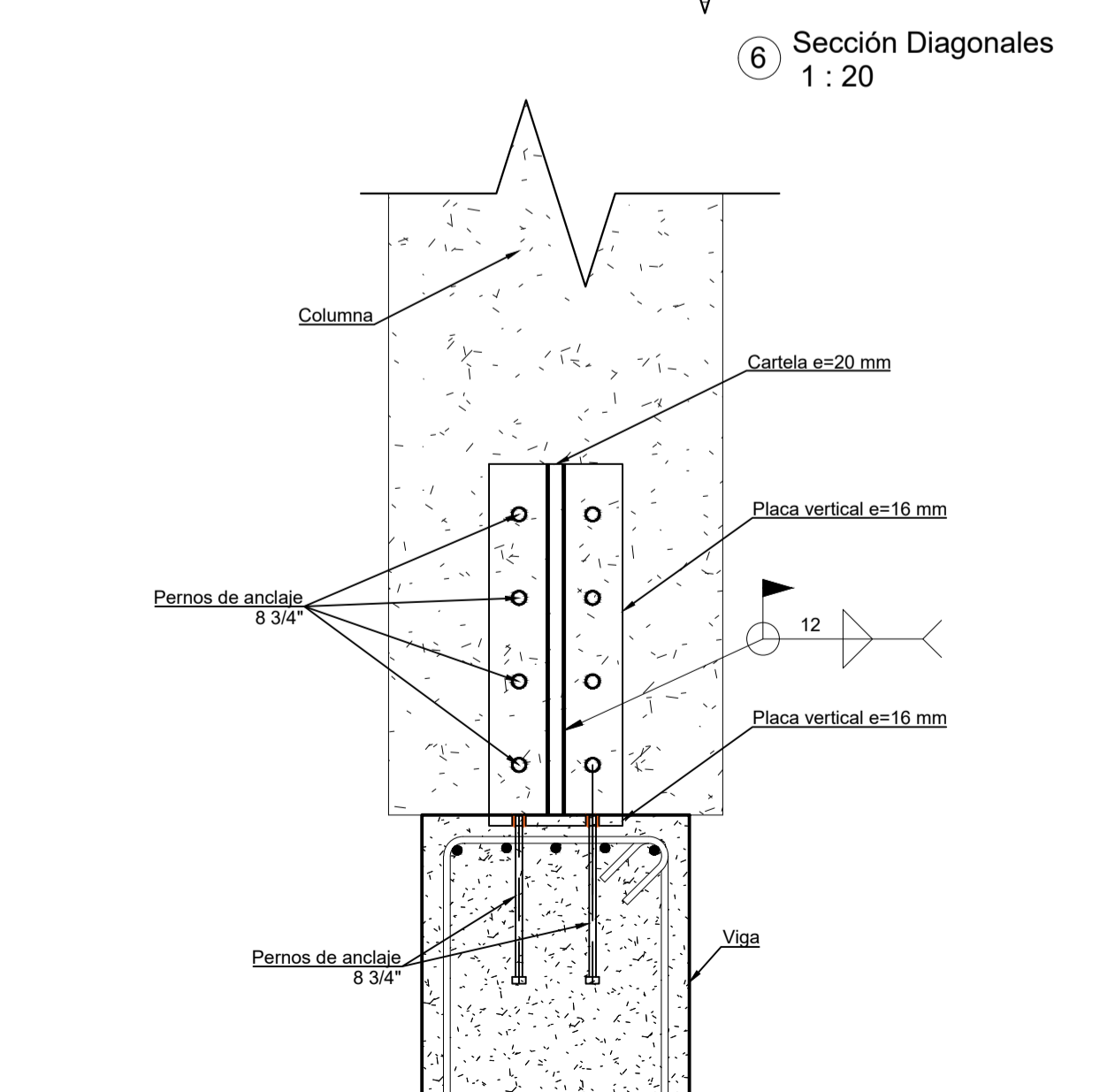
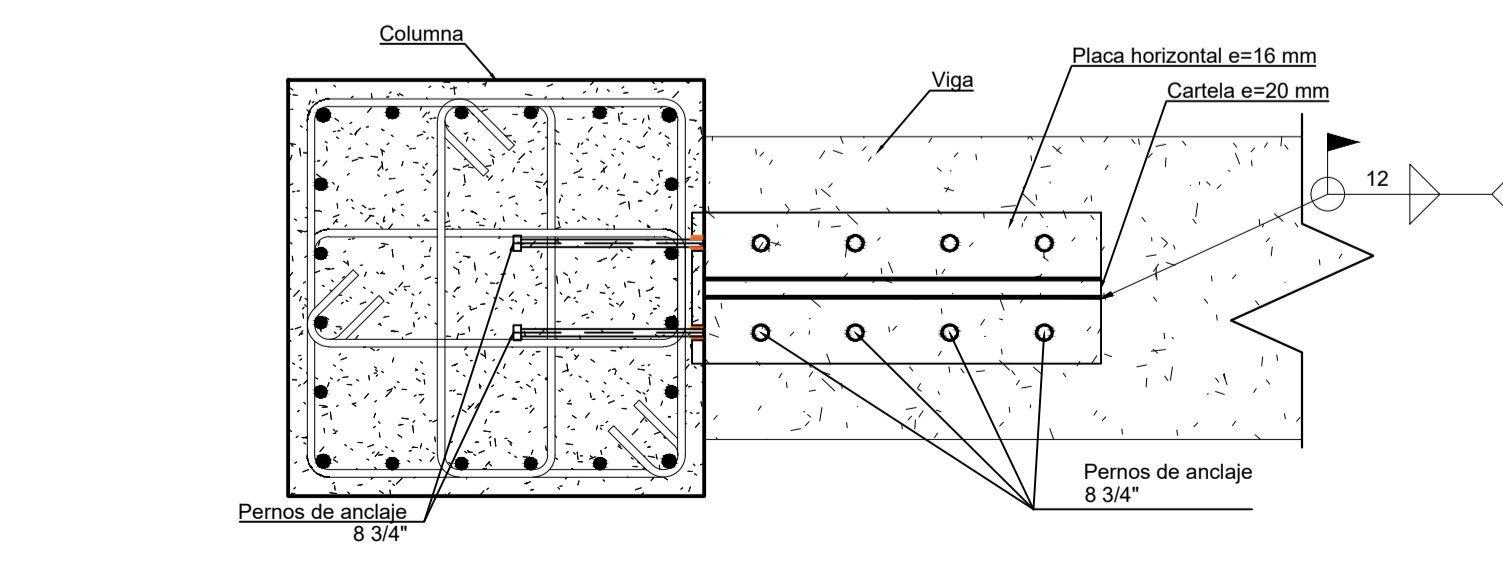
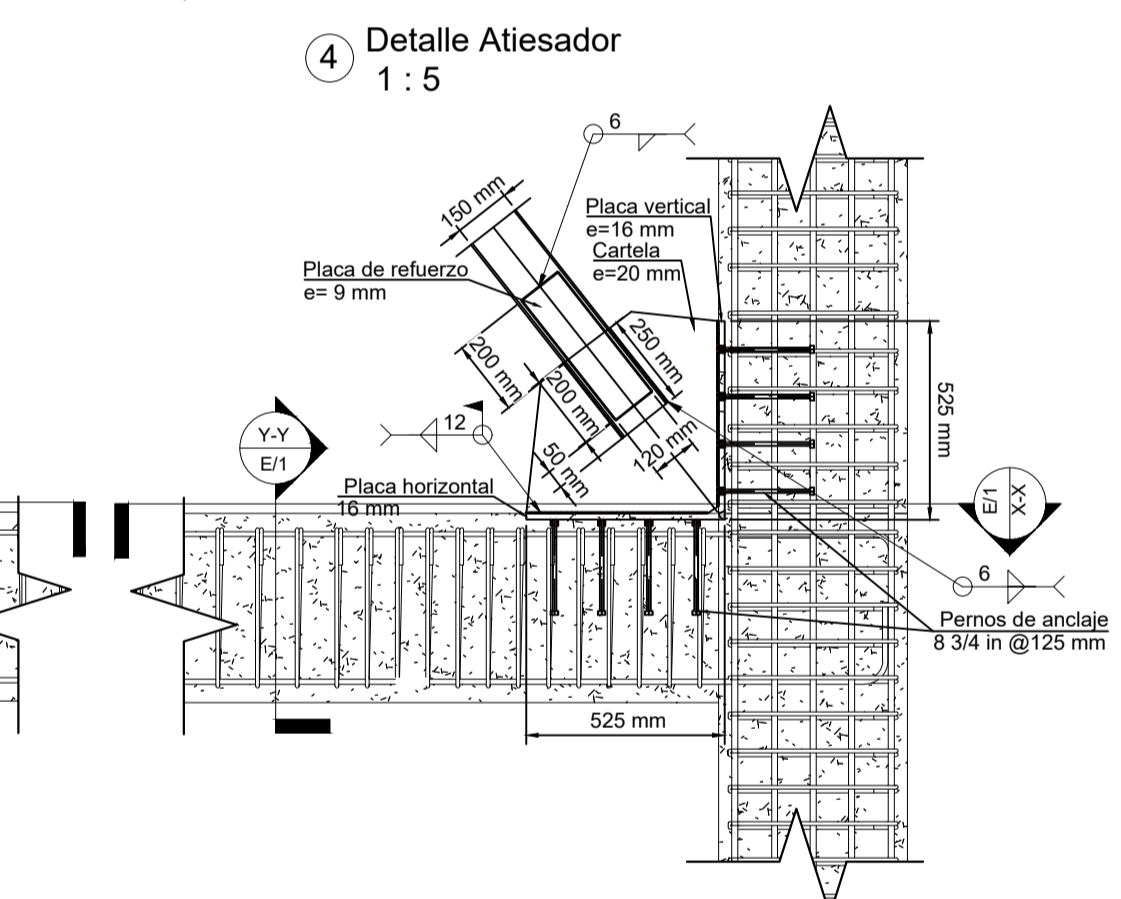
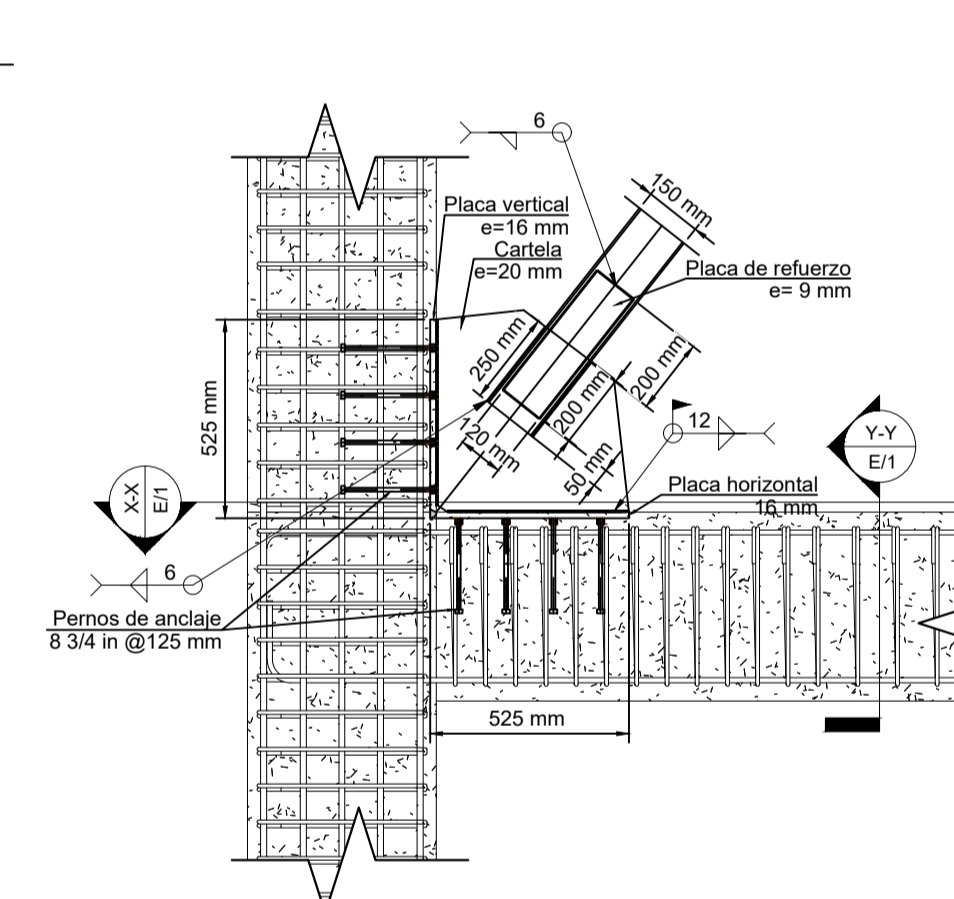
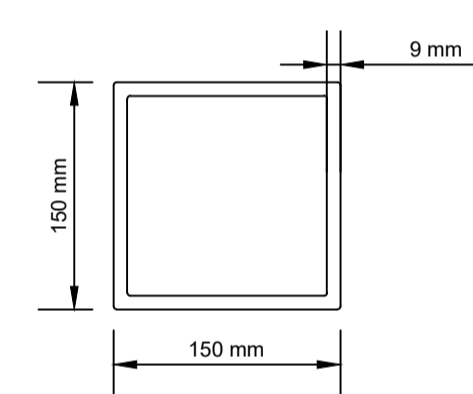
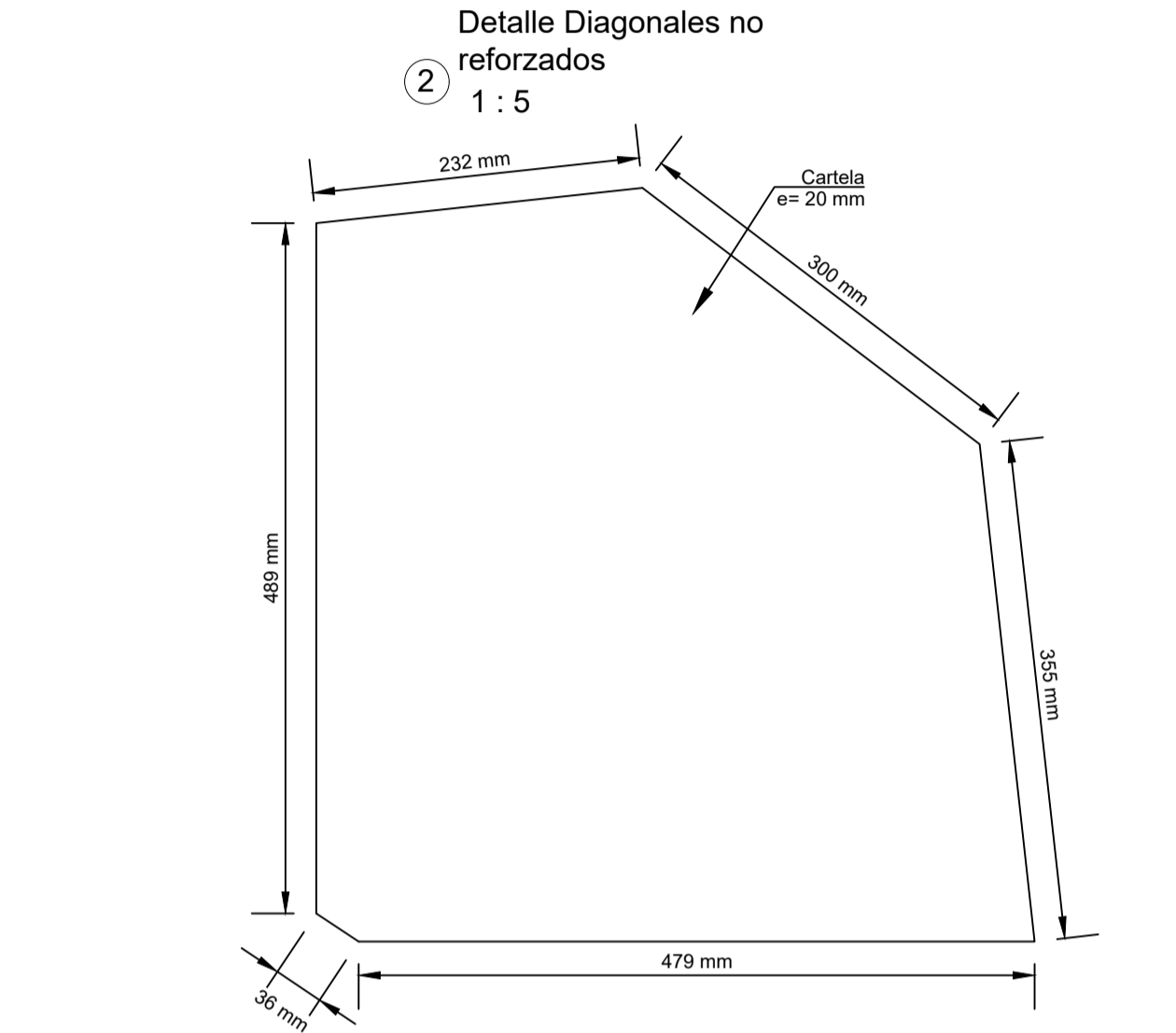
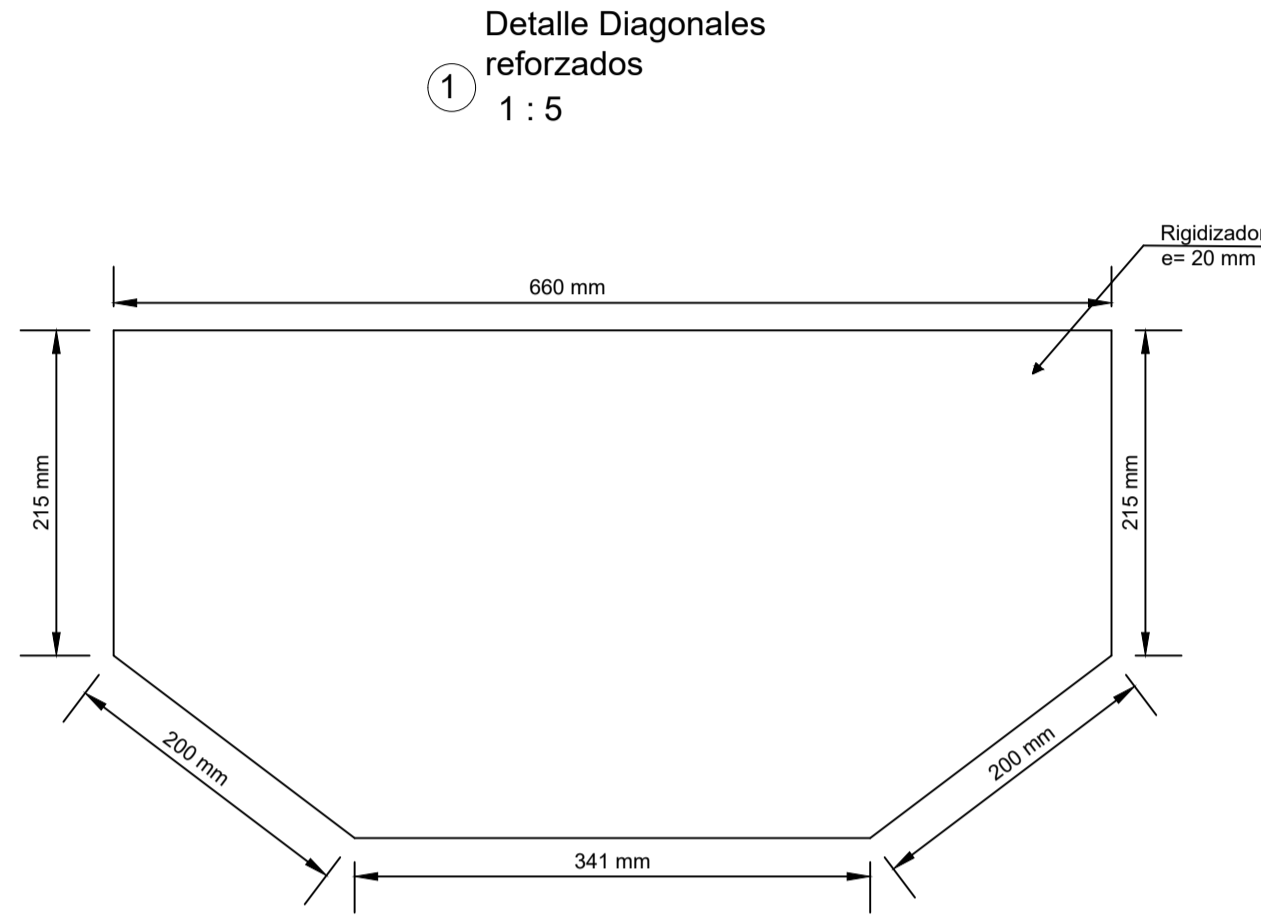
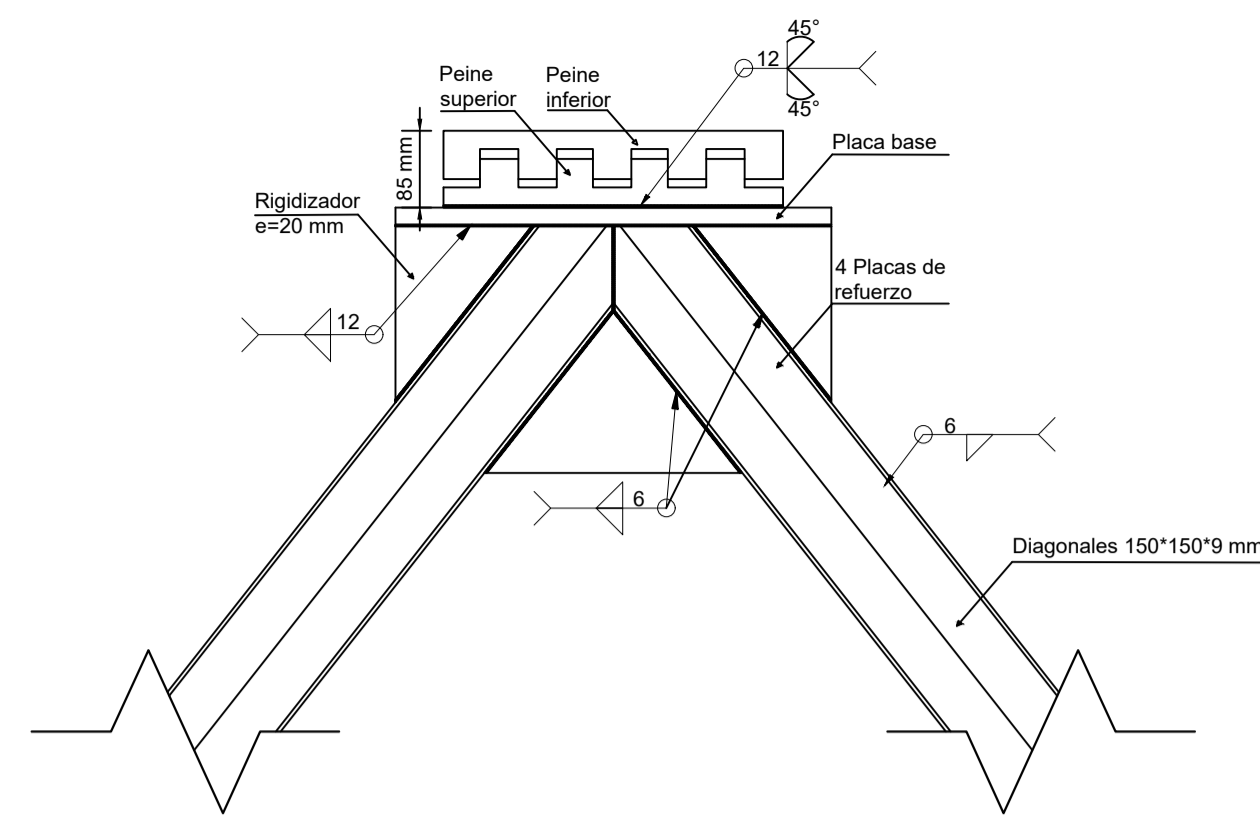
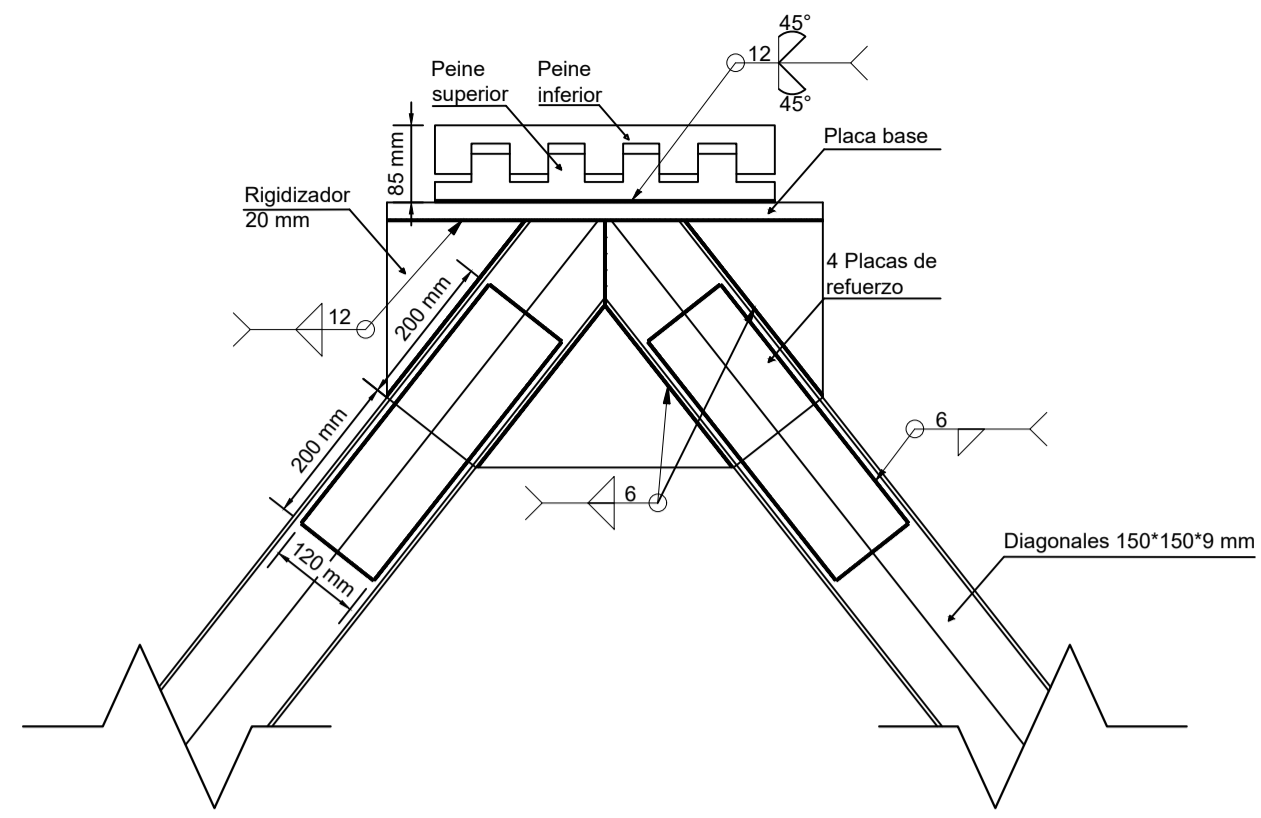
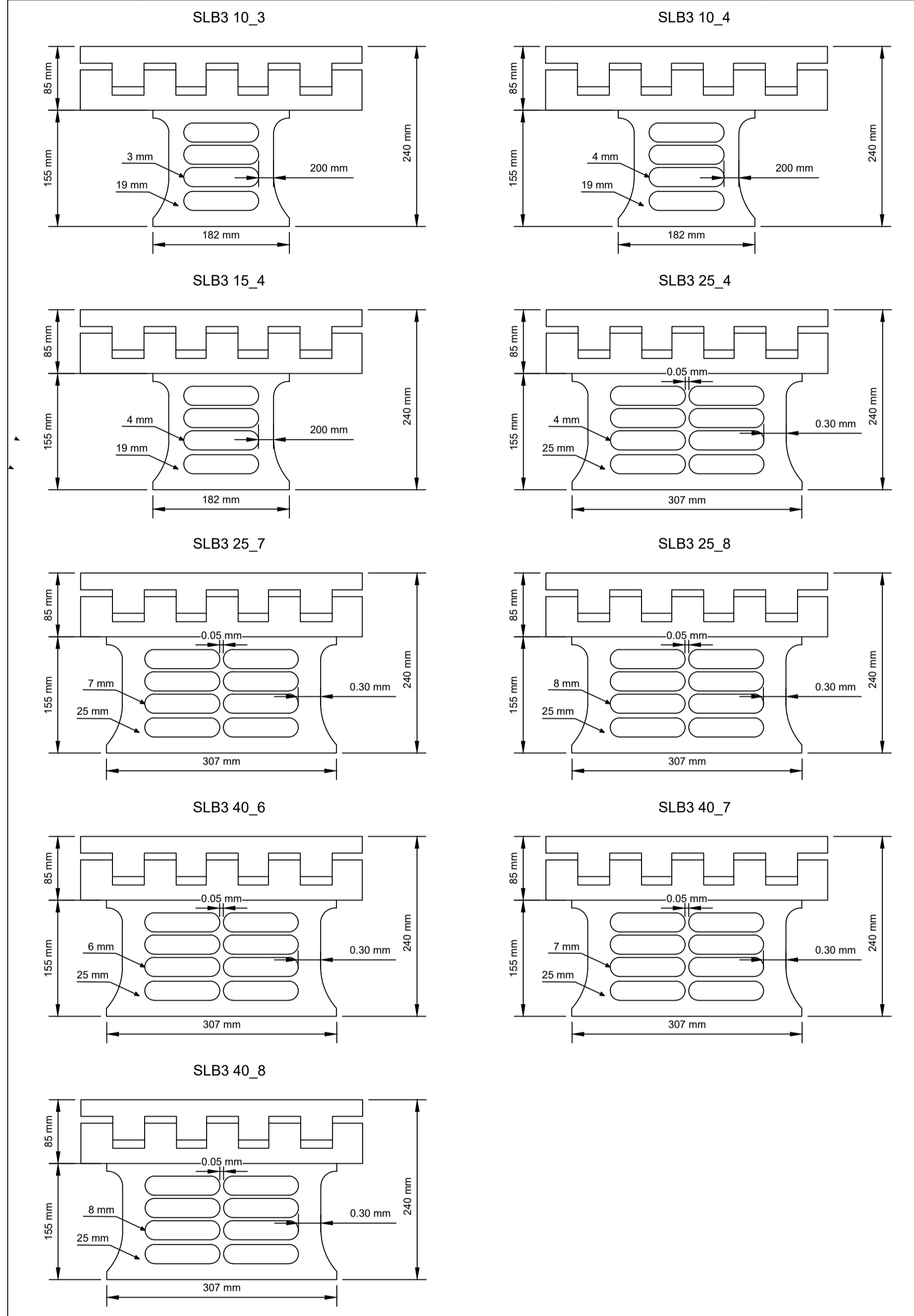
Lámina: E/8

Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez

Contenido: Refuerzo con disipadores SLB

Dirección técnica:

CUADRO DE DISIPADORES			
TIPO	UBICACIÓN	REFUERZO DIAGONALES	CANTIDAD
SLB3 10_3	Elevación Este	No Reforzado	1
SLB3 10_4	Elevación Este	No Reforzado	1
SLB3 15_4	Elevación Norte, Sur, Oeste	No Reforzado	3
SLB3 25_4	Elevación Este	Reforzado	2
SLB3 25_7	Elevación Norte, Sur, Este, Oeste	Reforzado	10
SLB3 25_8	Elevación Norte, Sur, Este	Reforzado	5
SLB3 40_6	Elevación Norte, Sur, Oeste	Reforzado	3
SLB3 40_7	Elevación Norte, Sur, Oeste	Reforzado	3
SLB3 40_8	Elevación Oeste	Reforzado	1



2 Detalle X-X  
1 : 10

2 Detalle Y-Y  
1 : 10

2 Detalle Cartela  
1 : 10



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PLANILLA

MARCA	TIPO	ÁNGULO (grados)	CANTIDAD	DIMENSIONES (mm)			LONGITUD (m)	LONGITUD TOT. (m)	PESO UNIT. (kg)	PESO TOT. (kg)
				H	B	e				
100	150°150°9	52	34	0.15	0.15	0.009	2.8	85.2	494.55	16814.7
101	150°150°9	49	4	0.15	0.15	0.009	2.85	11.4	503.38	2013.525
102	150°150°9	47	10	0.15	0.15	0.009	2.95	29.5	521.04	5210.4375
103	150°150°9	45	10	0.15	0.15	0.009	3.1	31	547.54	5475.375

PESO TOTAL (kg) 18828.225

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Acero estructural ASTM A36
- Diagonales 150°150°9 mm ASTM A36
- Planchas de conexión ASTM A36
- Barras de anclaje corrugadas (F<sub>y</sub>= 4200 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Soldadura con electrodo E-70XX
- Soldadura conforme será conforme a lo especificado por la código de soldadura AWS D.1.1/D.1.1M 2010
- El personal a cargo de la soldadura debe estar certificado

UBICACIÓN:		Propietario: Universidad Técnica de Ambato	
		Firma:	
		Proyecto: Análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado convencional y con el uso de disipadores de energía Shear-Link Bozzo (SLB)	
Área del Proyecto: 400 m <sup>2</sup>		Firma	
Equipo de trabajo		Firma	
Diseño: Alexis Chiffa		Dibujó: Alexis Chiffa	
Fecha: 02/21/23		Aprobo: Ing. Wladimir Ramirez	
Código: E009		Formato: A1	
Escala: Indicadas		Lámina: E/9	
Contenido:		Detalles disipadores SLB	