



INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS
LATERALES DE UN EDIFICIO DE CONCRETO
ARMADO, CON MUROS DE MAMPOSTERÍA
CONFINADA Y PISO SUAVE.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

BALLESTEROS OLIVARES PALOMA

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. CUTBERTO RODRÍGUEZ ÁLVAREZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DRA. LILIANA GUADALUPE LIZÁRRAGA MENDIOLA

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO. JUNIO, 2016.

Índice

Resumen.....	12
Introducción.....	12
Capítulo 1 GENERALIDADES.....	15
1.1 Antecedentes	14
1.1.1 Mampostería.....	14
1.1.2 Estructuras de concreto reforzado con piso suave.....	14
1.1.3 Sismicidad en la zona del Pacífico Mexicano.....	15
1.1.4 Ingeniería Sísmica.....	16
1.2 Problemática	16
1.3 Justificación	16
1.4 Hipótesis	19
1.5 Objetivo general	19
1.5.1 Objetivos específicos	19
1.5.2 Meta.....	20
1.6 Alcances de la investigación	20
1.7 Descripción del área de estudio.....	20
1.7.1 Fisiografía	20
1.7.2 Localización geográfica.....	23
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	24
2.1. Estructuras de concreto reforzado.....	24
2.1.1 Consideraciones de diseño.....	24
2.1.2 Diseño estructural	27
2.1.3 Estructuras de concreto.....	28
2.1.4 Características acción-respuesta de elementos de concreto.....	29
2.1.5 Análisis de estructuras de concreto reforzado	29
2.1.6 Dimensionamiento de elementos de concreto reforzado	30
2.1.7 Consideraciones en el comportamiento de una estructura de CR.....	31
2.2. Mampostería.....	32

2.2.1.	Mampostería estructural.....	32
2.2.2.	Clasificación de la mampostería estructural	33
2.3.	Piso suave o planta baja débil.....	35
2.4.	Introducción a ECOgcW.....	36
2.4.1.	Análisis considerados en el software ECOgcW	37
2.5.	Simulación de edificios SIB.....	41
2.5.1.	Monte Carlo.....	41
2.5.2.	Simulación de cargas	41
2.5.3.	Incertidumbres geométricas y materiales en miembros estructura	43
2.5.4.	Código FORTRAN.....	44
2.6.	Modelación de elementos del sistema estructural.....	45
2.6.1.	Elementos viga-columna.....	45
2.6.2.	Muros de mampostería de relleno	46
2.7.	Opensees conforme Silvia Mazzoni (Curso OpenSees, 26 de septiembre 2014; UC Berkeley)	50
2.7.1.	Marco en OpenSees.....	51
2.7.2.	Uso de OpeenSees.....	51
Capítulo 3.	MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1.	Esquematzación	52
3.2.	Metodología ECOgcW.....	53
3.2.1.	Análisis estructural por medio de ECOgcW	53
3.3.	Diseño de Armado.....	61
3.3.1.	Columna:	61
3.3.2.	Trabes o vigas.....	61
3.4.	Metodología SIB.....	67
3.4.1.	Primer archivo	67
3.4.2.	Segundo archivo.....	68
3.5.	Metodología OpenSees.....	70
3.5.1.	Sin presencia de paneles	70

3.5.2. Con presencia de paneles.....	70
Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	72
4.1. Cálculo estructural en el software ECOgcW.....	72
4.1.1. Secciones transversales	72
4.1.2. Diafragmas.....	73
4.1.3. Análisis sísmico dinámico	74
4.1.4. Peso total del sismo.....	75
4.1.5. Rigideces de entrepiso	76
4.2. Diagramas Resultantes del software ECOgcW.....	77
4.2.1. Columnas (Diseño a flexocompresión)	77
4.2.2. Trabes o vigas (Diseño a flexión).	80
4.3. Programación de datos para ingreso al software SIB (Simulación de edificios).....	82
4.4. Resultados conforme al Software SIB.....	93
4.5. Resultados – Modelación en OpenSees.....	97
4.6 Registros Reales Sísmicos.....	99
4.7 Análisis en <i>OpenSees</i>.....	107
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
Anexo 1 Esquematización de columnas conforme al software ECOgcW.	130
Anexo 2 Diagramas trabe-viga.....	132
Anexo 3 Recopilación de datos en hoja de cálculo.	154
Anexo 4 Propuesta de acero longitudinal y bastones para cada trabe.	159
Anexo 5 Representación gráfica del armado longitudinal de las distintas secciones existentes de los elementos trabe.	171
Anexo 6 Características de cada elemento trabe.....	174
Anexo 7 Generaciones de la configuración estructural.....	175
Anexo 8. Secciones (Trabes y Columnas).....	175

Lista de Figuras.

Figura 1.1.	Población afectada por tipo de desastre	18
Figura 1.2.	Costo en millones por tipo de desastre	18
Figura 1.3.	Geología del oriente de Acapulco	21
Figura 1.4.	Regionalización sísmica de la República Mexicana	22
Figura 1.5.	Zonificación geosísmica	22
Figura 1.6.	Localización geográfica de Acapulco de Juárez	23
Figura 2.1.	Mapa conceptual “Contenido del marco teórico”	24
Figura 2.2.	Rotación elástica de nudos de entrepiso	32
Figura 2.3.	Mampostería reforzada	33
Figura 2.4.	Mampostería estructural simple	34
Figura 2.5.	Ejemplos de casos de mampostería confinada	34
Figura 2.6.	Requisitos para mampostería confinada	35
Figura 2.7.	Ejemplos de edificios con irregularidad “piso suave”	35
Figura.2.8.	Falla de planta baja por piso suave	36
Figura 2.9.	Impresión de pantalla Análisis	38
Figura 2.10.	Impresión de pantalla Análisis Sísmico	39
Figura 2.11.	Impresión de pantalla Parámetros de Diseño	40
Figura 2.12.	Discretización triangular de SIB	43
Figura 2.13.	Fibra elemento de viga-columna en el sistema de referencia local; subdivisión de sección transversal en forma de fibras	45

Figura 2.14.	Mecanismo piso suave en planta baja	46
Figura 2.15.	Modelo diagonal a compresión para estimar la rigidez de un muro de relleno	48
Figura 2.16.	Modelo de interacción fibra-sección	49
Figura 3.1.	Diagrama de flujo “Metodología software ECOgcW”	60
Figura 3.2.	Hoja de cálculo; Discretización de elementos sobre el eje Y	62
Figura 3.3.	Hoja de cálculo; Discretización de elementos sobre el eje X	62
Figura 3.4.	Esquema “Propuesta de acero longitudinal y transversal para elementos trabe-viga”	63
Figura 3.5.	Esquema “Propuesta de acero longitudinal y transversal para elementos trabe-viga”	64
Figura 3.6.	Representación de armado transversal de secciones existentes de elementos trabe-viga	65
Figura 3.7.	Diagrama de flujo “Diseño de armado”	66
Figura 3.8.	Mapa conceptual “Metodología SIB”	67
Figura 3.9.	Diagrama de flujo “Metodología del proyecto”	71
Figura 4.1.	Impresión de pantalla ECOgcW (Secciones transversales)	72
Figura 4.2.	Impresión de pantalla ECOgcW (Diafragmas)	73
Figura 4.3.	Importancia de diafragma rígido	74
Figura 4.4.	Impresión de pantalla (Análisis sísmico dinámico)	75
Figura 4.5.	I. de pantalla ECOgcW (Peso total del sismo)	75

Figura 4.6.	Impresión de pantalla ECOgcW (Estimación de..... rigideces de entrepiso)	76
Figura 4.7.	Esquemmatización de columnas en base a resultados del software ECOgcW para el primer nivel del..... modelo propuesto	77
Figura 4.8.	Columna en el primer nivel, con mayor cantidad de..... acero	78
Figura 4.9.	Diseño de columnas estándar por cada nivel	79
Figura 4.10.	Trabe 1/1. Esquemmatización de diagramas de..... momento máximo superior e inferior, cantidad de acero en el lecho superior e inferior que se necesita para absorber la fuerza de momento, corte máximo superior e inferior y la separación entre estribos	80
Figura 4.11.	Propuesta de acero longitudinal y bastones para la..... trabe. 1/1	81
Figura 4.12.	Armado longitudinal tipo 1, 2,3	82
Figura 4.13.	Impresión de pantalla Notepad++, Fichero de..... entrada principal	83
Figura 4.14.	Impresión de pantalla Notepad++, Acciones de SIB..... y unidades de entrada	84
Figura 4.15.	Impresión de pantalla Notepad++, Nodos y..... coordenadas	84
Figura 4.16.	Generaciones de la configuración estructural	85
Figura 4.17.	Impresión de pantalla Notepad++, Pisos	86
Figura 4.18.	Impresión de pantalla Notepad++, Existencia y..... Conectividad	86
Figura 4.19.	Impresión de pantalla Notepad++, Losas	87

Figura 4.20.	Impresión de pantalla Notepad++, Muros	87
Figura 4.21.	Impresión de pantalla Notepad++, Parámetros de..... variación de área de acero de refuerzo	88
Figura 4.22.	Impresión de pantalla Notepad++, Unidades y..... factores de carga viva	89
Figura 4.23.	Impresión de pantalla Notepad++, Características..... de secciones transversales de trabes y columnas	90
Figura 4.24.	Impresión de pantalla Notepad++, Recubrimiento..... del concreto para elementos trabe y columna	90
Figura 4.25.	Impresión de pantalla Notepad++, Características..... de acero y concreto para elementos trabe y columna	91
Figura 4.26.	Impresión de pantalla Notepad++, Refuerzo transversal (estribos) de elementos trabe y columna..... y carga longitudinal sobre trabe	91
Figura 4.27.	Impresión de pantalla Notepad++, Refuerzo..... longitudinal en columna	91
Figura 4.28.	Impresión de pantalla Notepad++, Propiedades..... estructurales de los elementos trabe y columna	89
Figura 4.29.	Impresión de pantalla Notepad++, Parámetros de..... variación del refuerzo transversal	93
Figura 4.30.	Archivos totales de entrada	94
Figura 4.31.	Impresión de pantalla Software SIB, corrida..... completa	94
Figura 4.32.	Impresión de pantalla, del archivo “EDIFMODn”, donde n representanta el número de edificio..... simulado	95
Figura 4.33.	Idealización – Estructura de CR con muros de.....	96

	mampostería y piso suave	
Figura 4.34.	Idealización de distribución de muros en la.....	97
	estructura	
Figura 4.35.a	Consideración de muros en base al modelo de fibra-.....	98
	sección	
Figura 4.35.b	Consideración de muros en base al modelo de fibra-.....	98
	sección	
Figura 4.36.	Implementación del archivo MWALL	99
Figura 4.37.	Edificio 1, Quinto nivel, Distorsión/Tiempo	115
Figura 4.38.	Sismo CALE9701.111,Componente N90W	115
Figura 4.39.	Edificio 2, Quinto nivel, Distorsión/Tiempo	116
Figura 4.40.	Sismo PARS8509.211,Componente N90W	116
Figura 4.41.	Edificio 3, Quinto nivel, Distorsión/Tiempo	117
Figura 4.42.	Sismo VIGA8904.251,Componente N90W	117
Figura 4.43.	Edificio 4, Quinto nivel, Distorsión/Tiempo	118
Figura 4.44.	Sismo ACAP7803.191,Componente N90W	118
Figura 4.45.	Edificio 5, Quinto nivel, Distorsión/Tiempo	119
Figura 4.46.	Sismo LLAV9005.311,Componente N90W	119

Lista de Tablas.

Tabla 1.1.	Impacto de desastres en 2010 por tipo de evento.	17
Tabla 2.1.	Significado de variables “Modelación dentro del plano”	50
Tabla 3.1.	Geometría estructural	54
Tabla 3.2.	Características específicas de elementos	54
Tabla 3.3.	Características geométricas de viga y columna	56
Tabla 3.4.	Espesor de losas y muros	56
Tabla 3.5.	Información relativa de los materiales empleados	56
Tabla 3.6.	Tipos de diseño y variables a considerar	57
Tabla 3.7.	Datos de entrada para el análisis sísmico	58
Tabla 4.1.	Datos en hoja de cálculo, elemento 1/1	81
Tabla 4.2.	Periodos en edificios sin muros	108
Tabla 4.3.	Periodos en edificios con muros	108
Tabla 4.4.	Comparativa (Periodos después de experimentar una carga externa)	109
Tabla 4.5.	Comparativa de relación Distorsión/Tiempo, Primer entrepiso	110
Tabla 4.6.	Comparativa de relación Distorsión/Tiempo, Segundo entrepiso	111
Tabla 4.7.	Comparativa de relación Distorsión/Tiempo, Tercer entrepiso	112
Tabla 4.8.	Comparativa de relación Distorsión/Tiempo, Cuarto entrepiso	113
Tabla 4.9.	Comparativa de relación Distorsión/Tiempo, Quinto entrepiso	114

Lista de gráficas

Grafica 4.1.	Distorsión /Tiempo SM, Primer entrepiso	.....	110
Gráfica 4.2.	Distorsión /Tiempo CM, Primer entrepiso	.....	110
Grafica 4.3.	Distorsión /Tiempo SM, Segundo entrepiso	.....	111
Gráfica 4.4.	Distorsión /Tiempo CM, Segundo entrepiso	.....	111
Grafica 4.5.	Distorsión /Tiempo SM, Tercer entrepiso	.....	112
Gráfica 4.6.	Distorsión /Tiempo CM, Tercer entrepiso	.....	112
Grafica 4.7.	Distorsión /Tiempo SM, Cuarto entrepiso	.....	113
Gráfica 4.8.	Distorsión /Tiempo CM, Cuarto entrepiso	.....	113
Grafica 4.9.	Distorsión /Tiempo SM, Quinto entrepiso	.....	114
Gráfica 4.10.	Distorsión /Tiempo CM, Quinto entrepiso	.....	114
Gráfica 4.11.	Pushover +X, estructura con muros	.....	120
	Pushover +X, estructura sin muros		

Lista de fórmulas y ecuaciones

Fórmula 2.1.	Modelo probabilístico de Peir y Cornell	.....	42
Fórmula 2.2.	Modelo probabilístico de Mitchel y Woodgate	.....	42
Ecuación 2.1.	Anchura del puntal	.....	49
Ecuación 2.2.	Coeficiente para calcular la altura del puntal	.....	49

Resumen

El presente estudio contempla la simulación de una estructura de concreto reforzado de cinco niveles, con muros de mampostería confinada con características de irregularidad por piso suave situado en la planta baja para y el diseño de una estructura de concreto reforzado de cinco niveles sin la contribución de los muros. Se hizo el diseño según lo establecido en la normatividad vigente y con relación al reglamento de construcción para Acapulco para RCDF y el manual de diseño de obras civiles de CFE. Para ello, se consideraron variables estocásticas como la ubicación del acero de refuerzo, variabilidad de la resistencia del concreto, entre otras, estas debido a la geometría y propiedades de los materiales de los elementos estructurales, así como a las solicitudes sísmicas de la zona donde se edificará (Pacífico mexicano, en Acapulco, Guerrero). Se obtuvo el análisis correspondiente del sistema estructural propuesto sin considerar intencionalmente la interacción suelo–estructura, teniendo presente que es necesario un análisis mas preciso considerando esta interacción. Un cálculo previo de la estructura sin la contribución de los muros de mampostería, se efectuó a partir del software ECOgcW, mediante el cual se obtuvieron características estructurales de la edificación propuesta tales como elementos mecánicos, cantidad de acero longitudinal y transversal. Los datos obtenidos en ECOgcW se capturaron mediante documentos Notepad++, para su uso en el código de programación FORTRAN, conforme a los requerimientos que se formulan en el software SIB para la simulación de la edificación sin considerar los muros de mampostería. Esta simulación permite considerar incertidumbres como son las provocadas por la variación geométrica en las secciones de los elementos estructurales, en el recubrimiento, colocación y medidas del acero, variación de la resistencia del concreto y ubicación del armado de acero, lo que posibilitó conocer el comportamiento de la estructura en una primer instancia. La comparativa de los edificios con y sin muros de mampostería, esta dirigida al comportamiento de la estructura cuando el diseño considera a los muros desligados de los marcos de concreto reforzado contra el comportamiento de este sistema cuando son ligados a la estructura al momento de la construcción. Para modelar el sistema de manera integral con los muros de mampostería, se tomó en cuenta la información que resulta del código denominado SIB, considerando además registros sísmicos reales de la zona y haciendo uso del software OpenSees. Los archivos totales permiten realizar el análisis entre un modelo con diseño tradicional y otro considerando muros de mampostería confinada, estableciendo así las características del comportamiento estructural de la estructura ante cargas laterales, dando como resultado que la presencia de muros si modifican el comportamiento estructural de la edificación en estudio.

Palabras clave: Comportamiento estructural; mampostería; piso suave; simulación.

Introducción

Los eventos naturales, sus orígenes, procesos y consecuencias han sido motivo de diversas investigaciones bajo distintos enfoques. Cuando estos fenómenos se clasifican como catastróficos y de alta peligrosidad, convierten el estudio en una ambiciosa búsqueda de su entendimiento, tal es el caso de los sismos y, en particular, de aquellos que en magnitud, intensidad y localización causan en el peor de los casos pérdida de vidas.

Los sismos son perturbaciones repentinas del subsuelo cuyos impactos socioeconómicos repercuten sobre las actividades del hombre (Shultz, 1987). El estudio de estos fenómenos se traduce en mejoras en su comprensión e incide en un mejor desarrollo urbano, regional, e incluso de manera global. México se localiza entre cinco placas tectónicas que lo caracterizan como una zona de constante actividad sísmica, las cuales son: Placa de Norteamérica, Placa de Rivera, Placa del Pacífico, Placa del Caribe y Placa de Cocos. La costa del Pacífico mexicano, ubicada sobre la subducción de las placas de Cocos y Norteamericana, demanda especial atención por la frecuencia e intensidad de los sismos que en ella se generan al deslizarse y friccionarse dichas placas.

Casi el 90% de la actividad sísmica en México se concentra cerca y frente a la costa del Océano Pacífico, con sismos que alcanzan generalmente hasta la magnitud 6 y raras veces hasta la magnitud 7 en la escala sismológica de Richter (Shultz, 1987). La estructura puede sufrir daños considerables o bien colapsar, si esta actividad sísmica es de gran intensidad, la respuesta del sistema depende de varios factores como son: el diseño estructural, las características del sistema, los materiales y métodos de construcción, entre otros.

Por tanto, el presente trabajo plantea el análisis sobre el comportamiento de una estructura de concreto reforzado con muros de mampostería confinada “rodeados por castillos y dadas” (NTC, 2004), modificando su respuesta ante sollicitaciones sísmicas. Al respecto, Díaz (2008) refiere que “al ocurrir un sismo de gran intensidad que hace incursionar a la estructura en el intervalo de comportamiento no lineal, este incremento brusco de rigidez y resistencia entre el piso bajo y los pisos superiores, puede provocar una demanda excesiva de ductilidad en el piso inferior, donde se concentrará la disipación de energía histerética en el sistema, fracturando las columnas o deformándolas en demasía”.

Capítulo 1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Es importante conocer y estudiar los conceptos que provocan modificaciones en el comportamiento de un sistema estructural; algunos de ellos y que son motivo de este trabajo son: la mampostería, estructuras de concreto reforzado con piso suave y sismicidad.

1.1.1 Mampostería

La historia cuenta que la mampostería es uno de los métodos constructivos más utilizados a lo largo de ella. Civilizaciones como la egipcia con sus pirámides, o la china y su muralla, nos dan testimonio de la durabilidad y resistencia que puede alcanzar.

A pesar del paso del tiempo, este método constructivo sigue vigente debido a su bajo costo, fácil construcción y durabilidad, colocándolo como uno de los elementos más utilizados y aceptados en algunas partes del mundo, especialmente en la construcción de vivienda.

Como hace referencia Hernández (2013), en México y Latinoamérica se han realizado estudios del comportamiento de las estructuras construidas con mampostería confinada frente a cargas laterales, viéndose esto reflejado en modificaciones realizadas en las correspondientes normativas mexicanas cuyo objetivo ha sido tener un mejor aprovechamiento de los materiales y diseños más racionales.

En México, la mayoría de las viviendas son construidas con muros de mampostería y marcos de concreto reforzado (ICA, 2008). Sin embargo, frecuentemente es despreciada la manera que afectan estos muros de mampostería a la rigidez de la estructura, porque no se considera que desempeñen una función importante en la estructura. Se han realizado estudios recientes para conocer el comportamiento de algunos muros de mampostería ante diversos modelos sísmicos; entre otros se tiene los realizados por Alcocer (2007), Meza (2007), Díaz (2008), Pérez (2010); sin embargo, aún existen incertidumbres al respecto, por lo que se hace necesario continuar investigaciones en esta dirección.

1.1.2. Estructuras de concreto reforzado con piso suave

El fenómeno de piso blando se estudió por primera vez en 1932 por el ingeniero civil Jhon Freeman, al relatar los daños del terremoto de 1925 de Santa Bárbara, California (Bush, 1935). Tras investigaciones después del terremoto de 1967 en Caracas, Venezuela, se reportó en trabajos como en el de Hanson (1975), que las edificaciones de concreto reforzado sufrieron severos daños estructurales, como el Hotel Carrillo, en el cual sus altas columnas a la planta baja formaron un soporte flexible de los pisos superiores, causando

mínimos daños mientras que, en la planta baja, sus columnas, pisos y muros quedaran totalmente destruidos. En este mismo sentido afirmó que "...si una estructura tiene porción mucho más flexible bajo una porción rígida la mayoría de la absorción de energía se concentra en la porción flexible y muy poca es absorbida en la posición superior más rígida..." Lo que nos explica que si existe una zona débil donde se transmiten las fuerzas, o si existe un cambio repentino de rigidez, existe una zona de peligro. Inclusive si la estructura se comporta elástica y, por supuesto, agravándose más si comienza a deformarse inelásticamente.

Como resultado del sismo de Michoacán en 1985, Borja (1987) reportó los daños provocados debido al sismo en la Ciudad de México, señalando que una de las causas que propició el colapso de algunos de los edificios fue la irregularidad llamada "piso suave", causado por la discontinuidad de los muros de las plantas más altas con los estacionamientos en planta baja donde no existían muros.

Esteva (1987) señala que el ocho por ciento de las estructuras colapsadas en 1985 en la Ciudad de México fue a causa de la planta baja débil. Las edificaciones reportadas fallaron por pronunciadas irregularidades en la distribución de resistencias y rigideces o con grandes excentricidades torsionales.

Bazán y Meli (1998) destacaron que "la configuración de los elementos estructurales debe permitir un flujo continuo, regular y eficiente de las fuerzas sísmicas desde el punto en que éstas se generan hasta el terreno". Más adelante también mencionan que, "un aspecto a cuidar es la continuidad en elevación del sistema estructural, pues los cambios bruscos de rigidez y resistencia con la altura llevan a diversos problemas; la causa más frecuente de irregularidad en elevación del sistema estructural es la que recibe la denominación de planta baja débil", cuya presencia "concentrará ahí, en caso de un sismo de gran intensidad, la disipación inelástica de energía, en la que no participarán los pisos superiores que permanecerán esencialmente en su intervalo elástico-lineal de comportamiento".

Lo anterior muestra que el piso suave es un problema al diseñar algunas estructuras, además que ha sido estudiado, analizado e identificado en el pasado pero que es necesario explorarlo desde un punto de vista más moderno en cuanto a criterios de diseño.

1.1.3. Sismicidad en la zona del Pacífico Mexicano

La interacción de las cinco placas que rodean a México; Placa de Norteamérica, Placa de Rivera, Placa del Pacífico, Placa del Caribe y Placa de Cocos, colocan a nuestro país como una zona con alta actividad sísmica.

El 25% de la actividad sísmica de nuestro país se presenta en el estado de Guerrero, debido a que la Placa de Cocos se está desplazando por debajo de la placa de Norteamérica, situando al estado de Guerrero como el de mayor actividad sísmica.

Es importante diseñar correctamente estructuras que sean capaces de resistir estos fenómenos, que se viven con frecuencia en esta zona, con la finalidad de generar sistemas confiables cuyo comportamiento sea eficiente ante la actividad sísmica, y así evitar daños mayores o inclusive, colapsos de las mismas (Perea y Esteva, 2005).

1.1.4. Ingeniería sísmica

La ingeniería sísmica empezó a desarrollarse y a proponer recomendaciones para diseño sísmico hace unos setenta años, después del temblor de 1923 en Japón, donde se vio que algunas estructuras diseñadas con ciertos principios habían resistido el sismo satisfactoriamente. Al principio los avances fueron relativamente lentos, pero poco a poco se han logrado mejorar los criterios de diseño a nivel internacional, sobre todo a raíz de la creación de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica, que organiza congresos mundiales cada cuatro años aproximadamente (a partir de 1956), donde los ingenieros de todo el mundo tienen oportunidad de intercambiar ideas y experiencias. Esos congresos mundiales se han celebrado en los Estados Unidos de Norte América en 1956, Japón en 1960, Nueva Zelanda en 1965, Chile en 1969, Italia en 1973, la India en 1977, Turquía en 1980 y nuevamente en los Estados Unidos de Norte América en 1984, en Japón en 1988 y en Madrid, España en 1992, siendo el más reciente en Lisboa en 2012, cada vez con mayor cantidad de ponencias y participantes. Además de las memorias de los distintos congresos, la Asociación ha editado también una publicación que resume los distintos reglamentos de diseño sísmico de los países miembros, México entre ellos, donde se puede ver el grado de desarrollo alcanzado en cada país (*Earthquake Resistant Regulations*, 2012).

1.2 Problemática

Una gran cantidad de países que se encuentran ubicados en zonas sísmicas de riesgo han adoptado la edificación de estructuras de concreto reforzado con base en marcos ortogonales combinados con muros de mampostería. Los muros no estructurales pueden ser desplazados en los espacios que los conforman, originando una interacción marco-relleno aun en sismos moderados, que pueden alterar la concepción de los diseños convencionales esto si no se dejan las holguras necesarias. Lo anterior puede ocasionar grandes riesgos a la seguridad de la estructura, por lo que la confiabilidad de la misma se ve afectada considerablemente. Por ello, se hace necesario conocer la influencia de muros de mampostería confinada para este tipo de construcciones.

1.3 Justificación

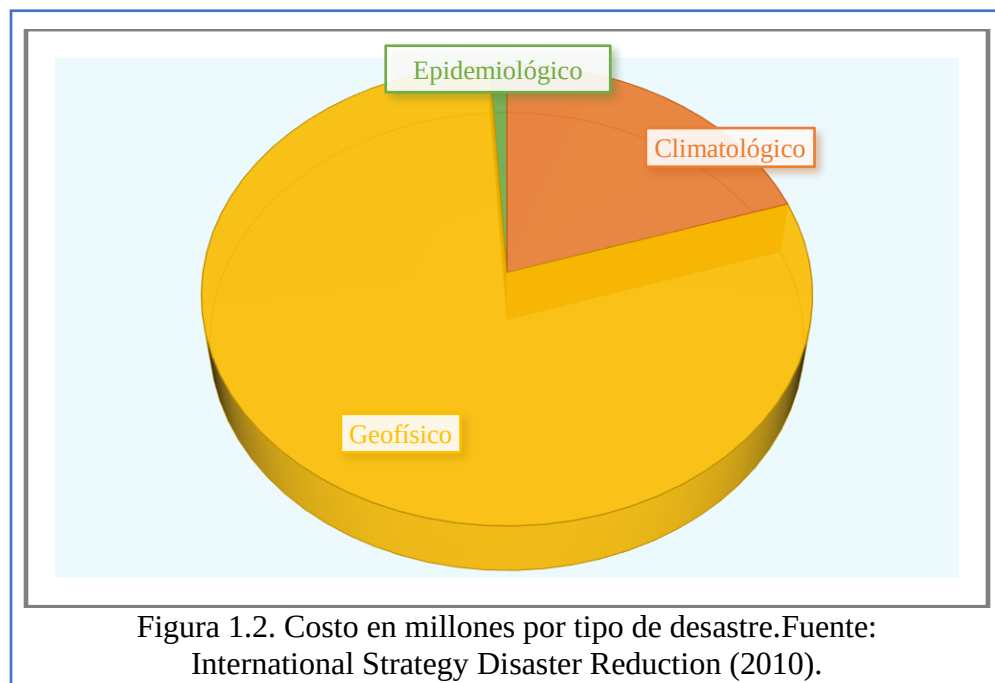
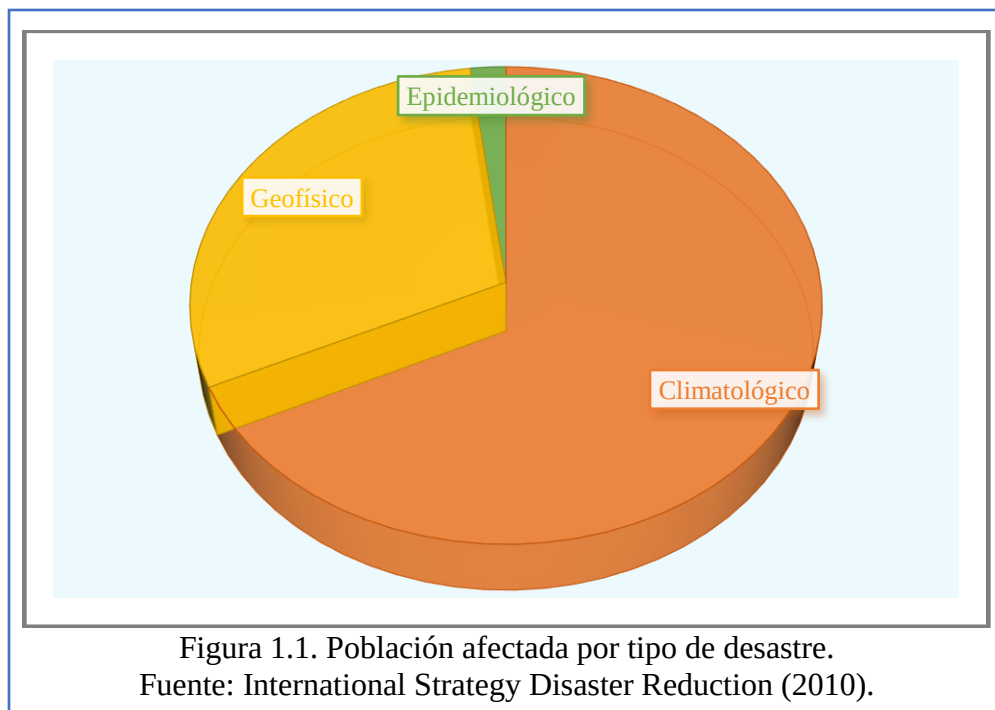
En países como México, y Latinoamérica, se han realizado estudios del comportamiento de las estructuras construidas con mampostería confinada frente a cargas laterales. Entre otros trabajos Meli (1979), San Bartolomé (2007) así lo demuestran; esto ha permitido identificar algunas de las fallas al momento del diseño de las mismas. En el caso de las estructuras de concreto armado con muros de mampostería, éstos pueden modificar el

comportamiento global del sistema si su distribución es irregular (piso suave), presentando alta flexibilidad por la escasa densidad de muros en alguna planta que impide controlar los desplazamientos laterales impuestos por los sismos, en tanto que los pisos adyacentes son relativamente más rígidos por contener una mayor cantidad de muros (Orozco y Reinoso, 2007). Por esa razón, se hace necesario conocer el comportamiento de este tipo de sistemas con el propósito de construir edificaciones más confiables para evitar pérdidas sociales y económicas.

Con base en los datos arrojados por la ISDR (*International Strategy Disaster Reduction*, 2010) en América Latina y el Caribe, muestran la magnitud y consecuencia de diversos tipos de desastres a los que la población son vulnerables. Éstos se presentan en la Tabla 1.1 y las Figuras 1.1. y 1.2.

Tabla 1.1. Impacto de desastres en 2010 por tipo de evento. Fuente: <i>International Strategy Disaster Reduction</i> (2010).			
Población afectada por este tipo de desastre		Costo en millones de US\$ por tipo de desastre	
Climatológico	68%	Climatológico	20%
Geofísico	30%	Geofísico	79%
Epidemiológico	2%	Epidemiológico	1%

La información antes referida denota la importancia que tienen los estudios sobre el comportamiento de edificaciones cuando son susceptibles de estar bajo condiciones de riesgo provocado por fenómenos naturales como los terremotos; éste representa un factor más que justifica el hecho de realizar análisis de mayor profundidad como el que se pretende en este trabajo.



1.4 Hipótesis

La colocación no planeada de muros de mampostería, distribuidos en forma irregular (piso suave o planta débil) y ligados (por error constructivo) a los marcos de concreto armado de un sistema, es capaz de influenciar el comportamiento global de la estructura, modificando la resistencia y rigidez lateral, así como su periodo fundamental (elementos mecánicos).

1.5 Objetivo general

Diseñar y simular una estructura de concreto armado de cinco niveles con “piso suave” en planta baja, mediante el uso de los softwares ECOgcW, SIB y OpenSees, con el propósito de desarrollar modelos con y sin muros de mampostería, a fin de compararlos y conocer su comportamiento en forma global.

1.5.1. Objetivos específicos

1. Conocer las características geométricas y especificaciones constructivas del edificio para diseñar la estructura con base en normas mexicanas y sísmicas de la zona del Pacífico Mexicano.
2. Conocer el uso del software denominado ECOgcW para el correspondiente diseño de la edificación sin piso suave.
3. Diseñar una estructura de concreto reforzado de cinco niveles sin piso suave en planta baja considerando el peso de muros de mampostería, con apoyo del software ECOgcW, para obtener características geométricas de secciones y su correspondiente armado.
4. Estudiar las características que se presentan en estructuras de piso suave para conocer su comportamiento bajo cargas sísmicas.
5. Conocer el software SIB para después obtener una simulación de la edificación en el mismo, sin considerar muros de mampostería.
6. Simular en SIB a partir de los resultados obtenidos en el diseño mediante ECOgcW, usando métodos estadísticos de Pier-Cornell y Mitchel-Woodgate (Esteva y Rangel, 2013) que consideran variables estocásticas en los miembros del sistema previamente discretizados.
7. Modelar una estructura de CR (concreto reforzado) con y sin muros de mampostería, por medio del Software OpenSees a partir del método de Integración de Lobato (vigas y columnas) e interacción fibra-sección (muros de relleno) por Kadisiewski y Mosalam (2009), con la finalidad de realizar la comparativa del comportamiento global de los sistemas propuestos.

1.5.2. Meta

Diseñar y analizar una estructura de concreto reforzado con muros de mampostería confinada contando con la irregularidad de piso suave y compararla con el modelo que no contempla los muros como muros de carga. Con base en los códigos actuales en México, simular el modelo diseñado considerando variables tales como características geométricas de las secciones, propiedades de los materiales y las cargas que en éste actúan.

1.6 Alcances de la investigación

1. Conocer la metodología para el diseño de un edificio de concreto reforzado en un software mexicano (ECOGcW).
2. Simular un sistema estructural con base en modelos probabilísticos que consideran parámetros básicos de los materiales que conforman los elementos que lo constituyen.
3. Modelar la edificación de concreto armado con muros y sin muros de mampostería de relleno con ayuda del software OpenSees y con base en el reporte de resultados, realizar el análisis comparativo del comportamiento de ambos sistemas, considerando los periodos fundamentales y desplazamiento en el último nivel.

1.7 Descripción del área de estudio

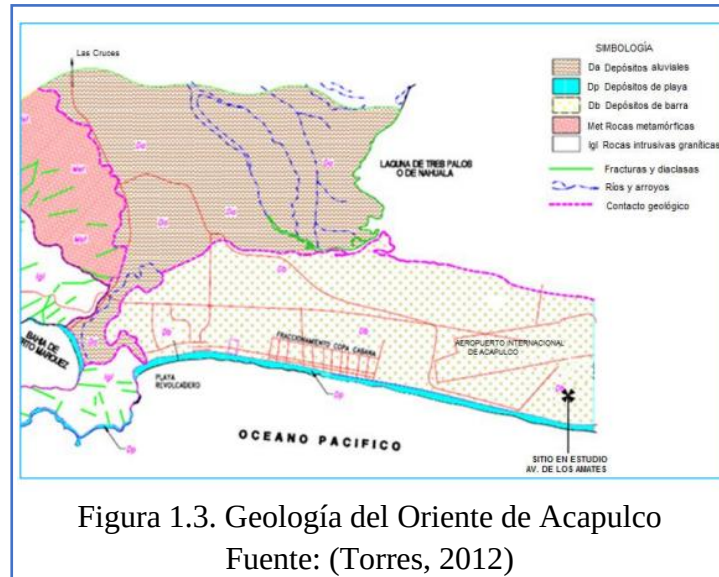
1.7.1 Fisiografía

El sitio propuesto para el estudio del sistema se ubica en la provincia geológica denominada Sierra Madre del Sur, caracterizada por un ambiente tectónico intenso.

La sismicidad del área es la de mayor intensidad del país, con sismos que alcanzan generalmente hasta la magnitud 6 y raras veces hasta la magnitud 7 en la escala sismológica de Richter (Shultz, 1987) y es el resultado de la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa Norteamericana, que forman las grandes brechas de Guerrero y San Marcos. Lo anterior provoca dos tipos de sismos intraplaca: inversos y de fallamiento normal (Pérez *et al.*, 2010).

En esta región se originó el gran terremoto del 7 de abril de 1845, con magnitud de ondas superficiales de $M_s = 8.2$ aproximadamente, donde M_s es adimensional. También se generaron grandes temblores en los años de: 1899 ($M_s = 7.9$), 1907 ($M_s = 7.7$), 1908 ($M_s=7.6$), 1909 ($M_s=6.9$), 1911 ($M_s=7.8$) y el 28 de julio de 1957 se generó otro gran temblor conocido como el “temblor del ángel” (Garduño *et al.*, 2009).

Se estima que esta región puede producir un sismo con magnitud de ondas superficiales, $M_s = 8.2$, o bien, de dos a cuatro con magnitud de ondas superficiales, $M_s = 7.9$ (Garduño *et al.*, 2009). El área de Acapulco está comprendida por rocas metamórficas hacia el este, depósitos aluviales al norte, así como depósitos de barra en su parte sur-sureste, bordeados por una pequeña franja de depósitos de playa en su extensión sur. (Véase Figura 1.3)



Fisiográficamente, la región se puede dividir en cuatro zonas:

- Zona montañosa, formada por rocas metamórficas de la serie Solapa (Met).
- Zona de depresión granítica, sobre la que se ubica el puerto de Acapulco, que se levanta hacia el norte entrando en contacto con las rocas intrusivas (IgI).
- Zona de llanuras de deyección y de depósitos de corrientes aluviales, de los ríos de La Sabana y Papagayo (Da).
- Zona de depósitos de barra que forman las lagunas de Coyuca y la de Tres Palos (Dp).

De acuerdo con la zonificación fisiográfica antes descrita, el sitio en estudio se localiza dentro de la zona de depresión granítica, sobre la que se ubica el puerto de Acapulco, que se levanta hacia el norte entrando en contacto con las rocas intrusivas (Singh, 1994).

Según refiere Ramírez (2011), existen varias fallas en el estado de Guerrero, donde se han generado sismos de gran magnitud. Las más importantes son:

a) La Falla del Pacífico, que se localiza frente a Zihuatanejo y Acapulco y sigue una dirección paralela a la costa hacia el Golfo de Tehuantepec.

b) Una falla continental, más corta que la anterior, que se inicia en Acapulco y sale del estado de Guerrero después de tocar Ometepec, para internarse en el estado de Oaxaca por Pinotepa Nacional.

De acuerdo con la regionalización sísmica propuesta en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (2008), el sitio de estudio se localiza en la zona sísmica D, la de mayor intensidad del país, tanto por la frecuencia como por la liberación de energía de los sismos, ver Figura 1.4 y Figura 1.5.

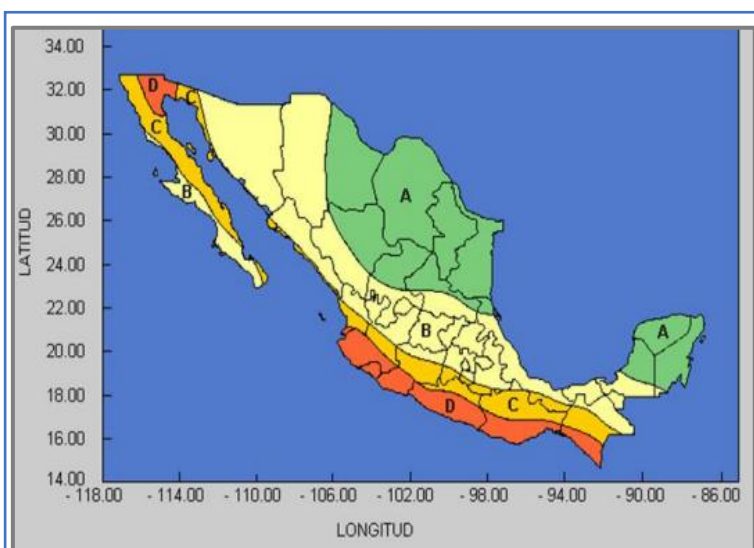


Figura 1.4. Regionalización sísmica de la República Mexicana
Fuente: CFE (2008)

Zona del Estado	Tipo de terreno	C	Tb Min.	Tb	r
C	I	0.36	---	0.60	1/2
	II	0.64	0.40	1.40	2/3
	III	0.64	0.50	1.90	1
D	I	0.50	---	0.60	1/2
	II	0.86	0.30	1.20	2/3
	III	0.86	0.40	1.70	1

Figura 1.5. Zonificación geosísmica
Fuente: Reglamento de Construcción de Acapulco de Juárez, Guerrero (1999)

Las estructuras que se desplantan en esta región sísmica pueden estar sujetas a acciones severas durante un sismo.

De acuerdo con la zonificación geosísmica de la República Mexicana, el sitio se encuentra en la zona D. Según las características estratigráficas del sitio el suelo es tipo III, al que corresponde un coeficiente sísmico de 0.86 para estructuras del tipo B (Reglamento de Construcción de Acapulco de Juárez, Guerrero, 1999).

1.7.2 Localización geográfica

Acapulco de Juárez es el nombre oficial de este puerto ubicado en el estado de Guerrero, hacia el lado sudoeste de México. Sus coordenadas son 99°52'57" Norte y 16°51'59" Oeste (Figura 1.6).

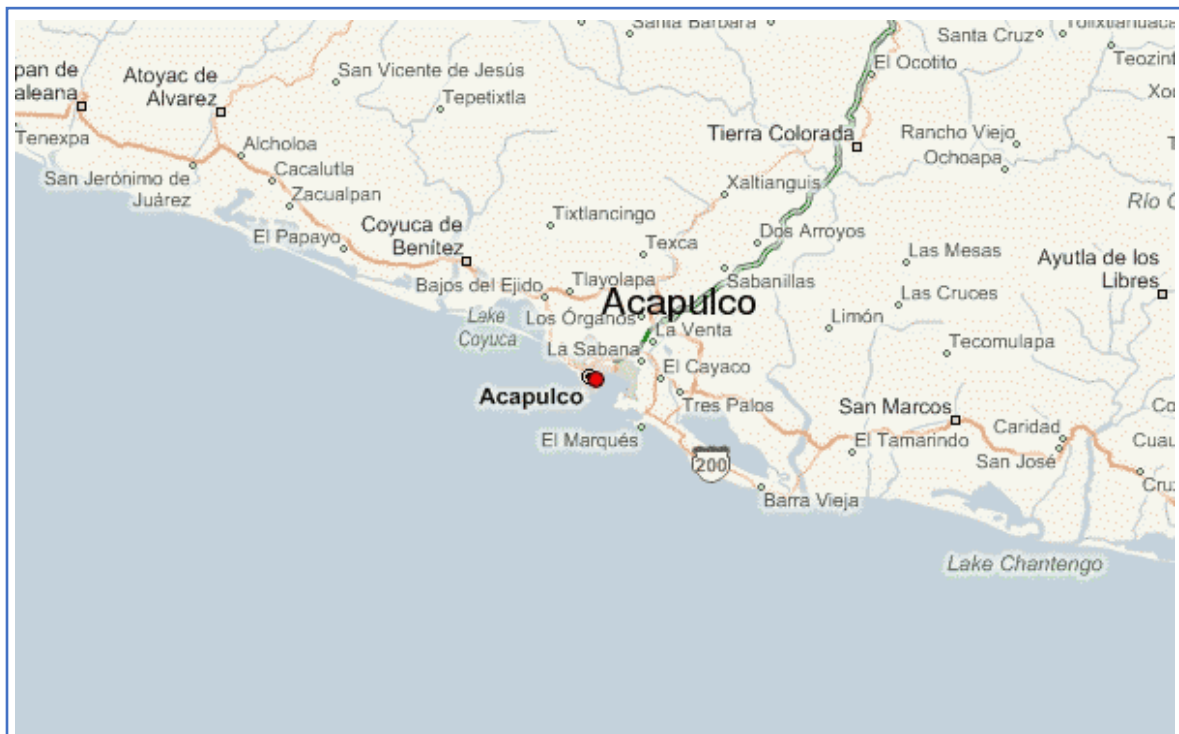


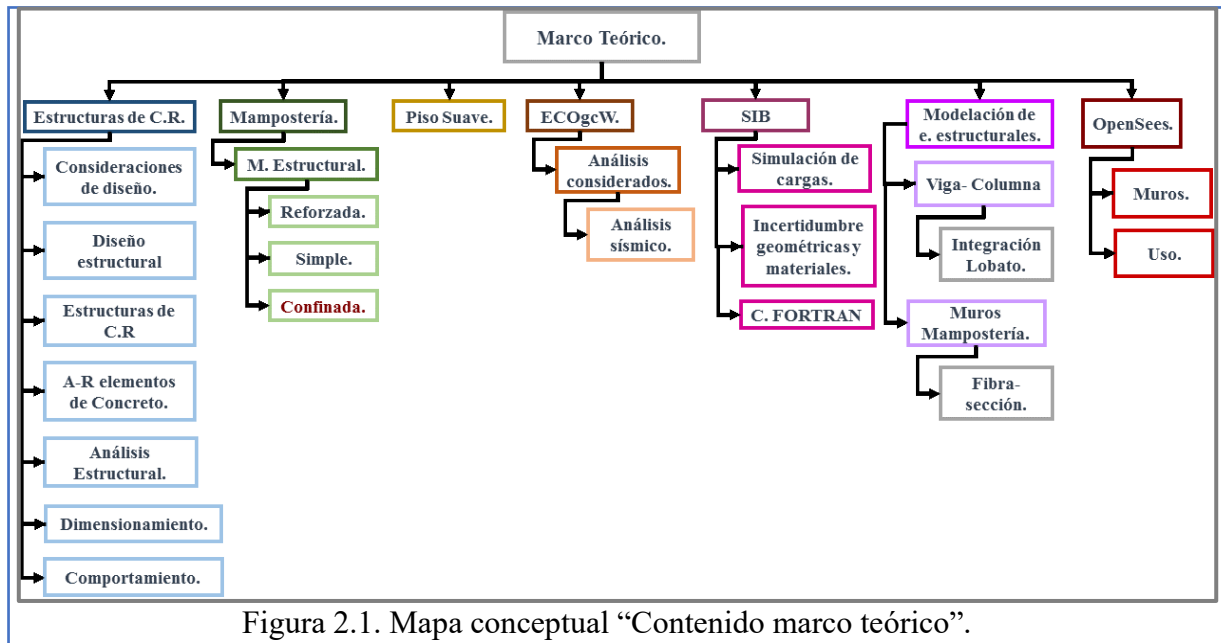
Figura 1.6. Localización geográfica de Acapulco de Juárez

Fuente: <http://www.weather-forecast.com/>

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

En la construcción del presente proyecto de investigación, se consideran los factores que intervienen, tomando en cuenta las características principales que definen a la estructura y los diferentes tipos de software a utilizar para poder lograr los alcances de esta.

La Figura 2.1. esquematiza mediante un mapa conceptual los aspectos que de manera general se consideran en este proyecto, los cuales se irán desarrollando a lo largo de este capítulo.



2.1. Estructuras de concreto reforzado

2.1.1. Consideraciones de diseño

Geometría estructural

Las características geométricas influyen directamente en la estimación de la rigidez, la resistencia y la deformación de los elementos estructurales. En este sentido, Pérez (1999) hace referencia a estudios hechos por Mirza y Mac Gregor (1979) en donde realizan mediciones en varios países, incluido México, sobre las propiedades estadísticas de las diferencias o errores entre las dimensiones reales y las proyectadas de secciones transversales de elementos de concreto reforzado (e.g. altura, ancho, recubrimientos de concreto y espesor de losa).

En esta dirección, Alamilla (2001) considera a dichos errores como variables aleatorias correlacionadas, con distribución normal, bajo la suposición de que las propiedades

estadísticas de las variables provienen de la misma muestra de secciones transversales y que son estadísticamente independientes entre secciones de distintos elementos.

Condiciones de regularidad

En las NTC-DS (Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo) (2004) del Reglamento de Construcción del Distrito Federal se establecen las características más importantes para que un sistema tenga un comportamiento adecuado ante solicitaciones laterales:

1. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
3. La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.
4. En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
5. En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
6. No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.
7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.
8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exige de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.
9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.

10. Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

11. En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

Criterios de diseño

El dimensionamiento, detalles constructivos y arquitectónico se harán de acuerdo a lo propuesto por González (2005); con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio, así como de durabilidad.

Estados límite de falla

Según el criterio de estados límite de falla, las estructuras deben dimensionarse de modo que la resistencia de diseño de toda sección con respecto a cada fuerza o momento interno que en ella actúe, sea igual o mayor que el valor de diseño de dicha fuerza o momento internos. Las resistencias de diseño deben incluir el correspondiente factor de resistencia, FR (Latorre, 2007).

Los métodos existentes para el diseño de concreto reforzado (CR) con elementos a flexión en el estado límite último son basados en el cálculo de la profundidad de la zona comprimida de la sección (Iskhakov y Ribakov, 2013).

Estados límite de servicio

Sea que se aplique el criterio de estados límite de falla o algún criterio optativo, deben revisarse los estados límite de servicio, es decir, se comprobará que las respuestas de la estructura (deformación, agrietamiento, etc.) queden limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio (Zerbino, 2003).

Diseño por durabilidad

Las estructuras deberán diseñarse para una vida útil de al menos 50 años.

Análisis

Con base en las NTC (2004), las estructuras de concreto se analizarán en general, con métodos que propongan un comportamiento elástico.

Los muros de mampostería son considerados en el primer modelo como carga uniformemente distribuida sobre los elementos estructurales vigas.

Materiales

- **Concreto**

Para las obras clasificadas como del grupo A o B1, se usará concreto de clase 1.

- **Acero**

Como refuerzo ordinario para concreto pueden usarse barras de acero y/o malla de alambre soldado. Las barras serán corrugadas, deben cumplir con las normas NMX-C-407ONNCCE, NMX-B-294, NMX-B-457 (DOF, 2011; DOF, 2013; DOF, 2013). Se permite el uso de barra lisa de 6.4 mm de diámetro (número 2) para estribos. Para elementos secundarios y losas apoyadas en su perímetro, se permite el uso de barras que cumplan con las normas NMX-B-72, NMX-B-32 Y NMX-B-18 (CANACERO, 2008; DOF, 2009; DOF, 2012).

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, se supondrá igual a 2×10^5 MPa (2×10^6 kg/cm²).

2.1.2. Diseño estructural

Una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. La función puede ser: salvar un claro, como en los puentes; encerrar un espacio, como sucede en los distintos tipos de edificios, o contener un empuje, como en los muros de contención, tanques o silos (Meza, 2008).

La estructura debe cumplir la función a la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. Además, deben satisfacerse otros requisitos, tales como mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas. (González, 2005).

El diseño estructural se puede definir como la selección de materiales adecuados y su dosificación para diferentes elementos, de acuerdo a la experiencia en ingeniería. Una estructura debe corresponder a la seguridad, la facilidad de mantenimiento, economía y condiciones de funcionalidad (Iskhakov y Ribakov, 2013).

El proceso de diseño de un sistema principia con la formulación de los objetivos que se pretenden alcanzar y de las restricciones que deben tenerse en cuenta. El proceso es cíclico, se parte de consideraciones generales, que se afinan con aproximaciones sucesivas, a medida que se acumula la información sobre el problema.

En el diseño de estructuras, una vez planteado el problema, establecidas las acciones del sistema y definidas las dimensiones generales, es necesario ensayar diversas estructuraciones para resolverlo. En esta fase del diseño es donde la experiencia del ingeniero desempeña un papel primordial.

Conforme a lo establecido por González (2005); el análisis estructural, es decir, la determinación de las fuerzas internas en los elementos de la estructura, implica un conocimiento de las acciones que actúan sobre la misma y de las dimensiones de dichos elementos. Estos datos son imprecisos cuando se inicia el diseño, ya que sólo se conocen en forma aproximada las dimensiones que tendrán los elementos. Éstas influyen tanto en el valor del peso propio como en el comportamiento estructural del conjunto. En un proceso cíclico, el proyectista va ajustando los datos iniciales, a medida que afina el análisis. Solamente en la fase final de este proceso hace un cálculo numérico relativamente preciso.

El grado de precisión que se trata de obtener en este proceso depende de la importancia de la estructura y de la posibilidad de conocer las acciones que realmente actuarán sobre ella. Un mal hábito común es el exceso de minuciosidad cuando la importancia del problema no lo amerita, o el conocimiento de las acciones solamente es aproximado, y cuando no lo justifica el ahorro que pueda obtenerse gracias al refinamiento en el análisis.

2.1.3. Estructuras de concreto

Las estructuras de concreto reforzado tienen ciertas características, derivadas de los procedimientos usados en su construcción, que las distinguen de las estructuras de otros materiales.

El concreto se fabrica en estado plástico, lo que obliga a utilizar moldes que lo sostengan mientras adquiere resistencia suficiente para que la estructura sea auto soportante. Esta característica impone ciertas restricciones, pero al mismo tiempo aporta algunas ventajas.

Una de éstas es su "moldeabilidad", propiedad que brinda al proyectista gran libertad en la elección de formas. Gracias a ella, es posible construir estructuras, como los cascarones, que en otro material serían muy difíciles de obtener. Otra característica importante es la

facilidad con que puede lograrse la continuidad en la estructura, con todas las ventajas que esto supone.

2.1.4. Características acción-respuesta de elementos de concreto.

Se ha dicho que el objeto del diseño consiste en determinar las dimensiones y características de los elementos de una estructura para que ésta cumpla cierta función con un grado de seguridad razonable, comportándose además satisfactoriamente bajo condiciones de servicio. Debido a estos requisitos, es preciso conocer las relaciones que existen entre las características de los elementos de una estructura (dimensiones, refuerzos, etc.), las solicitaciones que debe soportar y los efectos que dichas solicitaciones producen en la estructura. En otras palabras, es necesario conocer las características acción-respuesta de la estructura estudiada.

Según el artículo “*Assessing local-scale damage in reinforced concrete frame structures using dynamic measurements*”, publicado por Mommessin *et al.* (2014), las acciones en una estructura son las solicitaciones a que puede estar sometida. Entre éstas se encuentran, por ejemplo, el peso propio, las cargas vivas, las presiones por viento, las aceleraciones por sismo y los asentamientos. Las aplicaciones de las mediciones dinámicas en edificios existentes son numerosas: la evaluación de su vulnerabilidad sísmica, la evaluación de las capacidades de la estructura en las situaciones posteriores a los terremotos o después de los cambios en los alrededores, etc. En la actualidad, este tipo de medición permite un diagnóstico estructural a escala global (toda la estructura), mientras que la identificación y la evaluación de daño local (cada elemento de la estructura) queda por explorar.

La respuesta de una estructura, o de un elemento, es su comportamiento bajo una acción determinada. Puede expresarse como deformación, agrietamiento, durabilidad, vibración, etc. La resistencia del concreto y del acero, las características geométricas, el tamaño de un miembro, y la cantidad de refuerzo, son todos factores que afectan el desarrollo de grietas en elementos de concreto reforzado. (Soltani *et al.*, 2013). Desde luego, la respuesta es función de las características de la estructura, o del elemento estructural considerado.

2.1.5. Análisis de estructuras de concreto reforzado

Para poder analizar una estructura es necesario idealizarla. Por ejemplo, una idealización frecuente en el análisis de edificios es considerar la estructura formada por series de marcos planos en dos direcciones. De este modo se reduce el problema real tridimensional a uno de dos dimensiones.

Se considera, además, que las propiedades mecánicas de los elementos en cada marco están concentradas a lo largo de sus ejes (González, 2005). Las acciones se aplican sobre esta

estructura idealizada. Las solicitaciones o acciones exteriores inducen acciones internas (elementos mecánicos) de intensidad variable.

En general, la mayoría de los estudios analíticos dirigidos a estudiar la influencia estructural bajo la acción de fuerzas sísmicas se han enfocado al estudio del comportamiento de edificios de acero (Anderson y Bertero, 1973; Goel, 1977; López y Chopra, 1978; Papaleontiou y Roeset, 1993; Yamanouchi y Hasegawa, 1996; Reyes-Salazar y Haldar, 2000, entre otros), o edificios de concreto reforzado (Tani y Soda, 1980; Kikuchi y Yoshimura, 1984; Sovero, 1986; Perea y Esteva, 2003; entre otros).

El propósito fundamental del análisis es evaluar la respuesta interna en las distintas partes de la estructura. Para ello es necesario, conocer o suponer la relación entre fuerza y deformación o, en términos más generales, entre acción y respuesta.

2.1.6. Dimensionamiento de elementos de concreto reforzado.

Se entiende por dimensionamiento la determinación de las propiedades geométricas de los elementos estructurales y de la cantidad y posición del acero de refuerzo.

El procedimiento de dimensionamiento tradicional, basado en esfuerzos de trabajo, consiste en determinar los esfuerzos correspondientes a acciones interiores obtenidas de un análisis elástico de la estructura, bajo sus supuestas acciones de servicio. Estos esfuerzos se comparan con esfuerzos permisibles, especificados como una fracción de las resistencias del concreto y del acero. Se supone que así se logra a la par, un comportamiento satisfactorio en condiciones de servicio y un margen razonable de seguridad.

Para poder hacer el dimensionamiento se debe hacer el análisis por medio de varias revisiones: como Revisión por flexión o Momento flexionante, revisión por Fuerza Cortante, revisión por deflexión, etc. en base al Reglamento de Construcción del Distrito Federal (2004) y sus NTC vigentes, donde se especifican los criterios de diseño y fórmulas a considerar.

La elección del tipo de estructuración, sin duda es uno de los factores que más afecta el costo de un proyecto. Los refinamientos posteriores en el dimensionamiento de secciones son de mucha menor importancia. La elección de una forma estructural dada, implica la elección del material con que se piensa realizar la estructura (Cohen y Franco, 1992).

2.1.7. Consideraciones en el comportamiento de una estructura de CR.

Periodo fundamental de la estructura.

Cada estructura tiene diferentes formas de vibrar y son propia de cada estructura (dependen del material, dimensiones, masa, tipo de suelo etc.) y a cada vibración le corresponde una frecuencia propia.

En el rango elástico la respuesta dinámica de la estructura se puede expresar como la superposición de los efectos de los diferentes modos de vibrar y la cantidad de modos depende de los grados de libertad que tenga la estructura

En el rango elástico las solicitaciones obtenidas con el análisis modal espectral, para cada modo de vibración, están en equilibrio, pero no las que provienen de la superposición modal. La envolvente obtenida, representa solicitaciones que pueden ocurrir en diferentes instantes de tiempo. Por lo tanto, estas solicitaciones combinadas no están en equilibrio y no pueden utilizarse como valores de referencia. Por lo que es muy importante el primer modo de vibrar ya las solicitaciones sirven como referencia en el diseño.

A este primer modo se lo conoce como modo fundamental y es el modo de vibración mayor (periodo fundamental: mayor periodo de vibración) que corresponde al periodo fundamental de la estructura en la dirección horizontal de interés.

El periodo fundamental de una estructura es el tiempo que ésta toma en dar un ciclo completo, cuando experimenta una vibración. El valor del período fundamental de la edificación, T , debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica (Carrillo, 2009).

Desplazamientos

- **Definición de desplazamiento de fluencia del sistema de referencia**

El desplazamiento de fluencia y el desplazamiento último definen la ductilidad del sistema estructural. La selección de una ductilidad de diseño conforme con el tipo de estructura, tal como se realiza en los métodos de diseño basados en fuerzas, fija implícitamente las distorsiones y el desplazamiento de azotea asociados a la fluencia del sistema. Sin embargo, en la realidad, dichos desplazamientos están relacionados a ciertas características particulares: la curvatura de fluencia de las secciones transversales, la geometría del sistema y la distribución de sus componentes como se muestra en la Figura 2.2.

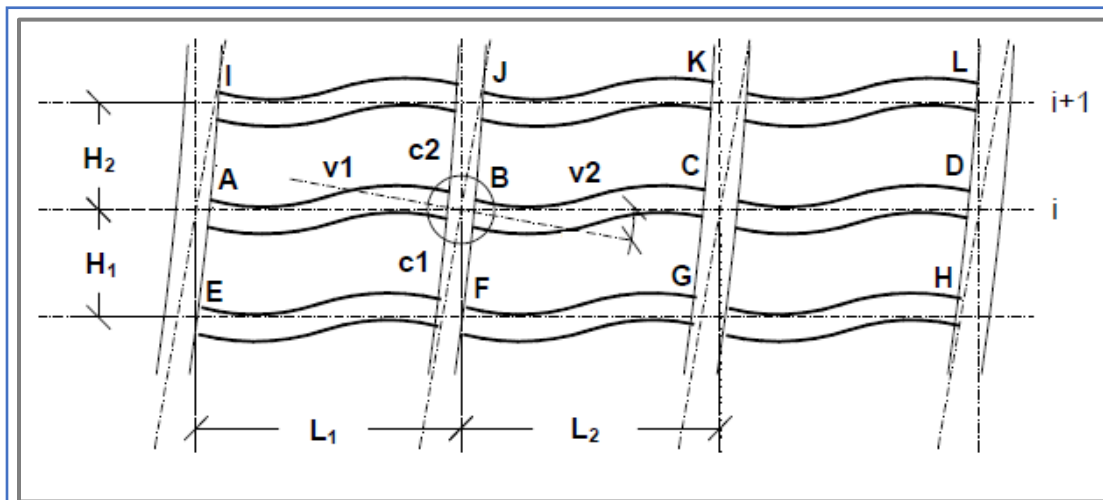


Figura 2.2. Rotaciones elásticas de nudos de entrepiso.

Fuente: López, S. y Ayala, A. (2013)

En elementos de concreto reforzado, la curvatura de fluencia de una sección transversal dada presenta una variación poco significativa para un rango amplio de cuantías de acero y, por lo tanto, la rigidez de un elemento es aproximadamente proporcional a su resistencia, la curvatura de fluencia de las vigas es una propiedad que influye significativamente en la configuración de desplazamientos asociada a la fluencia de un sistema estructural con comportamiento columna fuerte-viga débil. (López y Ayala, 2013).

2.2. Mampostería.

La mampostería es la unión de bloques o ladrillos de arcilla o de concreto con un mortero para conformar sistemas monolítico tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento (Cuellar, 2014).

2.2.1. Mampostería estructural.

Es de gran importancia conocer las características de los materiales estructurales. Sin embargo es necesario antes aclarar que, se entiende por material estructural, a aquellos que son utilizados para soportar cargas y proporcionar resistencia y estabilidad en edificios.

Se entiende como mampostería estructural al sistema de ensamblaje de elementos pétreos unidos, de tal forma que éste adquiera las características individuales de cada uno de los elementos de forma razonable.

Un muro de mampostería se puede considerar como un sistema monolítico si las juntas de mortero son capaces de transmitir a cada uno de los elementos los esfuerzos generados bajo

cualquier sollicitación de carga, y que cada elemento esté en condiciones de resistir sin deformarse considerablemente (Sánchez, 2004).

2.2.2. Clasificación de la mampostería estructural

Guallichico (2010) clasifica la mampostería estructural en:

1. Mampostería reforzada. Es la mampostería con refuerzo en celdas rellenas, conformando un sistema monolítico. También tiene refuerzo horizontal cada cierto número de hiladas. El refuerzo se usa para resistir la totalidad de las fuerzas de tensión y ocasionalmente, para resistir los esfuerzos de compresión y cortante que no pueda resistir la mampostería simple (Figura 2.3).

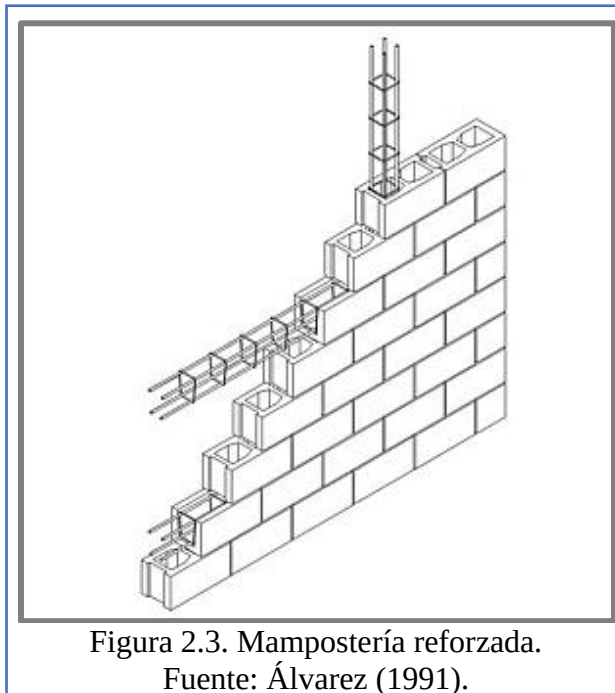


Figura 2.3. Mampostería reforzada.
Fuente: Álvarez (1991).

2. Mampostería simple. Es el tipo de mampostería estructural sin refuerzo. Los esfuerzos dominantes son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas horizontales (Figura 2.4).

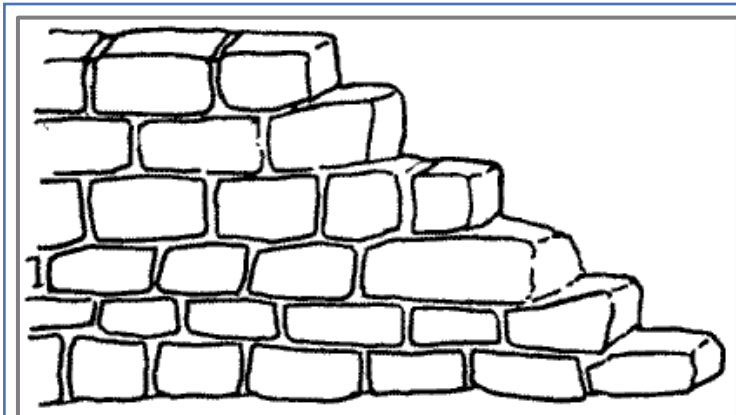


Figura 2.4. Mampostería estructural simple.
Fuente: CivilGeeks (2005).

3. Mampostería confinada. Es la mampostería con elementos de concreto reforzado (vigas y columnas de amarre), en su perímetro, vaciados después de construir el muro de mampostería simple. En nuestro medio, la mampostería confinada es la más común y con ella se construyen la mayor parte de las viviendas de 1 y dos pisos, se usan bloques de concreto y arcilla (Figura 2.5).

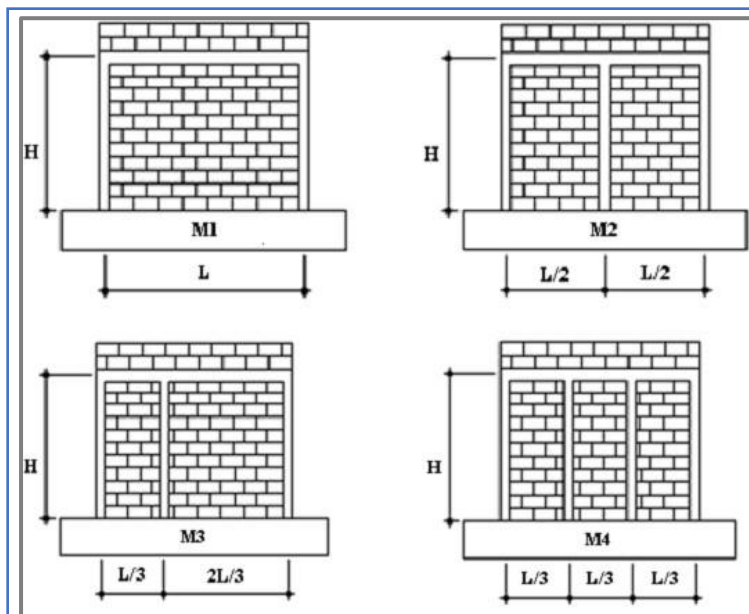
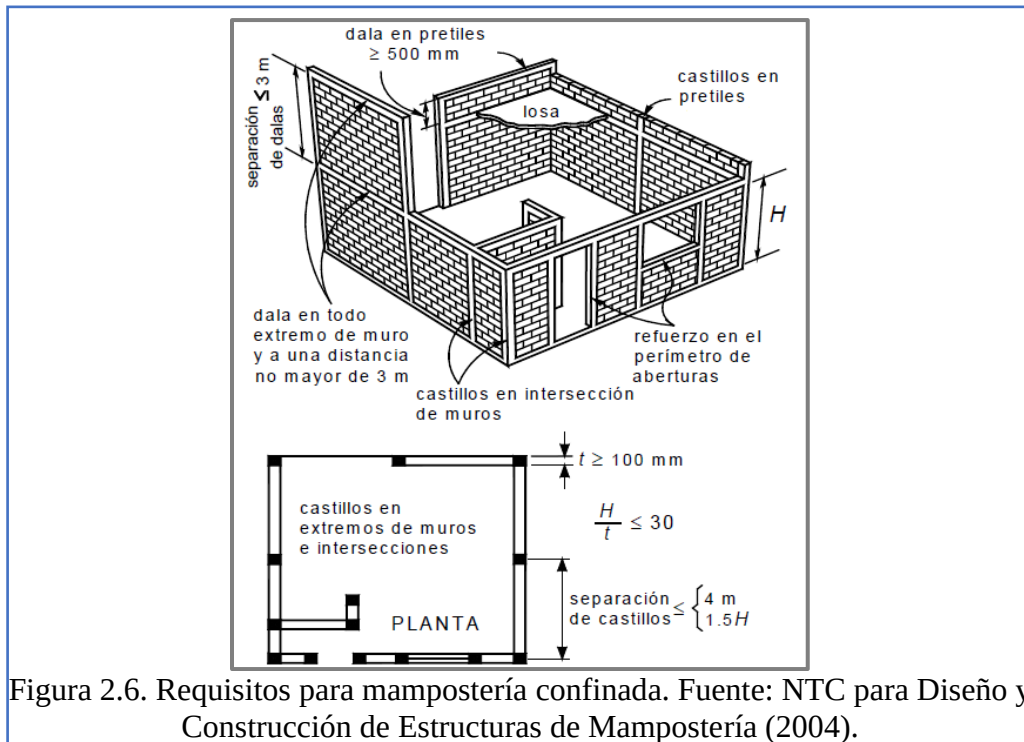


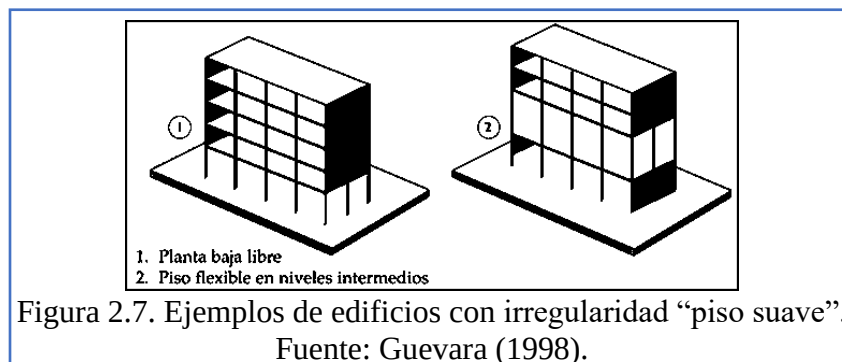
Figura 2.5. Ejemplos de casos de mampostería confinada
Fuente: Marinilli y Castilla (2007).

Para fines de proyecto se hará uso de muros de mampostería confinada, por tal efecto se incluyen los requisitos para este tipo de mampostería, tal como se muestra en la Figura 2.6.



2.3. Piso suave

La estructuración llamada planta baja débil o piso suave, de acuerdo a Navarro (2010), se presenta cuando una estructura concentra mayoritariamente muros de mampostería o muros de concreto en los pisos superiores, pero estos no se prolongan hacia las plantas inferiores, debido a que por proyecto, estos se evitan para lograr amplios espacios en la primera planta, comúnmente utilizados como estacionamientos (Figura 2.7).



También puede suceder que la estructura fuera concebida como una estructura basada en marcos ortogonales, los cuales son diseñados sin tomar en cuenta la contribución de muros, generalmente de mampostería, que sirven para división de los diferentes espacios arquitectónicos de la edificación: el problema radica en que en muchos casos reales, estos muros son ligados por error a la estructura provocando gran rigidez y resistencia ante las cargas sísmicas en todos los entrepisos situados por encima del nivel inferior (Figura 2.8).



Figura 2.8. Falla en planta baja por piso suave.
Fuente: Guevara (1998).

Otra forma de crear el problema de planta baja débil es cuando las columnas en la planta baja son más altas que en el resto del edificio lo que provoca que esta planta se transforme en un soporte semi-flexible. Al ocurrir un sismo, este incremento en la rigidez y resistencia provoca una demanda excesiva de ductilidad en el primer piso, es decir, las columnas tendrán que disipar la energía del sistema, pudiendo fracturarse o desarrollar grandes deformaciones no planeadas (Figura 2.8).

2.4. Introducción a ECOgcW

Es un programa para el análisis y diseño desarrollado específicamente para sistemas de edificaciones, puede manejar los más grandes y complejos modelos, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales. Este puede modelar edificios con diafragmas rígidos o sin ellos. Al ser el modelo tridimensional, cada nudo tiene seis grados de libertad, que pueden ser los seis independientes o tres independientes y tres dependientes, según estén ligados o no a un diafragma rígido. Los diafragmas rígidos son definidos por el usuario al emplear tableros. Todos los tableros que tienen al menos un nudo en común, forman un diafragma rígido. Los nudos que están en el diafragma tienen tres grados de libertad independientes (desplazamiento vertical y rotaciones alrededor de los ejes horizontales) y tres dependientes desplazamientos horizontales y rotación alrededor del eje vertical). Los

desplazamientos en las libertades dependientes son valuados por ECOgcW en función de los desplazamientos del nudo maestro del diafragma. El nudo maestro de cada diafragma es establecido automáticamente por ECOgcW, haciendo las transformaciones apropiadas en las matrices de rigidez de los elementos. Los nudos que no están ligados a un diafragma, tienen sus seis grados de libertad independientes.

ECOgcW cuenta con análisis lineal, efectos P-Delta, análisis sísmico y diseño de elementos de concreto a flexión y flexo compresión biaxial. Los análisis que realiza son tridimensionales (Corona, 2003).

2.4.1. Análisis considerados en el software ECOgcW

El procedimiento de análisis empleado es el método matricial de rigideces. De la matriz de rigidez de la estructura se almacena en memoria sólo el perfil de la misma. Para la solución del sistema de ecuaciones se emplea el método de Gauss adaptado para trabajar la matriz perfilada.

Método matricial

El método matricial de rigideces para la detección de daños en elementos estructurales de edificaciones, expresado como la pérdida de rigidez, se propone y se evalúa. El método permite la localización y la evaluación de la magnitud de los daños en los elementos estructurales teniendo en cuenta la contribución de cada uno de ellos con el rendimiento global de la estructura; es aplicable a edificaciones bi y tridimensionales de uno o varios pisos, y con uno o varios elementos dañados (Escobar *et al.*, 2001).

MATRICES DE RIGIDEZ DE BARRAS

Las matrices de rigidez de las barras las genera ECO teniendo en cuenta la zona infinitamente rígida de los extremos, según el factor de zona rígida definido por el usuario. Las matrices incluyen las deformaciones por cortante.

MATRICES DE RIGIDEZ DE PANELES

Según los grados de libertad asignados a los nudos de cada panel ECO genera su matriz de rigidez. En todos los casos la matriz de rigidez la obtiene por integración numérica (Bathe, Wilson 1976).

1. Análisis modal

Para la obtención de los valores característicos de la matriz generada para el análisis modal, emplea el método de iteración del subespacio (Bathe y Wilson, 1972).

2. Análisis P-Delta

Se realiza obteniendo la matriz de rigidez geométrica y adicionándosela a la matriz de rigidez elástica del miembro (Wilson, 1998) (Figura 2.9).

Para determinar la carga P que interviene en la matriz geométrica de cada miembro sigue un procedimiento iterativo. En la primera iteración considera todas las cargas $P=0$. Con las fuerzas axiales obtenidas, modifica las matrices de rigidez de cada miembro y recalcula, hasta que llega a la convergencia cuando la diferencia máxima de cargas P entre dos iteraciones es menor que un valor máximo preestablecido. Las matrices de rigidez de los miembros modificadas con la matriz de rigidez geométrica, son empleadas al realizar el análisis estático o el análisis modal.

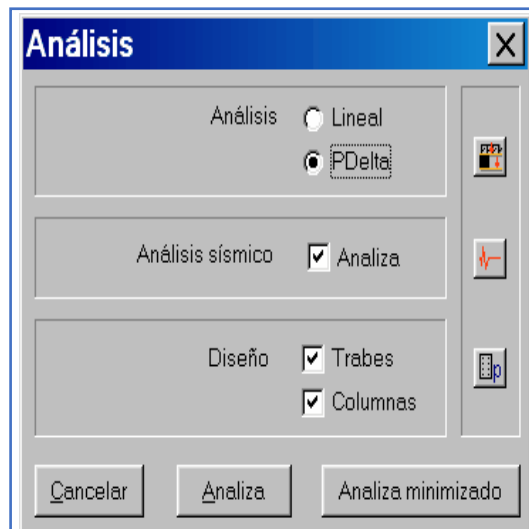


Figura 2.9. I. de P. Análisis.
Fuente: Corona (2003).

c) Análisis sísmico

Análisis sísmico estático

Para poder realizar en ECOgcW un análisis sísmico estático debe existir en cada nivel al menos un diafragma cuya masa traslacional sea al menos el 90% de la masa total en el nivel. Los métodos más comúnmente empleados en el análisis sísmico son los llamados estáticos, las fuerzas equivalentes al efecto sísmico se valúan considerando una aceleración en el nivel inferior (coeficiente sísmico) reducida por ductilidad, que, al multiplicar por el peso total del edificio, da como resultado una fuerza cortante en la base del mismo. Esa fuerza total se reparte en los distintos niveles en función de su peso y ubicación con respecto al nivel inferior, tratando de obtener una envolvente del comportamiento de la estructura a la excitación en su base. En estos métodos sólo se requiere conocer la ubicación y destino de la estructura para asignarle un coeficiente sísmico adecuado, que

tome en cuenta el tipo de terreno en que se desplantará y el tipo de ocupación que tendrá; el sistema estructural y los materiales que se emplearán, para estimar la ductilidad que podrá desarrollarse y reducir las fuerzas en función de ella; los pesos de los distintos niveles, la ubicación de su centroide y sus alturas respecto a la base, para evaluar el cortante basal, repartirlo a los distintos niveles y obtener momentos de volteo y efectos torsionales. Se requiere también conocer las rigideces de los distintos elementos resistentes, para calcular los desplazamientos máximos probables y estimar los efectos que el sismo ocasionará en cada elemento estructural: trabes, columnas, losas y muros. (Enrique del Valle, 1981).

Análisis sísmico dinámico

El análisis sísmico dinámico que realiza ECOgcW es un análisis modal espectral. Los métodos dinámicos se aplican en la determinación de los efectos cíclicos en edificios altos, cuya respuesta puede complicarse por la anticipación de modos superiores de vibrar, así como por las posibles variaciones de masa y rigidez en elevación. Es necesario elaborar modelos matemáticos más o menos refinados de la estructura, tomando en cuenta en ocasiones su carácter tridimensional, para calcular las formas en que puede oscilar y los periodos correspondientes, empleando computadoras. Con estos datos se estima, mediante un espectro de diseño, la máxima respuesta de cada uno de los modos de vibrar y se combinan para obtener fuerzas máximas probables que actuarán sobre la estructura, debido al sismo de diseño (Figura 2.10).

Análisis sísmico	
Reglamento: CFE	Periodos fundamentales: Tx, Ty
Tipo de análisis: ☐ estático ☒ dinámico	
Modos: 12 NSM: 0	Cálculo de respuestas: ☐ Fuerzas equivalentes ☐ Cortantes equivalentes ☒ Elementos mecánicos
Grupo: B Zona: D Suelo: III	QX: 2.000 QY: 2.000 kQ: 1.000 ex. accidental: 0.100 c: 0.860 a0: 0.860 Ta: 0.000 Tb: 1.700 r: 1.000
Vbasal mínimo: 1 x ☐ aW/Q' ☒ Vestático	
CFE.1993	
Espectro	Cancelar Aceptar

Figura 2.10. Impresión de pantalla, Análisis Sísmico
Fuente: Corona (2003).

Los métodos sísmicos se pueden utilizar para el análisis de toda estructura, cualesquiera que sean sus características. Puede utilizarse el método estático para analizar estructuras regulares, de altura no mayor de 30 m, y estructuras irregulares de no más de 20 m. Para edificios ubicados en la zona I, los límites anteriores se amplían a 40 m y 30 m, respectivamente (NTC 2004).

Cabe mencionar que, para el cálculo de desplazamientos, no se permite reducir las fuerzas, pues se estima que los desplazamientos elásticos bajo las fuerzas máximas son aproximadamente iguales a los calculados con las fuerzas reducidas, multiplicados por el factor de reducción por ductilidad, ya que al reducir las fuerzas se está permitiendo que la estructura se deforme inelásticamente (Enrique del Valle, 1981).

La excentricidad torsional de rigideces existente en cada entrepiso, no fue desarrollada en este trabajo, pero cabe mencionar que estos efectos de torsión deben ser considerados para el análisis y diseño de un sistema estructural, ya que la finalidad de este proyecto no es un análisis convencional para evaluar los elementos y rediseñar si es necesario, sino demostrar como los muros de mampostería confinada afectan a una estructura cuando estos son considerados como muros de carga sin ser estos proyectados como tal.

3. Diseño a flexocompresión biaxial

ECOGcW realiza el diseño del elemento a flexocompresión biaxial considerando que está reforzado con acero tubular o concentrado (Figura 2.11). Se realiza el diseño de los elementos estructurales en relación al Reglamento del Distrito Federal

Parámetros de diseño	
Reglamento	RDF96
E concreto	0.003
E acero	2000000
Marco dúctil	☐
Método alternativo	☒
Torsión	☒
Flexión | Flexocompresión	
f'c	250 Kg/cm2
fy acero longitudinal	4200 Kg/cm2
FR flexión	0.9
Mr mínimo	1.5 M agri
Area máx acero de tensión	0.75 A bal.
Acero máximo por lecho	0.025 bd
fy acero transversal	4200 Kg/cm2
FR cortante	0.8
Cancelar	Aceptar

Figura 2.11. I. de pantalla
Parámetros de diseño.
Fuente: Corona (2003).

ECOGcW permite definir la geometría básica del edificio de dos maneras:

- Definiendo una retícula tridimensional a partir de la cual ECOgcW ensambla el edificio en una sola operación.
- Definiendo las plantas que son diferentes en el edificio y posteriormente ensamblándolas para obtener la retícula tridimensional.

2.5. Simulación de edificios SIB

El software SIB (*Simulation of buildings*) es una herramienta mexicana, desarrollada en la sección de Mecánica Aplicada del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, campus Ciudad Mendoza, para permitir la simulación de edificios de concreto reforzado con modelos probabilísticos que representan incertidumbres relativas a la carga, geometría y materiales tomando en cuenta variables estocásticas de las mismas. Utiliza el lenguaje de programación FORTRAN y modelos probabilísticos específicos.

Las variables estocásticas y de proceso a ser simuladas se clasifican de la siguiente manera:

1. Construir procesos de carga espacial interior.
2. Las variables geométricas
3. Variables de materiales.

2.5.1. Monte Carlo

Las simulaciones se realizan a través del método de Monte Carlo, siendo éste una forma genérica para resolver una amplia gama de problemas. Por un lado, se utiliza en problemas que son deterministas puramente matemáticos, tales como la resolución de integrales múltiples. Por otro, puede ayudar a resolver problemas con un componente claramente estocástico (Del Caño *et al.*, 2012).

2.5.2. Simulación de cargas

Las diferentes cargas en edificios en condiciones de servicio tienen su propia naturaleza. Las cargas características dependen del uso de las consideraciones de construcción, de calidad y de diseño de la construcción (Rangel y Esteva, 2013). La simple posibilidad de un mal comportamiento de un sistema puede resultar irrelevante si la probabilidad de que el

mismo se presente es nula o despreciable (Gómez, 1993). Para ello, el software SIB se basa en los modelos probabilísticos:

Carga Viva: Se consideran cargas vivas a las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente (RCDF, 2004).

Los modelos probabilísticos permiten mostrar de manera sencilla y práctica el modelo. El software SIB se basa únicamente en dos tipos de modelos probabilísticos.

- **Peir y Cornell model (PC)**

El modelo probabilístico de Peir y Cornell se especializa en las cargas vivas de los sistemas simulados teniendo en consideración las condiciones de carga de todo el edificio, número de placas en el suelo y el número de segmentos discretos de la losa. Esta es una combinación lineal de variables independientes relativas a las variaciones entre los edificios, pisos y variación de carga espacial en el plano del piso. Entonces este modelo trabaja en general mediante la fórmula 2.1

$$w_{ij}(x,y) = m + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ij}(x,y) \dots\dots\dots 2.1$$

Donde w es la intensidad de carga en un área infinitesimal, los subíndices i y j representan un particular edificio y piso, respectivamente, (x, y) representa la posición horizontal en el plano del piso. El primer término m representa una media de rectora global (media global) y γ_{ij} es una variable aleatoria de media cero para representar a las desviaciones del valor m . El ε es un cero aleatorio medio variable independiente del término γ . (Rangel y Esteva 2013).

- **Mitchel y Woodgate model (MW)**

En cuanto al modelo probabilístico de Mitchel and Woodgate es inexistente la relación entre las áreas del edificio piso o losa por lo cual no representa procesos de relación de carga.

En éste la intensidad de carga viva se representa por un proceso de Gauss se considera que el fenómeno de la intensidad de carga tiene un tipo de distribución gamma. Por lo tanto, la función de distribución de probabilidad del efecto de carga Z se representa en la fórmula 2.2:

$$f_Z(z) = \frac{\lambda(\lambda z)^k e^{-\lambda z}}{\Gamma(k)} \dots\dots\dots 2.2$$

En el que $\Gamma(.)$ es la función gamma; y λ y k son los parámetros de escala y de forma inversa.

Carga muerta

Se consideran como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo (RCDF, 2004).

En el caso del análisis de este tipo de cargas el SIB procede a la discretización de pisos y áreas de losa, tomándolas como áreas tributarias triangulares como se muestra en la Figura 2.12.

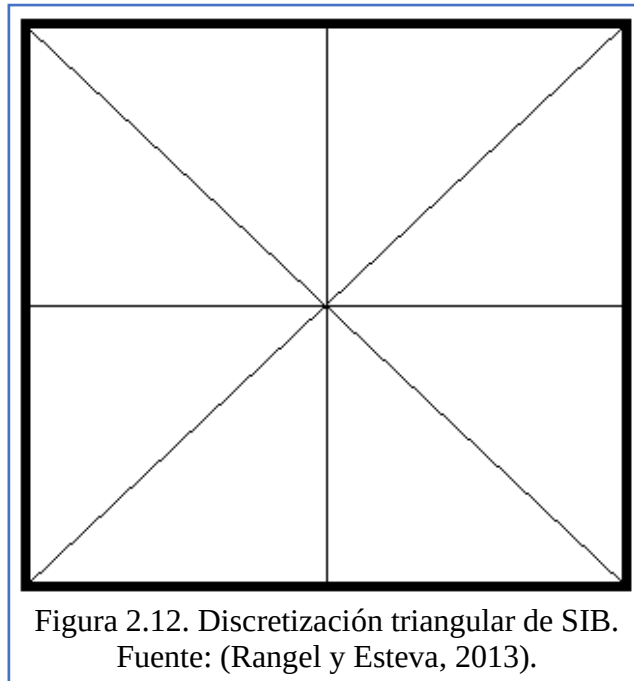


Figura 2.12. Discretización triangular de SIB.
Fuente: (Rangel y Esteva, 2013).

2.5.3. Incertidumbres geométricas y materiales en miembros estructura.

Muchos problemas geotécnicos están mal definidos y afectados por un grado considerable de incertidumbre. Esta incertidumbre puede resultar en predicciones poco fiables para fines de diseño (Sheu, 2011).

Las incertidumbres en una edificación, detallan aquellas alteraciones del proceso constructivo con el que se trabaja y el cual es inevitable. Ejemplo de este tipo de anomalía podría ser el caso de la resistencia del concreto, ya que por factores externos a las posibilidades del constructor hacen que pierda la resistencia prevista, la posición exacta del acero de refuerzo es otro ejemplo y también las medidas inexactas de los muros de construcción y elementos estructurales, entre otras muchas.

Con el fin de considerar estas características geométricas y materiales, SIB realiza la simulación de:

- a) Dimensión sección transversal externa.
- b) Recubrimiento de concreto.
- c) Área de la barras de refuerzo longitudinal en diferentes capas.
- d) Área de barras de refuerzo transversal.
- e) Separación del acero de refuerzo transversal.
- f) Peso del concreto.
- g) Los parámetros que definen la resistencia de concreto y sus parámetros.
- h) Parámetros que definen reforzar resistencia de barras de refuerzo (Rangel y Esteva 2013).

2.5.4. Código FORTRAN.

El código FORTRAN es un lenguaje de programación y fue desarrollado originalmente por IBM en 1954, con el objetivo de poder escribir programas de cómputo científico en un lenguaje de alto nivel en vez de tener que recurrir a lenguaje de máquina o ensamblador (Alcubierre, 2005).

En Fortran, los parámetros se pasan por referencia en una manera tal que, siempre y cuando el argumento actual este asociado con una ubicación de almacenamiento con nombre, el subprograma puede cambiar el valor del argumento real mediante la asignación de un valor al parámetro formal correspondiente (Irigoin, 2003). Por eso el uso de éste permite además de simplicidad, que se pueda modificar de manera que el usuario este en alcance de cualquier manipulación en la simulación.

Después del modelado en el software ECOgcW, se obtendrán resultados para ingresarlos al código FORTRAN para el software SIB en donde se simulará, con los modelos que se han descrito, para las incertidumbres dadas. En este software sólo se hará la simulación bajo las condiciones de diseño y combinación de cargas básicas, el sistema estructural con piso suave y cargas sísmicas corresponde a estudios posteriores.

2.6. Modelación de elementos del sistema estructural

2.6.1. Elementos viga-columna

El modelo de viga columna discretizado en fibras se muestra en la Figura 2.13 bajo un sistema de referencia local. Como puede observarse la longitud del elemento cuenta con diversos puntos de control, es decir, dentro del elemento se seleccionan puntos donde se desea obtener información directa a través de la integración, posteriormente estos puntos de control sirven para obtener el estado total del elemento a través de las funciones de forma utilizadas. Particularmente es utilizada en esta investigación el método de integración de Lobato debido a que cuenta entre los puntos de control a los extremos físicos de los elementos, esto es importante en los análisis no lineales debido a la tendencia de la generación de articulaciones plásticas en los extremos de los elementos. Cada sección considerada es subdividida en áreas comúnmente llamadas fibras las cuales permiten establecer un comportamiento axial particular, es decir, se pueden determinar zonas de concreto o bien zonas de acero en cada sección; este tipo de modelos resulta bastante práctico ya que elimina la necesidad de obtener diagramas de comportamiento axial respecto a la flexión y permite considerar las variaciones de dimensiones en los elementos así como de las áreas de varillas obtenidas por la simulación de propiedades en el SIB (Taocer *et al.*, 1991).

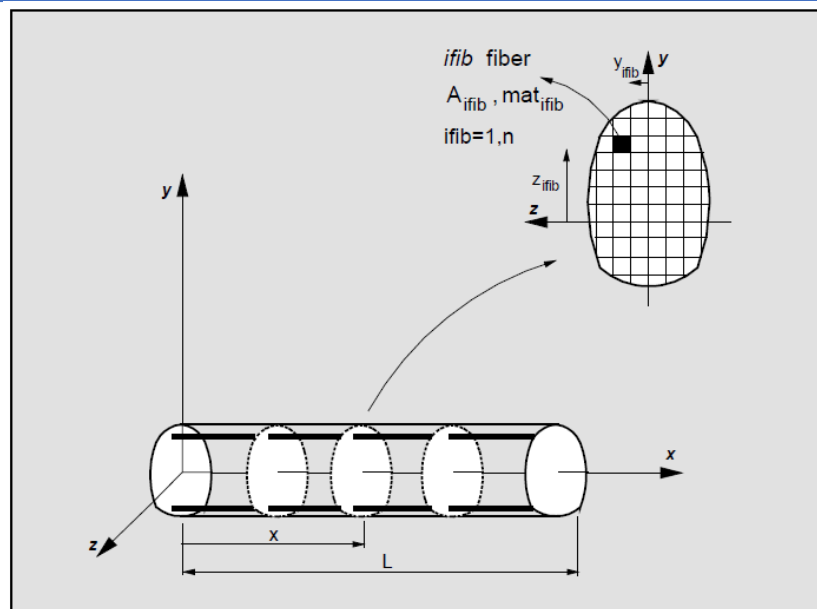


Figura 2.13. Fibra elemento de viga-columna en el sistema de referencia local; subdivisión de sección transversal en forma de fibras.

Fuente: Taocer *et al.*, 1991.

2.6.2. Muros de mampostería confinada.

La mampostería no reforzada es ampliamente utilizada, particularmente como muros que afectan tanto el desempeño estructural y no estructural de edificios (Figura 2.14). La protección de la vida puede verse comprometida por la desintegración de muros de relleno de manera frágil. Como elementos estructurales, los muros de relleno pueden cambiar el comportamiento dinámico de la construcción en términos de rigidez (un aumento de la rigidez es a menudo asociada con un aumento de las fuerzas en el edificio cuando se somete a cargas sísmicas), el efecto combinado de la fragilidad y alta rigidez tiene una implicación negativa en el comportamiento sísmico de los marcos delimitadores, la falla del muro de relleno puede dar lugar a la formación de un piso blando; la Figura 2.14 esquematiza el mecanismo piso suave o piso blando en planta baja, y los efectos en beneficio se derivan del hecho de que las paredes de relleno, al menos durante las etapas iniciales de un terremoto, incrementa la capacidad para resistir la fuerza lateral así como el amortiguamiento de la estructura (Kadysiewsky y Mosalam, 2009).

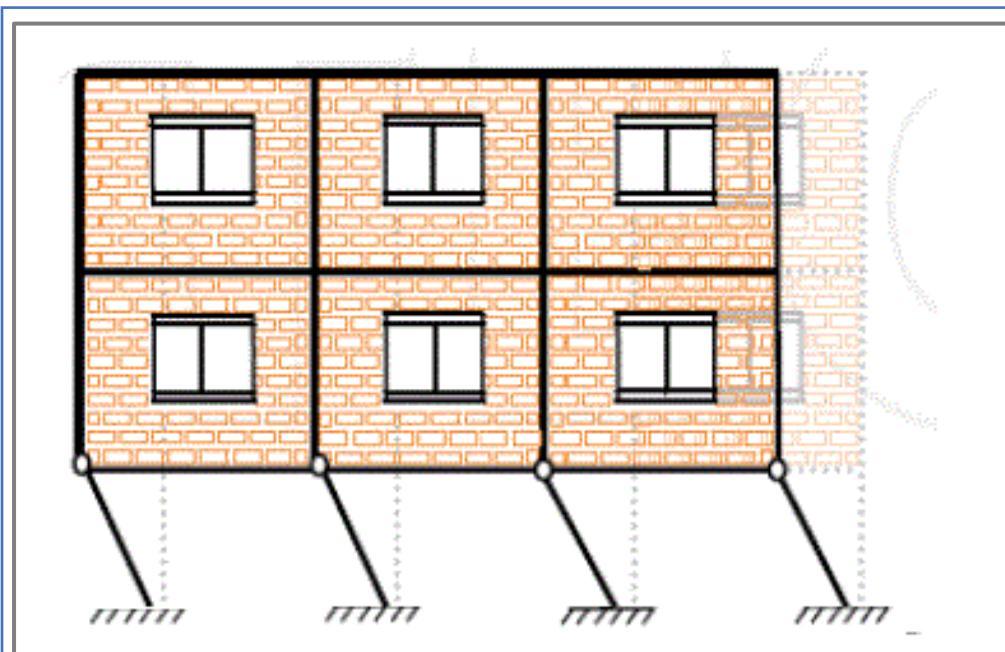


Figura 2.14. Mecanismo piso suave en planta baja.

Fuente: Mohamed *et al.*, 2012.

El comportamiento de la estructura compuesta por marcos de concreto reforzado y muros de mampostería ha sido motivo de múltiples investigaciones; los muros de relleno de mampostería tradicionalmente no son considerados como parte del sistema de carga-resistencia lateral. Un argumento para ignorar el efecto de estos muros es que tales paredes

normalmente no ofrecen mucha capacidad de desplazamiento, y en un caso de demandas laterales significativas, el muro fallaría, mientras que en la aparición de estas demandas en el sistema, este resistiría las cargas laterales originales según lo previsto en el diseño supuesto (Hashemi y Mosalam, 2007).

Se han tenido dificultades para el modelado en forma analítica, esto debido a la complejidad del análisis por las incertidumbres estructurales relacionadas con las propiedades mecánicas del material de relleno, así como a las condiciones de contacto con el concreto; además de la formación de complicados modos de falla cuyo origen corresponden a la interacción de la mampostería con el material con que es juntado, sin pasar por alto la diversidad de las técnicas de construcción adoptadas en distintas regiones e incluso los materiales con que son fabricadas las unidades de mampostería.

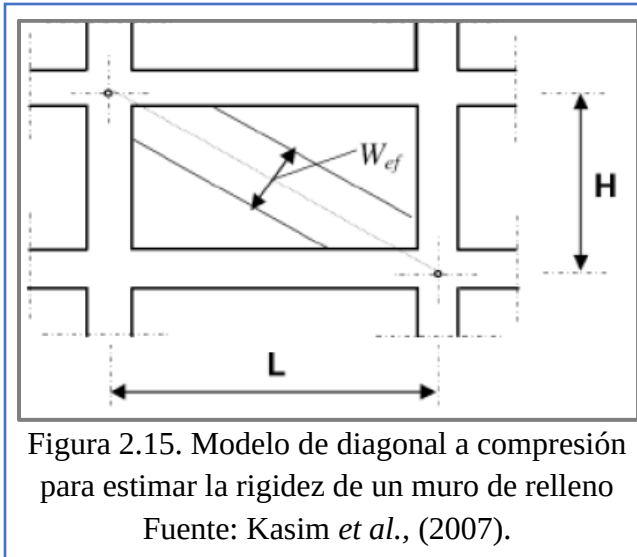
De acuerdo con Mohamed *et al.* (2012), la modelación de los muros de relleno se pueden caracterizar en dos tipos:

- ☐ Modelos detallados (micro).
- ☐ Los modelos simples (macro).

Los micro-modelos se basan en el método de elemento finito, que aun cuando permiten modelar más a detalle implica una tarea compleja por la cantidad de información que se debe considerar: características de mortero, especificaciones de ladrillo, interacción entre ladrillo y mortero, interacción entre pared de mampostería de relleno y el marco.

Los macro-modelos se basan esencialmente en las propiedades físicas globales del elemento simulado, estos modelos no son tan detallados; sin embargo, permiten el estudio de sistemas mayores y con más número de elementos. Trabajos de investigación en este sentido, denotan que en su mayoría, los macro modelos usados para simular el comportamiento de los muros de mampostería de relleno en marcos de concreto reforzado, usan diagonales que trabajan como puntales de compresión.

En la Figura 2.15 se presenta una de las formas de esquematizar un muro de mampostería de relleno representado mediante un puntal diagonal a compresión, donde W_{ef} es el ancho efectivo, H y L son la altura y longitud del marco, respectivamente.

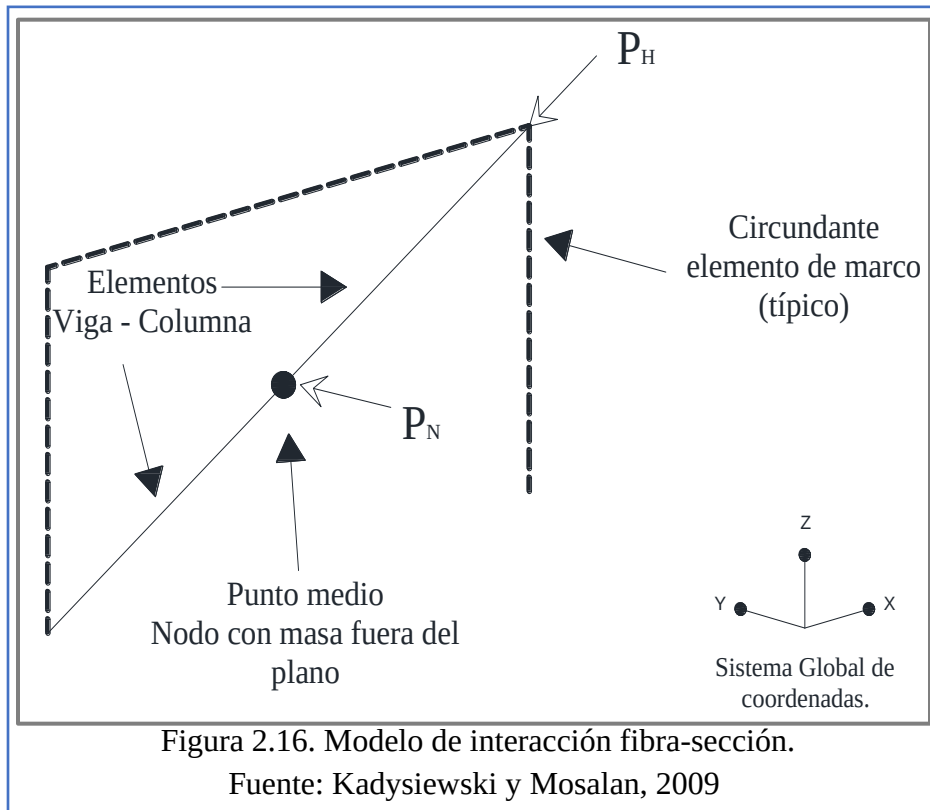


Para fines del presente estudio y con el propósito de estudiar la contribución de los muros de mampostería en edificios de concreto reforzado, se usa el modelo de interacción fibra-sección.

- **Modelo de interacción fibra-sección**

Se trata de un modelo con discretización de fibras que considera la interacción inherente al muro de mampostería dentro y fuera del plano (Kadysiewski y Mosalan, 2009). El modelo consta de un miembro diagonal, éste se compone de dos elementos viga-columna que se unen a un nodo en un punto medio, al nodo se le da una masa concentrada en la dirección fuera del plano (Figura 2.16).

Existen formulaciones basadas en desplazamiento o basadas en fuerza que están disponibles en el software OpenSees (Mazzoni *et al.*, 2006). En este trabajo se utilizan elementos basados en fuerza para modelar a los puntales de mampostería. La Figura 2.16 denota el modelo a utilizar.



Dentro del plano

El comportamiento en el plano del panel de relleno se modela mediante un puntal diagonal. El puntal se le da un espesor (normal a la pared), t_{inf} , igual al espesor de relleno real. La anchura del puntal, a , viene dada por la Ecuación 2.1 en FEMA 356 (*Federal Emergency Management Agency*, 2000), y se reproduce a continuación (Ecuación 2.1 y Ecuación 2.2, Tabla 2.1)

$$a = 0.175 (\lambda_1 * h_{col})^{-0.4} * r_{inf} \dots\dots\dots 2.1$$

$$\lambda_1 = \left(\frac{E_{me} * t_{inf} * \sin 2\theta}{4 * E_{fe} * I_{col} * h_{inf}} \right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots 2.2$$

Tabla 2.1. Significado de variables “Modelación dentro del plano”			
Variable:	Significado:	Variable:	Significado:
t_{inf}	Espesor de relleno real (pulg.)	a	Anchura del puntal. (pulg.)
h_{col}	Altura de la columna entre las líneas centrales de las vigas (pulg.)	h_{inf}	Altura del panel de relleno (pulg.)
E_{fe} y E_{me}	Módulos esperados de elasticidad de los materiales del marco y de relleno respectivamente [MPa].	I_{col}	Momento de inercia alrededor del eje de la columna fuera de plano sección (pulg. ⁴)
L_{inf}	Longitud del panel de relleno (pulg.)	r_{inf}	Longitud de la diagonal del panel de relleno (pulg.)
θ	Ángulo cuya tangente es el cociente de relleno altura a la longitud de aspecto (radianes), es decir; $\tan \theta = h_{inf}/L_{inf}$.	λ_1	Coefficiente usado para determinar el ancho equivalente del puntal de relleno.

Fuera del plano: el desarrollo de este apartado se encuentra en FEMA 356 (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, 2000).

2.7. Opensees conforme Silvia Mazzoni (Curso OpenSees, 26 de septiembre 2014; UC Berkeley)

Este software utiliza técnicas modernas para evolucionar una extensible plataforma de códigos abiertos de software de elementos finitos para la ingeniería sísmica que abarca tanto ingeniería estructural como geotécnica, proporciona un marco común de investigación analítica para los investigadores PEER (*Pacific Earthquake Engineering Research Center*) para educar a estudiantes y compartir nuevo conocimiento y fomentar un mecanismo que permita una nueva investigación desarrollada a través de PEER podría difundirse a la industria para prueba e implementación.

OpenSees es un marco de software para la creación de aplicaciones de elementos finitos en sistemas estructurales y geotécnicos.

2.7.1. Marco en OpenSees

- Un marco es un conjunto de componentes de software para cooperar la creación de aplicaciones en un dominio específico.
- El marco OpenSees está escrito principalmente en lenguaje orientado a objetos, lenguaje C ++; y otros idiomas a saber, C y Fortran también se utilizan, las clases abstractas en el marco OpenSees definen el interfaz.
- Las subclases concretas que existen en el marco proporcionan las implementaciones.

2.7.2. Uso de OpenSees

- Proporcionar su propia función principal () en C ++ y enlace al marco.
- OpenSees utiliza intérpretes, estos son extensiones del Tcl intérpretes, tclsh y wish, para realizar el análisis de elementos finitos.

Tcl (Tool Command Language): es un lenguaje de programación dinámico y de comandos de cadenas basados en variables y sustitución de variables, evaluación de expresiones estructurales de control básico como (if (si), while (mientras), for (para), foreach (para cada)) y procedimientos, manipula archivos de igual manera abasteciéndose de otros archivos.

- **Análisis Pushover.**

La capacidad de una estructura depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar sus capacidades más allá del límite elástico, es necesario utilizar algún tipo de análisis no lineal, como por ejemplo, el llamado análisis pushover.

Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad. Esta curva relaciona las fuerzas cortantes en la base con los desplazamientos en el nivel superior de la estructura. El modelo matemático de la estructura se modifica para tener en cuenta la reducción de rigidez de los elementos que ceden. De esta forma, se aplican una serie de fuerzas horizontales, las cuales se incrementan de manera monótonica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima. (Métodos para estimar el punto de desempeño).

Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS

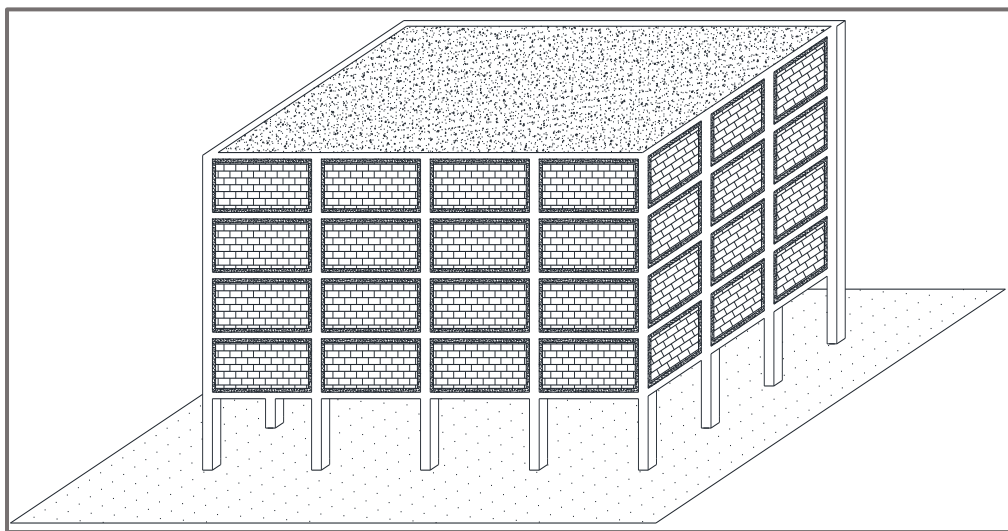
En este capítulo se presentan, de manera fundamentalmente esquemática, las etapas del proceso por las que transita el desarrollo de esta investigación. El propósito es mostrar, en una visión general, el conjunto de actividades que tienen que ejecutarse para poder desempeñar este trabajo.

3.1. Esquematización

Esquematizar un modelo estructural que cumpla con las características arquitectónicas y/o geométricas acorde con el problema sujeto a estudio, considerando que será una edificación de concreto reforzado, por medio del software AUTOCAD, con las siguientes características:

- Distribución en planta: 4 crujías de 6.75m x 3 crujías de 4.5m, con 27m de largo y 13.5m de ancho.
- Estructura de 5 niveles con una altura total de 16.8m; primer nivel de 4m y los consecutivos de 3.2 m. Esta configuración estructural es comúnmente utilizada en estudios de edificios de 4, 8 y 12 niveles (Luaces, 1995) y de 12 y 15 niveles (por ejemplo, Tena *et al.*, 1996 y 1997; Luna 1998).
- El uso del edificio será para Oficinas.

Se establece un modelo estructural, con la finalidad de conocer la representación y ubicación de cada elemento que conforma esta edificación.



Idealización del sistema estructural.

3.2. Metodología ECOgcW

Objetivos:

- Diseñar el sistema que cumpla con especificaciones técnicas conforme al Reglamento de Construcción para Acapulco (2002), el Distrito Federal (2004) y el Manual de Diseño de Obras Civiles de CFE (2008), mediante el software ECOgcW.
- Conocer el uso adecuado del software ECOgcW (Análisis y diseño de edificios de concreto), que cuenta con análisis lineal, análisis sísmico y diseño de elementos de concreto a flexión y flexocompresión biaxial, operando al mismo con el apoyo de su respectivo manual.

3.2.1. Análisis estructural por medio de ECOgcW

El análisis y diseño estructural se realiza con apoyo del programa de análisis y diseño de edificios de concreto ECOgcW versión 2.06 (Corona, 2003), el cual aplica las disposiciones del Reglamento de Construcción del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias (2004), para el pre-diseño de miembros a flexión y flexocompresión biaxial. En este programa se determinan las fuerzas sísmicas laterales mediante un análisis dinámico modal espectral e incluye los efectos P- Δ .

Para esto, se realiza el modelado de cada estructura introduciéndole al programa:

Parámetros de diseño

- | | |
|---|--------------------------|
| ❖ Reglamento: RDF | ❖ Marco dúctil: No |
| ❖ Manual de Obras Civiles de CFE. | ❖ Tipo de edificación: B |
| ❖ Deformación concreto: 0.0030 | ❖ Apoyos: Restringidos. |
| ❖ Módulo de elasticidad del acero:
2×10^5 MPa (2×10^6 kg/cm ²). | |

La geometría de la estructura estará definida en un sistema global coordinado ortogonal tridimensional X-Y-Z. Las plantas de los niveles del edificio serán paralelas al plano X-Y, ubicando su altura sobre el eje Z (Tabla 3.1).

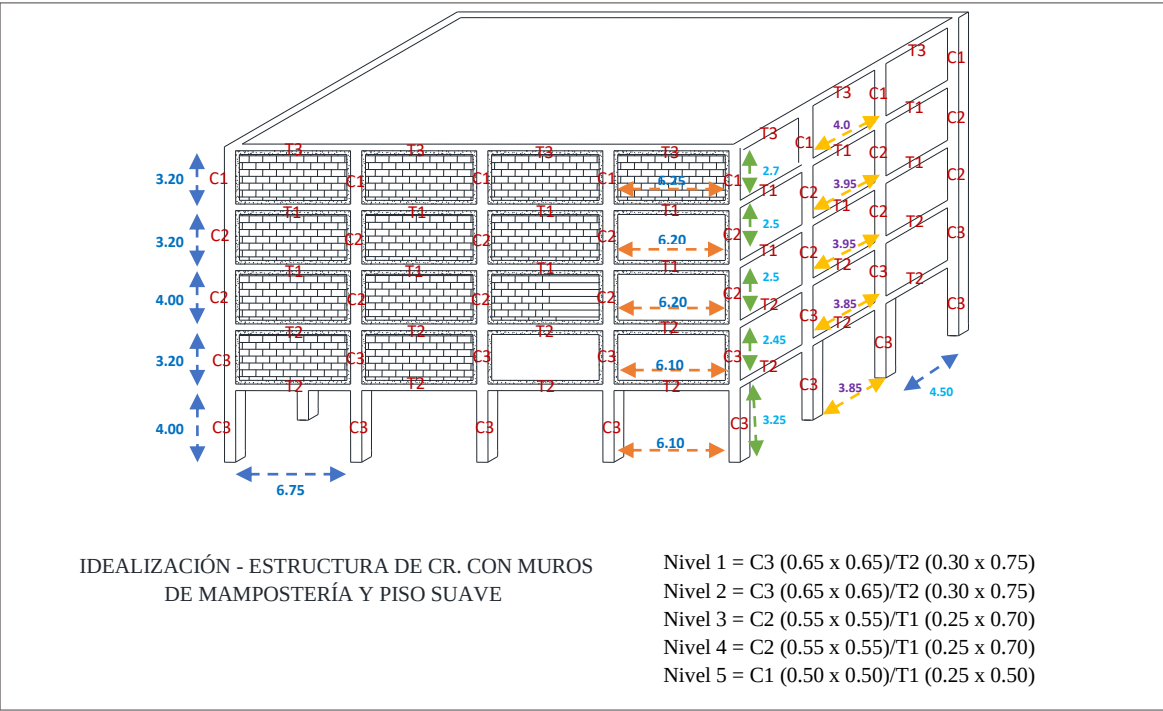
1. Número de niveles, el número de ejes de columnas en dirección X y el número de ejes de columnas en dirección Y, así como el tipo de sistema coordinado a emplear.
2. Se le indican la altura de entrepisos, así como las separaciones entre ejes.

Tabla 3.1. Geometría estructural.	
Dato	Valor
Número de niveles:	5
Numero de ejes de Columnas en X	5
Numero de ejes de Columnas en Y	4
Tipo de coordenadas	Sistema global coordinado ortogonal tridimensional X-Y-Z
Altura de entre pisos	Primer nivel: 4m. 4 consecutivos: 3.2m.
Separación entre ejes	En X: 6.75m. En Y: 4.5m.

Con lo anterior, lo que se logra es contar con el esqueleto fundamental de la estructura, al cual se le van incorporando las características específicas de sus elementos estructurales, de las cargas aplicadas, y el tipo de análisis y diseño a ejecutar (Tabla 3.2), en este primer modelo se presentan la ubicación de los muros que se contemplan desligados de la estructura principal, y son considerados en el software como carga distribuida en los elementos trabes.

Tabla 3.2. Características específicas de elementos estructurales	
Dato	Valor
Tipo de análisis	Dinámico
Diseño a ejecutar	Flexión (vigas) Flexocompresión (columnas)

1. Para cada elemento estructural como vigas o columnas, se le indica al programa el tipo de sección transversal a emplear y las dimensiones preliminares b y h de sus lados. La longitud b se refiere a la dimensión menor de la sección en tanto que la longitud h representa el lado más largo de la misma (Tabla 3.3).



Nivel 1 (Vista en planta)

C3=65X65		T2 = 30 X75	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3

Tabla 3.3. Características geométricas de vigas y columnas.

Dato		Valor
Sección transversal		Rectangular
Dimensiones (Vigas).	preliminares	b: 25 cm. h: 50 cm.
Dimensiones (Columnas).	preliminares	Varian con respecto al nivel.

2. Para los paneles que modelan losas o muros, se debe proporcionar el dato del correspondiente espesor t (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Espesor para losas y muros.

Dato	Valor
Losa Reticular (Caseton 40 x 40 x 15)	20 cm.
Muros (espesor)	15 cm.

Adicionalmente, para todos los elementos estructurales el ECOgcW requiere la información relativa a los materiales empleados, tales como peso volumétrico, resistencia de diseño, modulo elástico, y módulo de Poisson, para el concreto. También se requieren el esfuerzo de fluencia, el módulo elástico, y el módulo de Poisson, para el acero de refuerzo (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Información relativa de los materiales empleados.

Dato	Valor
Concreto:	Clase 1
Peso Volumétrico:	2200 kg/m ³
Resistencia de diseño:	250 kg/cm ²
Modulo elástico:	221359 kg/m ²
Módulo de Poisson:	0.18
Acero de refuerzo:	.
Modulo elástico:	2000000 kg/m ²
Esfuerzo de fluencia:	4200 kg/cm ²

3. En esta etapa de captura de datos, también se le anticipa al programa el tipo de diseño (flexión para vigas, o flexo compresión para columnas) que debe llevar a cabo para cada elemento estructural (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Tipos de diseños y variables a considerar.		
Dato:		Valor:
Flexión	fy acero longitudinal	4200 kg/cm ²
	FR flexión:	0.900
	M resistente mínimo:	1.500 M agrietamiento
	Área máxima de acero en tensión:	0.750 A balanceada
	Acero máximo por lecho:	0.025 b*d
	fy acero transversal:	4200 kg/cm ²
	FR cortante	0.800
Flexocompresión	fy acero longitudinal:	4200 kg/cm ²
	FR falla en compresión (FRc):	0.700
	FR falla en tensión (FRt):	0.800
	Acero mínimo:	1.0%
	Acero máximo:	6.0%
	fy acero transversal:	4200 kg/cm ²
	FR cortante:	0.800
	Var. lineal entre FRt y FRc:	Si

4. Asignación de propiedades a cada miembro.
5. Diseño de análisis sísmico (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Datos de entrada para el análisis sísmico.	
Reglamento:	CFE.1993
Tipo de análisis	Dinámico
Cálculo de respuestas	Elementos mecánicos
Modos a calcular:	12
Niveles sin masa	0
Grupo	B
Zona	D
Suelo	I
QX	2
QY	2
kQ	1 (regular)
Ex. Accidental:	0.1B
c:	0.86
a0:	0.5
Ta:	0.4 seg.
Tb:	1.7 seg.
r:	1

Los datos ingresados al software son tomados del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comision Federal de Electricidad”, Diseño Sismico.

ANÁLISIS DE CARGAS PARA AZOTEAS.

TIPO DE CARGA	RESULTADO	UNIDADES
Losa reticular	249.6	Kg/m ²
Carga Muerta Adicional por losa.	20	Kg/m ²
Relleno e impermeabilización	150	Kg/m ²
Instalaciones y Plafones.	40	Kg/m ²
Carga Muerta Total	459.6	Kg/m ²
Carga Viva Considerada	70	Kg/m ²

ANÁLISIS DE CARGAS PARA ENTREPISO.

TIPO DE CARGA	RESULTADO	UNIDADES
Losa reticular	249.6	Kg/m ²
Carga Muerta Adicional por losa.	20	Kg/m ²
Firme de mortero de cemento.	66	Kg/m ²
Carga Muerta Adicional por Firme	20	Kg/m ²
Mosaico de Pasta	35	Kg/m ²
Instalaciones y Plafones.	35	Kg/m ²
Paredes divisorias de Tablaroca con Hoja de Yeso de 1.25cm	50	Kg/m ²
Carga Muerta Total	475	Kg/m ²
Carga Viva Considerada	180	Kg/m ²

COMBINACIONES

Id Combinación para PDelta
PD1 1.4CM + 1.4CV

Id Combinación para Masas
MA1 CM + 0.7CV

Id Combinación para Diseño
DI1 1.4CM + 1.4CV
DI2 1.1CM + 0.77CV + 1.1SISMX + 0.33SISMY
DI3 1.1CM + 0.77CV + 1.1SISMX - 0.33SISMY
DI4 1.1CM + 0.77CV - 1.1SISMX + 0.33SISMY
DI5 1.1CM + 0.77CV - 1.1SISMX - 0.33SISMY
DI6 1.1CM + 0.77CV + 0.33SISMX + 1.1SISMY
DI7 1.1CM + 0.77CV + 0.33SISMX - 1.1SISMY
DI8 1.1CM + 0.77CV - 0.33SISMX + 1.1SISMY
DI9 1.1CM + 0.77CV - 0.33SISMX - 1.1SISMY

Donde:

IdEC Descripción

CM C MUERTA

CV C VIVA

SISMX* SISMO en dirección X

SISMY* SISMO en dirección Y

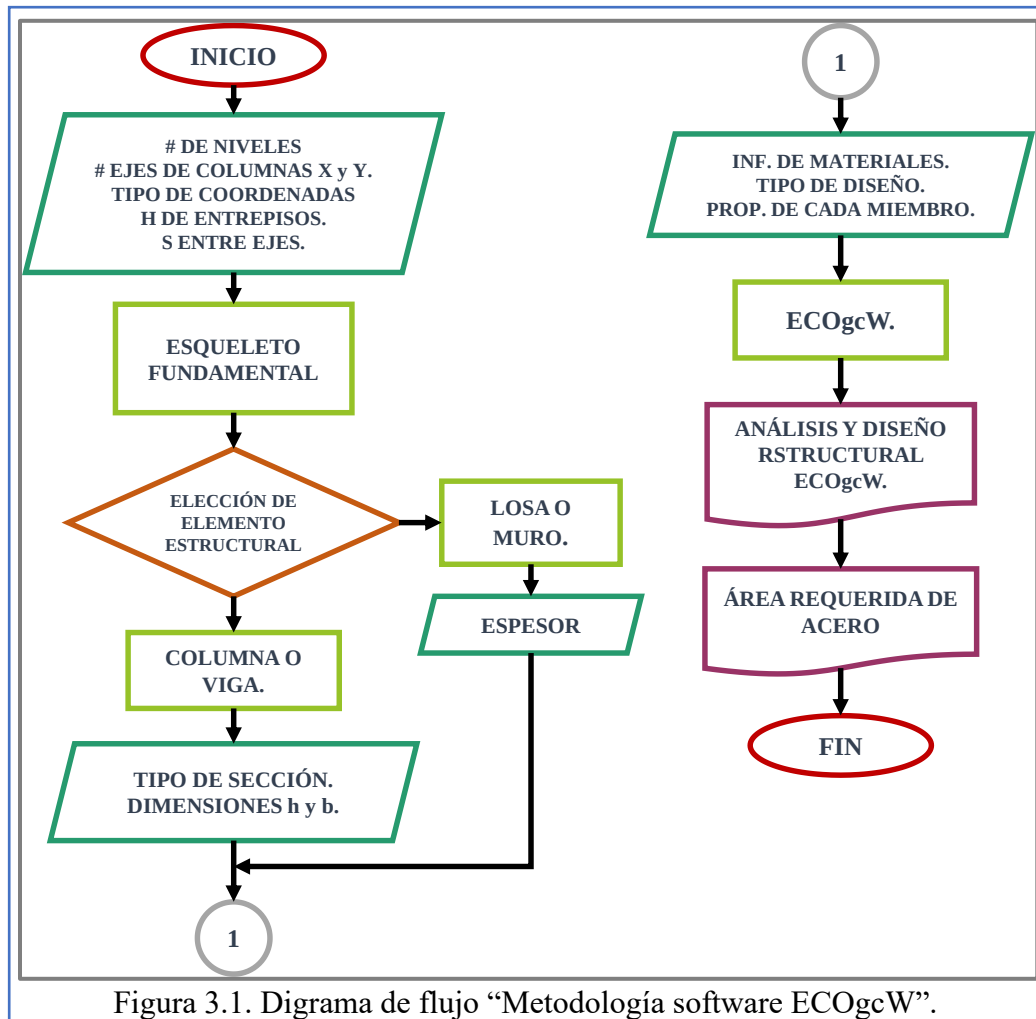


Figura 3.1. Digrama de flujo “Metodología software ECOgcW”.

Una vez obtenida la modelación mediante el software EcogcW se obtiene el área requerida de acero en sus elementos estructurales (vigas y columnas), y se determinan por proposición de material las que satisfagan dichos requerimientos con materiales comerciales mexicanos (números comerciales de varillas) (Figura 3.1).La figura 3.1 es la representación gráfica del proceso del análisis estructural en el software ECOgcW.

3.3. Diseño de Armado.

Objetivo:

- Discretizar de los elementos estructurales, en base a los resultados arrojados por el software ECOgcW, para proponer la cuantía de acero longitudinal y transversal.

A partir de los diagramas obtenidos por el software ECOgcW ya sea columna o trabe se realiza lo siguiente:

3.3.1. Columna:

El refuerzo transversal de toda columna no será menor que el necesario por resistencia a fuerza cortante y torsión. NTC (2014).

- De cada nivel se elige la columna que requiera mayor cuantía de acero, y se diseña en base a ella, así se estandarizara un tipo de columna para cada nivel.

Se considera que las fuerzas externas (en nuestro caso fuerzas laterales por sismo), no necesariamente incidirán de manera uniforme (en forma ortogonal) en cuanto al eje y y x.

- Implementar archivos Notepad++, para SIB.

3.3.2. Trabes o vigas

El software ECOgcW, en cuanto a los elementos estructurales denominados vigas o trabes, muestra la cuantía de acero requerido e intervalos en los que el elemento fue analizado, esquematiza los diagramas de momento máximo superior e inferior, cantidad de acero en el lecho superior e inferior necesario para absorber la fuerza del momento, cortante máximo superior e inferior y la separación entre estribos.

1.- Recopilar la cantidad de acero requerida, según las distancias consideradas conforme a los diagramas proporcionados por el ECOgcW, para esto se habilita una hoja de cálculo para cada elemento, usando la herramienta de trabajo Excel. Como se muestra en la Figura 3.2 y Figura 3.3.

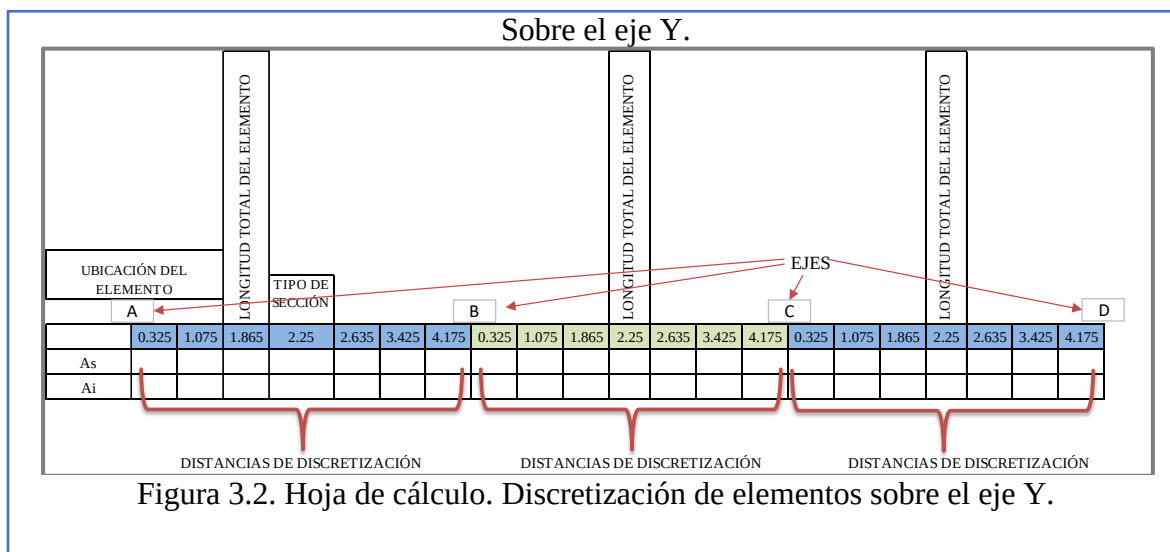


Figura 3.2. Hoja de cálculo. Discretización de elementos sobre el eje Y.

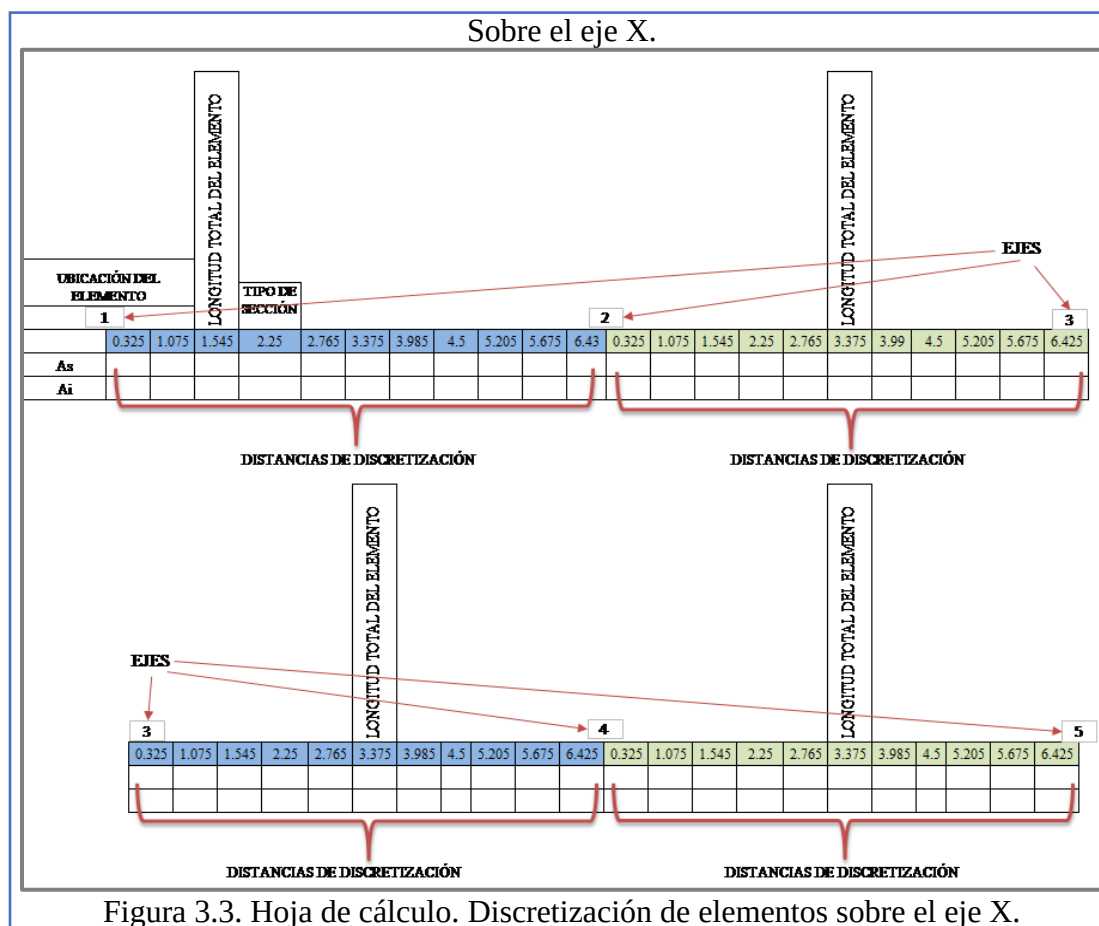


Figura 3.3. Hoja de cálculo. Discretización de elementos sobre el eje X.

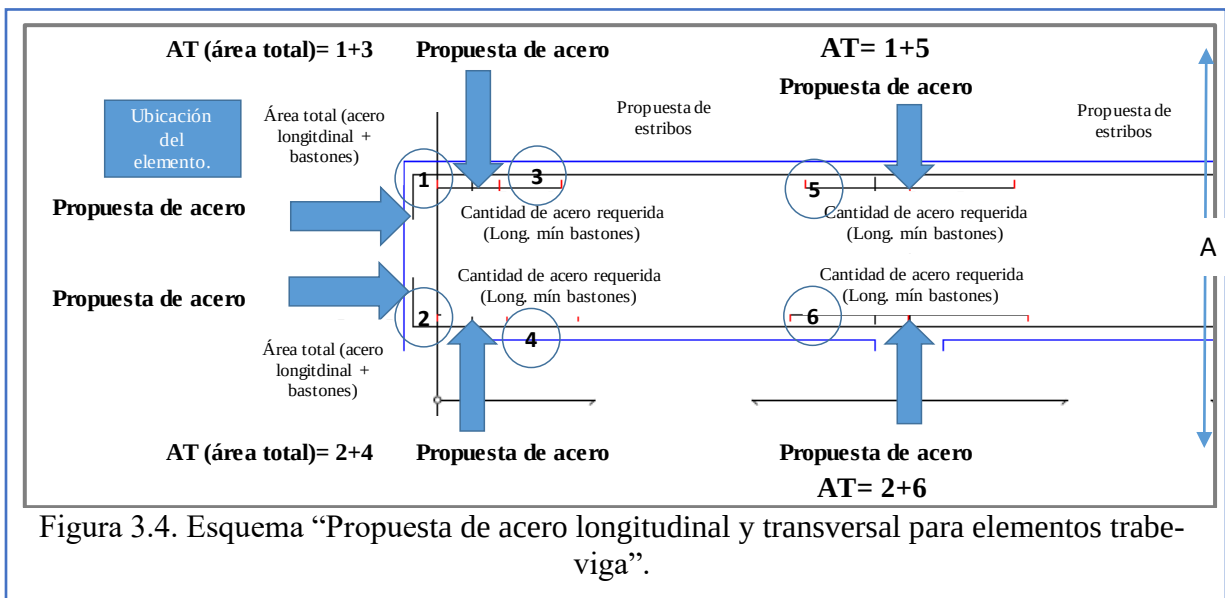
- La estructura cuenta con 75 trabes de 4.5m. y 80 de 6.75m.

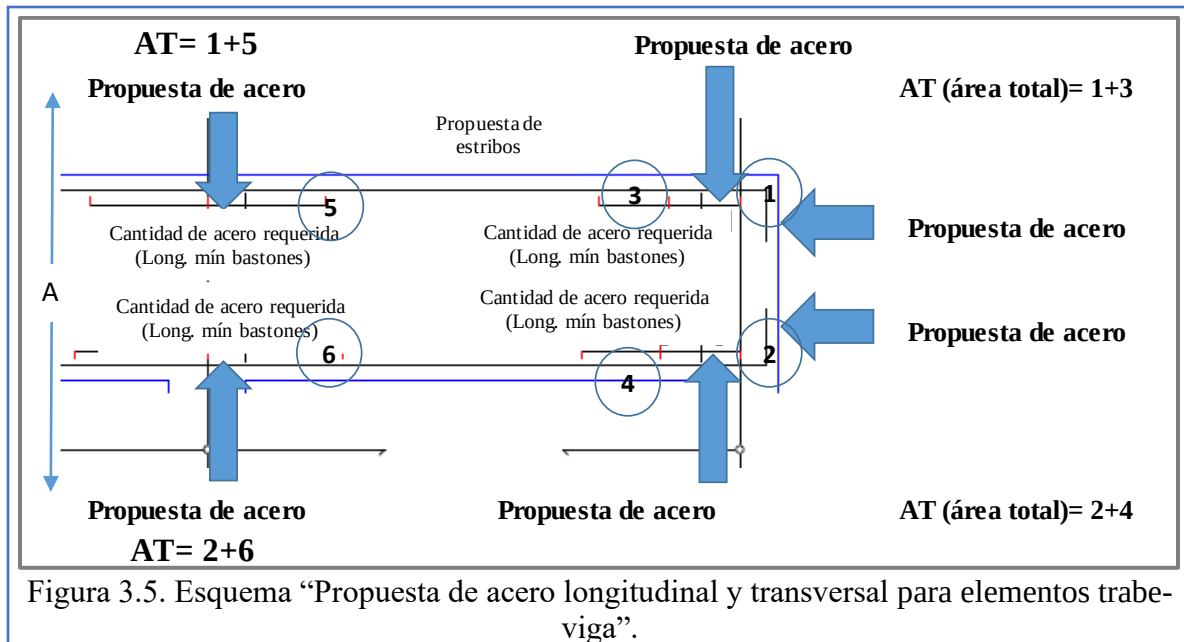
Sobre el eje Y, se seccionó en 7 tramos cada elemento
Sobre el eje X, se seccionó en 11 tramos cada elemento.

Mediante este seccionamiento se cuenta con información del acero longitudinal para cada viga, resultando 1,405 cortes en su conjunto; datos que son requeridos para la correspondiente modelación en el SIB.

2.- Proponer el acero de refuerzo (varillas) de cada elemento; cumpliendo con las cuantías de acero requeridas y respetando la distribución del acero, en base a los diagramas resultantes del software ECOgcW y con ayuda de la herramienta de trabajo Excel, el esquema para la propuesta se muestra en la Figura 3.4 y Figura 3.5.

3.- Implementar bastones para adsorber los momentos máximos en donde se requiera mayor área de acero, estos se propondrán cumpliendo con los parámetros que establecen las NTC (2004) (Figura 3.4 y Figura 3.5).





Según las Normas Técnicas Complementarias del 2004:

Todas las barras o paquetes de barras longitudinales deben restringirse contra el pandeo con estribos o zunchos con separación no mayor que:

- 269/ f_y y veces el diámetro de la barra o de la barra más delgada del paquete (f_y , en MPa, es el esfuerzo de fluencia de las barras longitudinales, o 850/ f_y y, con f_y en kg/cm²);
- 48 diámetros de la barra del estribo;
- Ni que la mitad de la menor dimensión de la columna.

La separación máxima de estribos se reducirá a la mitad de la antes indicada en una longitud no menor que:

- La dimensión transversal máxima de la columna;
- Un sexto de su altura libre.
- 60cm.

4.- Compilar y representar gráficamente, todos los tipos de armado longitudinal de secciones existentes de los elementos trabe, mediante el apoyo del software AUTOCAD 2014, como se presenta en la Figura 3.6.

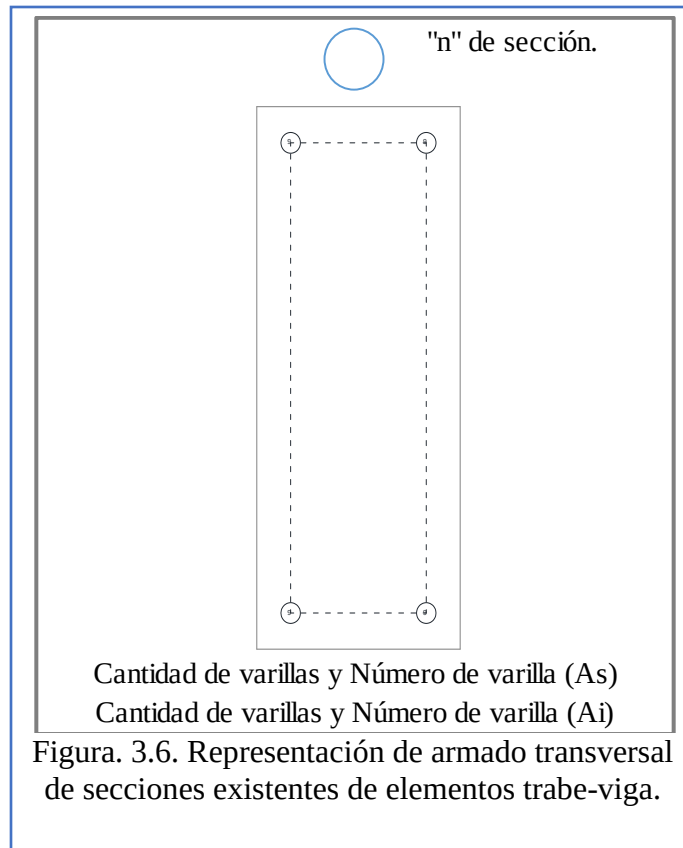


Figura. 3.6. Representación de armado transversal de secciones existentes de elementos trabe-viga.

5.- Implementar archivos Notepad++, para SIB.

El diagrama de flujo representado en la Figura 3.7 establece los pasos a seguir para el diseño de armado de los elementos estructurales vigas y columnas.

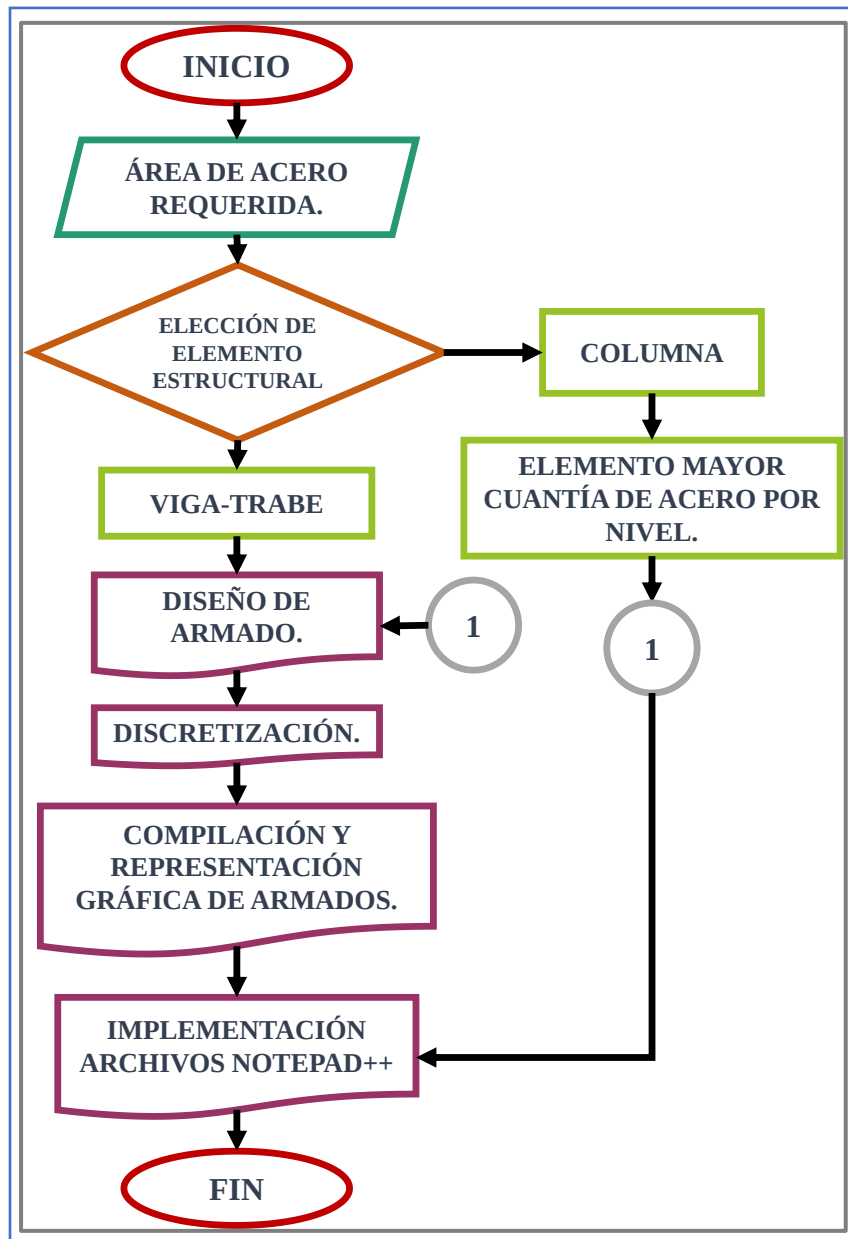


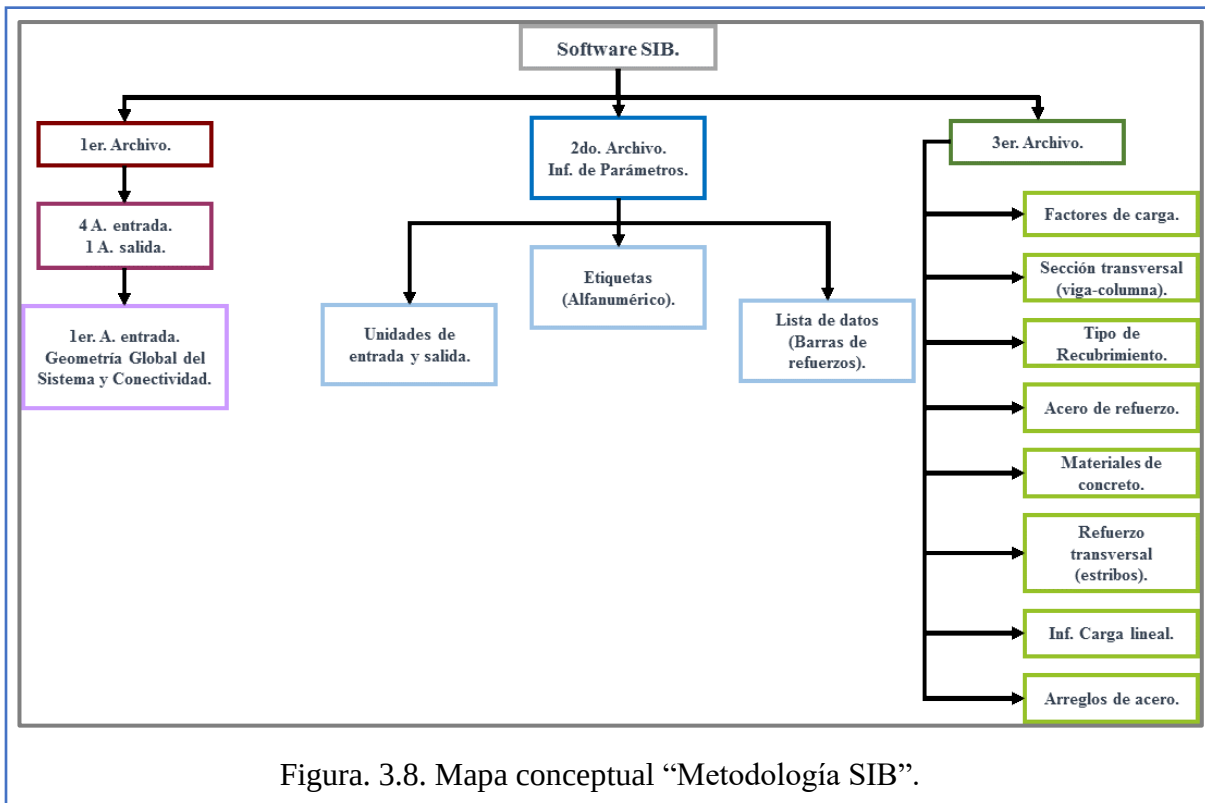
Figura 3.7. Diagrama de flujo “Diseño de armado”

3.4. Metodología SIB

Objetivo:

- Simular la edificación de acuerdo con lo estipulado por Esteva y Rangel (2013), con base en el código SIB (simulación de edificios), el cual considera características al azar, usando modelos probabilísticos específicos como son: Peir-Cornell y Mitchel-Woodgate. Para tal efecto, el código SIB simulará algunos parámetros del material de los elementos que conforman la estructura y el análisis y modelación del comportamiento de las edificaciones en un ambiente tridimensional.

La introducción de datos en el software SIB se realiza mediante tres archivos, escritos en el software Notepad++, en código FORTRAN, la Figura 3.8 hace referencia a los archivos y su contenido necesario para la correcta simulación en este software.



3.4.1. Primer archivo

El archivo de entrada principal debe tener ocho registros. El archivo que contiene la geometría global de la construcción y la conectividad es el primero en los archivos de entrada principales.

Para la configuración del edificio se escribirá lo siguiente:

1. En el primero de los archivos de entrada principales. Al principio, se debe mencionar la acción que se realizará por la SIB mediante los números 0 (se realizará únicamente el cálculo de la configuración del edificio en tres dimensiones), 1 valor (se realizará el cálculo de la configuración del edificio en tres dimensiones y simulación de los edificios) y con 2 (se puede adicionar impresión de un archivo de entrada OpenSees).
2. Se especifica la unidad de entrada de longitud (CM=centímetros, M= metros, MM= milímetros, FT=pies, IN=pulgadas), de fuerza (KGF=kilogramos fuerza, TONF=toneladas fuerza, LBF=libra fuerza, KIP=kilo libra fuerza, N=Newton) y la de salida de longitud y la fuerza.
3. La siguiente información es para indicar cómo se especificará el diseño de la vista superior de la disposición de nodo (en el piso). Con 0 (indicar el diseño de la primera vista del arreglo del piso el número de x e y) o 1 (indicar el diseño de primera vista de arreglo del piso dando coordenadas de los nodos). Seguido del número de nodos y luego las coordenadas, en donde primero se escribe en la disposición de nodo en el plano X y Y así como en posición Y y X, escribiendo el número de nodo y la distancia de referencia a un punto de origen.
4. También deben incluirse el número de pisos y el nivel respecto del suelo de cada uno de ellos. Además se necesita especificar la existencia de los nodos a cada nivel mediante las literales 0 (indica que el nodo no está vigente a cierto nivel en función de la columna de datos) y 1 (indica que el nodo está existiendo en cierto nivel, dependiendo de la columna de datos). Se deben tener el mismo número de líneas y de nodos. De igual manera se especificaran las vigas entre nodo y nodo escribiendo 2 columnas que indiquen la posición conforme a estos seguidas de los indicadores 0 (no existe viga), 1 (existe viga) o 2 (existe viga pero no se simulará). Después la información de la viga-columna para ser especificada las literales serán el 0 (no existe viga-columna), 1 (existe la viga y va a ser simulado), 2 (existe ancho de viga-columna y se va a simular) y 3 (existe la viga o ancho de viga-columna y no va a ser simulados)
5. Para la información de la losa se escribe el número máximo existente de losas por piso, debe especificarse el número de losas en el piso inicial y luego los nodos donde las placas están conectadas (cuatro o tres nodos). Considerando elemento de pared viga-columna se debe especificar el número máximo de pared por piso y el número de pisos con elementos de pared.

3.4.2. Segundo archivo

La información de parámetros que se requieren para la configuración de los procedimientos internos, se dividen en tres y declaran la información siguiente:

1. Las etiquetas con números y letras sin utilizar símbolos.
2. Se escriben las unidades de entrada y salida y el número de valores enteros.
3. Lista de datos: Describe las barras de refuerzo (nombre, número de barra, tamaño-peso, diámetro, área nominal, comentario).

3.4.3 Tercer archivo

El tercer archivo de entrada principal se inicia con las unidades y contiene:

1. Factores de carga: En las columnas se escribe el nombre de la planta o piso, valor, indicador de simulación (0 = no simulan, 1 = simulan como normal) y comentario.
2. Sección transversal de viga-columna y viga: Se escribe número de sección transversal, valor al eje X, valor al eje Y que debe ser escrito el número de sección transversal (ID, como un valor entero), la dimensión en el eje y del tipo de viga-columna.
3. Tipo de recubrimiento: Tanto para viga como para columna (número, capa en el eje X y Y, viga tipo que se desea simular).
4. Acero de refuerzo: Número, módulo de elasticidad, endurecimiento por deformación (SH), valor de la deformación última (fu), deformación última de rotura (Su), valor P, tipo de modelo probabilístico de los valores anteriores siendo estos, tipo 0 (determinista), tipo 1 (normal) o tipo 2 (lognormal).
5. Materiales de concreto: Se escribe el número, compresión F'_C , compresión por rendimiento a la tensión, compresión por rendimiento a la tensión, esfuerzo de tensión máxima, módulo tangente inicial, módulo tangente suave para el ciclos, deformación en la máxima tensión de compresión rendimiento, último esfuerzo de compresión, último límite de tensión de compresión, deformación a la tensión ultima, relación de Poisson. Así como sus respectivos modelos probabilísticos.
6. Refuerzo transversal (estribos): Se escribe el número de identificación, número de barras de refuerzo, separación, numero de ramas y el modelo probabilístico a usarse para la simulación.
7. Información de la carga lineal: Dicta el número, Carga por longitud unitaria y tipo de modelo probabilístico para ser utilizado.
8. Arreglos del acero: Con número, capas en X y Y, tipo de simulación de acuerdo con el tipo de viga-columna.

3.5. Metodología OpenSees

Objetivo:

- Modelar una estructura de concreto armado con y sin muros de mampostería en el software OpenSees, con base a los métodos de Integración de Lobato e interacción fibra sección, haciendo uso del lenguaje de programación dinámico y de comandos Tcl.

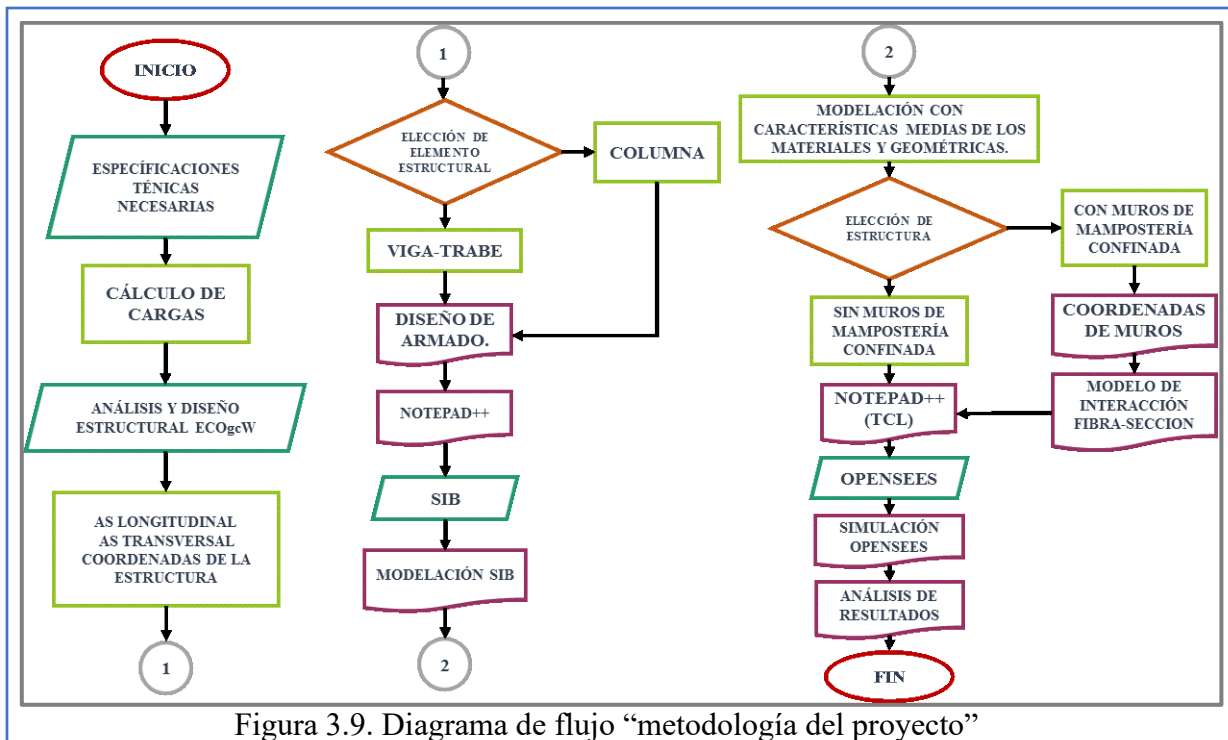
3.5.1. Sin presencia de paneles

1. Simular en el software OpenSees, con base a la modelación con características medias de los materiales y geométricas resultantes del software SIB.

3.5.2. Con presencia de paneles

1. Idealización de la estructura de concreto armado con muros de mampostería ligados a la estructura y piso suave, para consideración de la distribución de muros, con ayuda de cualquier software de dibujo en este caso se utiliza AUTOCAD versión 2014.
2. Esquematizar el modelo en isométrico o bien de cada plano de la estructura con ayuda de cualquier software de dibujo y establecer las coordenadas de los nodos iniciales y finales para cada elemento viga-columna de acuerdo a Kadysiewsky y Mosalam; 2009, para todos los paneles existentes en el perímetro para cada nivel.
3. Implementar nodos en un archivo tcl con apoyo del editor de códigos NOTEPAD++, por número de edificios simulados; considerando la cantidad de muros y ejes globales.

El buen entendimiento de un proceso se hace necesario para realizar una correcta ejecución de los pasos a seguir y obtener resultados factibles, por ello se elaboró un diagrama de flujo plasmado en la figura 3.9 con la metodología general para este proyecto.



En una representación gráfica de este proceso, cada paso de la metodología está representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa del proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso.

Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Cálculo estructural en el software ECOgcW

A continuación, y para ejemplificar, se presentan datos y resultados del edificio de 5 niveles, con el formato en que los emite el programa ECOgcW.

4.1.1. Secciones transversales

Como resultado del diseño estructural en ECOgcW, obtenemos tres secciones transversales para columnas y tres para trabes, todos de sección rectangular. En la Figura 4.1. se muestran las características de cada elemento, siendo las más representativas el dimensionamiento y la ubicación del acero.

SECCIONES TRANSVERSALES						
SEC	TP	MODULO E	KG	DIMENSIONES [parámetros]	DISEÑO	UBIC.ACERO
T1	R	2213594	0.40	B:0.25 H:0.7 [NS:4]	Flexión	r:0.05, re:0.05
T2	R	2213594	0.40	B:0.3 H:0.75 [NS:4]	Flexión	r:0.05, re:0.05
C1	R	2213594	0.40	B:0.5 H:0.5 [NS:4]	FlexoCom	4x3v, r:0.05, re:0.05
C2	R	2213594	0.40	B:0.55 H:0.55 [NS:4]	FlexoCom	4x3v, r:0.05, re:0.05
C3	R	2213594	0.40	B:0.65 H:0.65 [NS:4]	FlexoCom	4x3v, r:0.05, re:0.05
T3	R	2213594	0.40	B:0.25 H:0.5 [NS:4]	Flexión	r:0.05, re:0.05

Figura 4.1. Impresión de pantalla ECOgcW (Secciones transversales).

Las propiedades geométricas de los elementos estructurales obtenidas del diseño en ECOgcW con su correspondiente discretización, permiten generar los archivos que se van a introducir en el software SIB, ya que es imprescindible de todas las características de diseño para poder simular el sistema. Ver Anexo 8. Secciones de trabes y columnas.

Consideraciones que influyen en el dimensionamiento de elementos estructurales

Las cargas que actúan en una estructura, ya sean cargas vivas, de gravedad o de otros tipos, generan flexión y deformación de los elementos estructurales que la conforman. La flexión del elemento viga es el resultado de la deformación causada por esfuerzos debidos a la carga externa. Conforme se aumenta la carga, la viga o trabe soporta deformación adicional, propiciando el desarrollo de grietas por flexión a lo largo del claro de la viga. Incrementos continuos en el nivel de la carga conducen a la falla del elemento estructural

cuando la carga externa alcanza la capacidad del elemento. A dicho nivel de carga se le llama estado límite de falla por flexión.

En el caso de columnas, estos son elementos que sostienen principalmente cargas a compresión. En general, las columnas también soportan momentos flectores con respecto a uno o a los dos ejes de la sección transversal y esta acción puede producir fuerzas de tensión sobre una parte de la sección transversal.

Como resultado del análisis correspondiente para cada elemento, obtenemos el diseño de las secciones transversales, de tal manera que estos no desarrollen grietas excesivas a nivel de carga de servicio y tengan seguridad adecuada y resistencia de reserva para resistir las cargas o esfuerzos aplicados sin que se presente la falla.

4.1.2. Diafragmas

Los tableros en ECOgcW se emplean para formar el diafragma rígido de cada nivel y para poder aplicar cargas por unidad de área. ECOgcW presenta la siguiente tabla representada por la Figura 4.2. como una parte del resumen de los diagramas obtenidos en el sistema estructural y sus propiedades.

DIAFRAGMAS							
Diafragma	Área (m ²)	X.CG (m)	Y.CG (m)	Masa (T/g)	X.CM (m)	Y.CM (m)	MasaROT (T*m ² /g)
Df:1+A/1	364.50	13.500	6.750	46.497	13.500	6.750	3530.885
Df:1+A/2	364.50	13.500	6.750	44.731	13.500	6.750	3396.752
Df:1+A/3	364.50	13.500	6.750	41.645	13.500	6.750	3162.390
Df:1+A/4	364.50	13.500	6.750	41.234	13.500	6.750	3131.179
Df:1+A/5	364.50	13.500	6.750	30.361	13.500	6.750	2305.528

Figura 4.2. Impresión de pantalla ECOgcW (Diafragmas).

Los resultados del diseño tradicional de ECOgcW nos permiten conocer cómo se están conformando los diafragmas dentro del sistema. Es conveniente conocer las características consideradas en esta parte del proceso ya que una de las restricciones a considerar en el software SIB es el uso o no de diafragma rígido como parte del proceso constructivo en el sistema.

Los valores de relevancia son la ubicación de cada diafragma, entendiendo como diafragma rígido a una losa que no se deforma en su plano ni se dobla ante las cargas sísmicas como se muestra en la Figura 4.3.

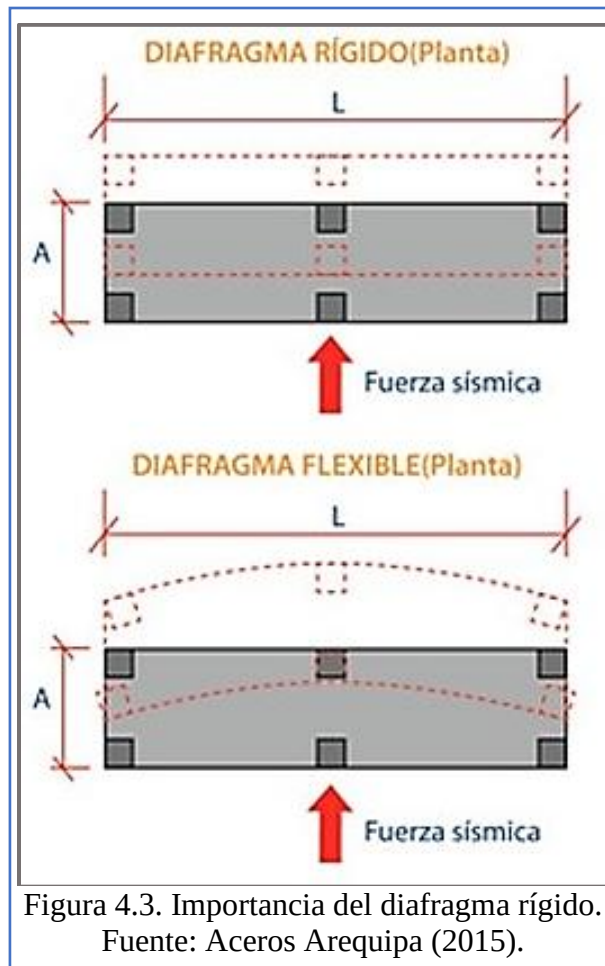


Figura 4.3. Importancia del diafragma rígido.
Fuente: Aceros Arequipa (2015).

Es preferible diseñar estructuras con diafragma rígido y continuo, en otras palabras, edificaciones donde las losas actúen como elementos integradores de muros y compatibilicen sus desplazamientos laterales. El software permite considerar o no la edificación con diafragma rígido, lo que favorece nuestro análisis del comportamiento ya que las losas interactúan con las trabes y columnas que confinan al muro y aportan estabilidad al sistema ante cargas laterales.

4.1.3. Análisis sísmico dinámico

Ver apartado 2.4.1.

La Figura 4.4 muestra la información obtenida del análisis sísmico dinámico para doce modos de vibrar, del sistema estructural de cinco niveles. Para el análisis deberá incluirse el efecto de los modos naturales que, ordenados según valores decrecientes de sus periodos de

vibración, sean necesarios para que la suma de los pesos efectivos en cada dirección de análisis sea mayor o igual a 90 por ciento del peso total de la estructura, en base a las NTC para diseño por sismo, 12 modos es el mínimo necesario para las estructuras regulares.

ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO [CFE1993]						
Modo	Período (seg)	Aceleración espectral	Coef. Participación		Q'x	Q'y
			x	y		
1	0.602	0.499	12.948	0.000	2.000	2.000
2	0.547	0.500	0.000	13.020	2.000	2.000
3	0.443	0.500	0.000	0.000	2.000	2.000
4	0.217	0.500	5.031	0.000	2.000	2.000
5	0.199	0.500	0.000	5.005	2.000	2.000
6	0.161	0.500	0.000	0.000	2.000	2.000
7	0.122	0.500	2.697	0.000	2.000	2.000
8	0.115	0.500	0.000	2.515	2.000	2.000
9	0.093	0.500	0.000	0.000	2.000	2.000
10	0.075	0.500	1.690	0.000	2.000	2.000
11	0.073	0.500	0.000	1.531	2.000	2.000
12	0.059	0.500	0.000	0.000	2.000	2.000

Figura 4.4. Impresión de pantalla (Análisis sísmico dinámico).

Entre otras características, los modos de vibración permiten conocer el patrón de cargas más conveniente de aplicar en el método pushover.

4.1.4. Peso total en sismo

De acuerdo a lo establecido en ATC 40 (*Applied Technology Council*) el cortante basal de diseño resulta ser otro dato básico, usado para los análisis estáticos no lineales (*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1*). La Figura 4.5 muestra el valor del cortante basal del sistema estructural en estudio.

PESO TOTAL EN SISMO	2005.82 T	
CORTANTES BASALES		
estático total X:	501.46 T	
Y:	501.46 T	
aWt/Q' X:	501.46 T	
Y:	501.46 T	
a0*Wt:	1002.91 T	
mínimo X:	401.16 T	[factor: 0.8]
Y:	401.16 T	

Figura 4.5. Impresión de pantalla ECOgcW (Peso total del sismo).

El cálculo del cortante basal permite determinar la fuerza lateral total como consecuencia de las fuerzas de inercia que se induce a un sistema de N-grados de libertad, distribuyéndolo posteriormente a lo largo de las diferentes alturas de la estructura (Mena, 2002).

4.1.5. Rigideces de entrepiso

Se requiere conocer las rigideces de los distintos elementos resistentes, para calcular los desplazamientos máximos probables y estimar los efectos que el sismo ocasionará en cada elemento estructural (Figura 4.6): trabes, columnas, losas y muros (del Valle, 1981).

ESTIMACIÓN DE RIGIDECES DE ENTREPISO								
Nivel	C o r t a n t e		Desplaz. C.Masa		Desplaz.Relativo		Rigidez de Entrepiso	
	X (T)	Y (T)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (T/m)	Y (T/m)
5	111.45	110.97	0.03096	0.02551	0.00460	0.00368	24237.23	30135.39
4	225.94	226.38	0.02636	0.02183	0.00601	0.00486	37613.75	46548.27
3	314.11	315.51	0.02035	0.01697	0.00719	0.00587	43688.66	53753.59
2	378.44	381.03	0.01316	0.01110	0.00647	0.00519	58473.40	73452.68
1	416.29	421.19	0.00669	0.00591	0.00669	0.00591	62198.90	71247.50

Figura 4.6. Impresión de pantalla ECOgcW (Estimación de rigideces de entrepiso)

El software ECOgcW realiza el cálculo de las rigideces de entrepisos. Al revisar los resultados podemos observar que las rigideces van disminuyendo del primer nivel al último nivel, esto debido a que el análisis que realiza este software no considera al muro como existente y no evalúa la interacción relleno-marco. Este software simula considerando al muro como una carga distribuida en los elementos trabe; así, la rigidez disminuye de manera descendente del primer nivel donde se encuentra el cortante basal mayor hasta el último nivel. Otro aspecto a analizar para efectos de estudio son los desplazamientos en el eje X y Y, son mayores en la parte superior de la estructura, esto va ligado a las rigideces de entrepiso, los elementos estructurales ubicados en la planta final son los que se ven mayormente afectados por las cargas laterales viéndose esto reflejado en los desplazamientos.

4.2. Diagramas Resultantes del software ECOgcW.

4.2.1. Columnas (Diseño a flexocompresión)

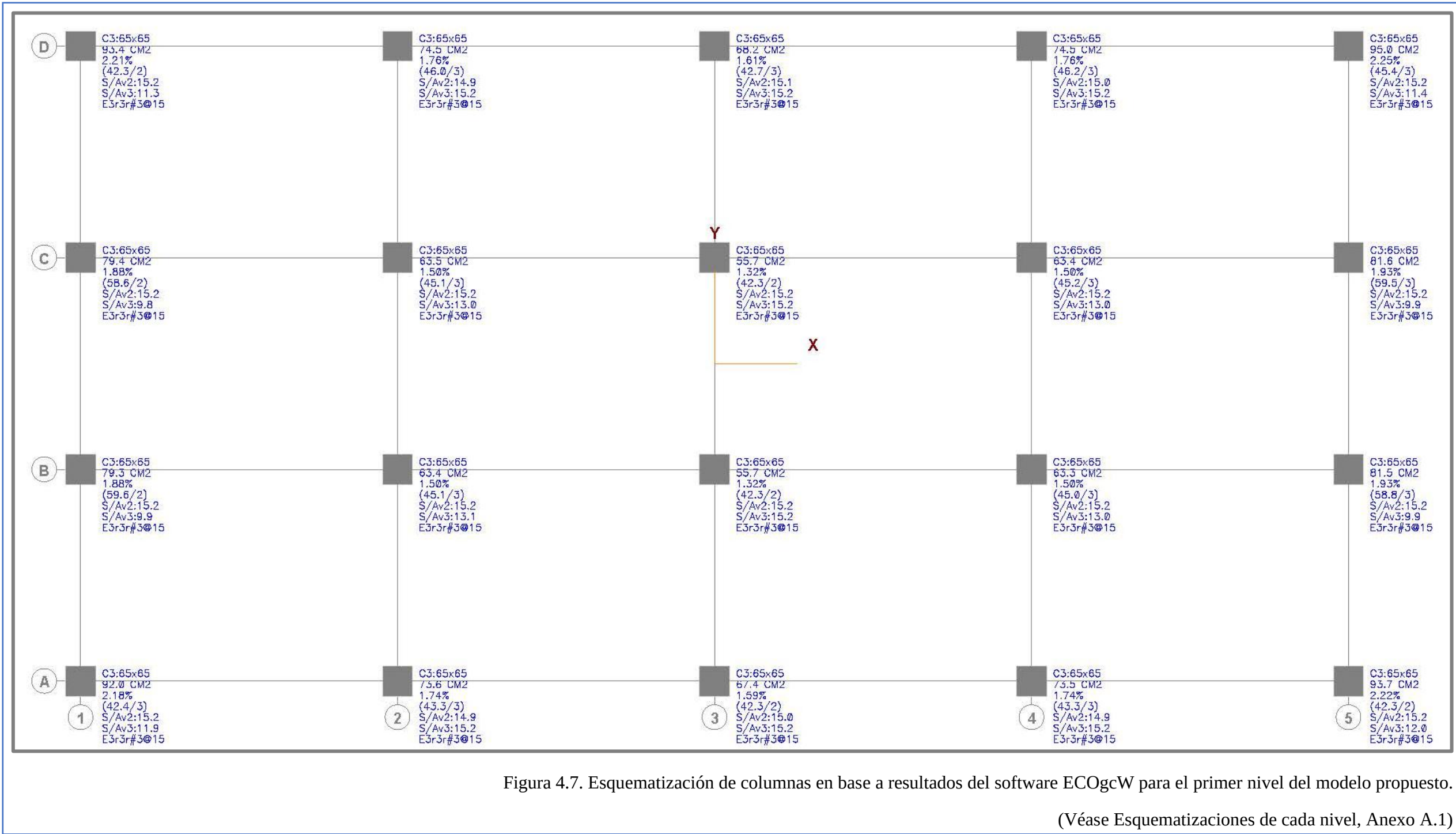


Figura 4.7. Esquematización de columnas en base a resultados del software ECOgcW para el primer nivel del modelo propuesto.

(Véase Esquematizaciones de cada nivel, Anexo A.1)

La Figura 4.8 ilustra la forma en que el software ECOgcW indica los resultados para cada elemento viga-columna del modelo diseñado, estos esquemas nos van a servir para realizar el diseño de los armados de los elementos columnas.

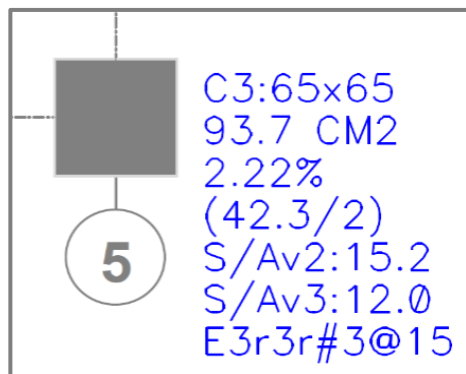


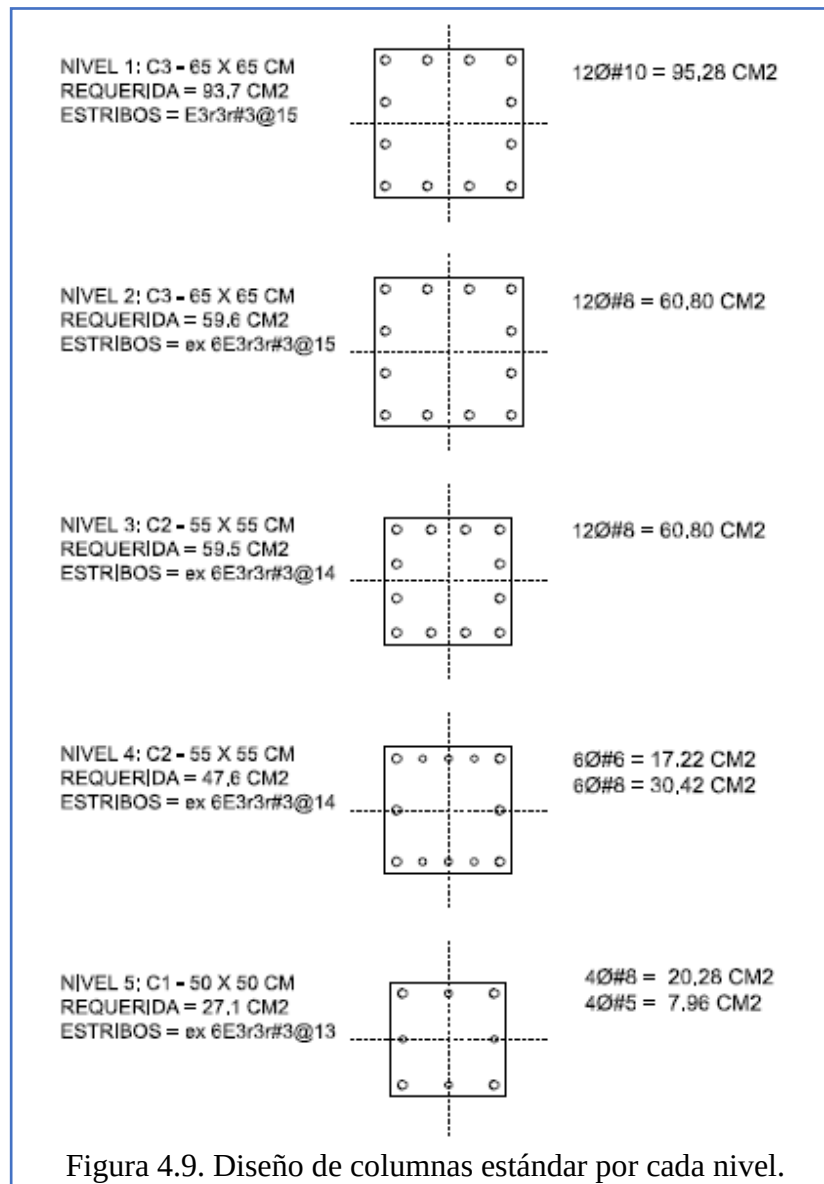
Figura 4.8. Columna en el primer nivel con mayor cantidad de acero

Con base en los esquemas arrojados por el software ECOgcW, se procede a realizar el diseño de columnas estándar de cada nivel, tomando como referencia la columna con mayor cuantía de acero para cada planta.

A continuación, la Figura 4.9 muestra la representación esquemática del armado en cada columna por nivel, de igual manera muestra la cantidad de acero requerida y la propuesta.

De las propuestas diseñadas, partiremos para realizar la simulación en el software SIB, considerando la cantidad exacta de acero y su ubicación en el elemento.

Estas propuestas nos ayudaran a generar los archivos totales que se introducirán en el software SIB para generar el modelado del sistema.



Nota: El número de varilla propuesto para el diseño de las columnas va en función a la cantidad de acero requerida, tratando de ajustar el numero y cantidad de varillas con el acero necesario, para que la información ingresada al software SIB sea lo mas acercado a los arrojado por el ECOgcw.

4.2.2. Trabes o vigas (Diseño a flexión).

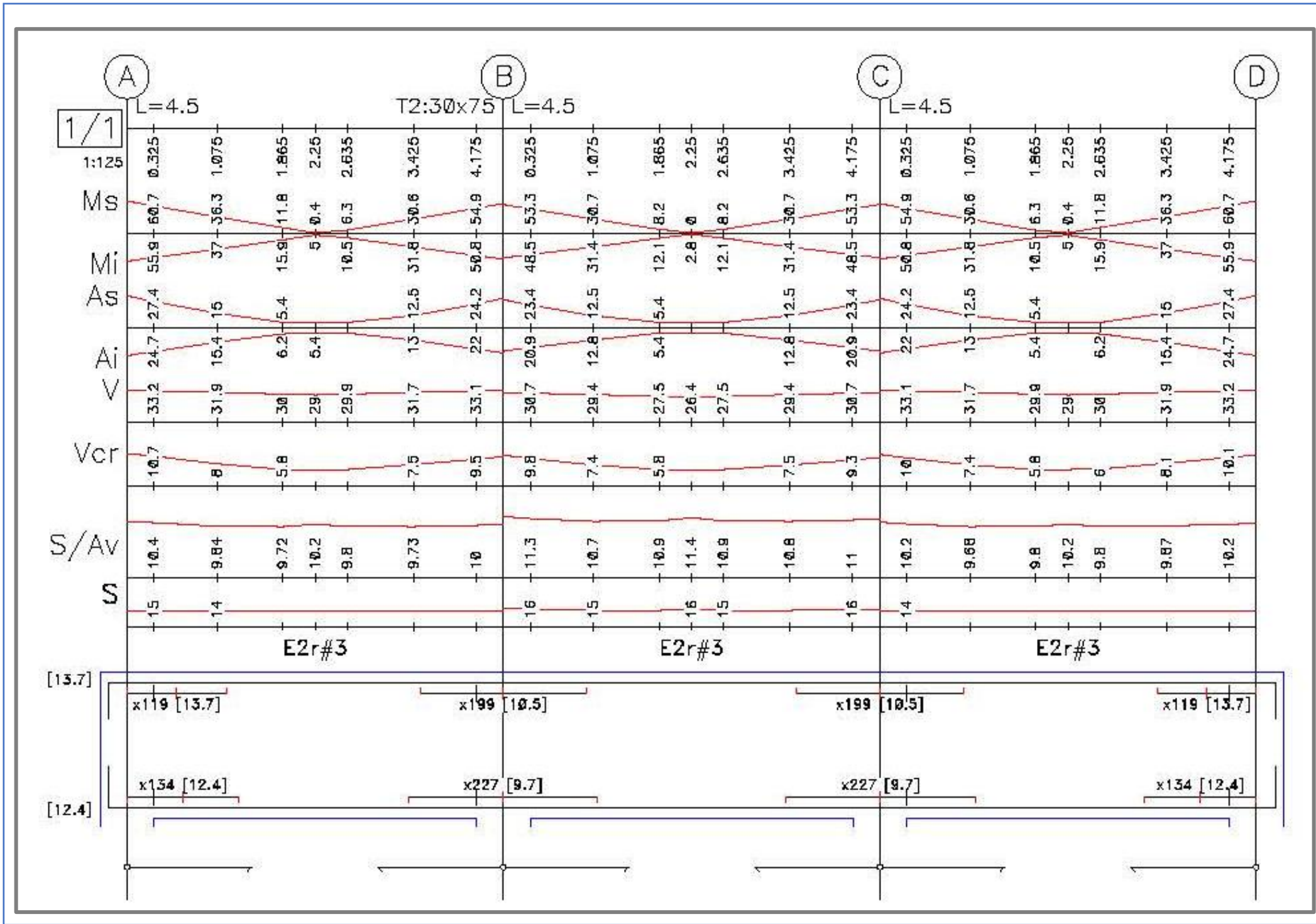


Figura 4.10. Trabe 1/1. Esquematización de diagramas de momento máximo superior e inferior, cantidad de acero en el lecho superior e inferior que se necesita para absorber el efecto de momento; cortante máximo superior e inferior y la separación entre estribos.

Este esquema (Figura 4.10) se obtiene para cada trabe de todos los ejes y en cada nivel. (Véase Anexo A.2.).

Los diagramas resultantes muestran las distancias en las que fue discretizado el elemento trabe, y arroja los valores máximos y mínimos de la cantidad de acero que necesita esta trabe para absorber las fuerzas que actúan en este.

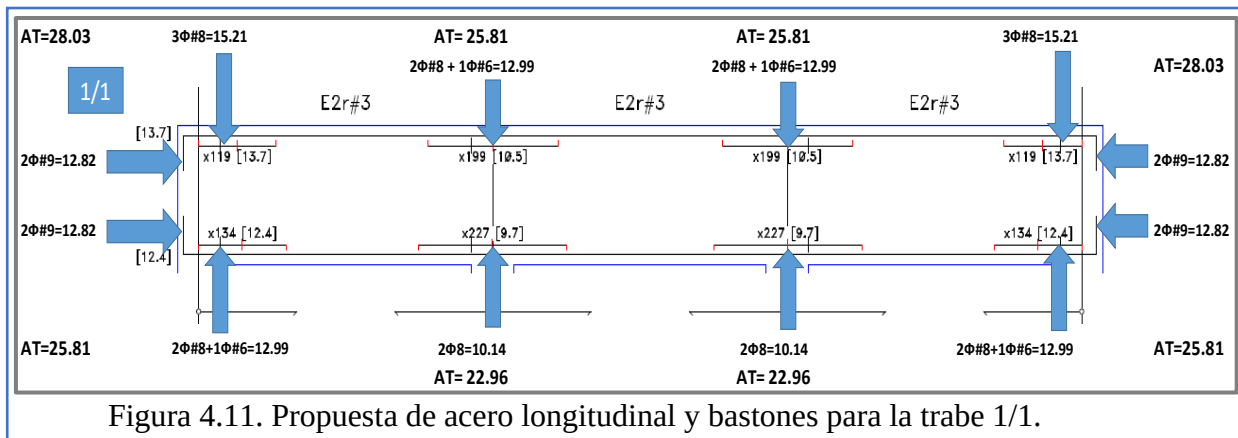
Como en las columnas, estos datos permiten realizar la propuesta del armado por cada trabe y posteriormente generar los archivos para introducir al software SIB.

1. Recopilación de la cantidad de acero requerida, con la finalidad de organizar esta información y poder hacer el diseño del armado de cada elemento de manera correcta, cumpliendo con cada especificación proporcionada por el software ECOgcW (Tabla 4.1). (Véase recopilación, Anexo C.)

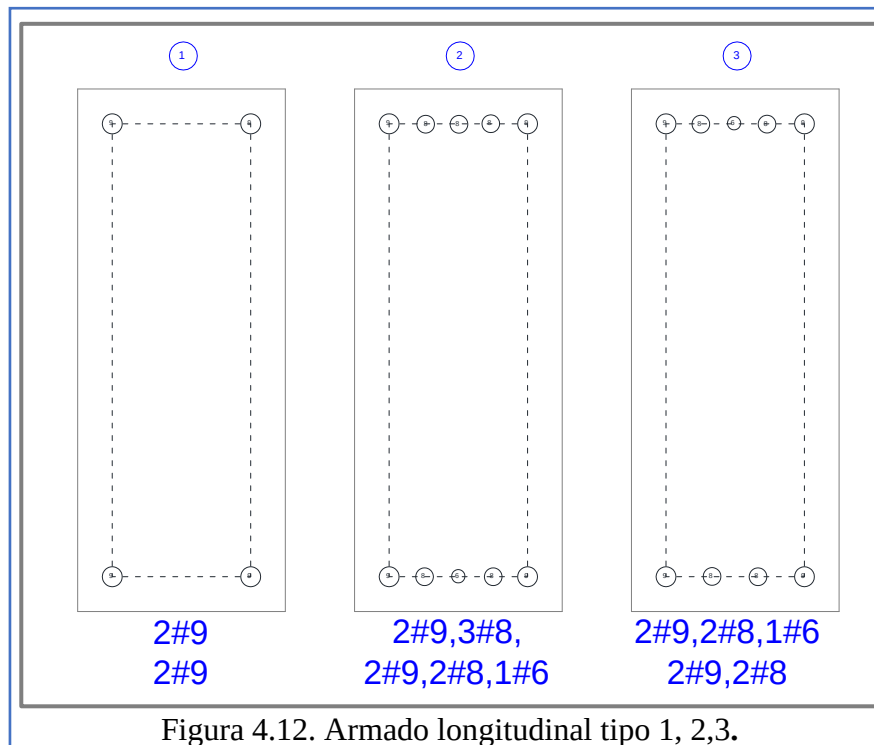
Tabla 4.1. Datos en hoja de cálculo, elemento 1/1.

1/1		T2:30X75																			
A					B					C					D						
L=4.5					L=4.5					L=4.5					L=4.5						
As	0.325	1.075	1.865	2.25	2.635	3.425	4.175	0.325	1.075	1.865	2.25	2.635	3.425	4.175	0.325	1.075	1.865	2.25	2.635	3.425	4.175
Ai	27.4	15	5.4	5.4	5.4	12.5	24.2	23.4	12.5	5.4	5.4	5.4	12.5	23.4	24.2	12.5	5.4	5.4	5.4	15	27.4
	24.7	15.4	6.2	5.4	5.4	13	22	20.9	12.8	5.4	5.4	5.4	12.8	20.9	22	13	5.4	5.4	6.2	15.4	24.7

2. En toda sección se dispondrá de refuerzo tanto en el lecho inferior como en el superior como se ejemplifica en la Figura 4.11. El anexo D muestra la propuesta de acero para cada trabe-viga existente en la edificación.



3. La Figura 4.12 ilustra la representación gráfica de la propuesta de acero longitudinal y bastones de los elementos trabe. Conforme a la propuesta de acero longitudinal y bastones para traveses, se generaron 55 tipos de secciones efectivas de armados longitudinales, todos ellos expuestos en el Anexo E.



4.3. Programación de datos para ingreso al software SIB (Simulación de edificios)

La Figura 4.13 representa el primer registro, en el software Notepad++, escrito en código FORTRAN para los datos de entrada principal y salida. Este permite que según sus nombres los archivos de entrada Notepad++ sean leídos por el software SIB, contiene información en código FORTRAN que explica el contenido de cada uno, además de especificar los nombres de los registros de salida. Estos registros son alimentados con la información generada con los resultados del software ECOgcW, como son principalmente.

*Secciones transversales.

*Armados propuestos de trabes y columna.

*Distancias a discretizar los elementos estructurales.

```

* FOUR INPUT FILES
*
* BUILDING CONFIGURATION
$MOD1BC.txt
*
*
* FILE OF INTERNAL PARAMETERS FOR SIMULATION AND OTHER VALUES
$MOD1PC.txt
*
*
* FILE OF GEOMETRICAL AND MATERIAL PROPERTIES OF STRUCTURAL MEMBERS
$MOD1PG.txt
*
*
* FILE OF SEED FOR SIMULATION AND OTHER VALUES
$MOD1SS.txt
*
*
* TWO OUTPUT FILES
* OUTPUT FILE OF TRIDIMENSIONAL CONFIGURATION OF BUILDING
$MOD13D.txt
*
*
* Formato de nombre de archivo de salida de datos de simulaciones (sin extension)
* El nombre no debe exceder 18 caracteres y la extension por default .sim
$EDIFMOD1
*
*
* Archivo de opensees (solo nombre)
$EDIOSMOD1
*
*
* Archivo de parametros de opensees
$MOD1OSP.txt

```

Figura 4.13 Impresión de pantalla Notepad++, Fichero de entrada principal.

2.- El segundo registro describe la geometría global de construcción, en este se especifica las acciones que ejecutara SIB y la unidad de entrada como describe la Figura 4.14.

```

* SIB
* SIMULATION OF BUILDINGS
*
* =====
*
* ACTIONS OF SIB
* 0 = TO CALCULATE THE STRUCTURAL CONFIGURATION
* 1 = TO CALCULATE THE STRUCTURAL CONFIGURATION AND SIMULATION OF BUILDINGS
* 2 = TO CALCULATE THE STRUCTURAL CONFIGURATION, SIMULATION OF BUILDINGS AND CREATE THE INPUT FILES FOR OPENSEESC SOFTWARE
2
*
*
* =====
*
* INPUT UNITS
* UNITS OF LENGTH (CM=CENTIMETERES, M= METERS, MM=MILIMETERS, FT=FOOT, IN=INCHES)
CM
*UNITS OF FORCE (KGF=KILOGRAM-FORCE, TONF=TON-FORCE, LBF=POUND-FORCE, KIPF= KILOPOUND-FORCE, N= NEWTON)
KGF
*
* OUTPUT UNITS
* UNITS OF LENGTH (CM=CENTIMETERES, M= METERS, MM=MILIMETERS, FT=FOOT, IN=INCHES)
M
*UNITS OF FORCE (KGF=KILOGRAM-FORCE, TONF=TON-FORCE, LBF=POUND-FORCE, KIPF= KILOPOUND-FORCE, N= NEWTON)
KGF

```

Figura 4.14. Impresión de pantalla Notepad++, Acciones de SIB y unidades de entrada.

La información sobre nodos y las coordenadas en base a la generación de la configuración estructural, que indica la numeración de elementos trabe y columna, distancia de claros, coordenadas y losas del nivel 1, conforme a la interpretación de la Figura 4.15. (Véase configuración por cada nivel, Anexo F.2.), escritas del modo mostrado en la Figura 4.16.

```

* TYPE OF INPUT OF THE NODES' INFORMATION
* 0= BAYS (FOR REGULAR TOP LAYOUT)
* 1= NODES COORDINATES (IRREGULAR TOP VIEW LAYOUT)
1
*
* =====
*
* *NUMBER OF NODES
20
*
* COORDINATES (X,Y) CENTIMETROS
1 , 0.000 , 0.000
2 , 675.000 , 0.000
3 , 1350.000 , 0.000
4 , 2025.000 , 0.000
5 , 2700.000 , 0.000
6 , 0.000 , 450.000
7 , 675.000 , 450.000

```

Número de nodos por nivel.

Coordenadas de los nodos por nivel.

Figura 4.15. Impresión de pantalla Notepad++, Nodos y coordenadas.

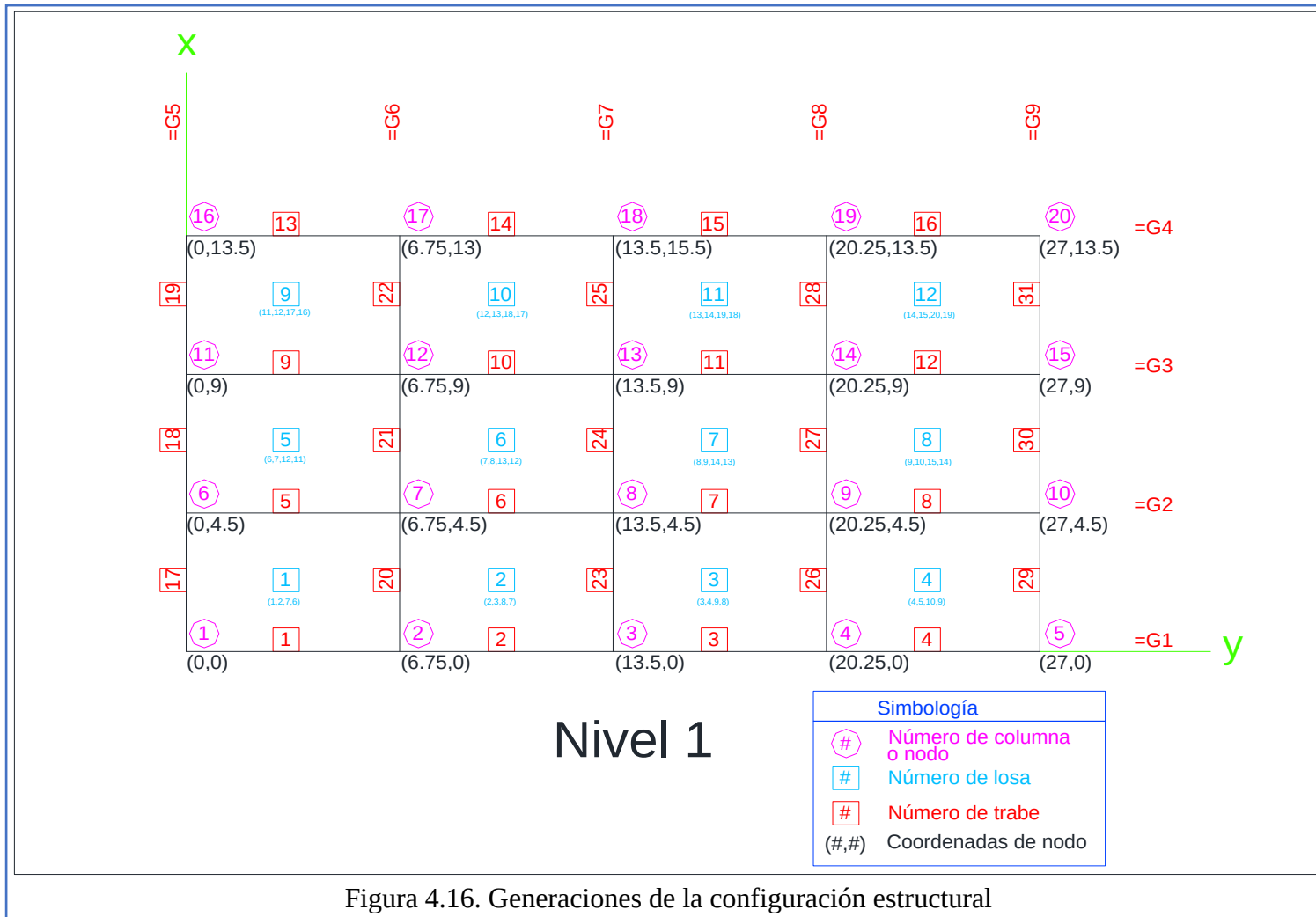


Figura 4.16. Generaciones de la configuración estructural

La Figura 4.17 indica la información relativa a cada entrepiso.

```
* NUMBER OF STORIES
5
*
*RELATIVE HEIGHT OF EVERY STORY
400.000
320.000
320.000
320.000
320.000
*
```

Figura 4.17. Impresión de pantalla Notepad++, Pisos.

La existencia de elementos trabe y columna y las conectividades existentes, de trabe a trabe y columnas a trabe, dadas por los nodos como en la Figura 4.18 y manejados como en la figura 4.16, representan como es que se están considerando los elementos dentro de la simulación.

[illegible]

Figura 4.18. Impresión de pantalla Notepad++, Existencia y Conectividad.

Consideración de losas y sus respectivas conectividades, se indican en las Figuras 4.18 y 4.19.

```
*
* LIST OF NUMBER OF SLABS SUPPORTED BY SIDE-BEAMS AT A SPECIFIC LEVEL.
* THE LIST SHOULD BE IN ORDER OF THE FLOORS (1,2,3,..., MAXIMUM FLOOR)
*
* NUMBER OF FLOORS WITH SLABS TO BE READ
* 5
*NODES (NODE CAN BE SPECIFIED WITHOUT ORDER)
12
1,2,7,6
2,3,8,7
3,4,9,8
4,5,10,9
6,7,12,11
7,8,13,12
8,9,14,13
9,10,15,14
11,12,17,16
12,13,18,17
13,14,19,18
14,15,20,19
12
```

Figura 4.19. Impresión de pantalla Notepad++, Losas.

La Figura 4.20 indica la información de los elementos muros y piso existentes.

```
*WALL MEMBER (THE WIDE-BEAM-COLUMN IT IS SPECIFIED AS REGULAR FRAME BEAM-COLUMN MEMBER)
* THIS SECTION IS ONLY FOR WALL-MEMBER AMONG COLUMNS OR FILLING A FRAME BAY
* MAXIMUM NUMBER OF WALL-MEMBER PER LEVEL, NUMBER OF STORIES WITH WALL
0 , 0
*
* STORIES WITH WALL-MEMBERS
0
*
*NUMBER OF WALL-MEMBER BETWEEN COLUMNS (FILLING A FRAME)
*
*NUMBER OF NODES IN THE I-LEVEL (DEPENDENT THE ABOVE LIST)
*LOWER NODES AT THE FOOT OF THE WALL-MEMBER
*
```

Figura 4.20. Impresión de pantalla Notepad++,
Muros.

Mediante lo descrito en este archivo, el software SIB construye la geometría global de la edificación, obteniendo así la colocación específica de cada uno de los elementos que componen a la edificación. (Véase Anexo F.3).

Es así como el software SIB reconocerá todos los elementos, ubicación, características y propiedades existentes en el sistema, para poder simular la edificación en base a los modelos probabilísticos y considerando las incertidumbre estocásticas antes mencionadas.

3.- El tercer registro contiene los parámetros para configuración de la modelación estructural y la simulación, los cuales contiene; valores del tipo real de parámetros internos, modelo de carga muerta, para simulación de variación de las dimensiones de la sección transversal de la columna y trabe, variación del recubrimiento, variación de área de acero, espaciamiento de estribos, área de estribos, peso de concreto, parámetros relacionados con el peso y esfuerzo, para simular columna ancha los tipos de concreto, y todos los necesarios como ejemplifica la Figura 4.21.

```
*
* PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN DE VARIACIÓN DE ÁREA DE ACERO DE REFUERZO (DATOS NORMALES PARA SIMULAR LOGNORMAL, VALORES
NORMALIZADOS) 4 VALORES
* NOMBRE , VALOR REAL , COMENTARIO
VMAAC , 1.01 , VALOR_MEDIO_DE_AREA_DE_ACERO_EN_COLUMNS (20)
DEAAC , 0.0404 , DESVIACIÓN_ESTANDAR_DE_AREA_DE_ACERO_EN_COLUMNS (21)
VMAAT , 1.03 , VALOR_MEDIO_DE_AREA_DE_ACERO_EN_TRABES (22)
DEAAT , 0.0618 , DESVIACIÓN_ESTANDAR_DE_AREA_DE_ACERO_EN_TRABES (23)
*
```

Figura 4.21. Impresión de pantalla Notepad++, Parámetros de variación de área de acero de refuerzo.

El software SIB requiere de la declaración de los parámetros que se utilizaran en los cálculos de los elementos estructurales, este documento contiene cada uno de ellos y sus valores correspondientes, para que se realice la modelación y simulación correctamente, como se muestra específicamente en el Anexo F.4.

4.- El cuarto archivo de entrada principal, es el archivo de distribución de los elementos estructurales, que menciona las características de la edificación. En este se mencionan las unidades que se van a utilizar y los factores de carga viva para cada nivel según la figura 4.22.

```

* ARCHIVO DE DISTRIBUCIÓN DE PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
*
* LENGTH INPUT UNIT
CM
* FORCE INPUT UNIT
KGF
* LENGTH OUTPUT UNIT
M
* FORCE OUTPUT UNIT
KGF
*
*
* =====
*
*
* LIVE LOAD STORY FACTORS
* NIVEL , FACTOR, SIM_IND ,COMENTARIO
* SIM_IND = 0 FOR NOT FACTORING AND =1 FOR FACTORING.
1 , 1.000 , 1 , FACTOR NIVEL 1
2 , 1.000 , 1 , FACTOR NIVEL 2
3 , 1.000 , 1 , FACTOR NIVEL 3
4 , 1.000 , 1 , FACTOR NIVEL 4
5 , 0.389 , 1 , FACTOR NIVEL 5
*
*
* =====
*

```

Figura 4.22. Impresión de pantalla Notepad++, Unidades y factores de carga viva.

La discretización del número de secciones transversales, las características de las trabes y columnas, se plantea como se muestra en la figura 4.23.

```

* NUMBER OF CROSS SECTION OF BEAM-COLUMNS AND WALL-COLUMN MEMBERS
3
* CROSS SECTIONS (BEAM-COLUMNS AND WALL-COLUMN)
* TYPE OF BEAM-COLUM OR WALL MEMBERS
* TYPE 0 - COMMON BEAM-COLUMN BUT THE CROSS SECTION WILL NOT BE SIMULATED
* TYPE 1 - BEAM-COLUMN WITH FIRST STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION
* TYPE 2 - WIDE-BEAM-COLUMN WITH STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION AS WIDE-BEAM-COLUMN
* TYPE 3 - WALL-MEMBER WITH STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION AS A WALL MEMBER IN FRAME
* TYPE 4 - BEAM-COLUMN WITH SECOND STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION
* TYPE 5 - BEAM-COLUMN WITH THIRD STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION
* ID NUM , AXIS X , AXIS Y , TYPE
1 , 65.000 , 65.000 , 1
2 , 55.000 , 55.000 , 1
3 , 50.000 , 50.000 , 1
*
*
* =====
*
*
* NUMBER OF CROSS SECTION OF BEAM MEMBERS
2
* CROSS SECTIONS OF BEAMS
* TYPE OF BEAMS
* TYPE 0 - COMMON BEAM BUT THE CROSS SECTION WILL NOT BE SIMULATED
* TYPE 1 - BEAM WITH FIRST STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION
* TYPE 2 - BEAM WITH SECOND STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION
* TYPE 3 - BEAM WITH THIRD STOCHASTIC MODEL FOR SIMULATING THE CROSS SECTION
* ID NUM , AXIS X , AXIS Y , TYPE
1 , 30.000 , 75.000 , 1
2 , 25.000 , 70.000 , 1
3 , 25.000 , 50.000 , 1

```

Figura 4.23. Impresión de pantalla Notepad++, Características de secciones transversales de trabes y columnas.

El espesor del recubrimiento a usarse para los elementos trabes y columnas en ambos ejes de la sección transversal es indicado de acuerdo a lo mostrado en la Figura 4.24.

```

* NUMBER OF CONCRETE COVER TYPES FOR BEAM-COLUMNS AND WALL-COLUMN MEMBERS
1
* CONCRETE COVER - BEAM-COLUMNS AND WALL-COLUMNS
* ID NUM , AXIS X , AXIS Y , TYPE
1 , 5.000 , 5.000 , 1
*
*
* =====
*
*
* NUMBER OF CONCRETE COVER TYPES FOR BEAMS
1
* CONCRETE COVER - BEAM
* ID NUM , AXIS X , AXIS Y , TYPE
1 , 5.000 , 5.000 , 1

```

Figura 4.24. Impresión de pantalla Notepad++
Recubrimiento del concreto para elementos trabe y columna.

Las especificaciones del acero de refuerzo y concreto de los elementos trabes y columna, se escriben como dicta la Figura 4.25.

```
*
* NUMBER OF DIFFERENT REINFORCING STEEL TYPES (FOR REBARS)
1
* ID NUM , MOD_ELAST , ESP_SH , MEAN_FSU , EPS_SU , EPS_SUU , P , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC , DIA_AC
1 , 2.039432426E+06 , 0.00750421 , 7464.853 , 0.1379568 , 0.1817211 , 3.431358 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1
*
* NUMBER OF DIFFERENT CONCRETE TYPES
1
*
* ID NUM , F_c , F_c_conf , F_aplast , F_t , MOD_TANG , MOD_T_SOFT , EPS_F_MAX , EPS_U , EPS_U_CONFIN , EPS_t , POISSON_R , AC , AC , AC
1 , 248.00 , 352.923 , 24.80 , 23.2 , 189000.00 , 189000.00 , , 0.0027 , 0.0035 , , AC , AC , AC
*
EPS_c , POISSON_R , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC , AC
, 0.0035 , 0.0135 , 0.006684593 , 0.28 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1
```

Figura 4.25. Impresión de pantalla Notepad++.
Características de acero y concreto para elementos trabe y columna.

Las especificaciones para el refuerzo transversal, es decir, lo que se refiere a los tipos de estribos que existen en general, tanto de trabes como columnas, generados mediante los resultados dados por la modelación en ECOgcW, como se muestra en la Figura 4.26 así como el tipo y cantidad de carga longitudinal sobre trabe.

```
*
* NUMBER OF TRANSVERSAL REINFORCING ARRANGEMENTS (STIRRUPS REINFORCEMENT) IN BEAMS
4
* ID NUM , NUM_VARILLA , ESPACIAMIENTO , NUM_RAMAS , SIM 0=NOT-SIM 1=SIM BEAM-TYPE 1, 2=SIM BEAM TYPE 2, 4=SIM BEAM TYPE 3
1 , 3 , 15.00 , 2 , 1
2 , 3 , 20.00 , 2 , 1
3 , 3 , 25.00 , 2 , 1
4 , 3 , 30.00 , 2 , 1
* NUMBER OF LONGITUDINAL LOAD OVER BEAMS
4
* ID NUM , F (KG/CM) , TYP_SIM
1 , 8.16 , 1
2 , 6.53 , 1
3 , 0.00 , 0
4 , 3.265 , 1
*
```

Figura 4.26. Impresión de pantalla Notepad++, Refuerzo transversal (estribos) de elementos trabe y columna y carga longitudinal sobre trabe.

Los tipos de refuerzo longitudinal, obtenidos en el diseño de columnas estándar por cada nivel y según la representación gráfica del armado longitudinal de las distintas secciones existentes, se establecen como se ejemplifica la Figura 4.27.

```
* NUMBER OF TYPES OF LONGITUDINAL REINFORCEMENTS FOR BEAMS
55
* No TIPO, AREA O VARILLA , CAPAS X , CAPAS XU , CAPAS Y , SIM 0=NOT-SIM 1=SIM-BEAM-COLUMN 2=SIM BEAM-COLUMN TYPE 2, 3=SIM BEAM-COLUMN TYPE 3
1 , A , 2 , 2 , 0 , 1
* AREA_POR_CAPA_SIMETRICA_EN_X
6.41 , 6.41
6.41 , 6.41
* AREA_POR_CAPA_SIMETRICA_EN_Y
* 0
```

Figura 4.27. Impresión de pantalla Notepad++, Refuerzo longitudinal en columna.

El conjunto de propiedades de los elementos trabe y columnas, como fueron declaradas en la generación de la configuración estructural, conforme a la interpretación de la figura 4.18 y discretizadas como en la Figura 4.28.

```
*
* NUM_COLUMNAS
100
*
* NUM_COLUMNNA , NUM_DISCRETIZACIONES , Z-AXIS DIR , Y-AXIS DIR
1 , 4 , 0 , 1
* DIST_RELATI_1 , DIST_RELATI_2 , DIST_RELATI_3 , DIST_RELATI_4 , DIST_RELATI_5
0.25 , 0.50 , 0.75
* TIPO_SEC_TRANS , TIPO_RECUBRI , TIP_ARM_LONG , TIP_ARM_TRANS , TIP_ACERO_LONG , TIPO_ACERO_TRANSV , TIPO_CONCRETO , RESTRICION
1 , 1 , 1 , 3 , 1 , 1 , 1 , 0
1 , 1 , 1 , 3 , 1 , 1 , 1 , 0
1 , 1 , 1 , 3 , 1 , 1 , 1 , 0
1 , 1 , 1 , 3 , 1 , 1 , 1 , 0
*
* NUM_BEAMS
155
*
*
* NUM_TRABE , NUM_DISCRETIZACIONES , X-AXIS DIR , Y-AXIS DIR , Z-AXIS DIR
1 , 4 , 0 , 1 , 0
* DIST_RELATI_1 , DIST_RELATI_2 , DIST_RELATI_3 , DIST_RELATI_4 , DIST_RELATI_5
0.25 , 0.50 , 0.75
* TIPO_SEC_TRANS , TIPO_RECUBRI , TIP_ARM_LONG , TIP_ARM_TRANS , TIP_ACERO_LONG , TIPO_ACERO_TRANSV , TIPO_CONCRETO , CARGA_LINEAL , RESTRICION
1 , 1 , 9 , 3 , 1 , 1 , 1 , 2 , 0
1 , 1 , 4 , 4 , 1 , 1 , 1 , 2 , 0
1 , 1 , 4 , 4 , 1 , 1 , 1 , 2 , 0
1 , 1 , 10 , 2 , 1 , 1 , 1 , 2 , 0
*
```

Figura 4.28. Impresión de pantalla Notepad++, Propiedades estructurales de los elementos trabe y columna.

Conforme a estos datos el software SIB procesa los datos específicos de cada uno de los elementos estructurales para la correcta simulación en cada discretización, como se describe en el anexo F.5.

- Nodos y coordenadas
- Existencia y Conectividad
- Losas
- Parámetros de variación de área de acero de refuerzo
- Unidades y factores de carga viva
- Características de secciones transversales de trabes y columnas
- Recubrimiento del concreto para elementos trabe y columna
- Refuerzo transversal (estribos) de elementos trabe y columna y número de carga

longitudinal sobre trabe

- Refuerzo longitudinal de elementos trabe y columna
- Propiedades estructurales de los elementos trabe y columna
- Características de los muros
- Parámetros de variación de área de acero de refuerzo

Estos son las principales consideraciones para generar los archivos totales, ya que es información base para poder alimentar la simulación a generar por el SIB.

5.- El cuarto registro contiene los parámetros para configuración de la modelación estructural y la simulación, los cuales contienen; valores del tipo entero de parámetros internos, modelo de carga muerta, para simulación de variación de las dimensiones de la sección transversal del refuerzo de columnas y trabes, variación del recubrimiento, variación de área de acero, espaciamiento de estribos, área de estribos, peso de concreto, parámetros relacionados con el peso y esfuerzo, por mínimos, para simular columna ancha los tipos de concreto, como ejemplifica la Figura 4.29.

```
*  
* SIMULACIÓN DE VARIACIÓN DE REFUERZO DE ACERO TRANSVERSAL (ESTRIBOS)  
* VALOR ENTERO      , COMENTARIO (NO SE GUARDARA EL COMENTARIO EN EL CODIGO)  
    25              , SEMILLA_SIMULACIÓN_REFUERZO_TRANSVERSAL_CONCRETO_COLUMNA  
    26              , SEMILLA_SIMULACIÓN_REFUERZO_TRANSVERSAL_CONCRETO TRABES  
    27              , SEMILLA_SIMULACIÓN_REFUERZO_TRANSVERSAL_CONCRETO_MURO EN MARCO
```

Figura 4.29. IP de Notepad++, Parámetros de variación del refuerzo transversal.

El software SIB requiere de la declaración de los parámetros que se utilizan en los cálculos de los elementos estructurales, este documento contiene cada uno de ellos en forma entera, para realizar la modelación y simulación correctamente, tal como se muestra en el anexo F.6. Una vez terminados los archivos totales de entrada para el SIB, se procede a realizar las corridas haciendo uso del SIB.

4.4. Resultados conforme al Software SIB

La Figura 4.30. Muestra los archivos totales de entrada para la corrida en software SIB.

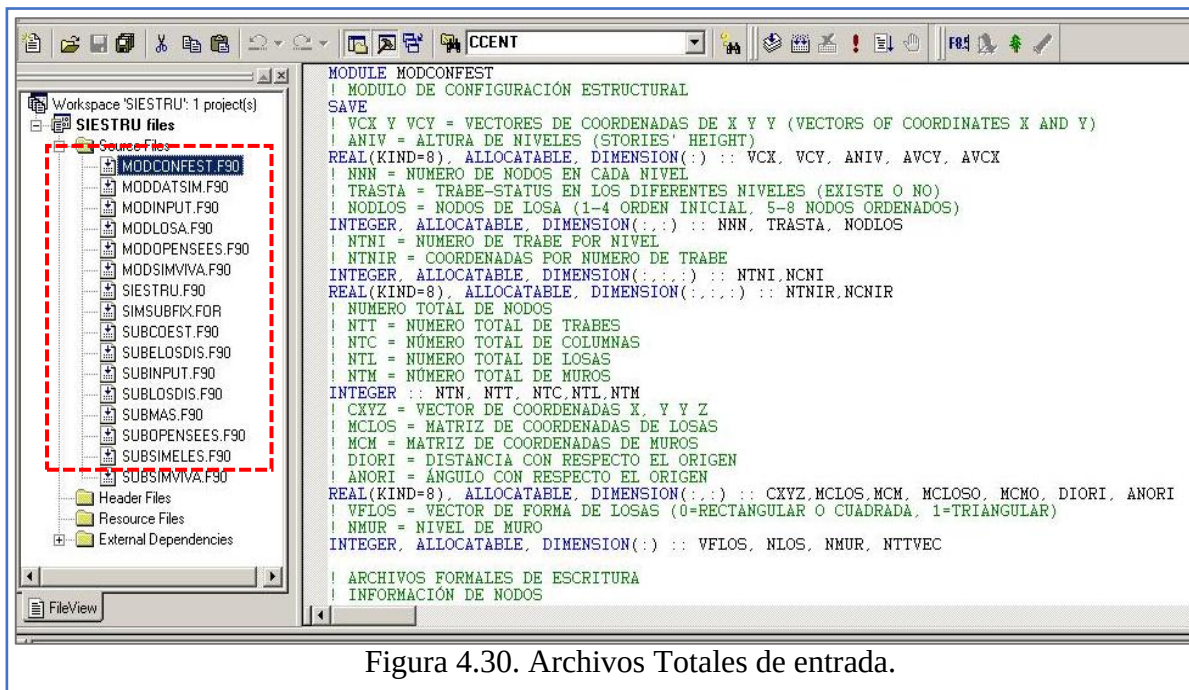


Figura 4.30. Archivos Totales de entrada.

La simulación completa en el software SIB no debe de presentar ediciones de error ni peligro, en respuesta a la correcta ejecución de la información de programación de los archivos de entrada Notepad++. (Véase Figura 4.31.)

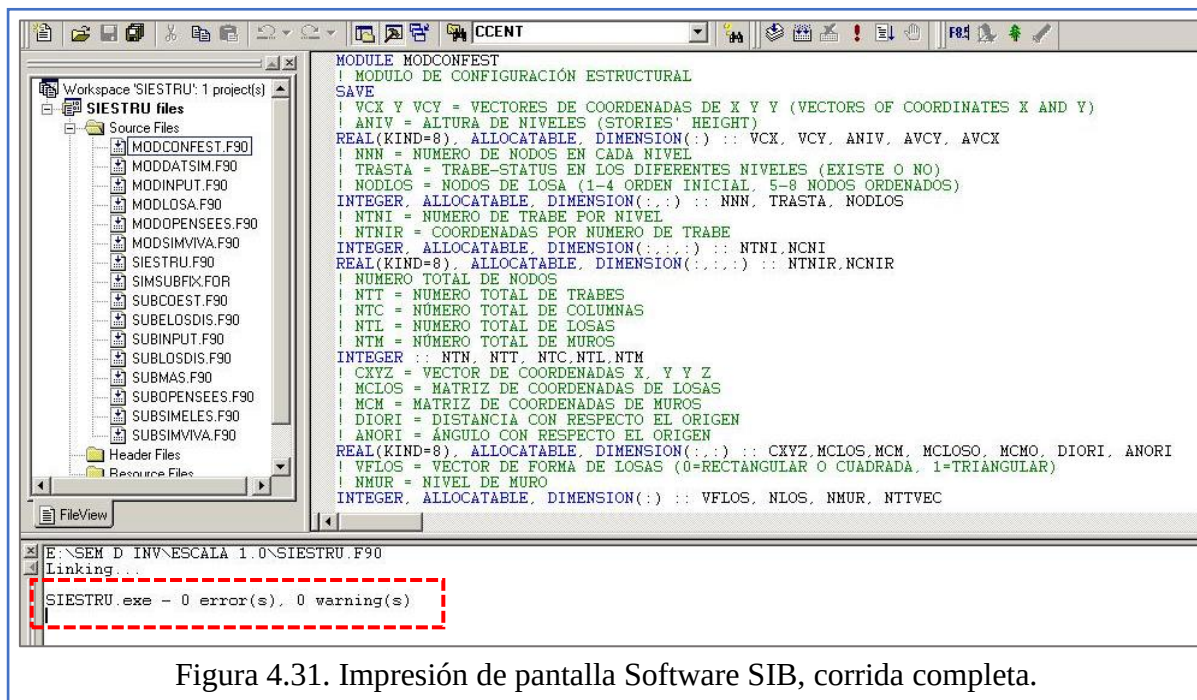
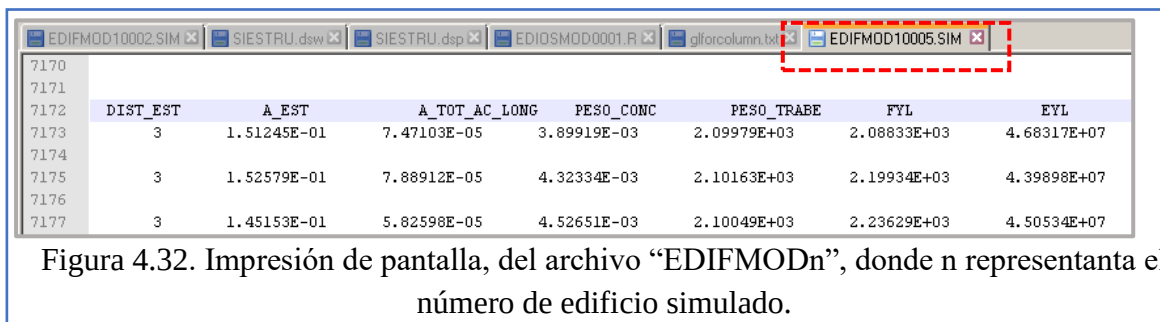


Figura 4.31. Impresión de pantalla Software SIB, corrida completa.

Dada la naturaleza del software se puede elegir la cantidad de simulaciones necesarias para la comparativa entre éstas, tomando en cuenta los modelos probabilísticos, la Figura 4.32 muestra la simulación al edificio 5.



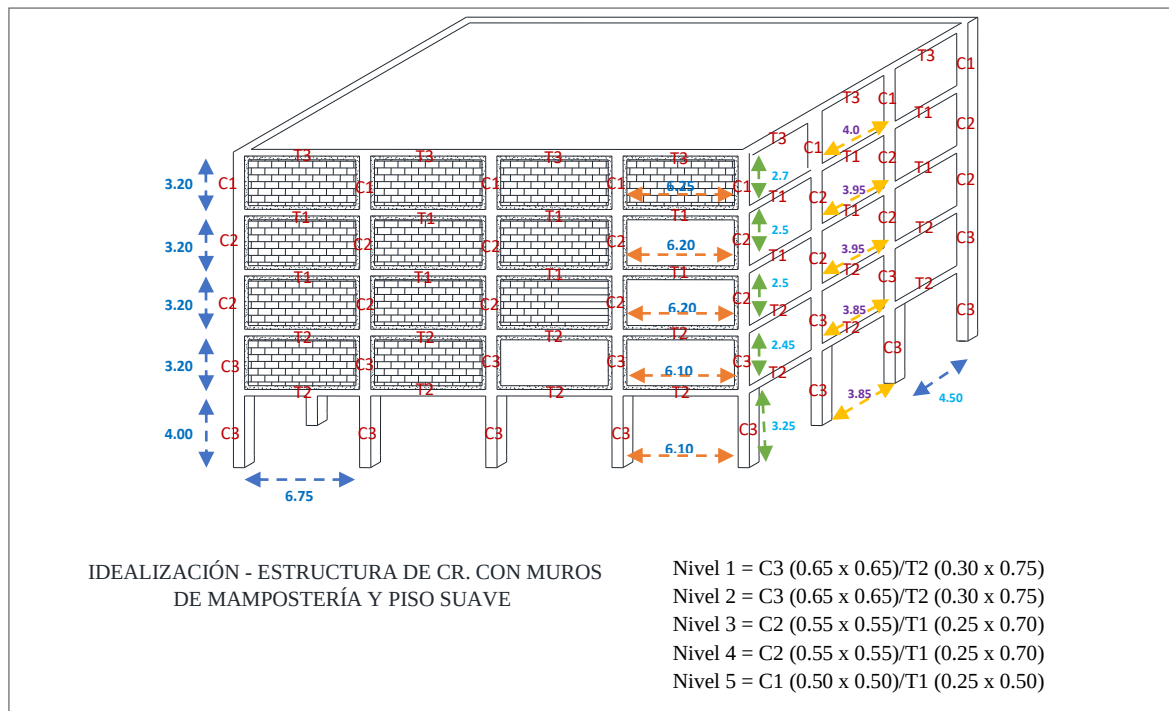
El software SIB genera, conforme a sus modelos probabilísticos y a la discretización dada, las incertidumbres de 97 características de cada elemento trabe y columna, las cuales permiten simular con características aleatorias e incertidumbres las propiedades de los elementos estructurales y así conocer el comportamiento de los modelos en una primera instancia. El SIB simula propiedades de los muros para calcular los parámetros del modelo de interacción fibra sección (referido en la página 46) para la correspondiente calibración, las propiedades a considerar se muestran a continuación:

- fem: resistencia de mampostería a la compresión esperada
(Masory expected compressive strength)
- tinf: Espesor de relleno
(Thickness of infill masory)
- Em: Modulo esperado de elasticidad del material
(Expected modulus of elasticity of the material)
- fvie: Fuerza cortante esperada de la mampostería de relleno
(Expected shear strength of masonry infill)
- Yinf: Densidad de peso de los ladrillos de relleno
(Weight density filler bricks)

Para calibrar los muros de cada nivel, se debe de considerar que la superficie es variable en cuanto a sus dimensiones (largo y alto), debido a que las trabes y columnas son de secciones diferentes en cada nivel. Es necesario establecer en un archivo de Tcl cada tipo de muro, que será ocupado por OpenSees para la corrida del edificio con muros, para este trabajo se implementan tres clases que son:

- Mwall1 (Dimensiones correspondientes al nivel 2)
- Mwall2 (Dimensiones correspondientes al nivel 3 y 4)
- Mwall3 (Dimensiones correspondientes al nivel 5)

Como se presentan en la Figura 4.33.



Con ayuda de un software para cálculos matemáticos, (en este proyecto Mathcad), se resuelven las ecuaciones del modelo antes mencionado sustituyendo las propiedades aleatorias de los muros (Figura 4.33).

Los valores resultantes del modelo fibra sección, serán ingresados a los documentos base para la simulación del edificio en OpenSees, las características a considerar son;

- *Esfuerzo de fluencia de fibra.
- *Área de la fibra.
- *Fluencia de la fibra a la tensión.
- *Deformación de la fibra a la fluencia.
- *Módulo de elasticidad.

4.5. Resultados – Modelación en OpenSees.

Para poder realizar la corrida de la simulación en OpenSees se debe de tener en consideración lo siguiente.

1. Idealización de la estructura de concreto reforzado sin y con muros de mampostería y piso suave, para consideración de la distribución de muros se presenta en la Figura 4.34.

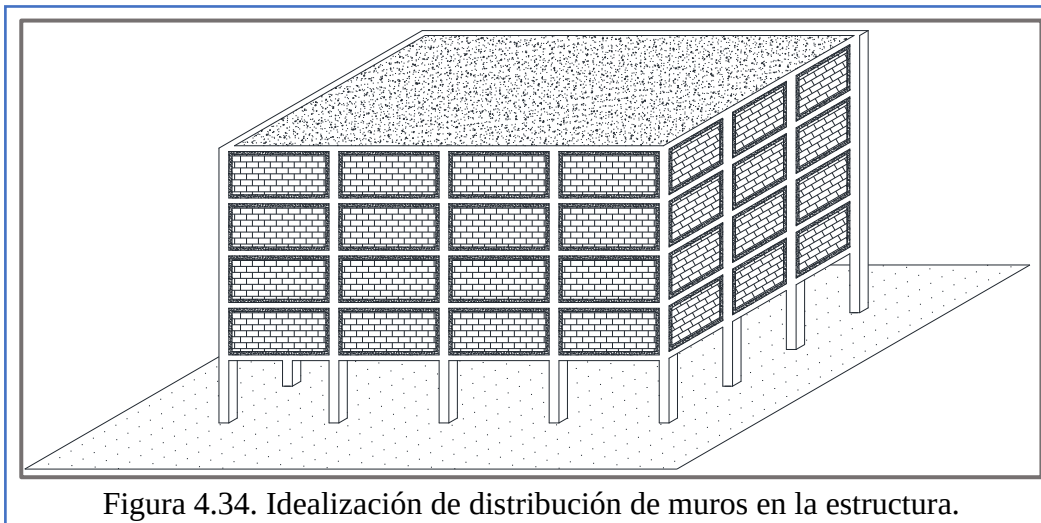


Figura 4.34. Idealización de distribución de muros en la estructura.

2. Modelo de cada plano de la estructura, para consideración de muros utilizando el modelo de fibra-sección, como se indican en la figura F.35a. y F.35b.

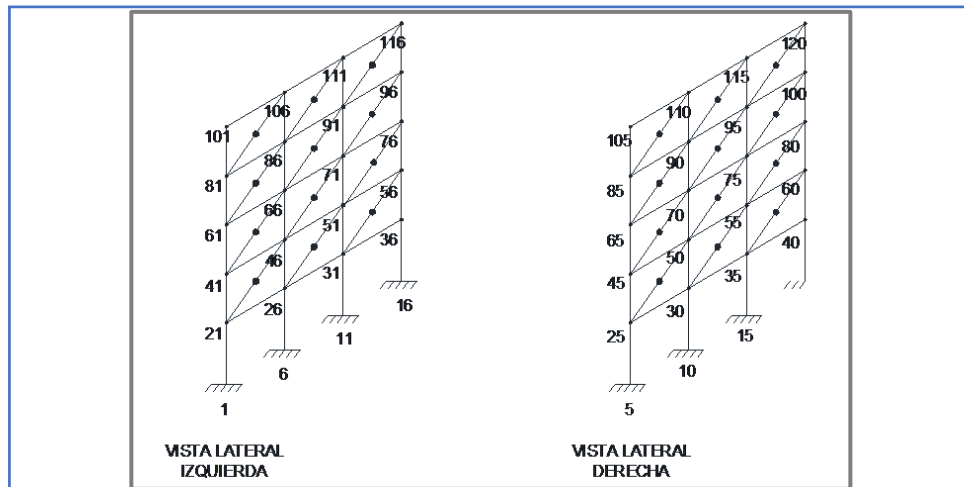


Figura 4.35.a. Consideración de muros en base al modelo de fibra-sección.

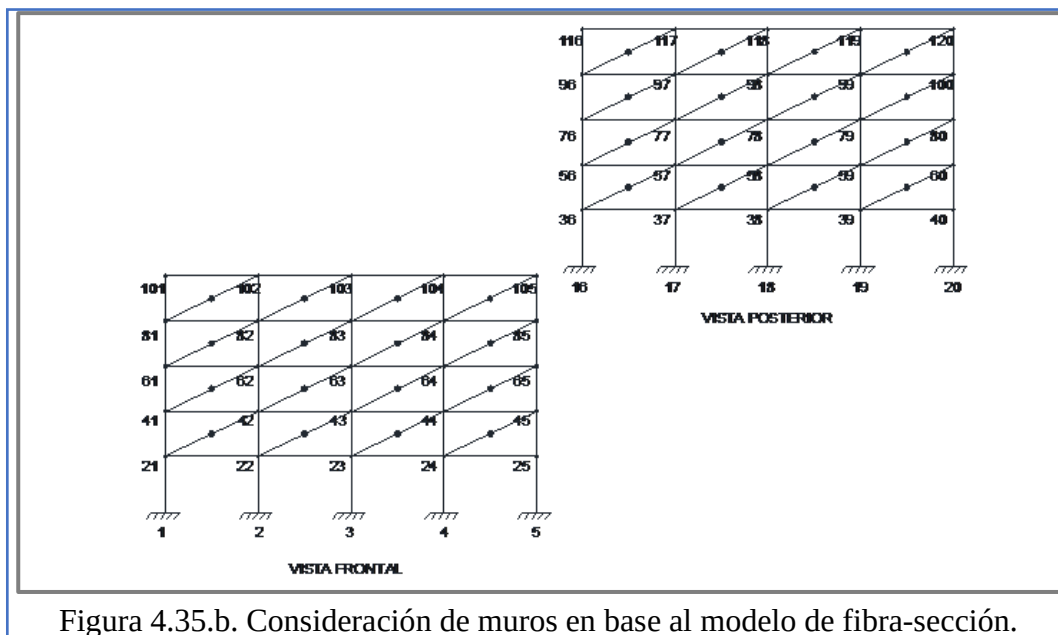


Figura 4.35.b. Consideración de muros en base al modelo de fibra-sección.

Se generan los archivos correspondientes (en lenguaje Tcl), con información correspondiente a la ubicación de los muros de relleno de mampostería que servirán para la corrida del sistema a simular. La Figura 4.36 presenta una parte del script del archivo, donde se ilustran la forma en que se introduce la información correspondiente.

```

# PROPERTIES OF THE MASONRY ELEMENTS TO BE DECLARED

set floors 4 ; # Number of floors WITH masonry walls
set itwall 1 ; # Indicator for the type of masonry wall: 1 is for the classic K-M used element beam with hinges, 2 is for the new force based element
set gravity 9.80665 ; # Gravity acceleration constant
set Ubig 1.00E+10 ; # a really large number
set maxiters 5 ; # maxi number of iterations
set tol 10.00E-13 ; # Tolerance for the section integration of the elements
set nbuild 1 ; # the number of building inside the SIB path
set dirpath spatbufile($nbuild,$analysiscase) ;

# Number of masonry walls in the structure FOR EACH FLOOR
set mw(1.numwalls) 14 ;
set mw(2.numwalls) 14 ;
set mw(3.numwalls) 14 ;
set mw(4.numwalls) 14 ;

# List of the initial nodes of the masonry elements FOR EACH FLOOR, this must be the inferior nodes FOR EACH FLOOR
set mw(1.iinodes) [list 21 22 23 24 25 30 35 36 37 38 39 21 26 31] ;
set mw(2.iinodes) [list 41 42 43 44 45 50 55 56 57 58 59 41 46 51] ;
set mw(3.iinodes) [list 61 62 63 64 65 70 75 76 77 78 79 61 66 71] ;
set mw(4.iinodes) [list 81 82 83 84 85 90 95 96 97 98 99 81 86 91] ;

# List of the final nodes of the masonry elements FOR EACH FLOOR, this must be the superior nodes FOR EACH FLOOR
set mw(1.ifnodes) [list 42 43 44 45 50 55 60 57 58 59 60 46 51 56] ;
set mw(2.ifnodes) [list 62 63 64 65 70 75 80 77 78 79 80 66 71 76] ;
set mw(3.ifnodes) [list 82 83 84 85 90 95 100 97 98 99 100 86 91 96] ;
set mw(4.ifnodes) [list 102 103 104 105 110 115 120 117 118 119 120 106 111 116] ;

# Indicator of the orientation for the masonry walls: 1 if the masonry wall its parallel to the global X-Y plane or 2 if its parallel to the global
set mw(1.iidirect) [list 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2] ;
set mw(2.iidirect) [list 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2] ;
set mw(3.iidirect) [list 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2] ;
set mw(4.iidirect) [list 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2] ;

```

Figura 4.36. Implementación del archivo MWALL

4.6 Características de los Registros Reales Sísmicos.

A continuación se enlistan algunos de los registros sísmicos reales que también podrían ser representativos para el análisis de las estructuras en estudio en la zona de influencia propuesta para el presente estudio.

1.- INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

Coordinación de Instrumentación Sísmica

Ciudad Universitaria, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.

Tel.(52-5)622-3414 Fax.(52-5)616-1514 e-mail: isismica@pumas.iingen.unam.mx

Archivo estándar de aceleración:

Versión del formato : 2.0

Nombre del archivo : ACAP7803.191

Fecha y hora de creación : Wed Mar 4 14:10:08 1998

REF. CATALOGO ACELEROGRAMAS, SMIS 1995 : REGISTRO No. 172 /PAG. 45

Datos de la estación:

Nombre de la estación : ACAPULCO PELLANDINI
Clave de la estación : ACAP
Localización de la estación : Cerro de la Inalámbrica, casa del Arq. Pellandini.
Acapulco, Guerrero.
Coordenadas de la estación : 16.836 LAT. N 99.914 LONG. W
Altitud (msnm) : 100
Tipo de suelo : ROCA GRANITICA
Institución responsable : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos del sismo:

Fecha del sismo (gmt) : 19/MAR/78
Hora epicentro (gmt) : 01:39:14,0
Magnitud(es) : /Mc=5.80
Coordenadas del epicentro : 17.026 LAT. N 99.785 LONG. W
Profundidad focal (km) : 36
Fuentes de los datos epicentrales : NEIC, USGS

Datos de este registro:

Hora de la primera muestra (gmt) : --:--:--.-
Exactitud del tiempo (s) : --
Duración del registro (s), C1-C6 : /15.54/16.35/15.4
Duración del registro (s), C7-C12 :
Núm. total de muestras, C1-C6 : /1554/1635/1544
Núm. total de muestras, C7-C12 :
Acel. max.(Gal), C1-C6 : /-293.315/251.966/-315.078
Acel. max., C1-C6, EN LA MUESTRA : /221/374/342
Acel. max.(Gal), C7-C12 :
Acel. max., C7-C12, EN LA MUESTRA :
Unidades de los datos : Gal (cm/s/s)
Factor de decimación : 1
Formato datos (FORTRAN,10 campos/dato) : 3F10.3

Calidad del acelerograma:

Registro analógico al que falta una parte al inicio sin tiempo absoluto. Digitalización semiautomática o manual.

2.- INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

Coordinación de Instrumentación Sísmica

Ciudad Universitaria, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.

Tel.(52-5)622-3414 Fax.(52-5)616-1514 e-mail: isismica@pumas.iingen.unam.mx

Archivo estándar de aceleración:

Versión del formato : 2.0
Nombre del archivo : CALE9701.111
Fecha y hora de creación : Thu Jan 16 12:43:34 1997
REF. CATALOGO ACELEROGRAMAS, SMIS 1995 : REGISTRO NO. /PAG.

Datos de la estación:

Nombre de la estación : CALETA DE CAMPOS
Clave de la estación : CALE
Localización de la estación : Escuela Secundaria Técnica 68 de Pesca. Caleta de Campos, Michoacán.
Coordenadas de la estación : 18.073 LAT. N : 102.755 LONG. W
Altitud (msnm) : 10
Tipo de suelo : ROCA
Institución responsable : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos del sismo:

Fecha del sismo [GMT] : 11 de Enero de 1997
Hora epicentro (GMT) : 20:28:27.2
Magnitud (ES) : /Mb=6.5/Ms=6.9
Coordenadas del epicentro : 17.910 LAT. N 103.040 LONG. W
Profundidad local (Km) : 16
Fuente de los datos epicentrales : Instituto de Geofísica, UNAM SSN

Datos de este registro:

Hora de la primera muestra (GMT) : 20:28:30
Exactitud del tiempo (s) : 0.5

Duración del registro (s), C1-C6 : /65.50/65.50/65.50
 Duración del registro (s), C7-C12 :
 Núm. total de muestras, C1-C6 : /13101/13101/13101
 Núm. total de muestras, C7-C12 :
 Acel. max.(Gal), C1-C6 : /396.21/413.94/-350.27
 Acel. max., C1-C6, EN LA MUESTRA : /1514/1282/3281
 Acel. max.(Gal), C7-C12 :
 Acel. max., C7-C12, EN LA MUESTRA :
 Unidades de los datos : Gal (cm/s/s)
 Factor de decimacion : 1
 Formato datos (FORTRAN,10 campos/dato) : 3F10.2

Calidad del acelerograma:

Registro digital completo, con tiempo absoluto correcto.

3.- INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

Coordinación de Instrumentación Sísmica

Ciudad Universitaria, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.

Tel.(52-5)622-3414 Fax.(52-5)616-1514 e-mail: isismica@pumas.iingen.unam.mx

Archivo estándar de aceleración:

Versión del formato : 2.0
 Nombre del archivo : LLAV9005.311
 Fecha y hora de creación : Fri Mar 06 12:30:04 1998
 REF. CATALOGO ACELEROGRAMAS, SMIS 1995 : REGISTRO No. 2268 /PAG. 221

Datos de la estación:

Nombre de la estación : LA LLAVE
 Clave de la estación : LLAV
 Localización de la estación : Escuela Primaria. La Llave, Guerrero, a 15 km. de San Luis La Loma, carretera México - Zihuatanejo.
 Coordenadas de la estación : 17.346 LAT. N 100.792 LONG. W
 Altitud (msnm) : 200
 Tipo de suelo : ROCA
 Institución responsable : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos del sismo:

Fecha del sismo (GMT) : 31/MAY/90
Hora epicentro (GMT) : 07:35:26,9
Magnitud (ES) : /Mb=5.80/Ms=5.90/Mc=5.50
Coordenadas del epicentro : 17.106 LAT. N 100.893 LONG. W
Profundidad focal (km) : 16
Fuentes de los datos epicentrales : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos de este registro:

Hora de la primera muestra (GMT) : 07:35:28.40
Exactitud del tiempo (s) : 0.01
Duración del registro (s), C1-C6 : /41.50/41.50/41.50
Duración del registro (s), C7-C12 :
Num. total de muestras, C1-C6 : /8300/8300/8300
Num. total de muestras, C7-C12 :
Acel. max.(Gal), C1-C6 : /-316.78/174.18/392.38
Acel. max., C1-C6, EN LA MUESTRA : /1178/1221/1219
Acel. max.(Gal), C7-C12 :
Acel. max., C7-C12, EN LA MUESTRA :
Unidades de los datos : Gal (cm/s/s)
Factor de decimacion : 1
Formato datos (FORTRAN,10 campos/dato) : 3F10.2

Calidad del acelerograma:

Registro digital completo con tiempo absoluto correcto.

4.- INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

Coordinación de Instrumentación Sísmica

Ciudad Universitaria, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.

Tel.(52-5)622-3414 Fax.(52-5)616-1514 e-mail: isismica@pumas.iingen.unam.mx

Archivo estándar de aceleración:

Versión del formato : 2.0
Nombre del archivo : PARS8509.211
Fecha y hora de creación : Wed Apr 01 17:50:48 1998

Datos de la estación:

Nombre de la estación : EL PARAISO
 Clave de la estación : PARS
 Localización de la estación : Casa del Sr. Justo Castalan, en El Paraiso, Guerrero.
 Coordenadas de la estación : 17.344 LAT. N 100.214 LONG. W
 Altitud (msnm) : 720
 Tipo de suelo : ROCA
 Institución responsable : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos del sismo:

Fecha del sismo (GMT) : 21/SEP/85
 Hora epicentro (GMT) : 01:37:18,4
 Magnitud (ES) : /Mb=6.30/Ms=7.60/Mc=7.50
 Coordenadas del epicentro : 18.021 LAT. N 101.479 LONG. W
 Profundidad focal (km) : 15
 Fuentes de los datos epicentrales : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos de este registro:

Hora de la primera muestra (GMT) : 01:36:44.21
 Exactitud del tiempo (s) : 0.01
 Duración del registro (s), C1-C6 : /46.29/46.29/46.29
 Duración del registro (s), C7-C12 :
 Num. total de muestras, C1-C6 : /9259/9259/9259
 Num. total de muestras, C7-C12 :
 Acel. max. (Gal), C1-C6 : /-473.78/169.63/-625.78
 Acel. max., C1-C6, EN LA MUESTRA : /4307/4511/4306
 Acel. max. (Gal), C7-C12 :
 Acel. max., C7-C12, EN LA MUESTRA :
 Unidades de los datos : Gal (cm/s/s)
 Factor de decimacion : 1
 Formato datos (FORTRAN, 10 campos/dato): 3F10.2

Calidad del acelerograma:

Registro digital completo con tiempo absoluto correcto.

5.- INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM

Coordinación de Instrumentación Sísmica

Ciudad Universitaria, Apartado Postal 70-472, Coyoacán 04510, México, D.F.

Tel.(52-5)622-3414 Fax.(52-5)616-1514 e-mail: isismica@pumas.iingen.unam.mx

Archivo estándar de aceleración:

Versión del formato : 2.0
Nombre del archivo : VIGA8904.251
Fecha y hora de creación : Tue Mar 24 15:16:18 1998
REF. CATALOGO ACELEROGRAMAS, SMIS 1995 : REGISTRO No. 1513 /PAG. 158

Datos de la estación:

Nombre de la estación : LAS VIGAS
Clave de la estación : VIGA
Localización de la estación : Instalaciones SARH, en las Vigas, Guerrero.
Coordenadas de la estación : 16.757 LAT. N : 99.236 LONG. W
Altitud (msnm) : 30
Tipo de suelo : ROCA
Institución responsable : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos del sismo:

Fecha del sismo (GMT) : 25/ABR/89
Hora epicentro (GMT) : 14:29:00.4
Magnitud (ES) : /Mb=6.30/Ms=6.90/Mc=6.50
Coordenadas del epicentro : 16.603 LAT. N 99.400 LONG. W
Profundidad focal (km) : 19
Fuentes de los datos epicentrales : INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Datos de este registro:

Hora de la primera muestra (GMT) : 14:29:04.09
Exactitud del tiempo (s) : 0.01
Duración del registro (s), C1-C6 : /34.39/34.39/34.39
Duración del registro (s), C7-C12 :

Núm. total de muestras, C1-C6 : /6878/6878/6878
Núm. total de muestras, C7-C12 :
Acel. max.(Gal), C1-C6 : /-310.08/128.20/345.94
Acel. max., C1-C6, EN LA MUESTRA : /1356/1356/1497
Acel. max.(Gal), C7-C12 :
Acel. max., C7-C12, EN LA MUESTRA :
Unidades de los datos : Gal (cm/s/s)
Factor de decimacion : 1
Formato datos (FORTRAN,10 campos/dato) : 3F10.2

Calidad del acelerograma:

Registro digital completo, con tiempo absoluto correcto.

4.7 Análisis en OpenSees.

OpenSees tiene la capacidad de realizar 17 diferentes clases de análisis, bajo las consideraciones que a continuación se enlistan:

1. Análisis gravitacional. (Gravitational case)
2. Análisis modal sin interacción suelo estructura en dirección x (Modal analysis without ISE in x-direction).
3. Análisis modal sin interacción suelo en dirección z (Modal analysis without ISE in z-direction).
4. Sismo en dirección x sin diafragma rígido (Earthquake x-direction without rigid diaphragm).
5. Sismo en dirección z sin diafragma rígido (Earthquake z-direction without rigid diaphragm).
6. Sismo en dirección x-z sin diafragma rígido (Earthquake en x-z-direction without rigid diaphragm).
7. Sismo en dirección x con diafragma rígido (Earthquake x-direction with rigid diaphragm).
8. Sismo en dirección z con diafragma rígido (Earthquake z-direction with rigid diaphragm).
9. Sismo en dirección x-z con diafragma rígido (Earthquake x-z-direction with rigid diaphragm).
10. Pushover estático con diafragma rígido, en dirección x. (Static Pushover with rigid diaphragm in x-direction).
11. Pushover estático con diafragma rígido, en dirección z (Static Pushover with rigid diaphragm in z-direction).
12. Pushover estático con diafragma rígido, en dirección x-z (Static Pushover with rigid diaphragm in x-z-direction).
13. Sismo con interacción suelo estructura, con diafragma rígido en dirección x (Soil-Structure Interaction with Earthquake, Rigid Diaphragm in x-direction).
14. Sismo con interacción suelo estructura, con diafragma rígido en dirección z (Soil-Structure Interaction with Earthquake, Rigid Diaphragm in z-direction).
15. Sismo con interacción suelo estructura, con diafragma rígido en dirección x-z (Soil-Structure Interaction with Earthquake, Rigid Diaphragm in x-z-direction).
16. Análisis modal en dirección x, con interacción suelo estructura (Soil-Structure Interaction in modal analysis in x-direction).
17. Análisis modal en dirección x, con interacción suelo estructura (Soil-Structure Interaction in modal analysis in z-direction).

Para fines del presente proyecto y con el propósito de conocer la capacidad inicial del sistema, desplazamientos y sus correspondientes periodos; se ejecutan las siguientes

corridas que permiten establecer las condiciones para conocer el comportamiento de los modelos en sus diferentes direcciones y bajo la influencia de registros sísmicos reales o estimados, considerando la idealización del entrepiso como un diafragma rígido, sin la interacción de la estructura con el suelo, etcétera.

2. Análisis modal sin interacción suelo estructura en dirección x (Modal analysis without ISE in x-direction).
3. Análisis modal sin interacción suelo estructura en dirección z (Modal analysis without ISE in z-direction).
7. Análisis Sismo en dirección x con diafragma rígido (Earthquake x-direction with rigid diaphragm).
8. Análisis Sismo en dirección z con diafragma rígido (Earthquake z-direction with rigid diaphragm).
10. Pushover estático con diafragma rígido, en dirección x. (Static Pushover with rigid diaphragm in x-direction).

El Análisis modal sin interacción suelo estructura en dirección x y el análisis modal sin interacción suelo estructura en dirección z, permiten hacer la comparativa con los sistemas estructurales en cuanto al periodo fundamental antes y después de cargas externas. La tabla 4.2 y 4.3 son un registro de los periodos en los edificios sin y con muros bajo este análisis.

Tabla 4.2 Periodos en edificio sin muros.

Periodos en edificios sin muros 3*4					
Gravitacional case	Modal analysis without ISE in x-direction		Modal analysis without ISE in z-direction		
	Periodos		Periodos		
	Berfore	After	Berfore	After	
EDIFICIO 1	ESCALA 1.0	0.61684489995867900	0.69738323259035400	0.55191944037662200	0.60763541995541300
		0.22660384643163100	0.25740611922500200	0.20569200056929600	0.22769036714417000
		0.12837949111570200	0.14068973514153000	0.12031533251017600	0.13027948694292500
		0.08012121017473000	0.08534557049792220	0.07598038231250510	0.07995787548958440
		0.05711991357019600	0.05905116333269740	0.05429699505974410	0.05575917131931560

Tabla 4.3 Periodos en edificio con muros.

Periodos en edificios con muros 3*4					
Gravitacional case	Modal analysis without ISE in x-direction		Modal analysis without ISE in z-direction		
	Periodos		Periodos		
	Berfore	After	Berfore	After	
EDIFICIO 1	ESCALA 1.0	0.58681956005583400	0.63706282300557100	0.54047651020656000	0.59051919646425400
		0.21561130360431900	0.35429316712952200	0.21857496997094700	0.49997937300622700
		0.21561064347929900	0.35429130843028400	0.21561111318301800	0.44822759528076300
		0.21560640359005400	0.26893649147405600	0.21560647975352200	0.35421670299881300
		0.21560616240626800	0.26893528434798700	0.21560621318173500	0.33227534380933200

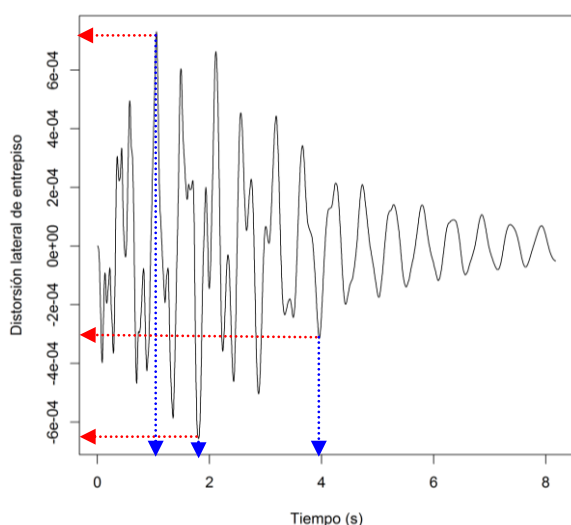
Para fines comparativos y por criterio se toman en consideración los primeros periodos de análisis que se muestran en la tabla 4.4, sin evaluar el valor numérico, los periodos de la estructura disminuyen con la presencia de muros en ambas direcciones, se puede decir que el tiempo en el que la estructura toma en dar un ciclo completo disminuye, cuando experimenta una vibración.

Tabla 4.4. Comparativa (Periodos después de experimentar una carga externa).			
x		z	
Sin muros	Con muros	Sin muros	Con muros
0.6973	0.6370	0.6076	0.5905

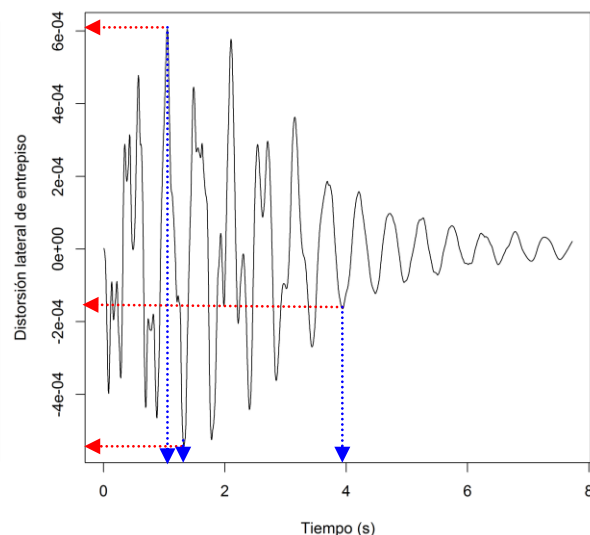
Uno de los objetivos de un análisis estructural, es la predicción del comportamiento de una estructura bajo cargas o solicitaciones prescritas y otros efectos externos, o bajo ambas influencias. El análisis de sismo en dirección x con diafragma rígido y el análisis de sismo en dirección z con diafragma rígido, consideran la presencia de los registros de sismos reales que permiten definir qué características de la estructura son modificadas conforme al incremento de cargas laterales.

Sismo en dirección x con diafragma rígido (Earthquake x-direction with rigid diaphragm).

La gráfica 4.1, representa la relación entre la distorsión lateral del edificio y el tiempo que este tarda en deformarse cuando no están presentes los muros (SM), y la gráfica 4.2 indica la misma relación pero con presencia de muros (CM), esto en el primer entrepiso con un nivel de +4.000 de la estructura en estudio.



Gráfica 4.1 Distorsión/Tiempo SM (1er)
(1er)



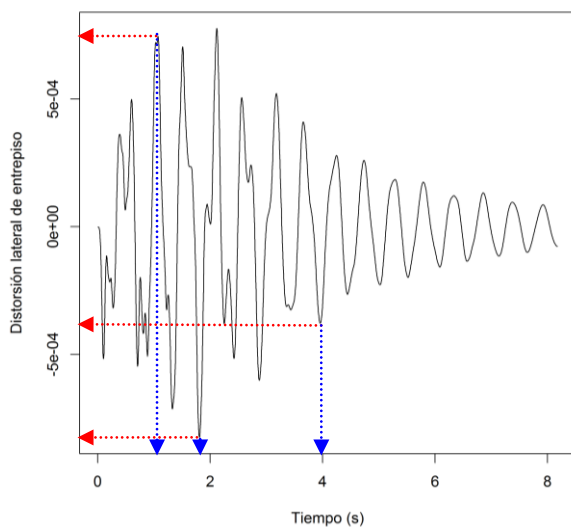
Gráfica 4.2 Distorsión/Tiempo CM

La tabla 4.5 muestra un concentrado de los puntos máximos y mínimos de las gráficas 4.12 y 4.2, con la finalidad de comparar las relaciones, donde se puede observar como la distorsión disminuye con la presencia de muros, considerando 8 segundos de tiempo para el desarrollo de esta deformación en el sistema.

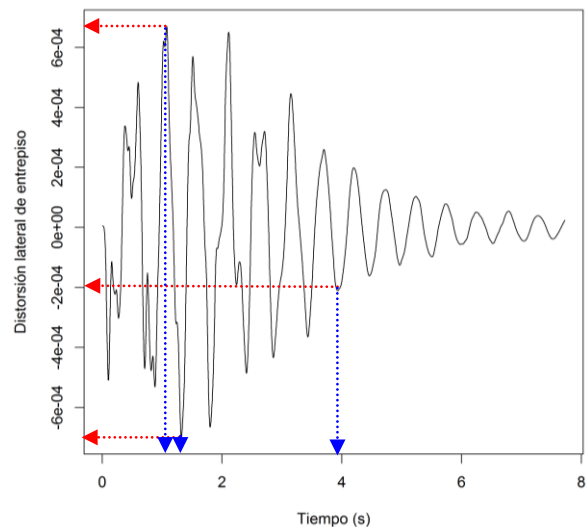
Tabla 4.5 Comparativa de relación Distorsión/Tiempo. (1er)			
Edificio Sin Muros de Mampostería		Edificio Con Muros de Mampostería	
Distorsión Lateral	Tiempo (s)	Distorsión Lateral	Tiempo (s)
Máx. 0.00075	1.1	Máx. 0.00061	1.1
Min. 0.00065	1.8	Min. 0.0005	1.4
-0.0003	4	-0.00017	4

A continuación se presentan las gráficas y tablas comparativas de los entrepisos consecutivos del edificio.

Entrepiso Nivel +7.200



Gráfica 4.3 Distorsión/Tiempo SM (2do)

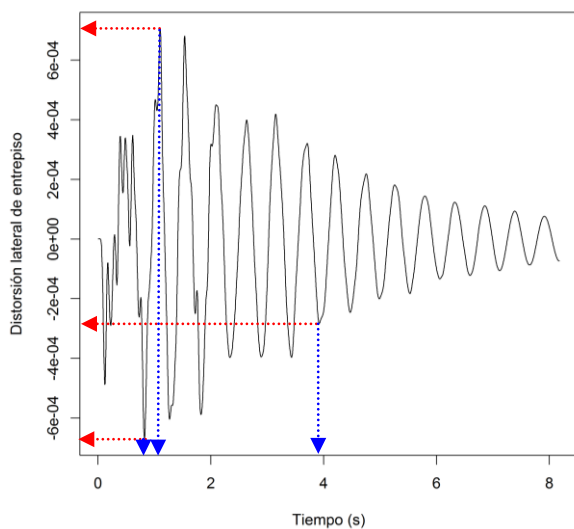


Gráfica 4.4 Distorsión/Tiempo CM (2do)

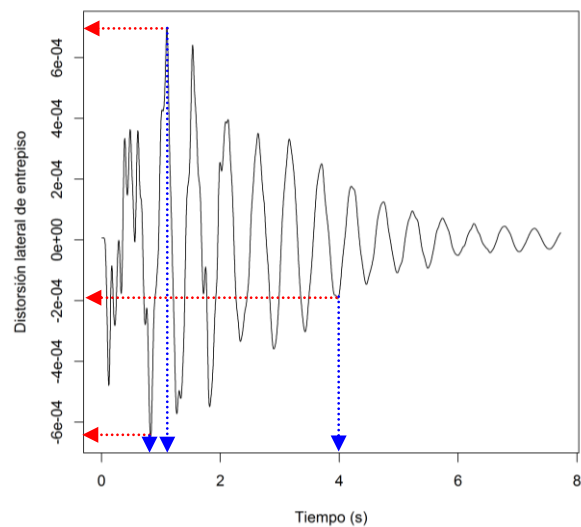
Tabla 4.6 Comparativa de relación Distorsión/Tiempo (2do).

Edificio Sin Muros de Mampostería		Edificio Con Muros de Mampostería	
Distorsión Lateral	Tiempo (s)	Distorsión Lateral	Tiempo (s)
Máx. 0.0007	1.1	Máx. 0.00063	1.1
Mín. 0.0009	1.9	Mín. 0.0007	1.2
-0.0004	4	-0.0002	4

Entrepiso Nivel +10.400



Gráfica 4.5 Distorsión/Tiempo SM (3er)
(3er)

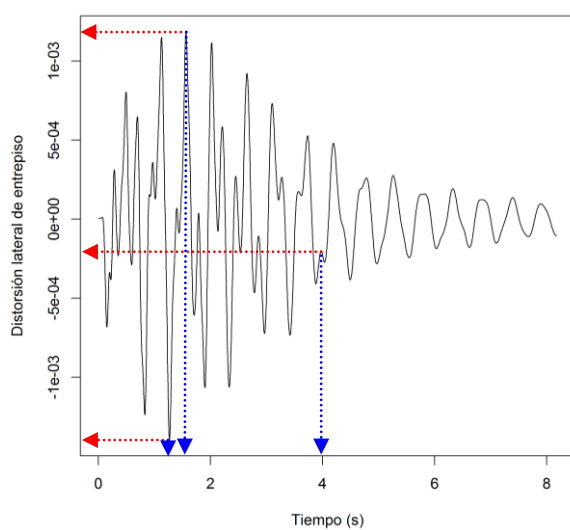


Gráfica 4.6 Distorsión/Tiempo CM

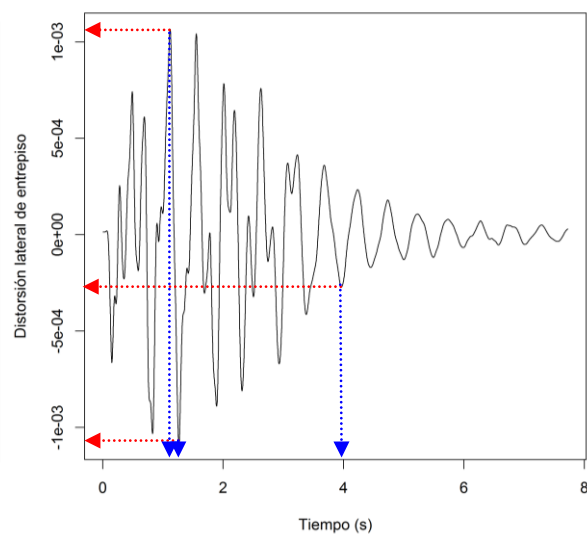
Tabla 4.7 Comparativa de relación Distorsión/Tiempo (3er).

Edificio Sin Muros de Mampostería		Edificio Con Muros de Mampostería	
Distorsión Lateral	Tiempo (s)	Distorsión Lateral	Tiempo (s)
Máx. 0.00067	1.1	Máx. 0.00067	1.1
Min. 0.00064	0.8	Min. 0.00062	0.8
-0.00038	4	-0.00019	4

Entrepiso Nivel +13.600



Gráfica 4.7 Distorsión/Tiempo SM (4to)

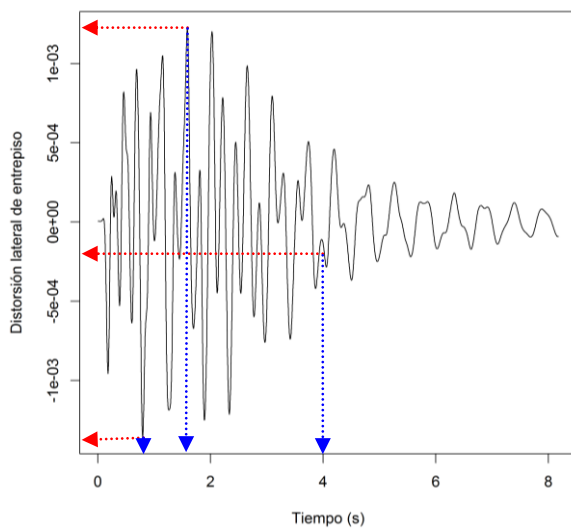


Gráfica 4.8 Distorsión/Tiempo CM (4to)

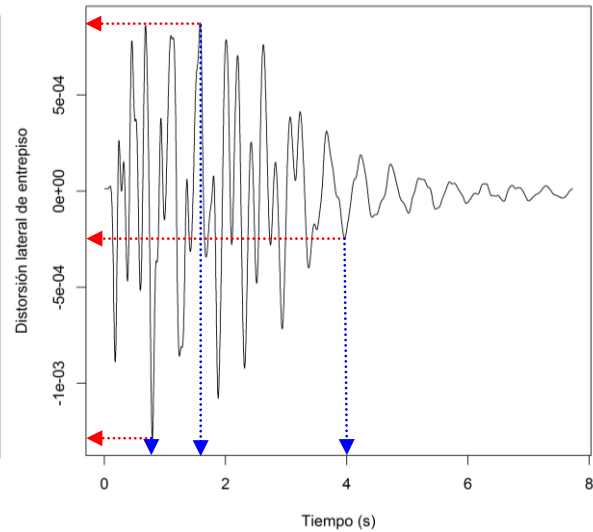
Tabla 4.8 Comparativa de relación Distorsión/Tiempo (4to).

Edificio Sin Muros de Mampostería		Edificio Con Muros de Mampostería	
Distorsión Lateral	Tiempo (s)	Distorsión Lateral	Tiempo (s)
Máx. 0.0012	1.7	Máx. 0.0011	1.3
Min. 0.0014	1.4	Min. 0.0011	1.4
-0.0002	4	-0.003	4

Entrepiso Nivel +16.800



Gráfica 4.9 Distorsión/Tiempo SM (5to)



Gráfica 4.10 Distorsión/Tiempo CM (5to)

Tabla 4.9 Comparativa de relación Distorsión/Tiempo (5to).

Edificio Sin Muros de Mampostería		Edificio Con Muros de Mampostería	
Distorsión Lateral	Tiempo (s)	Distorsión Lateral	Tiempo (s)
Máx. 0.0012	1.7	Máx. 0.0009	1.8
Min. 0.0014	0.8	Min. 0.0014	0.7
-0.0002	4	-0.0025	4

Como se mencionó, en el software SIB se generaron simulaciones tomando en cuenta los modelos probabilísticos, los modelos de los cinco edificios que se obtuvieron fueron corridos con los diferentes registros de sismos reales, las siguientes graficas son resultado de la relación de distorsión contra tiempo del quinto nivel, para cada uno de los 5 edificios simulados sin muros y se hace la relación del esquema correspondiente del sismo utilizado (en dirección x):

EDIFICIO 1

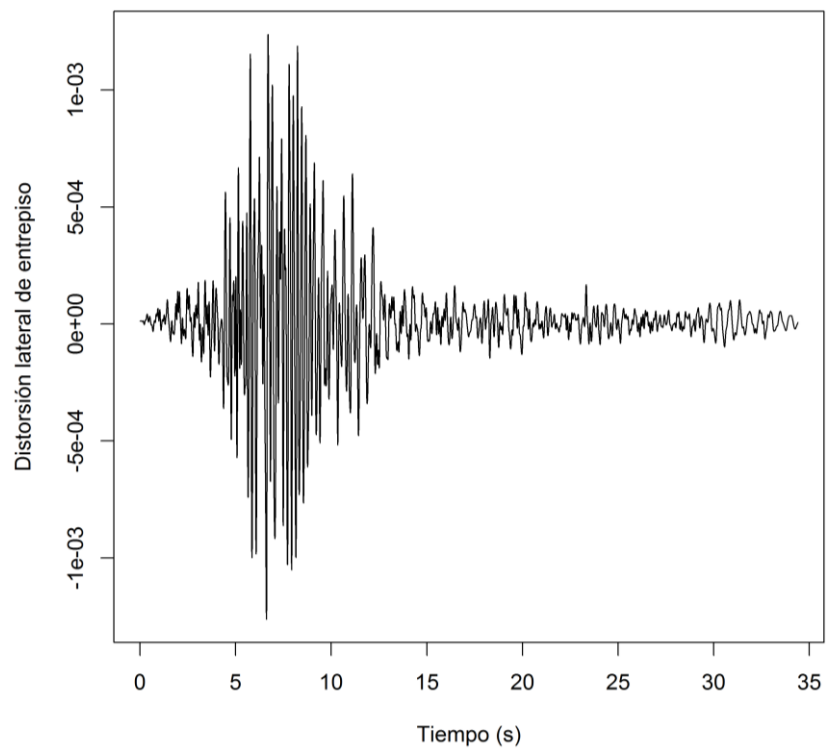


Figura 4. 37 Edificio 1, Quinto Nivel, Distorsión/Tiempo

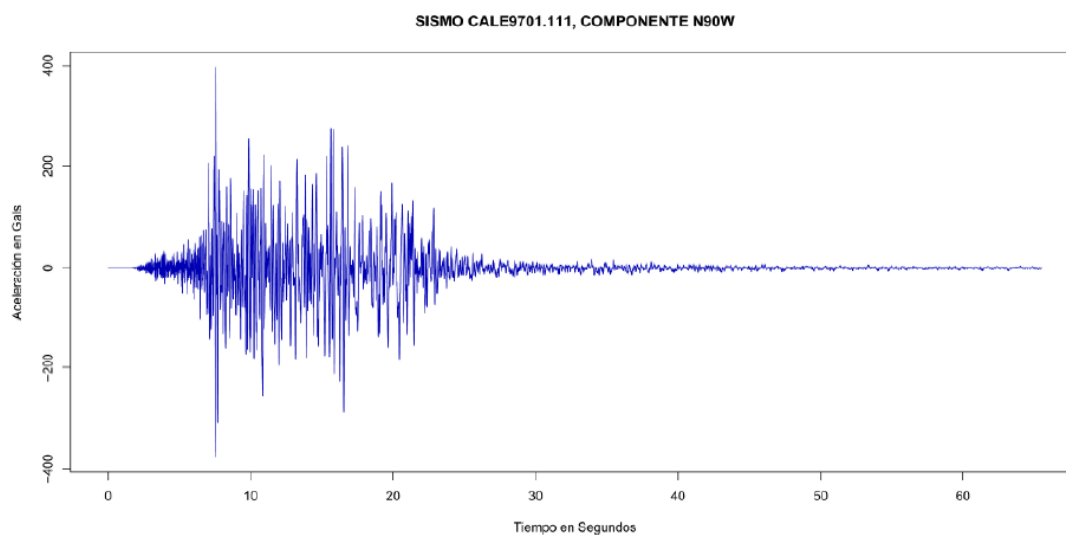


Figura 4.38 Sismo CALE9701.111, Componente N90W

EDIFICIO 2

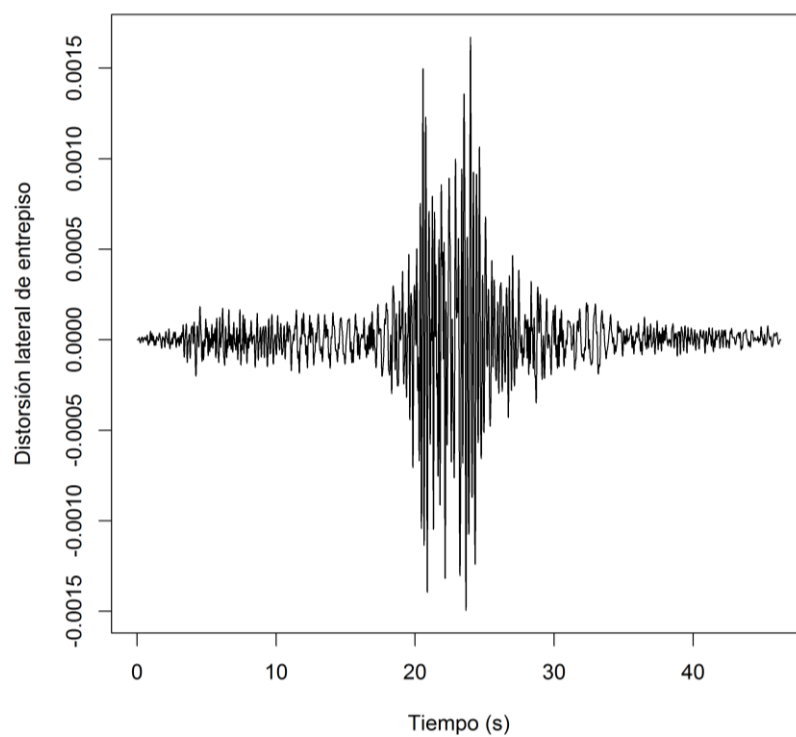


Figura 4. 39 Edificio 2, Quinto Nivel, Distorsión/Tiempo

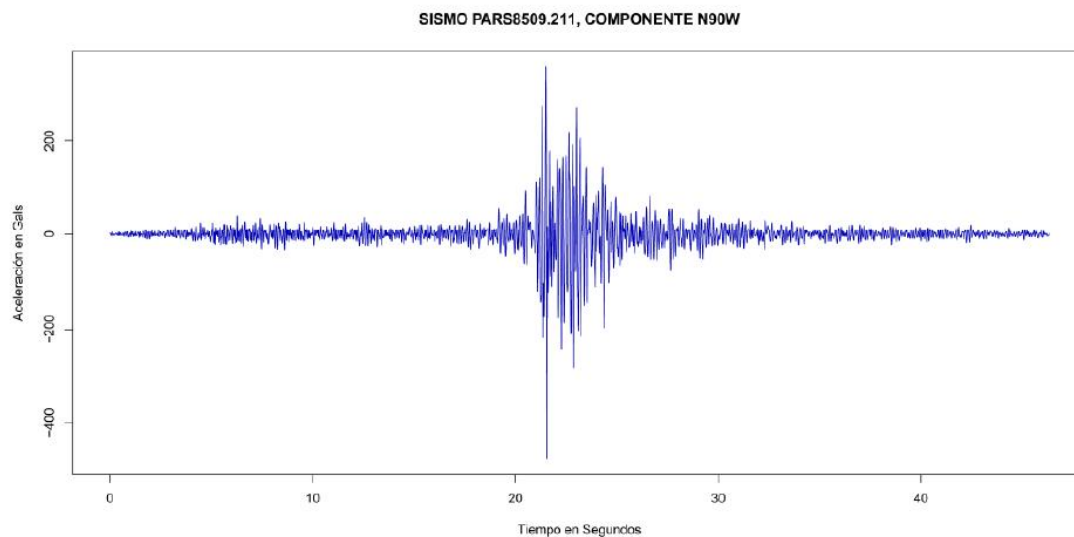


Figura 4. 40 Sismo PARS8509.211, Componente N90W

EDIFICIO 3

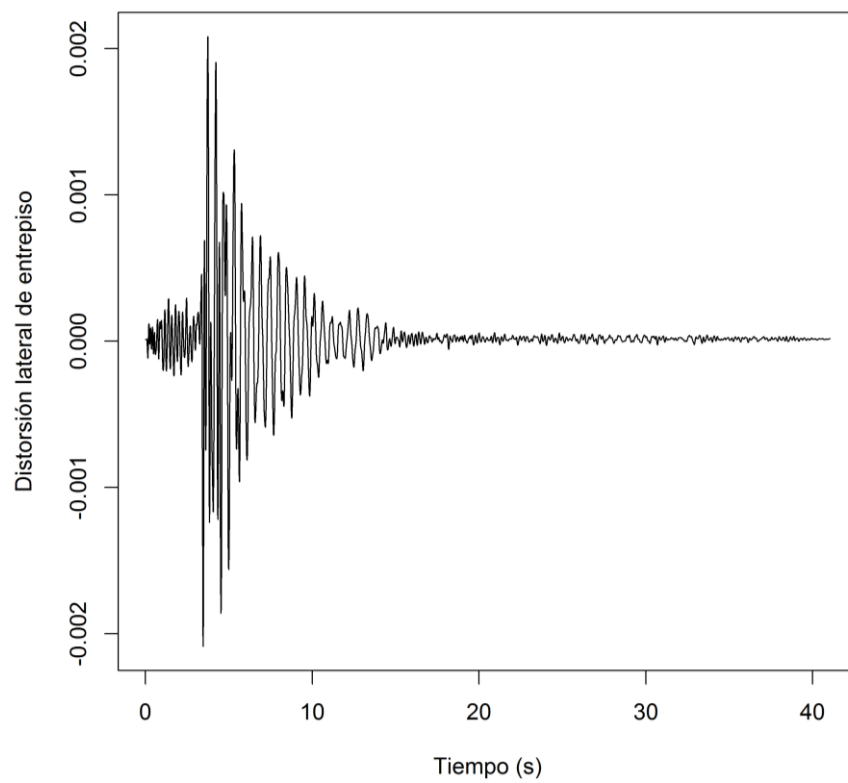


Figura 4. 41 Edificio 3, Quinto Nivel, Distorsión/Tiempo.

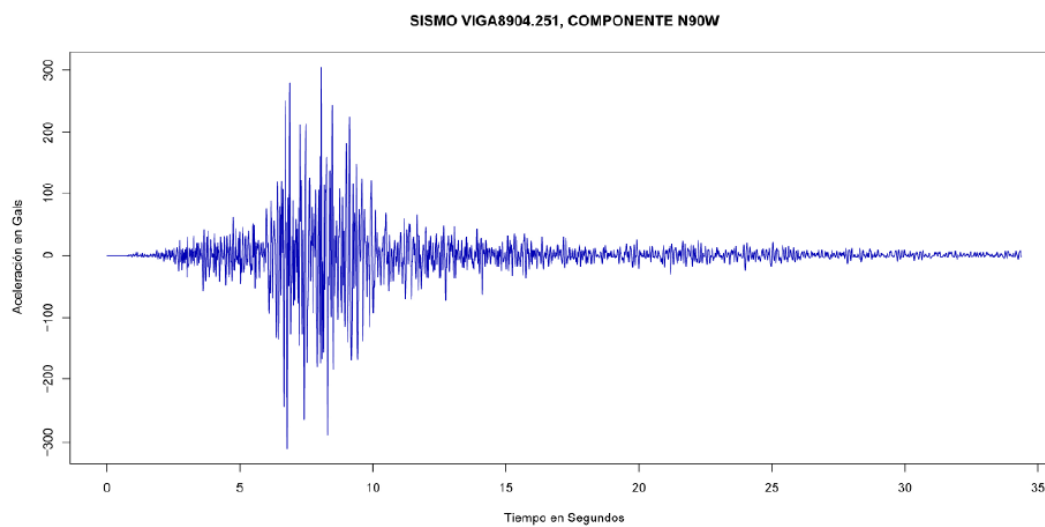


Figura 4.42 Sismo VIGA8904.251, Componente en N90W

EDIFICIO 4

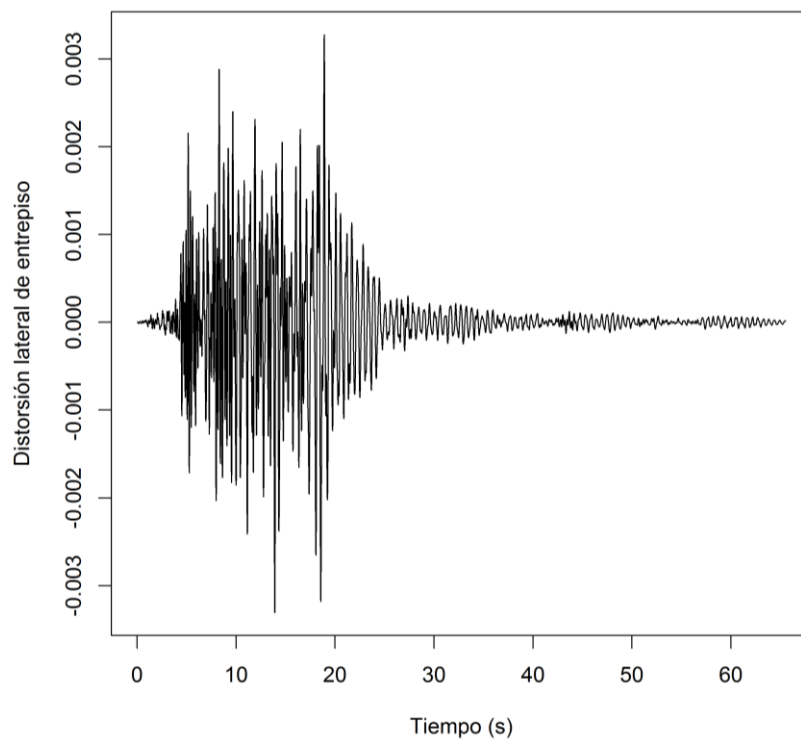


Figura 4.43 Edificio 4, Quinto Nivel, Distorsión/Tiempo

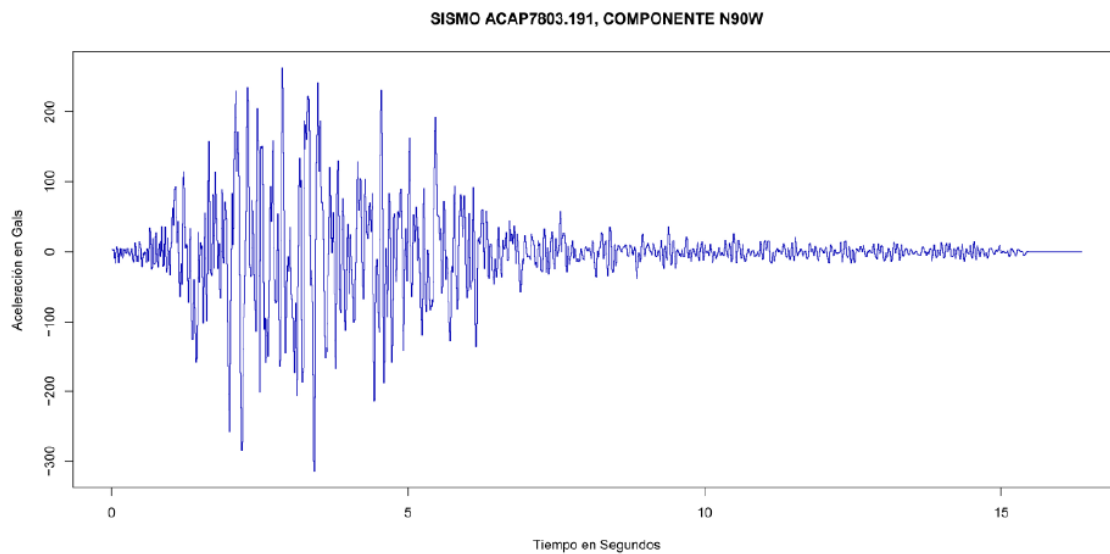


Figura 4. 44 Sismo ACAP7803.191, Componente N90W

EDIFICIO 5

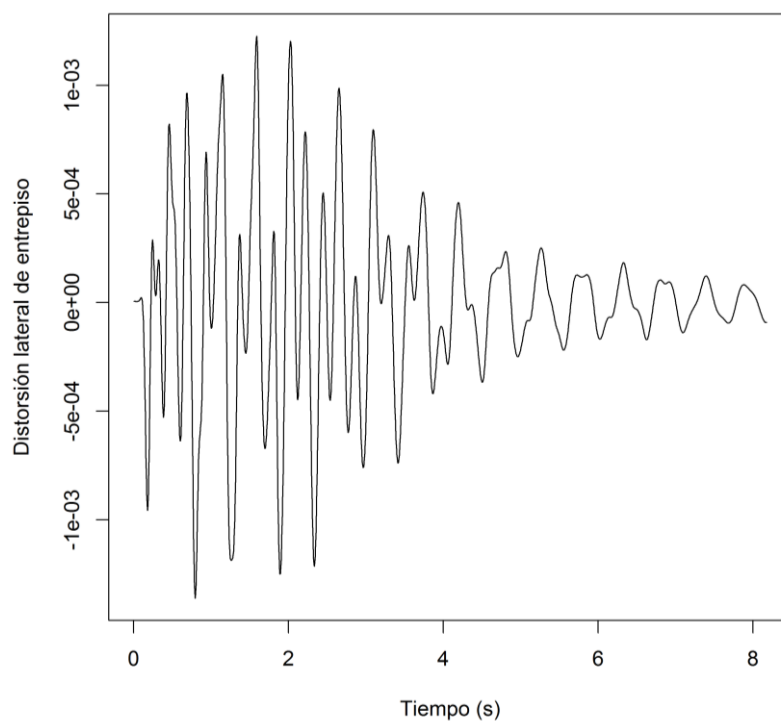


Figura 4.45 Edificio 5, Quinto Nivel, Distorsión/Tiempo

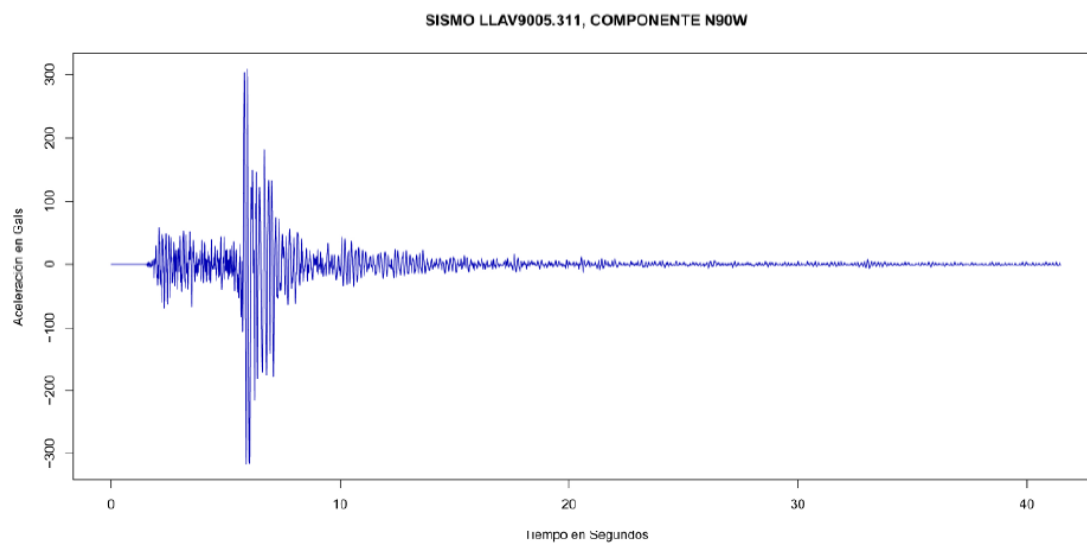
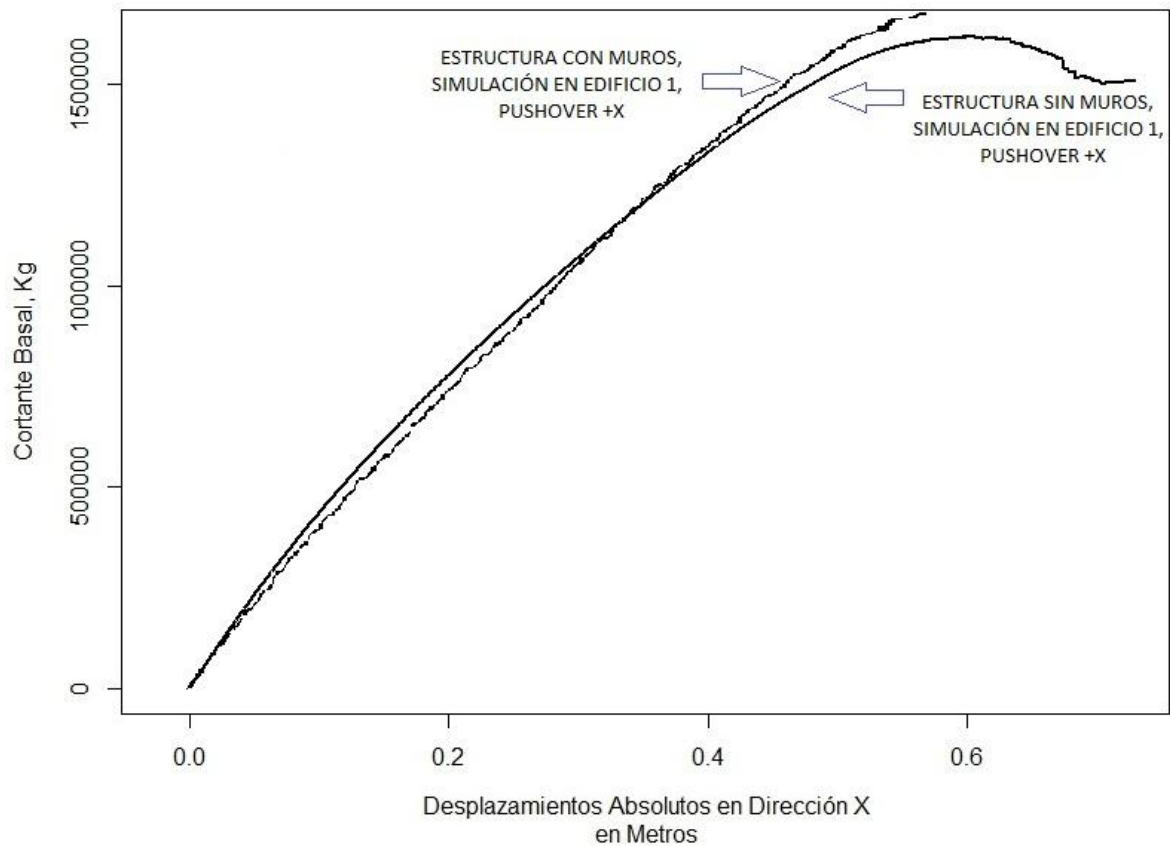


Figura 4.46 Sismo LLAV9005.311, Componente N90W

De los análisis pushover, se obtiene información para graficar el cortante basal contra desplazamientos, la gráfica 4.11 permite proponer la capacidad inicial del sistema.



Gráfica 4.11 Pushover +X, Estructura con muros-Pushover +X, Estructura sin muros.

Revisando las gráficas superpuestas, resultado de la simulación de la estructura con muros y sin muros de mampostería del análisis Pushover en dirección X, permite observar la variación de la capacidad de resistencia y deformación de los componentes de la estructura, esto con el fin de determinar las capacidades más allá de los límites elásticos.

Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De los resultados obtenidos y expresados en la Tabla 4.4, se concluye que la presencia de muros de mampostería en sistemas estructurales de concreto reforzado con distribución irregular de piso suave, modifica a la estructura en relación con sus elementos mecánicos y rigideces de entrepisos, ya que éstos influyen en su periodo fundamental antes y después de cargas externas, por lo que se concluye que éstos influyen también en la distorsión de cada uno de los entrepisos y en los desplazamientos de la edificación, que al estarse modificando el comportamiento de la estructura debido a la presencia de muros de carga, seguramente el diseño realizado inicialmente ya no será válido y por tanto puede no estarse cumpliendo con los estados límite de falla y/o de servicio que establece el RCDF, provocando con esto la posible aparición de fallas estructurales.

El análisis de la gráfica 4.11 permite visualizar que la capacidad inicial de las estructuras es diferente; la capacidad del sistema con muros resulta con mayor rigidez y, en consecuencia, el comportamiento global y de los componentes individuales de la estructura, como es su resistencia y deformación, se manifiestan de forma desigual.

Las conclusiones conseguidas en este trabajo incorporan una primer etapa en la exploración sobre el comportamiento de sistemas estructurales de concreto reforzado ante la presencia de muros de mampostería con distribución irregular (piso débil o suave en planta baja) mediante simulación con los softwares empleados, por lo que se recomienda profundizar en este estudio considerando los diversos tipos de mampostería usados en la práctica constructiva actual, así como en edificios de mayor número de niveles, con el propósito de contar con cantidad suficiente de información que permita comparar comportamientos considerando variables acostumbradas como la rigidez, la resistencia, el periodo, factor de comportamiento sísmico, etcétera. Se recomienda considerar la interacción suelo estructura, buscar que las propiedades dinámicas de la estructura sean congruentes con las del suelo en que esté desplantada.

En ocasiones al proyectar una estructura se decide no aprovechar la colaboración de muros de relleno, sin embargo, suele no detallarse adecuadamente la forma en que estos muros deben construirse, desligados de la estructura, para permitir que ésta se deforme sin recargarse en ellos, pues si lo hace les transmitirá buena parte de la fuerza sísmica que debía absorber, debido a que los muros, sobre todo cuando son de mampostería, tienen una rigidez intrínseca muy alta en su plano, aunque su resistencia no sea compatible con esa rigidez. Si los muros de relleno colaboran con la estructura para resistir los efectos sísmicos sin haber sido calculados para absorber la fuerza que les corresponda en función de su rigidez, el comportamiento de la estructura será muy distinto al supuesto en el proyecto estructural, pudiendo presentarse muchos daños. Otra recomendación a tratar es el cambio de cargas con respecto al proyecto, ya que suele ser también causa de daños importantes en las estructuras.

Finalmente se recomienda y para fines de análisis, realizar una revisión de la estructura con muros mampostería en relación a sus condiciones de servicio y estabilidad, como no fueron contemplados los muros como muro de carga, es probable que no cumpla por lo establecido en el diseño propuesto.

Literatura Citada

Alamilla, J. (2001), “Criterios de diseño sísmico basados en confiabilidad de estructuras aporticadas”, Tesis doctoral, Posgrado en Ingeniería, UNAM, México D.F.

Alcubierre, M. (2005), “Introducción a FORTRAN”, Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

Álvarez, M. (1991), “Recomendaciones para la fabricación, puesta en obra y conservación de bloques prefabricados de hormigón.” *Madrid: Monografías del I.E.T.C.C.*

Anderson, J., Bertero V. (1973) “Effects of gravity loads and vertical ground acceleration on the seismic response of multistory frames” *Articulo. V World Conference on Earthquake Engineering*, Roma, Italia. CD-ROM.

ATC 40 (1996) (*Applied Technology Council*) “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings” Volumen 1.

Barrientos, L., Fernández J. y Rivero F. “Análisis geográfico y estadístico de la sismicidad en la costa mexicana del Pacífico”

Bathe, K., Wilson, E. (1972), “Large Eigenvalue Problems in Dynamic Analysis”, *ASCE, Journal of the Engineering Mechanics Division*, *Paginas 1471-1485*

Bazán y Meli (1998), “Diseño Sísmico de Edificios.” *México, España, Venezuela, Colombia.*

Borja, G. (1987), “Damage Statistic of September 19, 1985 Earthquake in Mexico City” *International Conference on the 1985 Mexico Earthquake. - New York: American Society of Civil Engineers(ASCE)*

Bush, V. (1935), “Biographical memoir of Jhon Ripley Freeman.” *National Academy of Sciences of United States of America.*

Cohen, E., Franco, R. (1992) “Evaluación de proyectos sociales”. Ed. Siglo XXI. Página 152.

Corona, G (2003), “ECOgcW versión 2.06, análisis y diseño de edificios de concreto. Guía rápida de uso”, www.gcingenieria.com.

CivilGeeks (2014), “Materiales con que se pueden construir los cimientos”<http://civilgeeks.com/2011/12/03/materiales-con-que-se-pueden-construir-los-cimientos>

Cuellar, R. (2014), “Parámetros de resistencia para estructuras de mampostería” *Facultad de ingeniería, Universidad Veracruzana.*

Del Caño A., Gómez D., y De la Cruz M., (2012), “Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: A probabilistic method.” *Universidad de La Coruña, Escuela Politécnica Superior. España.*

Díaz (2008). Tesis de maestría “Criterios de aceptación para el diseño sísmico por desempeño y confiabilidad de edificios de concreto reforzado, con piso suave en planta baja, desplantados en suelos blandos de la Ciudad de México”, *Instituto de Ingeniería de la UNAM, pp. 2*

Escobar, J., Sosa J., Gómez R. (2001) “Damage detection in framed buildings”, *Canadian Journal of Civil Engineering. No. 28 Páginas 35-47*

Esteva, L. (1987), “Earthquake Engineering Research and Practice in Mexico after the 1985 Earthquake in Mexico City.” *Pacific Conference on Earthquake Engineering. - Nueva Zelanda.*

Esteva, L. (2013), “Respuesta no lineal de edificios con primer piso débil ante acelerogramas de banda angosta”, *Instituto de Ingeniería UNAM.*

Figueroa, J. (1963) “Isosistas de macrosismos mexicanos: México, D.F.” *Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. Reporte 67.*

Garduño V., et al (2009) “Zonificación de los periodos naturales de oscilación superficial en la ciudad de Pátzcuaro, Mich., México, con base en microtemores y estudios de paleosismología” , *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 26, No. 3, México.*

Goel, S. (1977)“Seismic behavior of multistory k-braced frames under combined horizontal and vertical ground motion” *Artículo, VI World Conference on Earthquake Engineering, Nueva Dehli, India.*

Gómez, C., (1993), “CSP probabilístico (PCSP) Un modelo probabilístico de procesos Concurrentes Fernando”, *Tesis doctoral departamento de informática y automática de la universidad complutense de Madrid.*

González, O., (2005), “Aspectos fundamentales del concreto reforzado”, *México, pp. 13*

Guallichico, D. (2009), “Comparación económica entre metodologías de vivienda familiar de tipo tradicional de hormigón armado contra paredes portantes de hormigón, en el estudio de la urbanización Orión” *Escuela Politécnica Nacional.*

Guevara, T. (1998), “Recomendaciones para crear diseños arquitectónicos sismorresistentes a la luz de la nueva Norma Colombiana NSR-98”, *Reunión del Concreto, Cartagena de Indias, Colombia.*

Hanson, R. y Degenkolb, H. (1975), “The Venezuela Earthquake: July 29, 1967” [Publicación periódica] NY: *American Iron and Steel Institute*.

Hernández, R. (2013). “Comportamiento de muros de mampostería de block hueco sujeto a cargas laterales, reforzado con varillas de fibra de vidrio en juntas de mortero.” *W Facultad de Ingeniería de Querétaro UAQ*.

ICA (2008). “Manual de Ingenieros Civiles Asociados” .

Irigoin, F., (2003) “Alias verification for Fortran code optimization.” *Centre de Recherche en Informatique - Ecole des Mines de Paris. Published by Elsevier Science B. V.*

Iskhakov, Y., Ribakov, R. (2013) “A new concept for design of fibered high strength reinforced concrete elements using ultimate limit state method”, *Department of Civil Engineering, Ariel University, Ariel 40700, Israel, pp. 613*

Kikuchi, K., Yoshimura, K. (1984) “Effect of vertical component of ground motions and axial deformation of columns on seismic behavior of R/C building structures”, VIII World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California.

Latorre, X. (2007) “Aplicación del método de elementos finitos y programas computacionales en el diseño estructural de una galpón para el taller de la Empresa PROCOPET S.A.” *Tesis, Escuela Politecnica Nacional*.

Luaces, F. (1995), “Daños causados por la sobrerresistencia en estructuras a base de marcos de concreto reforzado”, *Artículo científico, Revista Digital Universitaria UNAM, Vol. 1, No.2, noviembre*.

López, O. y Chopra, K. (1978) “Studies of structural response to earthquakes ground motion”, *Reporte No. UCB/EERC-78/07, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley*.

López, S. (2009) “Diseño por desplazamientos de estructuras en concreto”. *Tesis Facultad de Ingeniería, UNAM Pp. 56*

López, S., Ayala, A. (2013) “Método de diseño sísmico basado en desplazamientos para marcos de concreto reforzado”, *Artículo científico, Revista de Ingeniería Sísmica No. 88 91-111 (2013)*

Luna, J. y Tena A. (1998) “Evaluación de las disposiciones del RCDF para el diseño sísmico de edificios con marcos de concreto reforzado”, *Reporte FJBS/CIS-98/06, Centro de Investigación Sísmica, AC, Fundación Javier Barros Sierra, diciembre*.

CFE (2008) “Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad”, *Diseño Sísmico, pag. 165*

Marinilli, A., Castilla, E. (2007) “Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones” *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*

Meli, R. (1979). “Comportamiento sísmico de muros de mampostería” (Segunda edición ed.). *Instituto de Ingeniería UNAM.*

Meza, A. (2008) “Modelación y simulación del diseño de trabes y columnas de concreto reforzado para apoyo a la docencia” *Tesis, Instituto Politecnico Nacional.*

Meza, J. (2007), “Método para la evaluación de desempeño sísmico de edificios históricos de mampostería.” *Facultad de Ingeniería UNAM.*

Mirza, S. y MacGregor, J. (1979), “Variability of mechanical properties of reinforced bars”, *ASCE Journal of the Structural Division 105(ST5), pp. 921-937.*

Mommessin, M., Perrotin P., et. al, (2014), “Assessing local-scale damage in reinforced concrete frame structures using dynamic measurements”, *Francia, pp. 23*

Navarro, D. (2010), “Criterios de diseño sísmico de edificios de concreto reforzado con planta baja débil ubicados en la Ciudad de México” *Escuela superior de ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional.*

NTC (2004), Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, DF.

NMX-C-407ONNCCE (DOF, 2011), Industria de la construcción-varilla corrugada de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto-especificaciones de desempeño y métodos de ensayo.

NMX-B-294 (DOF, 2013). Industria Siderúrgica-Varillas corrugadas de acero, torcidas en frío, procedente de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de noviembre de 1983.

NMX-B-457 (DOF, 2013). Industria siderúrgica-varilla corrugada de acero de baja aleación para refuerzo de concreto-especificaciones y métodos de prueba.

NMX-B-290 (CANACERO, 2008), Industria Siderúrgica – Malla electrosoldada de acero liso o corrugado, para refuerzo de concreto – especificaciones y métodos de prueba, México.

Orozco, V., Reinoso, E. (2007) “Revisión a 50 años de los daños ocasionados en la Ciudad de México por el sismo del 28 de julio de 1957 con ayuda de investigaciones recientes y sistemas de información geográfica” *Artículo, Revista de Ingeniería sísmica, No. 76.*

Papaleontiou, C., Roesset T. (1993) “Effect of vertical accelerations on seismic response of frames”. *Structural Dynamics - Eurodyn, Balkema, Rotterdam. Páginas 19-26.*

Perez, et al (2010) “Instralab Mexican earthquakes of 27 April 2009 (Mw5.8) to 22 May 2009 (Mw5.6): a source and ground motion study” *UNAM Seismology group*. Geofís. Intl, Vol.49 No.3, México.

Pérez, J. (1999), “Calculo matricial de estructuras”. *México*, pp. 62.

Pérez, R. (2010), Tesis doctoral “Confiabilidad y optimización para diseño sísmico de edificios considerando la contribución de muros de mampostería”, *Instituto de Ingeniería de la UNAM*, pp. 13

Perea, T. y Esteva L. (2003) “Efecto de la componente sísmica vertical en el análisis no lineal de vigas y marcos de concreto reforzado”, *Artículo*, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Guanajuato, Artículo VII-03.

Perea, T., Esteva L. (2005) “Componente vertical de registros sísmicos en México y en su efecto en la respuesta sísmica no lineal en edificios”, *Artículo*, Revista de Ingeniería Sísmica, Num. 72, Páginas 45- 79.

Ramírez, M. (2011) “Evidencias ambientales de cambios de nivel de la costa del Pacífico de México: terremotos y tsunamis” Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Revista de Geografía del Norte de Grande. No 49. 99-124

Rangel, J., Esteva, L. (2013), Manual del usuario SIB (*simulation of buildings*)

Reglamento de Construcciones para el municipio de Acapulco de Juarez, Guerrero (1999) Art. 208-209

Reyes-Salazar, A., Haldra, A. (2000) “Consideration of vertical acceleration and flexibility of connections on seismic response of steel frames” *Artículo*, XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, Nueva Zelanda, Artículo No. 1171.

San Bartolomé, A., Lazo, E., & Muñoz, A. (2007), “Sensibilidad en la respuesta sísmica de un edificio de albañilería armada por efecto del modelaje estructural.” *Pontificia Universidad Católica del Perú*.

Sánchez, C. (2004), “Metodología de diseño para edificaciones en mampostería estructural basada en la Norma Colombiana de diseño y construcción sismo-resistente, NSR-98” *Facultad de Ingenierías Fisico-matemáticas. Universidad Industrial de Santander*.

Sheu G-Y., (2011), “Prediction of probabilistic settlements via spectral stochastic meshless local Petrov–Galerkin method.” *Comput Geotech*

Shultz,R. (1987) “Estudio sobre las sismicidad en la región centro-americana” *Reporte*, Servicio Geologico Nacional de El Salvador. Página 135-137.

Singh, S., Ordaz M. (1994) “Seismic energy release in Mexican subduction zone earthquakes.” *Bull. Seism. Soc. No. 84*, 1533–1550.

Soltanil A., Harries K. (et.al, 2013) “Crack Opening Behavior of Concrete Reinforced with High Strength Reinforcing Steel”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, pp 253.

Sovero, G. (1986) “Un criterio de reducción por ductilidad del componente sísmico vertical”, *Tesis Doctoral*, DEPI, UNAM, México.

Tani, S., Soda, S. (1980), “Dynamics of reinforced concrete frames subjected to horizontal and vertical ground motions”, *Artículo*, VII World Conference on Earthquake Engineering, Estambul, Turquía.

Taveras, M. (2008), “Revisión de las recomendaciones para modelar y analizar estructuras de mampostería confinada ante carga lateral”, *Instituto de Ingeniería UNAM*.

Tena, A., del Valle, E. y Filloy, E. (1996) “Evaluación de las recomendaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal sobre el diseño por sismo de estructuras a base de marcos de concreto reforzado”, *Reporte FJBS/CIS-96/06*, Centro de Investigación Sísmica, AC, Fundación Javier Barros Sierra, diciembre.

Tena, A., Luna J., Filloy, E. y del Valle, E. (1997) “Evaluación de las recomendaciones del RCDF para el diseño por sismo de estructuras con marcos de concreto reforzado”, *Reporte FJBS/CIS-97/04*, Centro de Investigación Sísmica, AC, Fundación Javier Barros Sierra, octubre.

Torres, M. (2012) “Proyecto de ingeniería y análisis de factibilidad económica de un desarrollo inmobiliario en el estado de Guerrero” *Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. 24-32

Wilson, E. (1998) “Tree dimensional static and dynamic analysis of structures”, *Computers and Structures, Inc.*

Yamanouchi, T y H Hasegawa (1996) “Seismic performance of model structures designed by old and new Japanese seismic codes, against the 1995 Kobe earthquake ground motions”, *Artículo*, XI World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, México.

Zerbino, R. (2003) “Criterios y alternativas para la evaluación de la tenacidad en hormigones con fibras de acero”. *Artículo científico*. Revista de obras públicas, No. 3435, pag. 24

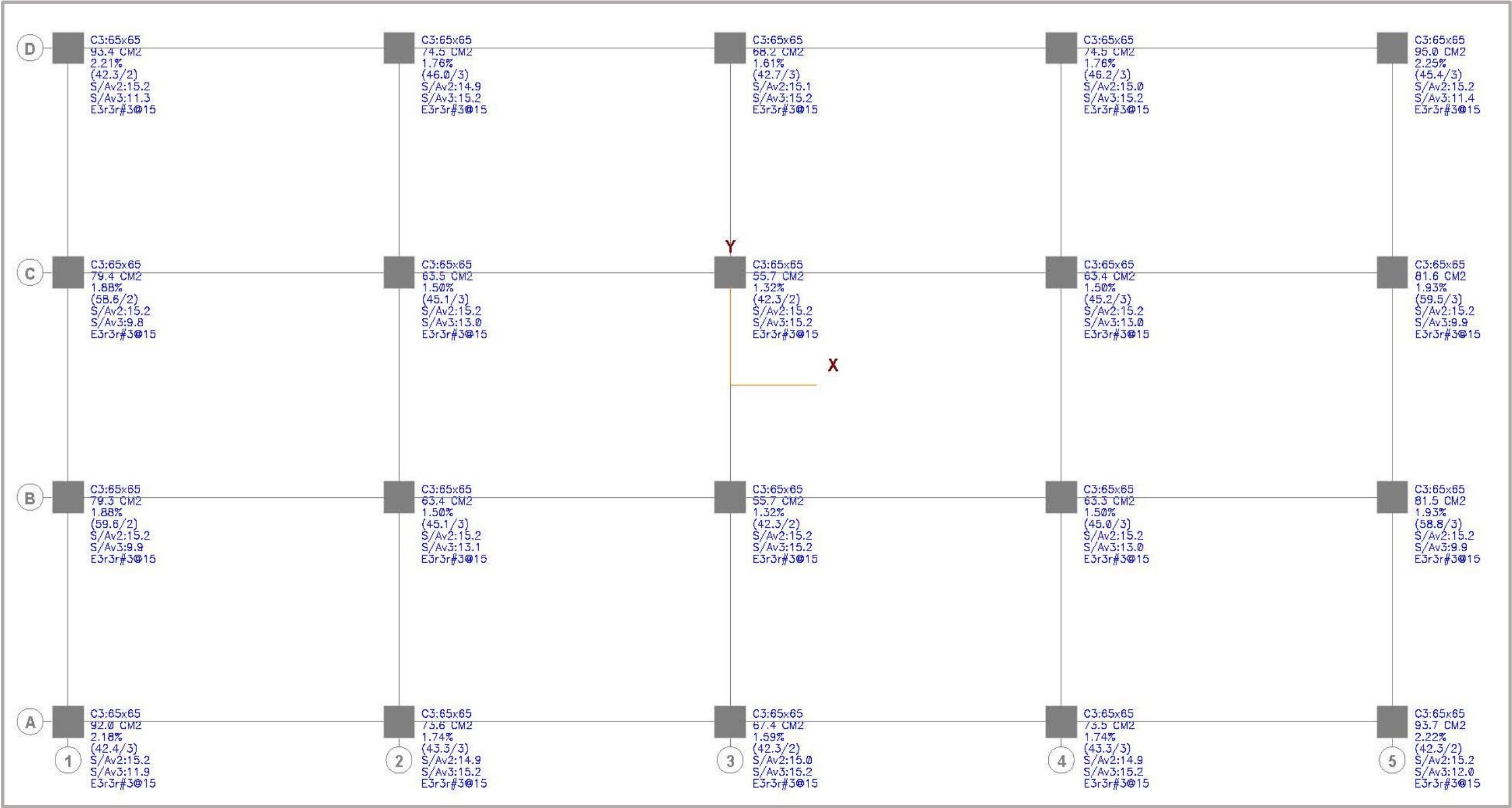
ANEXOS

- Anexo 1** Esquematización de columnas conforme al software ECOgcW
- Anexo 2** Diagramas trabe-viga
- Anexo 3** Recopilación de datos en hoja de cálculo
- Anexo 4** Propuesta de acero longitudinal y bastones para cada trabe
- Anexo 5** Representación gráfica del armado longitudinal de las distintas secciones existentes de los elementos trabes
- Anexo 6** Características de cada elemento trabe
- Anexo 7** Generaciones de la configuración estructural
- Anexo 8** Secciones (Trabes y Columnas)

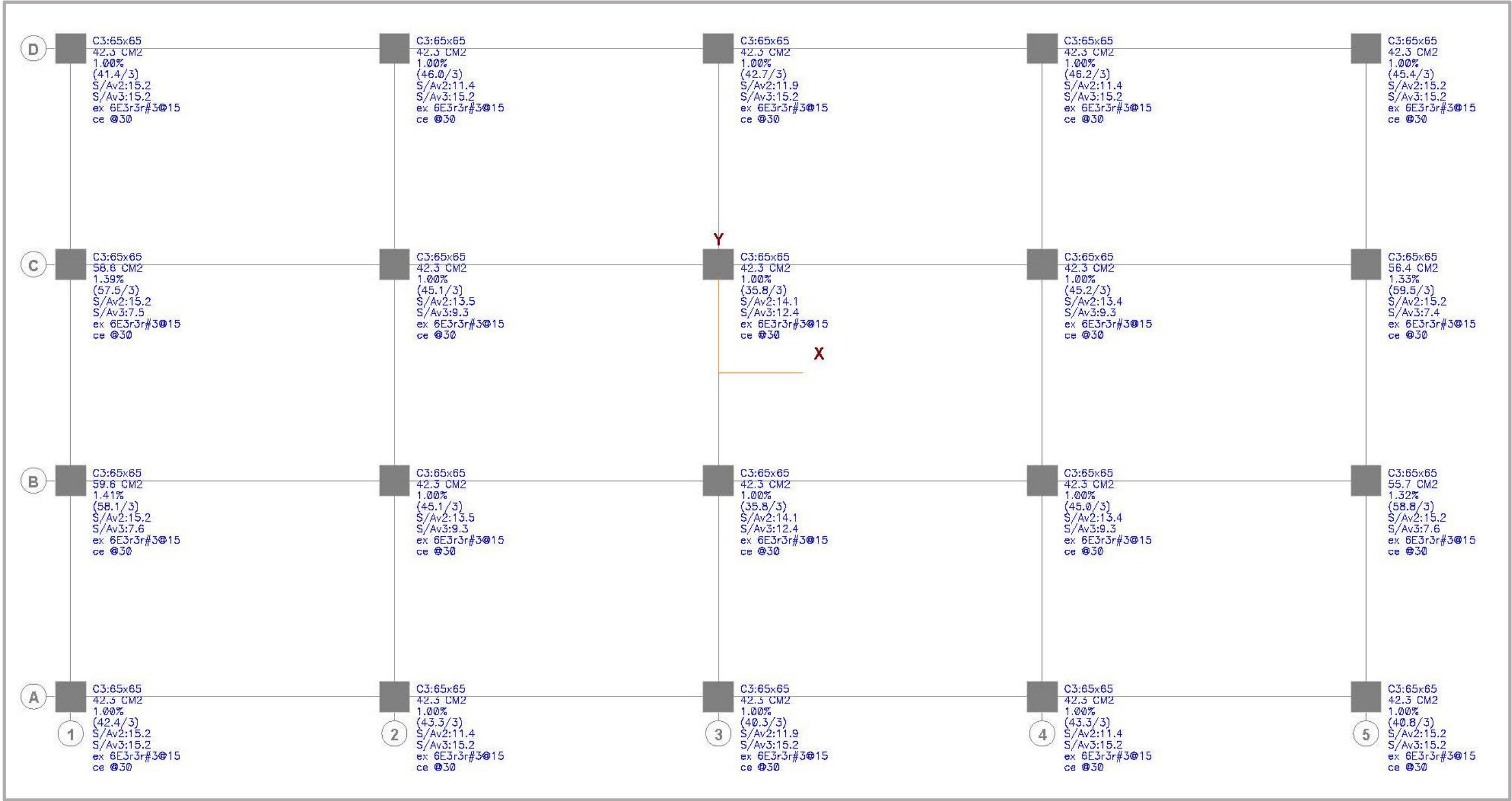
Anexo 1 ECOgcW.

Esquematización de columnas conforma al software ECOgcW.

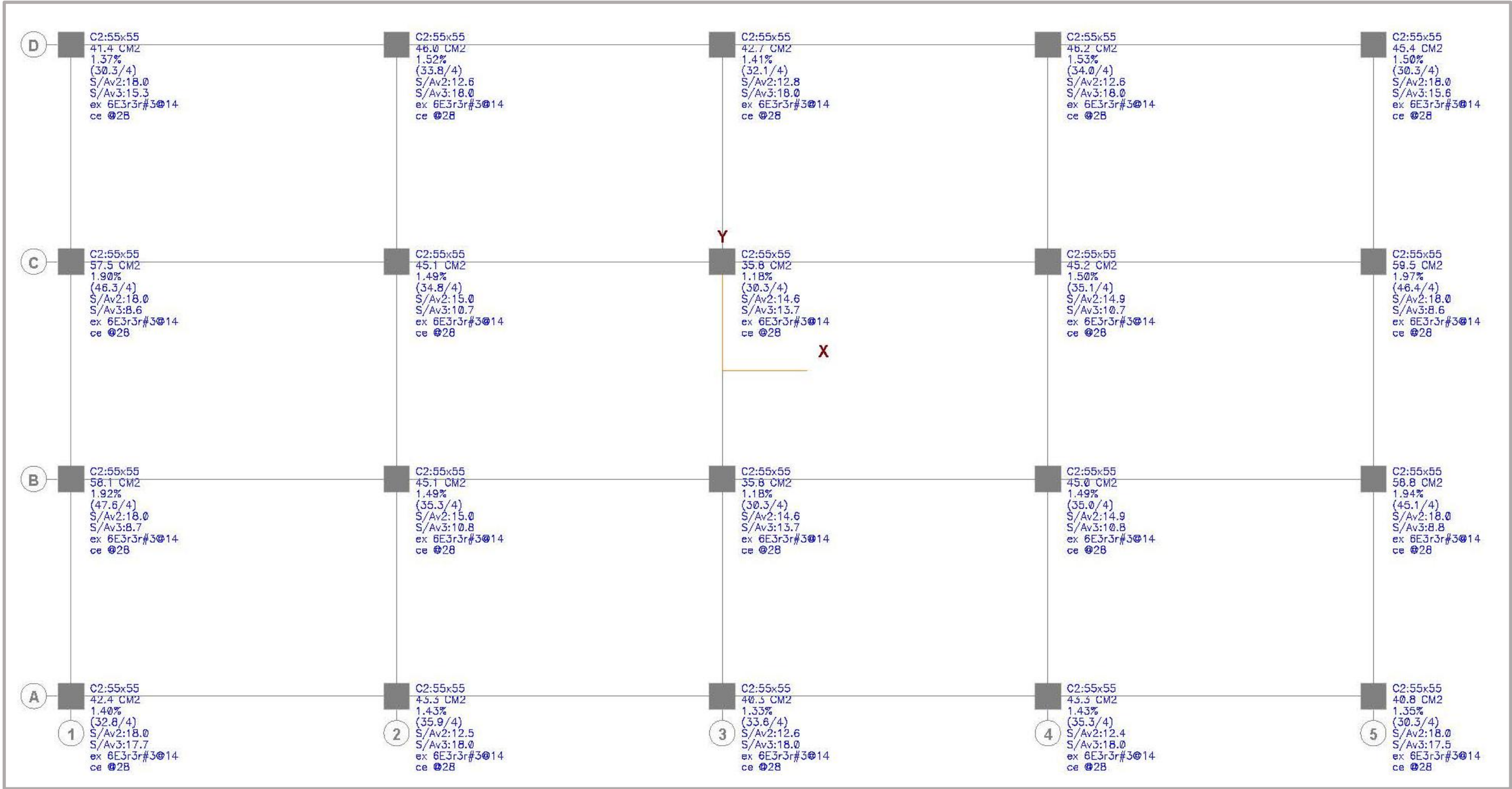
NIVEL 1



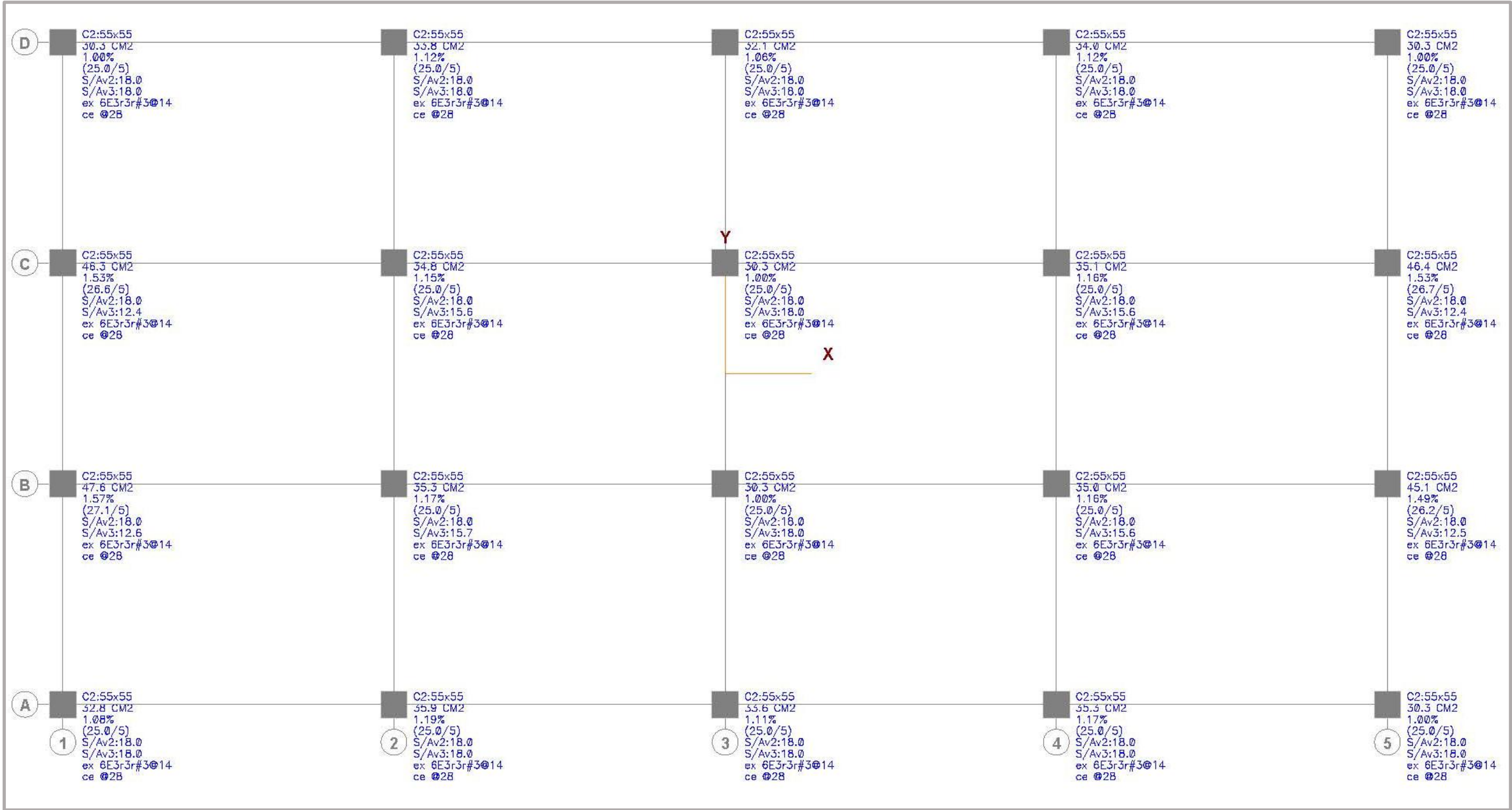
NIVEL 2



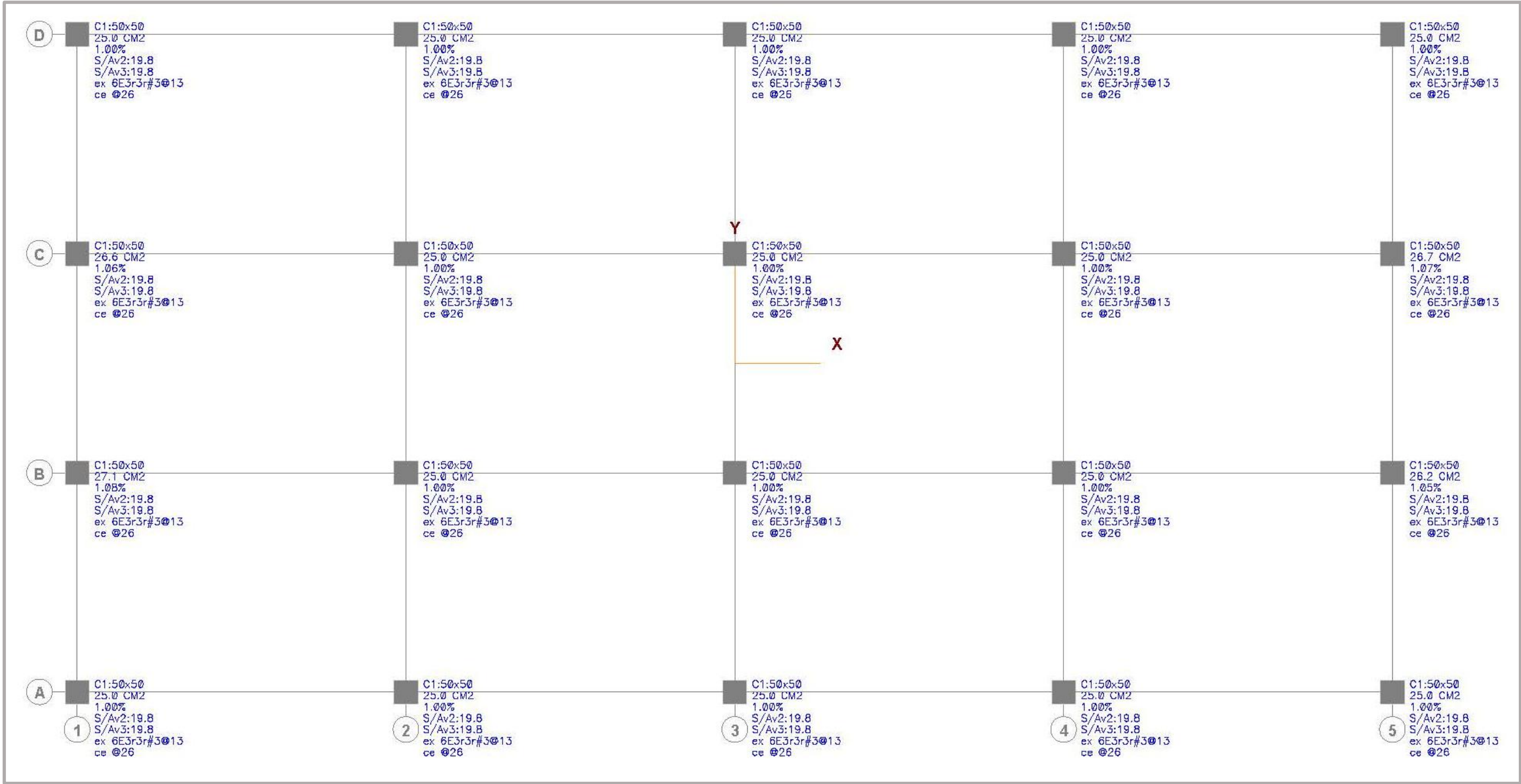
NIVEL 3



NIVEL 4

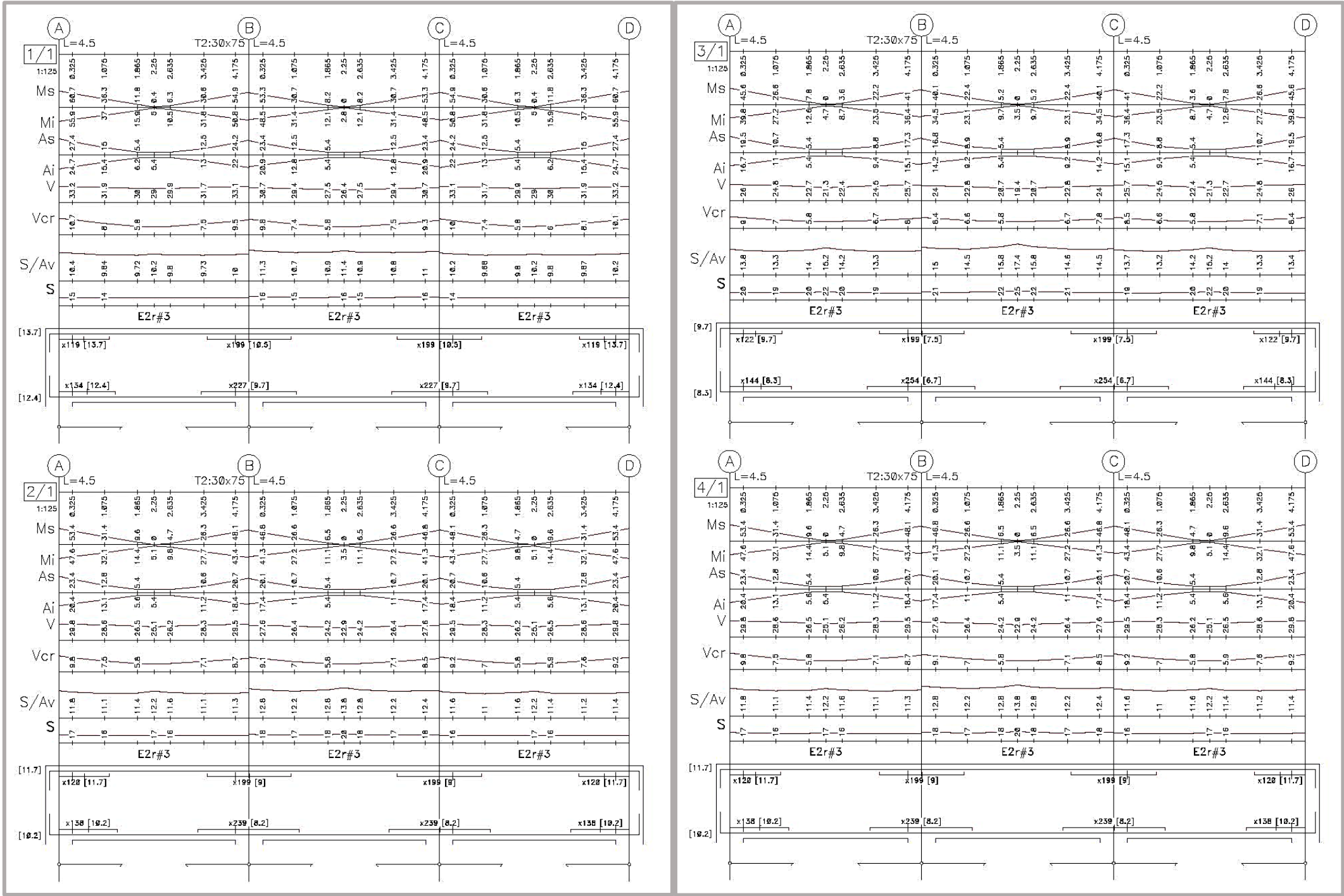


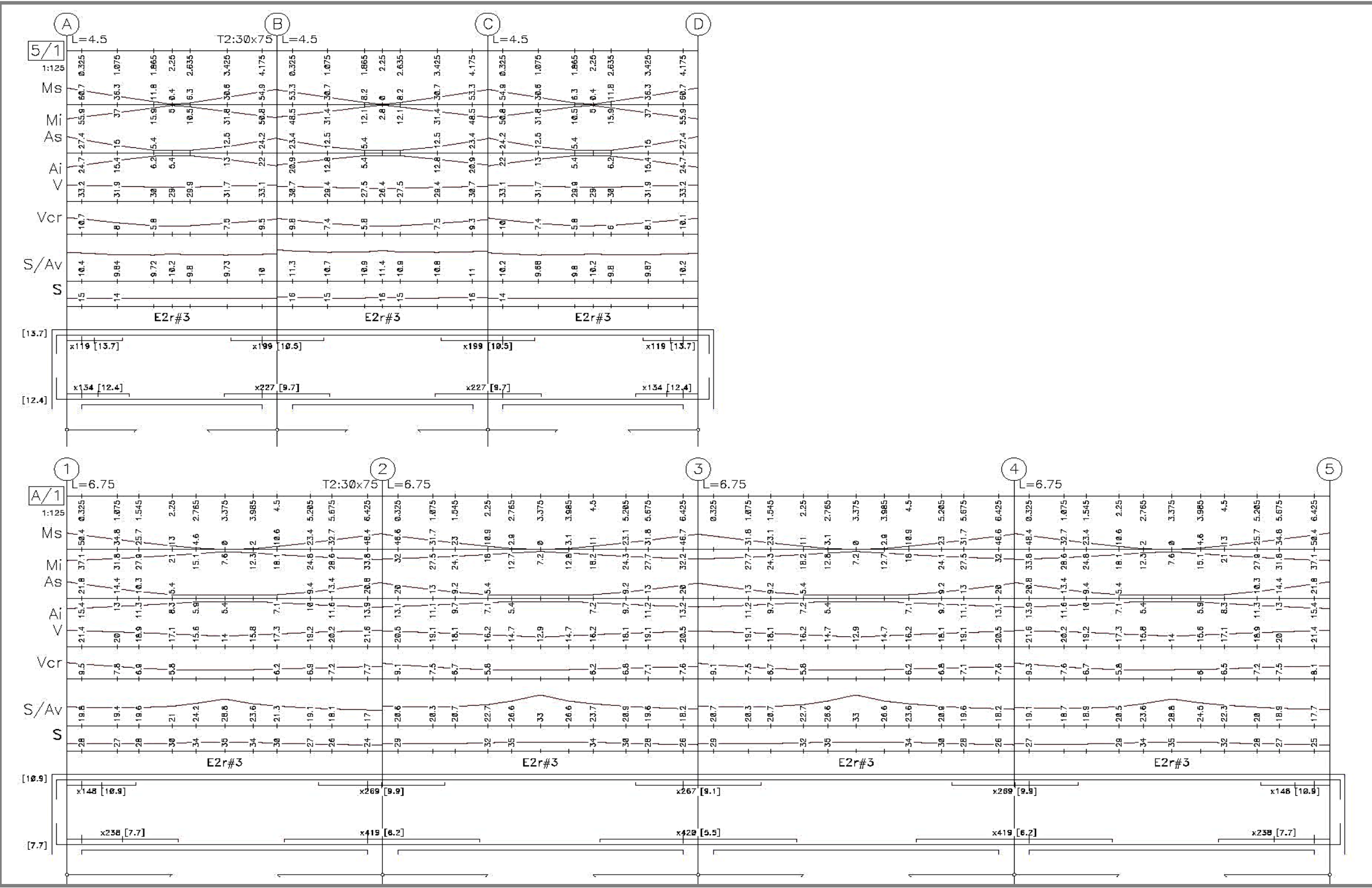
NIVEL 5

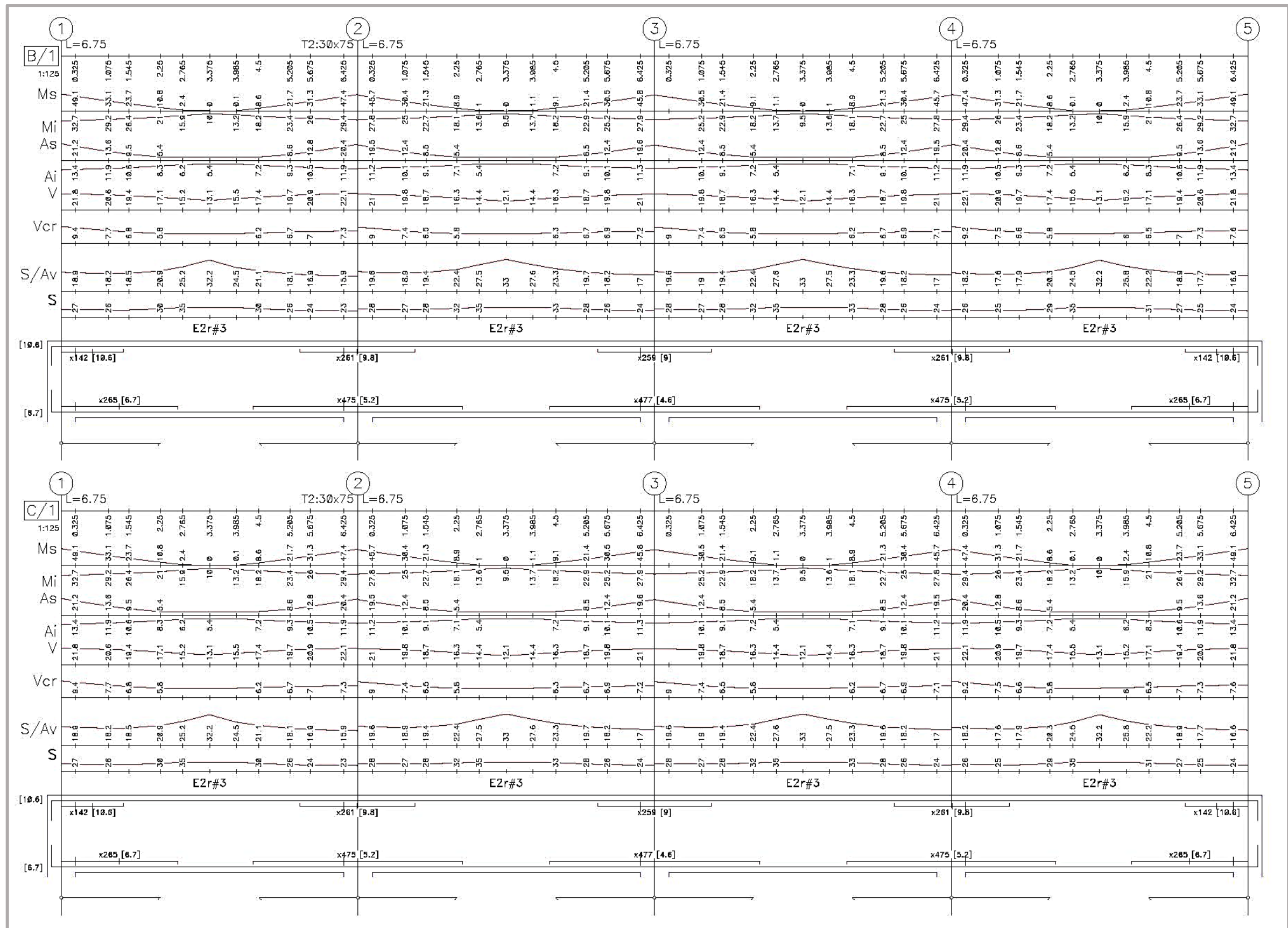


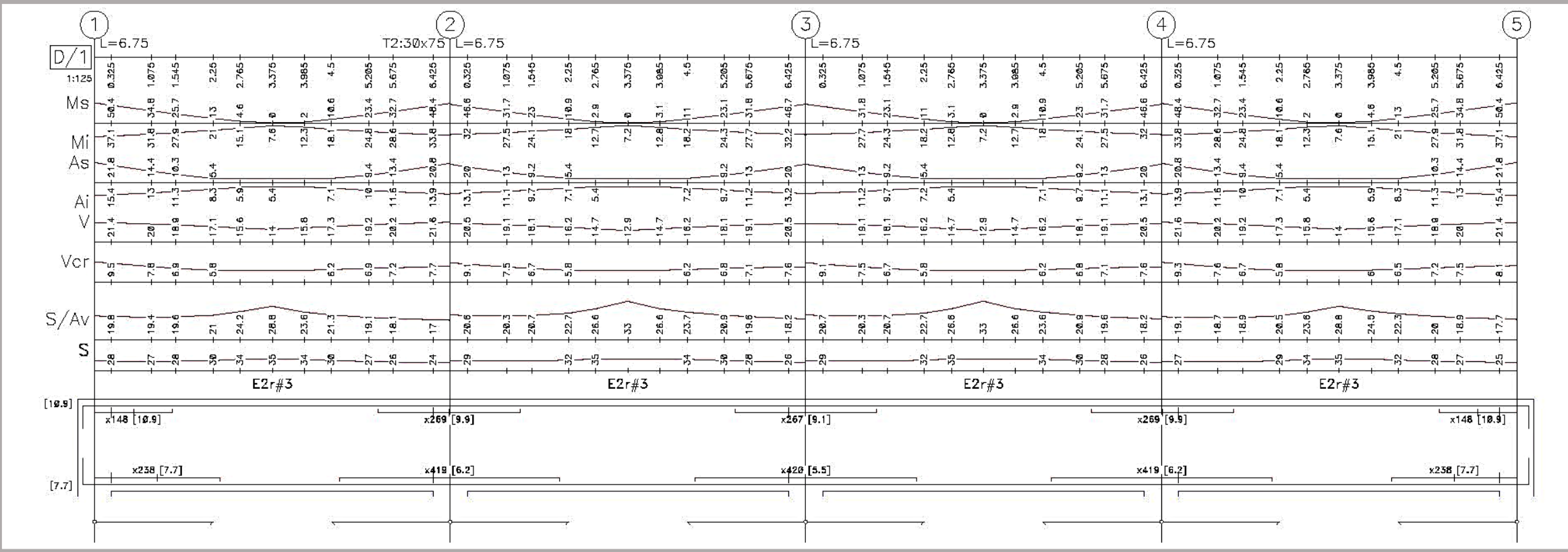
Anexo 2 Diagramas trabe-viga.

NIVEL 1

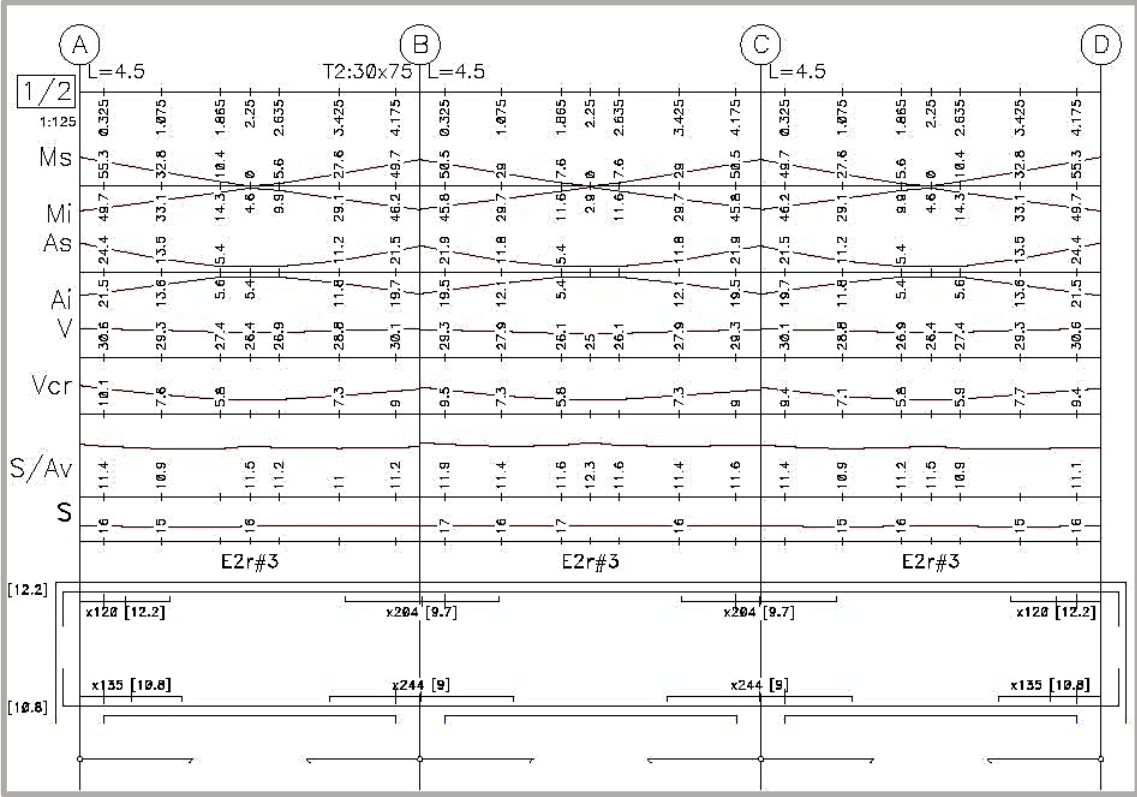


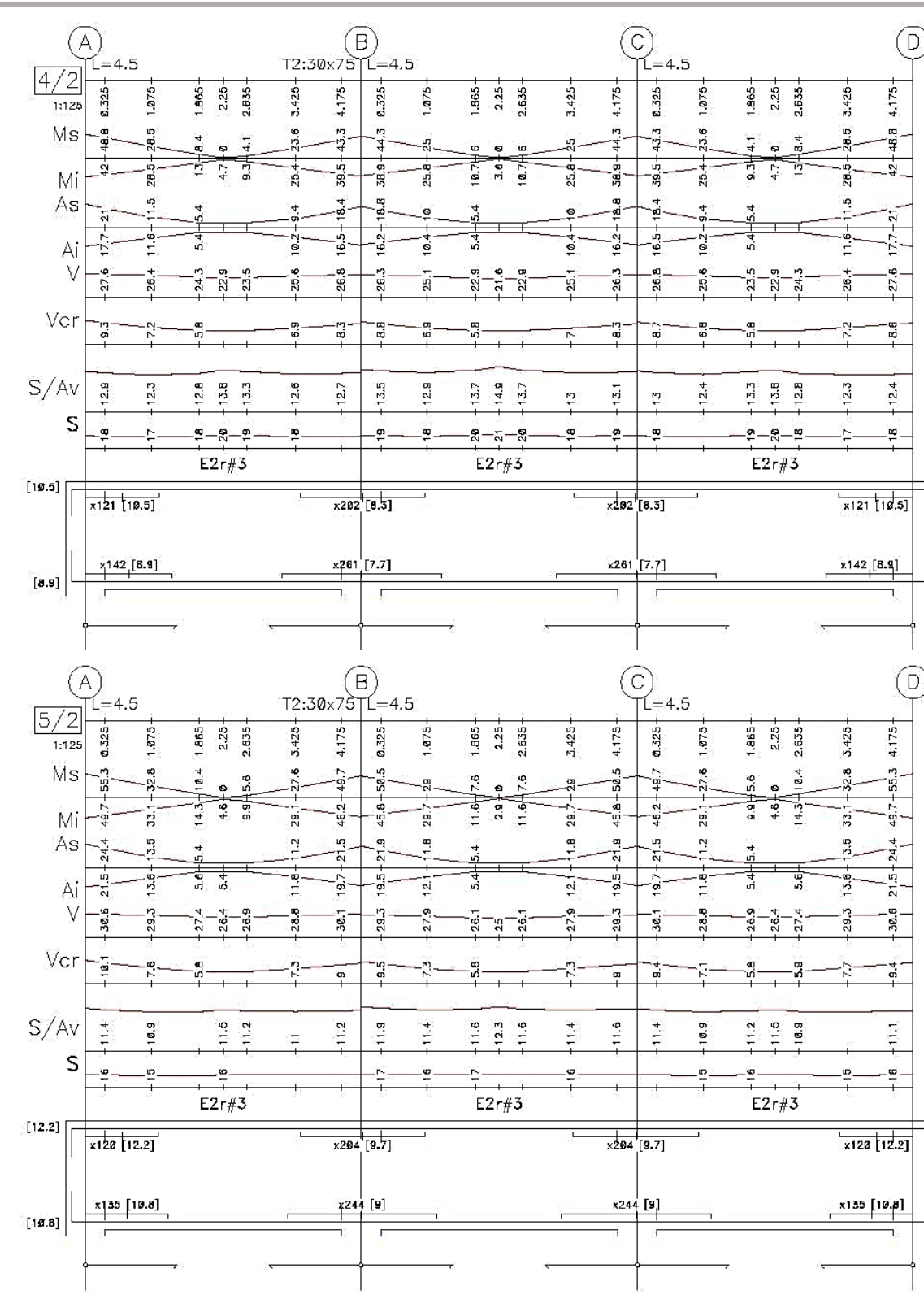
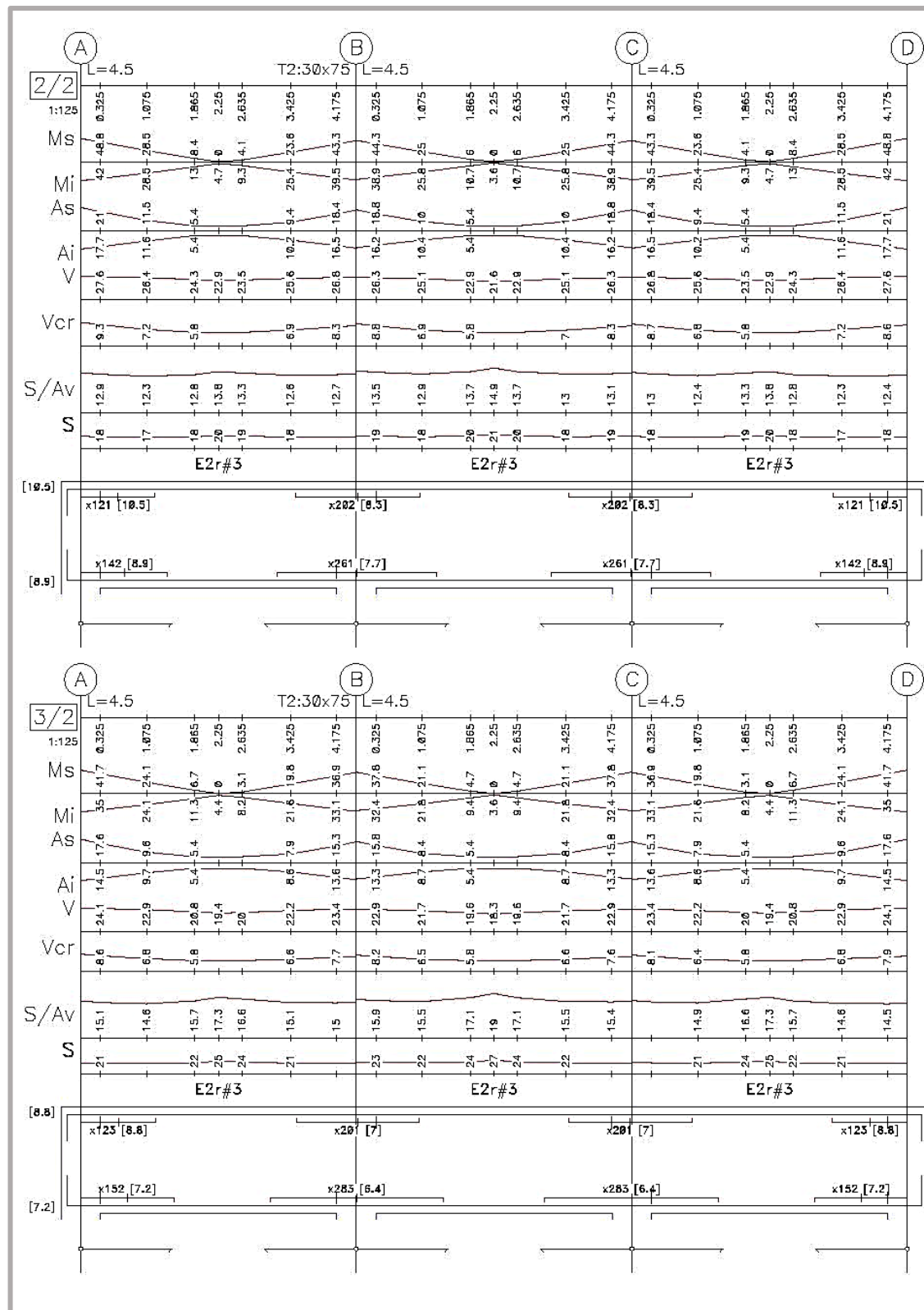


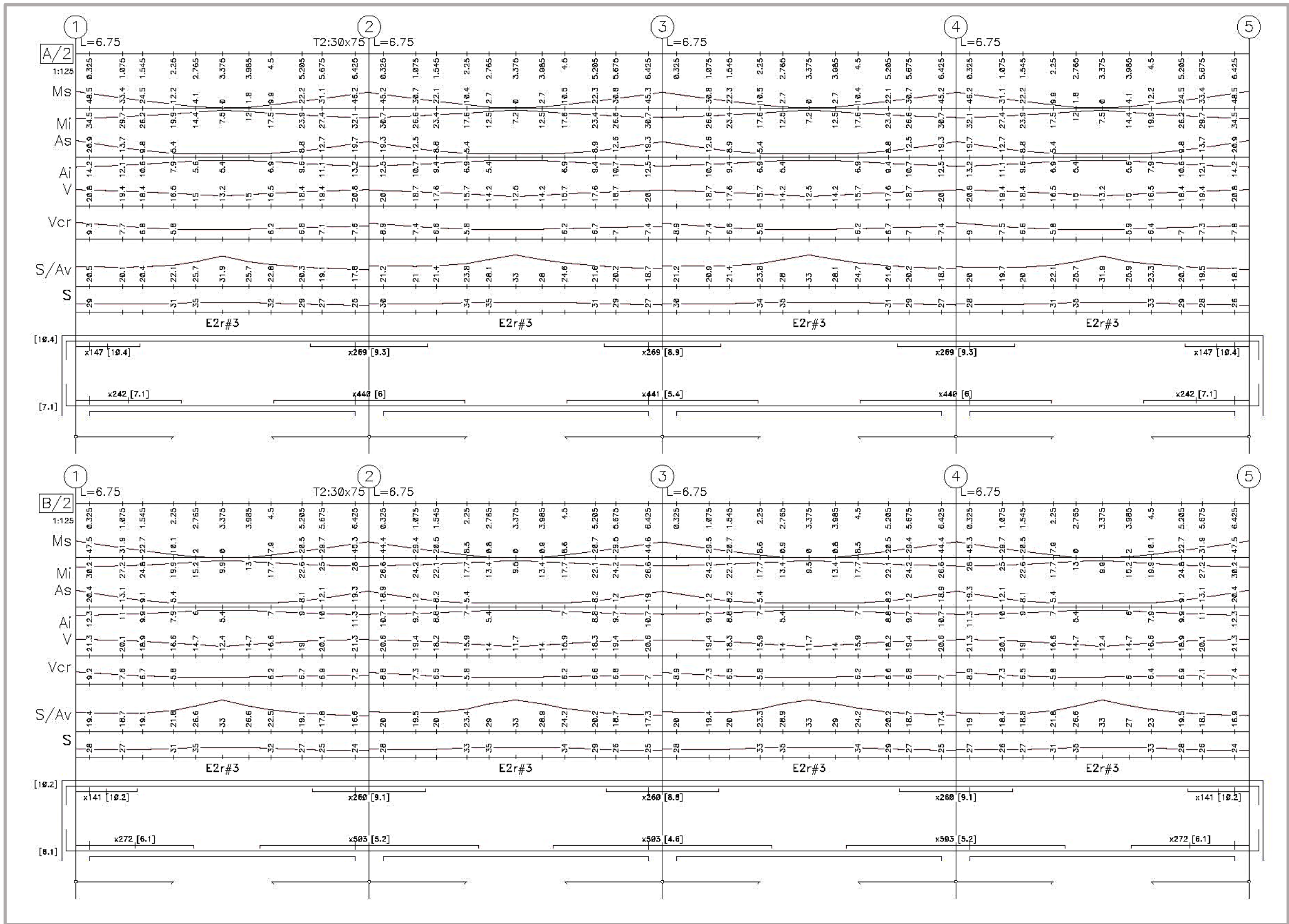


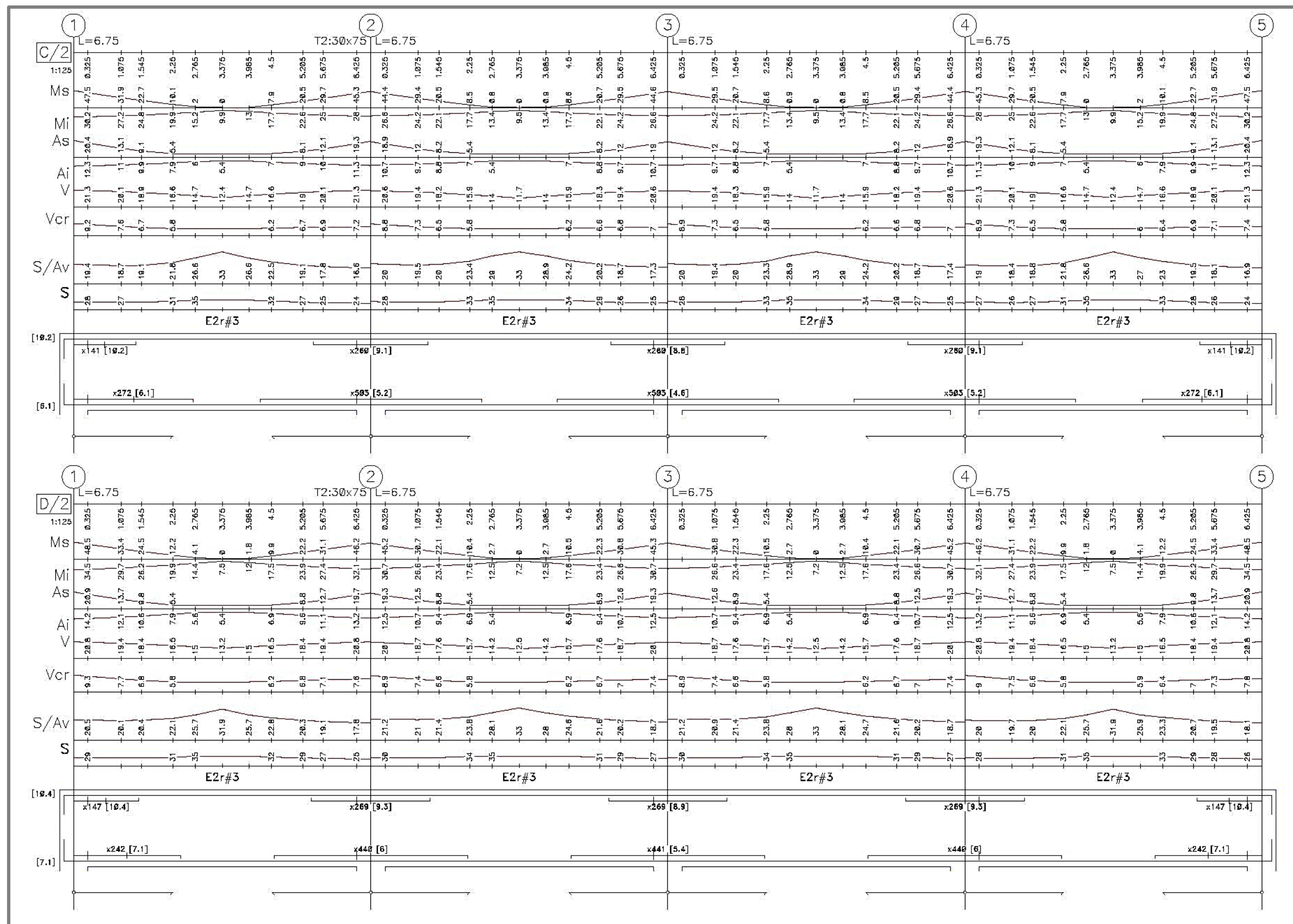


NIVEL 2

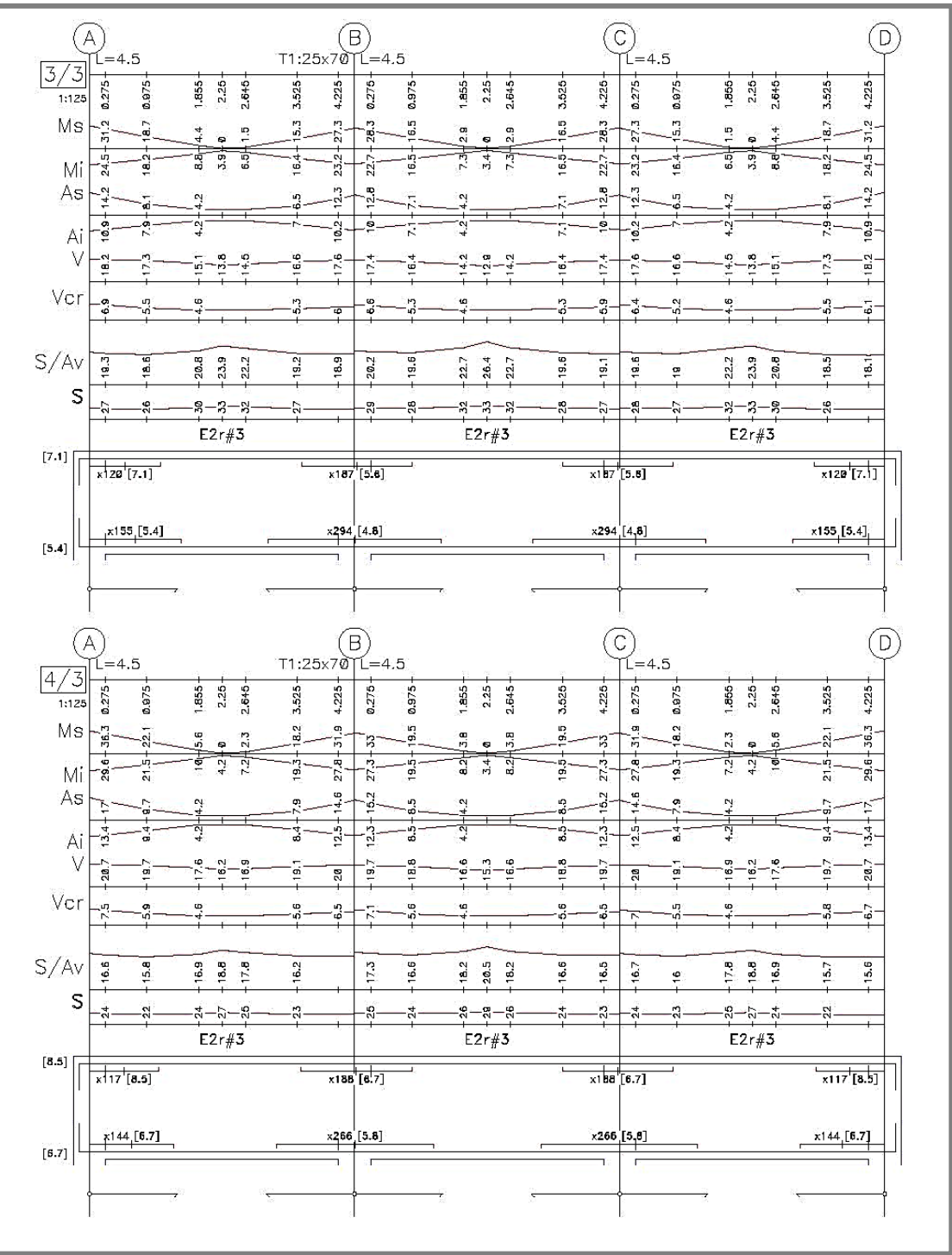
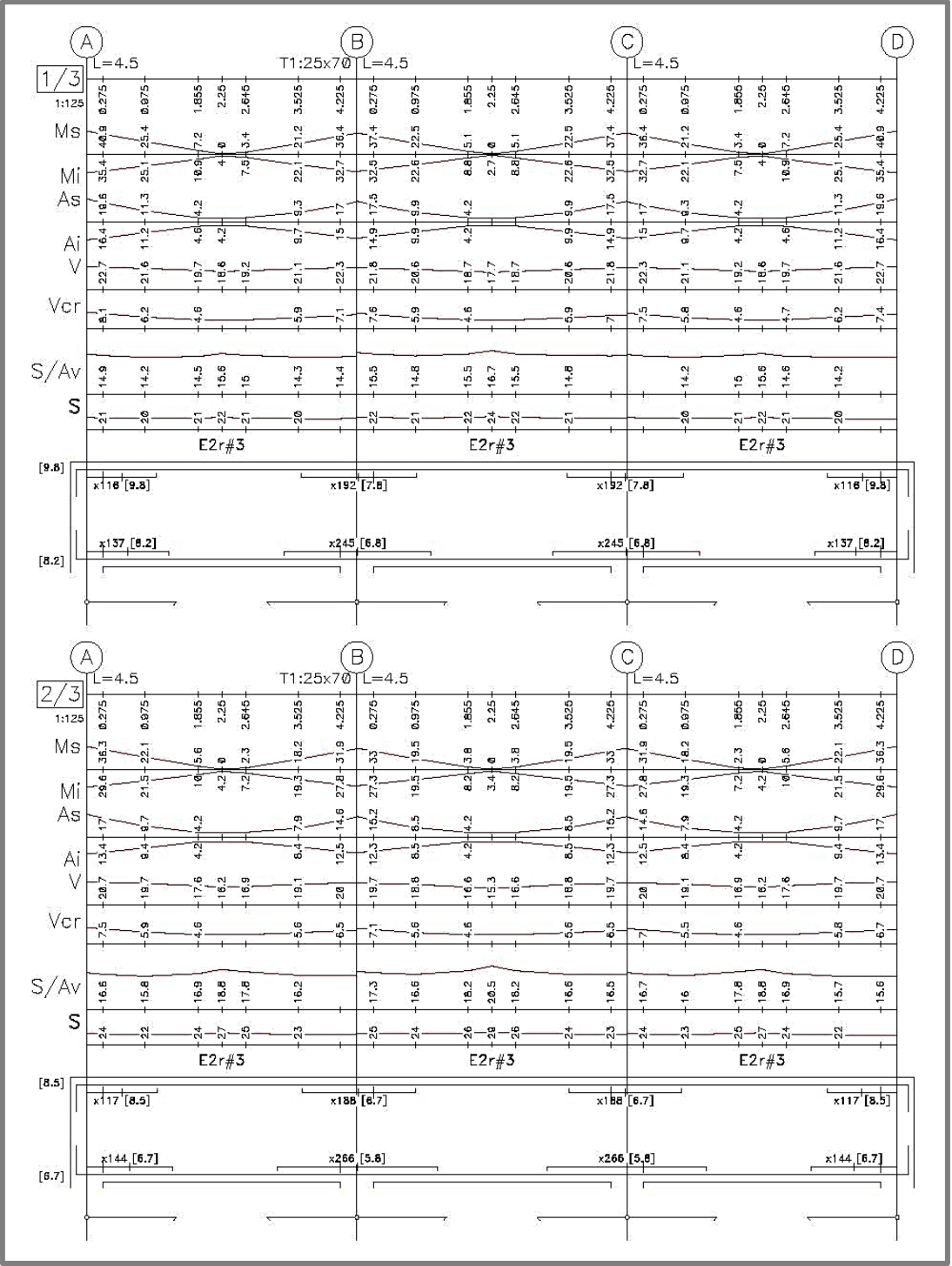


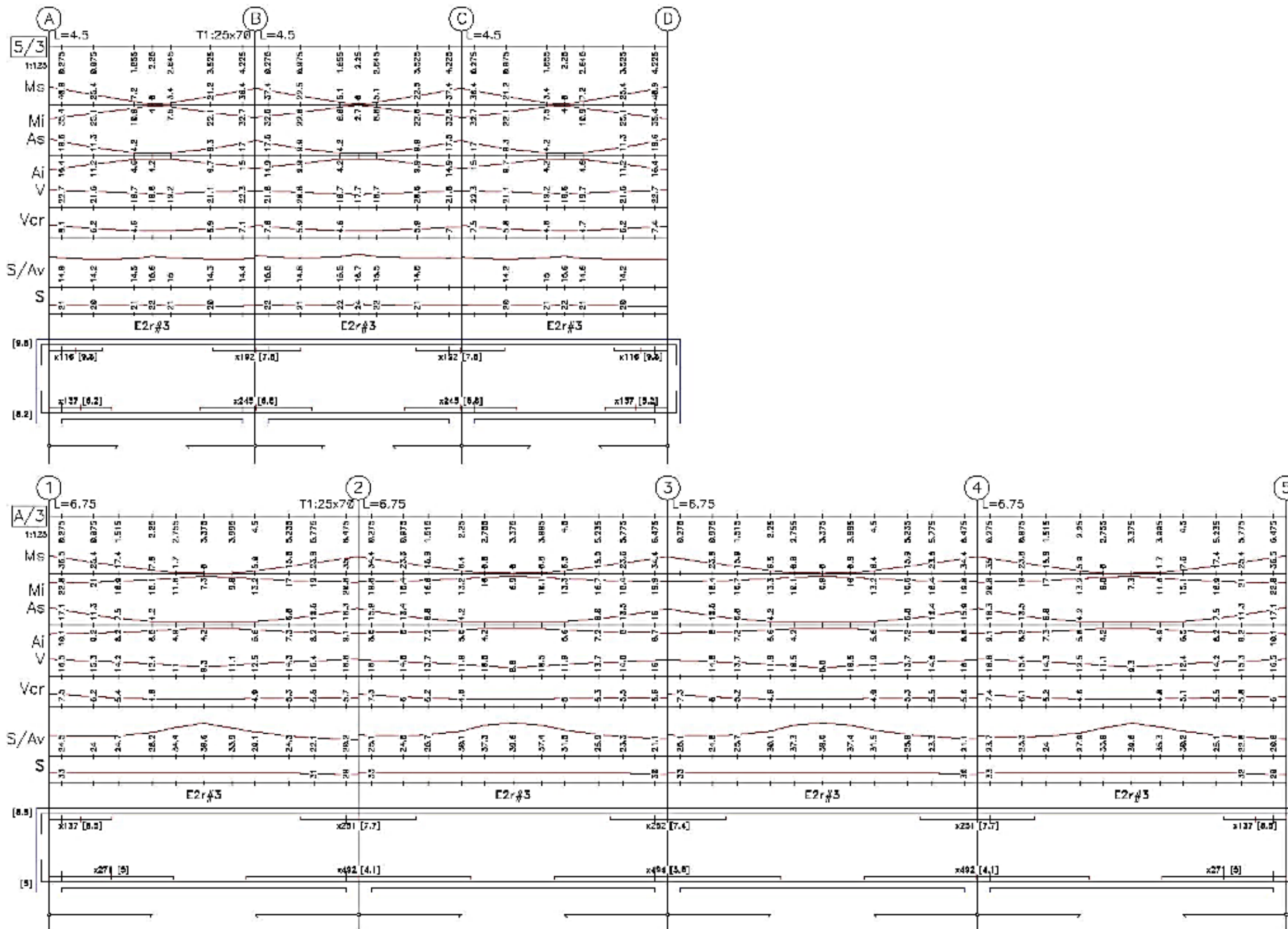


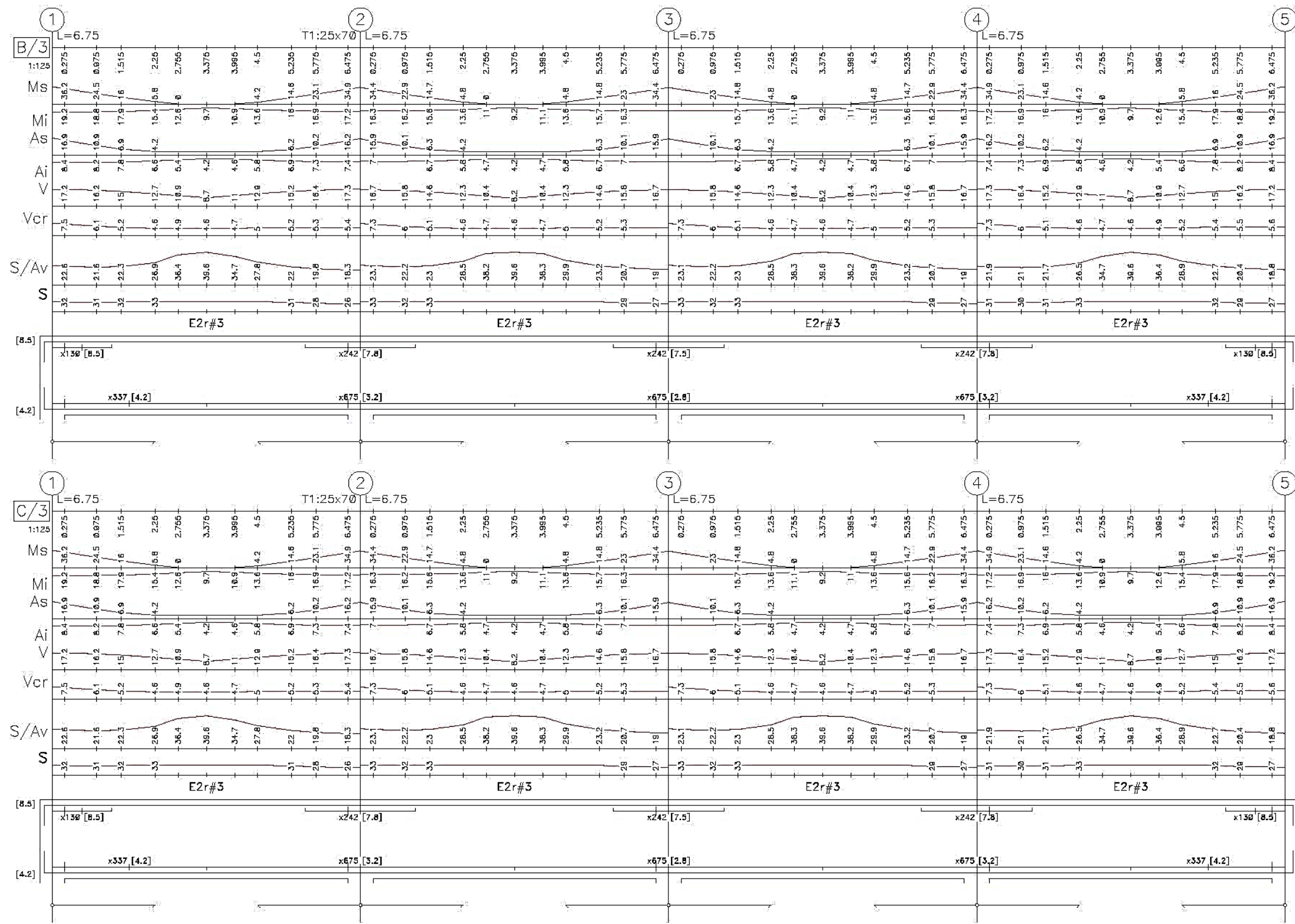


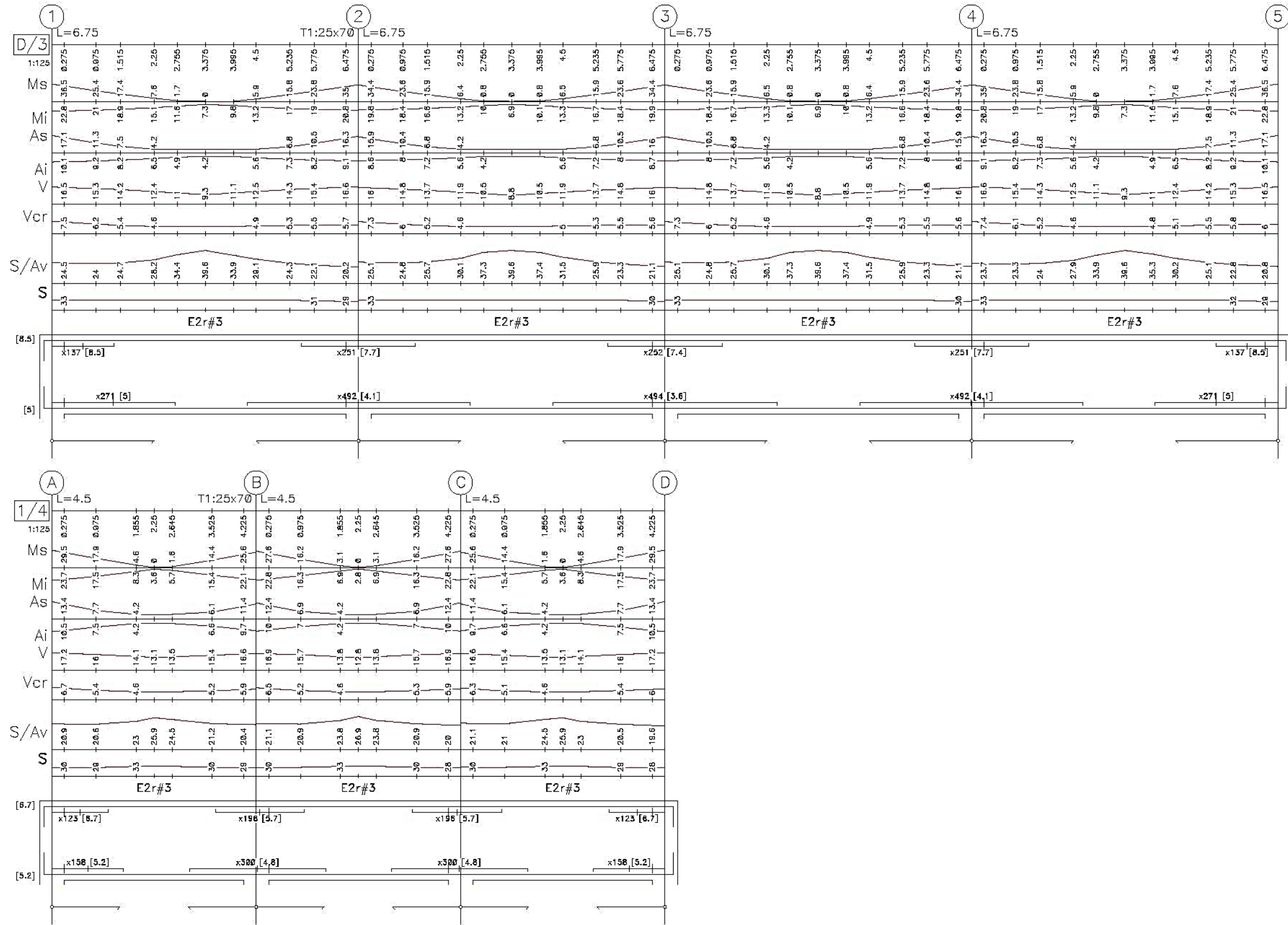


NIVEL 3

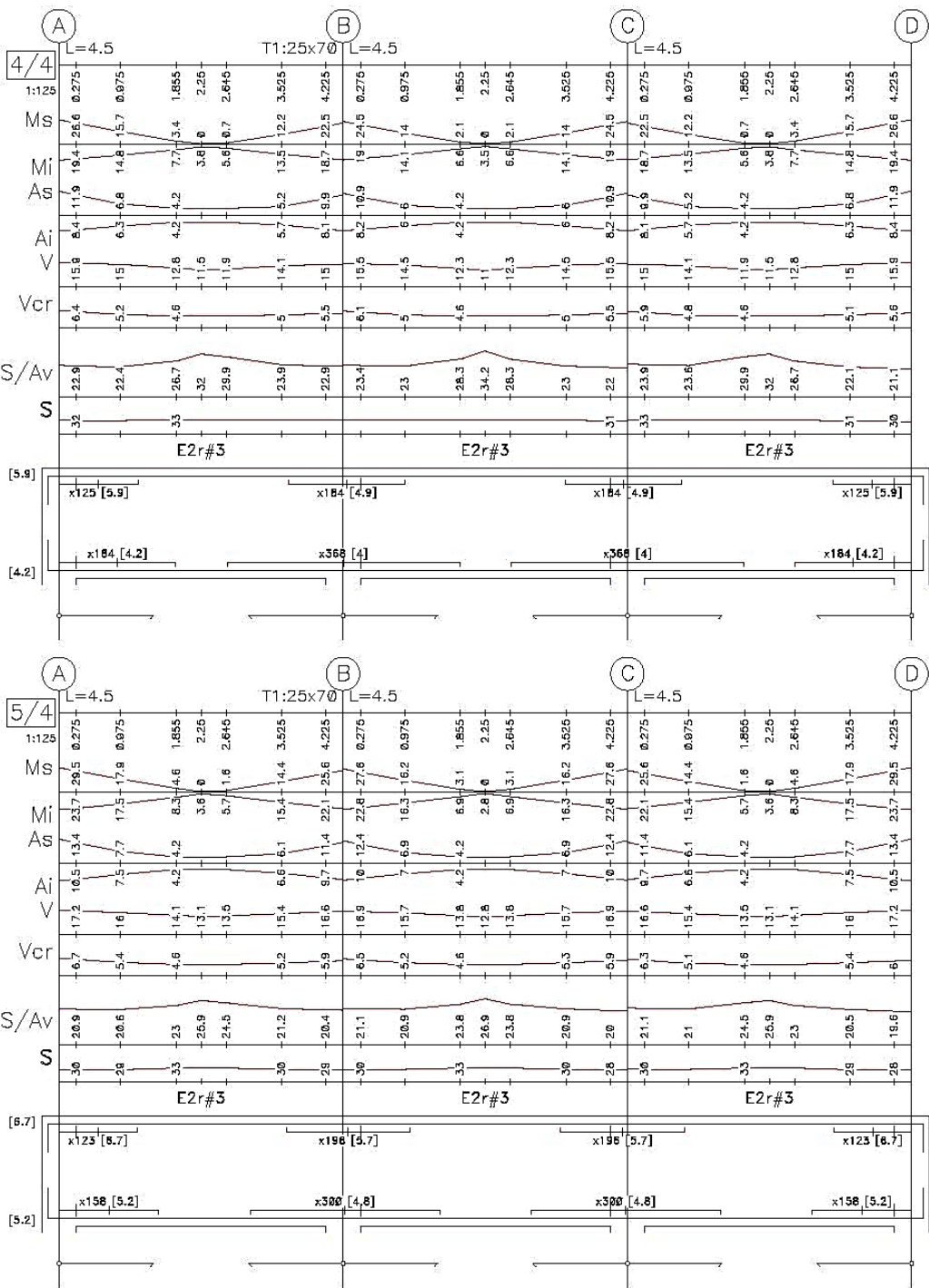




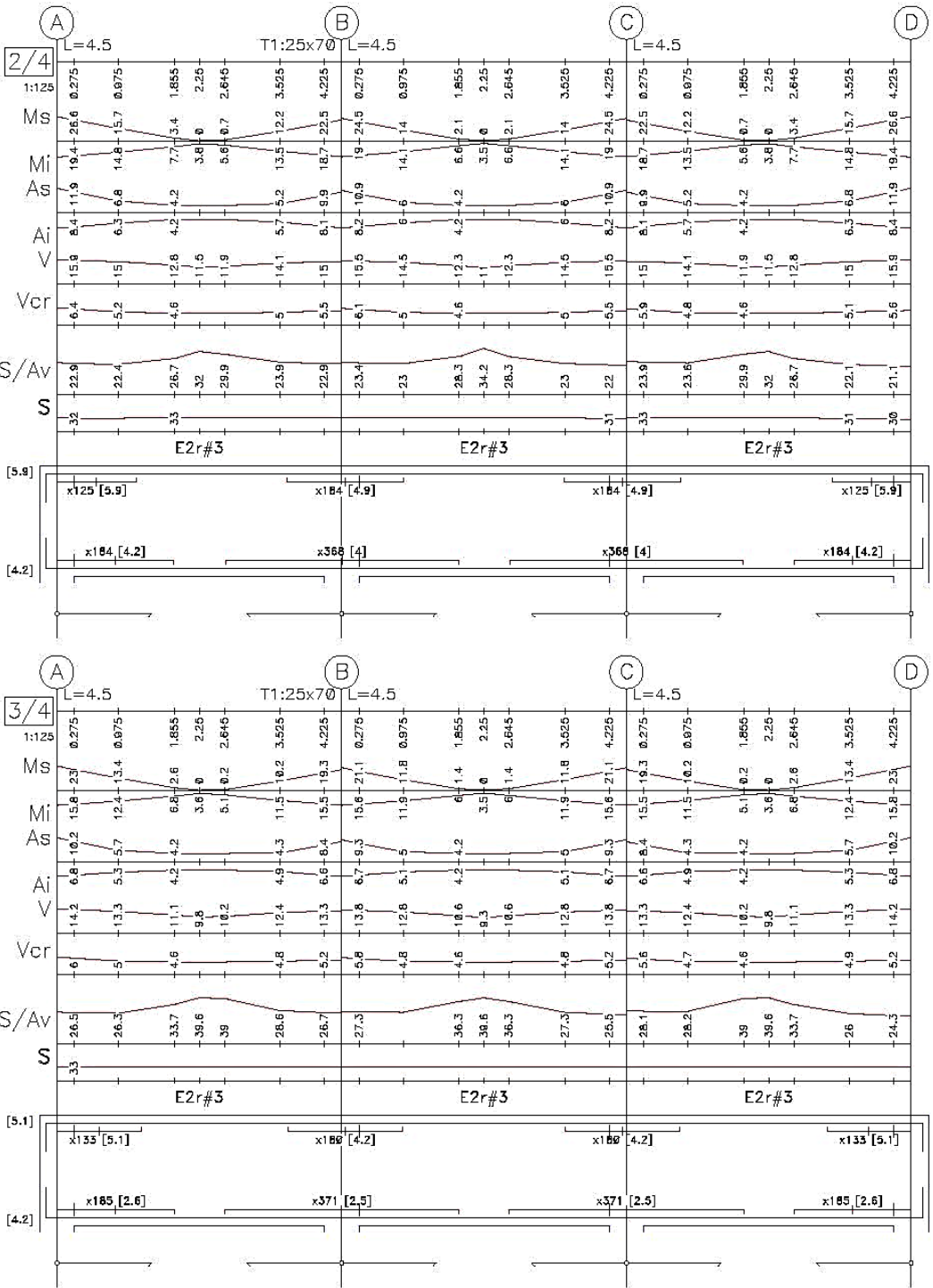


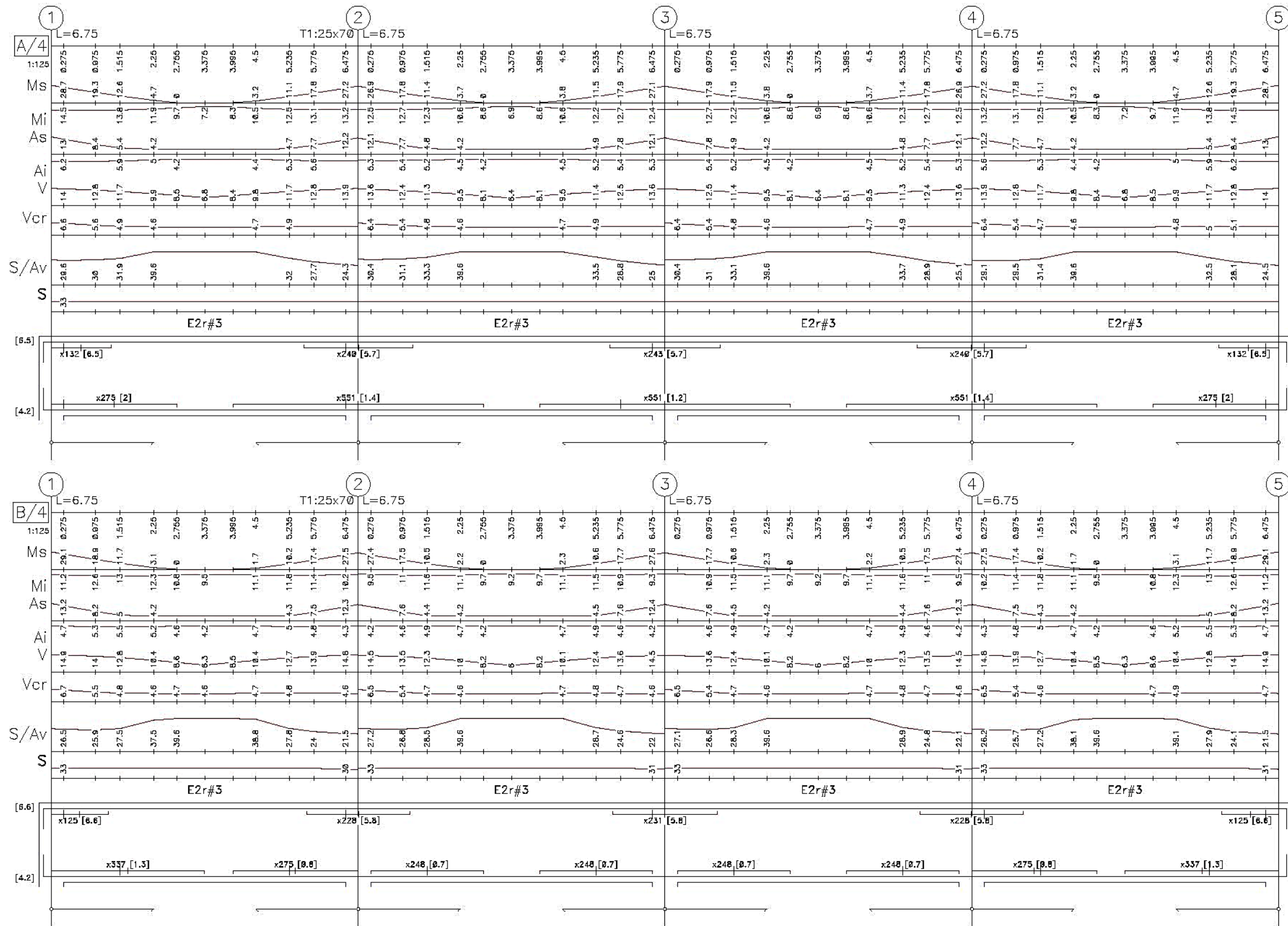


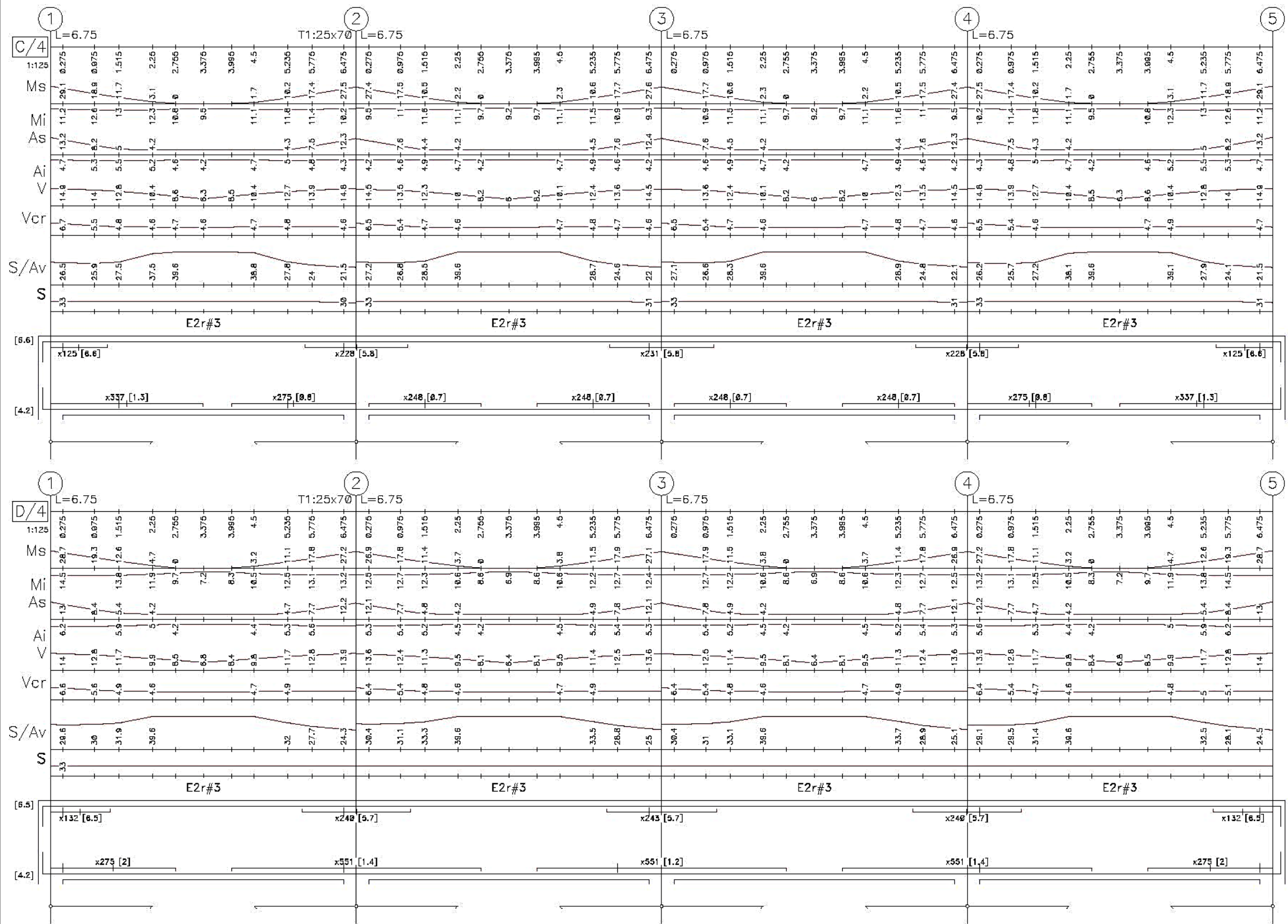
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

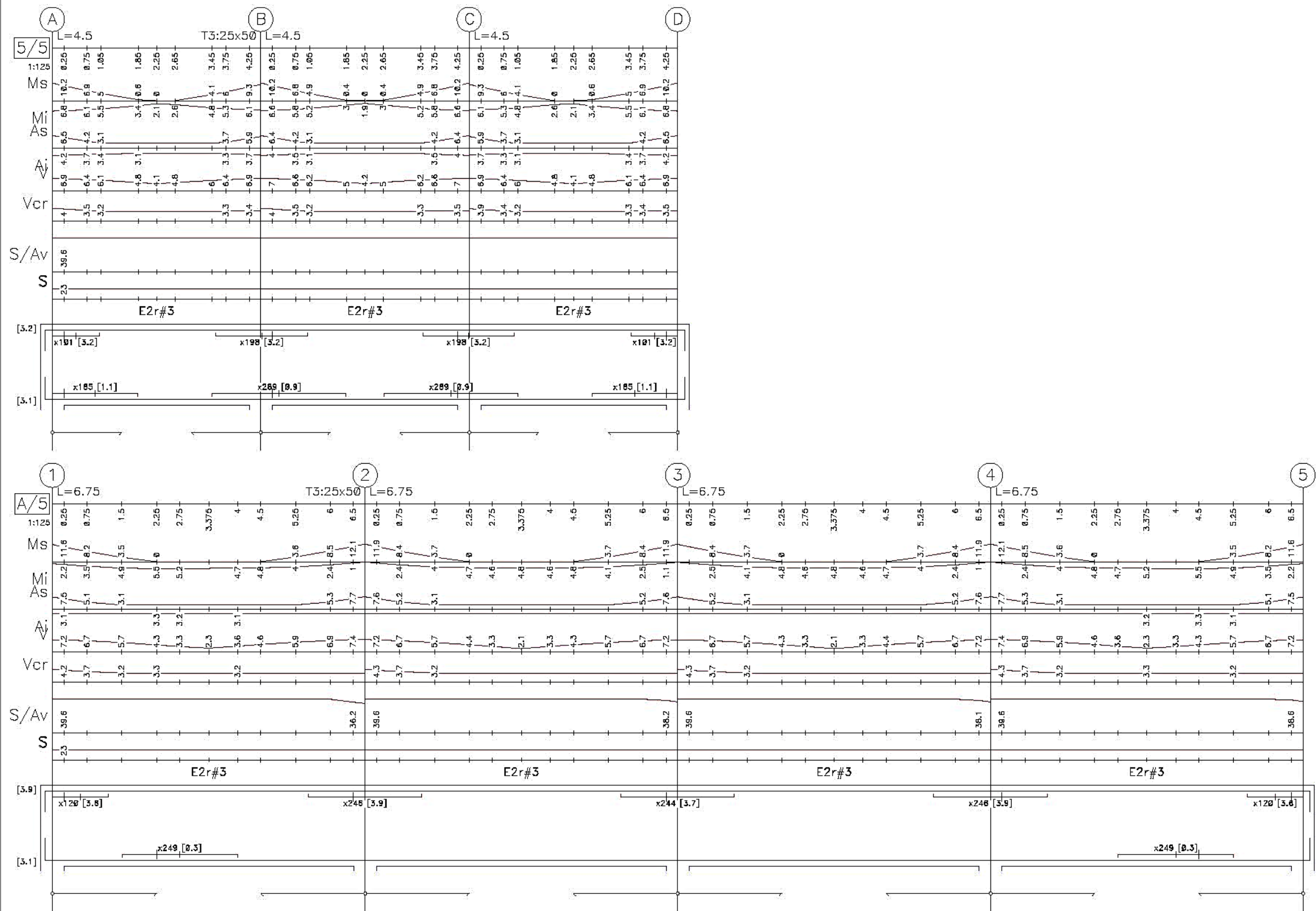


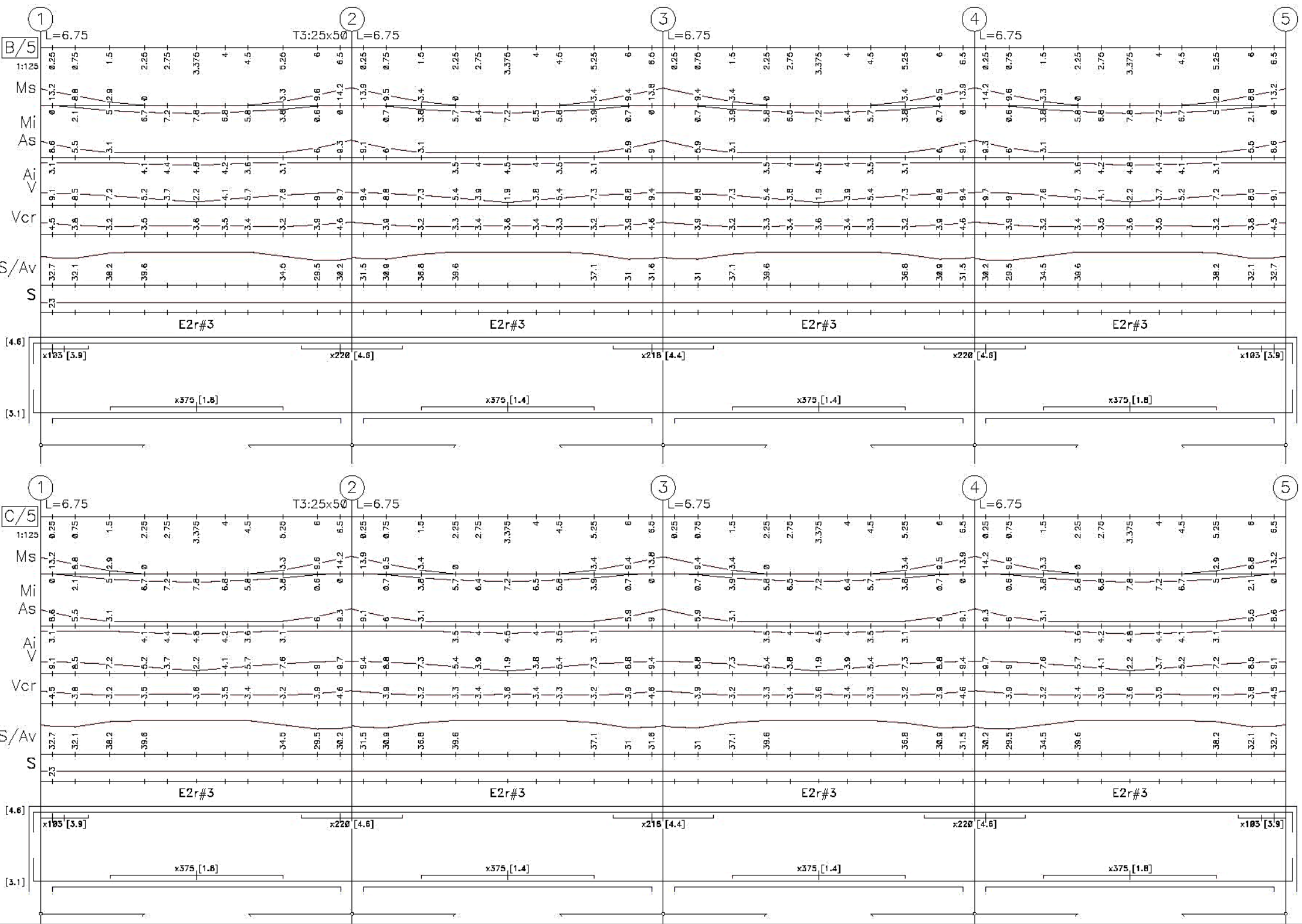
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

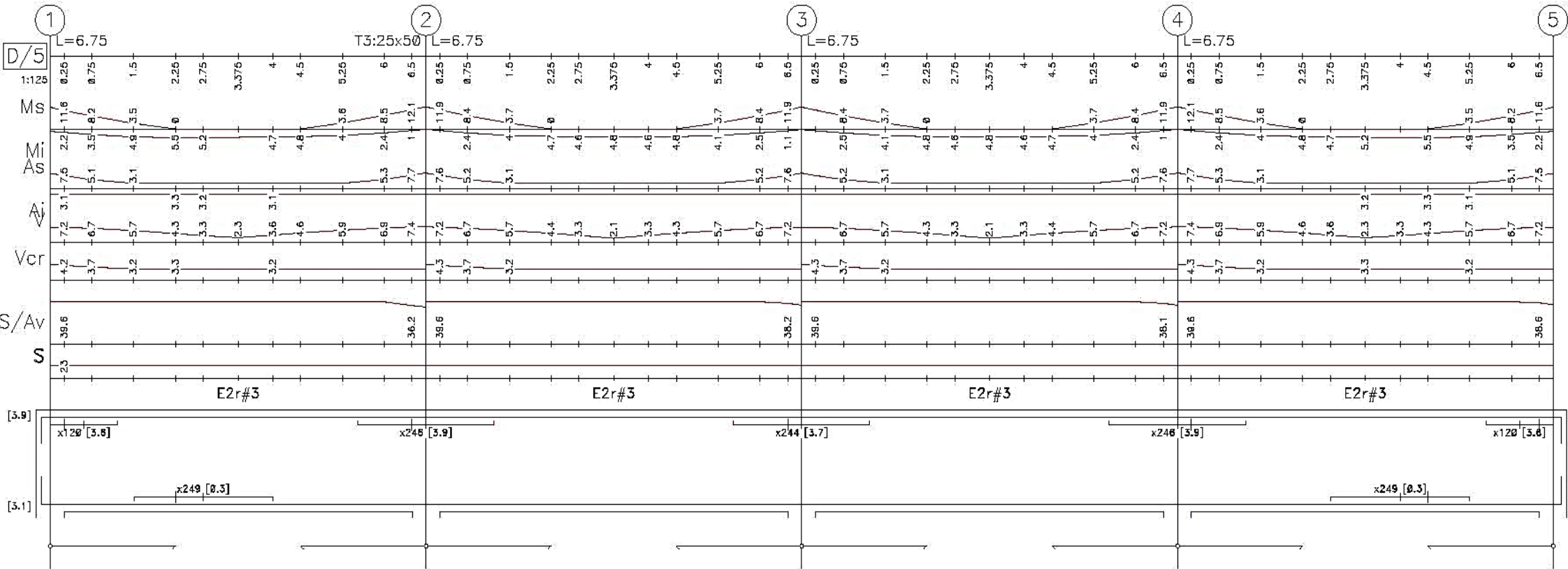




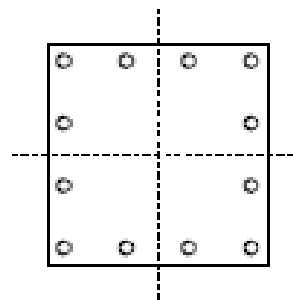






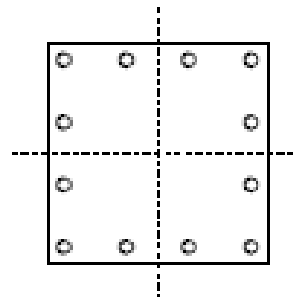


NIVEL 1: C3 - 65 X 65 CM
 REQUERIDA = 93,7 CM²
 ESTRIBOS = E3r3r#3@15



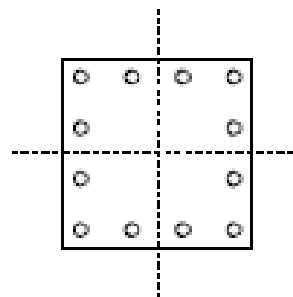
12Ø#10 = 95,28 CM²

NIVEL 2: C3 - 65 X 65 CM
 REQUERIDA = 59,6 CM²
 ESTRIBOS = ex 6E3r3r#3@15



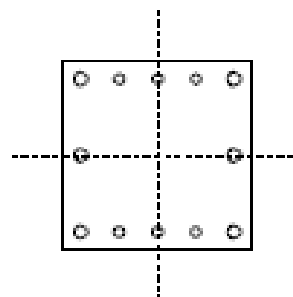
12Ø#8 = 60,80 CM²

NIVEL 3: C2 - 55 X 55 CM
 REQUERIDA = 59,5 CM²
 ESTRIBOS = ex 6E3r3r#3@14



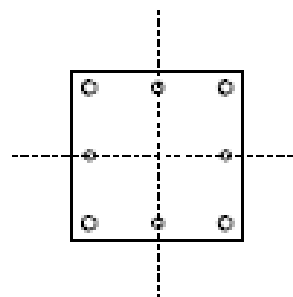
12Ø#8 = 60,80 CM²

NIVEL 4: C2 - 55 X 55 CM
 REQUERIDA = 47,6 CM²
 ESTRIBOS = ex 6E3r3r#3@14



6Ø#6 = 17,22 CM²
 6Ø#8 = 30,42 CM²

NIVEL 5: C1 - 50 X 50 CM
 REQUERIDA = 27,1 CM²
 ESTRIBOS = ex 6E3r3r#3@13



4Ø#8 = 20,28 CM²
 4Ø#5 = 7,96 CM²

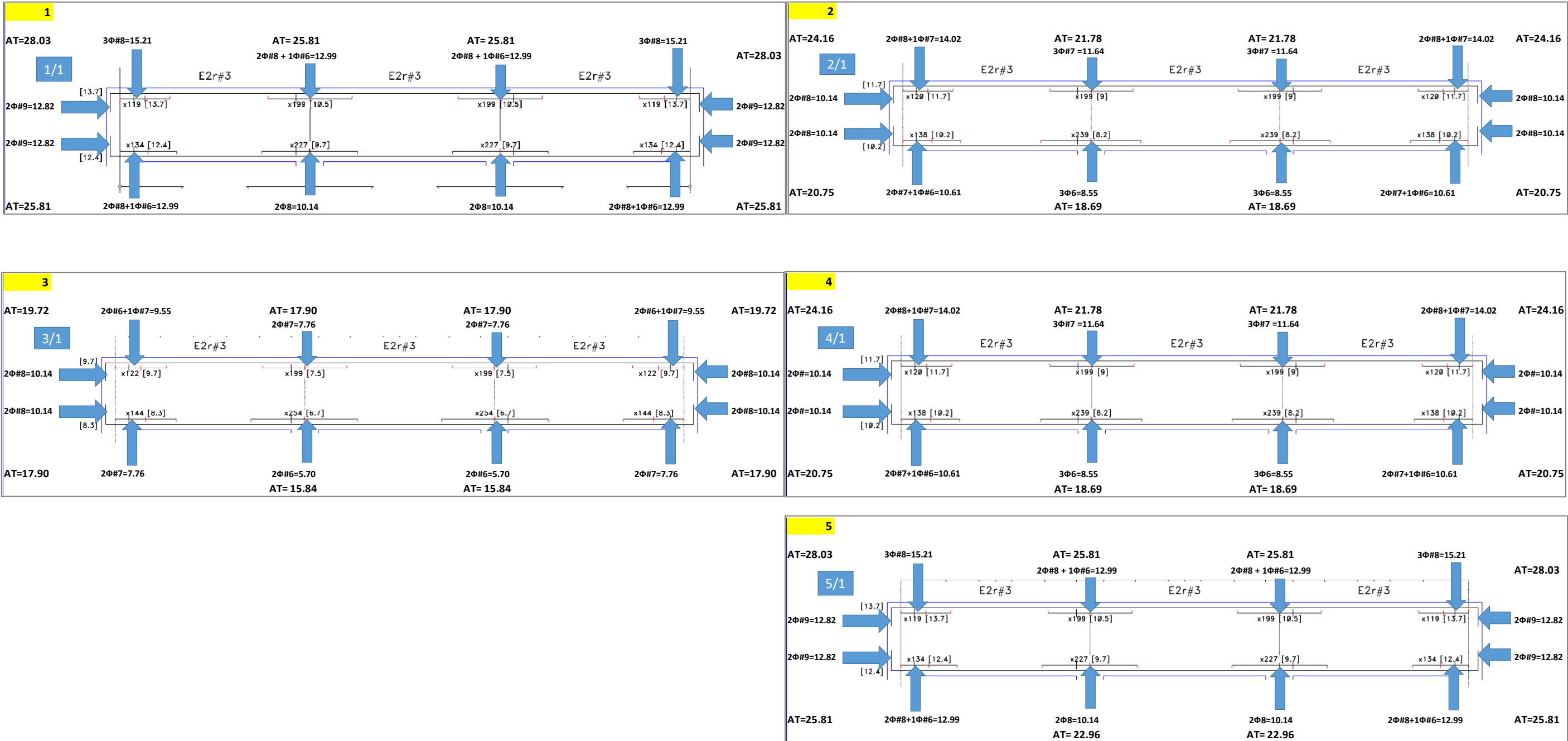
Anexo 3 Recopilación de datos en hoja de cálculo.

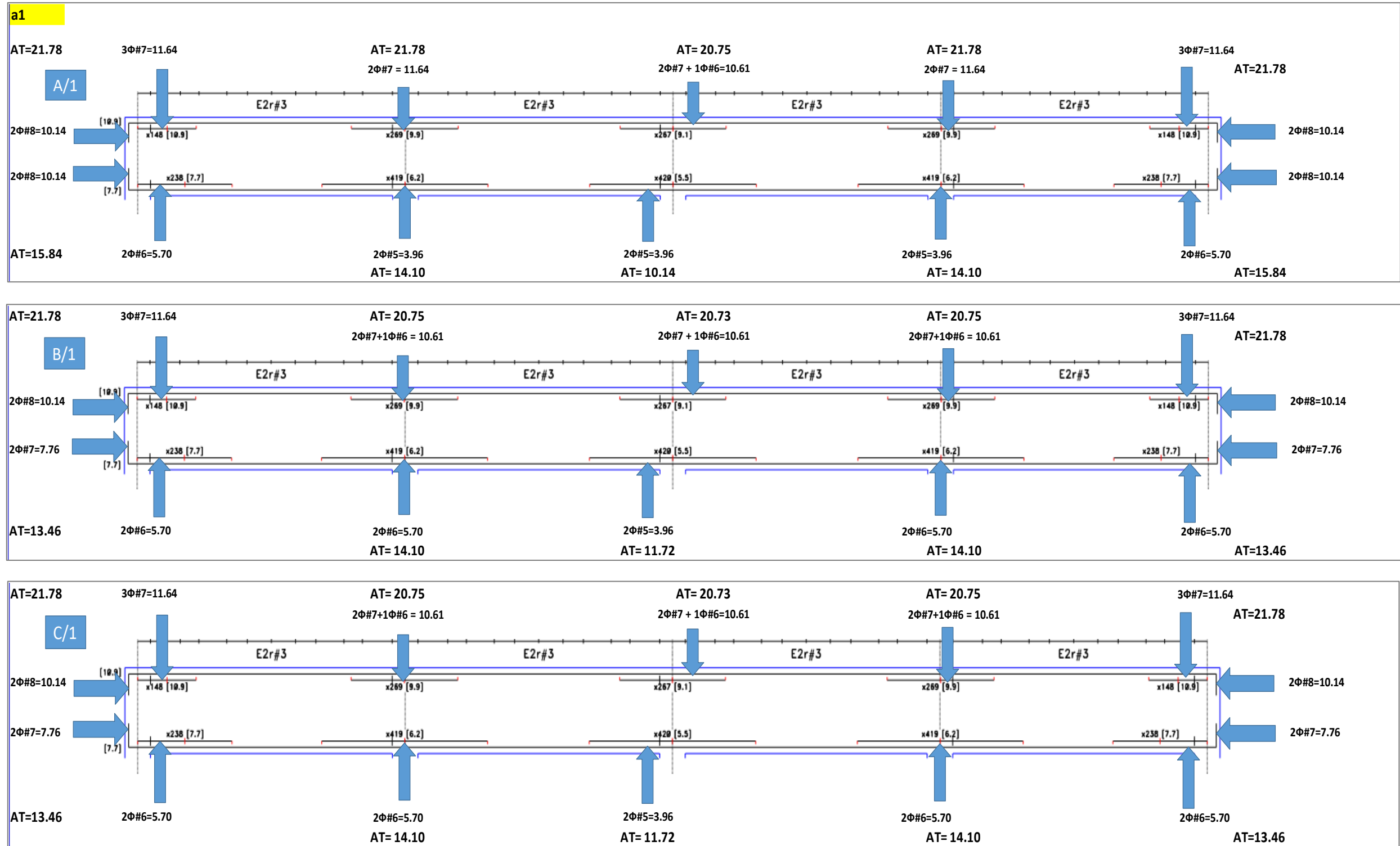
[illegible]

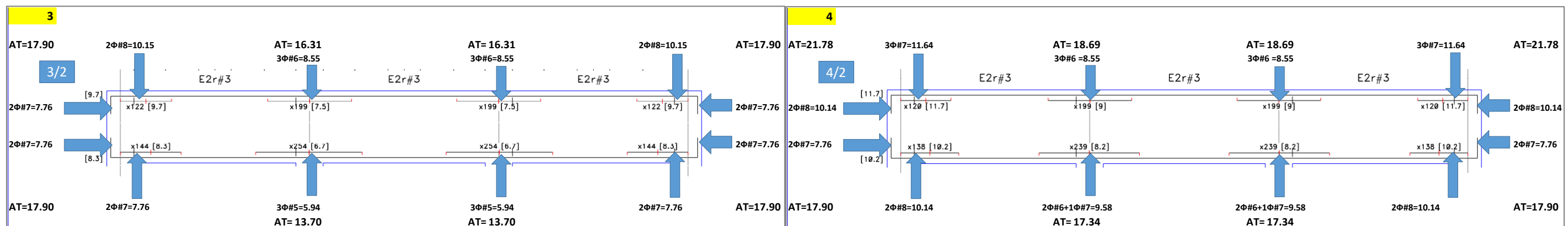
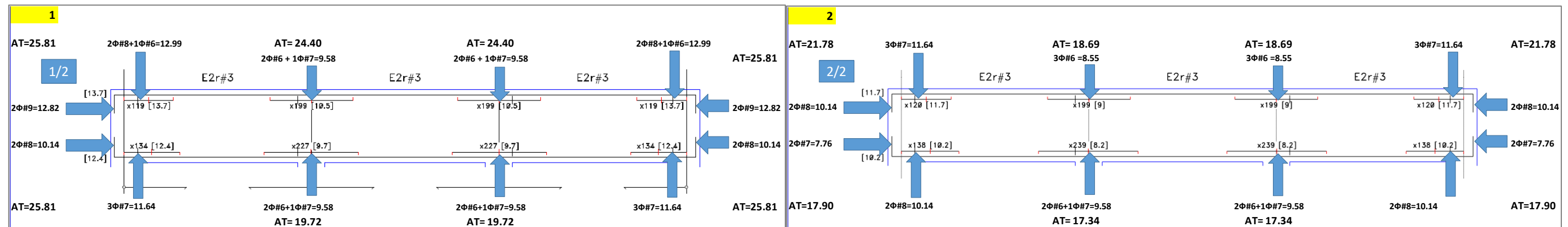
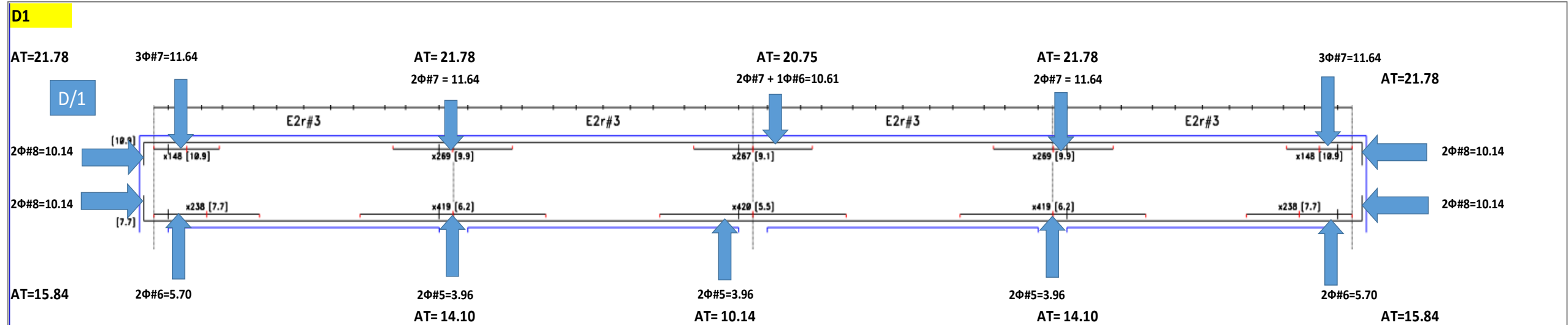
156

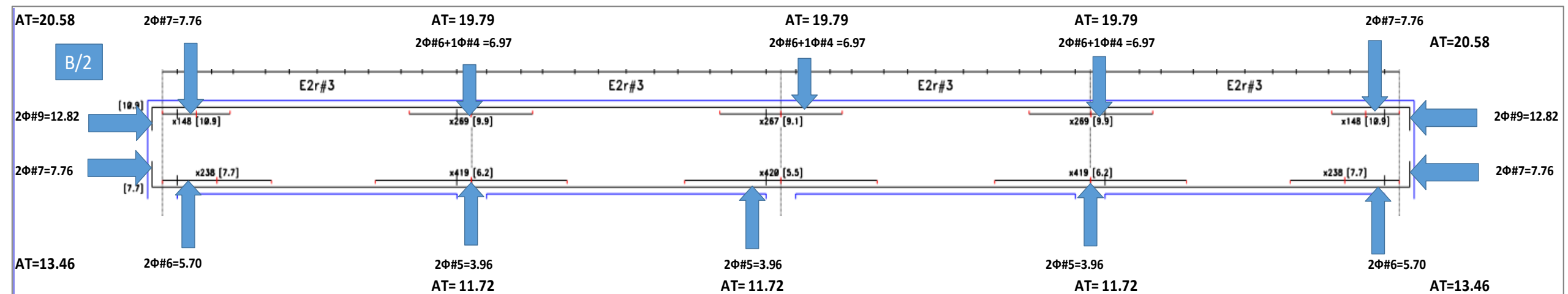
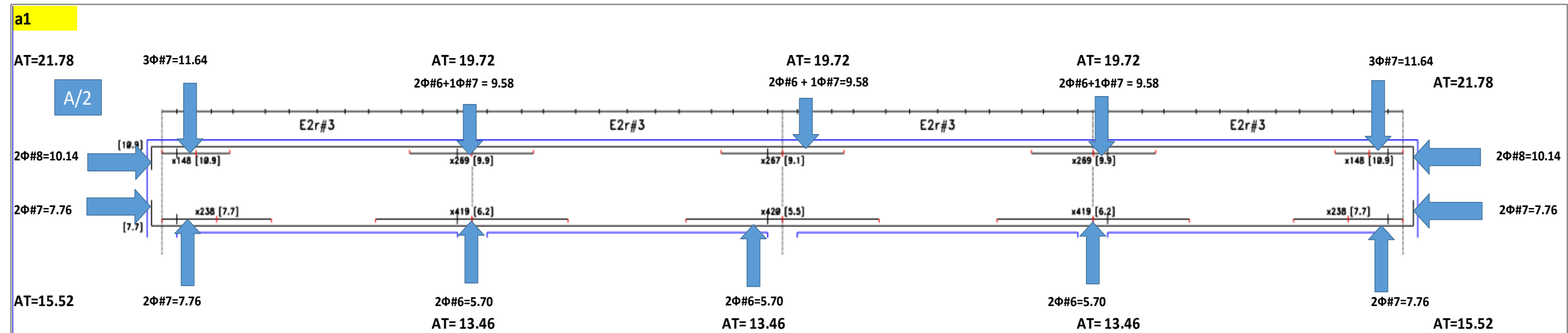
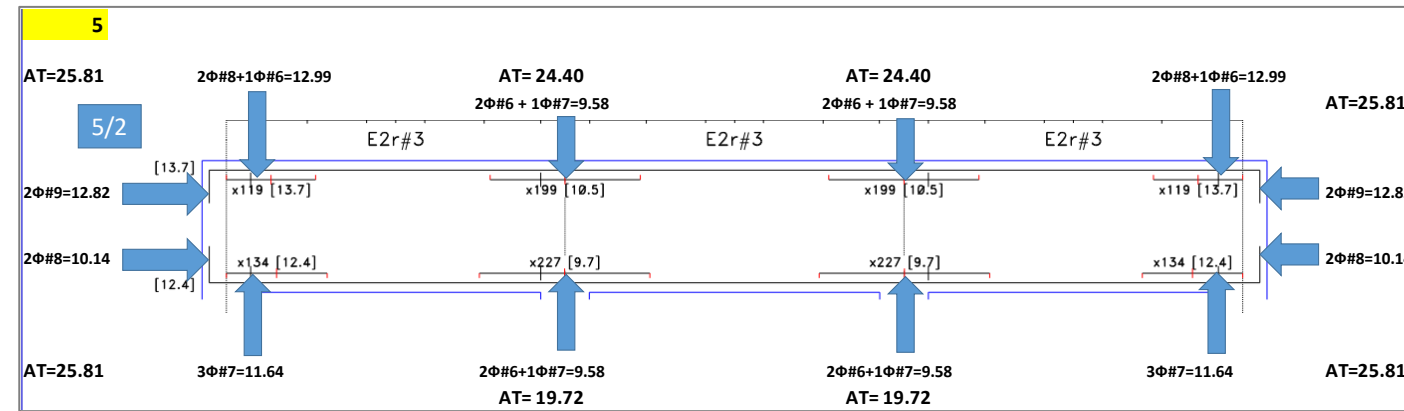
157

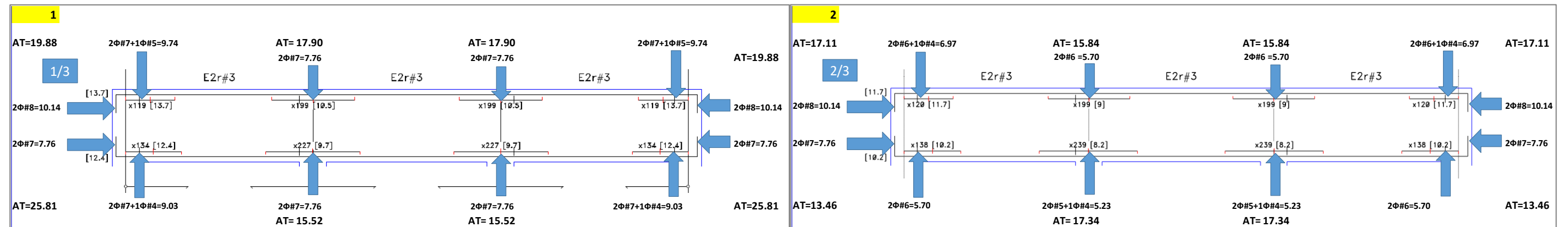
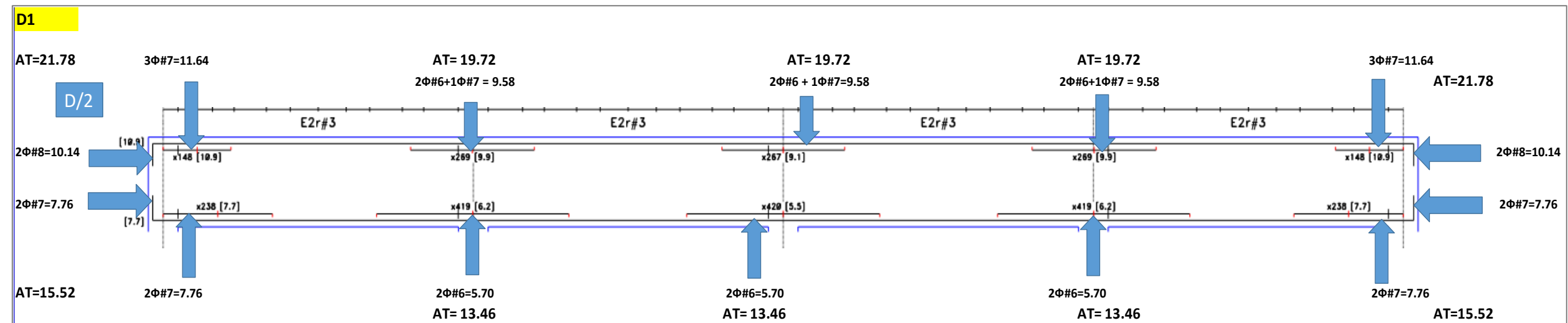
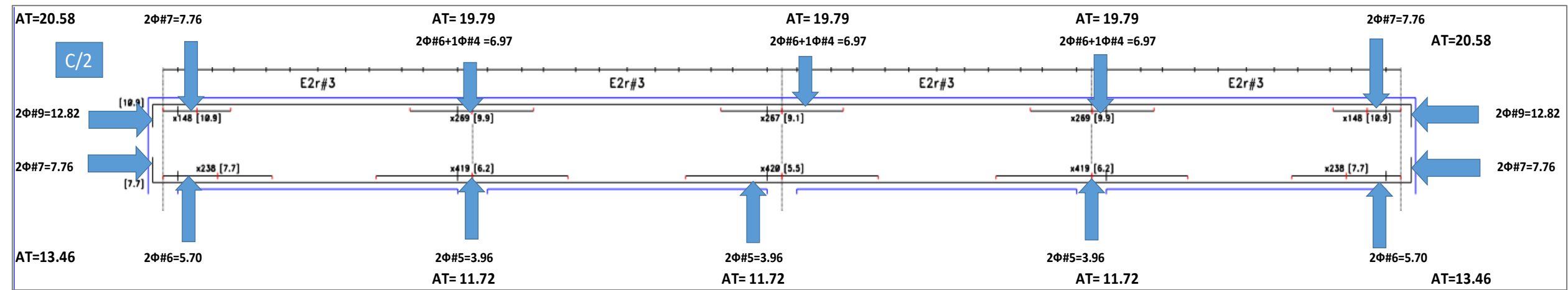
Anexo 4 Propuesta de acero longitudinal y bastones para cada trabe.

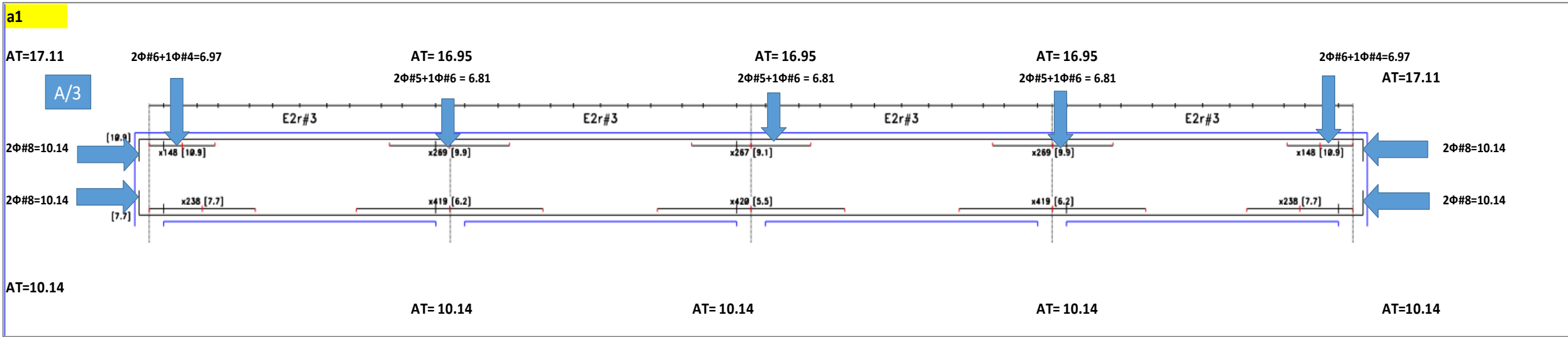
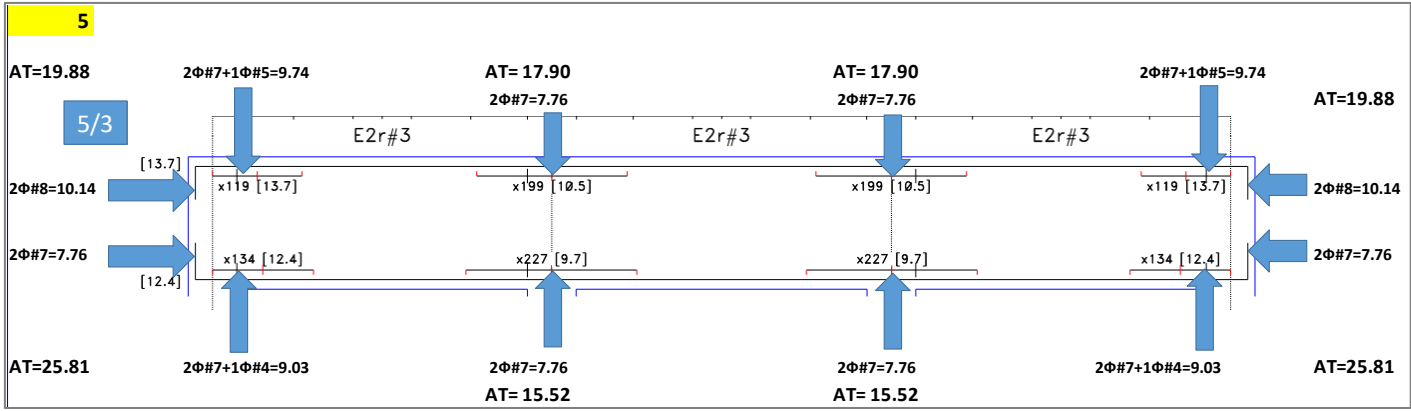
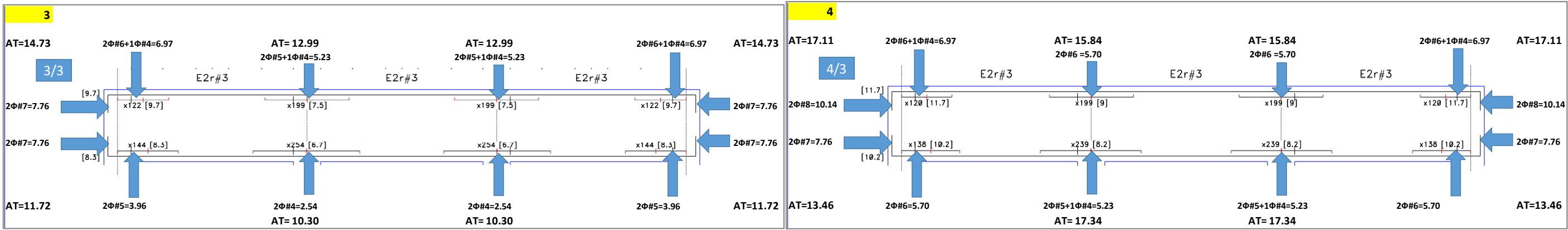


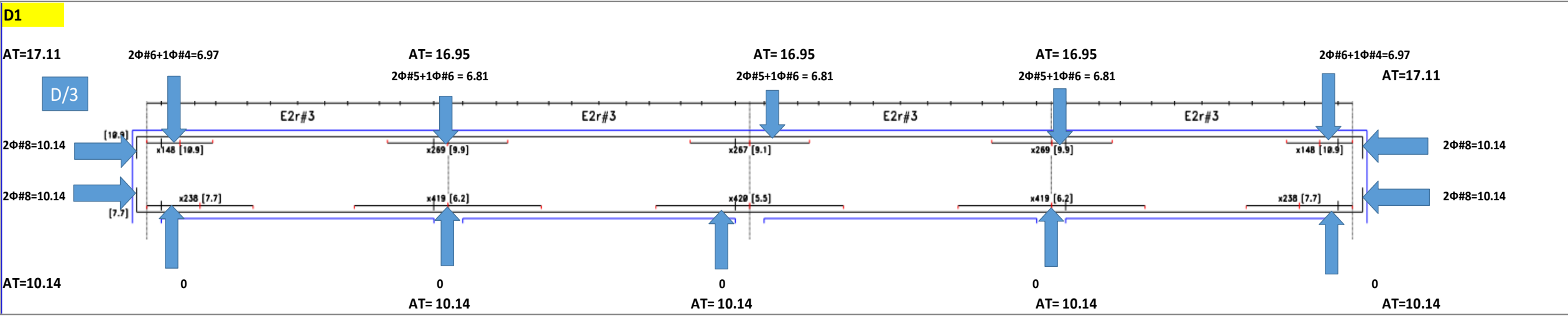
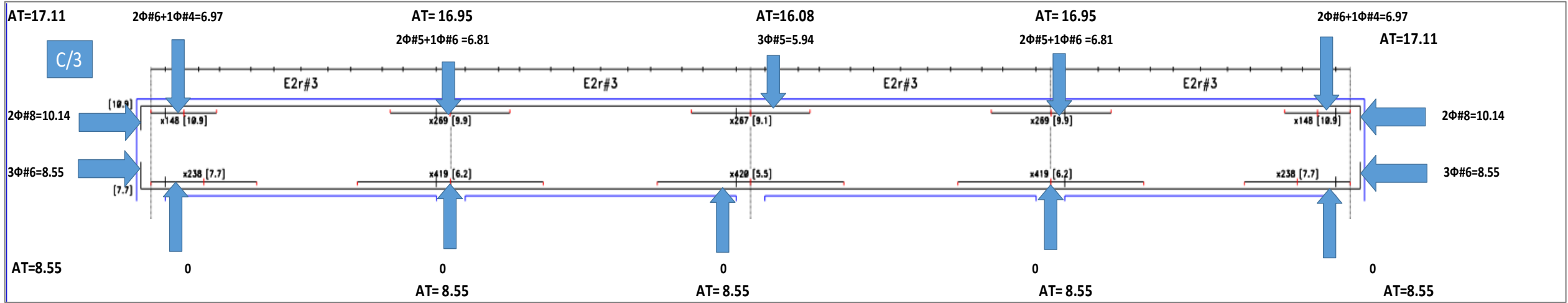
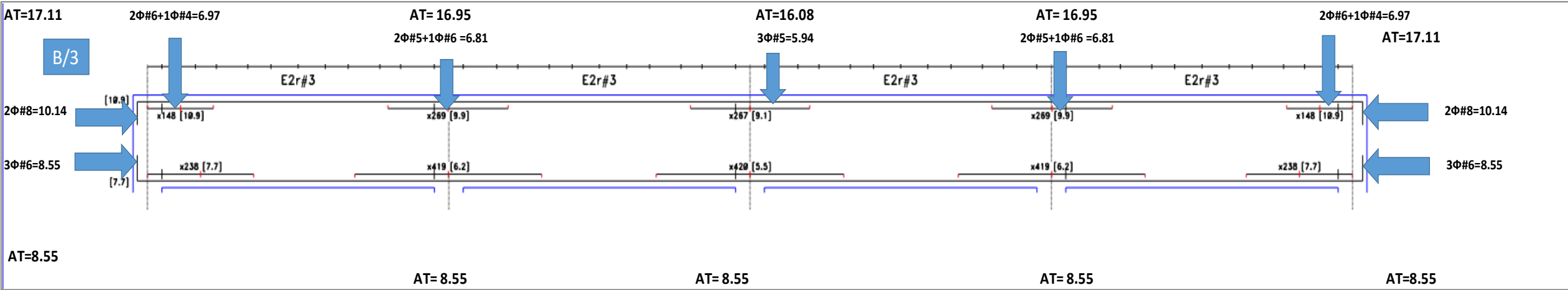


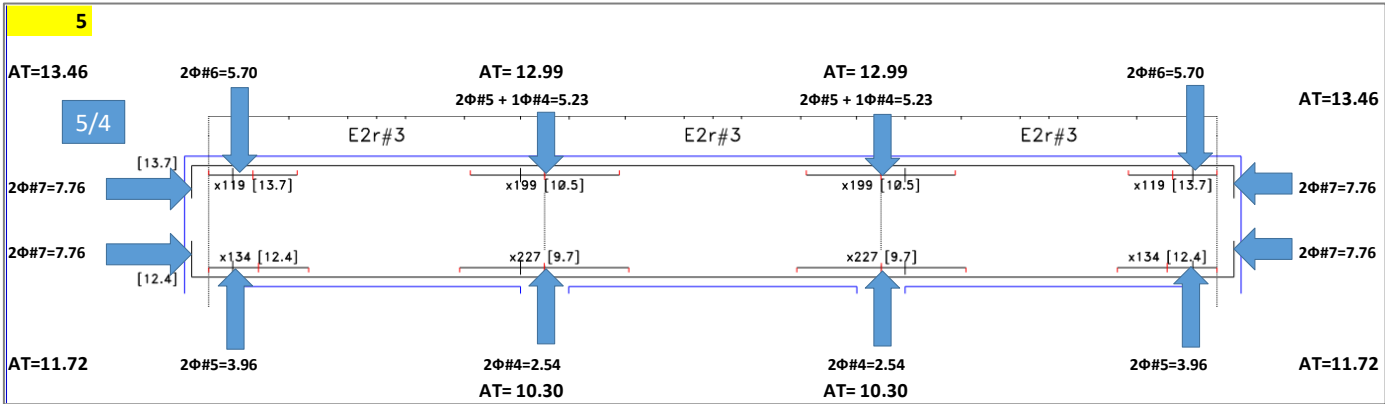
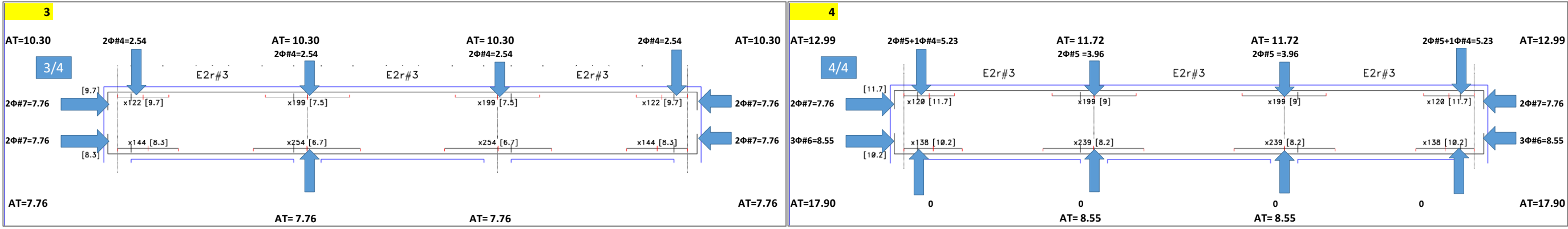
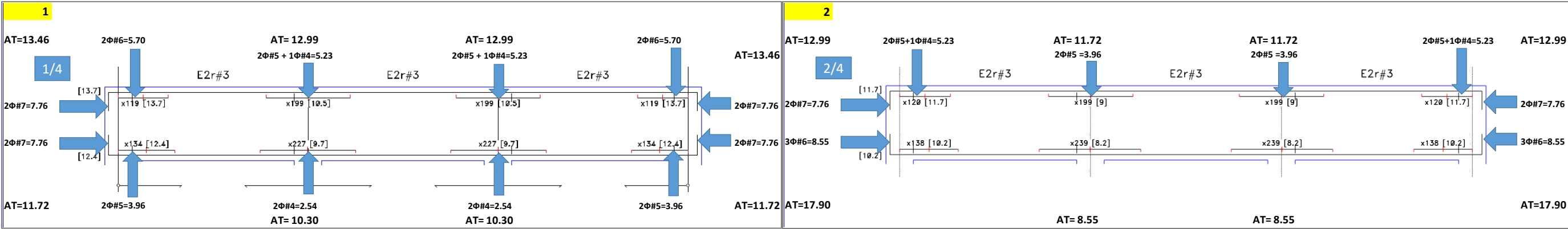


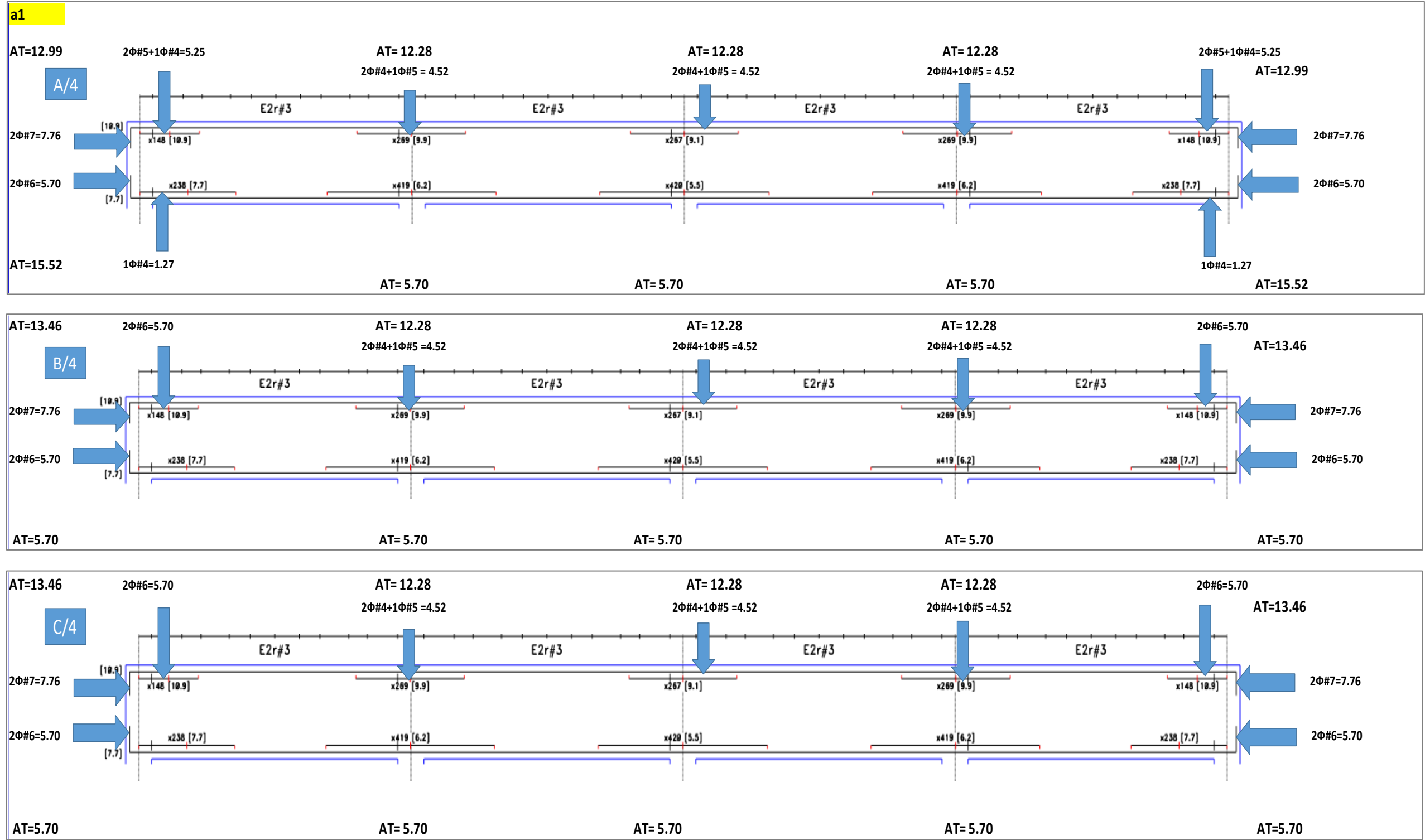


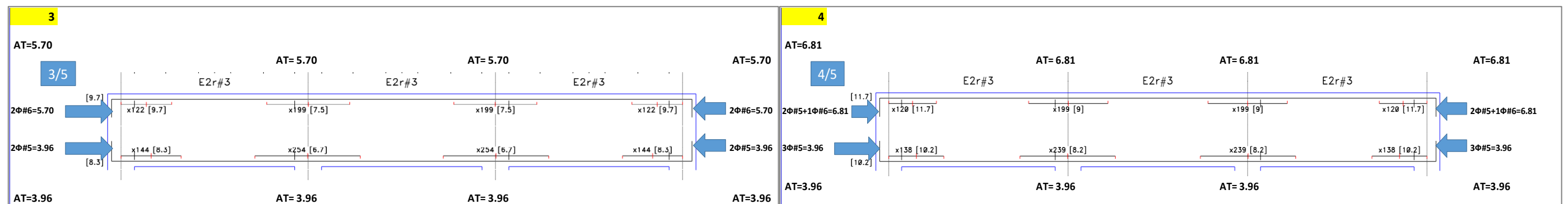
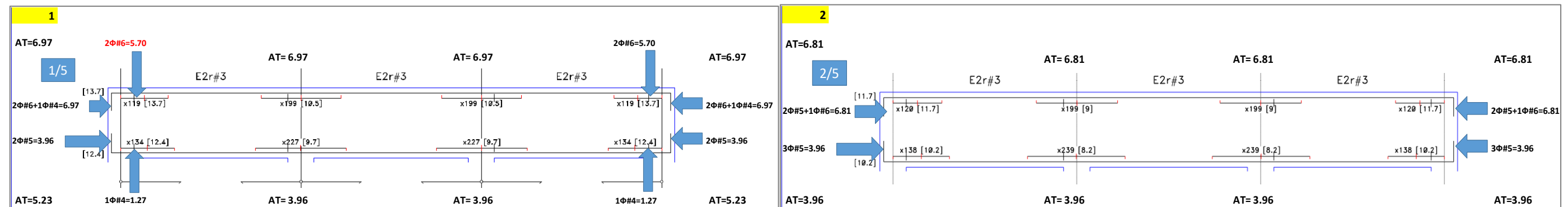
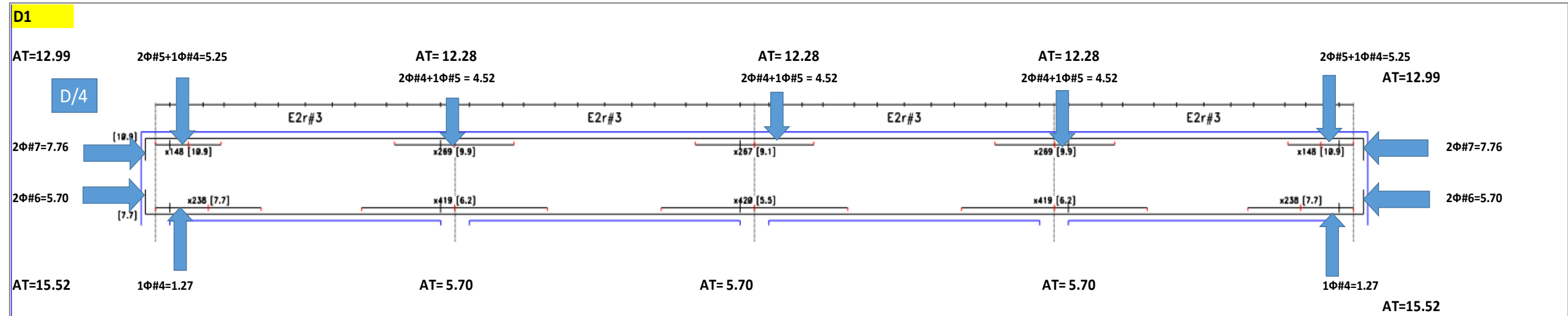


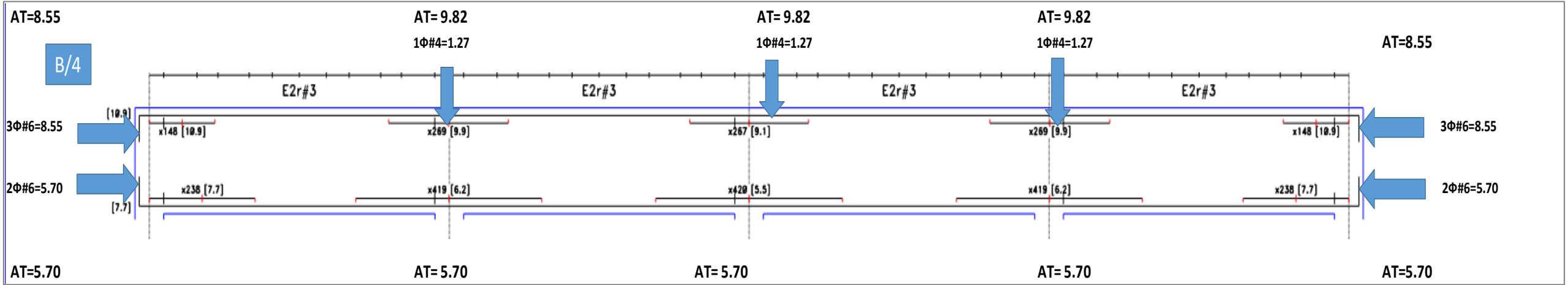
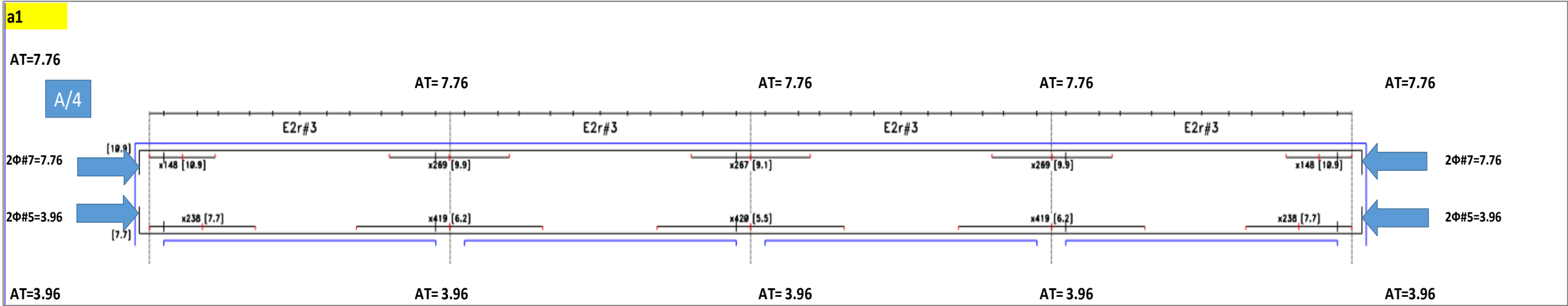
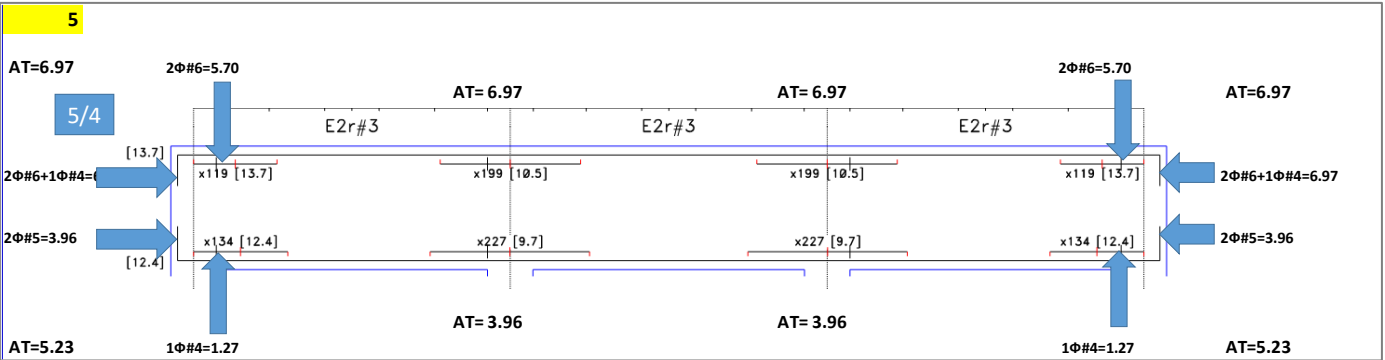




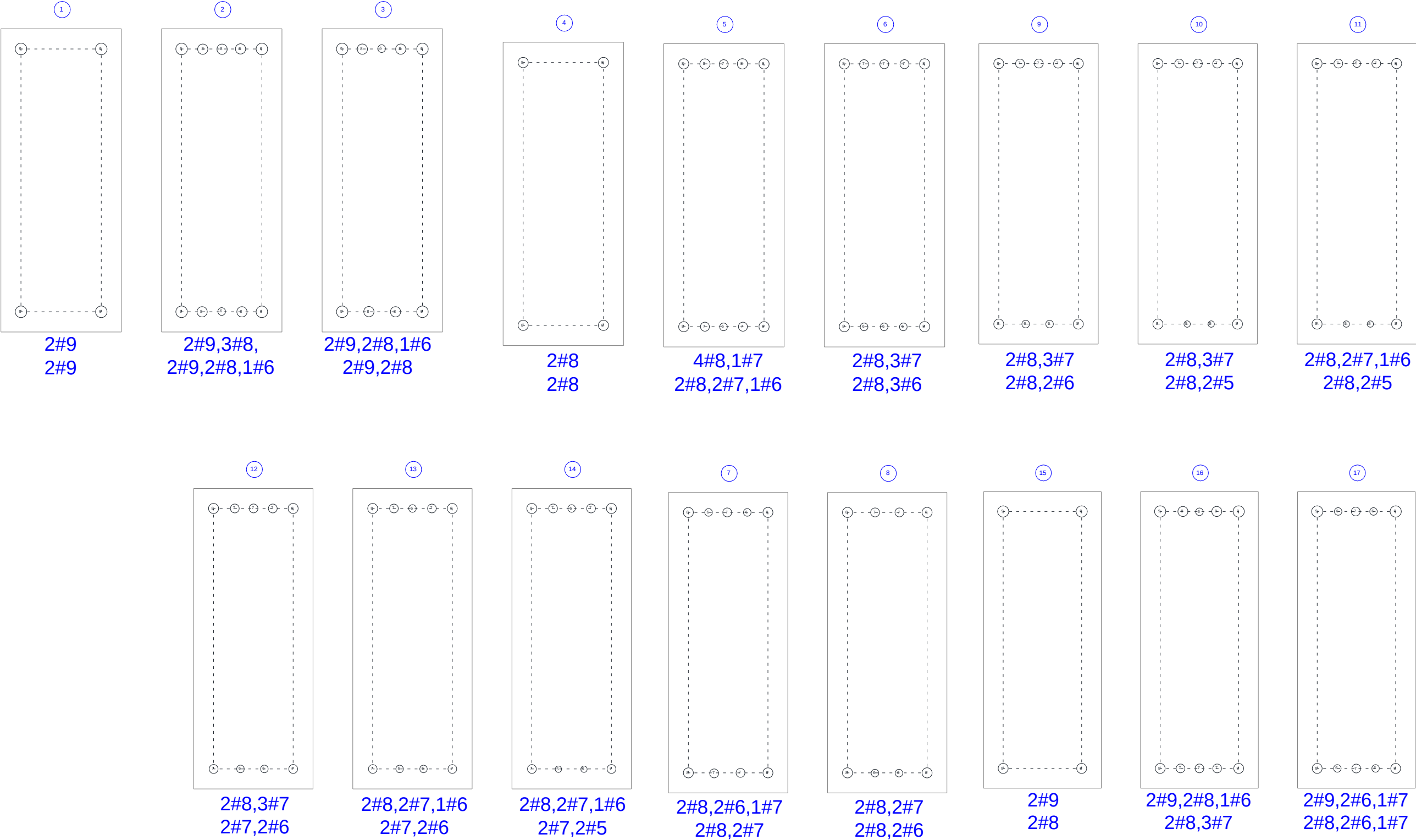


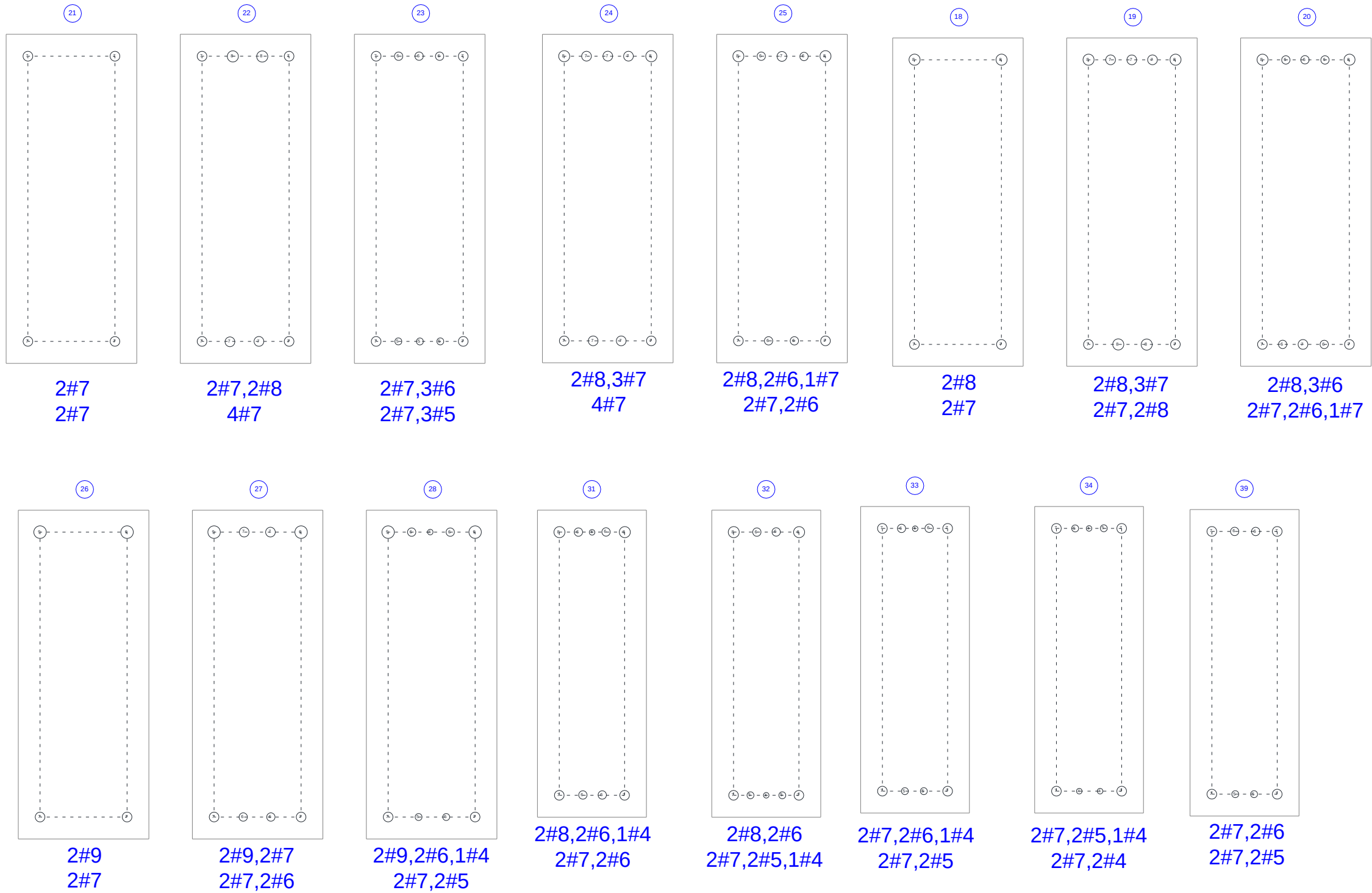


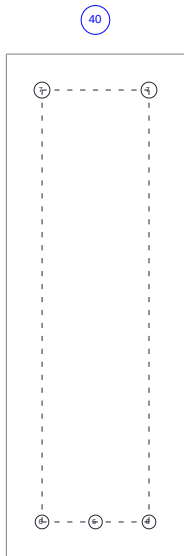




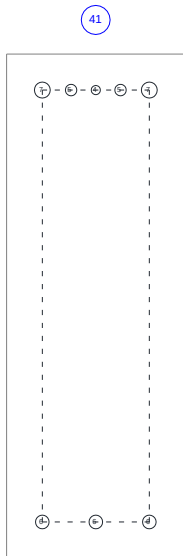
Anexo 5 Representación gráfica del armado longitudinal de las distintas secciones existentes de los elementos trabe.



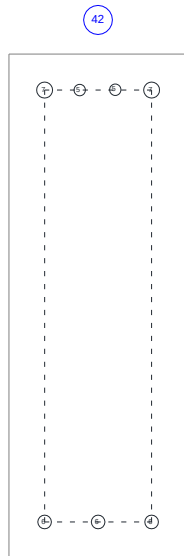




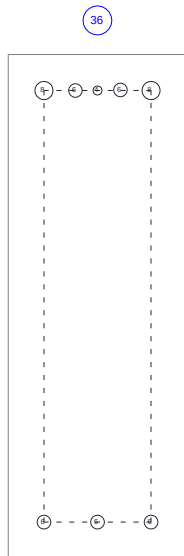
2#7
3#6



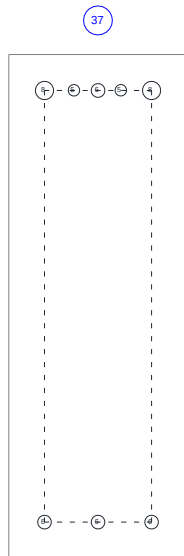
2#7,2#5,1#4
3#6



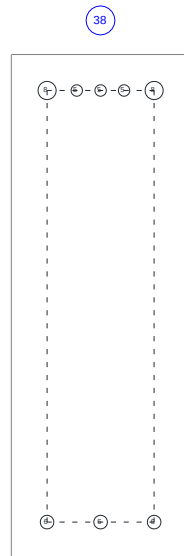
2#7,2#5
3#6



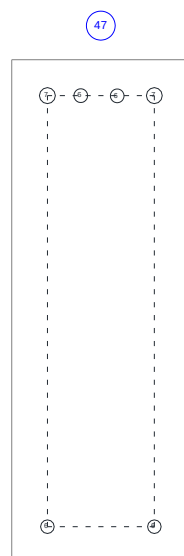
2#8,2#6,1#4
3#6



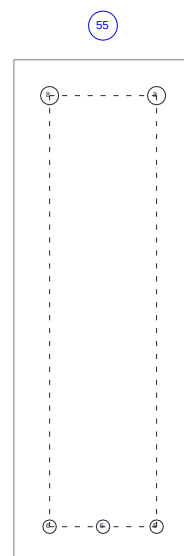
2#8,2#5,1#6
3#6



2#8,3#5
3#6



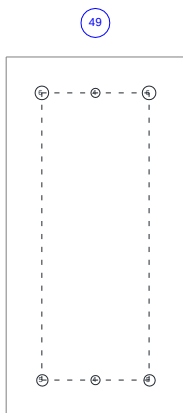
2#7,2#6
2#6



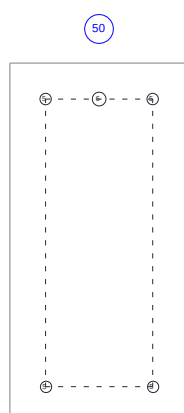
2#8
3#6



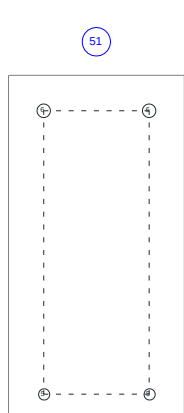
2#6,1#4
2#5



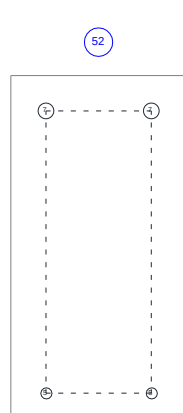
2#6,1#4
2#5,1#4



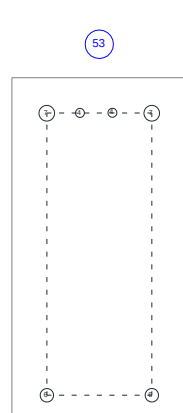
2#5,1#6
2#5



2#6
2#5



2#7
2#5

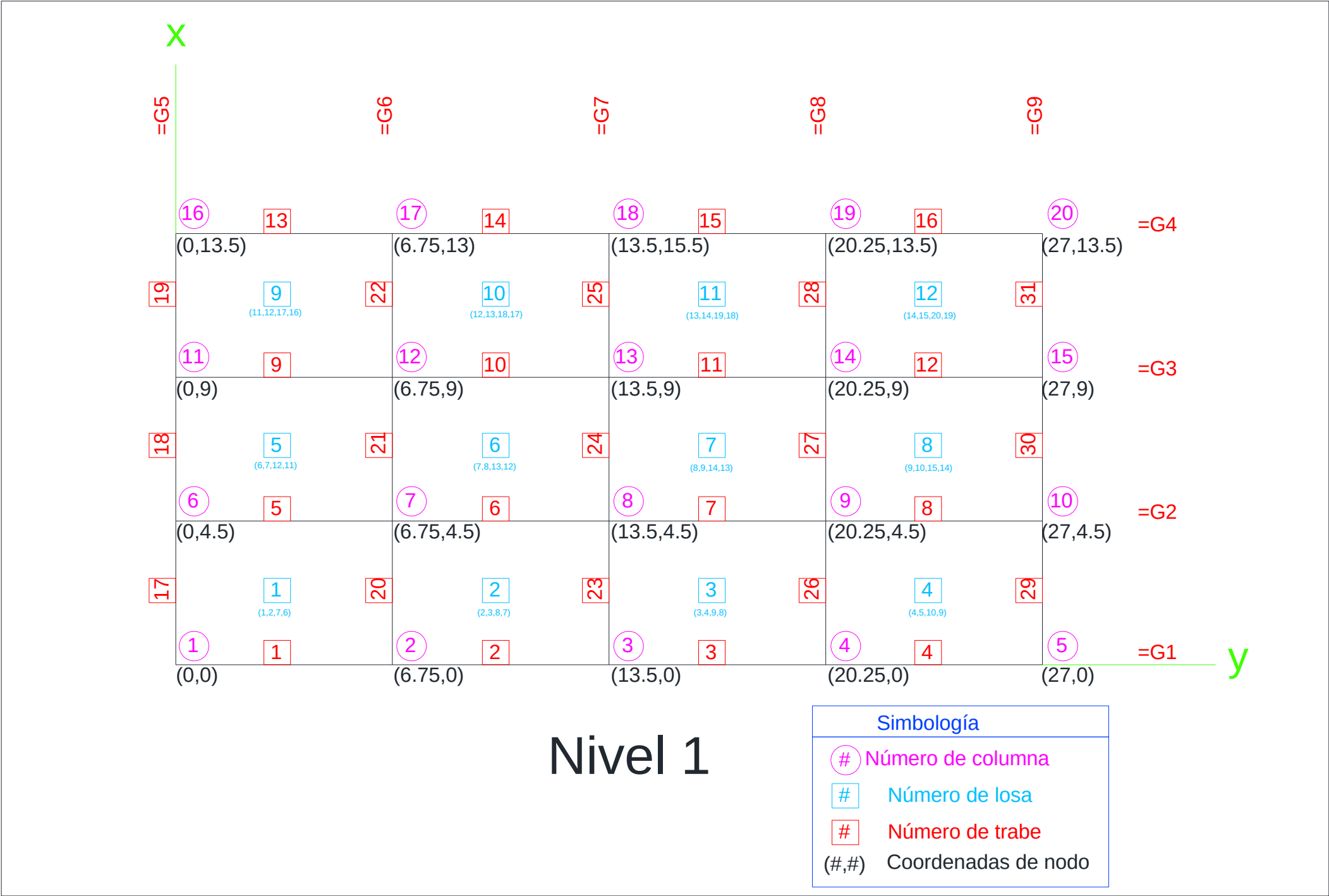


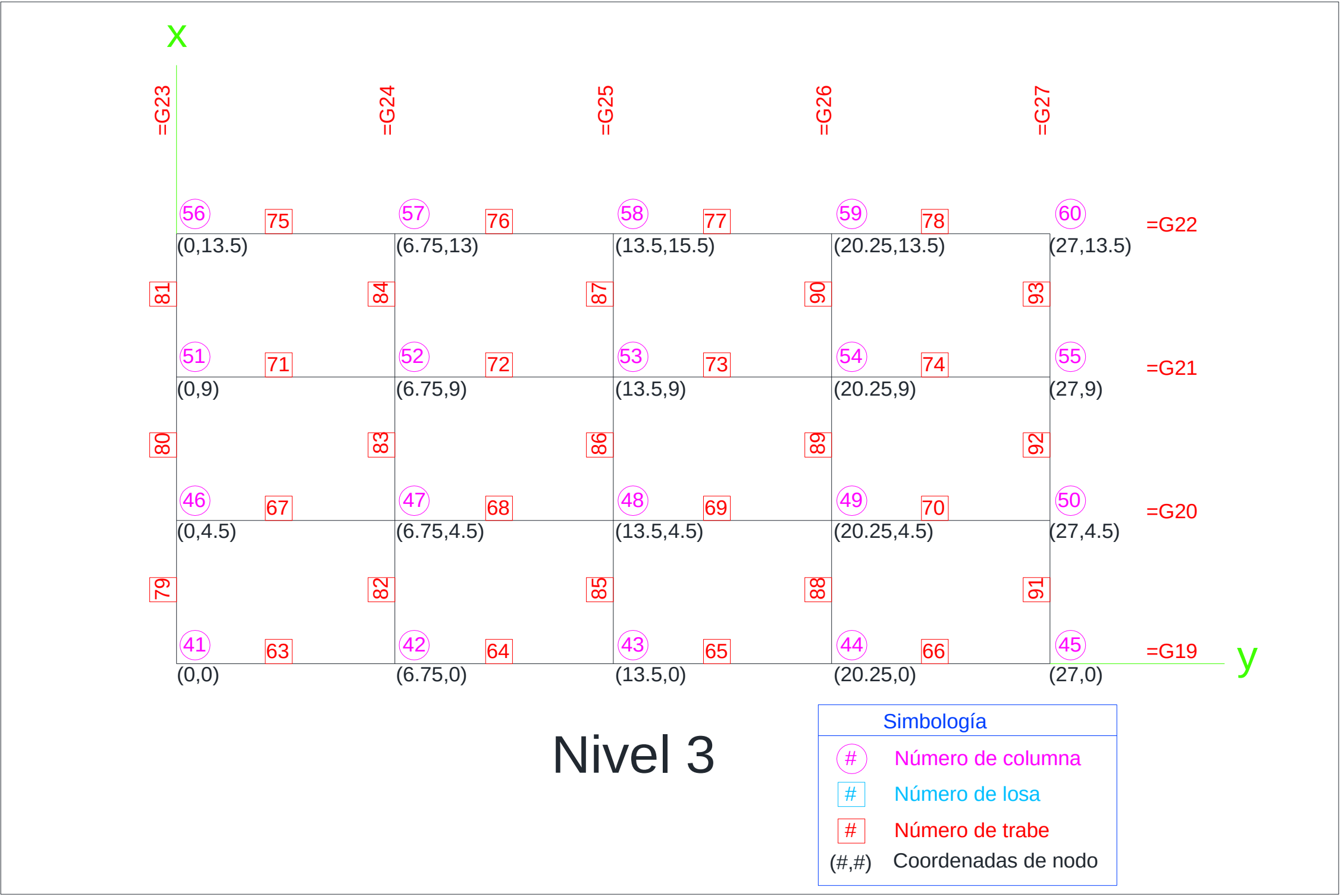
2#7,2#4
2#6

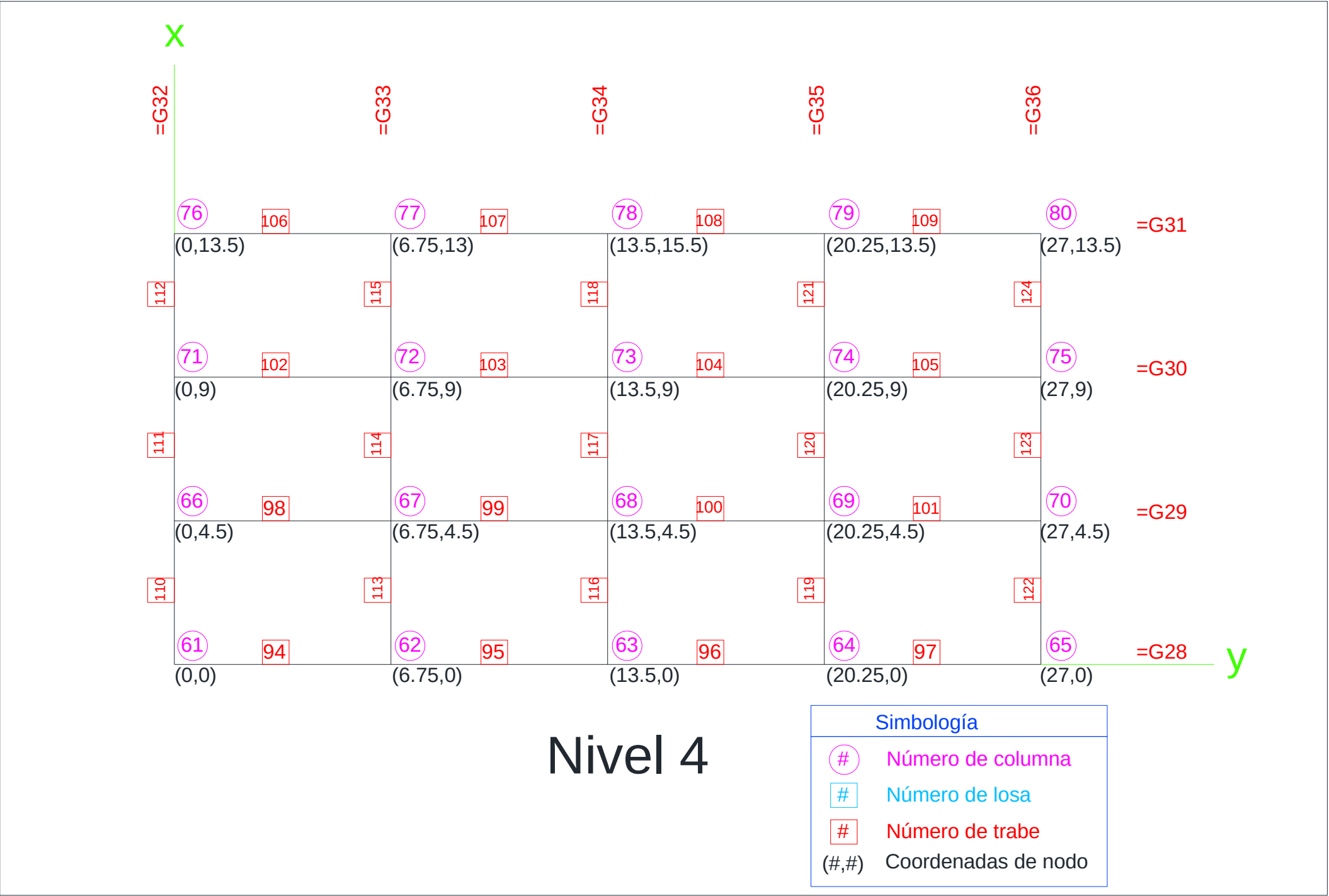
Anexo 6 Características de cada elemento trabe

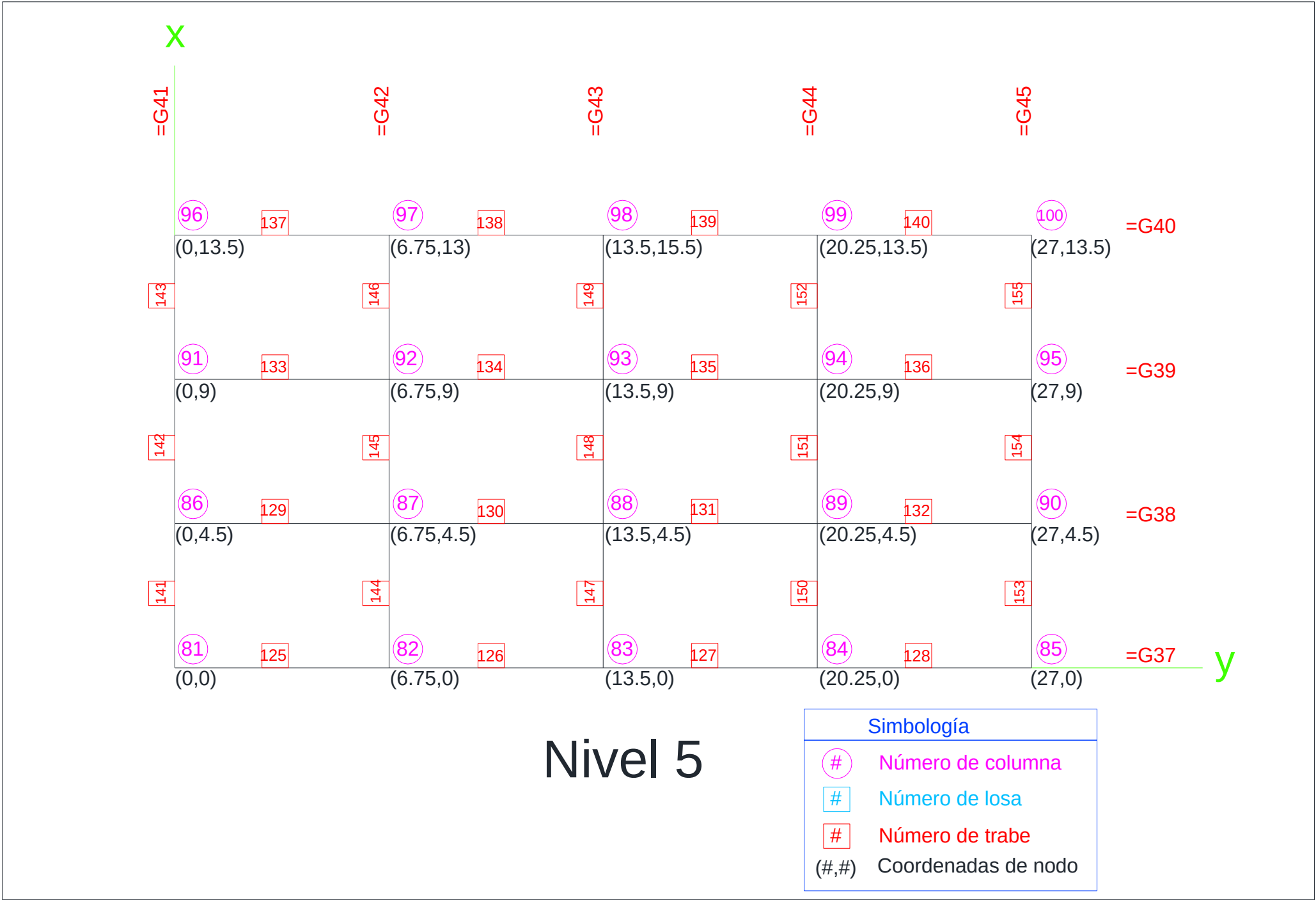
• NUM_TRA • NUMSEGDIS • IREL • JREL • XI • YI • ZI • XJ • YJ • ZJ • DIJ • EXS_NI • EXS_NJ • NI • NJ • REST • DIMX	• DIMY • ORIX • ORIY • ORIZ • RECX • RECY • LECX1 • LECX2 • LECY • NUM_BAR_EST • RAM • DIST_EST • A_EST • A_TOT_AC_LONG • PESO_CONC	• PESO_TRABE • PESO_CARGA_LIN • ALFYL • EYL • ESHL • FSUL • EPSYL • EPSSHL • EPSSUL • EPSSUUL • PL • SIMDIAML • FYT • EYT • ESHT • FSUT • EPSYT	• EPSSHT • EPSSUT • EPSSUUT • PT • SIMDIAMT • DIAMT • FC • FCC • FCCA • FT • MODTAN • MODTANTSOE • EPSFMAX • EPSU	• EPSUCONF • EPST • POISSONR • FIV • FJV • MIV • MJV • FIM • FJM • MIM • MJM • FIML • FJML • MIML • MJML • FIT	• FJT • MIT • MJT • FXIG • FYIG • FZIG • MXIG • MYIG • MZIG • FXJG • FYJG • FZJG • MXJG • MYJG • MZJG • K_TORSIO
---	---	---	---	--	--

Anexo 7 Generaciones de la configuración estructural.









Anexo 8. Secciones (Trabes y Columnas).

Nivel 1 (Vista en planta)

C3=65X65		T2 = 30 X75	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3

Nivel 2 (Vista en planta)

C3=65X65		T2 = 30 X75	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3
	T2		T2		T2		T2		T2
	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3	T2	C3

Nivel 3 (Vista en planta)

C2=55X55

	T1 = 25 X70	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2
T1		T1		T1		T1		T1
C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2
T1		T1		T1		T1		T1
C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2
T1		T1		T1		T1		T1
C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2

Nivel 4 (Vista en planta)

C2=55X55

	T1 = 25 X70	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2
T1		T1		T1		T1		T1
C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2
T1		T1		T1		T1		T1
C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2
T1		T1		T1		T1		T1
C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2	T1	C2

Nivel 5 (Vista en planta)

C1=50X50

	T3 = 25 X50	C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1
T3		T3		T3		T3		T3
C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1
T3		T3		T3		T3		T3
C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1
T3		T3		T3		T3		T3
C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1	T3	C1