



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**ALTERNATIVA EFICIENTE PARA EVALUAR DESEMPEÑO
SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO**

SUSTENTADO POR:

ALDER JOEL NÚÑEZ MARTÍNEZ

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

MÁSTER EN

INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS

TEGUCIGALPA, F. M., HONDURAS, C.A.

JULIO, 2017

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR
MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL
ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO
JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO LIMA**

**ALTERNATIVA EFICIENTE PARA EVALUAR DESEMPEÑO
SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN
INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

**ASESOR METODOLÓGICO:
CARLOS A. ZELAYA OVIEDO**

**ASESOR TEMÁTICO:
OSCAR SÁNCHEZ**

**MIEMBROS DE LA TERNA:
MANUELA FLORES
LUZ MARINA FUNES
JORGE CENTENO**



FACULTAD DE POSTGRADO

ALTERNATIVA EFICIENTE PARA EVALUAR DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO

NOMBRE DEL MAESTRANTE: ALDER JOEL NÚÑEZ MARTÍNEZ

Resumen

El propósito principal de esta investigación consistió en evaluar el desempeño sísmico utilizando los criterios del ATC-40, en un edificio diseñado de concreto reforzado con un sótano y 4 niveles para uso de oficinas, perteneciente al grupo Midence Soto Pierrefeu y por construirse en Tegucigalpa. Como metodología se aplicaron tres técnicas: la observación para recolectar datos importantes de algunos edificios y facilitar la modelación del edificio descrito, la simulación utilizando el programa computacional para estructuras Etabs y la encuesta para evaluar el nivel de conocimiento en relación al tema de estudio. De los resultados de la encuesta se obtuvo que en términos generales los especialistas y estudiantes de maestría en estructuras tienen un conocimiento escaso sobre los documentos que sustentan la metodología del ATC-40, sin embargo, también mostraron interés en conocer más al respecto.

Palabras claves: ATC-40, análisis no lineal, desempeño, niveles de riesgo sísmico.



GRADUATE SCHOOL

EFFICIENT ALTERNATIVE SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING

MASTER'S NAME: ALDER JOEL NÚÑEZ MARTÍNEZ

Abstract

The main purpose of this research was to evaluate the seismic performance using the ATC-40 criteria, in a 4-level basement reinforced concrete building for office use, belonging to the Midence Soto Pierrefeu group and to be built in Tegucigalpa. As a methodology three techniques were applied: observation to collect important data of some buildings and facilitate the modeling of the described building, the simulation using the computational program for structures Etabs and the survey to evaluate the level of knowledge in relation to the subject of study. From the results of the survey it was obtained that in general terms the specialists and students of masters in structures have little knowledge about the document's methodology of the ATC-40, however they also showed interest in knowing more about it.

Key words: ATC-40, nonlinear analysis, performance, Pushover Analysis, risk level.

DEDICATORIA

A MI AMADO PADRE DIOS, AMIGO JESÚS Y AL ESPÍRITU SANTO
por darme vida, salud y la oportunidad de estudiar para alcanzar este título.

A MIS AMADOS PADRES

Milgían Martínez y Santos Núñez por su gran apoyo, a mi amada mamá que siempre me
ayudó en todo incondicionalmente y me animó a esforzarme para seguirme superando.

AGRADECIMIENTOS

A mis estimados asesores Dr. Carlos Zelaya y MEng. Oscar Sanchez por toda su orientación y guía durante el proceso de investigación, al Dr. Joaquin Torre y Dr. Miguel Mosqueira por su valioso apoyo y consejo. A don Thierry de Pierrefeu, director del área de bienes raíces del grupo de empresas Midence Soto Pierrefeu y a sus colaboradores por su amable disposición en facilitarme toda la información que necesité de su nuevo edificio para desarrollar esta tesis. A mis compañeros de maestría por todo lo que compartimos: conocimientos, vivencias y ocurrencias. A mi estimado amigo y colega MEng. José Avilés por animarme a seguir estudiando la maestría y a todos los docentes que con mucha disposición compartieron sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Definición del problema	2
1.3.1 Enunciado del problema	2
1.3.2 Formulación del problema	3
1.3.3 Preguntas de investigación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 General	4
1.4.2 Específicos.....	4
1.5 Justificación.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Análisis de la situación actual.....	6
2.1.1 Análisis del macro entorno	6
2.1.2 Análisis del micro entorno.....	11
2.1.3 Análisis interno	15
2.2 Teorías.....	17
2.2.1 Teorías de sustento.....	17
2.2.2 Conceptualizaciones.....	24
2.3 Metodologías aplicadas	26
2.3.1 Análisis y diseño estructural automatizado	26
2.3.2 Método de elementos finitos aplicado a las estructuras.....	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	29
3.1 Congruencia Metodológica.....	29

3.1.1	Variables de estudio	30
3.1.2	Operacionalización de las variables	31
3.1.3	Hipótesis.....	34
3.2	Enfoque y métodos.....	34
3.3	Diseño de la investigación.....	35
3.3.1	Población	35
3.3.2	Muestra.....	36
3.3.3	Unidad de Análisis	36
3.3.4	Unidad de respuesta	37
3.4	Instrumentos, técnicas y procedimientos aplicados	37
3.4.1	Instrumentos	37
3.4.2	Técnicas.....	37
3.4.3	Procedimiento	38
3.5	Fuentes de información	38
3.5.1	Fuentes primarias	38
3.5.2	Fuentes secundarias.....	38
3.6	Limitantes del estudio	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		40
4.1	Resultados de la encuesta	40
4.2	Resultados del instrumento de observación.....	49
4.3	Diagrama de Ishikawa	53
4.4	Resultados de la simulación de la estructura en el software ETABS	56
4.4.1	Datos técnicos y planos de la estructura modelada	56
4.5	Propuesta	68
4.5.1	implementación del método ATC-40	68

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1 Conclusiones.....	79
5.2 Recomendaciones	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos de desempeño para edificios con diferentes tipos de importancia	7
Figura 2. Gráfico del método espectro de capacidad.....	8
Figura 3. Portada del reporte ATC-40	9
Figura 4. Marco conceptual de la ingeniería basada en Desempeño sísmico	10
Figura 5. Portada del Código Hondureño de la Construcción (CHOC)	13
Figura 6. Mapa de aceleraciones pico del suelo en Honduras	13
Figura 7. Mapa de aceleraciones pico del suelo en Honduras	14
Figura 8. Diagramas de la relación esfuerzo-deformación	18
Figura 9. Diferentes curvas esfuerzo-deformación ante la carga y descarga	21
Figura 10. Curvas de histéresis esfuerzo-deformación de una viga de concreto reforzado sometida a carga cíclica	23
Figura 11. Curvas esfuerzo-deformación para un elemento de concreto sin confinar sometido a carga cíclica	23
Figura 12. Variables independientes que afectan a la variable dependiente	30
Figura 13. Etapas de la presente investigación	35
Figura 14. Conocimiento de la existencia del CHOC	41
Figura 15. Uso del CHOC u otro código para diseño de estructuras	42
Figura 16. Nivel de conocimiento sobre la filosofía sísmica por desempeño	43

Figura 17. Grado de conocimiento en documentos técnicos: ATC-40, FEMA y VISION 2000	44
Figura 18. Nivel de conocimiento en los conceptos generales de la dinámica estructural	46
Figura 19. Grado de conocimiento en el análisis estático no lineal o Pushover	47
Figura 20. Nivel de dominio en el uso de software especializado para diseño de estructuras	48
Figura 21. Interés manifestado en tener la propuesta de implementación del método ATC-40	49
Figura 22. Instrumento utilizado para la observación y recolección de datos	50
Figura 23. Instrumento utilizado para la observación y recolección de datos	51
Figura 24. Instrumento utilizado para la observación y recolección de datos	52
Figura 25. Renderizado del diseño del edificio de oficinas del Grupo MSP	53
Figura 26. Diagrama de Ishikawa mostrando las variables que influyen en la propuesta	54
Figura 27. Plano de conjunto del terreno y del edificio modelado	57
Figura 28. Fachada este del edificio modelado	58
Figura 29. Fachada oeste del edificio modelado	59
Figura 30. Fachada norte del edificio modelado	60
Figura 31. Planta arquitectónica de sótano del edificio modelado	61
Figura 32. Planta arquitectónica 1° nivel del edificio modelado	62
Figura 33. Planta arquitectónica 2° nivel del edificio modelado	63
Figura 34. Planta arquitectónica 3° nivel del edificio modelado	64
Figura 35. Planta arquitectónica 4° nivel del edificio modelado	65
Figura 36. Planta arquitectónica azotea del edificio modelado	66
Figura 37. Determinación del punto de desempeño de prueba del MEC a partir de la aproximación de desplazamientos iguales	71
Figura 38. Representación bilineal del espectro de capacidad (MEC)	73

Figura 39. Punto desempeño obtenido a partir del valor supuesto MEC	74
Figura 40. Espectro elástico de respuesta en formato A-D.....	75
Figura 41. Espectros elásticos de aceleración (gráfico izquierdo) y desplazamiento (derecho)	76
Figura 42. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 1 (ANEXOS)..	87
Figura 43. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columna en pórtico sobre eje 1	88
Figura 44. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 2	88
Figura 45. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 2	89
Figura 46. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 5	89
Figura 47. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 5	90
Figura 48. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 7	90
Figura 49. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 7	91
Figura 50. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 3	91
Figura 51. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 3	92
Figura 52. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 4	93
Figura 53. Dimensiones y refuerzo de pedestal en pórtico sobre eje 4.....	93
Figura 54. Dimensiones y refuerzo de columnas en pórtico sobre eje 4	94
Figura 55. Dimensiones y refuerzo de pedestal 1 en pórtico sobre eje 6.....	94
Figura 56. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 6	95
Figura 57. Dimensiones y refuerzo de pedestal 2 y columna C-1 en pórtico sobre eje 6 .	95
Figura 58. Dimensiones y refuerzo de columnas C-2 y C-3 en pórtico sobre eje 6	96
Figura 59. Distribución en planta de las vigas principales que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel	97
Figura 60. Refuerzo en vigas V-1, V-1a, V-2 y V-2a que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel.....	98
Figura 61. Refuerzo en vigas V-3 y V-3a que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel	99

Figura 62. Refuerzo en vigas V-4 y V-4a que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel (ANEXOS)	100
Figura 63. Refuerzo en vigas V-4b, V-4c y V-5b que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel	101
Figura 64. Refuerzo en viga V-5 que sostiene la losa de entrepiso del 1° nivel	102
Figura 65. Refuerzo en viga V-6 que sostiene la losa de entrepiso del 1° nivel	103
Figura 66. Refuerzo en viga V-7 que sostiene la losa de entrepiso del 1° nivel	104
Figura 67. Refuerzo de viga VS-1.....	105
Figura 68. Refuerzo de viga VS-2.....	106
Figura 69. Planta de Distribución de vigas en 2° nivel.....	107
Figura 70. Refuerzo de vigas V-1 y V-2 en 2° nivel	108
Figura 71. Refuerzo de viga V-3 en 2° nivel	109
Figura 72. Refuerzo de viga V-4 en 2° nivel	110
Figura 73. Refuerzo de vigas V-4a y V-4b en 2° nivel	111
Figura 74. Refuerzo de viga V-5 en 2° nivel	112
Figura 75. Refuerzo de viga VS-1 en 2° nivel	113
Figura 76. Refuerzo de viga VS-2a, VS-1b y VS-2 en 2° nivel.....	114
Figura 77. Distribución en planta de vigas en 3° nivel.....	115
Figura 78. Refuerzo de viga V-1 en 3° nivel	116
Figura 79. Refuerzo de viga V-2 en 3° nivel	117
Figura 80. Refuerzo de viga V-2a y V-3 en 3° nivel.....	118
Figura 81. Refuerzo de viga VS-1 en 3° nivel	119
Figura 82. Refuerzo de viga VS-2 y VS1-a en 3° nivel.....	120
Figura 83. Distribución en planta de vigas en 4° nivel.....	121
Figura 84. Refuerzo en viga V-1 en 4° nivel	122
Figura 85. Refuerzo en viga V-2 en 4° nivel	123

Figura 86. Refuerzo de viga V-2a y V-3 en 4° nivel (ANEXOS)	124
Figura 87. Refuerzo de viga VS-1 en 4° nivel	125
Figura 88. Refuerzo de viga VS-1a y VS-2 (sección 35x45cm) en 4° nivel.....	126
Figura 89. Distribución en planta de vigas de azotea del 4° nivel	127
Figura 90. Refuerzo de viga V-1 en azotea del 4° nivel	128
Figura 91. Refuerzo de viga V-2 en azotea del 4° nivel	129
Figura 92. Refuerzo de vigas V-2a y VS-1 en azotea del 4° nivel	130
Figura 93. Refuerzo de viga VS-2 en azotea del 4° nivel y viga V1-a en cubierta de cubo de gradas y elevadores	131
Figura 94. Distribución en planta de vigas de cubierta de cubo de gradas y elevadores sobre azotea	132
Figura 95. Distribución de vigas doble T en planta del 1° nivel	133
Figura 96. Refuerzo y dimensiones de sección típica de viga doble T	134
Figura 97. Detalle unión de viga principal continua y viga doble T	135
Figura 98. Planta de cimentación del edificio modelado	136
Figura 99. Alzado de cimientos Z-1, Z-2 y Z-3 del edificio modelado	137
Figura 100. Alzado de cimientos Z-4, Z-5 y Z-6 (3.0X3.0m, e=0.60m) del edificio modelado.....	138
Figura 101. Alzado de cimientos Z-7 (2.0X2.0m, e=0.60m) del edificio modelado.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de suelos según clasificación NEHRP y suelos en el Distrito Central	16
Tabla 2. Matriz metodológica	29
Tabla 3. Operacionalización de las variables.....	31
Tabla 4. Conocimiento de la existencia del CHOC	40
Tabla 5. Uso del CHOC u otro código para diseño de estructuras	41

Tabla 6. Nivel de conocimiento sobre la filosofía sísmica por desempeño	43
Tabla 7. Grado de conocimiento en los documentos técnicos: ATC -40, FEMA y VISION 2000	44
Tabla 8. Nivel de conocimiento en los conceptos generales de dinámica estructural	45
Tabla 9. Grado de conocimiento en el análisis estático no lineal o Pushover	46
Tabla 10. Nivel de dominio en el uso de software especializados para diseño de estructuras	47
Tabla 11. Deseo en tener la propuesta de implementación del método ATC -40	48
Tabla 12. Presupuesto aproximado para implementar el método ATC -40	77
Tabla 13. Cronograma de ejecución del método ATC-40	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del cortante basal utilizando el método estático	14
Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de masa modal efectiva	69
Ecuación 3. Cálculo de la aceleración espectral	70
Ecuación 4. Cálculo del desplazamiento espectral	70
Ecuación 5. Cálculo del espectro elástico de desplazamientos	75

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se define el planteamiento del problema objeto de esta investigación, los objetivos que sirvieron de guía para obtener los resultados, finalmente se menciona la justificación del por qué se realizó la presente tesis.

1.1 Introducción

Las estructuras civiles como: edificios, puentes, carreteras, etc. se diseñan para dar su funcionalidad dentro de un periodo de vida útil supuesto, sin embargo, pueden sufrir daños debido a factores humanos como: cambios de uso de la edificación, falta o mantenimiento inadecuado, explosiones, construcciones aledañas, entre otros; también por factores naturales como: huracanes, cambio en las condiciones del suelo y actividad sísmica. Siendo este último el más devastador ya que ha ocasionado a lo largo de la historia grandes pérdidas humanas y materiales, como fallas en los elementos estructurales o inclusive el colapso completo de estructuras. Por tales motivos se han formulado diferentes conceptos y métodos para evaluar el comportamiento estructural o desempeño de las edificaciones ante la ocurrencia de sismos de distintas magnitudes, con el propósito de mejorar la respuesta de las estructuras y así evitar o minimizar los daños.

En esta investigación se analizó y aplicó el método ATC-40 propuesto en el estado de California de E.U.A. en el año 1996 con el objetivo de facilitar los criterios y procedimientos existentes sobre la filosofía de diseño sísmico por desempeño en un edificio de concreto armado que estará ubicado en la ciudad de Tegucigalpa Honduras.

1.2 Antecedentes

Honduras al igual que otros países del mundo es propenso y ha registrado a lo largo de su historia diferentes eventos sísmicos significativos que han ocasionado pérdidas humanas y materiales, por ejemplo en mayo de 2009 se suscitó un terremoto de magnitud 7.1 en la escala de Richter el cual ocasionó la muerte de 7 personas, 136 heridos, severos daños en el edificio, recién construido (en aquel momento) del Poder Judicial en la ciudad de San Pedro Sula y en otras estructuras como: puentes, hospitales, casas, etc. de otras ciudades de la zona norte del país (Paz Morel, 2009). Debido a las muchas catástrofes provocadas por los terremotos es que la ingeniería sísmica a nivel mundial ha realizado diferentes estudios e investigaciones en los últimos 67 años con el afán de analizar, entender y predecir la respuesta o el comportamiento de las estructuras ante los movimientos del suelo y así formular mejores métodos de evaluación y diseño para que las edificaciones puedan resistir las fuerzas sísmicas probables según su ubicación geográfica y reducir las pérdidas tanto humanas como materiales.

1.3 Definición del problema

1.3.1 Enunciado del problema

Muchos edificios en Honduras se han diseñado y construido considerando normas y criterios técnicos norteamericanos elaborados hace más de 23 años, en el año 2000 la comisión técnica nombrada por el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH) publicó la primera versión del actual Código Hondureño de la Construcción y fue aprobado como ley de la República en 2010. La filosofía de diseño sísmico de dicho código se basa en la norma estadounidense llamada Uniform Building Code (UBC) publicado en 1994, en el cual predomina el criterio de resistencia, cuyo objetivo es que las estructuras no colapsen al momento de ocurrir un sismo, sin

embargo la norma hondureña actualmente no contiene criterios para medir o cuantificar el nivel de daño que se puede generar si la edificación es sometida a fuertes intensidades sísmicas, a diferencia de los actuales códigos estadounidenses que si contemplan criterios para utilizar la filosofía de diseño por desempeño.

Cuando ocurrió el 17 de enero de 1994 el terremoto devastador de Northridge en Estados Unidos, muchas edificaciones diseñadas con criterios sismo resistentes de esa época no colapsaron, pero su comportamiento estructural no fue el deseado, generándose grandes daños y pérdidas materiales. Pensando en el contexto hondureño, específicamente en el Distrito Central de Francisco Morazán, no se conoce cuál sería el nivel de daño o desempeño de muchos edificios al momento de ocurrir eventos sísmicos de diferentes magnitudes, lo cual pone en duda la seguridad y durabilidad de los mismos, pudiendo en cualquier momento resultar en un peligro para las personas y generarse grandes daños materiales.

1.3.2 Formulación del problema

La normativa técnica vigente del país tiene criterios técnicos limitados para diseñar y evaluar sísmicamente por desempeño (basado en la metodología ATC-40 y otros) las estructuras nuevas y existentes ante la ocurrencia de sismos de distintas magnitudes.

¿Es factible aplicar el método ATC-40 o la filosofía por desempeño para diseñar y evaluar sísmicamente las edificaciones en el Distrito Central?

1.3.3 Preguntas de investigación

¿Cuál sería la alternativa más viable para la aplicación del método ATC-40?

¿Cuáles son los factores que limitan o potencian la aplicación del método ATC-40 en un edificio determinado?

¿Qué ventajas proporcionaría el método ATC-40 en el planteamiento de un programa de reforzamiento estructural?

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Facilitar la implementación de los criterios técnicos y procedimientos para evaluar el comportamiento estructural o desempeño de una edificación diseñada de concreto reforzado ante un evento sísmico, mediante la aplicación del método ATC-40, para proponer con mayor fundamento un plan de reforzamiento estructural.

1.4.2 Específicos

- a) Identificar los factores que limitan y potencian la aplicación del método ATC-40 en un edificio de concreto reforzado
- b) Analizar los datos, criterios y experiencias afines que se encuentran en los documentos técnicos más relevantes sobre el diseño sísmico por desempeño
- c) Proponer la aplicación del método ATC-40 en un proyecto de diseño de una edificación de concreto reforzado que estará ubicada en Tegucigalpa y en base a los resultados obtenidos sugerir un plan de reforzamiento para la estructura, en caso de necesitarlo

1.5 Justificación

La probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos significativos que puedan ocasionar pérdidas de vidas humanas y serios daños materiales tanto en bienes como en las edificaciones es un riesgo latente en Honduras, por eso es importante conocer los conceptos y métodos planteados por otros investigadores para evaluar el desempeño de las edificaciones ante dicho fenómeno de la naturaleza, conocer su nivel de vulnerabilidad y analizar cuáles son los aspectos que reducen o mejoran un comportamiento estructural aceptable y así proponer, en caso de ser necesario, con mayor fundamento un reforzamiento adecuado para minimizar los posibles daños que se pueden presentar. Además, los métodos de evaluación sísmica por desempeño son muy útiles cuando se desea analizar el comportamiento sísmico de estructuras que fueron o serán sujetas a cambios de uso o función distinto al considerado en su diseño inicial.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describe la situación actual de la ingeniería sísmica por desempeño tanto en el ámbito internacional, como en la norma de construcción hondureña, se explican algunos conceptos de dicha filosofía, se mencionan datos sísmicos de la capital del país, las teorías de sustento y las metodologías que se utilizaron en esta investigación, las cuales fueron aprendidas durante el transcurso del programa de maestría.

2.1 Análisis de la situación actual

2.1.1 Análisis del macro entorno

Uno de los fenómenos naturales más impredecible y devastador que puede causar grandes pérdidas de vidas humanas, materiales y daños en las estructuras son los eventos sísmicos, por esos motivos en los últimos sesenta años se han hecho importantes avances y se siguen realizando numerosas investigaciones para analizar, evaluar y predecir la respuesta de las estructuras ante los eventos sísmicos (Bolaños Tauma, 2015). Porque el objetivo último de todo diseño o evaluación estructural es salvar las vidas de las personas que se encuentran dentro de una edificación.

Los países desarrollados como Estados Unidos de Norteamérica, han sido pioneros en la realización de estudios sobre amenaza sísmica, los cuales han servido de base para la elaboración de los códigos de diseño y construcción sismo resistente (Guardiola, 2010). Los códigos y normas más relevantes en relación al diseño y evaluación sísmica por desempeño son:

Visión 2000. Publicado en 1995 por la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, en Estados Unidos (SEAOC por sus siglas en inglés) y su aplicabilidad en la rehabilitación de

estructuras existentes y el diseño de nuevas. En la fig. 1 se muestra los niveles de desempeño para edificios de variada importancia, como: edificios de importancia básica, esencial, peligrosos y de seguridad crítica. En el eje vertical se observan los niveles de sismo de diseño (o niveles de peligrosidad) y en el eje horizontal los niveles de desempeño, para cada uno de estos niveles se tienen extensas tablas con la descripción del daño para variados componentes y sistemas estructurales.

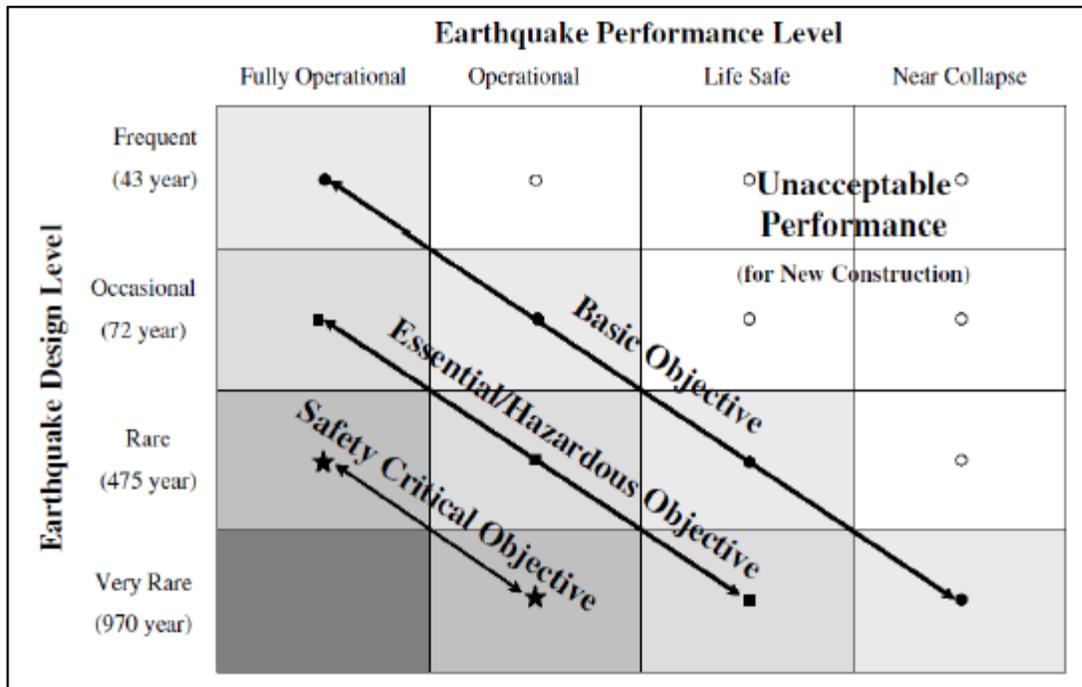


Figura 1. Objetivos de desempeño para edificios con diferentes tipos de importancia

Fuente: (SEAOC Seismology Committee, 1996).

FEMA 273 y 356. Publicado en 1996 y año 2000 respectivamente por la Agencia Federal de administración de Emergencias (FEMA siglas en Inglés) con el propósito de rehabilitar edificios, el marco conceptual es similar al de Visión 2000, asocia niveles de desempeño con niveles de peligro; pero los niveles de peligrosidad sísmica son distintos (50/50, 20/50, 10/50 y 2/50) y define los niveles de desempeño como operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso.

ATC 40. El estado de California por medio del Applied Technology Council (ATC) comisionó el desarrollo de guías para la evaluación sísmica y reparaciones para estructuras de concreto armado, mismas fueron publicadas en 1996. Similar a Vision 2000, su implementación depende de la capacidad de predecir demandas sísmicas, como las derivas de los pisos y rotación de rótulas. Al igual que para los reportes FEMA, el análisis estático no lineal (Pushover), se recomienda como un método de elección de los ingenieros estructurales. La predicción del objetivo de desplazamiento se basa en el método del espectro de capacidad; la curva del pushover (cortante en la base vs desplazamiento en el techo), se convierte en una curva de capacidad equivalente a un sistema de un grado de libertad, y de la intersección de esta curva con un espectro de respuesta modificado, se obtiene el punto de desempeño (ver fig. 2 y 3). (Castro Bueno, 2016, pp. 11-12)

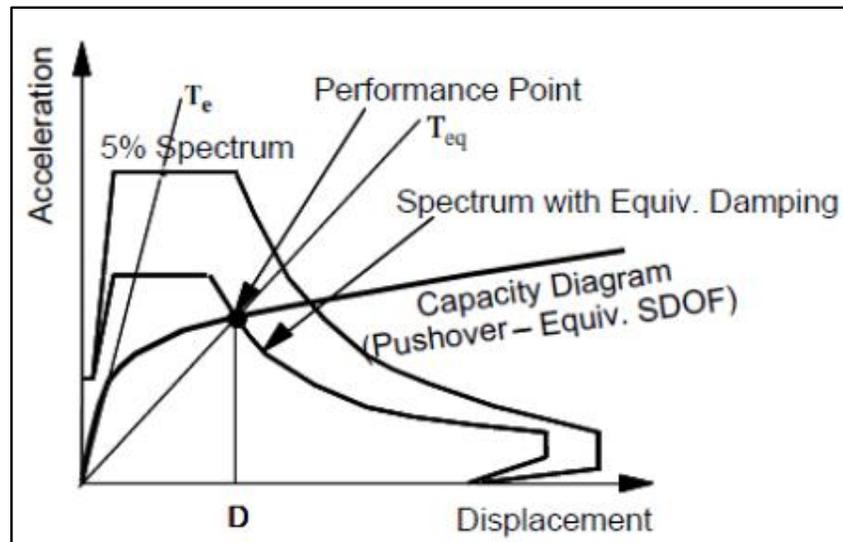


Figura 2. Gráfico del método espectro de capacidad

Fuente: (ATC-40, 1996, p. 8-23).

Carrillo (2008) afirma: el propósito de esta metodología no solo es evitar el colapso de la estructura, sino también poder evaluar la funcionalidad de la estructura después de presentarse desplazamientos importantes y los posibles daños en elementos estructurales y no estructurales para así estimar los costos de reforzamiento o rehabilitación. Una de las ventajas de esta filosofía de diseño es una mejor estimación de la demanda en términos de rigidez, resistencia y ductilidad de las estructuras en comparación con el método convencional de diseño basado en resistencia. Existen dos técnicas para determinar el desempeño sísmico de estructuras existentes o para diseñar nuevas, estas son: el espectro de capacidad y el método directo basado en desplazamientos. (p. 91)

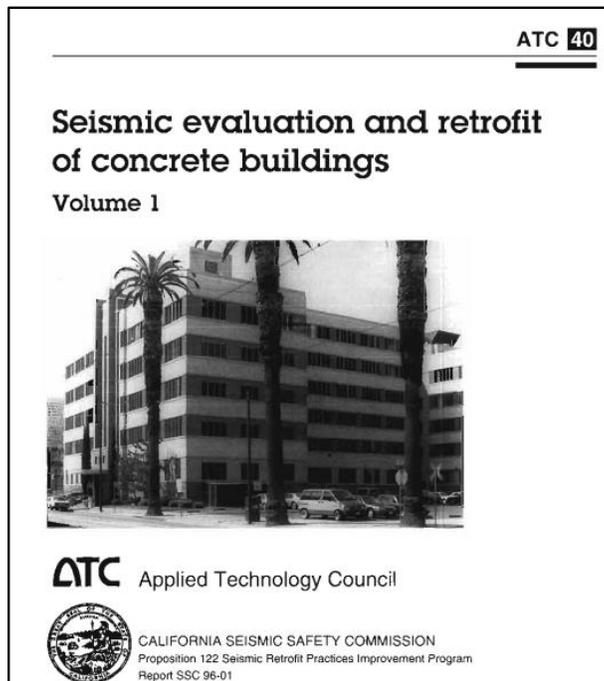


Figura 3. Portada del reporte ATC-40

Fuente: (ATC-40, 1996).

En otras palabras, el diseño basado en el desempeño sísmico consiste en la selección de esquemas de evaluación apropiados que permitan el dimensionado y detalle de los componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de manera que para unos niveles de movimiento del terreno determinados y con ciertos niveles de fiabilidad, los daños en las estructuras no deberán superar ciertos estados límites. La ingeniería basada en el desempeño no sólo involucra aspectos relacionados con el diseño, también considera todas aquellas actividades necesarias tanto para el proceso constructivo, como para las tareas de mantenimiento, que permiten que las estructuras exhiban un desempeño sísmico predecible cuando se ven afectadas por sismos de diferente severidad, según menciona el comité VISION 2000.

El desempeño se cuantifica en términos de la cantidad de daño en un edificio afectado por

un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento. Este concepto no es sólo aplicable a edificios, sino que puede ser extendido a todo tipo de estructuras e incluso a sus componentes no estructurales y contenidos (Bertero, 1997).

En la fig. 4 se describe en términos generales el procedimiento de la ingeniería sísmica basada en desempeño.

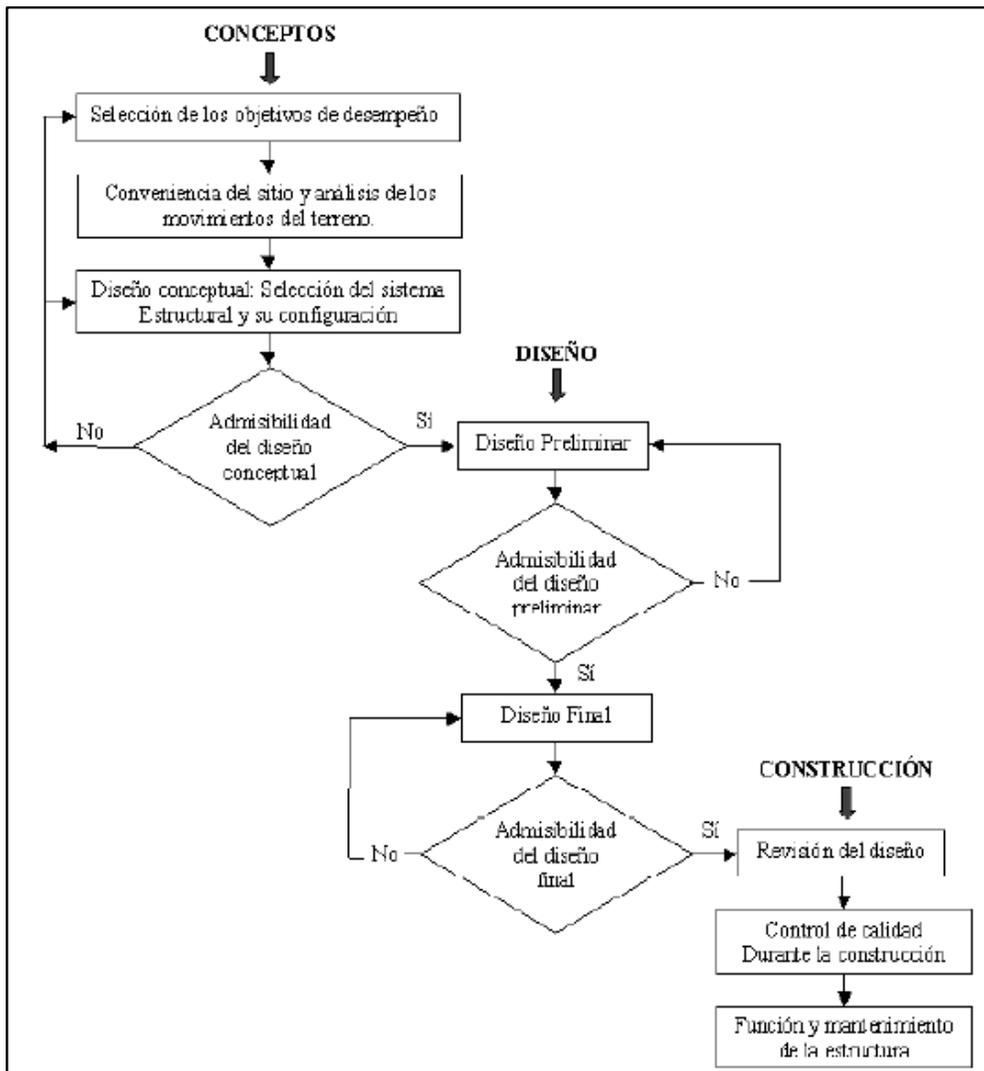


Figura 4. Marco conceptual de la ingeniería basada en Desempeño sísmico

Fuente: (SEAOC Seismology Committee, 1996).

Además Castro Bueno (2016) menciona que las investigaciones en la ingeniería sísmica basada en desempeño han continuado, teniendo algunas modificaciones, incluidas en los reportes más recientes como:

- ATC 55. Publicado en 2005 como FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static – seismic Analysis Procedures
- ATC 62. Publicado en 2009 como FEMA P440A Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response
- ATC 63. Publicado en 2009 como FEMA P695 Quantification of Building Seismic Performance Factors
- FEMA P-750 NEHRP. Publicado en 2009 como Recommended Seismic provisions for new Building and Other Structures
- y el ASCE / SEI 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings publicado en 2014

2.1.2 Análisis del micro entorno

Como menciona Guardiola (2010) en su informe de evaluación del riesgo sísmico en el Distrito Central: en Honduras se han realizado varios estudios para evaluar la amenaza sísmica y en general han concluido que el territorio nacional es propenso a sufrir movimientos fuertes del terreno. En algunas zonas del país, los niveles de amenaza se comparan con los de otras zonas de alta actividad sísmica de la región americana. Esto es así en la zona pacífica próxima a la zona de subducción de América Central, donde la Placa del Coco subduce bajo la Placa del Caribe y en la zona del Caribe, próxima al límite entre las Placas Caribe y norteamericana. (p. 17)

El primer estudio de amenaza sísmica para Honduras fue realizado por Kiremidjian *et al.* (1979) y al igual que en estudios posteriores, se encontró que la amenaza más alta se encuentra en el suroeste del país, alcanzándose valores de hasta 0.55 g en Choluteca para 475 años de período de retorno.

En 1998, en la Universidad de Bergen, en Noruega, José Jorge Escobar presentó un estudio de Amenaza sísmica para Honduras. En el año 2000 se realizaron dos estudios independientes de la amenaza sísmica a nivel nacional: uno por Cáceres y Kulhanek (2000) y otro por Cruz *et al.* (2000). (Guardiola, 2010, p. 5)

Honduras cuenta desde el año 2000 con una normativa, publicada como ley por el Congreso Nacional en diciembre de 2010, llamada Código Hondureño de la Construcción (CHOC, ver fig.5), el cual rige el cálculo de: cargas vivas, viento y sismo (basado en el Uniform Building Code, UBC de 1994), diseño y construcción de las estructuras de concreto reforzado (basado en el ACI-318-95), postensado, acero, mampostería, madera, cimentaciones y muros de retención dentro del país. En dicho documento se propone para los cálculos de las fuerzas sísmicas, utilizar un factor de zona sísmica “Z”, es decir las aceleraciones pico del suelo, las cuales fueron calculadas con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Guardiola, 2010), las mismas varían dependiendo de la región del país donde esté la estructura, esto puede verse en las fig. 6 y 7. El código hondureño contiene dos métodos de análisis para cuantificar las fuerzas sísmicas: estático y dinámico.

Dichos métodos o procedimientos de cálculo se basan en la filosofía de diseño sísmico por resistencia ya que el CHOC no contempla los conceptos de diseño por desempeño. El método estático es un procedimiento conservador, da como resultado la magnitud numérica total del cortante en la base (representado con la letra “ V ” en la ecuación 1) de la edificación, el cual es un porcentaje del peso total de la estructura (W), dicho porcentaje depende de los siguientes parámetros: factor de importancia según la función del edificio (I), factor de zona sísmica (Z) que se obtiene del mapa mostrado en la fig. 7, el factor de ductilidad global (R_w) establecido en una tabla del código, depende del sistema estructural utilizado, la altura total del edificio (h_n), el coeficiente de suelo (S) establecido por el CHOC, el cual depende del tipo de suelo donde estará

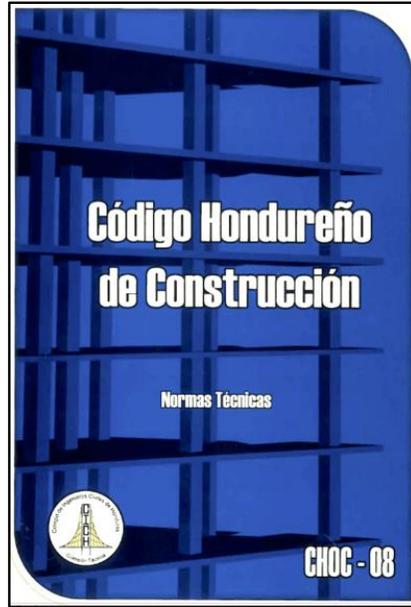


Figura 5. Portada del Código Hondureño de la Construcción (CHOC)

Fuente: (CHOC, 2008).



Figura 6. Mapa de aceleraciones pico del suelo en Honduras

Fuente: (Benito & Torres, 2009).

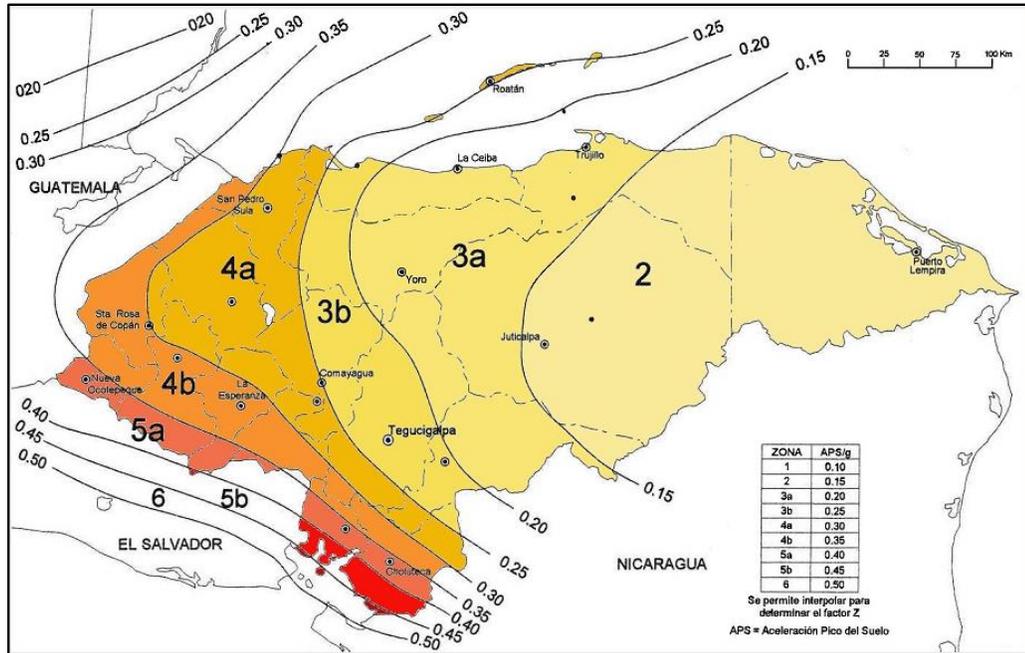


Figura 7. Mapa de aceleraciones pico del suelo en Honduras

Fuente: (CHOC, 2008).

cimentado el edificio. Con el valor de la altura (h_n) y el coeficiente del sistema estructural utilizado (C_i) se obtiene el período aproximado de la estructura, operando este último y el coeficiente del suelo (S) resulta el coeficiente “C” que se muestra en la ecuación 1. (CHOC, 2008)

$$V = \frac{Z I C}{R_w} W$$

Ecuación 1. Cálculo del cortante basal utilizando el método estático

Fuente: (CHOC, 2008)

El método dinámico hace uso del espectro de respuesta para el diseño de edificios sismo resistentes modelados como un sistema discreto con masas concentradas a cada nivel de la estructura. El espectro de respuesta deberá ser multiplicado por el factor de zona “Z” y dividido por el factor de ductilidad global “ R_w ”. Estas curvas de espectro especificadas por el CHOC (2008) han sido elaboradas con un 5% de amortiguamiento. Este método es un análisis por superposición modal y en consecuencia las respuestas modales son combinadas entre sí, es válido siempre que la estructura

se mantenga en un comportamiento lineal estático, sin embargo, para terremotos muy fuertes, la estructura puede deformarse en el rango inelástico produciéndose deformaciones plásticas y daño estructural. (Torre, 2016, pp. 73 & 77)

Los dos métodos antes mencionados en el código hondureño: estático y dinámico para el cálculo de las fuerzas sísmicas laterales son válidos siempre que el comportamiento o la respuesta de la estructura se mantenga dentro del rango elástico. Sin embargo, si la edificación incursiona en la etapa inelástica se utilizan otros dos procedimientos: análisis dinámico no lineal y análisis estático no lineal. El primero es poco utilizado en la práctica debido a su complejidad, siendo más utilizado el análisis estático no lineal. Para determinar el punto de desempeño, o también llamado punto de demanda de desplazamiento de una estructura cuando se ve sometida a un movimiento sísmico, se disponen de los siguientes tres métodos: *a*). el Método del Espectro de Capacidad (MEC), *b*). el Método del Coeficiente de Desplazamiento (MCD) y *c*). el Método N2 (MN2) (Bonett Diaz, 2003).

La identificación del punto de desempeño permite entender mejor el comportamiento de una estructura sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad, también resulta útil para el diseño de nuevas estructuras, para la rehabilitación de estructuras existentes y para el análisis de vulnerabilidad y daño sísmico, además puede ser de gran ayuda para incrementar los niveles de seguridad a un bajo costo (Bonett Diaz, 2003).

2.1.3 Análisis interno

El Distrito Central, la capital de Honduras conformada por las ciudades gemelas de Tegucigalpa y Comayagüela se encuentra sobre una meseta rodeado por varios cerros y cordilleras,

la topografía del terreno es irregular por lo que muchas edificaciones están construidas sobre taludes o pendientes pronunciadas, existen edificios con varios niveles, la mayoría son de tipo residencial y comercial de uno o dos niveles y construidas con distintas tipologías constructivas como: adobe, ladrillo o bloque sin refuerzo, madera, bloque o ladrillo reforzado y concreto armado. Según el informe de Evaluación de Riesgo Sísmico en el Distrito Central publicado en 2010, en el Distrito se pueden encontrar las siguientes clases de suelo: suelo muy denso, roca blanda, suelo rígido y suelos blandos (ver tabla 1).

Tabla 1. Relación de suelos según clasificación NEHRP y suelos en el Distrito Central

Clase de Suelos NEHRP	Descripción de clase de suelo	Tipo de suelo Honduras
1	Roca Dura	Inexistente en Honduras
2	Roca	Inexistente en el DC
3	Suelo muy denso y Roca blanda	Qb, algunos Tpg
4	Suelo Rígido	Ti, Tpp, JKhg y Tm
5	Suelo Blando	Ti, Qa, Qe, Tpl, Kvc y Kvv

Fuente: (Guardiola, 2010, p. 25).

Se hace mención de las clases de suelo presentes en Tegucigalpa y Comayagüela porque las investigaciones han demostrado que los suelos blandos amplifican las fuerzas sísmicas y los suelos más rígidos disminuyen su intensidad. Según el mapa de isoaceleraciones pico del suelo mostrado en la fig. 7 el Distrito se encuentra en la zona 3b, sensible a moderado riesgo sísmico, cuyo rango de aceleración oscila entre los 0.20 g a 0.25 g. Según concluye el informe de evaluación de riesgo sísmico antes mencionado, dentro de la capital se encuentran muchas edificaciones vulnerables y propensas a sufrir severos daños ocasionados por eventos sísmicos, principalmente

las viviendas ubicadas en los barrios y colonias más pobres, donde habitan personas con pocos ingresos, ya que utilizan tipologías constructivas poco resistentes a fuerzas sísmicas como el adobe y ladrillo o bloque no reforzado (Guardiola, 2010).

2.2 Teorías

2.2.1 Teorías de sustento

2.2.1.1 Teoría de la plasticidad

Dicha Teoría corresponde a la disciplina de la Física que estudia el estado de un cuerpo deformado irreversiblemente, constituyendo la continuación de la bien establecida "Teoría de la Elasticidad". La Teoría de Plasticidad tiene como punto de partida los resultados experimentales sobre el comportamiento macroscópico de materiales sometidos a deformación, principalmente metales. Los objetivos fundamentales de la Teoría son: *a*). proveer de una descripción de las relaciones esfuerzo-deformación para un material que se encuentra en estado elastoplástico, que explique en la forma más aproximada posible los resultados experimentales, *b*). desarrollar técnicas de solución para la consecución de la distribución de esfuerzos en cuerpos permanentemente deformados.

En definitiva, el comportamiento plástico de un material está caracterizado por una deformación, en parte irreversible. independiente del tiempo, que comienza a plantearse sólo cuando se ha conseguido un cierto "nivel de esfuerzo" determinado, nivel que puede variar con el estado de deformación inicial del material, de acuerdo con los resultados experimentales (efecto Bauschinger y endurecimiento por deformación). Es importante mencionar brevemente las hipótesis planteadas en las teorías de plasticidad más comunes: *a*). Isotropía del material, es decir

las propiedades no varían con la dirección, b). Incompresibilidad debido a las deformaciones plásticas, es decir no hay cambio de volumen como consecuencia de las deformaciones plásticas y c). las deformaciones elásticas son pequeñas comparadas con las deformaciones plásticas. Existen varias teorías sobre plasticidad y es mayor la cantidad de maneras de aplicarlas en los distintos problemas (Alarcón Álvarez & Doblaré Castellano, 1979).

En la fig. 8 se muestran diferentes curvas esfuerzo-deformación que modelan el comportamiento de dos materiales: A). material elástico no lineal y plástico, B). Plasticidad ideal y C). Plasticidad con endurecimiento por deformación.

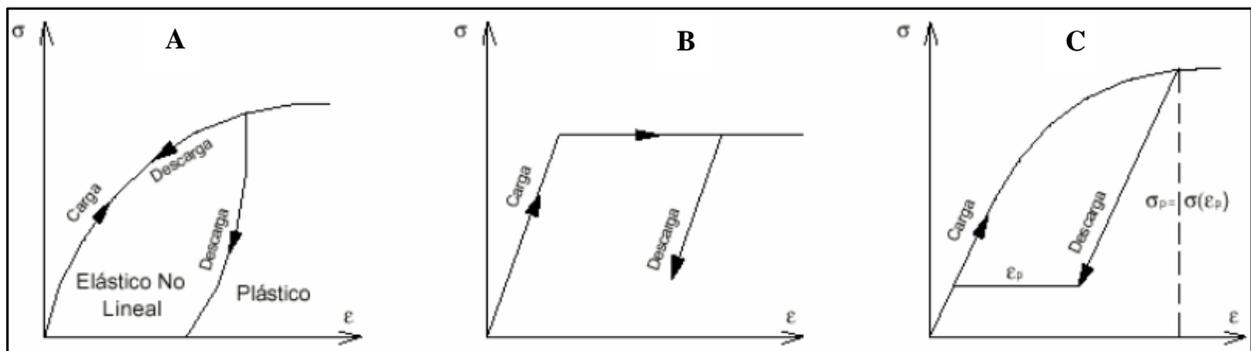


Figura 8. Diagramas de la relación esfuerzo-deformación

Fuente: (Mroginski, Di Rado, Beneyto, & Awruch Armando, 2006).

El estudio científico de la plasticidad en metales comenzó en 1864. En ese año Tresca publicó un conjunto de experimentos sobre perforación y extrusión que le condujeron a formular que un metal fluye plásticamente cuando la máxima tensión tangencial alcanza un cierto valor “k”, constante para cada material, representado por la expresión $\tau_{\max} \leq k$ el estado elástico. Criterios para sólidos, específicamente en suelos, fueron propuestos previamente por Coulomb (1731) y

aplicados por Poncelet (1840) y Rankine (1853) a problemas tales como el cálculo de la presión del suelo sobre muros de contención. Sin embargo, estos criterios no tenían aplicación a metales, sino hasta 1872 cuando Tresca publicó una importante cantidad de experimentos y resultados presentados en sus "Memorias de Flujo" y "Memorias de Perforación". Uno de sus principales descubrimientos para metales fue que existe una región intermedia de endurecimiento plástico entre el límite elástico y la región de fluencia, entre otros. Como se ve todos ellos son resultados fundamentales en la teoría de Plasticidad y bases de desarrollos posteriores.

El criterio de Tresca fue aplicado por Saint-Venant para determinar las tensiones en un cilindro parcialmente plastificado sujeto a torsión o flexión (1870). Saint-Venant también desarrolló un conjunto de 5 ecuaciones de campo para relacionar tensiones y deformaciones en un flujo plástico bidimensional. Paralelamente Johann Bauschinger realizaba una serie de experimentos sobre la variación del límite elástico y límite de fluencia en función del tiempo y de los ciclos de carga y descarga, que fueron publicados de 1875 a 1886, el más importante fue presentado en 1877. Bauschinger no dedujo el efecto principal, es decir, la bajada del límite elástico en la segunda carga, ahora conocido como "efecto Bauschinger" sin embargo, su trabajo constituye uno de los pilares fundamentales de la Teoría de Plasticidad. En 1925 se realizó la primera aplicación efectiva de las teorías de plasticidad a un proceso tecnológico por Von Karman, que analizó el estado de tensiones en laminación. En el año siguiente Siebel aplicó las mismas teorías al estirado.

Seguido se mencionan los aportes principales a la teoría de plasticidad en el siglo veinte: la publicación del famoso libro de Hill en 1950, la aparición del ordenador produjo una explosión

en la Teoría en dos aspectos a). resolución de problemas con métodos numéricos, y ampliaciones de las teorías iniciales en problemas y materiales complejos como el hormigón y el suelo, las tesis doctorales computacionales en plasticidad de Marcal y Swedlow y el trabajo realizado por Mendelson, también se destacan los nombres de Hinton, Owen, Zienkiewicz y Oden en la aplicación del método de los elementos finitos al campo plástico, de Swedlow y Mendelson en aspectos computacionales generales y aplicaciones a casos complicados, al grupo de Cambridge (Roscoe, Smith, Wroth) por sus aportes en la ampliación de la Teoría, así como Caquot (curva de resistencia intrínseca), Desai, Mroz y Prevost en la aplicación de la Teoría a los suelos, a Chen en el campo del hormigón, y Phillips en cuanto a la influencia de la temperatura en la plastificación, también los ensayos de Briggs y Von Karman en el comportamiento de rocas y finalmente los esfuerzos de Cruse, Banerjee y Brebbia en la introducción del método numérico de las ecuaciones integrales de contorno a plasticidad en la década de los años 70 (Alarcón Álvarez & Doblaré Castellano, 1979).

2.2.1.2 Respuesta no lineal del material

La forma de la curva esfuerzo-deformación depende del material y de las condiciones del ensayo. Sin embargo, cuando la carga es aplicada y removida lentamente, ciertas características de la curva esfuerzo-deformación son similares para todos los materiales estructurales. Si la carga es pequeña, la relación entre esfuerzo y deformación es linealmente elástica; es decir, una línea recta (línea discontinua en la fig. 9). Cuando la carga es aumentada a un valor grande, la recta esfuerzo-deformación se vuelve curva o no lineal y dependiendo de la respuesta del material ante la condición de carga y descarga esta puede clasificarse como: elástica, plástica, viscoelástica, viscoplástica o fractura. Si la trayectoria de descarga coincide con la trayectoria de carga, el

proceso es reversible y se dice que el material es elástico (fig. 9a). Si la trayectoria de descarga sigue la trayectoria de carga, se dice que el comportamiento es inelástico. Un material que se comporta de manera plástica no regresa a un estado sin deformación después de liberar la carga (fig. 9b).

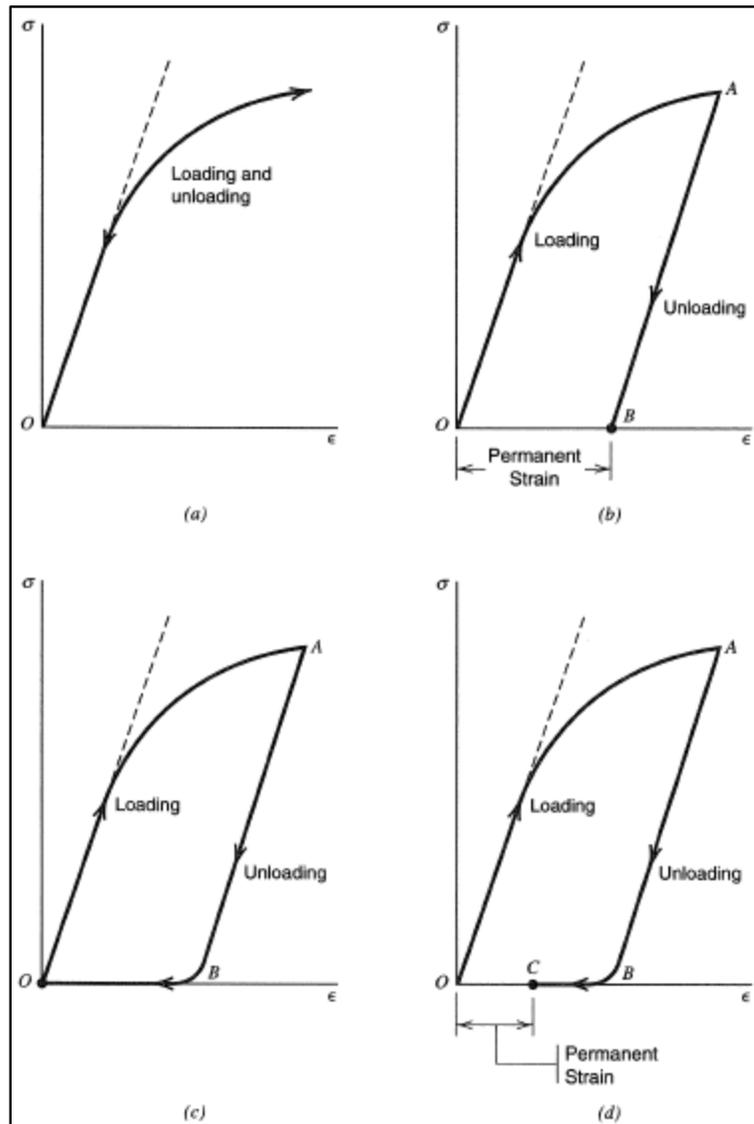


Figura 9. Diferentes curvas esfuerzo-deformación ante la carga y descarga

Fuente: (Boresi, Schmidt, & Sidebottom, 1993, p. 117).

Si después de remover la carga, la respuesta del material sigue cambiando con el tiempo, se dice que su respuesta es viscoelástica o viscoplástica. Al retirar la carga, la respuesta esfuerzo-deformación de un material viscoelástico sigue una trayectoria (AB, fig. 9c) que es diferente de la ruta de carga, pero con el tiempo, después de la descarga completa, el material regresará a un estado sin deformación (a lo largo de la trayectoria BO, fig. 9c). Asimismo, la respuesta de descarga inicial de un material viscoplástico (AB, fig. 9d) es diferente de su respuesta de carga, y después de completar la descarga, la respuesta también cambiará con el tiempo, sin embargo, permanecerá cierta deformación permanente [OC, fig. 9d] (Boreasi et al., 1993).

2.2.1.3 Comportamiento del concreto reforzado bajo cargas cíclicas y dinámicas

El comportamiento sísmico de las estructuras aporricadas de hormigón armado, depende principalmente de su ductilidad. La distribución del refuerzo longitudinal y transversal y el confinamiento en los elementos del sistema estructural, influyen considerablemente en la forma de los ciclos histeréticos. La fig. 10 muestra el comportamiento dúctil sin pérdida de resistencia que presentan las vigas doblemente reforzadas y con un buen confinamiento. El caso opuesto, corresponde a una viga sin confinamiento, que presenta pérdida de resistencia y degradación de rigidez (ver fig. 11). Por lo tanto, es indispensable elegir con cuidado el modelo matemático de curvas de histéresis que refleje los detalles de una construcción concreta, como los métodos propuestos por Park (1973) y Otani (1981). (...) Diferentes investigadores han confirmado que los diafragmas de piso y las vigas laterales tienen un efecto considerable sobre el comportamiento histerético de estas estructuras (Dowrick, 1997). (Bonett Diaz, 2003, p. 143)

Se ha observado también que la selección apropiada del sistema resistente de cargas, es esencial para un buen desempeño de la estructura sometida a cualquier tipo de acción dinámica. Para ello, es necesario hacer un seguimiento cuidadoso en los procesos de análisis, diseño, detallado y construcción. No obstante, se ha podido comprobar que, si un sistema estructural está

mal concebido desde sus inicios, la atención extra en el análisis y detallado no mejora significativamente su desempeño sísmico. Esta observación, es particularmente apropiada para el

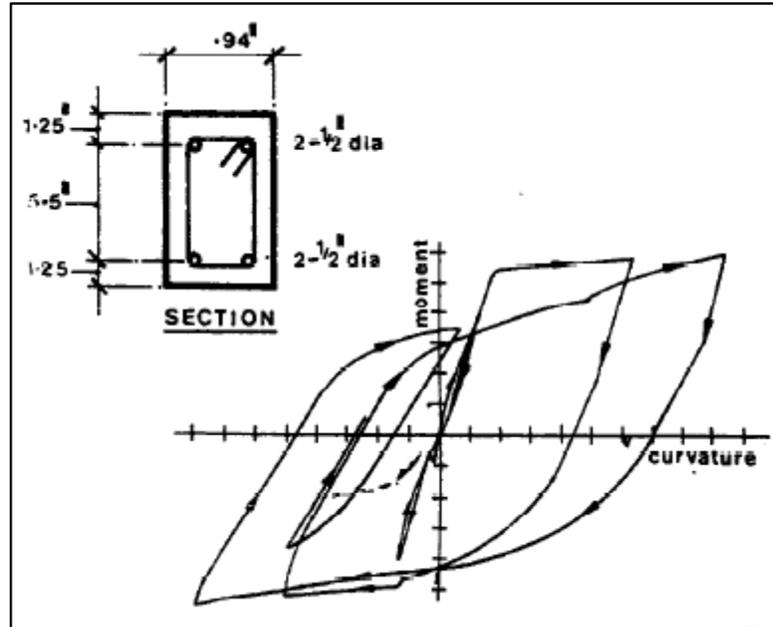


Figura 10. Curvas de histéresis esfuerzo-deformación de una viga de concreto reforzado sometida a carga cíclica

Fuente: (Park, Priestley, & Gill, 1982).

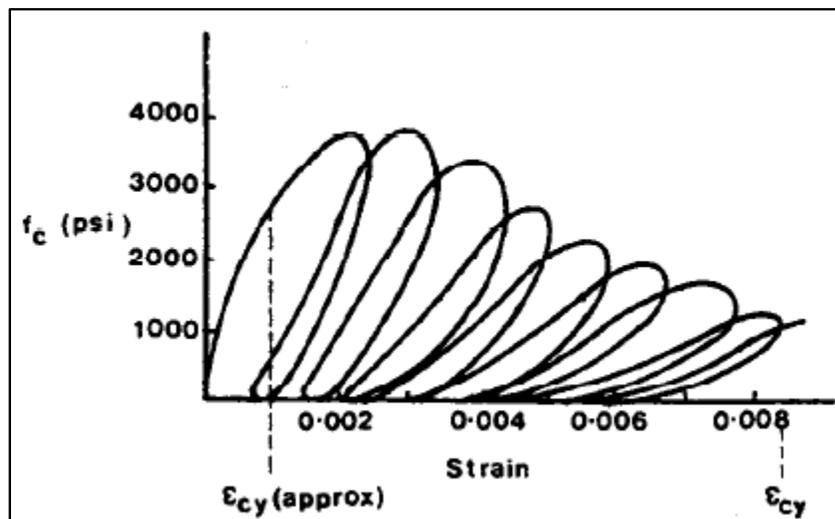


Figura 11. Curvas esfuerzo-deformación para un elemento de concreto sin confinar sometido a carga cíclica

Fuente: (Sinha, Gerstle, & Tulin, 1964).

diseño sismo resistente, donde la intensidad y la orientación de las cargas, son altamente inciertas. Las estructuras que tienen una distribución simple, regular, continua y con un sistema resistente a cargas laterales redundante, presentan un buen desempeño durante los movimientos sísmicos. Por el contrario, sistemas estructurales complejos que introducen incertidumbres en el análisis y en el detallado, o que cuentan con un sistema de transmisión de cargas no redundante, pueden conducir a un comportamiento no deseado de la estructura.

Debido a que el costo de reparación es la primera medida del buen desempeño de una estructura que ha sobrevivido a un sismo, el control del daño es esencial. En los últimos años, se ha detectado que los daños producidos en los elementos no estructurales representan un gran porcentaje de las pérdidas económicas producidas por los sismos. Adicionalmente, el fallo de estos elementos, en muchas ocasiones ha producido una gran cantidad de heridos y víctimas mortales. Existen varios casos, en los que la mayoría de los daños se han concentrado en elementos arquitectónicos y en los contenidos. Por tanto, es indispensable mejorar los procedimientos de diseño para poder garantizar el buen desempeño de estos elementos (Bonett Diaz, 2003).

2.2.2 Conceptualizaciones

Capacidad Estructural: “es la representación de la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas. Dependen de la capacidad de resistir esfuerzos y deformaciones para cada elemento individual, ejemplo: vigas, columnas, paredes, etc.” (Guardiola, 2010, p. 11).

Demanda sísmica: “(o espectro de respuesta reducido) es la representación del movimiento del suelo, se determina usando los códigos de diseño de los espectros y los

espectros de respuesta de los movimientos del suelo registrados” (Guardiola, 2010, p. 11).

Espectro: “son los valores máximos o picos de la respuesta estructural, fuerza restitutiva, el desplazamiento o la aceleración para todo un grupo de estructuras de igual periodo y amortiguamiento” (Mosqueira Moreno, 2012, p. 128).

Peligro Sísmico: “es la probabilidad de ocurrencia de un sismo, dentro de un período específico, en una determinada localidad o zona” (Kuroiwa, Pacheco, & Pando, 2010, pp. 57-59).

Riesgo Sísmico: “es la estimación o evaluación del costo de pérdidas de vidas, de daños a los bienes materiales, a la propiedad y económica, durante un periodo específico y en un área determinada que puede causar un sismo” (Kuroiwa et al., 2010, p. 64).

Vulnerabilidad sísmica: “es el grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un sismo” (Kuroiwa et al., 2010, p. 64).

Punto de desempeño: es la intersección gráfica entre las curvas del espectro de capacidad de una estructura y el espectro de demanda sísmica, es donde la capacidad y la demanda se igualan, permitiendo estimar la respuesta máxima de la edificación, la cual servirá de base para compararla con el nivel de desempeño esperado (Mosqueira Moreno, 2012).

Carga cíclica: “se denomina (...) aquél proceso en el que se alcanza un esfuerzo (o deformación) determinada en carga, se produce la descarga hasta llegar a un esfuerzo diferente repitiéndose el proceso” (Alarcón Álvarez & Doblaré Castellano, 1979, p. 193).

Análisis Pushover: es un análisis estático incrementado para determinar la relación entre fuerza y desplazamiento o la curva de capacidad para una estructura o elemento estructural. Este involucra la aplicación de carga horizontal al modelo de la estructura siguiendo un patrón, se grafica la fuerza cortante total aplicada y el desplazamiento lateral asociado en cada incremento, hasta que la edificación llegue al estado límite o a la condición de colapso (ATC-40, 1996).

2.3 Metodologías aplicadas

A continuación, se explican dos metodologías utilizadas en esta investigación para alcanzar los objetivos planteados y la solución de la problemática expuesta. Mismas que fueron estudiadas y aplicadas durante el desarrollo de la maestría.

2.3.1 Análisis y diseño estructural automatizado

Gracias a los avances en la computación y la informática se han podido desarrollar muchas aplicaciones, herramientas y software profesionales especializados en los diferentes campos de la ciencia y la ingeniería con el propósito de facilitar los cálculos, análisis, diseños y dar solución a problemas complejos reduciendo así el tiempo de trabajo, disminuyendo la posibilidad de cometer errores y aumentando la eficiencia y eficacia. Antes de dominar dichas herramientas de cómputo, primero es necesario conocer con bastante grado de precisión las hipótesis y teorías sobre las cuales se basan los algoritmos de cálculo de los programas computacionales para dar correctamente al software los datos de entrada e interpretar los resultados que este proporciona. También es muy importante desarrollar un buen criterio estructural, esto se logra: teniendo una formación y actualización teórica de manera permanente, con el ejercicio serio y responsable de la profesión y

finalmente con el intercambio profesional de conocimientos y criterios con otros especialistas con experiencia.

Actualmente se cuenta con muchos programas computacionales para el análisis y diseño de estructuras, sin importar el software que se utilice en todos ellos se realizan los siguientes pasos: modelación de la geometría de la estructura y sus elementos, modelación de los materiales, modelación de los apoyos, modelación de las cargas y modelación de la masa (Negrin Hernández, 2007).

2.3.2 Método de elementos finitos aplicado a las estructuras

El método de los elementos finitos se ha convertido en una de las más importantes y útiles herramientas de ingeniería para ingenieros y científicos. Para analizar un sistema de ingeniería, se desarrolla un modelo matemático para describir el sistema. Al desarrollar el modelo matemático, algunas suposiciones son simplificadas. Finalmente, se desarrolla la expresión matemática gobernante para describir el comportamiento del sistema. La expresión matemática suele consistir en ecuaciones diferenciales y condiciones dadas.

Estas ecuaciones diferenciales suelen ser muy difíciles de obtener soluciones que explicar el comportamiento del sistema de ingeniería dado. Con el advenimiento del alto rendimiento de las computadoras, se ha hecho posible resolver estas ecuaciones diferenciales. Varias técnicas de solución numérica han sido desarrolladas y aplicadas para resolver numerosos problemas para encontrar sus soluciones aproximadas. Especialmente, el método de elementos finitos ha sido una de las principales técnicas de solución numérica. Uno de las ventajas principales del método de

elementos finitos es que una computadora de uso general programa se puede desarrollar fácilmente para analizar diversos tipos de problemas. En particular, cualquier forma compleja del dominio del problema con las condiciones prescritas se puede manejar utilizando el método de elementos finitos.

El método de elementos finitos requiere la división del dominio del problema en muchos sub-dominios y cada subdominio se llama un elemento finito. Por lo tanto, el problema Dominio consiste en muchos parches de elementos finitos (Kwon & Hyochoong, 1997).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este capítulo contiene los diferentes métodos que se utilizaron en la investigación, los instrumentos, técnicas y procedimientos para recolectar los datos, la población, la muestra seleccionada, las variables consideradas y las limitaciones de este estudio.

3.1 Congruencia Metodológica

Tabla 2. Matriz metodológica

Tema	Problema	Pregunta de Investigación	Objetivos		Variables	
			General	Específicos	Independientes	Dependiente
ALTERNATIVA EFICIENTE PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO	La normativa técnica vigente del país tiene limitados criterios técnicos para diseñar y evaluar sismicamente por desempeño (basado en la metodología ATC-40 y otros) las estructuras nuevas y existentes ante la ocurrencia de sismos de distintas magnitudes.	¿Es factible aplicar el método ATC-40 o la filosofía por desempeño para diseñar y evaluar sismicamente las edificaciones del Distrito Central?	Facilitar la implementación de los criterios técnicos y procedimientos para evaluar el comportamiento estructural o desempeño de una edificación diseñada de concreto reforzado ante un evento sísmico, mediante la aplicación del método ATC-40, para proponer con mayor fundamento un plan de reforzamiento estructural.	a).- Identificar los factores que limitan y potencian la aplicación del método ATC-40 en un edificio de concreto reforzado b).- Analizar los datos, criterios y experiencias afines que se encuentran en los documentos técnicos más relevantes sobre el diseño sísmico por desempeño c).- Proponer la aplicación del método ATC-40 en un proyecto de diseño de una edificación de concreto reforzado en Tegucigalpa y en base a los resultados obtenidos proponer un plan de reforzamiento para la estructura, en caso de necesitarlo	a). Uso de los códigos de diseño y construcción tanto nacionales como extranjeros b). Grado de conocimiento sobre la metodología ATC-40 o diseño por desempeño c). Nivel de conocimiento en los conceptos de dinámica estructural d). Grado de dominio en el manejo de software o programas computacionales especializados para análisis y diseño de estructuras	Implementación del método ATC-40

3.1.1 Variables de estudio

Se establecieron las siguientes variables independientes para esta investigación:

- a) Uso de los códigos de diseño y construcción tanto nacionales como extranjeros
- b) Grado de conocimiento sobre la metodología ATC-40 o diseño por desempeño
- c) Nivel de conocimiento en los conceptos de dinámica estructural
- d) Grado de dominio en el manejo de software o programas computacionales especializados para análisis y diseño de estructuras

Todas las variables anteriores influyen o afectan a la variable dependiente, la cual es la implementación del método ATC-40 en un edificio de concreto reforzado.

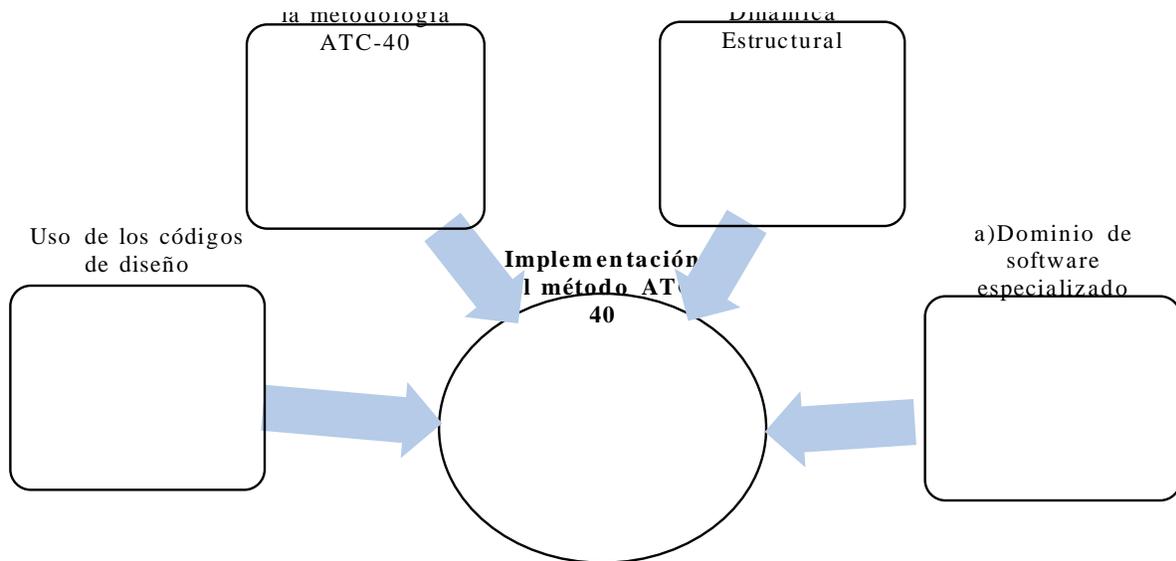


Figura 12. Variables independientes que afectan a la variable dependiente

3.1.2 Operacionalización de las variables

Tabla 3. Operacionalización de las variables

Variables Independientes	Definición		Dimensión	Indicador	Ítem	Unidades (categorías)	Escala
	Conceptual	Operacional					
Uso de los códigos de diseño	Los códigos son guías que dan requisitos específicos para una buena práctica del diseño y construcción de estructuras. en algunos países tienen un carácter legal y oficial (Nilson, 2001)	Saber usar el código nacional o extranjero para diseñar o evaluar una estructura	Existencia del CHOC	Conoce Sí, no	¿Ha escuchado o sabe algo sobre el Código Hondureño de la Construcción (CHOC)?	Si No	1 2
			Uso de algún código para diseñar o evaluar estructuras	Utiliza Sí, no	¿Ha utilizado el CHOC o algún código de otro país para realizar diseños o evaluaciones estructurales para una empresa, persona o para fines académicos?	Si No	1 2
Conocimiento de la metodología ATC-40	dicha metodología consiste en la comparación de la demanda sísmica versus la resistencia sísmica, obtener el punto de desplazamiento y compararlo con el nivel de desempeño de la estructura (Mosqueira Moreno, 2012)	Conocimientos generales sobre la filosofía de diseño y evaluación sísmica por desempeño planteada en el informe del ATC-40 y otros documentos relacionados	Conceptos generales	Nivel de Conocimiento	¿Qué tanto ha escuchado o leído sobre la filosofía de diseño o evaluación sísmica por desempeño?	Nada poco Intermedio mucho	1 2 3 4
			Lectura de documentos específicos	Nivel de conocimiento	¿Qué tanto ha leído o escuchado sobre alguno de los siguientes documentos técnicos: ATC-40, FEMA 273, 356 ó VISION 2000?	Nada poco Intermedio mucho	1 2 3 4

Continuación de tabla 3. Operacionalización de las variables

Variables Independientes	Definición		Dimensión	Indicador	Ítem	Unidades (categorías)	Escala
	Conceptual	Operacional					
Conocimiento de la metodología ATC-40			Conocimiento del Pushover	Nivel de conocimiento	¿Qué tanto conoce sobre el análisis estático no lineal o también llamado “pushover”?	Nada Poco Intermedio mucho	1 2 3 4
Conocimiento en Dinámica Estructural	La dinámica estructural se enfoca en la cinética que estudia la relación entre las fuerzas que actúan en la masa de un cuerpo causándole un movimiento (Torre, 2016)	Conocer los conceptos: periodo de la estructura, modos de vibración, espectro de respuesta, cálculo de fuerzas sísmicas, análisis no lineal	Conceptos básicos de la dinámica estructural	Nivel de conocimiento	¿Qué nivel de conocimiento tiene en general sobre los conceptos de la dinámica estructural (ejemplo: período de la estructura, modos de vibración, espectro de respuesta, cálculo de fuerzas sísmicas, análisis no lineal de la estructura)?	No sé nada Conozco poco Intermedio Conozco bastante	1 2 3 4
Dominio de software especializado	Son los programas computacionales especializados en el análisis y diseño de estructuras	Manejo de software para realizar análisis y diseño de estructuras	Software como: StaadPro, Etabs, SAFE, etc.	Nivel de dominio	¿Qué nivel de dominio tiene en uno o varios programas computacionales para análisis y diseño de estructuras?	Nada lo básico nivel medio avanzado	1 2 3 4

Continuación de tabla 3. Operacionalización de las variables

Variable dependiente	Definición		Dimensión	Indicador	Ítem	Unidades (categorías)	Escala
	Conceptual	Operacional					
Implementación del método ATC-40	Aplicación de la metodología del ATC-40 en un caso específico de un edificio de concreto reforzado	Descripción de cada uno de los pasos para aplicar el método ATC-40 en un edificio seleccionado	Aplicación	Interés del encuestado	¿Le interesaría tener un documento que le explique cómo hacer diseños o evaluaciones de edificios desde el punto de vista sísmico y así tener mejores criterios para reforzar una estructura?	Si No	1 2

3.1.3 Hipótesis

A mayor conocimiento y aplicación del método ATC-40 mejores fundamentos para proponer un programa de reforzamiento.

3.2 Enfoque y métodos

Esta investigación fue de tipo no experimental, clasificada por su alcance como explicativa porque relaciona causas y efecto, domina el enfoque cuantitativo, porque se utilizaron métodos numéricos y estadísticos para poder evaluar la veracidad de la hipótesis y por los resultados numéricos que se obtuvieron de la modelación de la estructura. Se aplicaron los siguientes métodos:

- Analítico, porque se analizaron datos y resultados obtenidos de la simulación de la estructura en el software de análisis
- Sintético, porque en el marco teórico se colocó mucha información de manera sintética y porque se hizo una síntesis de este estudio
- Deductivo, porque se deducen o plantean conclusiones en base a los resultados obtenidos
- Histórico, porque se consultaron e investigaron diferentes fuentes bibliográficas elaborados en el transcurso de varios años
- Explicativo, porque se expusieron conceptos y principios relacionados al tema de investigación
- Descriptivo, porque se detallaron las características estructurales del edificio, así como los conceptos, principios y teorías que sustentan la investigación
- Predictivo, porque se analizó cual sería el comportamiento futuro de la edificación ante un evento sísmico específico

3.3 Diseño de la investigación

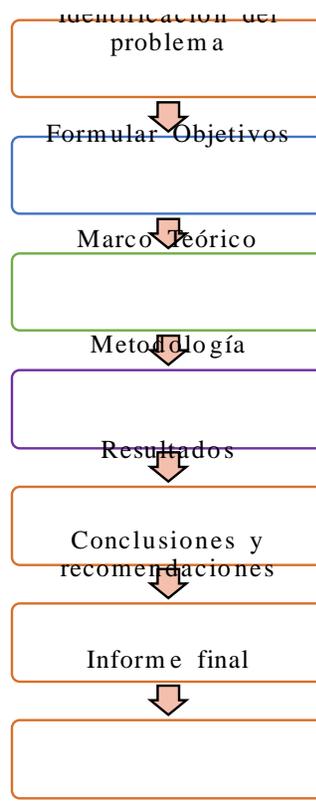


Figura 13. Etapas de la presente investigación

3.3.1 Población

Este estudio se enfocó específicamente en el ámbito estructural de la ingeniería civil, por tanto la población de estudio son los ingenieros civiles que se dedican o estudian el área de las estructuras. Actualmente el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH) no tiene un registro de cuantos ingenieros son estructuralistas o se dedican a dicha área.

Para la aplicación de la metodología del ATC-40 se consideró como universo de estudio todos los edificios de concreto reforzado existentes y por construir que se encuentran dentro del Distrito Central de Francisco Morazán, según el informe sobre riesgo sísmico elaborado por

Guardiola en 2010, en ese momento se tenían una cantidad aproximada de 4,159 edificaciones, exceptuando del conteo las viviendas y casas.

3.3.2 Muestra

Debido a las dificultades para contactar a la mayoría de especialistas en estructuras que se encuentran en el país, el muestreo empleado fue no probabilístico de tipo por conveniencia, seleccionándose para aplicar la encuesta 19 ingenieros civiles de los cuales unos pocos son especialistas en estructuras y la mayoría de encuestados fueron estudiantes de la maestría en estructuras de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).

Para la implementación del método del ATC-40 se seleccionó un edificio ya diseñado que se construirá en la ciudad de Tegucigalpa y perteneciente al grupo de empresas Midence Soto Pierrefeu. El edificio tiene una altura total de 20.55 metros medidos desde el nivel de la acera de la calle hasta el nivel de losa terminada del cubo de elevadores y escaleras de emergencia, tiene cuatro niveles para oficinas más un sótano para estacionamiento de vehículos, las dimensiones generales del edificio en planta a partir del 2° nivel son 23.40 metros de largo por 18.70 metros de ancho. En los resultados y anexos se presentaron más datos de la estructura.

3.3.3 Unidad de Análisis

Son los ingenieros civiles que trabajan o estudian en el área estructural. También es el edificio que se analizó y cada uno de los elementos estructurales que lo componen como: vigas, columnas y losas.

3.3.4 Unidad de respuesta

Son: unidades, porcentajes, metros, kilogramos fuerza y milímetros.

3.4 Instrumentos, técnicas y procedimientos aplicados

3.4.1 Instrumentos

Se diseñó un formato para recolección de los datos observados en campo y de los planos de distintas edificaciones, el cual fue de gran utilidad para la modelación del edificio analizado. También se utilizó como instrumento un cuestionario con una serie de preguntas cerradas y abiertas aplicado en la técnica de la encuesta para evaluar el nivel de conocimiento en ciertos aspectos de los ingenieros estructuralistas o estudiantes del área estructural. Finalmente se utilizó como instrumento un programa computacional llamado Etabs elaborado por la empresa Computers and Structures Inc. para modelar la estructura de la muestra del caso de estudio.

3.4.2 Técnicas

Las técnicas de investigación para recolección de datos que se aplicaron fueron:

1. la observación de los datos de campo y contenidos en los planos de la estructura
2. la encuesta con preguntas enfocadas en las variables de la investigación
3. La simulación fue empleada para modelar el edificio de estudio (ingresando la información contenida en los planos usando el instrumento de observación) en el software Etabs y usando varias herramientas que posee dicho programa aplicar la metodología del ATC-40.

3.4.3 Procedimiento

El instrumento de la observación se aplicó en 5 edificios ubicados en las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela, la encuesta se aplicó de manera electrónica, por medio del teléfono celular a 19 profesionales de la ingeniería civil especialistas y estudiantes de posgrado del área de estructuras. Y para la modelación de la estructura se recolectaron los datos contenidos en los planos proporcionados por la empresa propietaria del diseño de la edificación.

3.5 Fuentes de información

3.5.1 Fuentes primarias

Datos observados en campo y en los planos, encuesta, datos del estudio geotécnico del terreno donde será construido el edificio, resultados del programa computacional Etabs.

3.5.2 Fuentes secundarias

Como fuentes secundarias se utilizaron: libros, artículos de revistas, informes técnicos y tesis doctorales.

3.6 Limitantes del estudio

Una de las principales limitantes de esta investigación fue el corto tiempo ya que solo se contó con 10 semanas para desarrollar los cinco capítulos contenidos en este documento. Otra limitante fue en la aplicación del método del ATC-40, solamente se analizó un edificio de concreto reforzado cuyo único sistema estructural resistente a cargas laterales era marcos rígidos en dos direcciones, es decir no se consideró edificios con diferentes sistemas estructurales como las

edificaciones que incorporan muros de cortante. Además, en la aplicación del método del espectro de capacidad no se evaluó el desempeño sísmico de los elementos no estructurales ni del contenido del edificio. No se hizo un análisis del desempeño sísmico de la cimentación de la estructura y el código nacional CHOC no contempla un sismo de diseño como los códigos de otros países.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos antes descritos. También se describe la propuesta de implementación del método ATC-40 en un edificio diseñado de concreto reforzado y que no ha sido construido.

4.1 Resultados de la encuesta

Con el objetivo de conocer los factores que limitan o potencian la implementación del método ATC-40, se procedió con la aplicación de una encuesta dirigida a profesionales de la ingeniería civil especialista en el área estructural y a estudiantes de la maestría en estructuras. Seguido se presenta el resumen de la información analizada para cada pregunta de la encuesta.

1. ¿Ha escuchado o sabe algo sobre el Código Hondureño de la Construcción (CHOC)?

Tabla 4. Conocimiento de la existencia del CHOC

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Sí	18	94.7%
No	1	5.3%
Total	19	100%

Según se aprecia en la tabla 4 y fig. 14 de todos los encuestados el 94.7% conoce la normativa oficial CHOC que regula el diseño y construcción de estructuras en el país, este hallazgo impacta positivamente en la implementación del método ATC-40 porque para su aplicación es necesario utilizar los parámetros contenidos en el código hondureño, como por ejemplo los factores de zona sísmica (ver fig. 7) cuyos valores dependen de la región dentro de Honduras donde está o estará construida la edificación, determinando dicho valor se calcula el espectro de respuesta,

el cual es fundamental para la aplicación del método ATC-40. La tendencia observada en los profesionales en relación a conocer la existencia de la normativa hondureña es creciente porque resultó un porcentaje alto (94.7%), y además después varios años (desde diciembre de 2010) que fue publicado el CHOC como ley del país se ha difundido mucho en las universidades y en el ámbito laboral, por tanto se concluye que en la medida que se conozca la normativa hondureña y se aplique correctamente resultará en mejores prácticas de diseño y construcción de estructuras en el país y también beneficia la aplicación del método ATC-40.

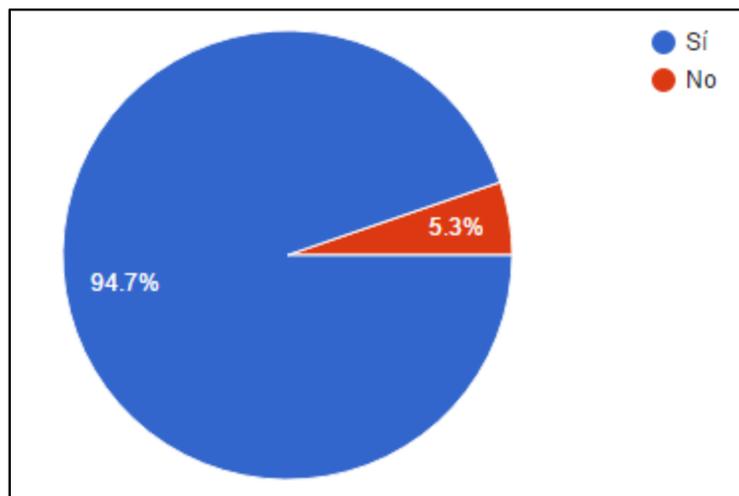


Figura 14. Conocimiento de la existencia del CHOC

2. ¿Ha utilizado el CHOC o algún código de otro país para realizar diseños o evaluaciones estructurales para una empresa, persona o para fines académicos?

Tabla 5. Uso del CHOC u otro código para diseño de estructuras

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Sí	19	100%
No	0	0%
Total	19	100%

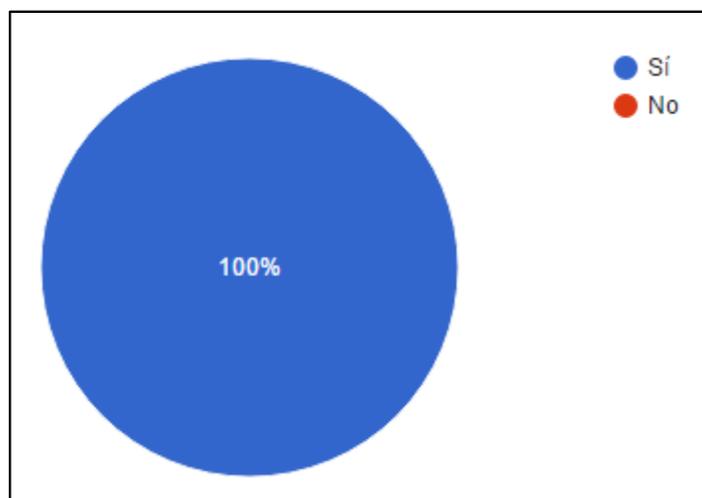


Figura 15. Uso del CHOC u otro código para diseño de estructuras

Como se observa en la fig. 15 y tabla 5 el 100% de todos los encuestados ha utilizado el CHOC u otra normativa extranjera para realizar diseños y/o evaluaciones estructurales, esto fue un hallazgo positivo para esta investigación porque denota por parte de los ingenieros encuestados, conocimiento y práctica en el uso del CHOC u otro código de otros países y se aprecia una tendencia en aumento porque resultó un porcentaje alto. Concluyendo, el hallazgo encontrado impactó positivamente en la investigación porque en la medida que los profesionales orientados a las estructuras conozcan y realicen diseños o evaluaciones utilizando las normativas técnicas podrán implementar más fácilmente los métodos basados en la filosofía sísmica por desempeño como la propuesta por el ATC-40.

3. ¿Qué tanto ha escuchado o leído sobre la filosofía de diseño o evaluación sísmica por desempeño?

Tabla 6. Nivel de conocimiento sobre la filosofía sísmica por desempeño

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Nada	2	10.5%
Poco	5	26.3%
Intermedio	9	47.4%
mucho	3	15.8%
Total	19	100%

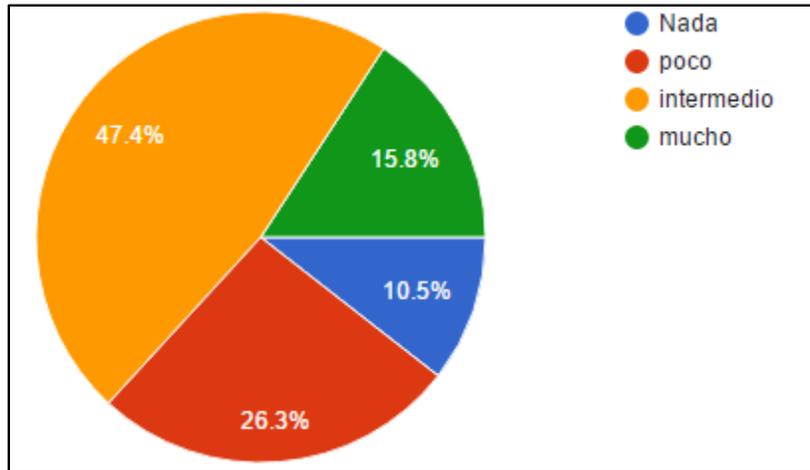


Figura 16. Nivel de conocimiento sobre la filosofía sísmica por desempeño

El objetivo de esta pregunta fue saber el nivel de conocimiento de los encuestados en relación a la filosofía de diseño y evaluación sísmica de estructuras por desempeño, la cual es la base del método ATC-40 y representa el tema de esta investigación, como se aprecia en la tabla 6 y fig. 16 casi la mitad un 47.4% tiene un conocimiento medio sobre la temática y un 15.8% ha leído o sabe mucho sobre el tema y por el contrario un 36.8% conoce poco o nada al respecto. Las respuestas de la pregunta planteada impactan positivamente en la aplicación del método ATC -40 porque la mayoría (63.2%) conoce o maneja varios conceptos sobre la temática, se puede ver una tendencia ascendente a conocer a un nivel intermedio o avanzado. Se concluyó favorecedor para esta investigación que la mayoría de los profesionales encuestados denotaron tener ideas y conocer

a un nivel medio sobre las bases conceptuales del método ATC-40 porque así se facilita su comprensión y por ende su implementación.

4. ¿Qué tanto ha leído o escuchado sobre alguno de los siguientes documentos técnicos: ATC-40, FEMA 273, 356 ó VISION 2000?

Tabla 7. Grado de conocimiento en los documentos técnicos: ATC-40, FEMA y VISION 2000

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Nada	7	36.8%
Poco	8	42.1%
Intermedio	4	21.1%
mucho	0	0%
Total	19	100%

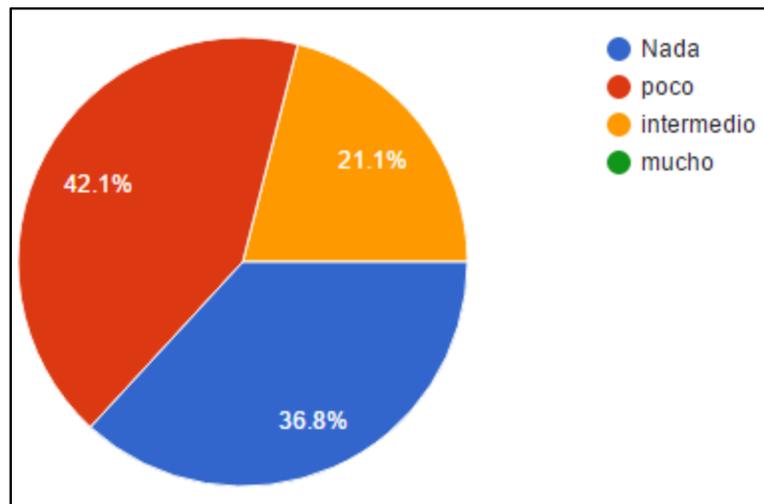


Figura 17. Grado de conocimiento en documentos técnicos: ATC-40, FEMA y VISION 2000

Según los resultados mostrados en la tabla 7 y fig. 17 el 36.8% de los encuestados no ha leído ninguno de los documentos más relevantes que plantean las bases y aplicación de la metodología de la filosofía de diseño y evaluación sísmica por desempeño, un 42.1% ha leído poco

y la minoría un 21.1% ha leído medianamente alguno de los tres documentos mencionados. El hallazgo afecta negativamente en la implementación del método ATC-40 porque denota en la mayoría desconocimiento para su aplicabilidad, sin embargo, se ve la necesidad de dar a conocer más sobre dichos informes técnicos, justificando la importancia de esta investigación. La tendencia claramente es en aumento al desconocimiento de los reportes técnicos ATC-40, FEMA 273, 356 y VISION 2000. A manera de conclusión la mayoría (un 78.9%) no podrían implementar la metodología planteada en el documento del ATC-40, porque no han leído o conocen poco sobre lo explicado en dicho informe.

5. ¿Qué nivel de conocimiento tiene en general sobre los conceptos de la dinámica estructural (ejemplo: período de la estructura, modos de vibración, espectro de respuesta, cálculo de fuerzas sísmicas, análisis no lineal de la estructura)?

Tabla 8. Nivel de conocimiento en los conceptos generales de dinámica estructural

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Nada	0	0%
Poco	2	10.5%
Intermedio	11	57.9%
mucho	6	31.6%
<i>Total</i>	<i>19</i>	<i>100%</i>

En la tabla 8 y fig. 18 se aprecia que un 57.9% de los encuestados manifestó conocer a un nivel intermedio los conceptos principales de la dinámica estructural y un 31.6% maneja bastante dichos términos, y solo una minoría representado por el 10.5% sabe poco. La tendencia se espera sea creciente ya que en todos los programas de maestría orientados a las estructuras tienen contemplado al menos una clase de dinámica y además en clases posteriores se aplican los conceptos mencionados como el cálculo de las fuerzas sísmicas. Se concluye que el resultado

obtenido, en el cual la mayoría (un 89.5%) expresó tener conocimiento sobre los temas principales de la dinámica estructural, influye positivamente en la implementación del método ATC-40 porque para su aplicación es necesaria la comprensión de los conceptos dinámicos más importantes.

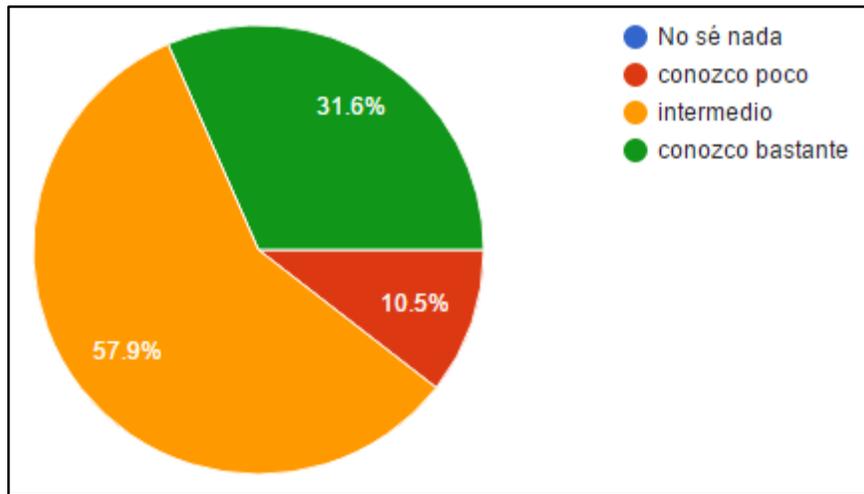


Figura 18. Nivel de conocimiento en los conceptos generales de la dinámica estructural

6. ¿Qué tanto conoce sobre el análisis estático no lineal o también llamado “pushover”?

Tabla 9. Grado de conocimiento en el análisis estático no lineal o Pushover

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Nada	1	5.3%
Poco	10	52.6%
Intermedio	8	42.1%
mucho	0	0%
Total	19	100%

Otro concepto muy importante para lograr la implementación del método ATC-40 es saber qué es un análisis estático no lineal o pushover y cómo utilizarlo correctamente. Según los resultados mostrados en la tabla 9 y fig. 19 el 42.1% se menciona conocer a nivel intermedio acerca del análisis pushover, en cambio la mayoría un 52.6% dice conocer poco del tema y un 5.3% no

sabe nada al respecto. Aparentemente la tendencia en los ingenieros estructurales y estudiantes es en aumento a conocer poco sobre el tema, concluyendo en un impacto negativo en la aplicabilidad del método ATC-40 porque es de vital importancia conocer dicho análisis y utilizarlo.

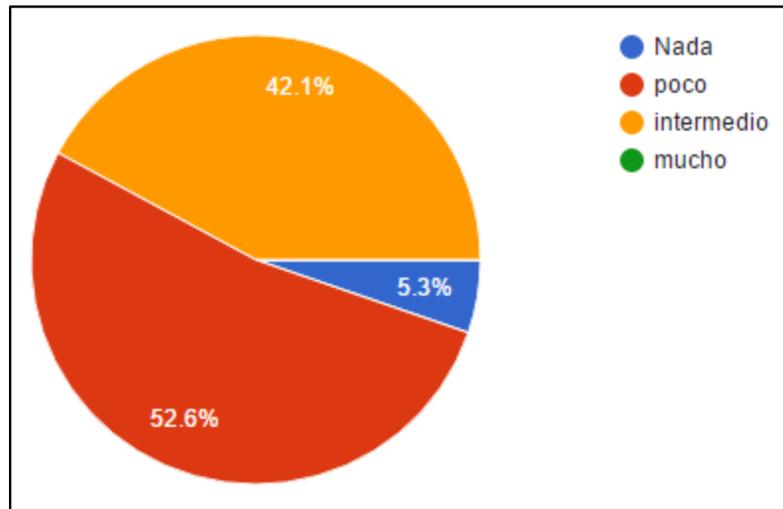


Figura 19. Grado de conocimiento en el análisis estático no lineal o Pushover

7. ¿Qué nivel de dominio tiene en uno o varios programas computacionales para análisis y diseño de estructuras?

Tabla 10. Nivel de dominio en el uso de software especializados para diseño de estructuras

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Nada	0	0%
Poco	4	21.1%
Intermedio	9	47.4%
mucho	6	31.6%
Total	19	100%

En la tabla 10 y fig. 20 se observa que el 47.4% respondió tener un dominio intermedio en uno o varios programas computacionales especializados para estructuras y un 31.6% tiene un nivel

avanzado. Como puede verse la tendencia es creciente a que los estructuralistas conozcan y utilicen a nivel intermedio y avanzado los software para análisis y diseño de estructuras. Concluyendo el hallazgo resultó ser positivo para la implementación del método ATC-40, porque la mayoría (un 79%) pueden utilizar programas computacionales para análisis y diseño de estructuras, facilitándose así la ejecución de los diversos cálculos que requiere la metodología.

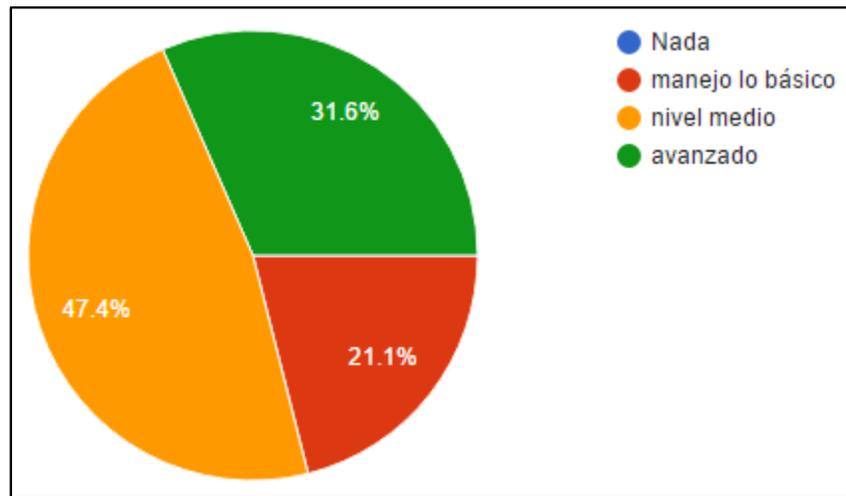


Figura 20. Nivel de dominio en el uso de software especializado para diseño de estructuras

8. ¿Le interesaría tener un documento que le explique cómo hacer diseños o evaluaciones de edificios desde el punto de vista sísmico y así tener mejores criterios para reforzar una estructura?

Tabla 11. Deseo en tener la propuesta de implementación del método ATC-40

<i>Descripción</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Sí	18	94.7%
No	1	5.3%
<i>Total</i>	<i>19</i>	<i>100%</i>

Con esta pregunta se evaluó qué tanto interés tuvieron los estructuralistas y estudiantes de la especialidad en estructuras en tener un documento como la propuesta de esta tesis para conocer más sobre el método ATC-40 y su aplicabilidad. El hallazgo fue que el 94.7% está interesado en la propuesta de esta tesis y se ve una tendencia creciente en dicha respuesta. Concluyendo existe un interés alto por parte de los profesionales encuestados en conocer más sobre el tema de diseño y evaluación sísmica por desempeño, aplicando la metodología ATC-40.

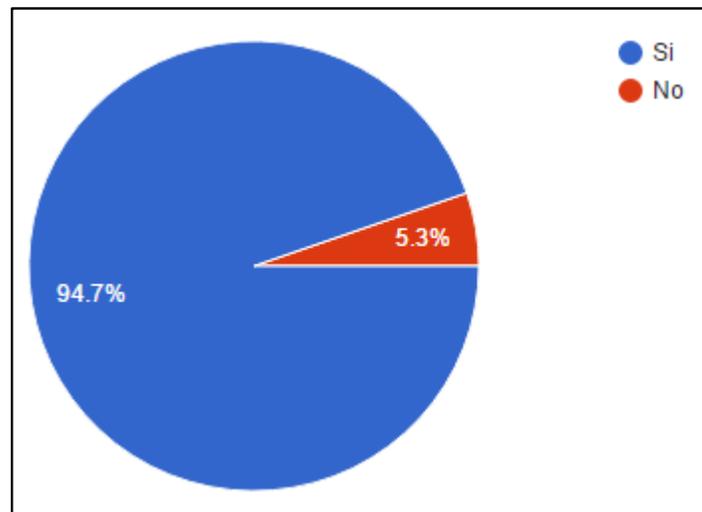


Figura 21. Interés manifestado en tener la propuesta de implementación del método ATC-40

4.2 Resultados del instrumento de observación

Las fig. 22-24 muestran las páginas del instrumento de observación diseñado con el propósito de recolectar en campo datos importantes de los edificios y facilitar su modelación en el programa Etabs. La primera hoja contiene la información general de la edificación, los nombres y contacto de las personas encargadas de la estructura, por ejemplo, jefes de mantenimiento, entre

otros; ya que en la primera inspección pueden olvidarse observar y apuntar algunos detalles, no obstante, teniendo el contacto pueden ser consultados fácilmente.

INSTRUMENTO DE OBSERVACIÓN PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA ESTRUCTURA	
Nombre inspector: Alder Joel Núñez	
Fecha de inspección: 17/May/17	
Datos generales:	
Nombre del edificio: Nuevo edificio de oficinas centrales del Grupo MSP	
Propietario: Grupo Medence Soto Pierefeu	
Ubicación: Tegucigalpa colonia Lara,	
Coordenadas: 14.104088 -87.180413	
Nombres de las personas entrevistadas: Arq. Juan Roberto Barajas correo: jbarajas@grupomsp.hm	
Años de servicio del edificio: 0 años	Uso actual del edif.: Se usará para oficinas después de ser construido
Describa historial de daños importantes que ha sufrido la estructura durante los años de servicio: No hay daños porque el edificio no ha sido construido.	
Estado de la edificación. Describa si observa daños o patologías en los distintos componentes de la estructura como: grietas en columnas, vigas, muros o losas; humedad, deflexiones, desprendimiento del concreto, asentamientos diferenciales, corrosión del acero, posibles fallas por columna corta. Dibuje un esquema por nivel para ubicar las patologías. Tomar fotografías. No hay daños porque el edificio no ha sido construido.	

Figura 22. Instrumento utilizado para la observación y recolección de datos

Datos técnicos:

¿Se tienen los planos arquitectónicos y estructurales de diseño del edificio?	Si ✓	No
¿Está disponible la bitácora o informes de construcción del edificio?	Si	No ✓
¿Se tiene el estudio de suelos del edificio?	Si ✓	No
¿Se dispone memorias de cálculo, fotos del edificio u otra información útil?	Si ✓	No

Nota: en caso de no tener planos de la edificación tendrá que realizarse un levantamiento completo, caso contrario solo se verificarán algunas dimensiones de los planos. Si no se tienen datos de la resistencia de los materiales deberán hacerse ensayos.

pisos construidos: 0 # de etapas de construcción (1, 2 etapas, etc.): 0 etapas
 # pisos proyectados: 4 # sótanos: 1

Usos actuales y anteriores de cada nivel del edificio:

Nivel Uso actual Uso anterior

—	—	—
---	---	---

Descripción de cada uno de los elementos estructurales que componen a la estructura

Elemento Material Resistencia Unid. Dimensiones, distribución de aceros (valor de "f_y") y otros detalles

Vigas Típica: 4#6 en otros casos usan 4#8
 en otras vigas usan 3#6

Columnas: Concreto
 $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
 Pedestal
 Anillos #3 @ 10cm
 $H_{\text{pedestal}} = 3.5\text{m}$
 4#8 extremos
 4#6 en los centros

Muros de cortante: no hay en el edificio solo muros de retención en el sótano
 #3 @ 10cm
 8cm recubrimiento

Other details: 2#8, 2#8, 4#6, 2#6, 4#8, 4cm, Anillos #3 @ 10cm y #3 @ 20cm en zonas de no confinamiento, 8#8, #3 @ 10cm, 4cm

Figura 23. Instrumento utilizado para la observación y recolección de datos

<p>Losa de entrepiso Viga doble T concreto, $f'_{c, viga} = 350 \text{ kg/cm}^2$ $f'_{c, losa} = 280 \text{ kg/cm}^2$</p> <p>Topping de concreto. Reforzo transversal #3 @ 35cm 2 #3 longitudinal cables pretensados</p> <p>0.05 0.05 0.30 0.22m 1.20m 0.22m</p>
<p>Cimientos: La estructura fue diseñada con cimientos o zapatas aisladas</p> <p>espesor = 0.85m espesor = 0.60m</p>
<p>Describe el sistema estructural de la edificación resistente a cargas laterales (ejemplo: aporticado, marcos y muros de concreto o acero, etc.): El edificio fue diseñado con marcos rígidos espectrales de concreto con losas prefabricadas tipo doble T pretensadas.</p>
<p>Profundidad desplante (D_p) de las cimentaciones respecto al nivel de piso terminado del 1° nivel o sótano: 1.5m</p>
<p>¿Cuántas juntas constructivas tiene la estructura y dónde?</p>
<p>Especifique las cantidades de los siguientes elementos en la estructura:</p> <p>A. Cubos de elevadores y gradas de emergencia: uno</p> <p>B. Rampas de acceso vehicular: una apoyada en vigas y la otra rampa apoyada en el suelo</p> <p>C. Tanques elevados: ninguno, la cisterna está enterrada en el sótano.</p>
<p>Estimación de la carga muerta. Tipo de revestimiento piso utilizado (ej. Cerámica o granito, tipo de enclelado, tipo de Para piso se usará cerámica Para enclelado se usará tablayeso</p>
<p>Otras observaciones y detalles de la estructura:</p>

Figura 24. Instrumento utilizado para la observación y recolección de datos

El instrumento mostrado en las figuras anteriores tiene una cuarta página para colocar fotografías de la estructura, no obstante, el edificio descrito no ha sido construido, por tanto en la fig. 25 se muestra una imagen renderizada de cómo se verá la fachada norte del edificio cuando esté finalizado.



Figura 25. Renderizado del diseño del edificio de oficinas del Grupo MSP

Fuente: (CAMSA, 2017).

4.3 Diagrama de Ishikawa

Conocido también como diagrama de causa-efecto o de espina de pescado, consiste en un esquema donde se visualizan las causas que influyen en un determinado problema, comportamiento o efecto. Cada causa se puede descomponer en detalle en subcausas para tener un

panorama más preciso y así mejorar la toma de decisiones (Equipo Gestión de Operaciones, 2017). En la fig. 26 se muestra el diagrama mencionado, el cual relaciona las causas o variables (y sus dimensiones o subcausas) consideradas en esta investigación y cómo estas influyeron en la propuesta de implementación del método ATC-40. A continuación se explica cada categoría y sus causas.

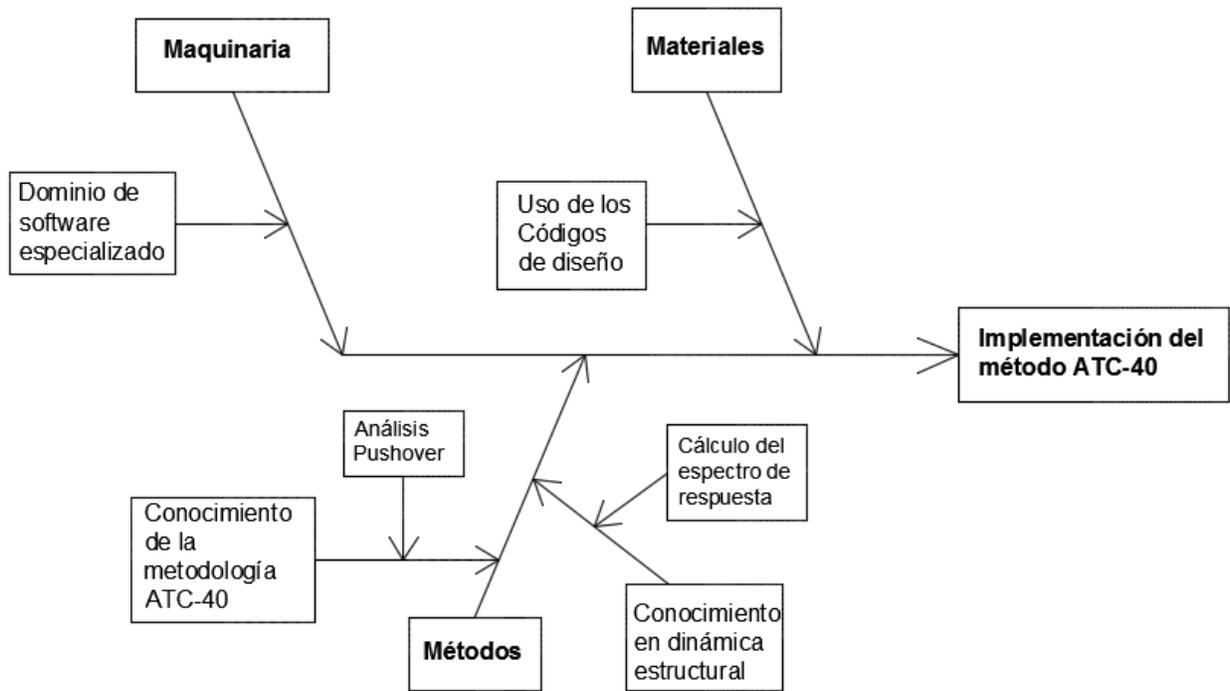


Figura 26. Diagrama de Ishikawa mostrando las variables que influyen en la propuesta

Materiales

Se incluyó en esta categoría los distintos **códigos de diseño** que son adaptados en cada país, en el caso de Honduras se tiene el CHOC. El nivel de conocimiento en el uso de los códigos para realizar diseños y evaluaciones estructurales afecta en la implementación del método ATC-40 ya que este utiliza parámetros contenidos en los códigos como por ejemplo el factor de zona sísmica y factor de ductilidad global necesarios para construir el espectro de respuesta. Un

desconocimiento del código tendrá como efecto una aplicación incorrecta del método ATC -40.

Maquinaria

El **dominio de software especializado**, es decir el manejo de los programas computacionales para análisis y diseño de estructuras afecta significativamente en la implementación del método ATC-40 debido a la gran cantidad de cálculos que se requieren, hacerlo manualmente consumiría muchísimo tiempo e incrementarían las posibilidades de cometer errores.

Métodos

En esta categoría se incluyeron dos variables:

- a. **conocimiento de la metodología ATC-40.** Consiste en conocer los conceptos que utiliza el método, también cómo realizar un análisis pushover para construir el espectro de capacidad y encontrar el punto de desempeño o desplazamiento y compararlo con el nivel de desempeño esperado según la importancia de la estructura. En caso de no conocer los términos mencionados no se podrá aplicar el método o por lo menos no de la forma correcta.
- b. **Conocimiento en dinámica estructural.** Esta variable influye también en el efecto ya que el método del ATC-40 requiere el manejo de los conceptos dinámicos orientado a las estructuras como el cálculo del periodo fundamental, el tipo de suelo y el factor de zona sísmica para construir el espectro de respuesta y la evaluación de las derivas o desplazamientos horizontales relativos que generan las fuerzas sísmicas horizontales.

4.4 Resultados de la simulación de la estructura en el software ETABS

4.4.1 Datos técnicos de la estructura modelada

La estructura seleccionada para la modelación no ha sido construida, sin embargo, se cuenta con la siguiente información del proyecto de diseño: planos arquitectónicos, estructurales, la memoria de cálculo estructural y el estudio geotécnico proporcionados con la autorización de uno de los gerentes generales del grupo de empresas dueño del proyecto. El edificio está diseñado con cuatro niveles destinados para oficinas, más un sótano para estacionamiento de vehículos. Tendrá una altura de 20.60 metros medidos desde el nivel de la acera de la calle hasta el nivel de losa terminada de la cubierta del cubo de elevadores y escaleras de emergencia. En la fig. 27 se observa la planta de conjunto donde se aprecia las dimensiones del terreno, la posición de la estructura (coloreado su perímetro en rojo) y sus dimensiones ancho por largo en el 2°, 3° y 4° piso.

En las fig. 28, 29 y 30 se muestran las fachadas este, oeste y norte del edificio modelado y en las fig. 31 a 36 se observan las plantas arquitectónicas de los niveles: sótano, 1°, 2°, 3°, 4° y azotea respectivamente. La edificación fue modelada en el espacio mediante el programa computacional especializado en estructuras llamado Etabs versión 2015 (15.2.0) y este utilizó el método de elementos finitos. Los siguientes datos se tomaron de la memoria del cálculo estructural:

- a. El código utilizado para el diseño fue el CHOC-08
- b. el sistema estructural proyectado consta de marcos rígidos de concreto con losas prefabricadas tipo doble T pretensadas, estas se apoyan en vigas de concreto unidas a los pórticos

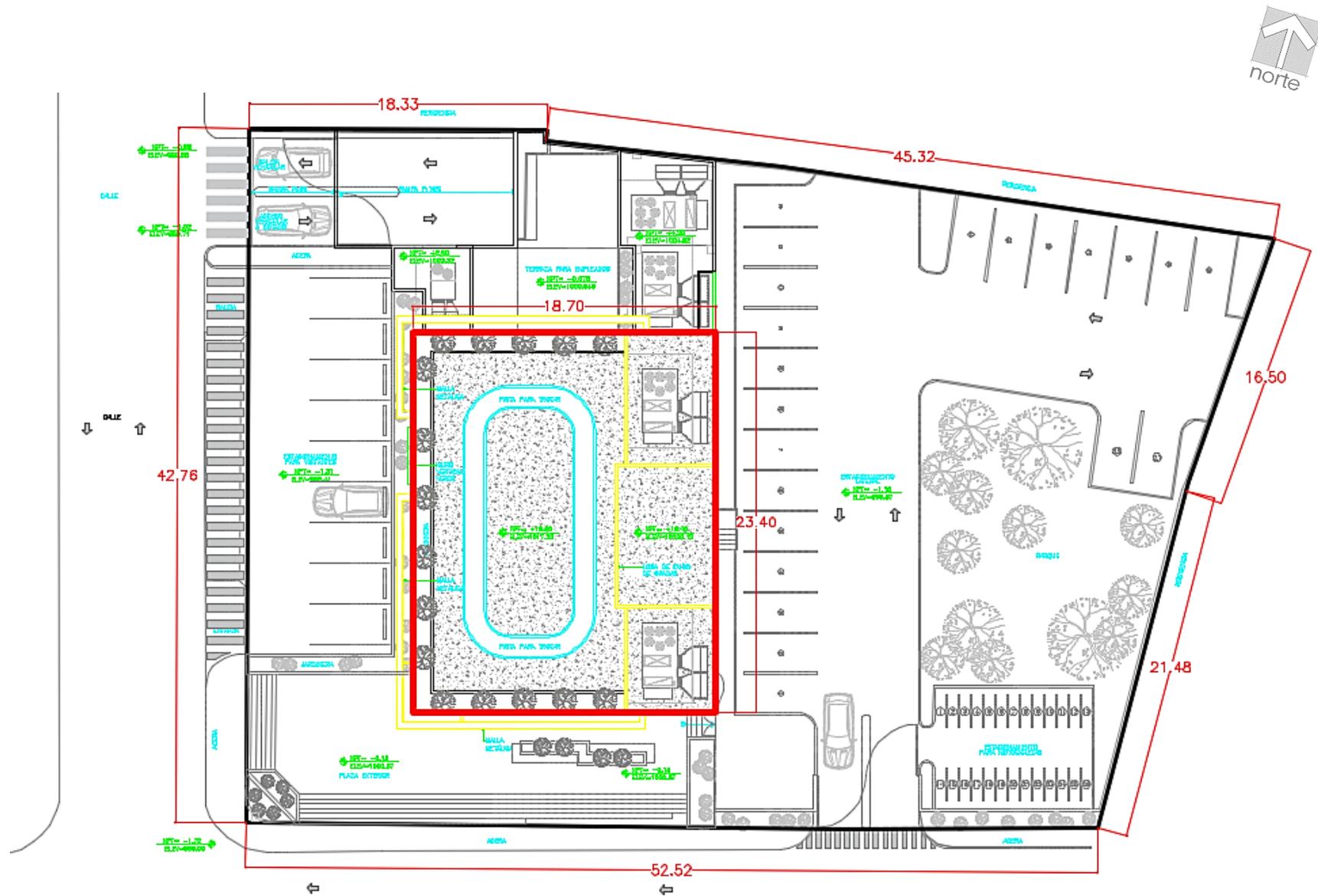


Figura 27. Plano de conjunto del terreno y del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

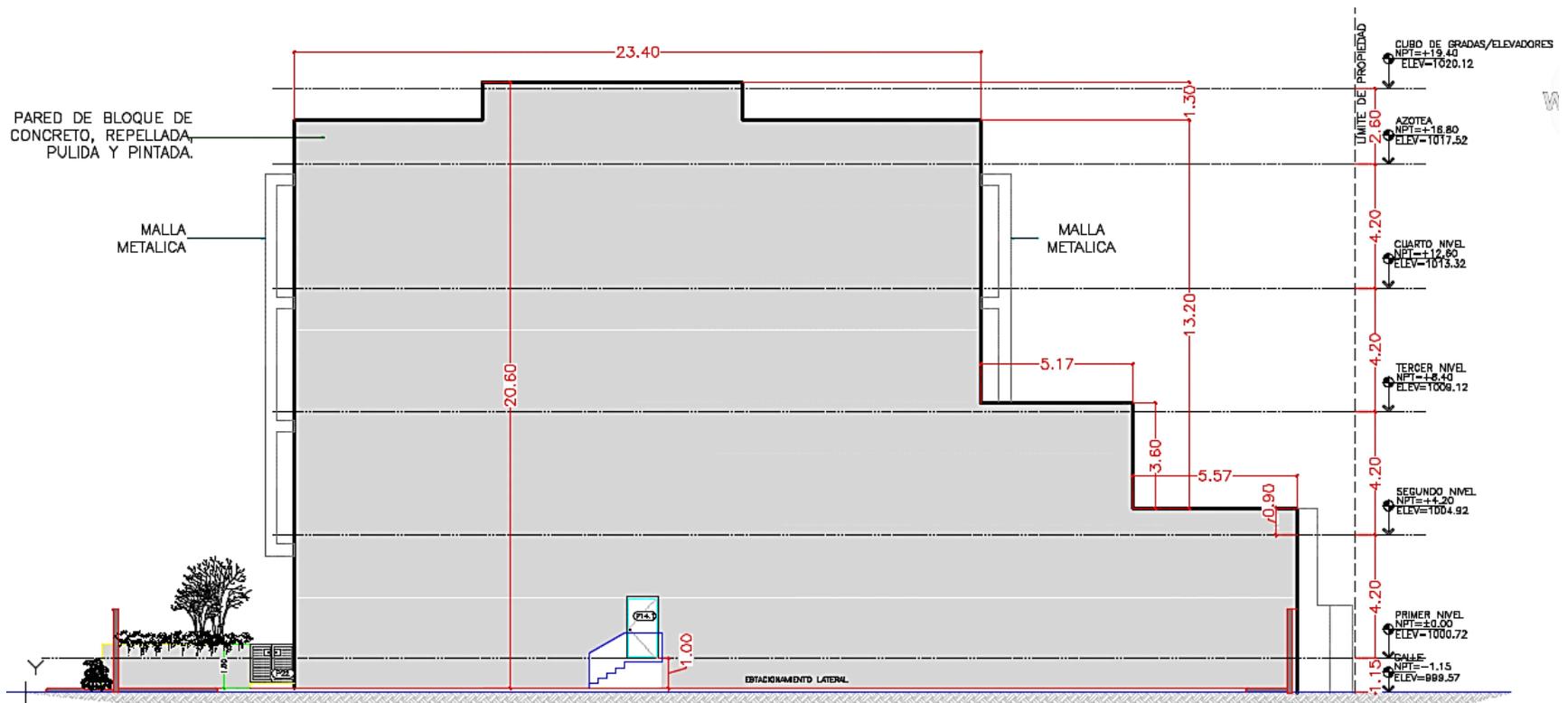


Figura 28. Fachada este del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

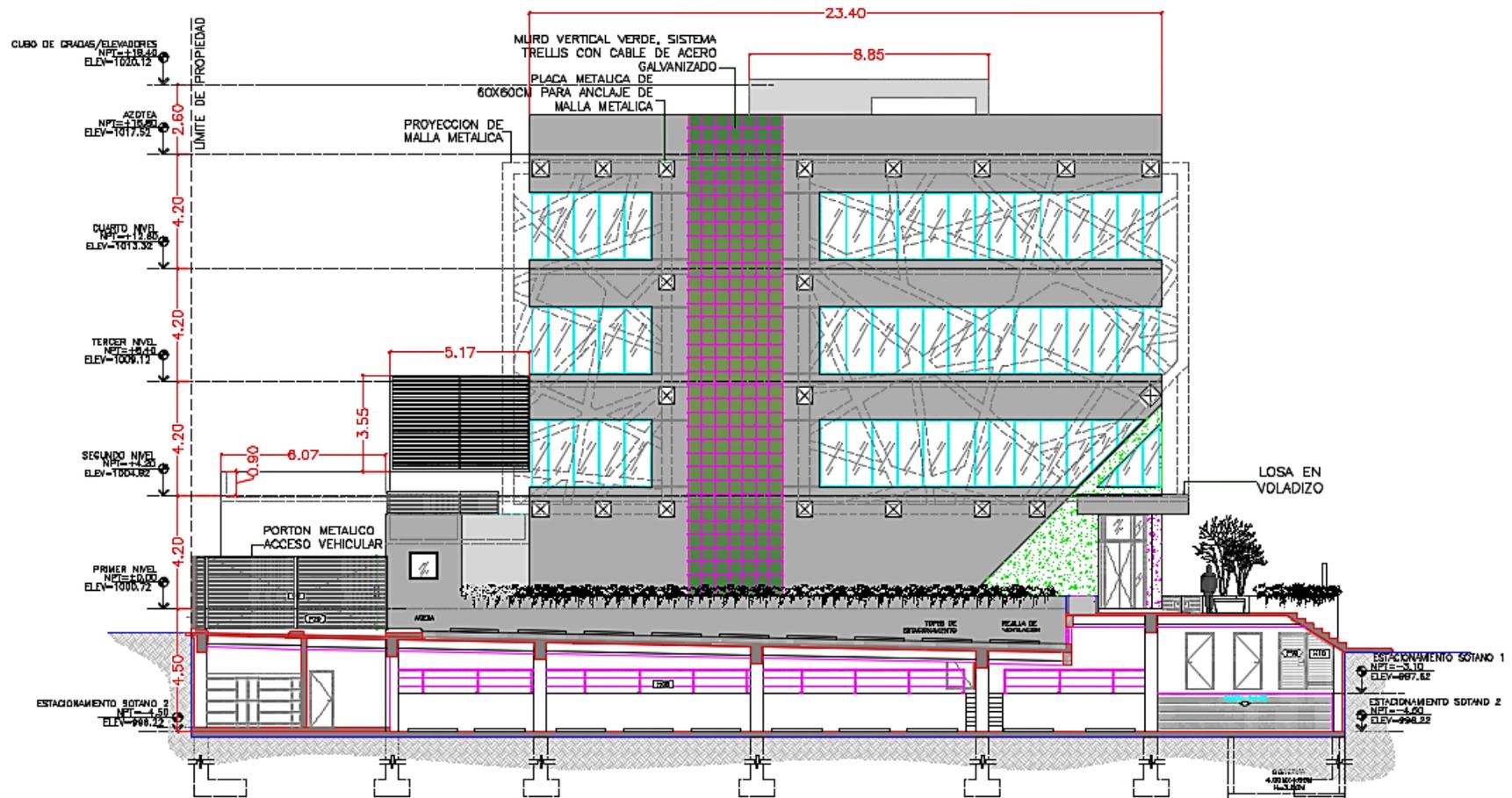


Figura 29. Fachada oeste del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

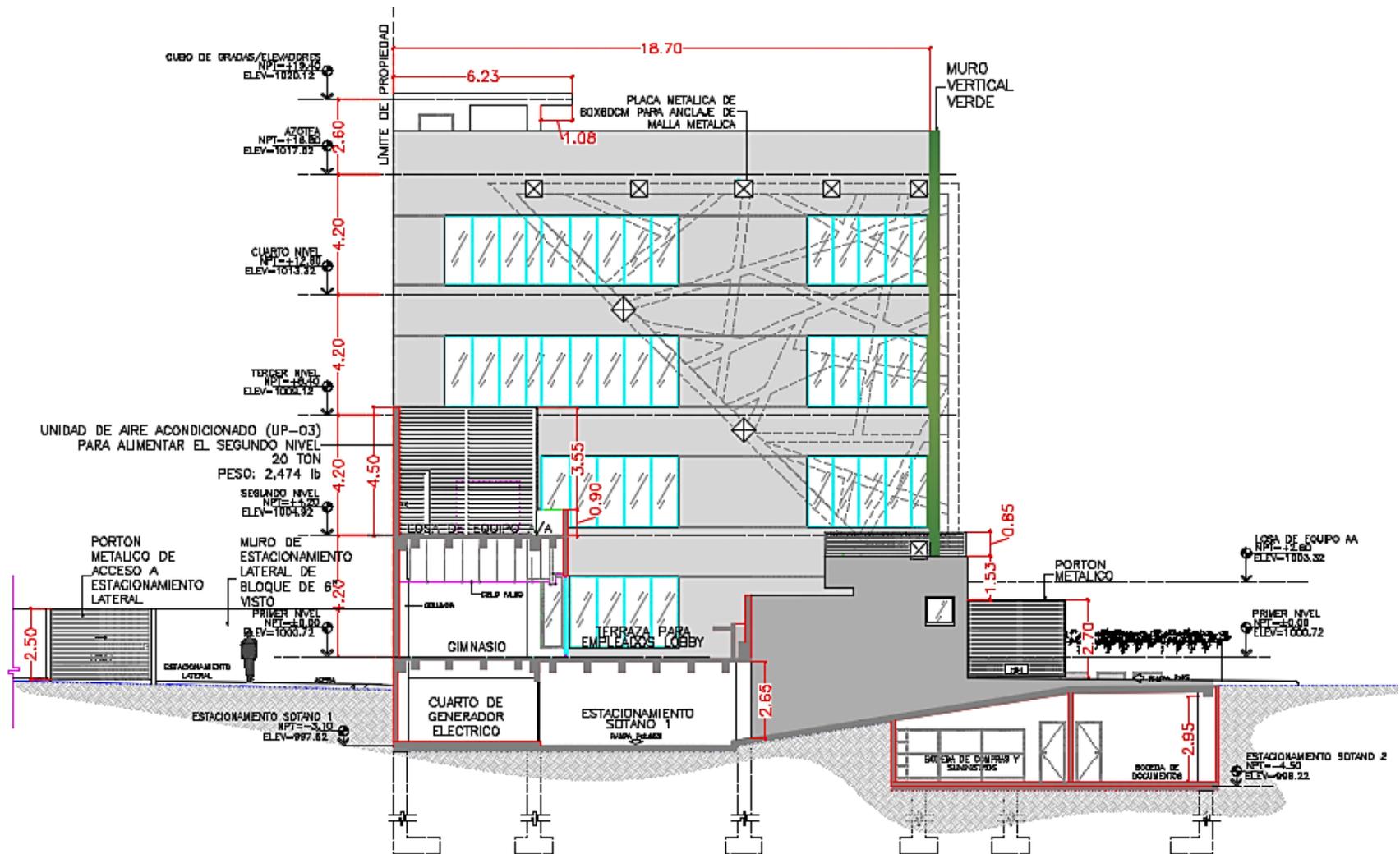


Figura 30. Fachada norte del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

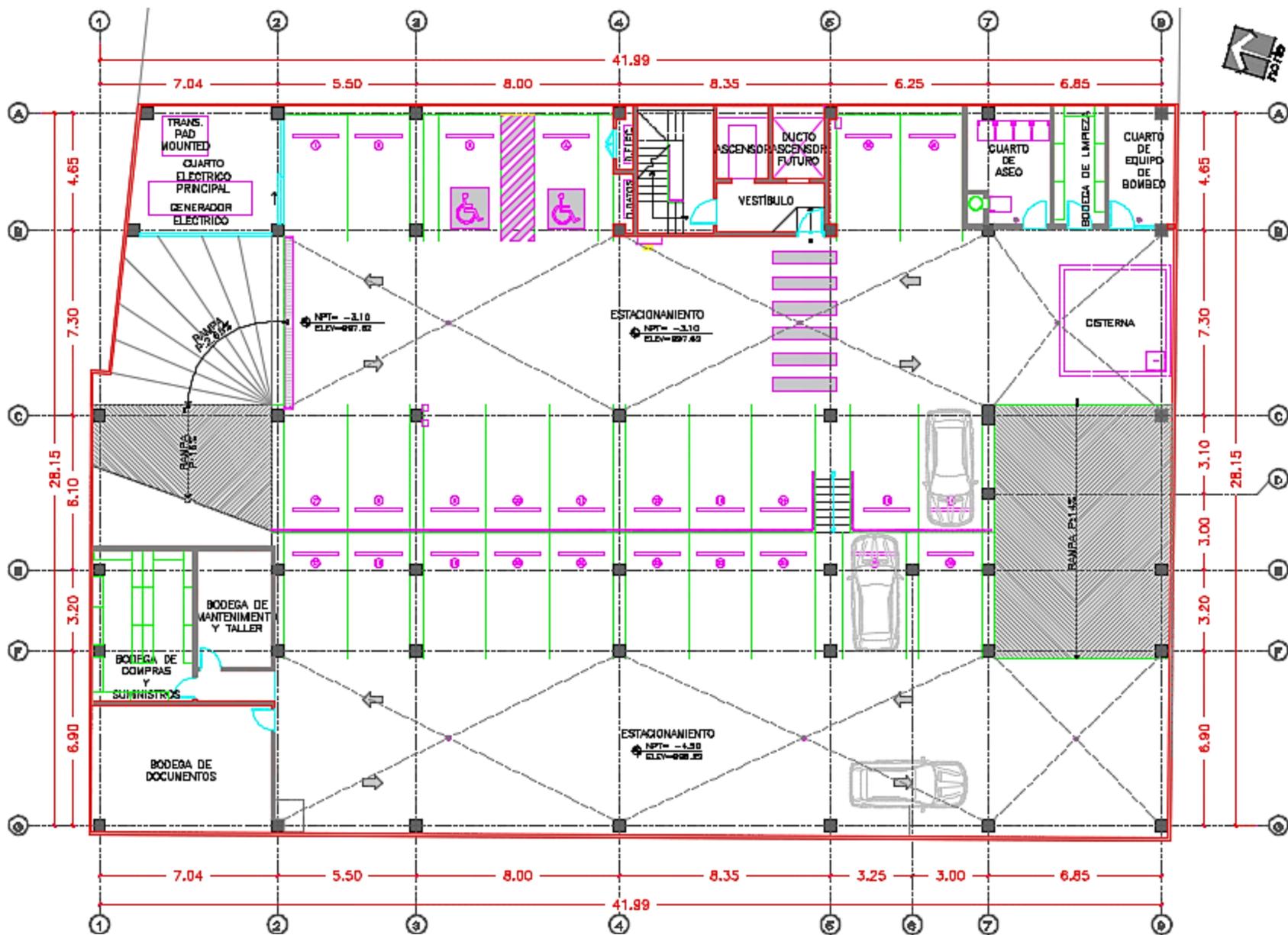


Figura 31. Planta arquitectónica de sótano del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

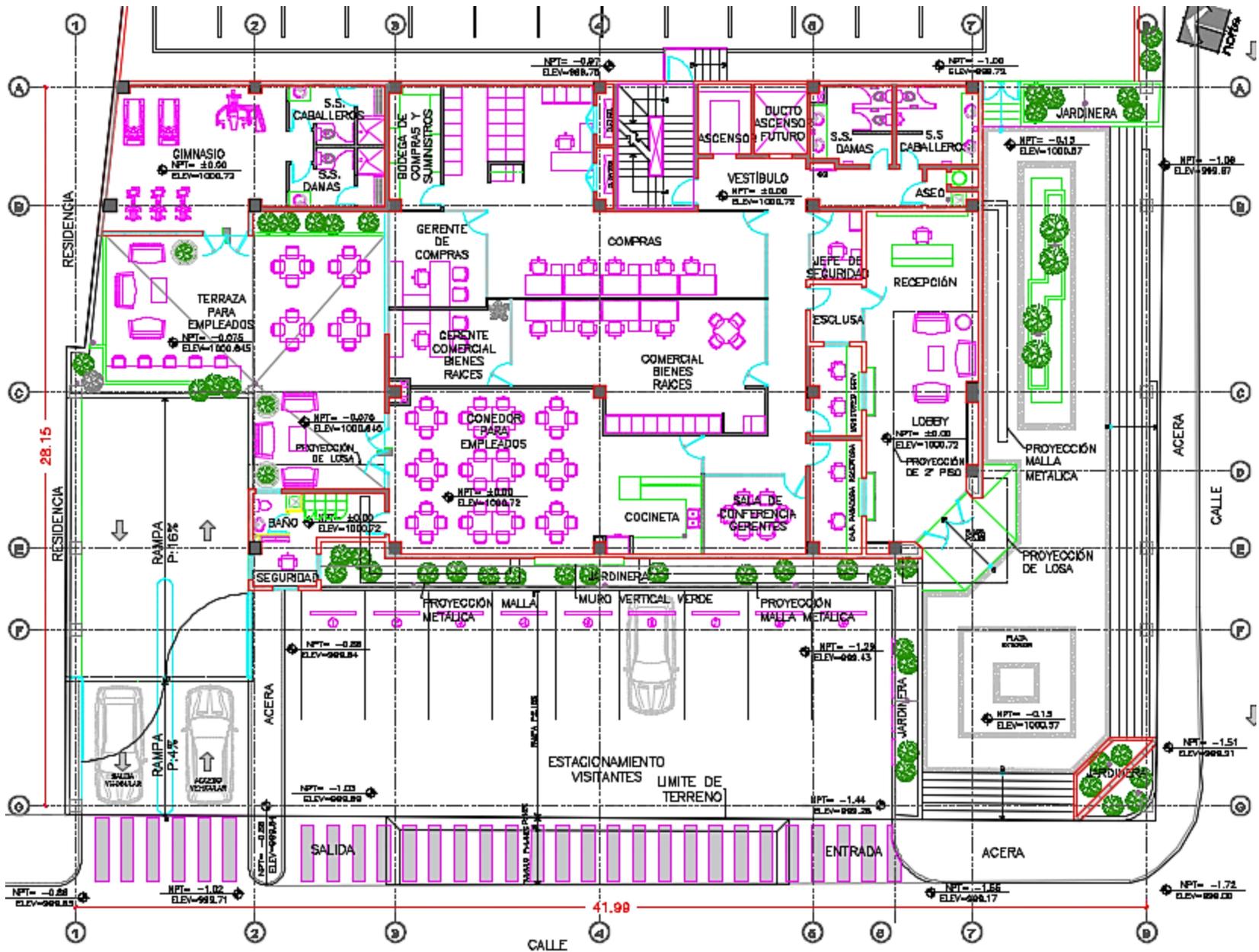


Figura 32. Planta arquitectónica 1° nivel del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

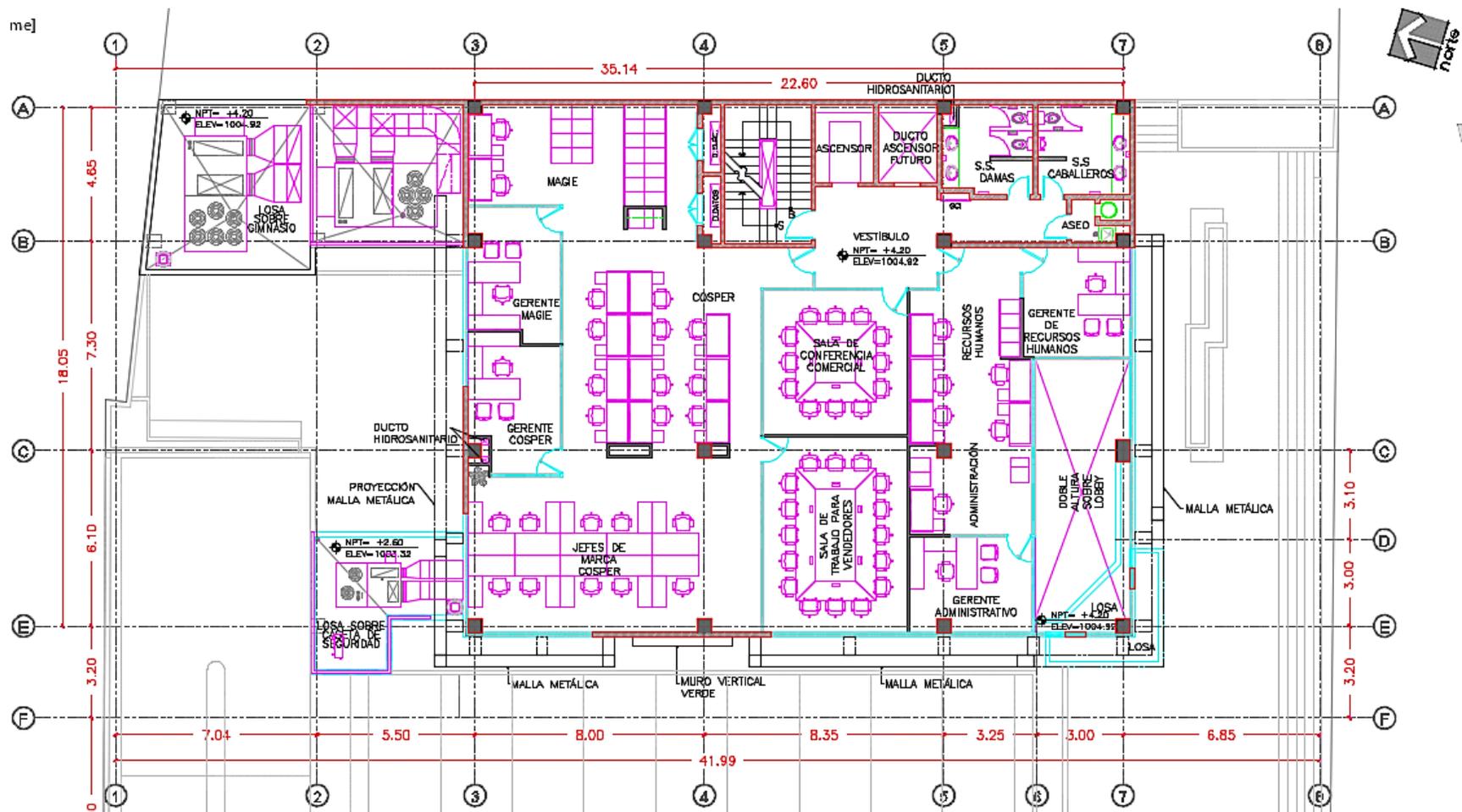


Figura 33. Planta arquitectónica 2° nivel del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

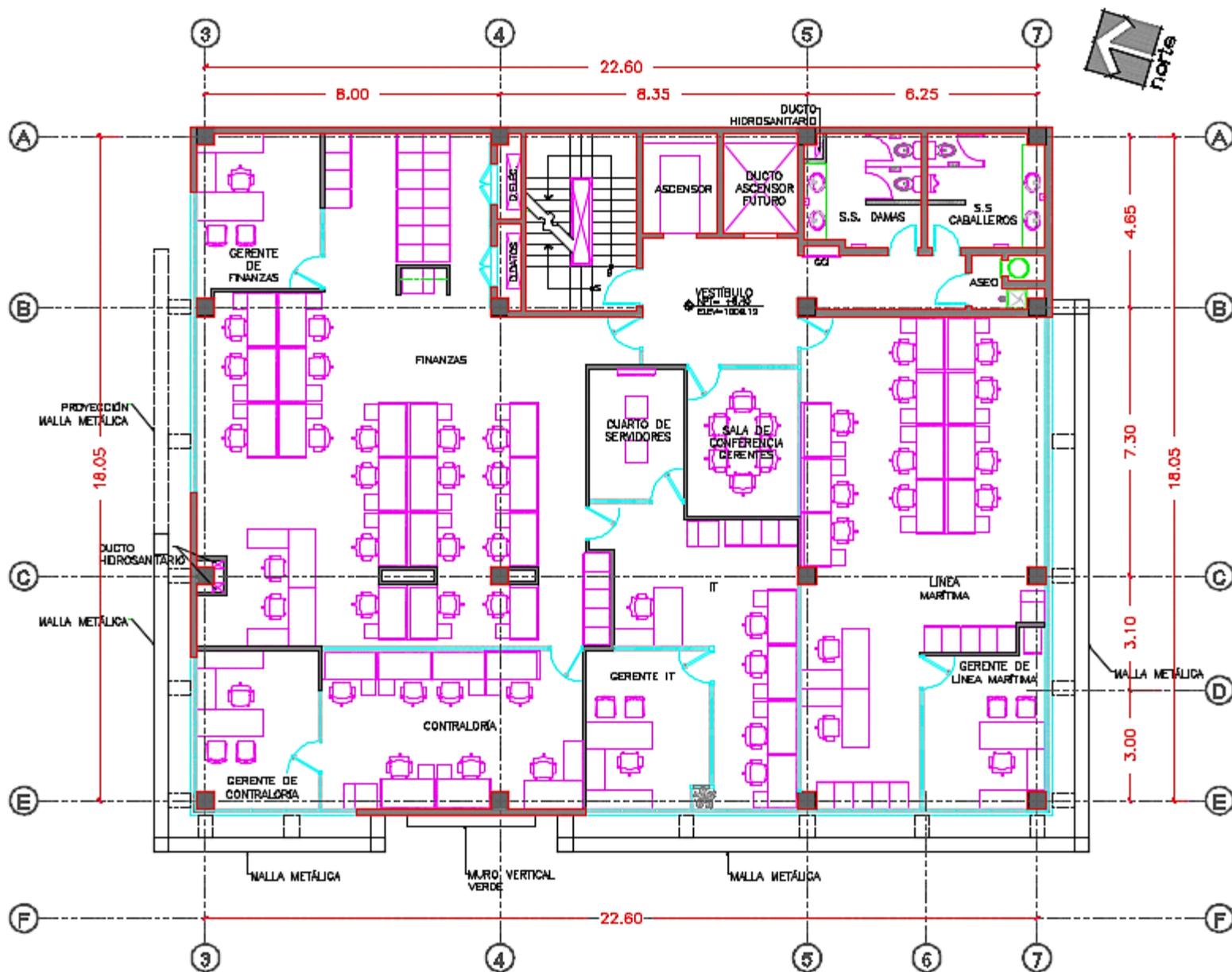


Figura 34. Planta arquitectónica 3° nivel del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

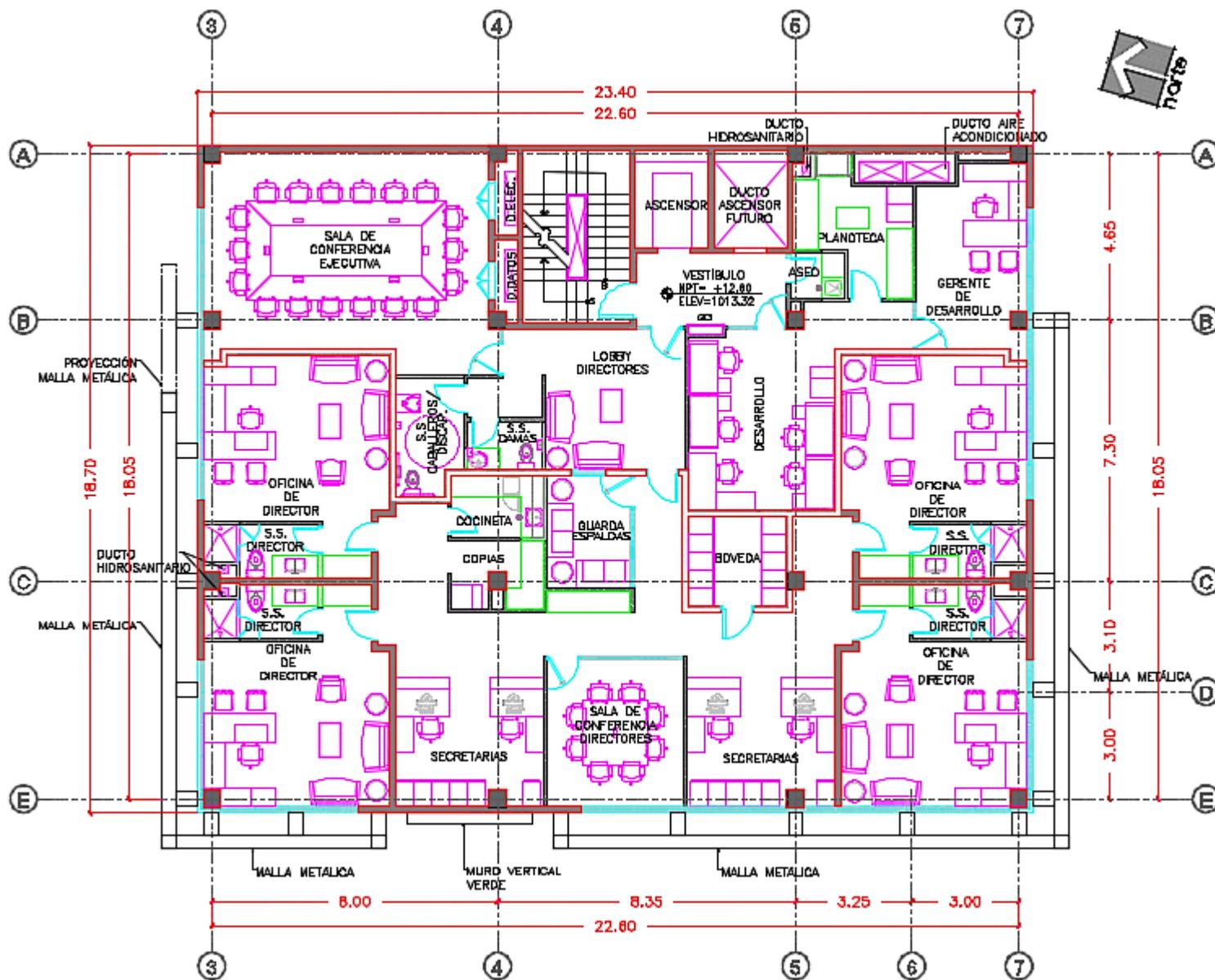


Figura 35. Planta arquitectónica 4° nivel del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

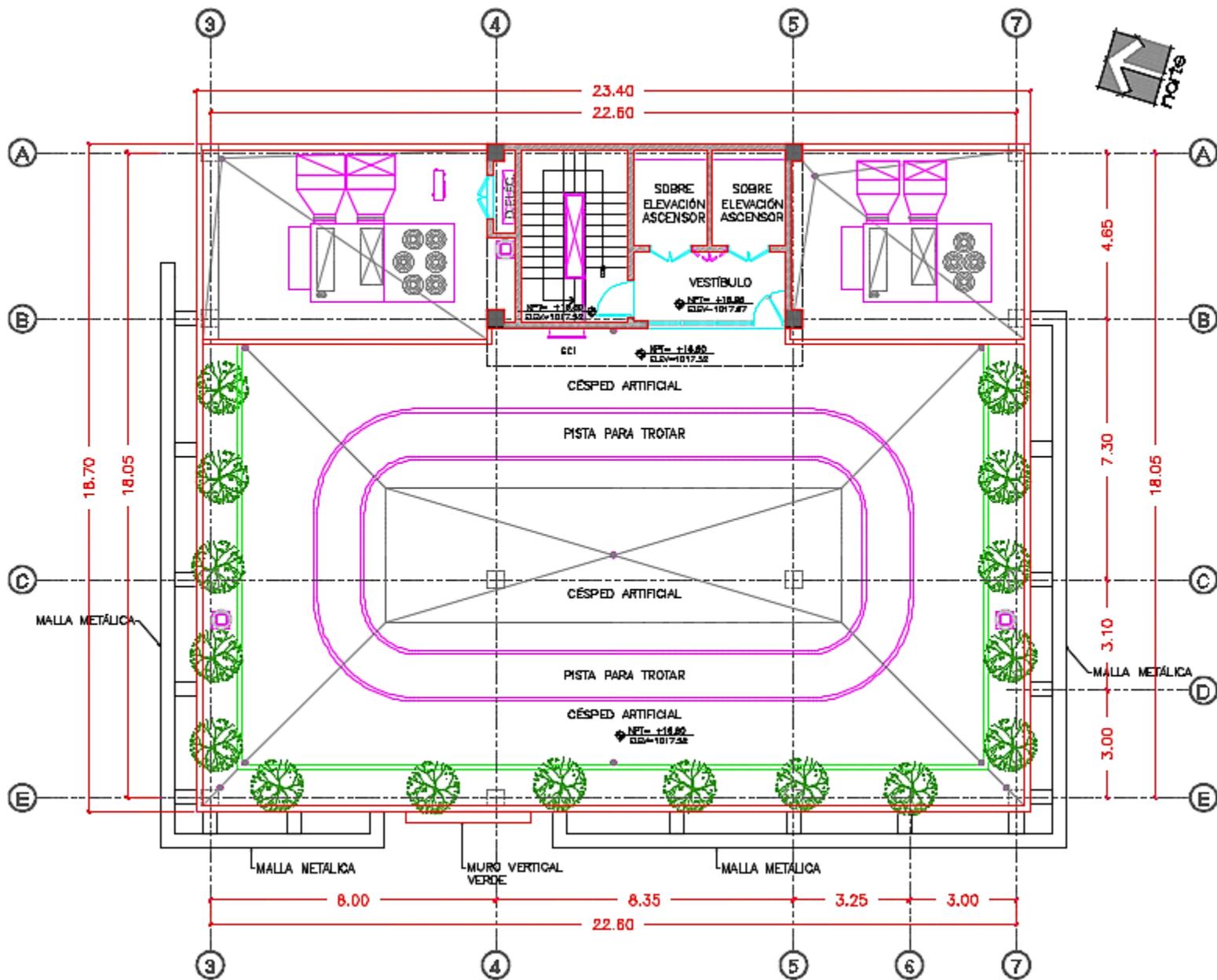


Figura 36. Planta arquitectónica azotea del edificio modelado

Fuente: (CAMSA, 2017).

- c. La resistencia del concreto ($f'c$) usado para el diseño de todos los elementos estructurales fue de 4,000 psi o 280 kg/cm² y su peso específico de 2,400 kg/m³
- d. La resistencia del acero de refuerzo (f_y) considerada por el diseñador fue de 4200 kg/cm²
- e. El factor de ductilidad global según el CHOC para el sistema estructural propuesto de marcos rígidos especiales (MRE) de concreto es $R_w = 12$, sin embargo, el diseñador decidió utilizar un $R_w = 8$, argumentando las deficiencias que pudieran presentarse en: control de calidad de los materiales de construcción, en los procesos constructivos o en la supervisión
- f. El estudio geotécnico del terreno (mostrado en anexos) donde será construido el edificio, recomienda utilizar una profundidad de desplante para las zapatas aisladas de $D_f = 1.5$ m. medidos desde el nivel de piso terminado del estacionamiento del sótano 2. Esto representa una altura aproximada de excavación de 6.0 metros medidos desde el nivel del terreno natural y según dicho informe en ese nivel se pueden encontrar dos tipos de estratos: bolones o fragmentos de roca, lutita fracturada o una capa arenosa conteniendo finos plásticos de color rojo marrón en estado denso y húmedo, clasificada como SC. Por tanto se consideró un suelo tipo S2 para la construcción del espectro de respuesta de la estructura según el CHOC-08.
- g. Para las columnas tipo pedestal (P-1 y P-2, ver planos en anexos) que vienen de la cimentación se utilizó una altura de 3.50 metros, según aparece en la memoria de cálculo
- h. Se asumió un espesor de 0.20m para la losa de la rampa de acceso al primer sótano, ya que no se especifica en el informe estructural ni en los planos.
- i. El análisis y diseño del edificio se orientó a proteger la estructura contra daños ante eventos sísmicos frecuentes (sismo moderado)

- j. En anexos se muestran los planos estructurales en los cuales se describen las dimensiones y distribución de aceros de refuerzo de las columnas, vigas, losas de entrepiso tipo doble T y los cimientos aislados. Toda la información antes descrita fue ingresada al programa para modelar la estructura según fue diseñada.

4.5 Propuesta

4.5.1 implementación del método ATC-40

4.5.2 Introducción

4.5.3 Descripción de la propuesta

4.5.3.1 Método del espectro de capacidad (MEC) de la estructura

4.5.3.2 Cálculo del gráfico demanda sísmica

4.5.4 Presupuesto

4.5.5 Cronograma de Ejecución

4.5.2 Introducción

La metodología planteada en el informe de “Evaluación y readaptación sísmica de edificios de concreto”, elaborado en 1996 por el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC-40 por sus siglas en inglés) tuvo como propósito presentar conceptos y procedimientos para evaluar y mejorar el probable desempeño o comportamiento sísmico de los edificios de concreto armado existentes o en su defecto reducir el riesgo a un nivel aceptable. Pero además la metodología permite la evaluación de edificios nuevos que no han sido construidos.

4.5.3.1 Método del espectro de capacidad (o MEC) de la estructura

Como menciona Bonett (2003) 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 hacer un análisis no lineal, uno de los procedimientos más utilizados es el análisis pushover, el cual da como resultado la curva de capacidad, en ella se relaciona el valor incremental de los cortantes basales y los desplazamientos en el nivel superior de la edificación. El método del espectro de capacidad propuesto por Freeman en 1975 es un tipo de análisis estático no lineal simplificado utilizado para determinar el punto de desempeño o demanda de desplazamiento. Se describe en los siguientes pasos:

- a. Cálculo de la curva de capacidad mediante un análisis pushover. El método del espectro de capacidad no impone el uso de un determinado patrón de cargas para el análisis, y permite adicionalmente considerar los efectos de los modos de vibración más altos para estructuras de gran altura (Paret et al. 1996).
- b. Estimación de las características dinámicas de la estructura, tales como: períodos de vibración (T_i), formas modales (θ_{iR}), factores de participación modal (PF_R) y el coeficiente de masa modal efectiva (α_R). Los valores de α_R y PF_R puede ser calculados como:

$$\alpha_R = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \theta_{iR}\right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \sum_{i=1}^N m_i \theta_{iR}^2}$$
$$PF_R = \frac{\sum m_i \theta_{iR}}{\sum m_i \theta_{iR}^2}$$

Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de masa modal efectiva

Fuente: (Bonett Diaz, 2003)

donde m_i es la masa concentrada del piso i , N es el número de niveles y el subíndice R representa el modo de vibración. Generalmente, se utiliza el primer modo de vibración ($R = 1$), debido a la suposición que el modo fundamental de vibración representa bien la respuesta predominante. En adelante se desarrollarán todas las ecuaciones para $R = 1$.

- c. Determinación del espectro de capacidad mediante el uso de los factores α_1 y PF_1 . Las aceleraciones S_{ai} y los desplazamientos espectrales S_{di} se obtienen como:

$$S_{a_i} = \frac{V_i}{\alpha_1 M g}$$

Ecuación 3. Cálculo de la aceleración espectral

Fuente: (Bonett Diaz, 2003)

$$S_{d_i} = \frac{D_i}{PF_1}$$

Ecuación 4. Cálculo del desplazamiento espectral

Fuente: (Bonett Diaz, 2003)

M es la masa total de la estructura, g es la aceleración de la gravedad, V_i y D_i son respectivamente los cortantes y desplazamientos en el nivel superior de la estructura obtenidos en el paso “a”.

- d. Superposición del espectro elástico de respuesta (5 % de amortiguamiento) con el espectro de capacidad.

- e. Se supone un punto de desempeño de partida (d_{pi} , a_{pi}) tal como se muestra en la fig. 37. Este punto puede definirse a partir de la aproximación de desplazamientos iguales, la cual supone que el desplazamiento espectral inelástico es el mismo que podría ocurrir si la estructura tuviera un comportamiento elástico perfecto.

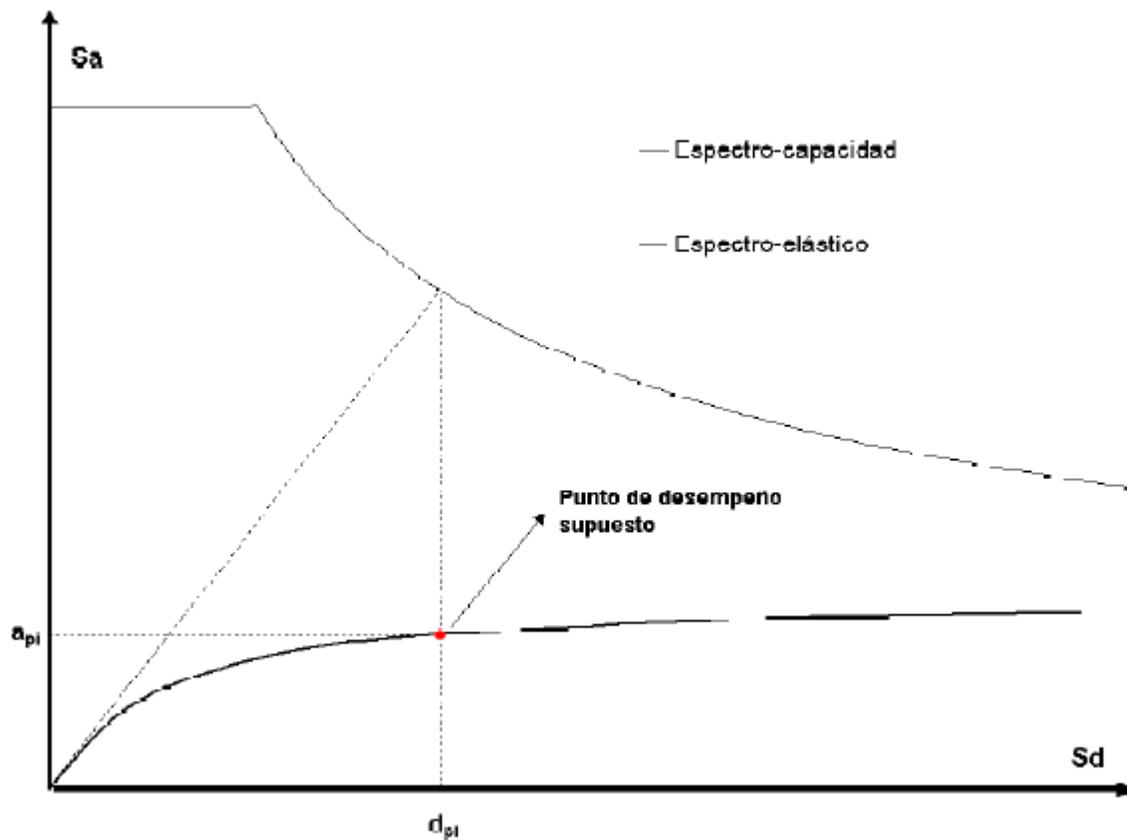


Figura 37. Determinación del punto de desempeño de prueba del MEC a partir de la aproximación de desplazamientos iguales

Fuente: (Bonett Diaz, 2003).

- f. Representación bilineal del espectro de capacidad. El MEC utiliza la representación bilineal de la curva de capacidad para estimar el amortiguamiento viscoso equivalente β_{eq} se siguen los siguientes pasos:

- i. Se dibuja una línea recta que parte desde el origen (Punto “O” de la fig. 38) con una pendiente igual a la rigidez inicial K_i de la estructura en el rango elástico (el subíndice “ i ” indica el número de iteración)
 - ii. Se define un punto de desempeño de prueba (d_{pi}, a_{pi}) , denotado con la letra “B” en la fig. 39, el cual se utiliza para obtener el espectro de demanda reducido (explicado más adelante).
 - iii. Se traza una línea que va desde el punto “B” hasta cortar la línea definida en el paso 1. La pendiente de esta segunda línea debe ser tal que cuando intersece la primera, en el punto “A”, de coordenadas (d_y, a_y) . Las áreas A_1 y A_2 , que quedan respectivamente por encima y por debajo del espectro de capacidad y están señaladas en la fig. 38, sean iguales. Esta condición se impone para que la curva de capacidad y su representación bilineal tengan la misma energía. El punto “A” representa la cedencia de la estructura, en el formato bilineal.
 - iv. Se define la representación bilineal de la curva de capacidad uniendo con una línea los puntos “OAB”, como se muestra en la fig. 38 (ATC-40, 1996).
-
- g. Se calcula el espectro de demanda reducido (explicado más adelante) y se superpone gráficamente con el espectro de capacidad, en su forma bilineal.
 - h. Determinación del punto de intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda (d_p, a_p) , tal y como se muestra en la fig. 39.

- i. Si el desplazamiento d_p correspondiente al punto de intersección de los espectros de capacidad y demanda reducido está entre un $\pm 5\%$ del desplazamiento d_{pi} supuesto ($0.95d_{pi} < d_p < 1.05d_{pi}$), el punto de desempeño (d_{pi}, a_{pi}) se toma el (d_p, a_p) definitivo. De lo contrario, si no se cumple con esta tolerancia, es necesario suponer otro punto (d_{pi}, a_{pi}) y

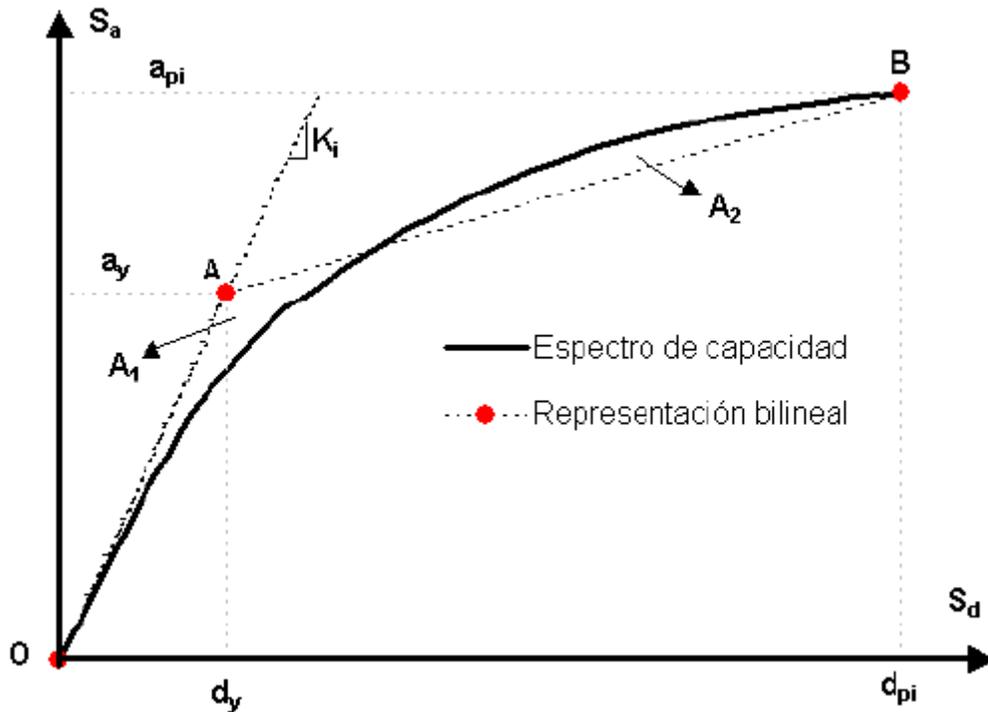


Figura 38. Representación bilineal del espectro de capacidad (MEC)

Fuente: (Bonett Diaz, 2003).

regresar al paso 6.

4.5.3.2 Cálculo del gráfico demanda sísmica

La demanda sísmica generalmente se representa por medio de un espectro de respuesta, el cual presenta la respuesta máxima de sistemas de un grado de libertad (1 GDL) como una función de sus frecuencias. Tradicionalmente, en la ingeniería sísmica, se ha utilizado un espectro de

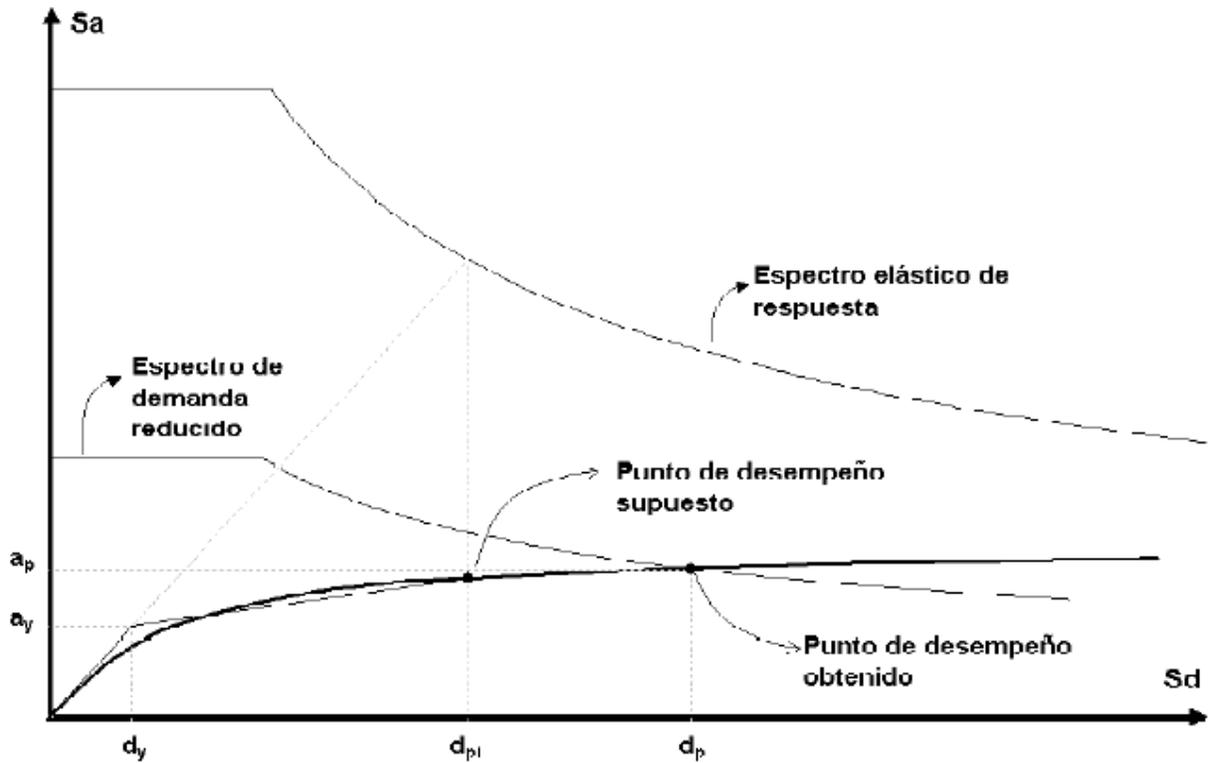


Figura 39. Punto desempeño obtenido a partir del valor supuesto MEC

Fuente: (Bonett Diaz, 2003).

respuesta de aceleraciones para procedimientos de análisis y diseño de estructuras basados en las fuerzas. Sin embargo, durante los últimos años se ha identificado que los parámetros más relevantes en el diseño son los desplazamientos y las deformaciones. Para diseño basado en el desempeño sísmico (ATC-40, 1996) se ha promovido el uso de espectros de respuesta en el formato Aceleración Desplazamiento (A-D; S_a contra S_d). En este diagrama se dibuja en el eje de las ordenadas la aceleración espectral y en las abscisas el desplazamiento espectral. Las líneas radiales que parten desde el origen, corresponden a períodos constantes T_i (ver fig. 40). La ventaja de este formato es que las curvas de capacidad y demanda pueden superponerse en el mismo gráfico, permitiendo una solución gráfica del nivel de desempeño de una estructura (Freeman,1994).

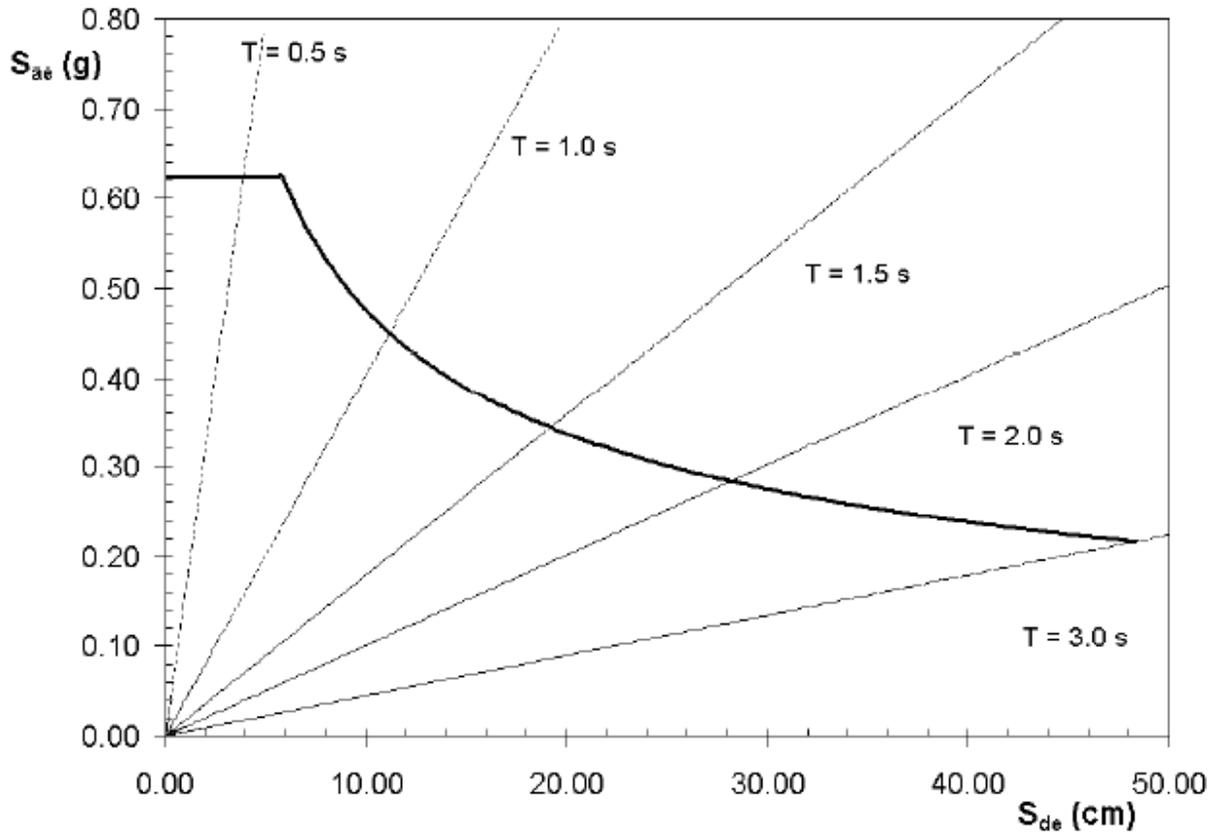


Figura 40. Espectro elástico de respuesta en formato A-D

Fuente: (Bonett Diaz, 2003, p. 66).

El procedimiento para construir el espectro de demanda sísmica es el siguiente:

- a. Cálculo del espectro elástico de aceleraciones S_{ae} normalizado.
- b. Cálculo del espectro elástico de desplazamientos S_{de} aplicando la siguiente expresión (en la fig. 41 se muestra un ejemplo de los espectros de aceleración y desplazamiento):

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

Ecuación 5. Cálculo del espectro elástico de desplazamientos

Fuente: (ATC-40, 1996)

c. Construcción del espectro elástico en formato Aceleración-Desplazamiento A-D ($S_{ae} - S_{de}$).

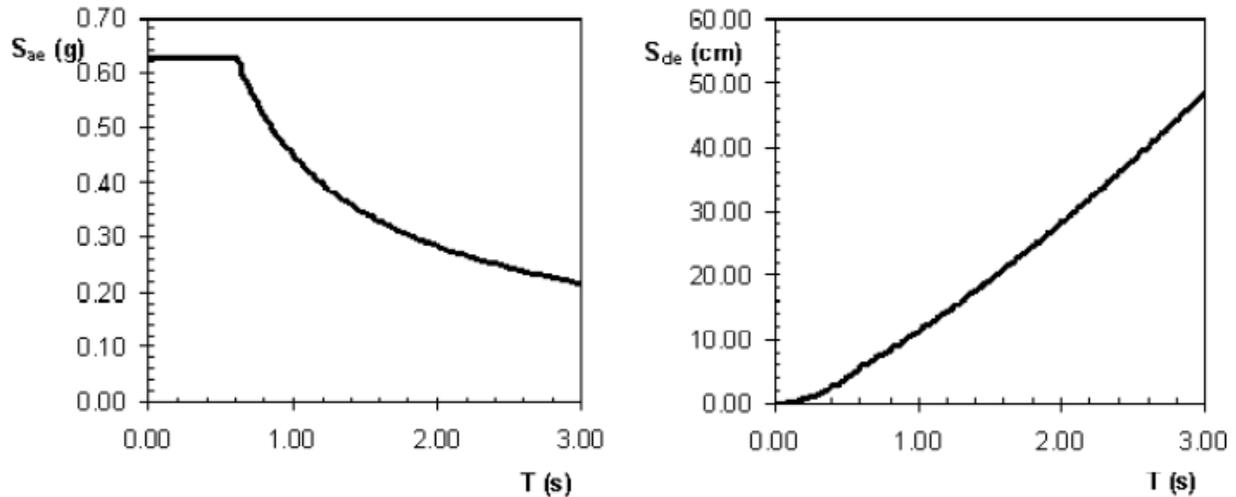


Figura 41. Espectros elásticos de aceleración (gráfico izquierdo) y desplazamiento (derecho)

Fuente: (Bonett Diaz, 2003, p. 66).

4.5.4 Presupuesto

En términos generales los costos para implementar la metodología del ATC-40 en un edificio de concreto reforzado dependerá de los siguientes aspectos:

- a. Confiabilidad y disponibilidad de los datos técnicos de la estructura y del terreno donde se encuentra, si la misma está construida requerirá revisar toda la información disponible del diseño y construcción, en caso de no tener suficiente información o poco confiable, se tendrá que incurrir en costos para realizar ensayos de: resistencia no destructivos como esclerometría, de escaneo para saber la distribución del acero de refuerzo y los diámetros de las barras y un estudio geotécnico para conocer los parámetros físico mecánicos del suelo. Si la estructura solo está diseñada bastará con revisar los informes técnicos y los planos.
- b. La ubicación del proyecto incide directamente en los costos de transporte y movilización

- c. El costo por la licencia del software utilizado para el análisis
- d. Los honorarios profesionales dependerán del nivel de conocimiento del especialista, su experiencia y del tamaño del edificio, es decir cantidad de niveles, cantidad de elementos estructurales, la dimensión del área de terreno que cubre el edificio influirá en la cantidad de horas de trabajo que se necesitarán
- e. Los costos directos en materiales y mano de obra por ejecutar el programa de reforzamiento de la estructura si el análisis concluye que se necesita

A continuación en la tabla 12 se presenta un presupuesto aproximado para aplicar la metodología ATC-40 en el edificio estudiado en esta investigación y en la tabla 13 se presenta el cronograma de trabajo:

Tabla 12. Presupuesto aproximado para implementar el método ATC-40

<i>N°</i>	<i>Actividad</i>	<i>Valor (L.)</i>
1	Saldo para llamadas telefónicas	500.00
2	Transporte para reunirse con el cliente y obtener información para el análisis	1,500.00
3	Impresiones y copias de documentos y planos	1,500.00
4	Licencia del software Etabs para modelación y análisis de la estructura (\$ 8,000.00)	188,861.60
5	Honorarios profesionales	25,000.00

TOTAL L. 217,361.60

4.5.5 Cronograma de ejecución de la implementación del método ATC-40

Tabla 13. Cronograma de Ejecución

<i>N°</i>	<i>Actividad</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Supuesto</i>
1	Reunión con el cliente y recolección de datos (documentos técnicos y planos)	2	días	Reunión con cliente y recolección de datos realizado
2	Modelar la estructura en el software de análisis	5	días	Estructura modelada
3	Ejecución de cálculos del análisis pushover, espectro de capacidad y espectro de demanda sísmica	1	día	Cálculos del análisis pushover, espectro de capacidad y espectro de demanda sísmica ejecutados
4	Interpretación de los resultados y elaboración del informe final para el cliente	2	días	Resultados interpretados e informe final para el cliente elaborado
<i>Tiempo Total requerido</i>		<i>10</i>	<i>días</i>	

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a. Con el desarrollo de esta investigación fue posible conocer y analizar los distintos parámetros y requerimientos necesarios para la aplicación de la metodología de evaluación y adecuación sísmica para edificios de concreto reforzado, propuesta por el comité técnico del ATC-40 en 1996. Dando respuesta a la pregunta principal de la investigación; por el momento no es factible aplicar completamente la metodología mencionada en Honduras por la única razón que el Código Hondureño de la Construcción (CHOC) no contempla un sismo de diseño como referencia y esto es fundamental para aplicar por completo el método.

- b. Los factores identificados que limitan o potencian la implementación del método ATC -40 son las variables consideradas en esta investigación, las cuales fueron: a). conocimiento en el uso de los códigos de diseño y construcción tanto nacionales como extranjeros, b). conocimiento en los conceptos y procedimientos de la metodología por desempeño del ATC-40, c). conocimiento en los conceptos de dinámica estructural y d). dominio en el manejo de software especializado en análisis y diseño de estructuras. Entre mayor sea el nivel de conocimiento y dominio mejores resultados se tendrán en la aplicación del método. Otro factor muy importante es la confiabilidad en la información técnica disponible y por obtener sobre la edificación de análisis, contenida en planos, ensayos y en los informes técnicos (ejemplo: estudios de suelo, memorias de cálculo estructural, bitácora de construcción, entre otros).

- c. Tres son los documentos técnicos más relevantes que plantean ampliamente los conceptos y procedimientos de la filosofía de diseño y evaluación sísmica basada en el desempeño: VISION 2000, ATC-40 y FEMA 273 y 356. Cada uno de estos informes proponen distintos niveles de desempeño para las estructuras, los elementos no estructurales y el contenido de un edificio. Los niveles requeridos para una estructura dependerán de la importancia de la misma.
- d. Se modeló y analizó (en base a la información contenida en los planos, estudio de suelos y memoria de cálculo estructural) el edificio de oficinas a construir del grupo de empresas Midence Soto Pierrefeu, utilizando la herramienta computacional Etabs. Se observó que el dimensionamiento y armado de las vigas y columnas es adecuado para resistir las cargas muertas, vivas, viento y sismo definidas por el CHOC. Según el ATC-40 el nivel de desempeño esperado para estructuras básicas o convencionales como las de oficina es el llamado nivel de “seguridad”. En ese sentido la estructura estudiada se comportó dentro del rango esperado, por tanto, tiene un desempeño adecuado ante las cargas sísmicas.
- e. En base a los resultados obtenidos de la encuesta, en general la mayoría de los ingenieros civiles encuestados conocen o han escuchado sobre el diseño y evaluación sísmica por desempeño, sin embargo, también un alto porcentaje de ellos no conocen los documentos técnicos más relevantes que describen los conceptos y aplicación de dicha filosofía, esto justifica la importancia de esta investigación y la relevancia de su objetivo en facilitar los criterios técnicos planteados en el informe del ATC-40 como un pequeño aporte para difundir este importante tema.

- f. La metodología del ATC-40 presenta una perspectiva distinta a la filosofía convencional que se encuentra en los actuales códigos de diseño sísmico, incluyendo el Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08) ya que no solo se enfoca en reducir los daños estructurales en las edificaciones o evitar el colapso de las mismas provocado por sismos, sino también considera en el análisis los elementos no estructurales y los bienes materiales contenidos dentro de los edificios, cuantificando los daños que pueden generarse por la magnitud de un sismo determinado.

5.2 Recomendaciones

- a. Para futuros trabajos de investigación relacionados al tema de diseño y evaluación sísmica basada en el desempeño, sería muy bueno analizar cómo se puede definir un sismo de diseño para Honduras.
- b. Los informes del ATC-40 y VISION 2000 plantean diferentes criterios en la selección de los niveles de desempeño, sería interesante poder analizar un edificio de concreto reforzado aplicando los dos enfoques para después hacer un análisis comparativo y ver los resultados de desempeño de la estructura.
- c. Los actuales softwares de diseño y análisis estructural contienen importantes funciones que facilitan los cálculos relacionados al punto de desempeño, ejemplo el análisis pushover, sin embargo, es importante conocer a profundidad cómo funcionan estas herramientas y qué limitaciones tienen, para interpretar correctamente los resultados que dan los programas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Álvarez, E., & Doblaré Castellano, M. (1979). *Teoría de Plasticidad, conceptos generales*. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Sección de Publicaciones. Recuperado a partir de <http://oa.upm.es/28991/>
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1 & 2, Applied Technology Council (ATC), California Seismic Safety Commission*. California, USA. Recuperado a partir de http://www.dinochen.com/attachments/month_0901/atc-402.pdf
- Benito, B., & Torres, Y. (2009). *Amenaza sísmica en América Central*.
- Bertero, V. (1997). Performance-based seismic engineering: a critical review of proposed guidelines. En *Proceedings of the international workshop on seismic design methodologies for the next generation of codes* (pp. 1-31). A.A. Balkema, Rotterdam. Brookfield.
- Bolaños Tauma, M. I. (2015). *Desempeño sismorresistente del edificio 4F de la Universidad Nacional De Cajamarca (Tesis)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/367/T%20720%20B687%202015.pdf?sequence=1>
- Bonett Diaz, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada (Tesis doctoral)*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España. Recuperado a partir de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6230>
- Boresi, A., Schmidt, R., & Sidebottom, O. (1993). *Advanced Mechanics of Materials* (5° ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.

- CAMSA. (2017). *Proyecto de diseño arquitectónico: nuevo edificio de oficinas del Grupo de empresas Midence Soto Pierrefeu*. Tegucigalpa, Honduras: Consultores Asociados Metropolitanos S.A. de C.V.
- Carrillo, J. (2008). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño. *DYNA*, 75(155), 91-102.
- Castro Bueno, W. O. (2016). *Análisis del desempeño sismorresistente del edificio IH – Facultad de educación de la Universidad Nacional De Cajamarca (Tesis)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- CHOC. (2008). *Código Hondureño de la Construcción. Comisión Técnica*. Tegucigalpa, Honduras.
- Equipo Gestión de Operaciones. (2017, marzo 3). Qué es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Espina de Pescado. Recuperado 21 de junio de 2017, a partir de <http://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>
- Guardiola, L. C. (2010). *Informe: Evaluación del riesgo sísmico en el Distrito Central de Honduras*. Honduras.
- Kuroiwa, J., Pacheco, E., & Pando, E. (2010). *Alto a los Desastres* (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)). Lima, Perú: Umbral ediciones.
- Kwon, Y. W., & Hyochoong, B. (1997). *The Finite Element Method using Matlab*. USA: CRC Press LLC.
- Mosqueira Moreno, M. Á. (2012). *Riesgo Sísmico en las Edificaciones de la Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis Doctoral)*. Universidad Nacional

- de Trujillo, Perú. Recuperado a partir de repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/CONCYTEC/122/1/mosqueira_mm.pdf
- Mroginski, J., Di Rado, H., Beneyto, P., & Awruch Armando. (2006). Simulación del comportamiento elastoplástico de materiales dúctiles. Validación experimental. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Recuperado a partir de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-022.pdf>
- Negrin Hernández, A. (2007). Diplomado: diseño Automatizado de estructuras.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto* (12 ed.). Colombia: McGraw-Hill Inc.
- Park, R., Priestley, M. J., & Gill, W. G. (1982). Ductility of square-confined concrete columns. *Journal of Structural Division, Proceedings ASCE, 108(ST4)*, 929-950.
- Paz Morel, T. (2009, mayo 29). Terremoto en Honduras convierte el sueño en pesadilla. *Diario La Prensa*. Recuperado a partir de <http://www.laprensa.hn/vivir/529813-97/terremoto-en-honduras-convierte-el-sueno-en-pesadilla>
- Santos & Compañía. (2016). *Informe propuesta de análisis y diseño estructural del nuevo edificio de oficinas del Grupo Midence Soto Pierrefeu (MSP)*. Tegucigalpa, Honduras.
- SEAOC Seismology Committee. (1996). *The SEAOC Blue Book: Seismic Design Recommendations, Structural Engineers Association of California*. Sacramento, CA.
- Sinha, B. P., Gerstle, K. H., & Tulin, L. G. (1964). Stress-strain behaviour for concrete under cyclic loading. *Journal ACI, 61(2)*, 195-211.
- Torre, J. (2016). Documento de clase: «Dinámica Estructural».

ANEXOS

A continuación, se muestra el cuestionario y las opciones de respuesta utilizado en la encuesta aplicada a ciertos especialistas y algunos estudiantes de la maestría en estructuras

1. ¿Ha escuchado o sabe algo sobre el Código Hondureño de la Construcción (CHOC)?

(Si/No)

2. ¿Ha utilizado el CHOC o algún código de otro país para realizar diseños o evaluaciones estructurales para una empresa o para fines académicos? **(Si/No)**

3. ¿Qué tanto ha escuchado o leído sobre la filosofía de diseño sísmico por desempeño?

Nada

poco

Intermedio

Mucho

4. ¿Qué tanto ha leído o escuchado sobre alguno de los siguientes documentos técnicos: ATC-40, FEMA 273, 356 ó VISION 2000?

Nada

poco

Intermedio

mucho

5. ¿Qué nivel de conocimiento tiene en general sobre los conceptos de la dinámica estructural (ejemplo: periodo de la estructura, modos de vibración, espectro de respuesta, cálculo de fuerzas sísmicas, análisis no lineal de la estructura)?

No sé nada

Sé poco

intermedio

conozco bastante

6. ¿Qué tanto conoce sobre el análisis estático no lineal o también llamado “pushover”?

Nada

poco

Intermedio

mucho

7. ¿Qué nivel de dominio tiene en uno o varios programas computacionales para análisis y diseño de estructuras?

Nada

Manejo lo básico

Nivel medio

Nivel avanzado

8. ¿Le interesaría tener un documento que le explique cómo hacer diseños o evaluaciones de edificios desde el punto de vista sísmico y así tener mejores criterios para reforzar una estructura? (Si/No)

Seguido se muestran los planos estructurales del edificio estudiado en los cuales se aprecian los armados de: las columnas (pp.87-95), vigas principales y secundarias (pp.96-131), vigas doble T utilizadas para el sistema de losa (pp.132-134), el detallado de los cimientos (pp.135-138) y al final se muestra el estudio geotécnico del terreno donde será construida la edificación.

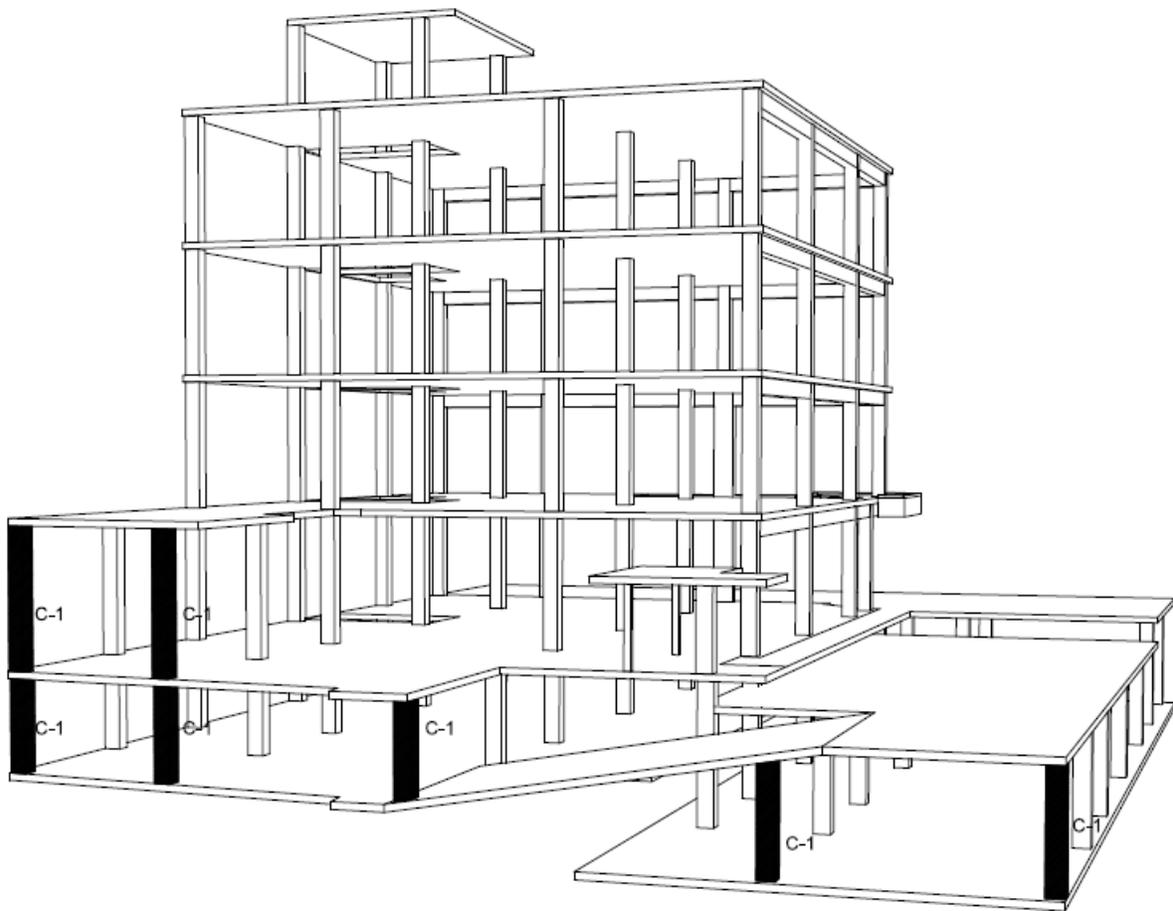


Figura 42. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 1

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

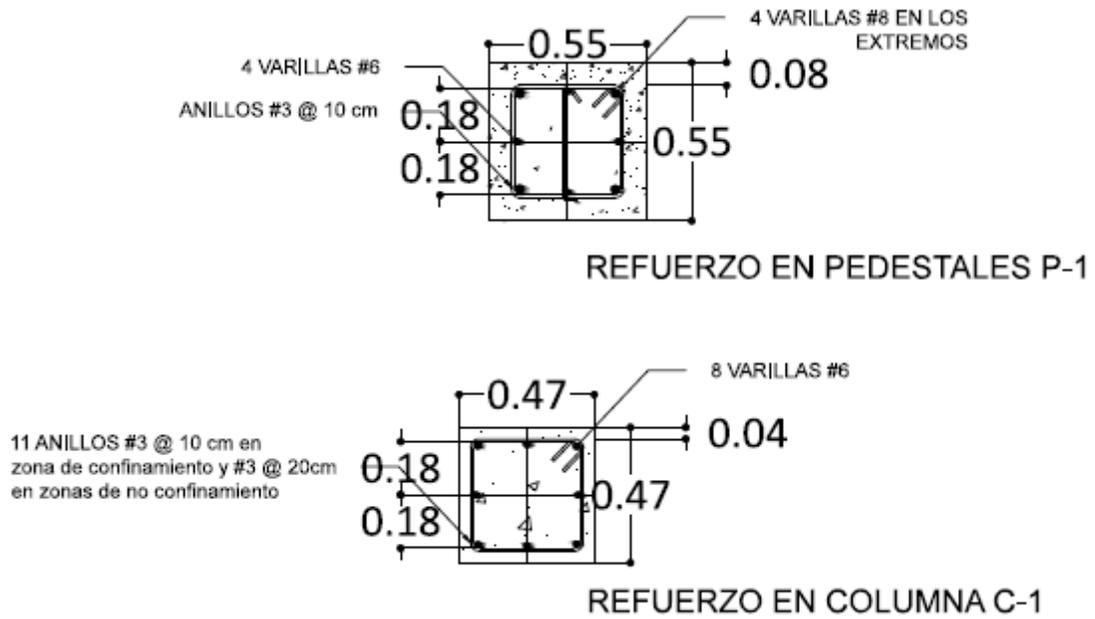


Figura 43. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columna en pórtico sobre eje 1

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

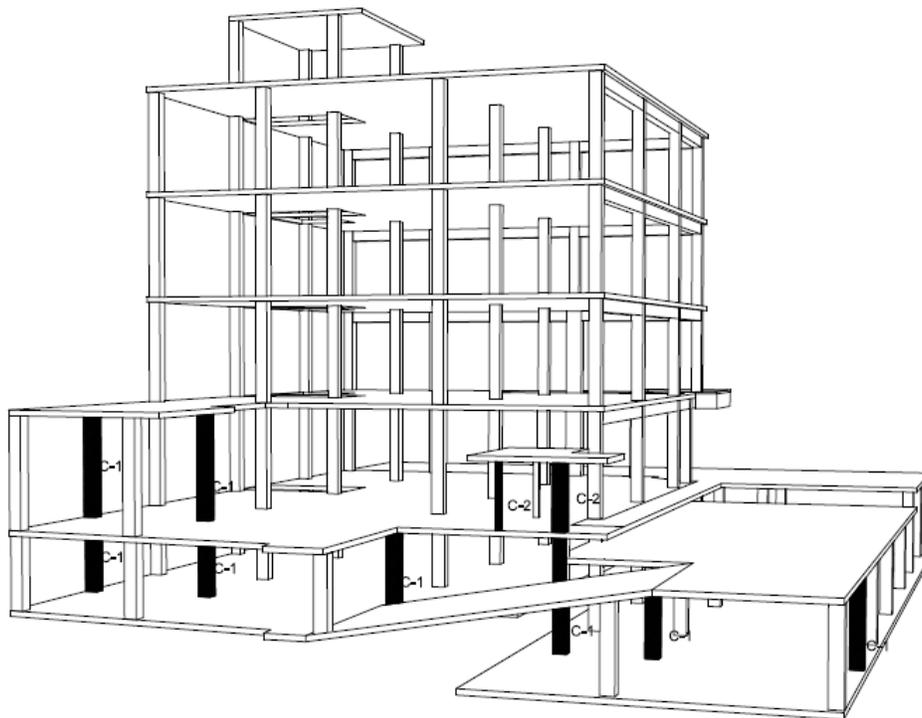


Figura 44. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 2

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

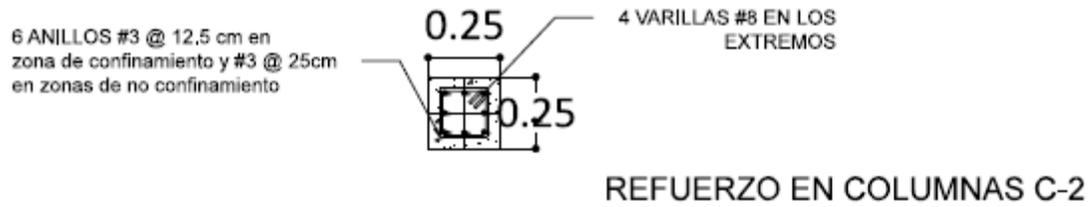
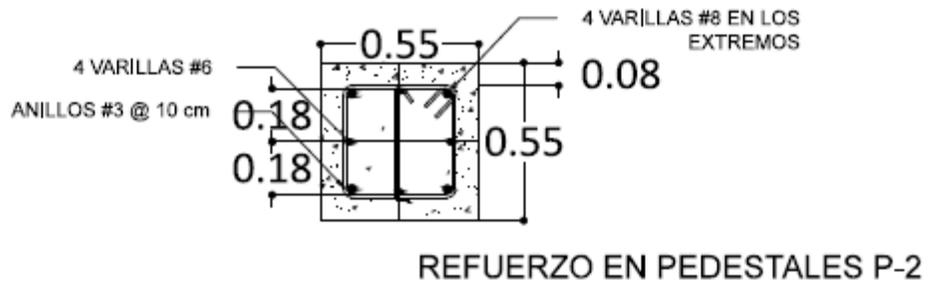


Figura 45. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 2

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

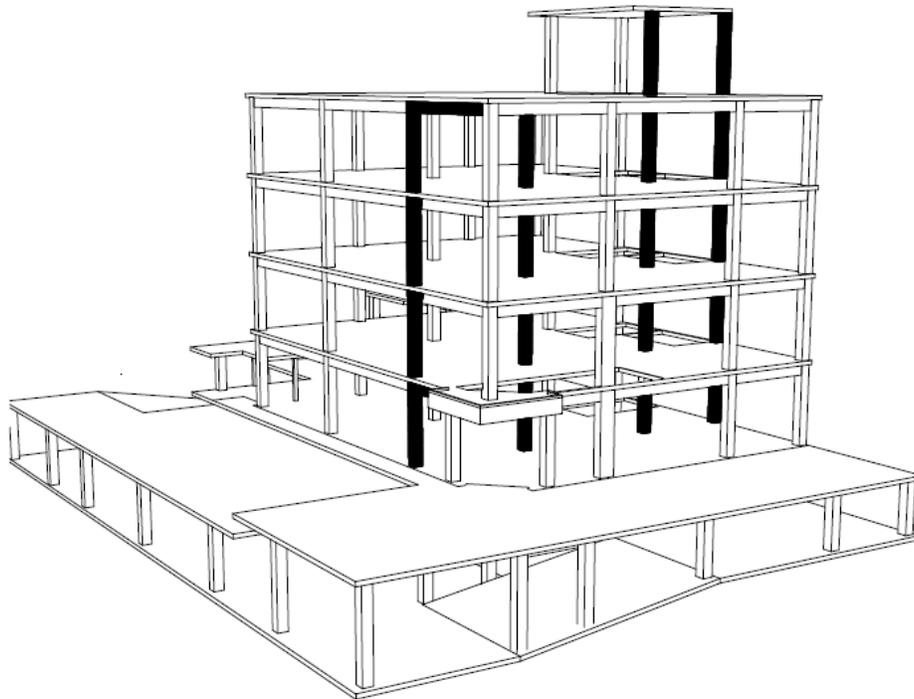


Figura 46. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 5

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

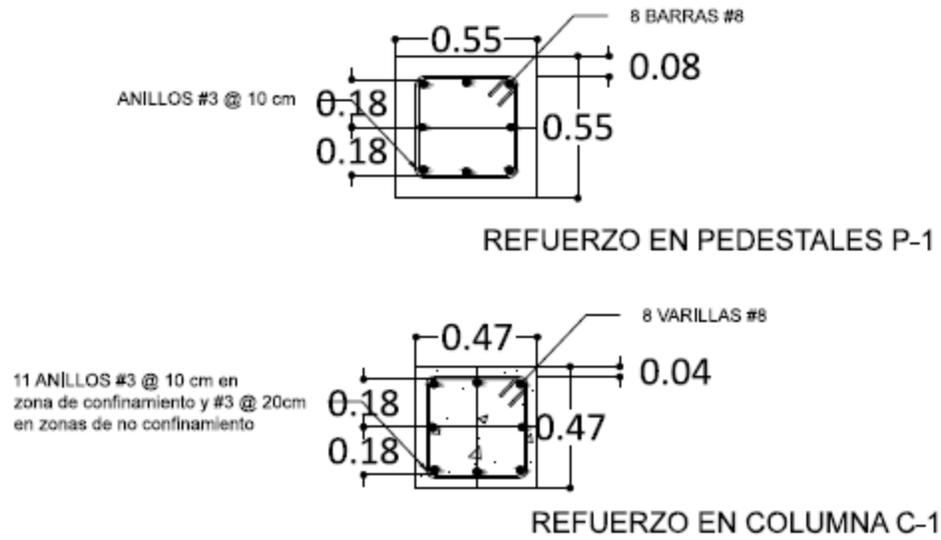


Figura 47. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 5

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

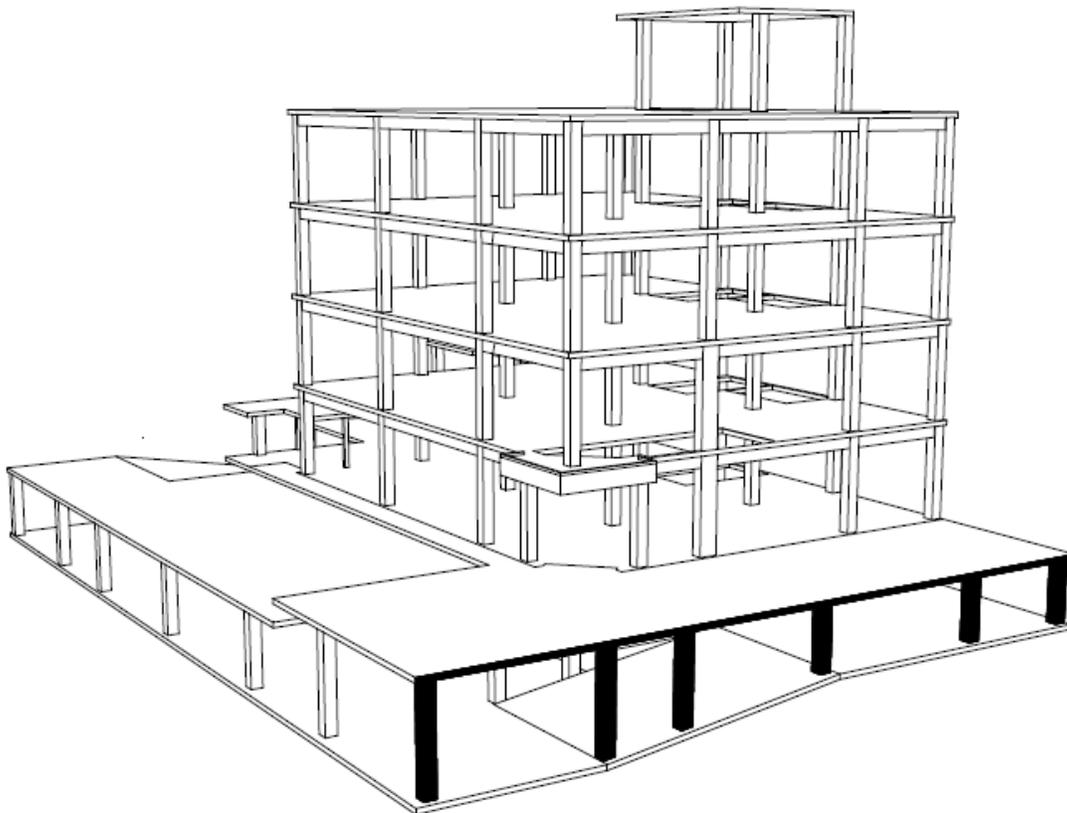


Figura 48. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 7

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

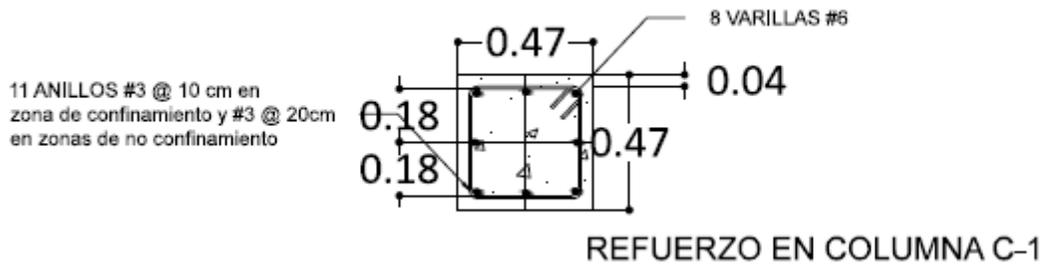
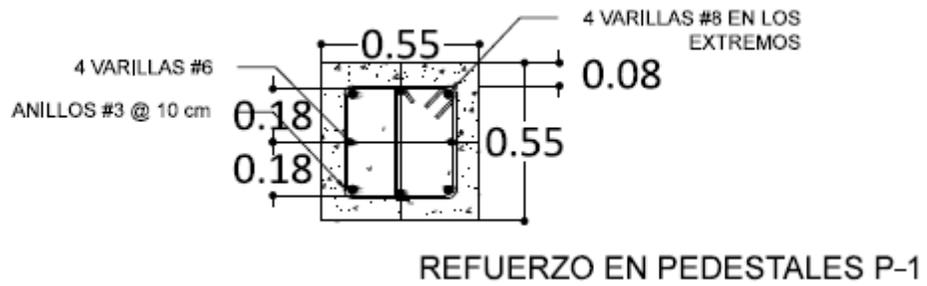


Figura 49. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 7

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

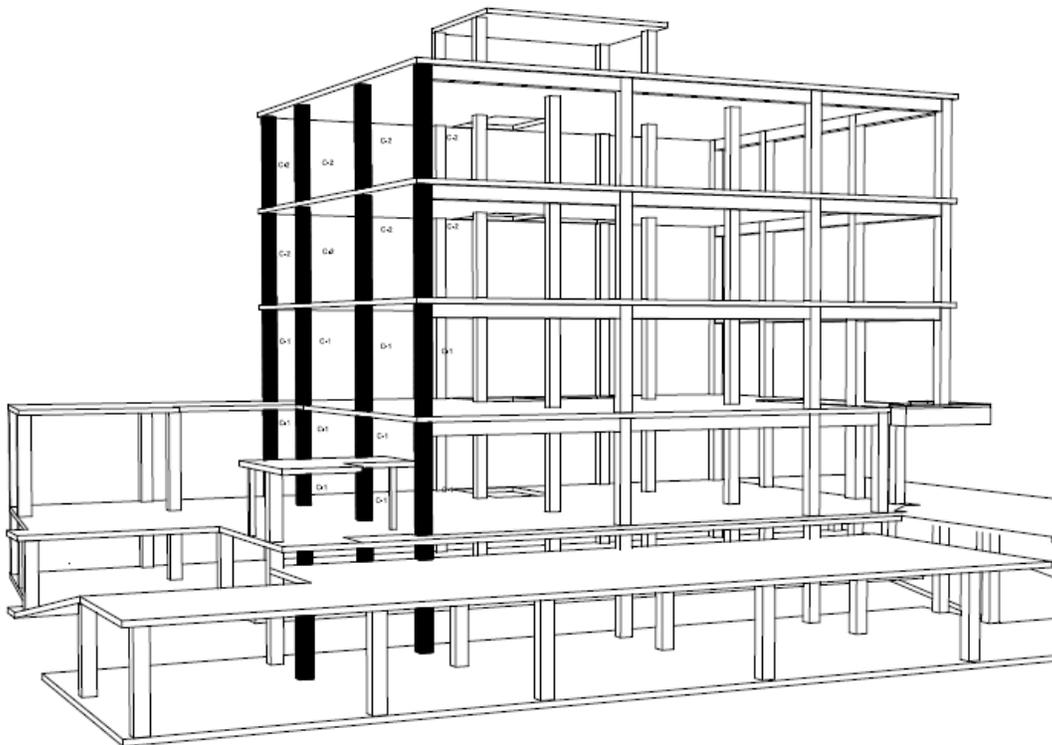


Figura 50. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 3

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

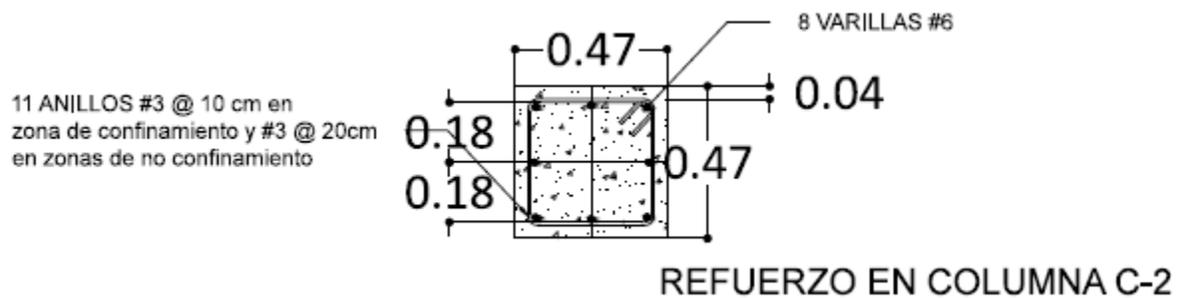
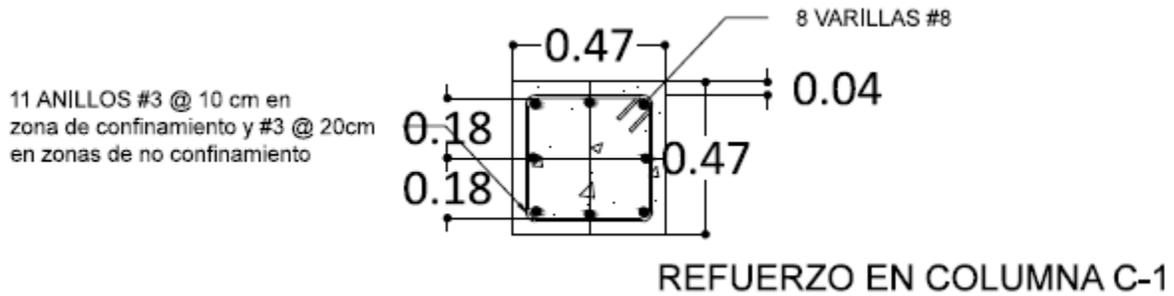
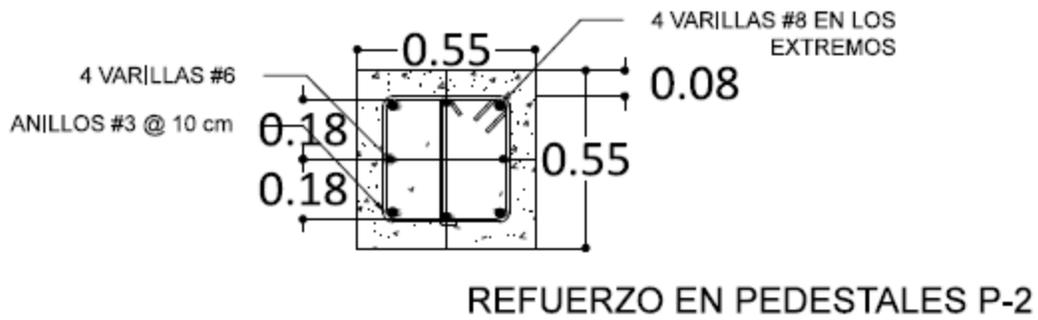
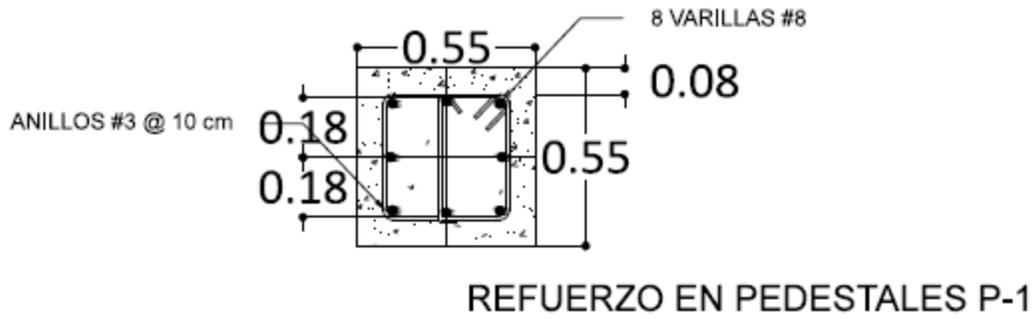


Figura 51. Dimensiones y refuerzo de pedestal y columnas en pórtico sobre eje 3

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

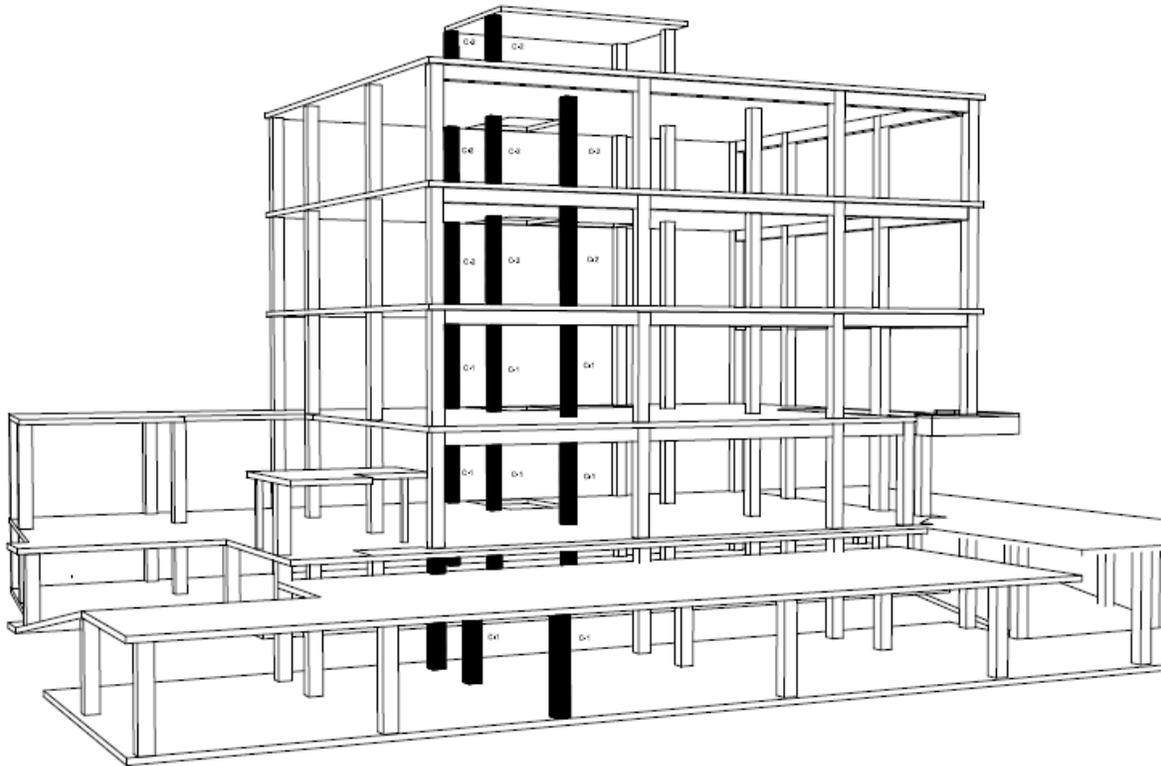


Figura 52. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 4

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

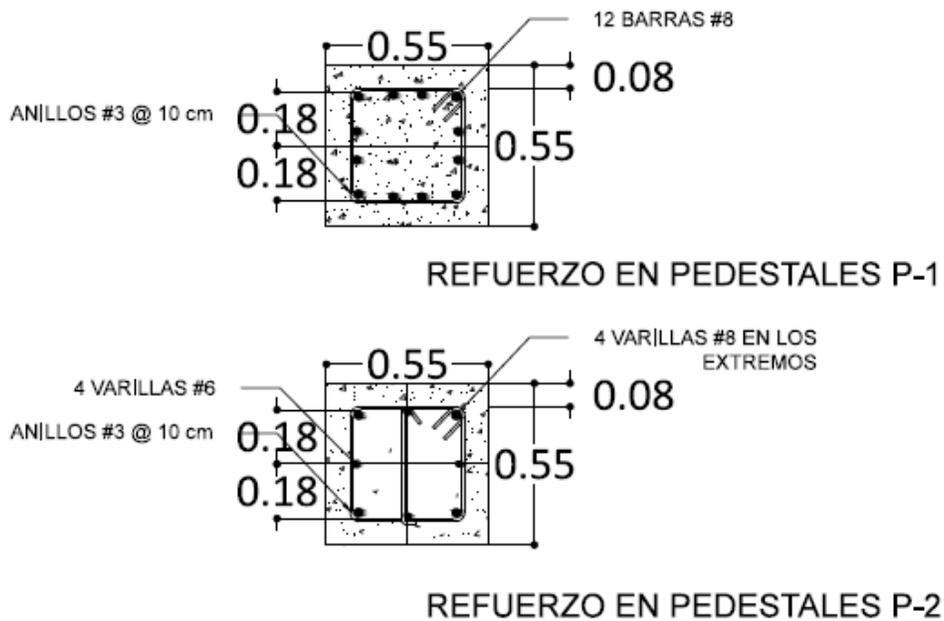
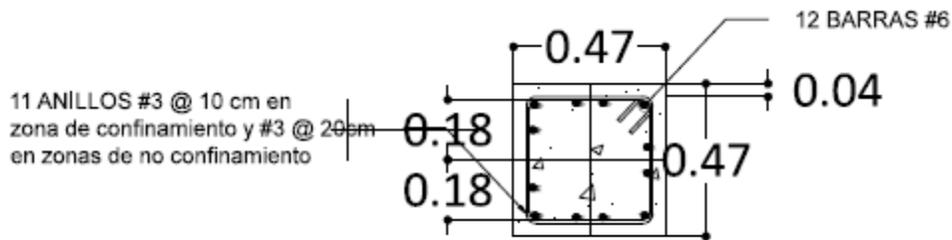
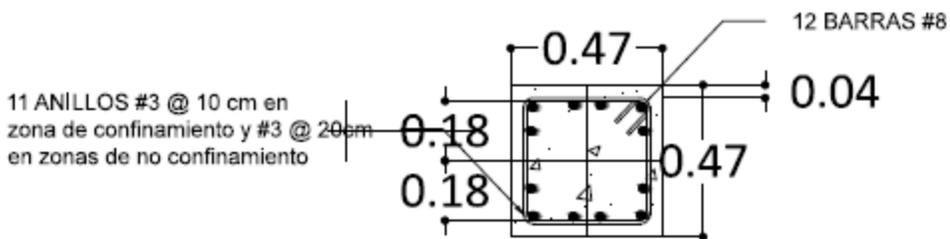


Figura 53. Dimensiones y refuerzo de pedestal en pórtico sobre eje 4

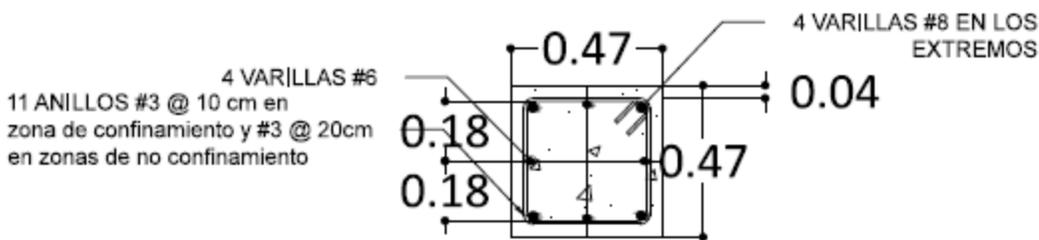
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



REFUERZO EN COLUMNA C-2



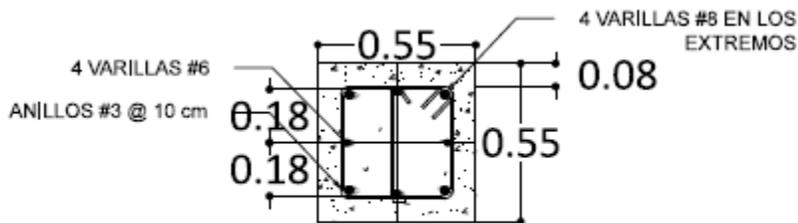
REFUERZO EN COLUMNA C-1



REFUERZO EN COLUMNA C-3

Figura 54. Dimensiones y refuerzo de columnas en pórtico sobre eje 4

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



REFUERZO EN PEDESTALES P-1

Figura 55. Dimensiones y refuerzo de pedestal 1 en pórtico sobre eje 6

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

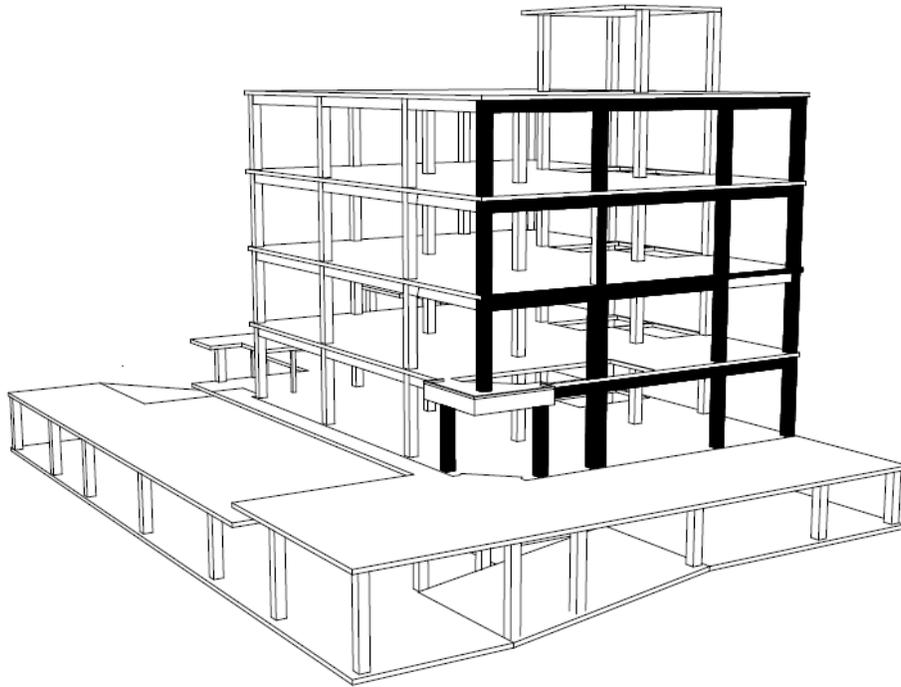


Figura 56. Vista isométrica de la estructura mostrando pórtico sobre eje 6

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

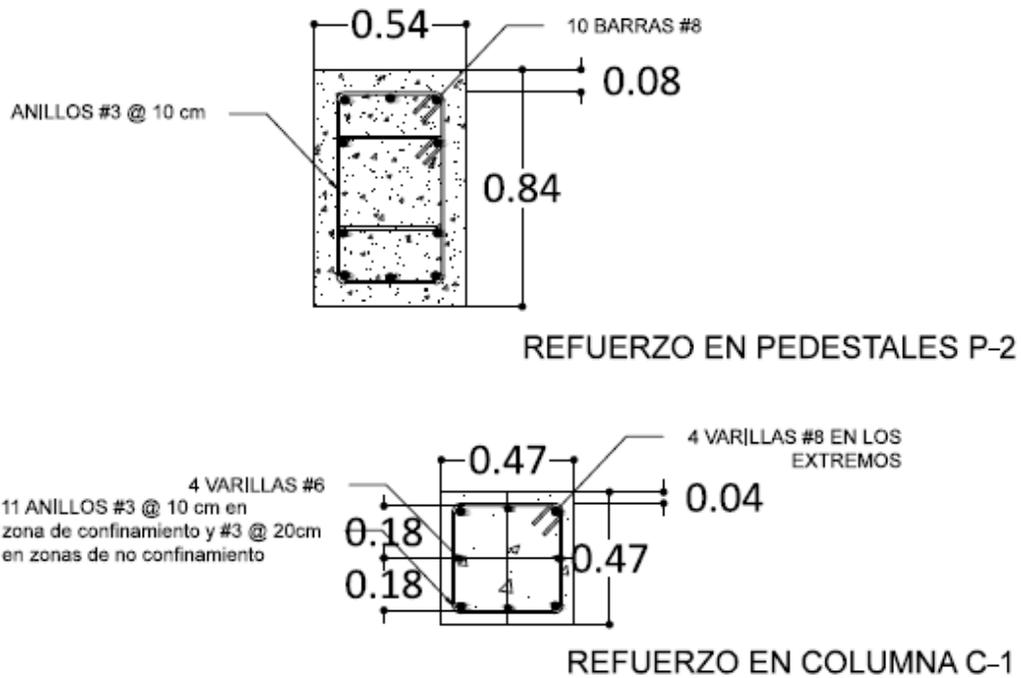


Figura 57. Dimensiones y refuerzo de pedestal 2 y columna C-1 en pórtico sobre eje 6

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

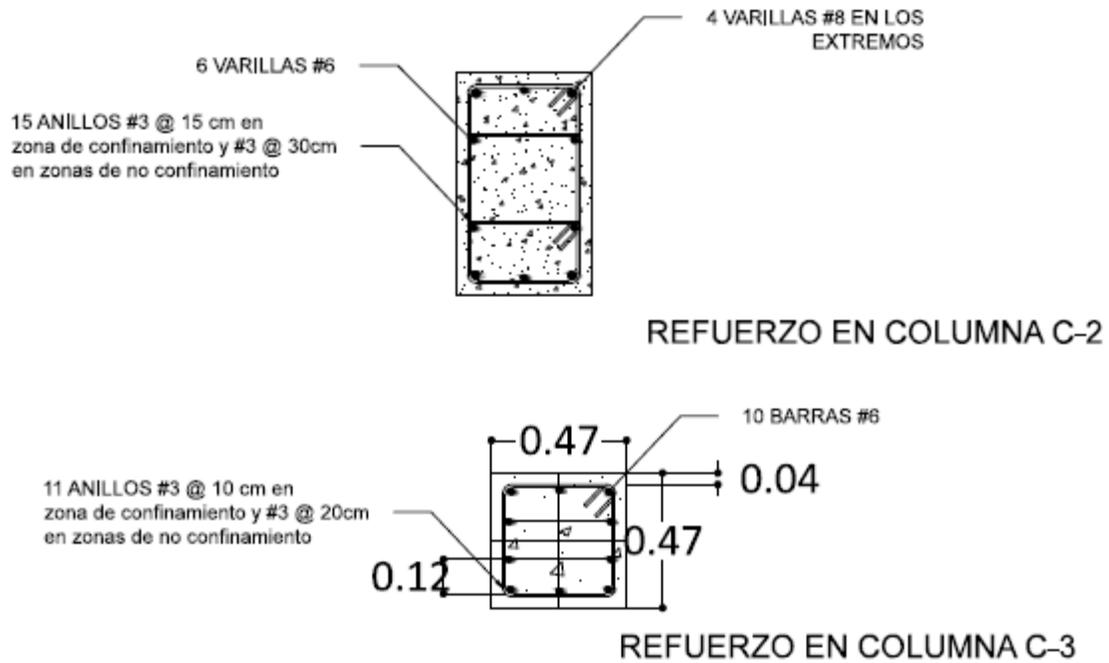


Figura 58. Dimensiones y refuerzo de columnas C-2 y C-3 en pórtico sobre eje 6

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

En la fig. 59 se muestra la distribución en planta de las vigas principales, en las cuales se apoya la losa de entrepiso del 1° nivel. En las figuras 60 a 88 se detallan los reforzamientos de las vigas mencionadas.

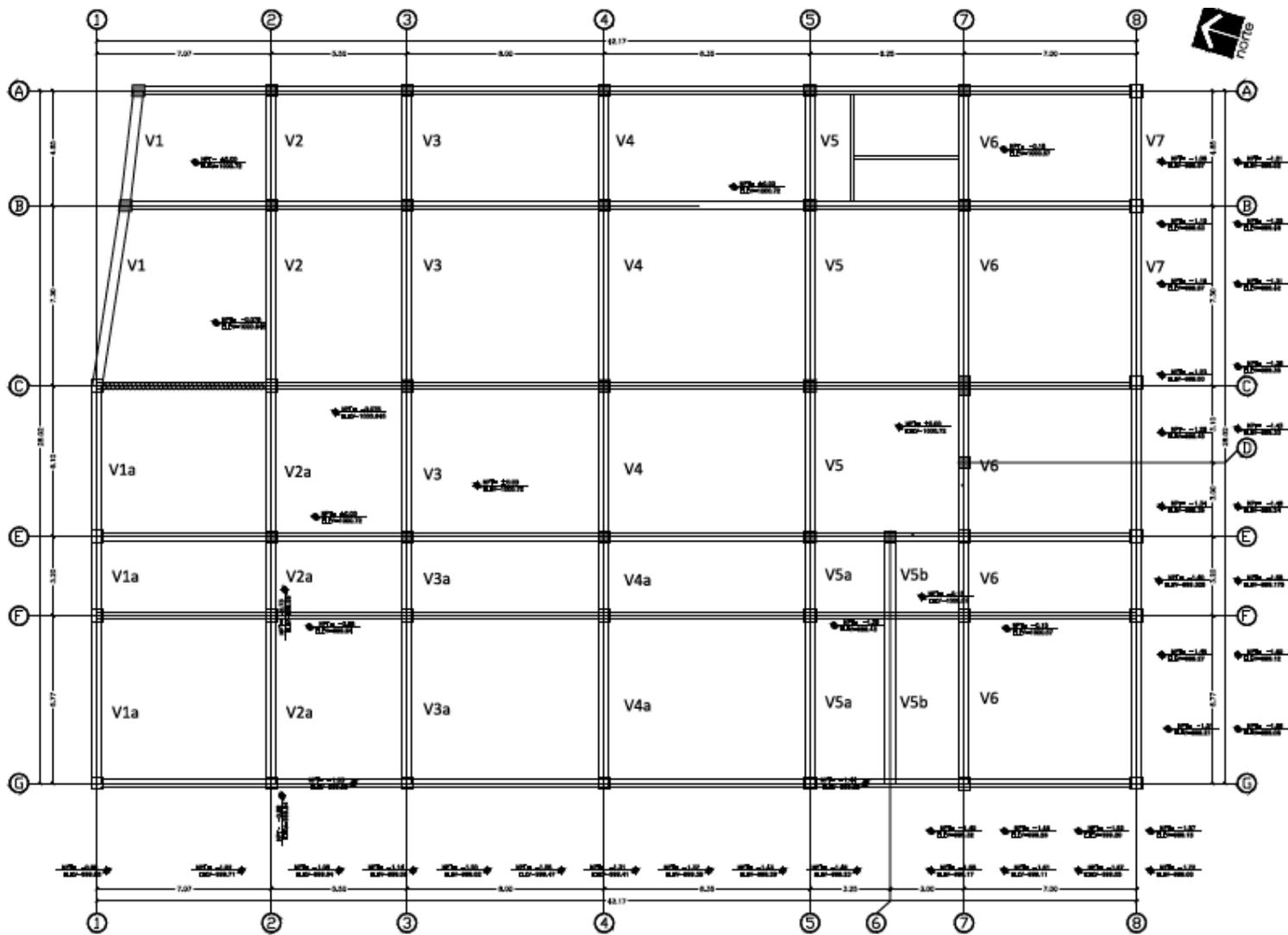
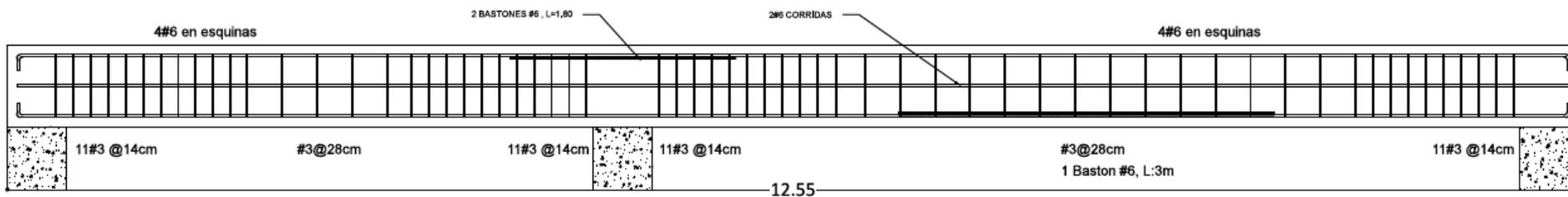
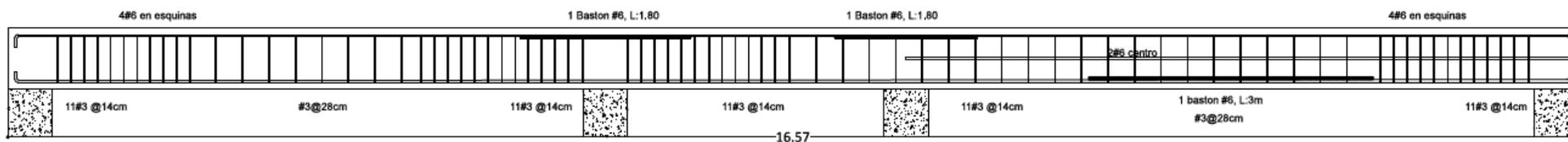


Figura 59. Distribución en planta de las vigas principales que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel

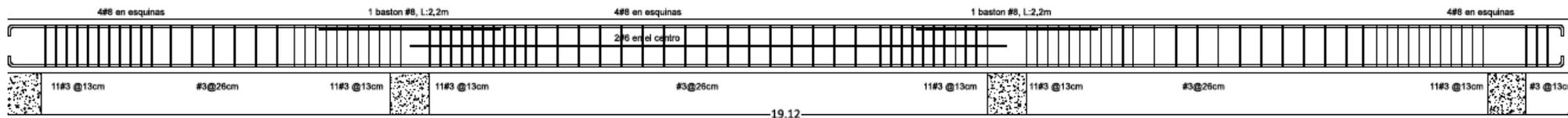
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



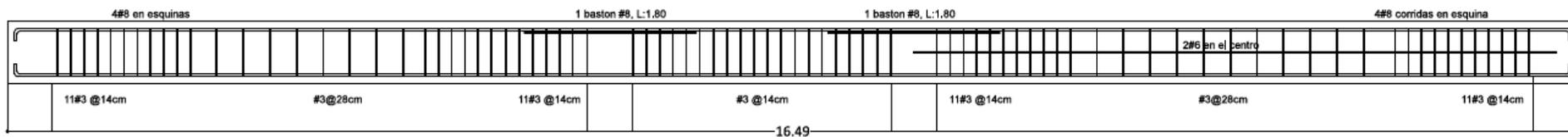
VIGA V-1, SECCION 40X65 cm (vigas eje 1)



VIGA V-1a, SECCION 40X65 cm (vigas eje 1)



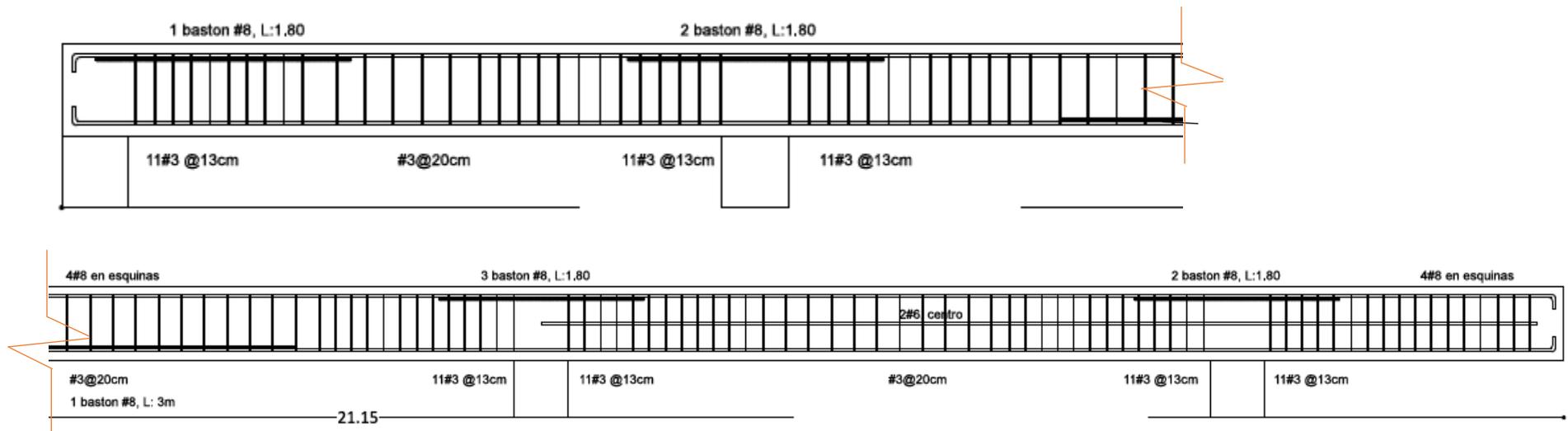
VIGA V-2, SECCION 40X65 cm (vigas eje 2)



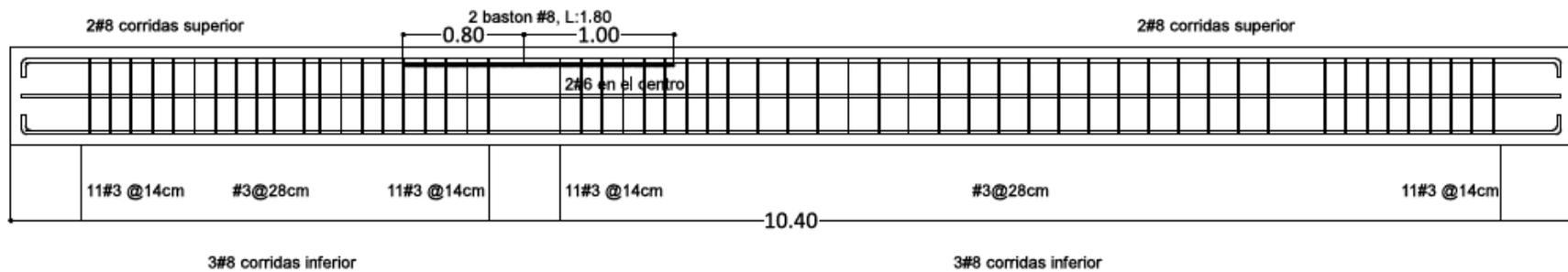
VIGA V-2a, SECCION 40X65 cm (vigas eje 2)

Figura 60. Refuerzo en vigas V-1, V-1a, V-2 y V-2a que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



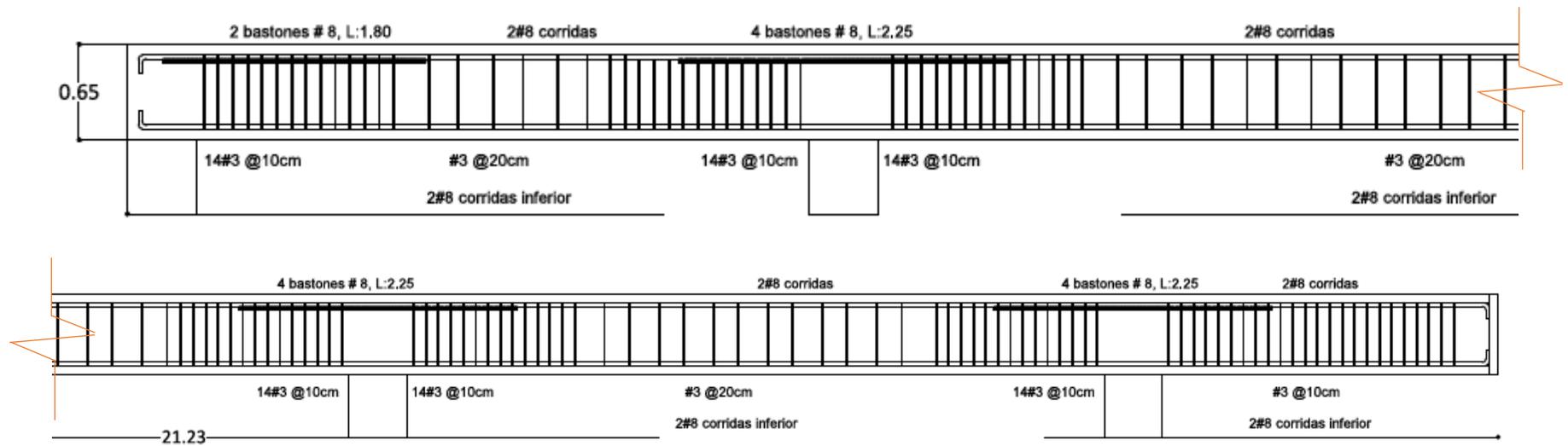
VIGA V-3, SECCION 40X65 cm (vigas eje 3)



Viga V-3a, sección 40x65 cm (vigas ejes 3)

Figura 61. Refuerzo en vigas V-3 y V-3a que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



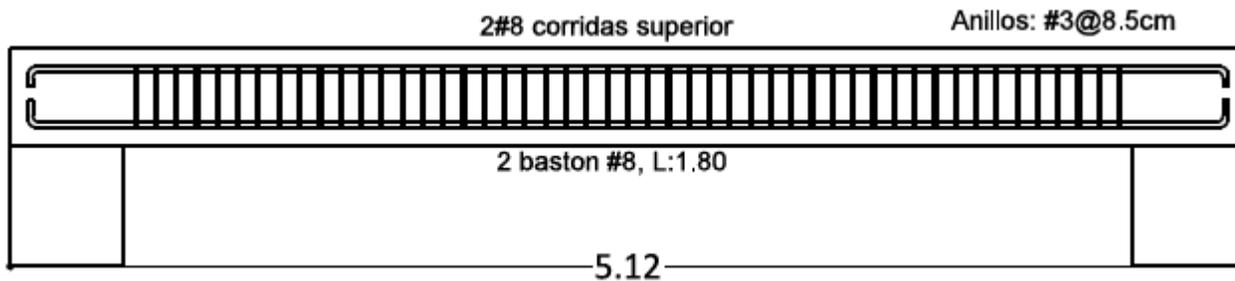
VIGA V-4, SECCION 40X65 cm (vigas eje 4)



VIGA V-4a, SECCION 40X65

Figura 62. Refuerzo en vigas V-4 y V-4a que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel

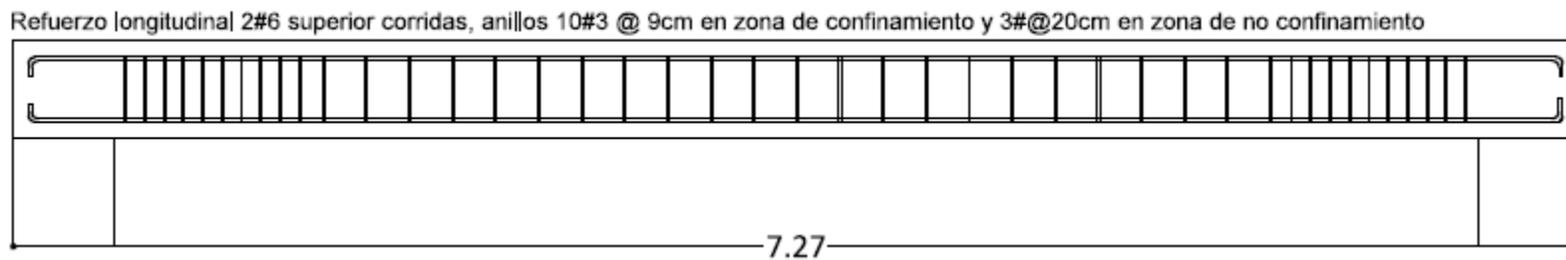
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



Viga V-4b, sección 20x40 cm
(vigas eje 4)



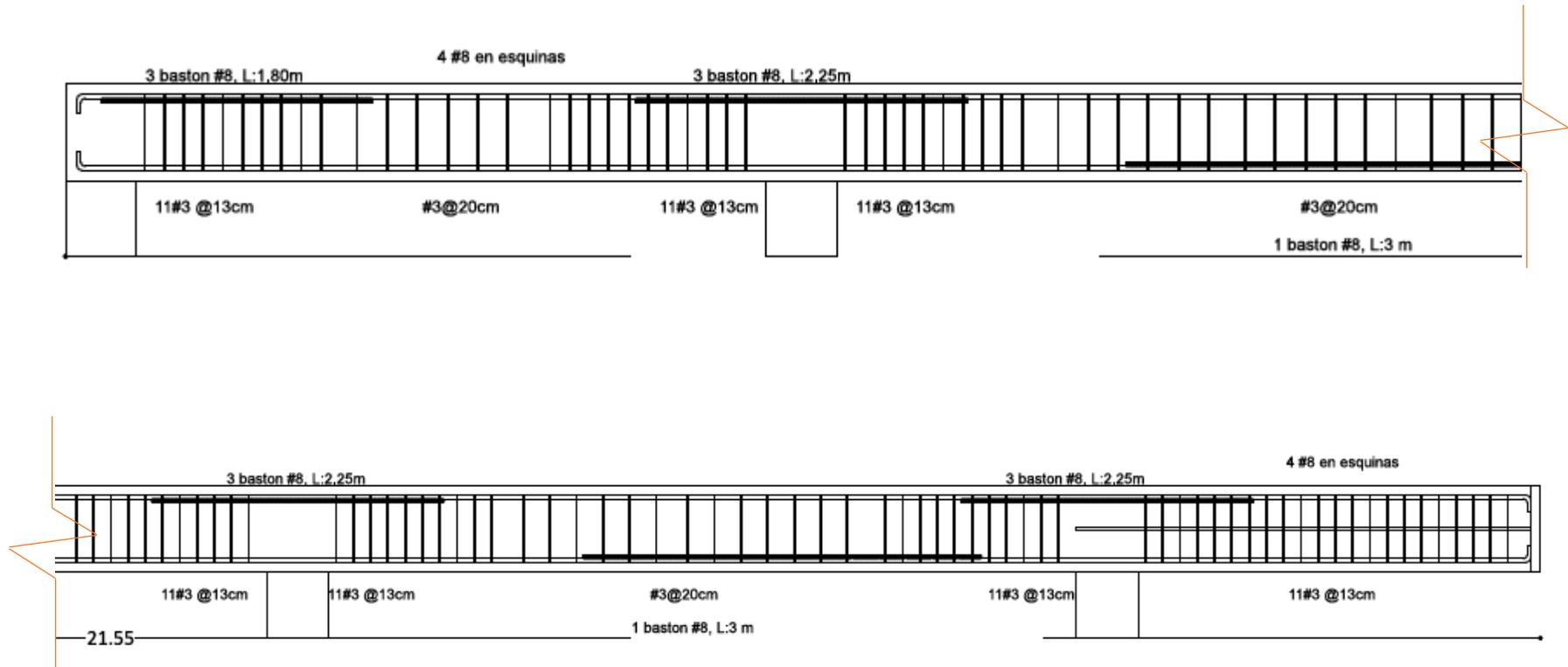
Viga V-4c, sección 20x40 cm
(vigas eje 4)



Viga V-5b, sección 30x45 cm
(vigas eje 5)

Figura 63. Refuerzo en vigas V-4b, V-4c y V-5b que sostienen la losa de entrepiso del 1° nivel

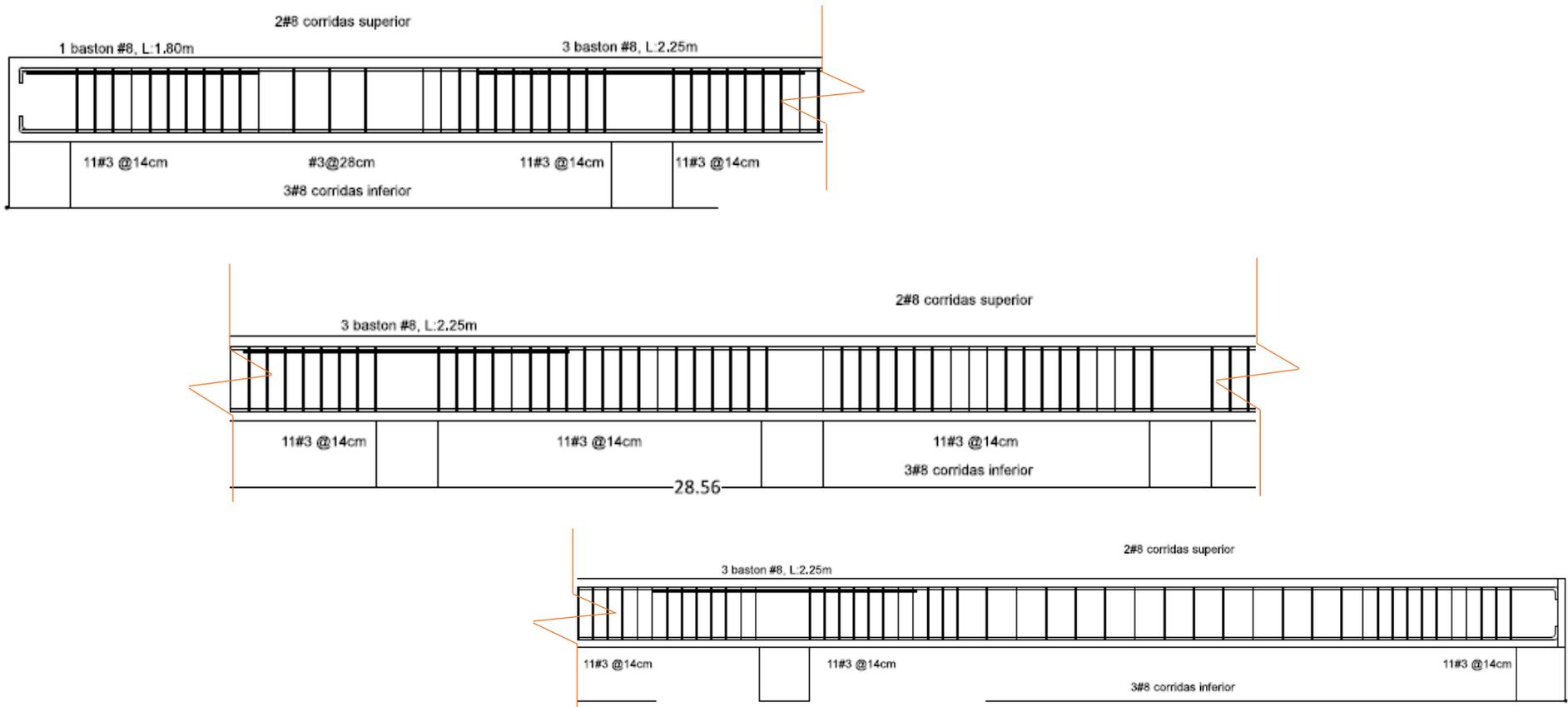
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA V-5, SECCION 20x40 cm (vigas eje 4)

Figura 64. Refuerzo en viga V-5 que sostiene la losa de entrepiso del 1° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA V-6, SECCION 40x65 cm (vigas eje 6)

Figura 65. Refuerzo en viga V-6 que sostiene la losa de entrepiso del 1° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

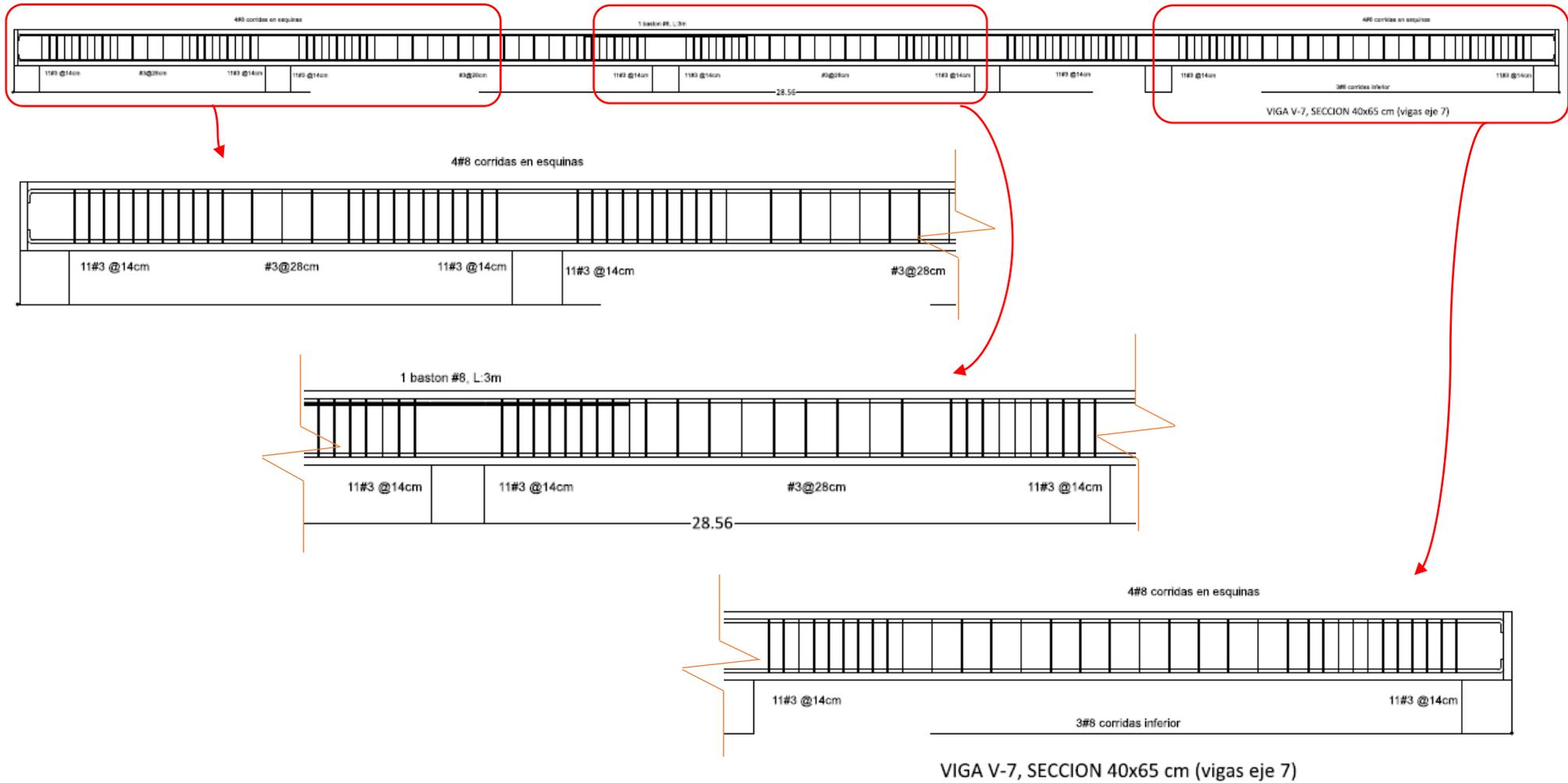


Figura 66. Refuerzo en viga V-7 que sostiene la losa de entrepiso del 1° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

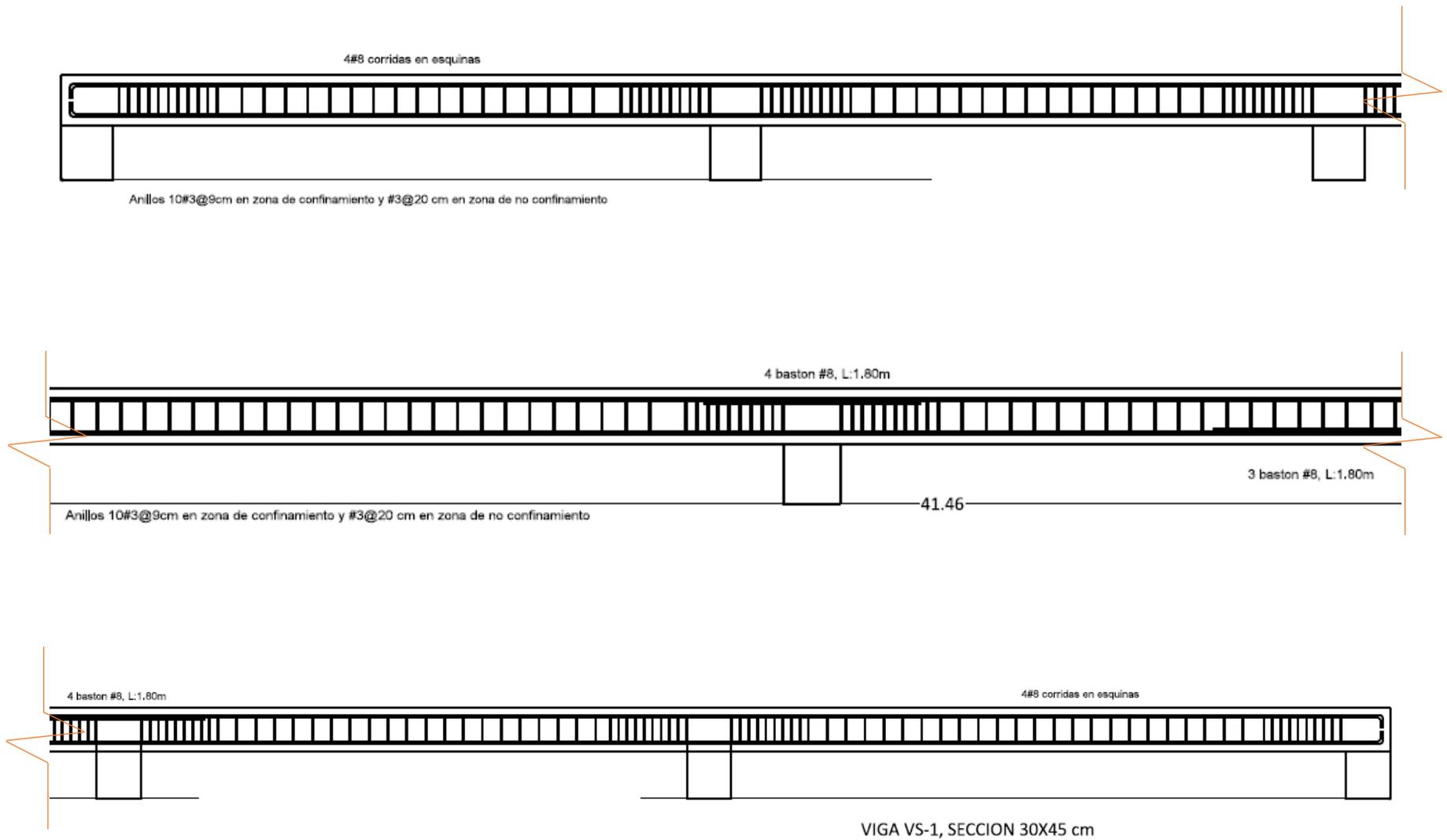


Figura 67. Refuerzo de viga VS-1

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

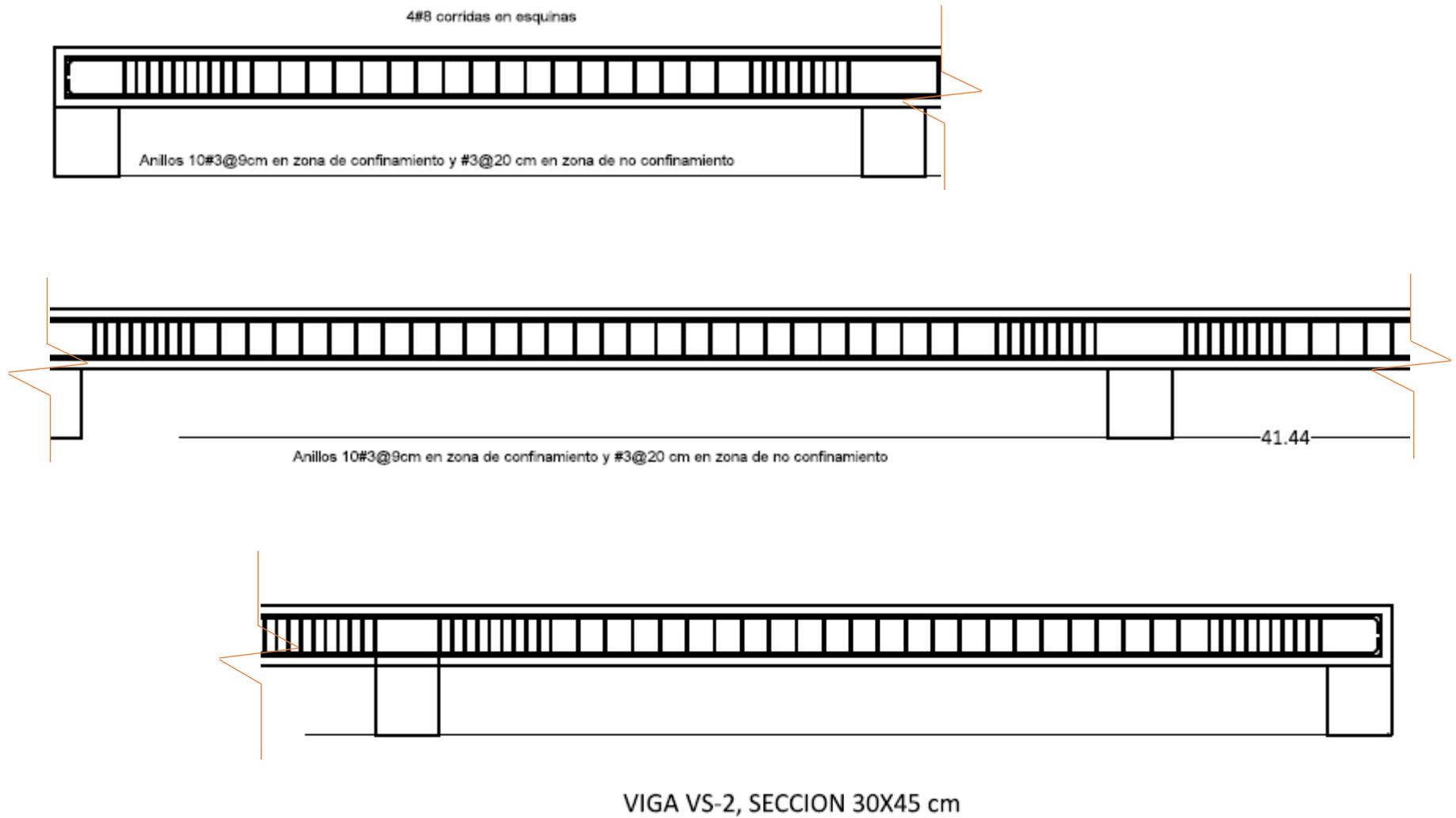


Figura 68. Refuerzo de viga VS-2

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

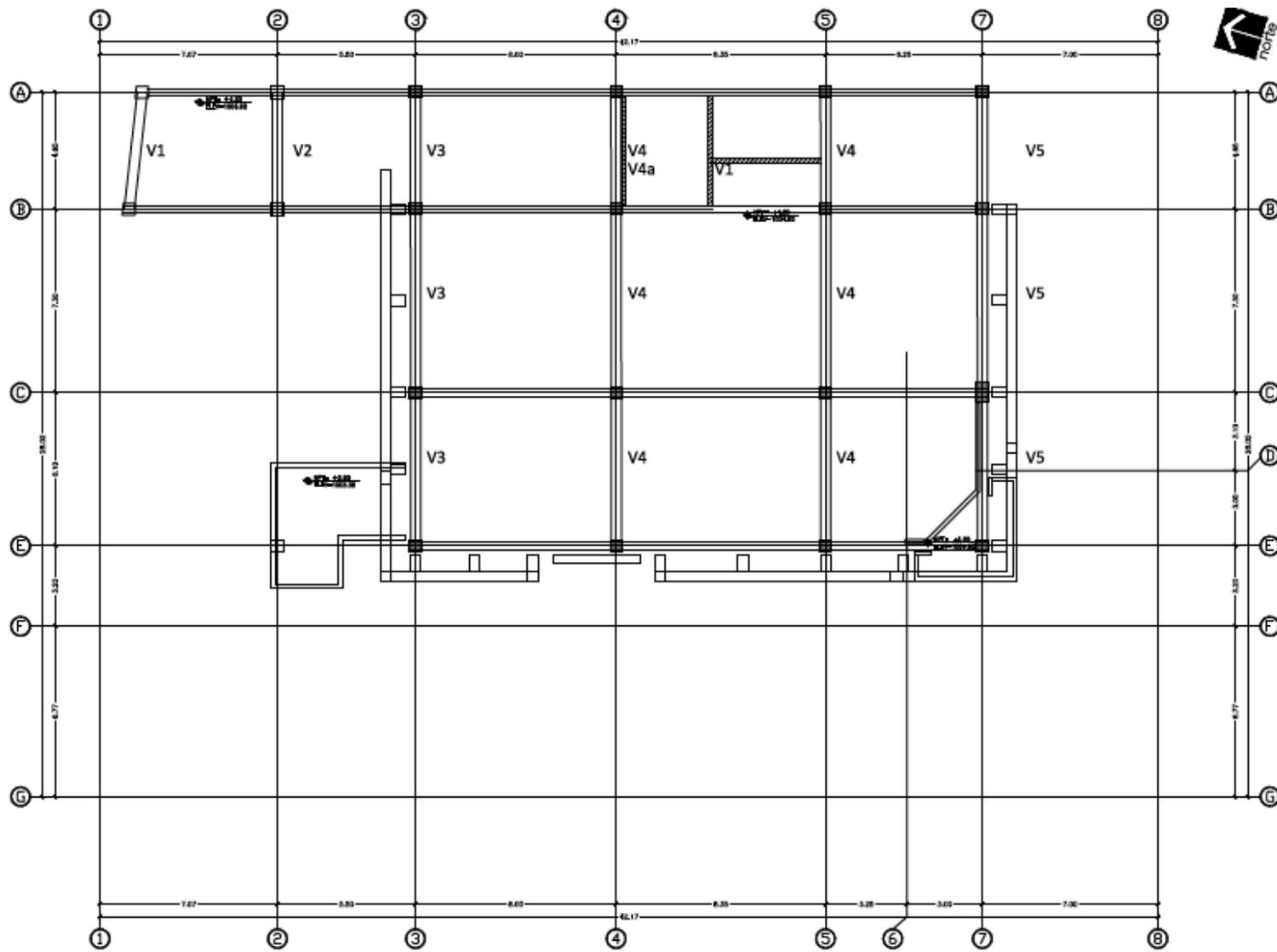
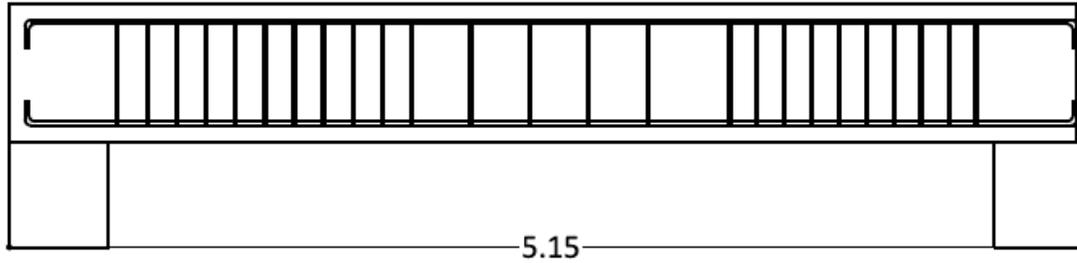


Figura 69. Planta de Distribución de vigas en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

Anillos 11#3@14 cm en zona de confinamiento y #3@28 en zona de no confinamiento

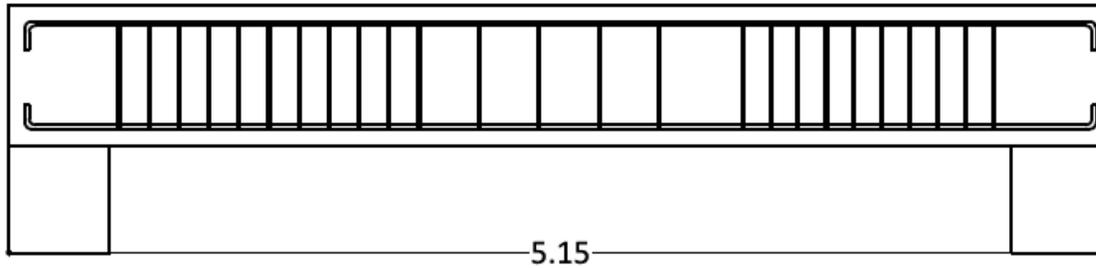
4 barras #8 corridas



VIGA V-1, SECCION 40X65 cm (vigas eje 1)

Anillos 11#3@14 cm en zona de confinamiento y #3@28 en zona de no confinamiento

4 barras #8 corridas



VIGA V-2, SECCION 40X65 cm (vigas eje 1)

Figura 70. Refuerzo de vigas V-1 y V-2 en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

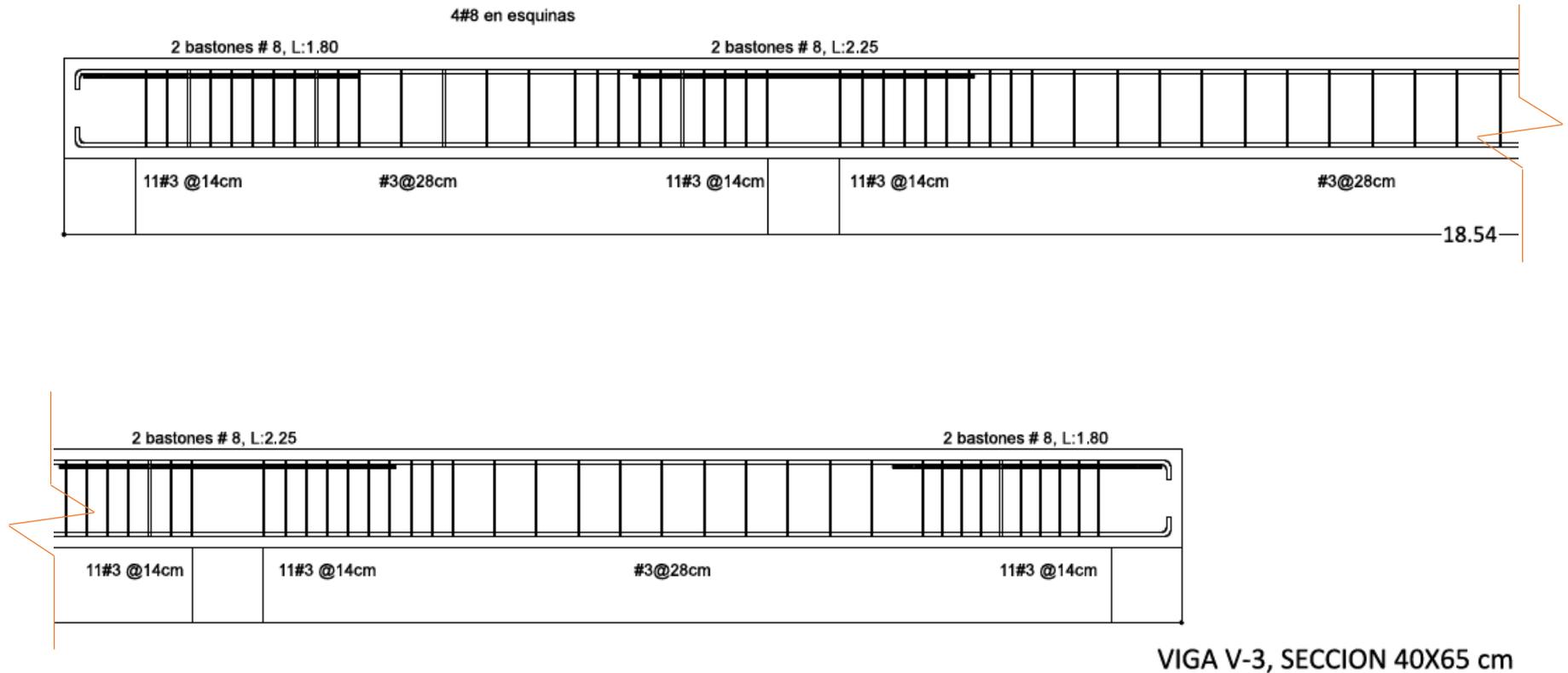
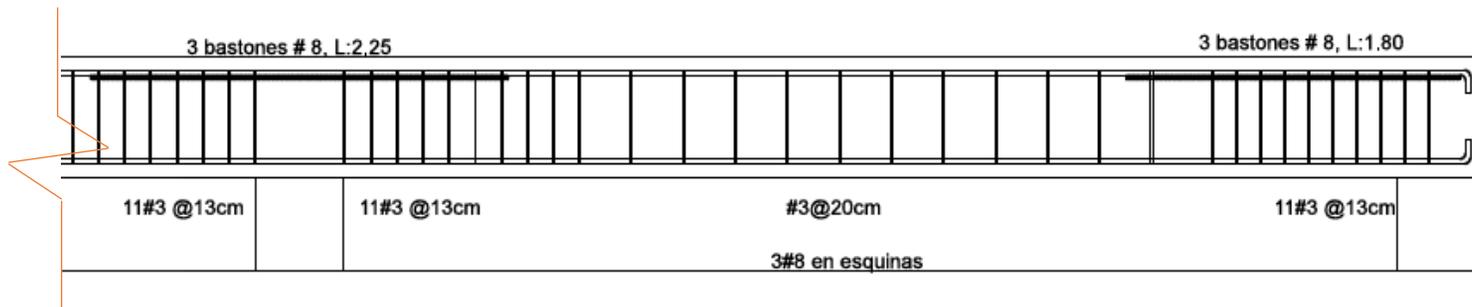
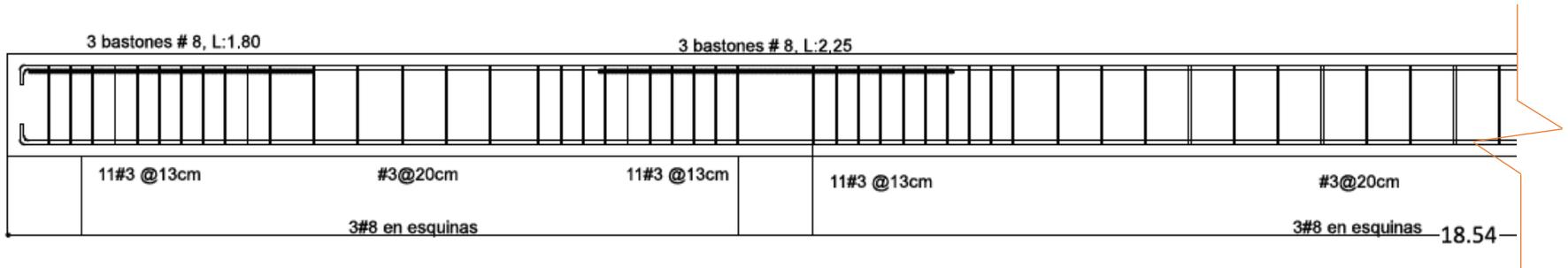


Figura 71. Refuerzo de viga V-3 en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



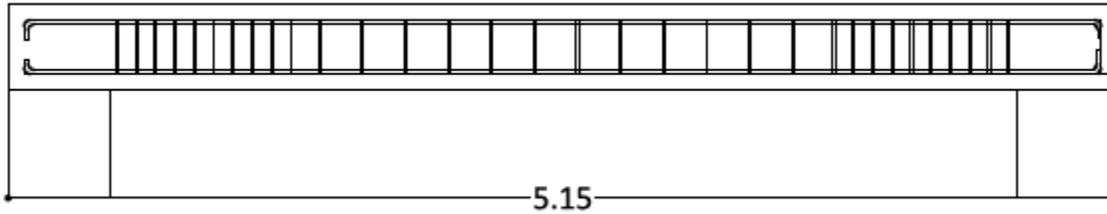
VIGA V-4, SECCION 40X65 cm

Figura 72. Refuerzo de viga V-4 en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

Anillos 11#3@14 cm en zona de confinamiento y #3@28 en zona de no confinamiento

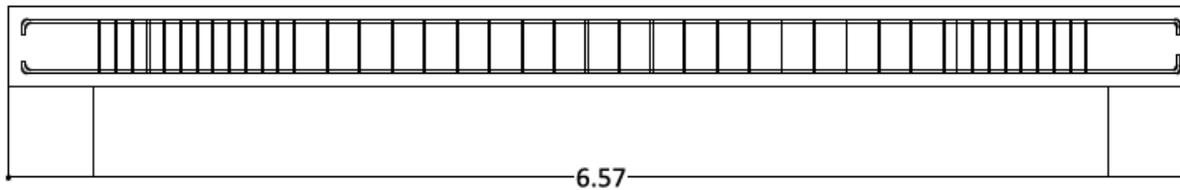
4 barras #8 corridas



VIGA V-4a, SECCION 40X65 cm

Anillos #3@9 cm en zona de confinamiento y #3@18 cm en zona de no confinamiento

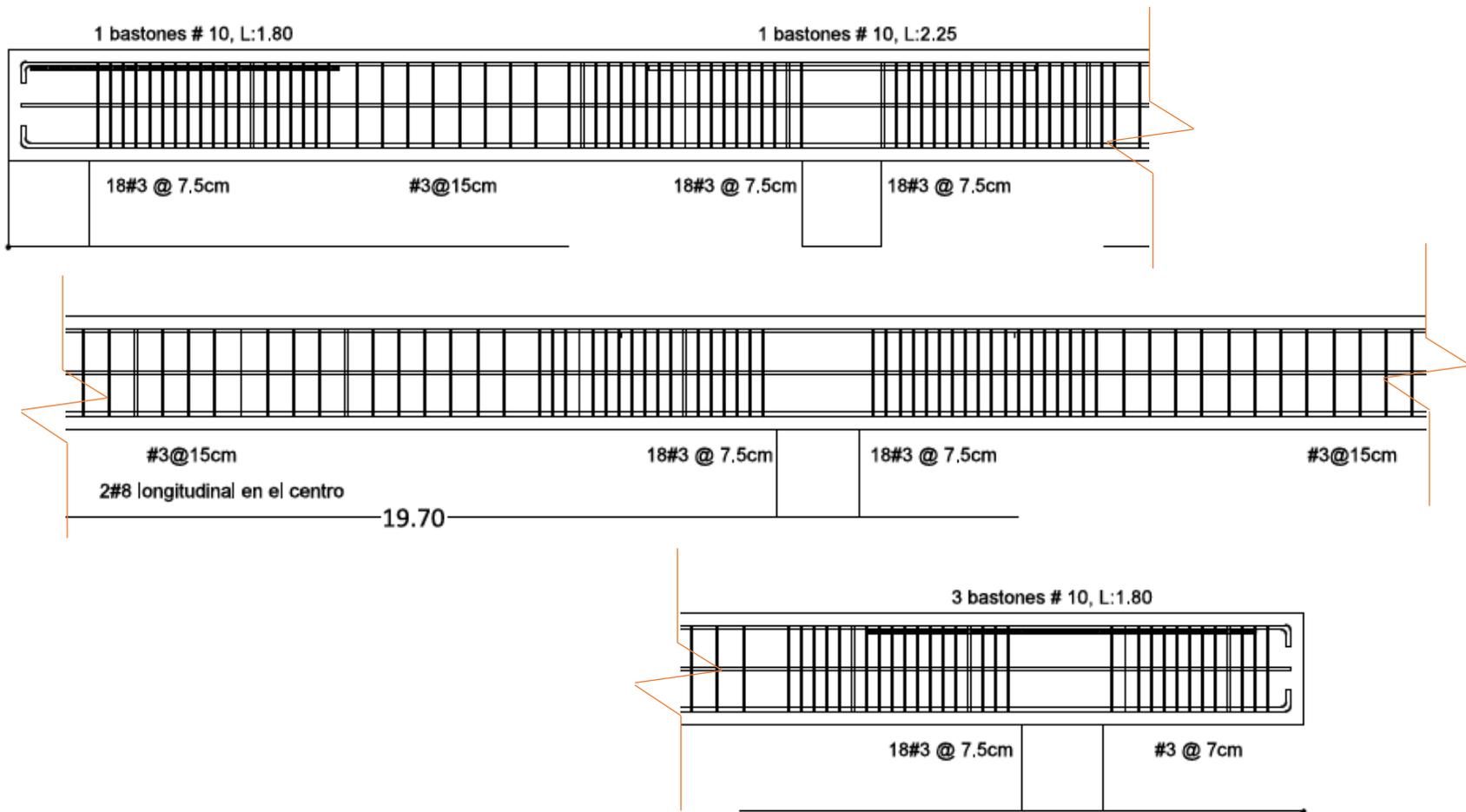
4 barras #8 corridas



VIGA V-4b, SECCION 30X65 cm

Figura 73. Refuerzo de vigas V-4a y V-4b en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA V-5, SECCION 40X65 cm

Figura 74. Refuerzo de viga V-5 en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

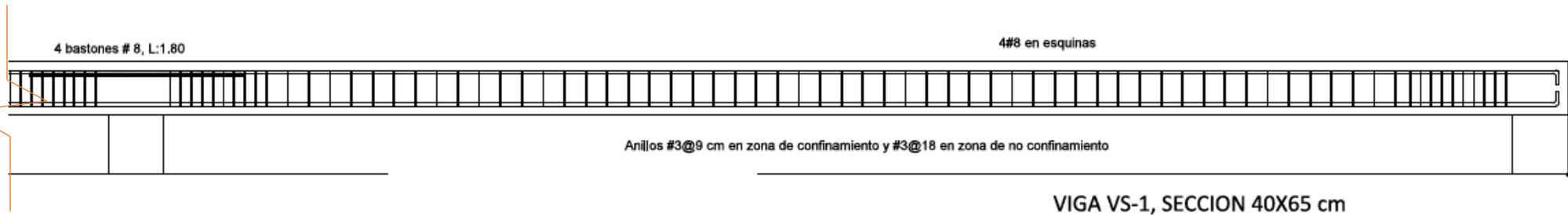
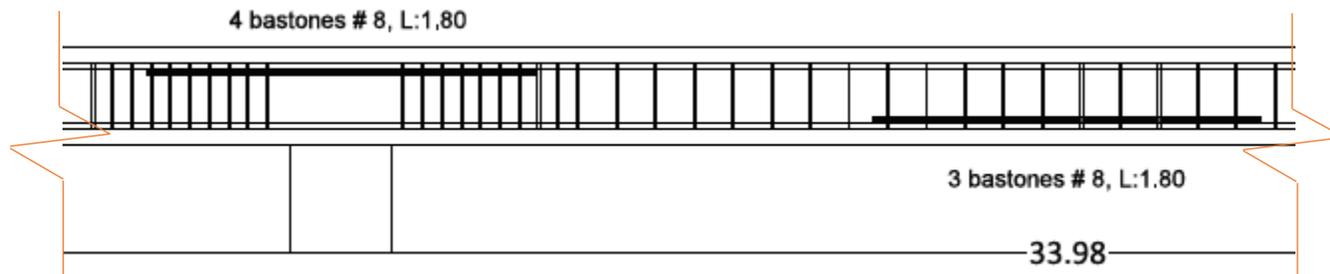
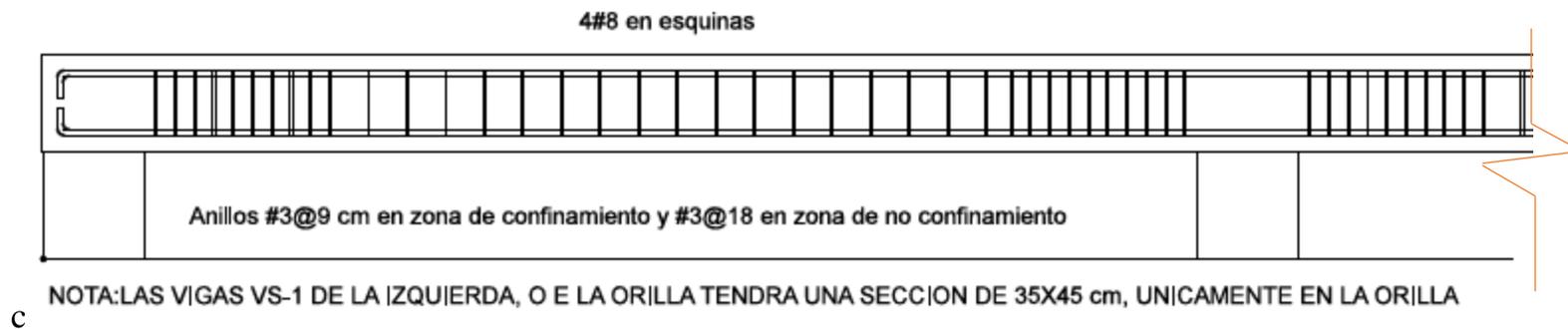
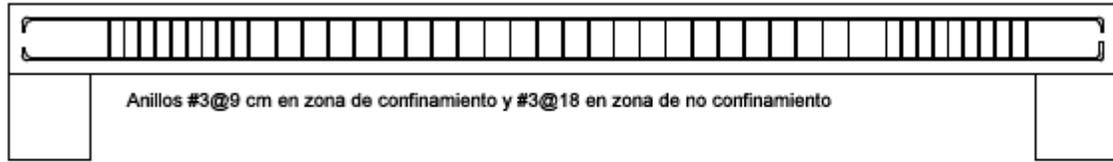
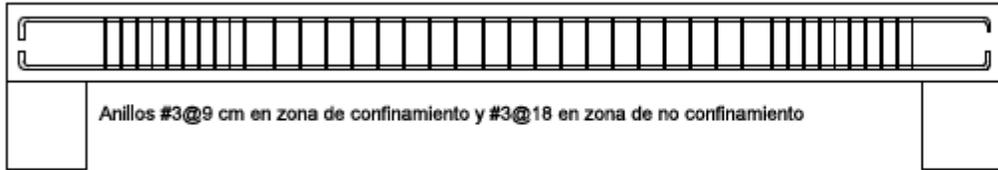


Figura 75. Refuerzo de viga VS-1 en 2° nivel

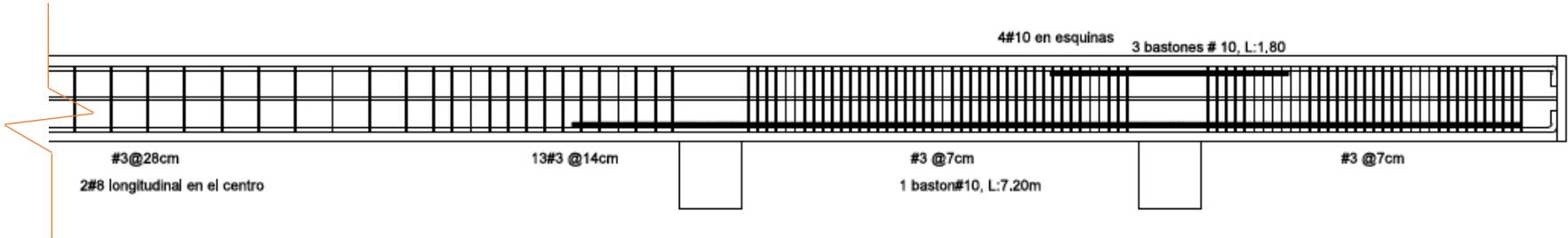
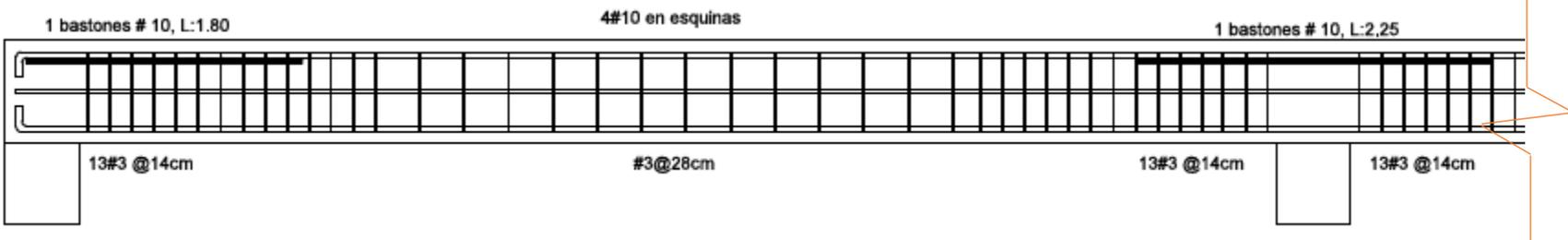
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA VS-2a, SECCION 40X65 cm



VIGA VS-1b, SECCION 40X65 cm



VIGA VS-2, SECCION 40X65 cm

Figura 76. Refuerzo de viga VS-2a, VS-1b y VS-2 en 2° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

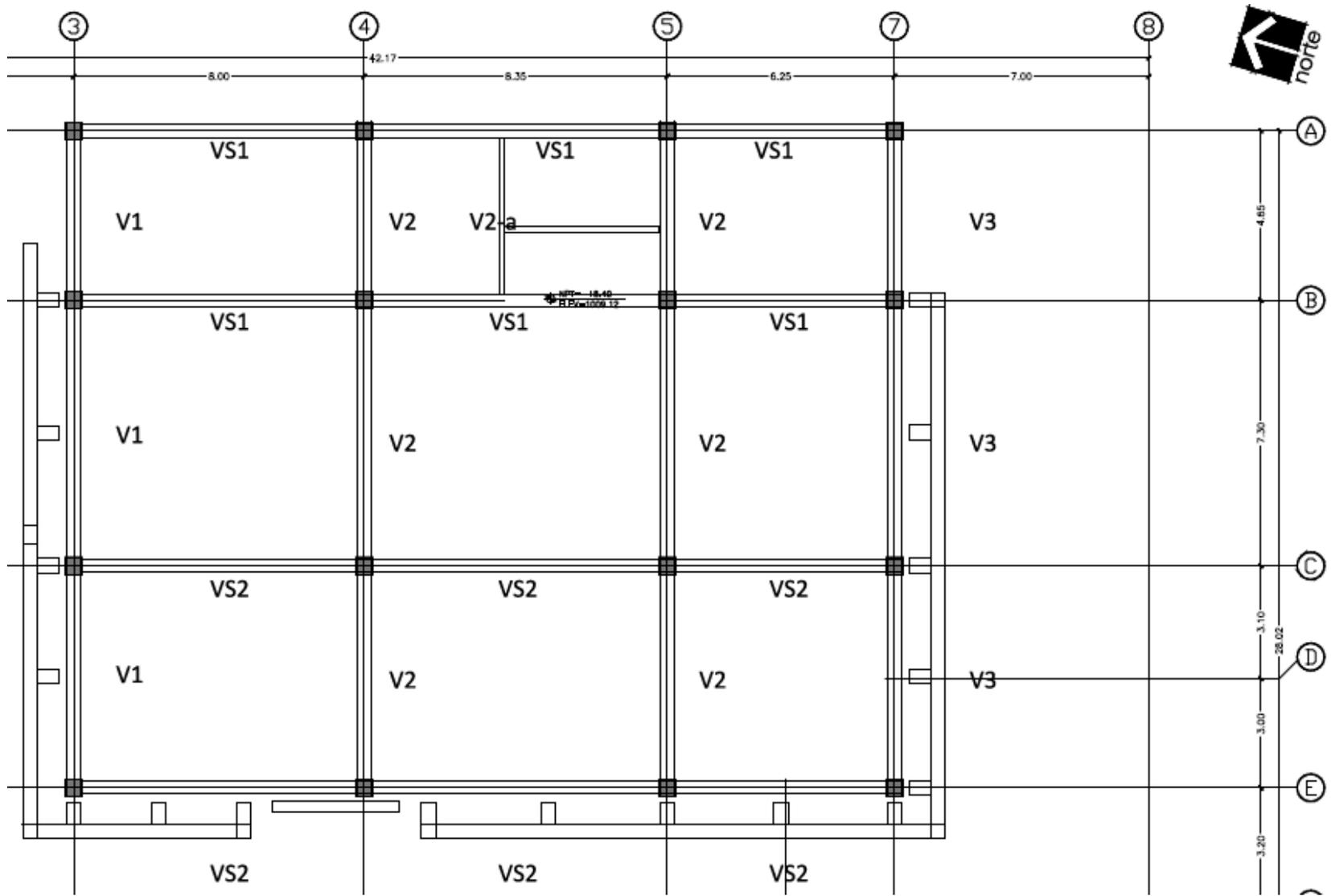
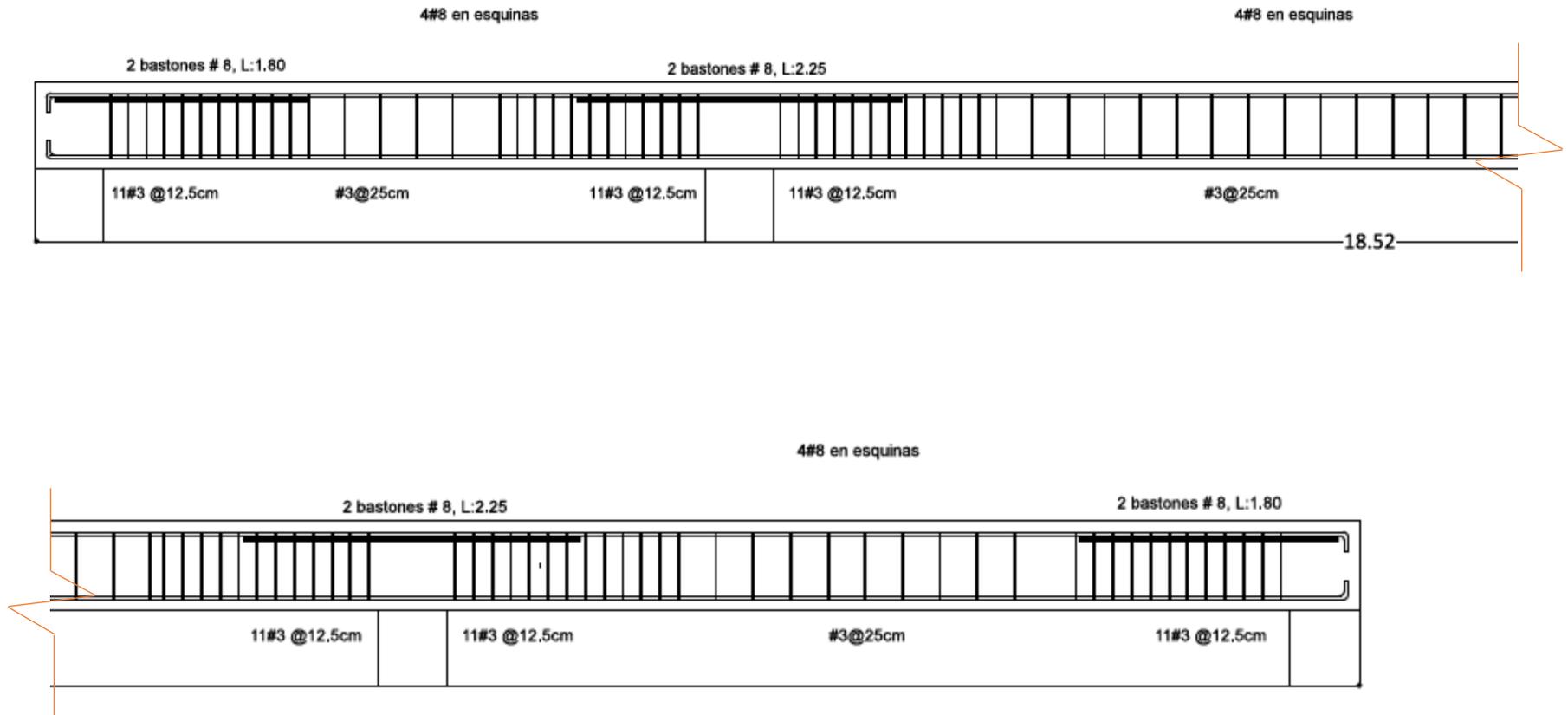


Figura 77. Distribución en planta de vigas en 3° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA V-1, SECCION 40X60 cm (vigas eje 1)

Figura 78. Refuerzo de viga V-1 en 3° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

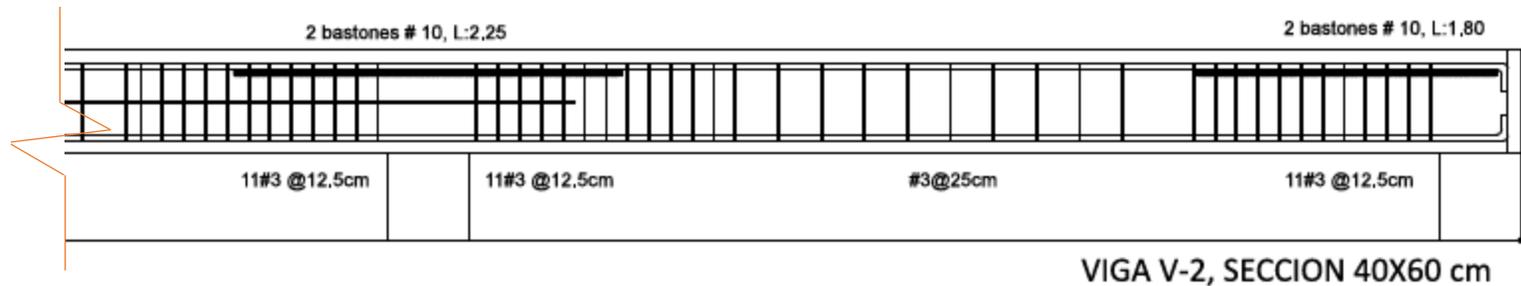
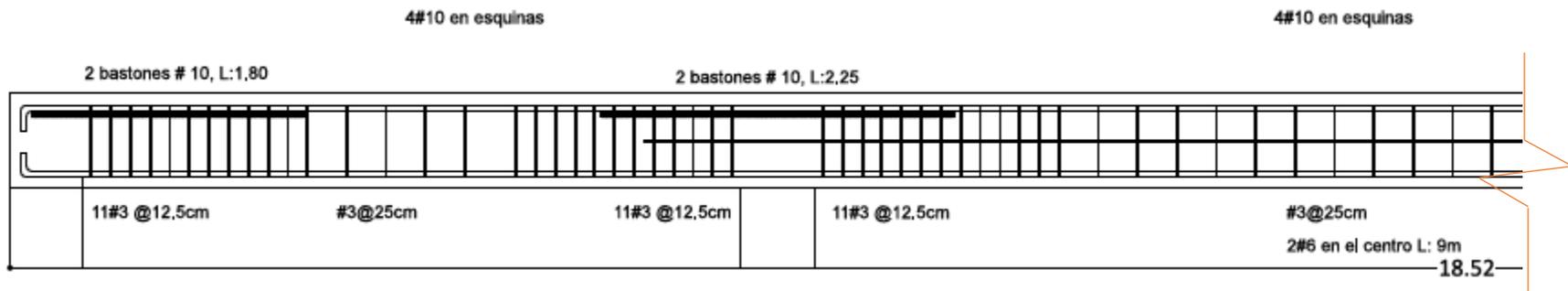
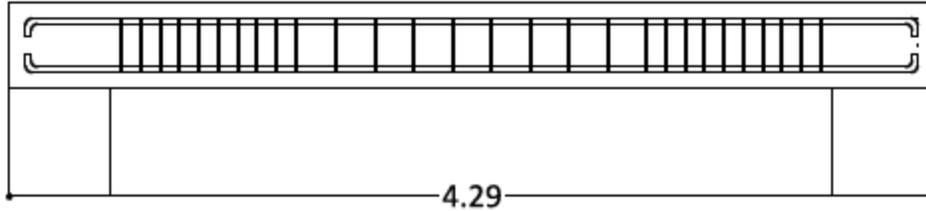


Figura 79. Refuerzo de viga V-2 en 3° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

Anillos #3@9 cm en zona de confinamiento y #3@18 en zona de no confinamiento

4 barras #6 corridas

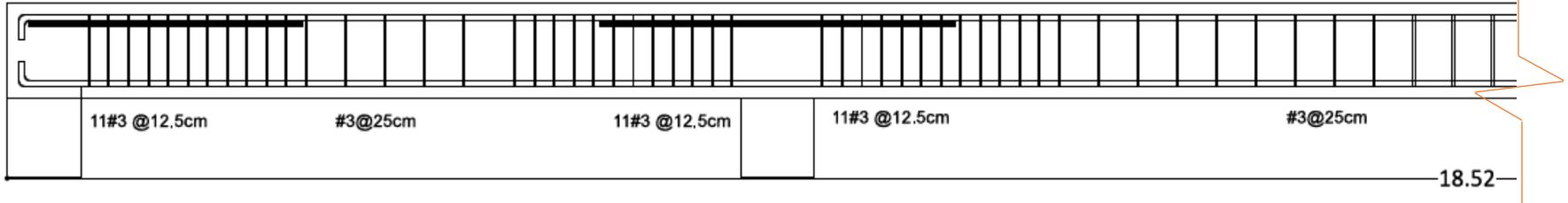


VIGA V-2a, SECCION 15X40 cm

4#8 en esquinas

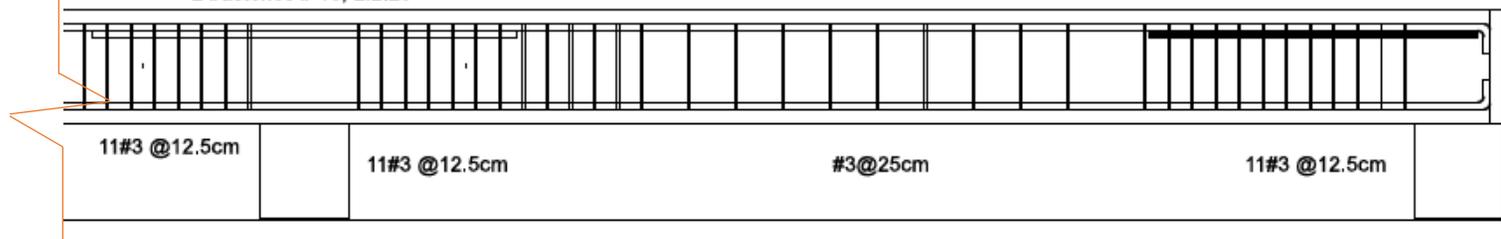
1 bastones # 8, L:1.80

1 bastones # 8, L:2.25



2 bastones # 10, L:2.25

1 bastones # 8, L:1.80



VIGA V-3, SECCION 40X60 cm

Figura 80. Refuerzo de viga V-2a y V-3 en 3° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

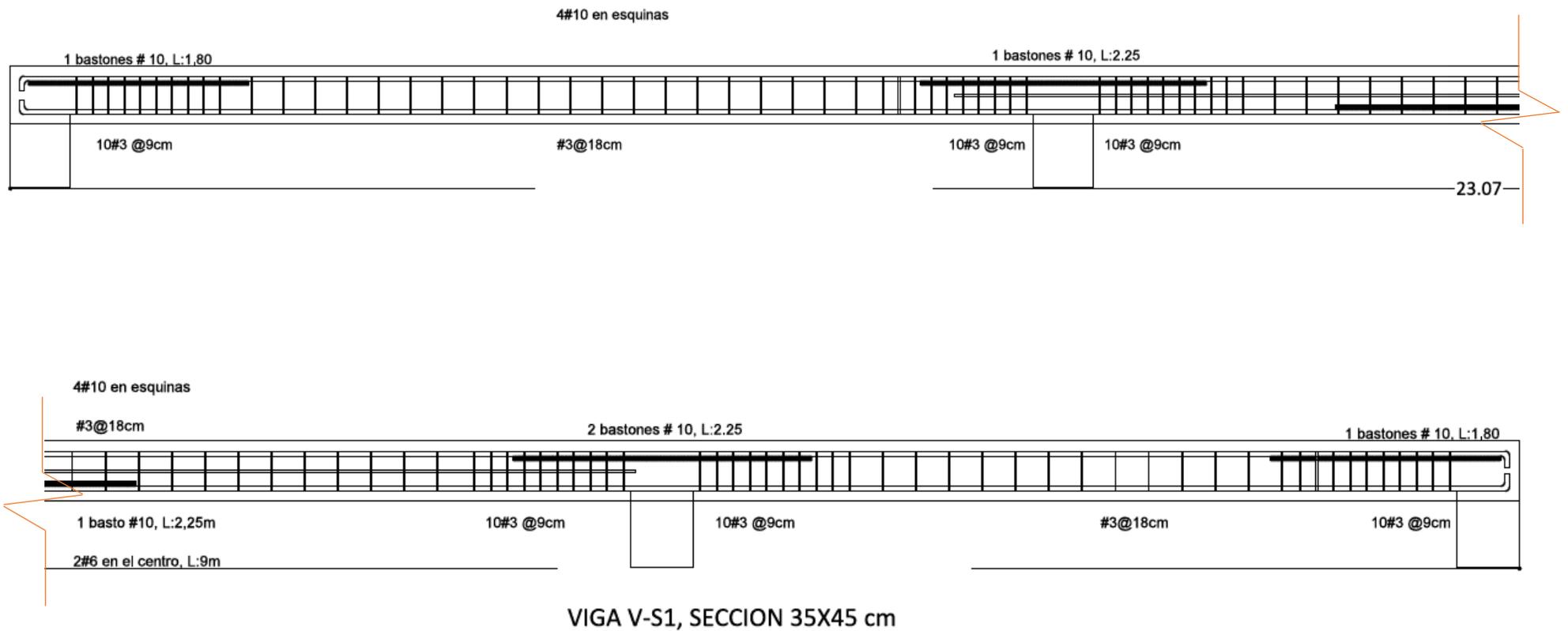
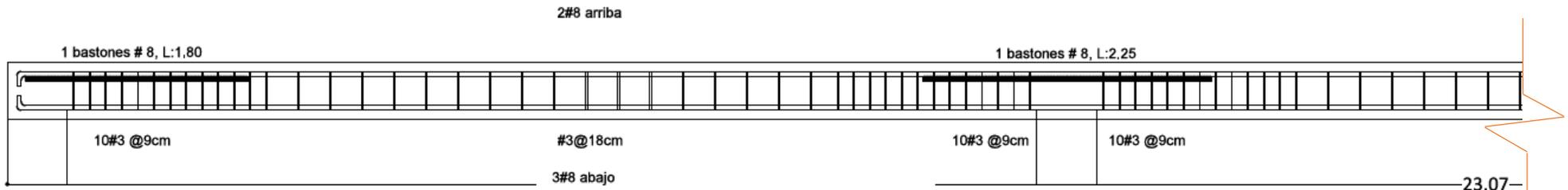


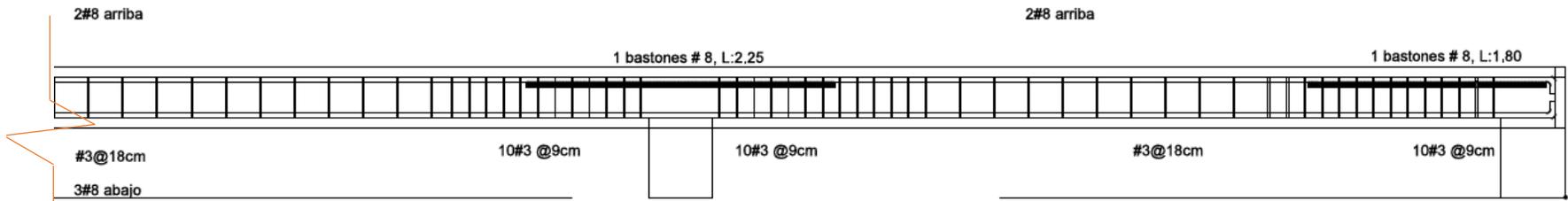
Figura 81. Refuerzo de viga VS-1 en 3° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



Anillos #3@9 cm en zona de confinamiento y #3@18 en zona de no confinamiento

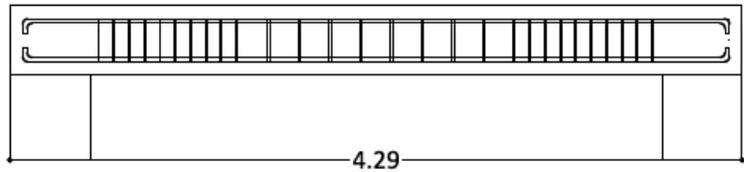
4 barras #6 corridas



VIGA V-S2, SECCION 35X45 cm

Anillos #3@9 cm en zona de confinamiento y #3@18 en zona de no confinamiento

4 barras #6 corridas



VIGA VS1-a, SECCION 15X40 cm

Figura 82. Refuerzo de viga VS-2 y VS1-a en 3° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

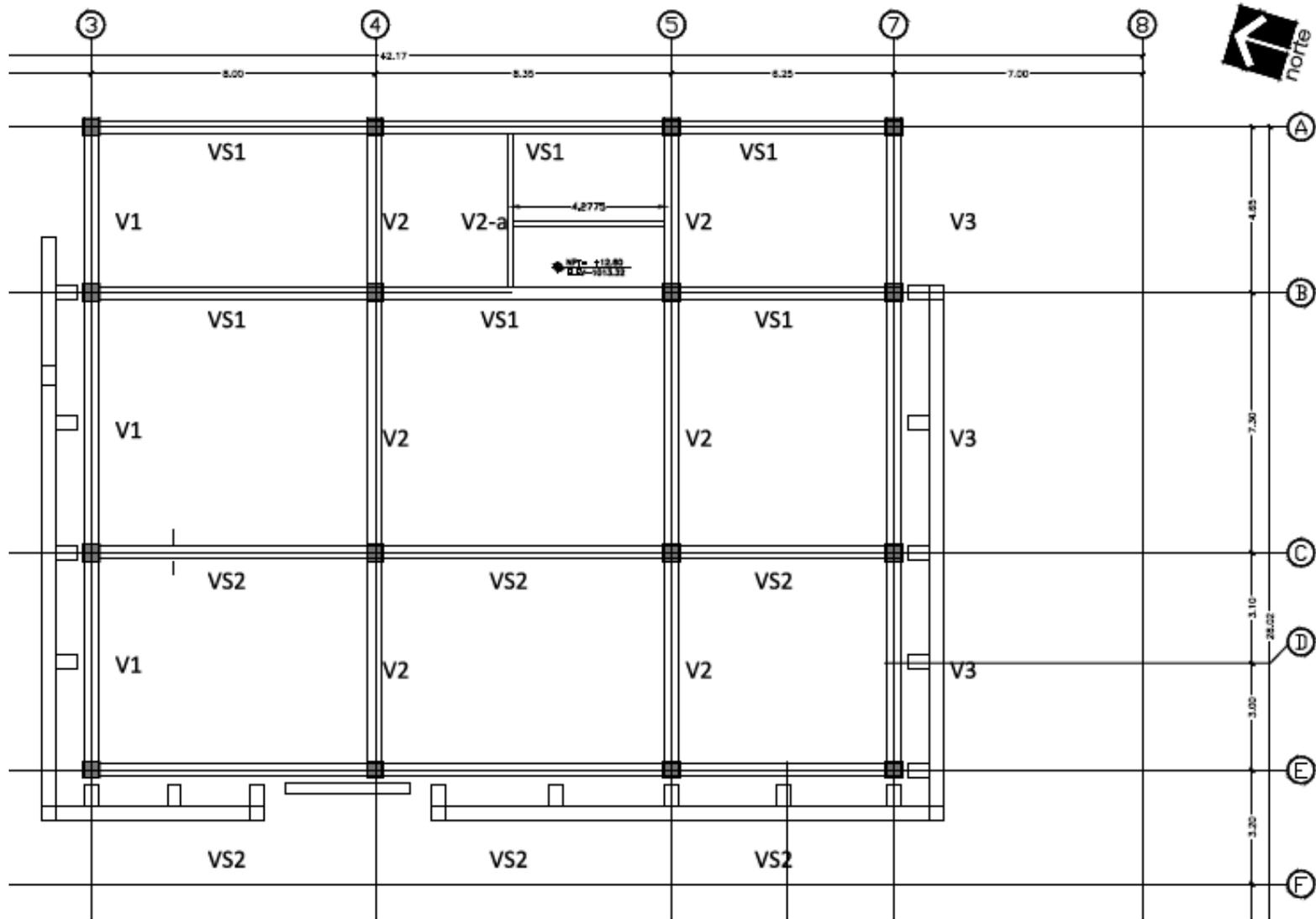
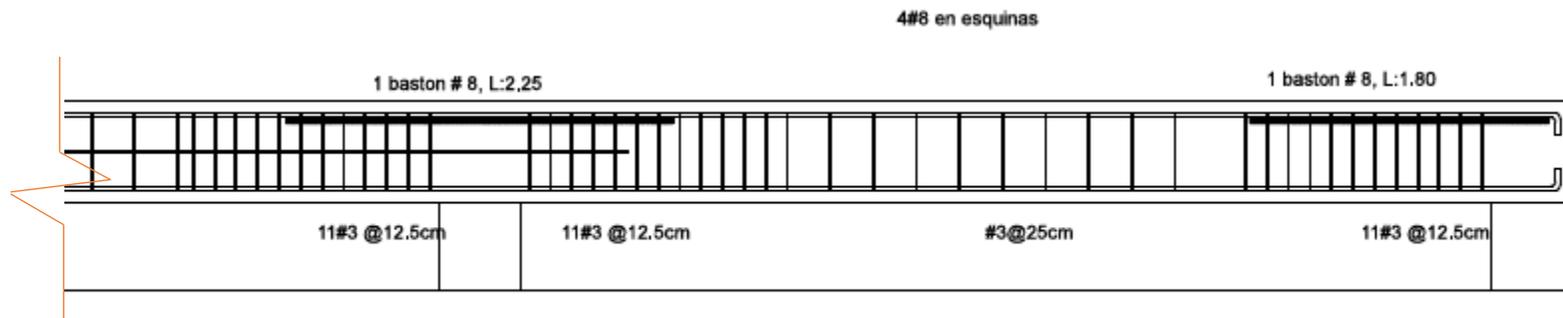
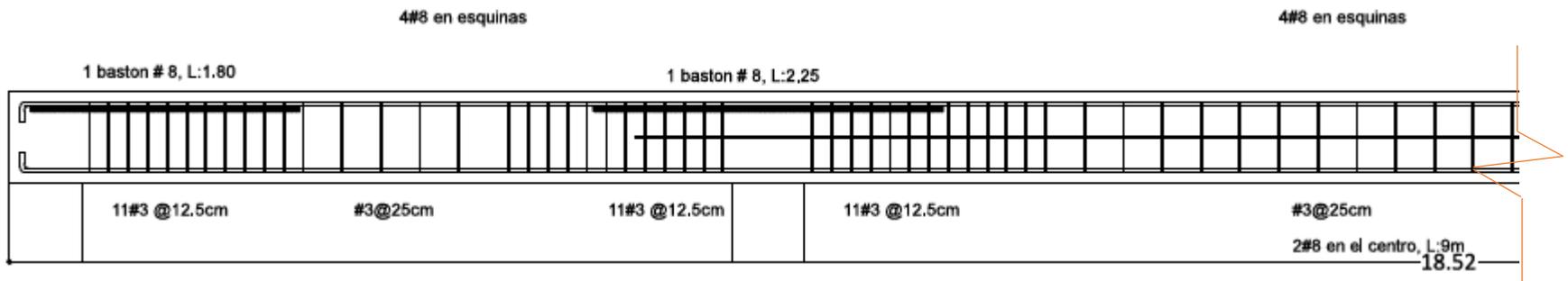


Figura 83. Distribución en planta de vigas en 4° nivel

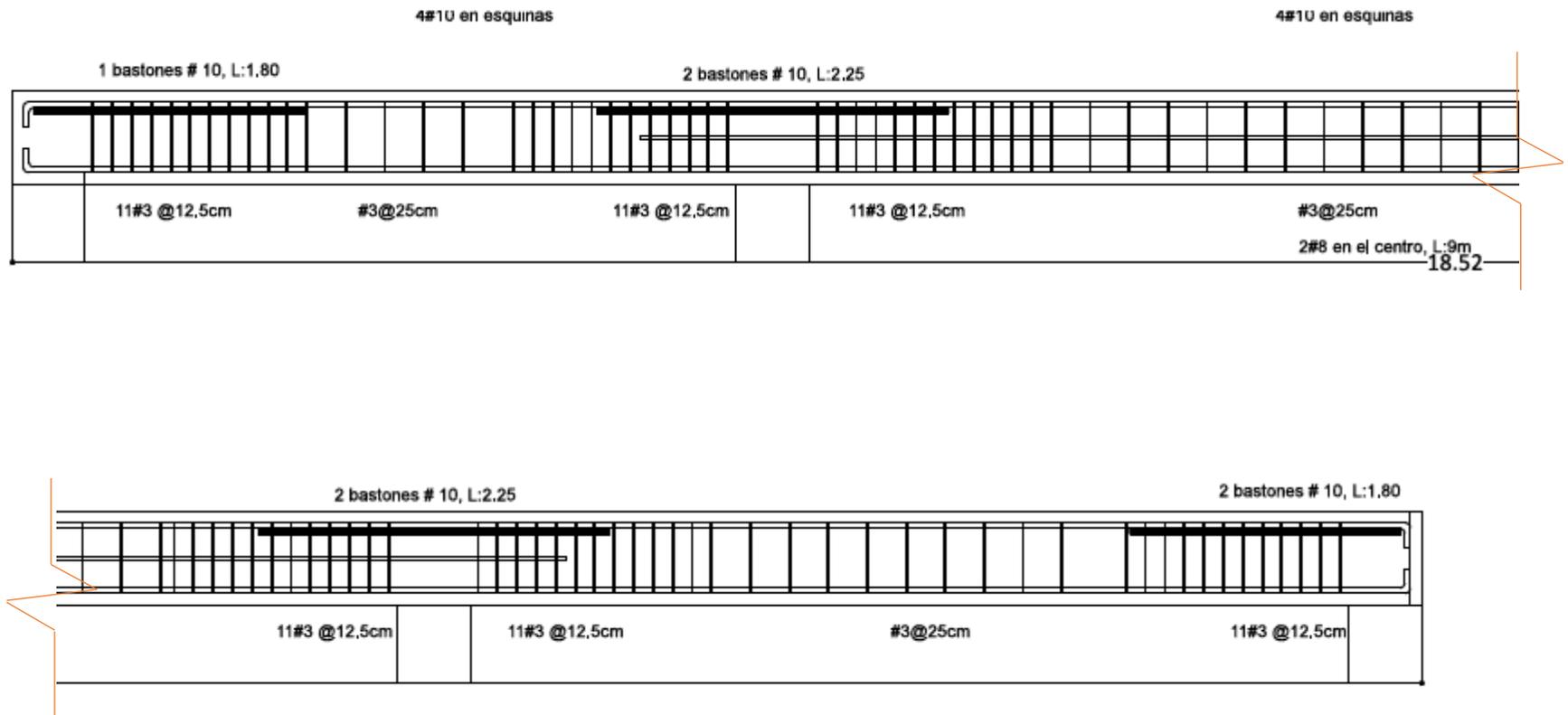
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA V-1, SECCION 40X60 cm

Figura 84. Refuerzo en viga V-1 en 4° nivel

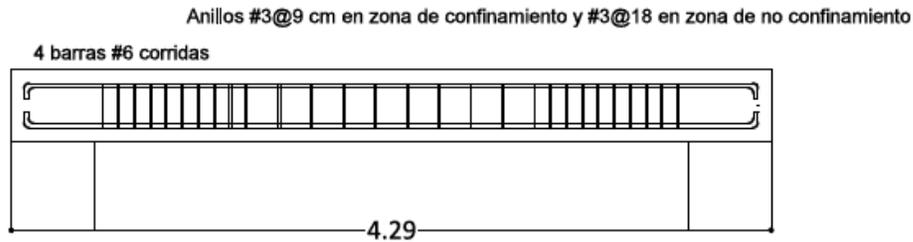
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



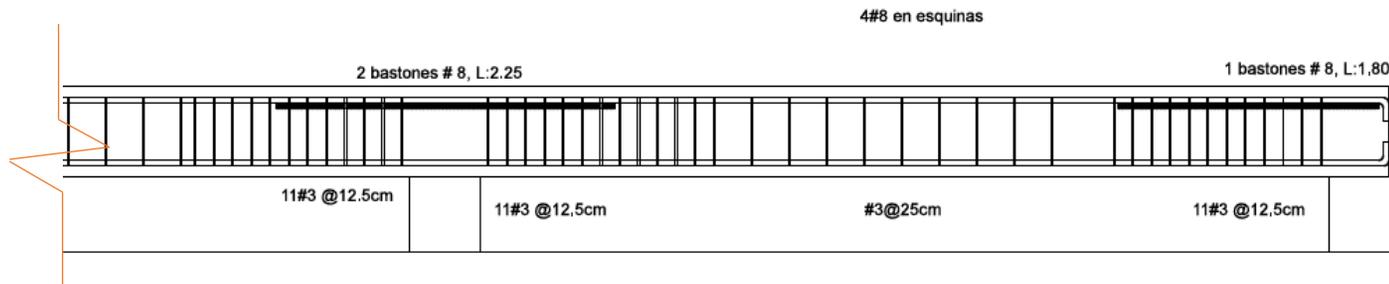
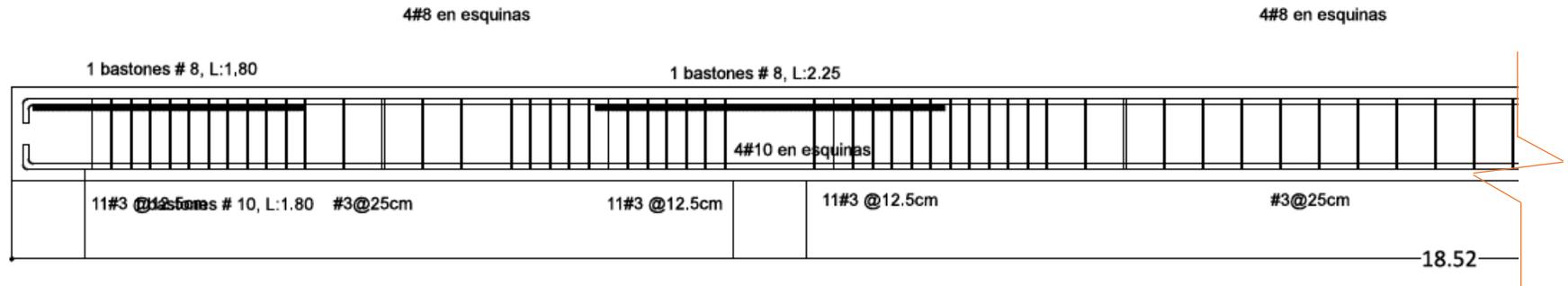
VIGA V-2, SECCION 40X60 cm

Figura 85. Refuerzo en viga V-2 en 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



VIGA V-2a, SECCION 15X40 cm



VIGA V-3, SECCION 40X60 cm

Figura 86. Refuerzo de viga V-2a y V-3 en 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

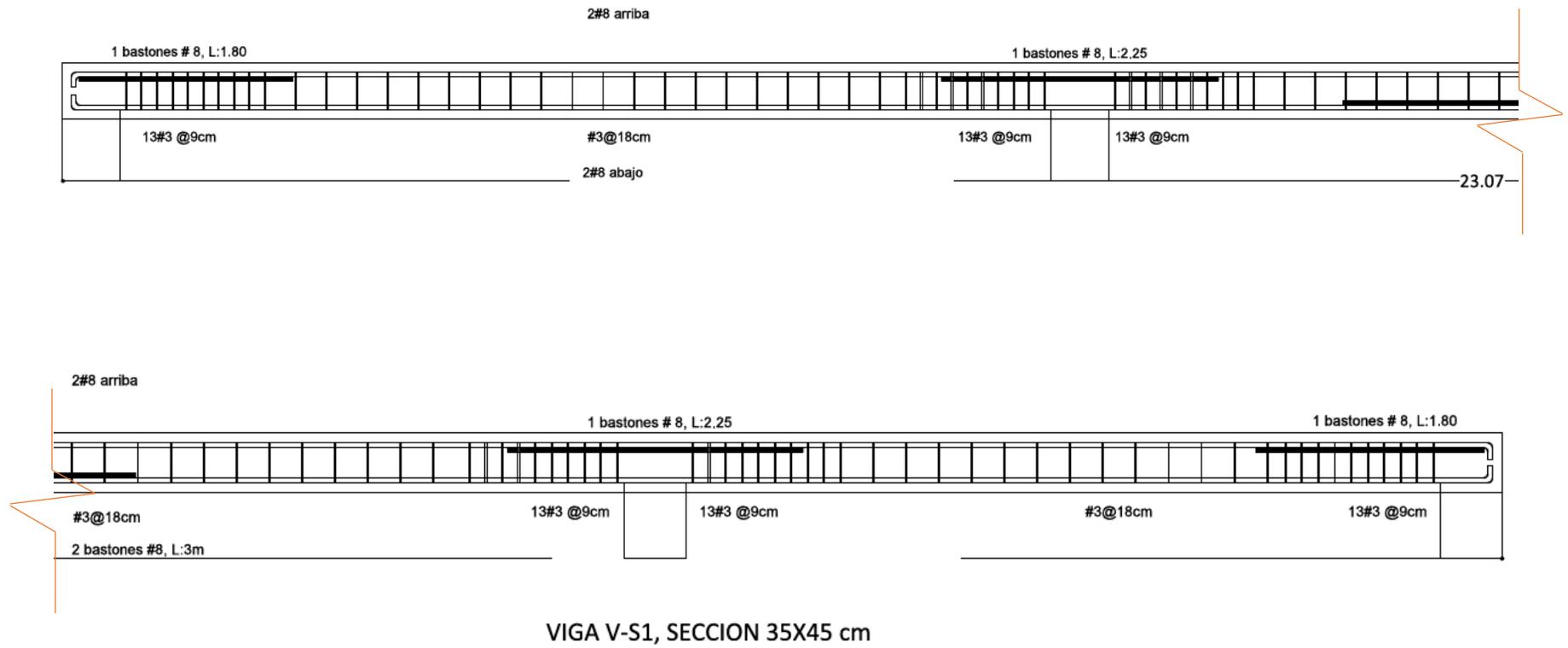
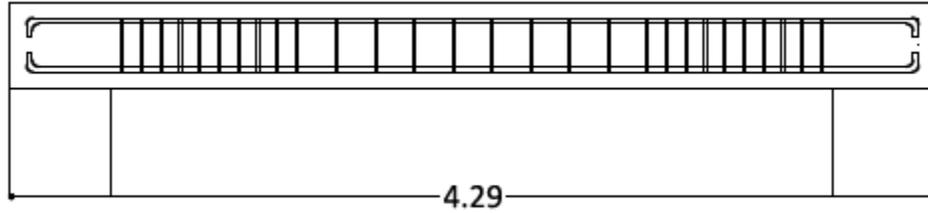


Figura 87. Refuerzo de viga VS-1 en 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

Anillos #3@9 cm en zona de confinamiento y #3@18 en zona de no confinamiento

4 barras #6 corridas



VIGA VS1-a, SECCION 15X40 cm

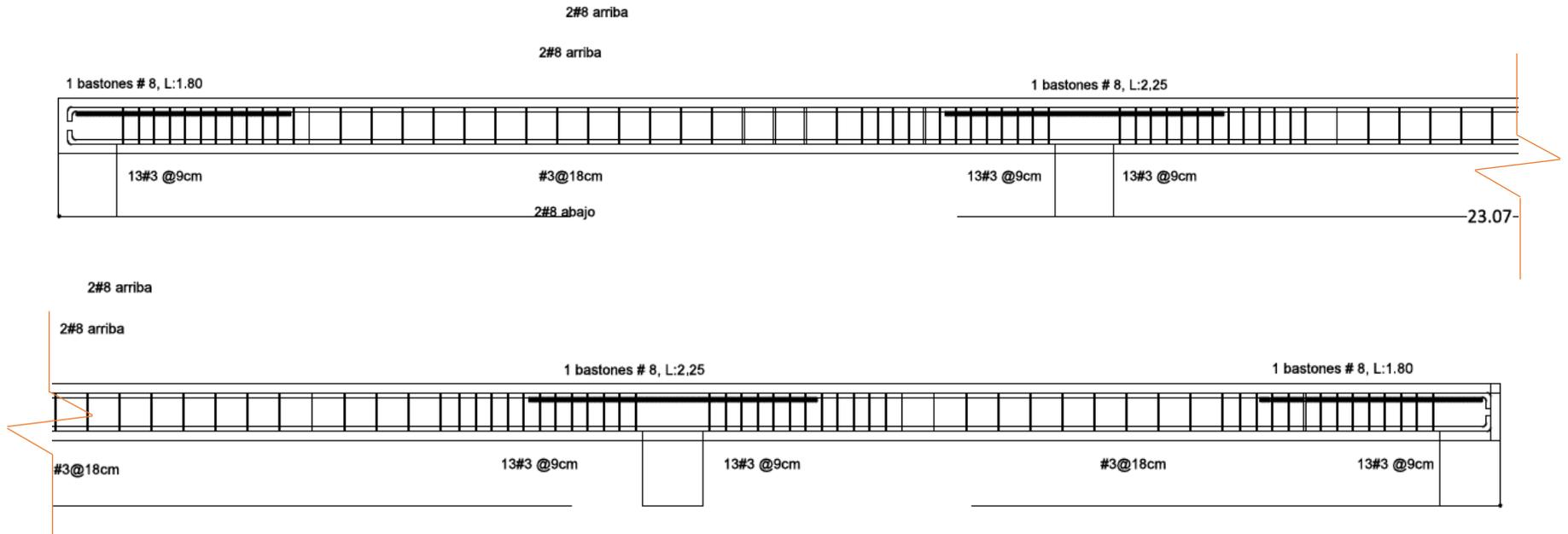


Figura 88. Refuerzo de viga VS-1a y VS-2 (sección 35x45cm) en 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

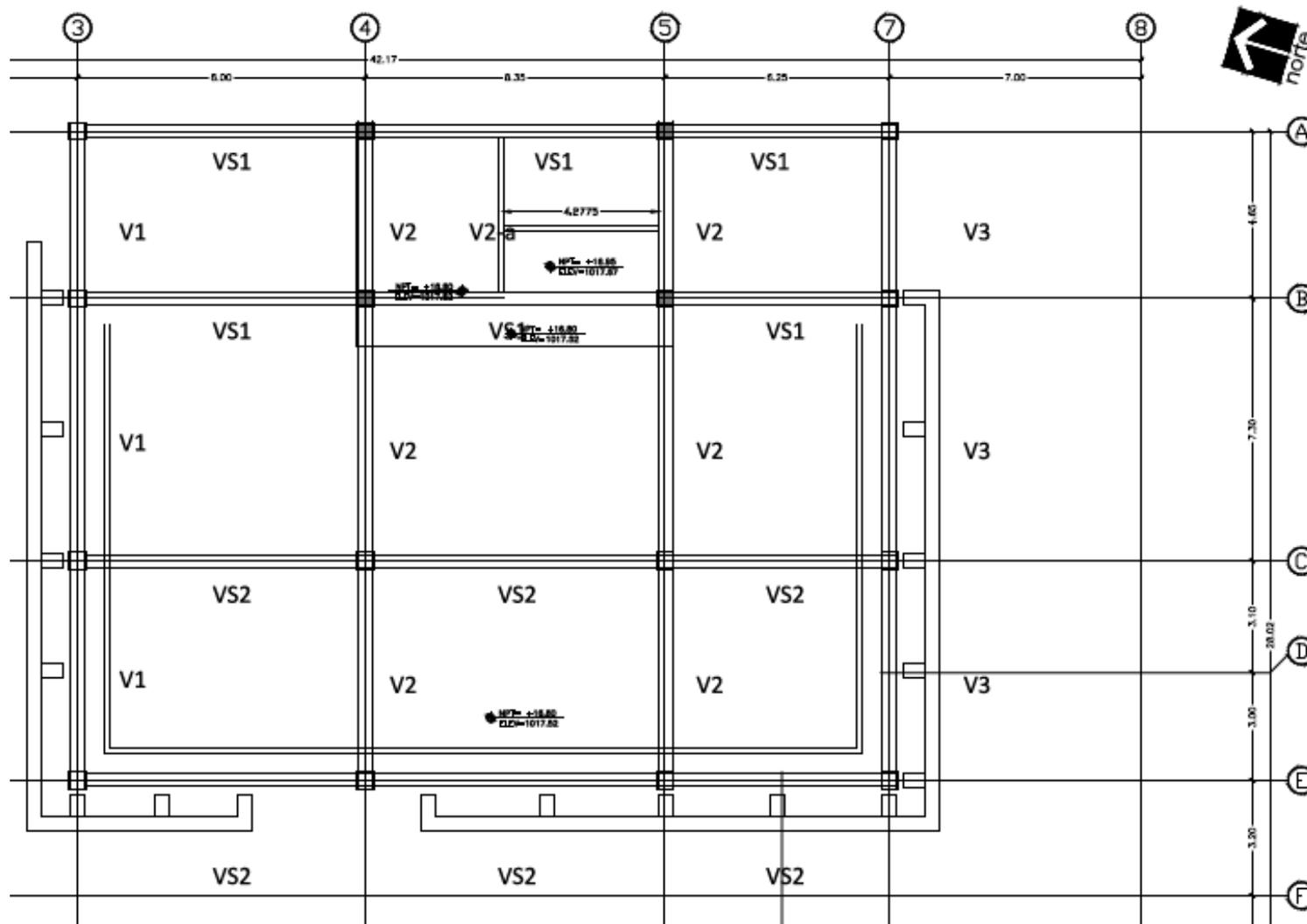


Figura 89. Distribución en planta de vigas de azotea del 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

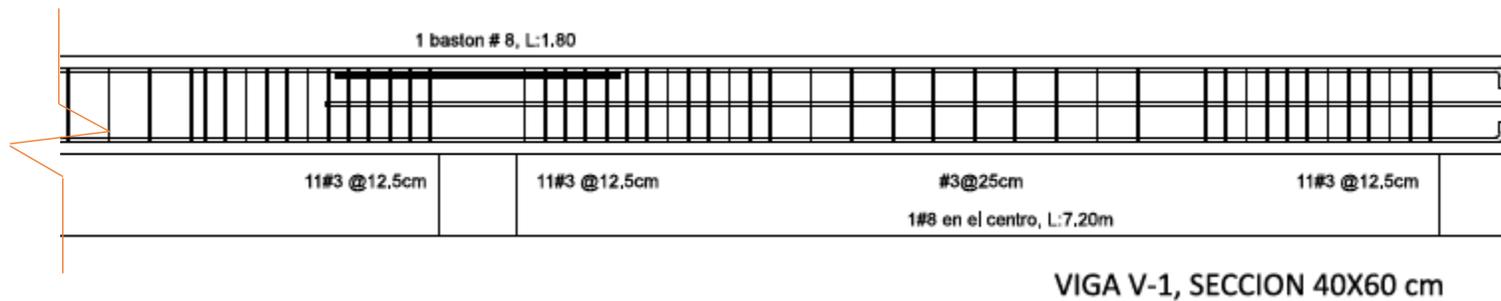
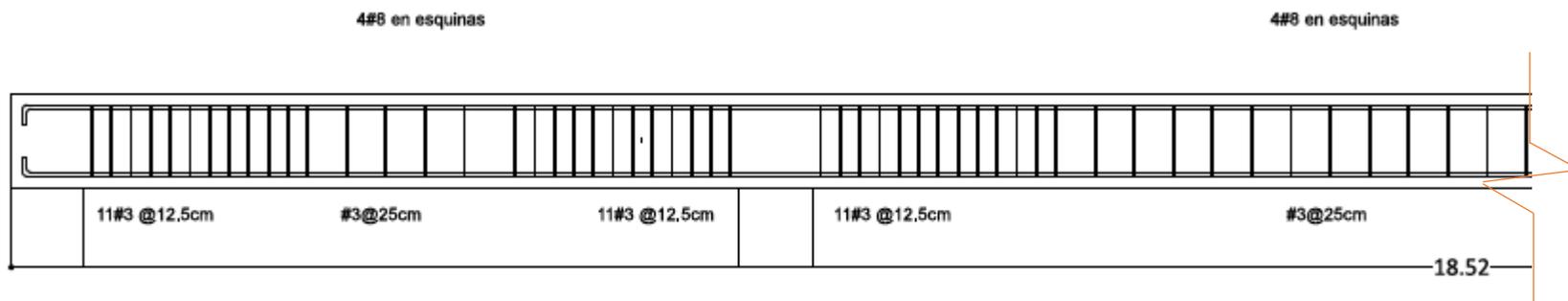


Figura 90. Refuerzo de viga V-1 en azotea del 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

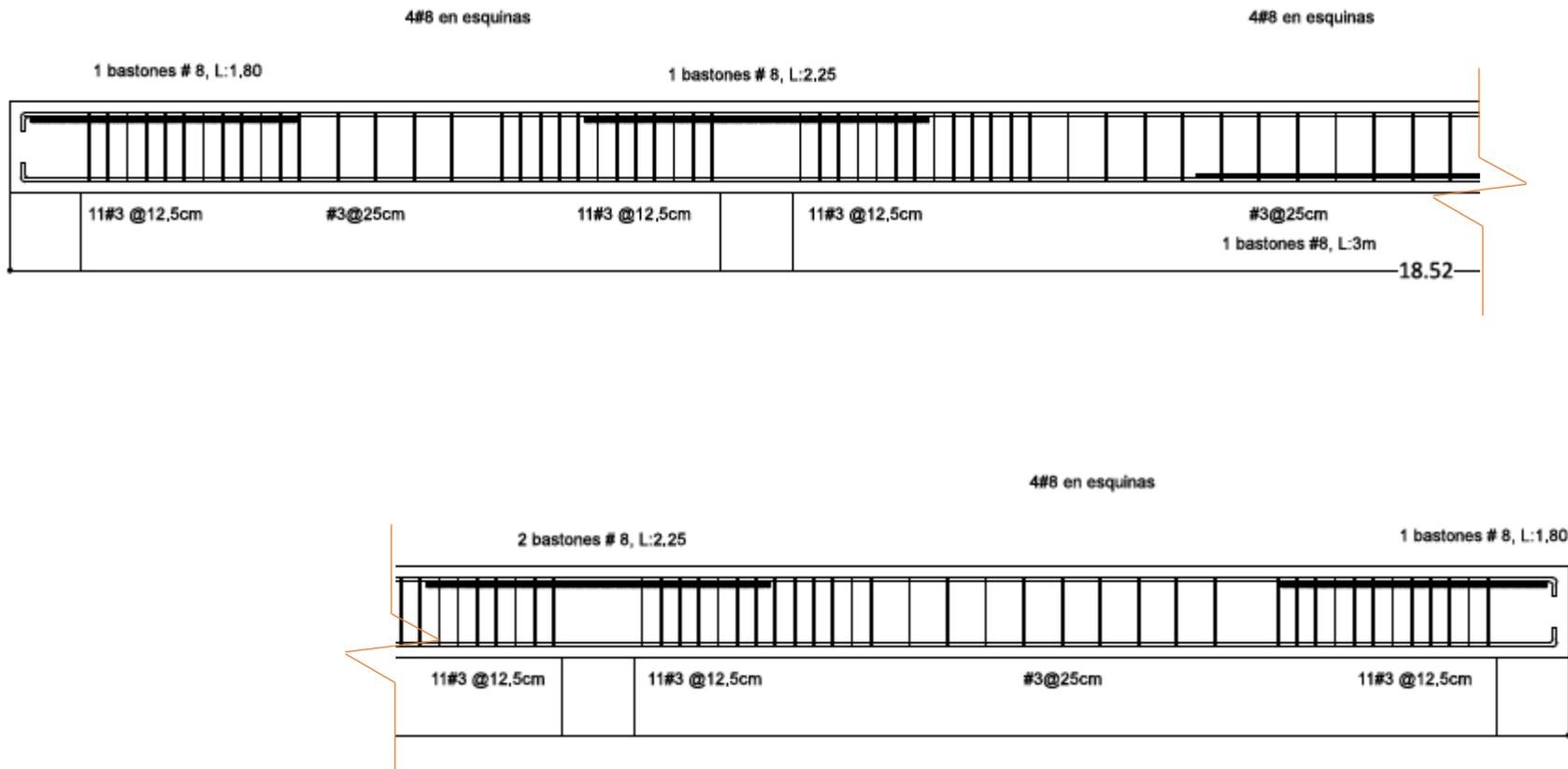
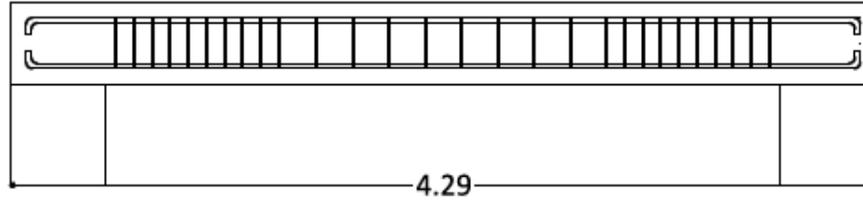


Figura 91. Refuerzo de viga V-2 en azotea del 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

Anillos #3@9 cm en zona de confinamiento y #3@18 en zona de no confinamiento

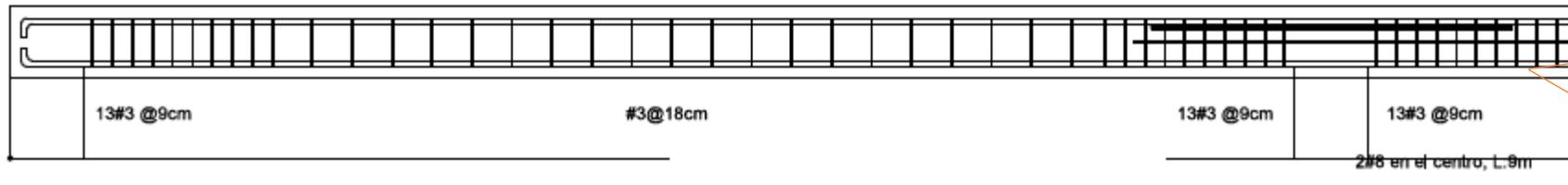
4 barras #6 corridas



VIGA V-2a, SECCION 15X40 cm

4#8 en esquinas

1 baston # 8, L:2.25



13#3 @9cm

#3@18cm

13#3 @9cm

13#3 @9cm

2#6 en el centro, L:9m

#3@18cm

1 baston # 8, L:2.25

1 barra #8 L:3m

13#3 @9cm

13#3 @9cm

1 barra #8 L:3m

13#3 @9cm

23.07 2#6 en centro, L:9m

VIGA VS-1, SECCION 35X45 cm

Figura 92. Refuerzo de vigas V-2a y VS-1 en azotea del 4° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

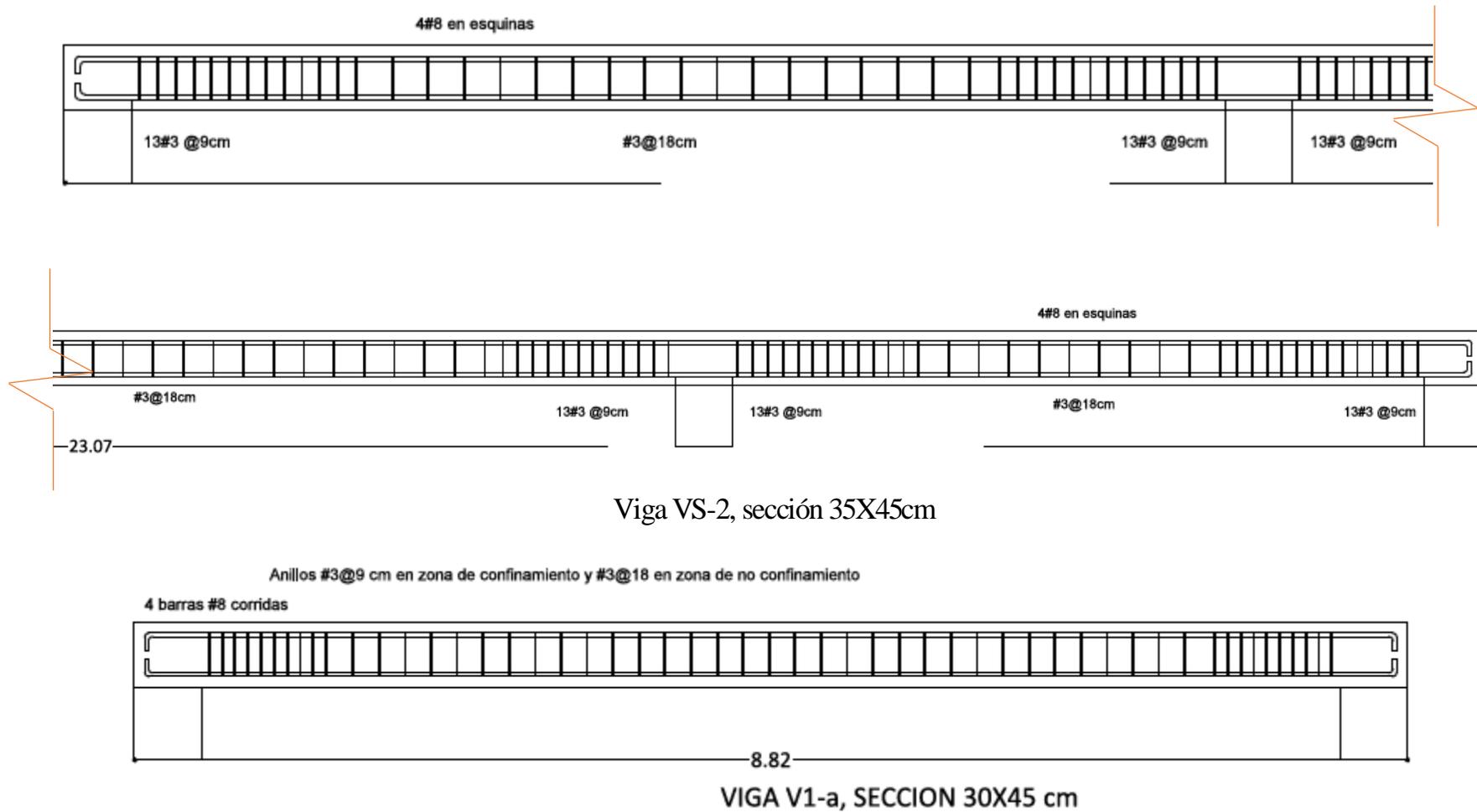


Figura 93. Refuerzo de viga VS-2 en azotea del 4° nivel y viga V1-a en cubierta de cubo de gradas y elevadores

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

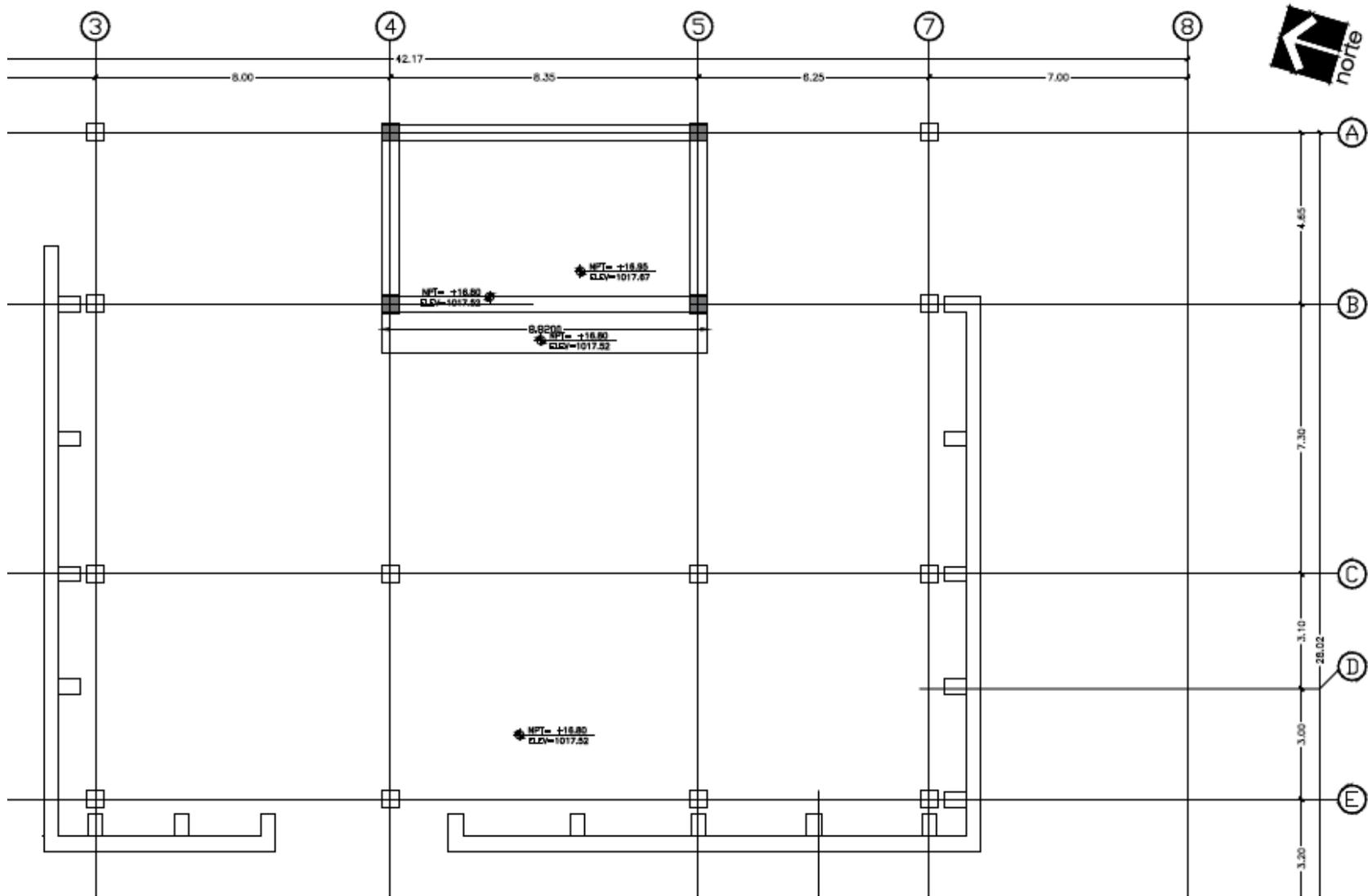


Figura 94. Distribución en planta de vigas de cubierta de cubo de gradas y elevadores sobre azotea

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

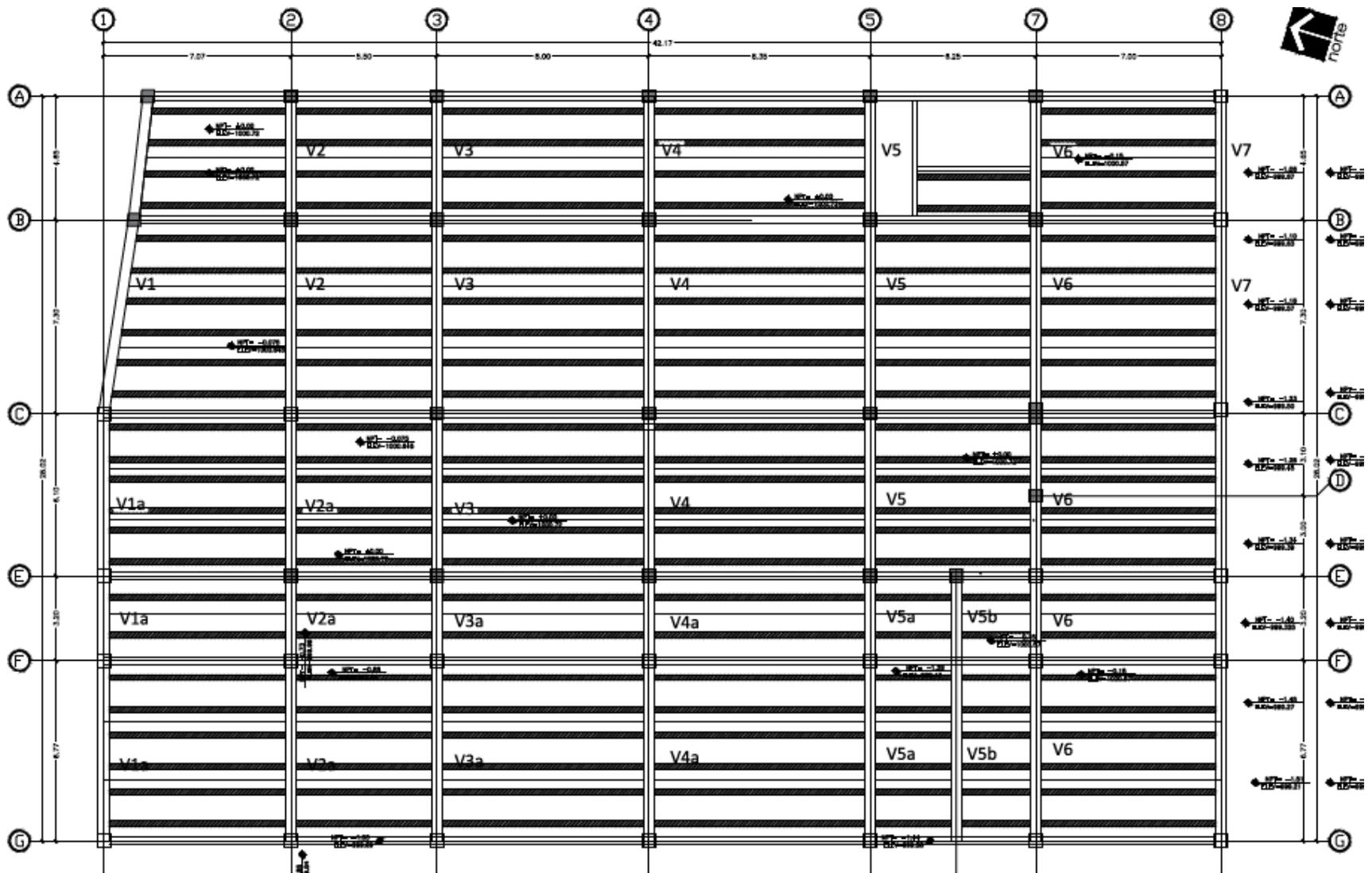


Figura 95. Distribución de vigas doble T en planta del 1° nivel

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

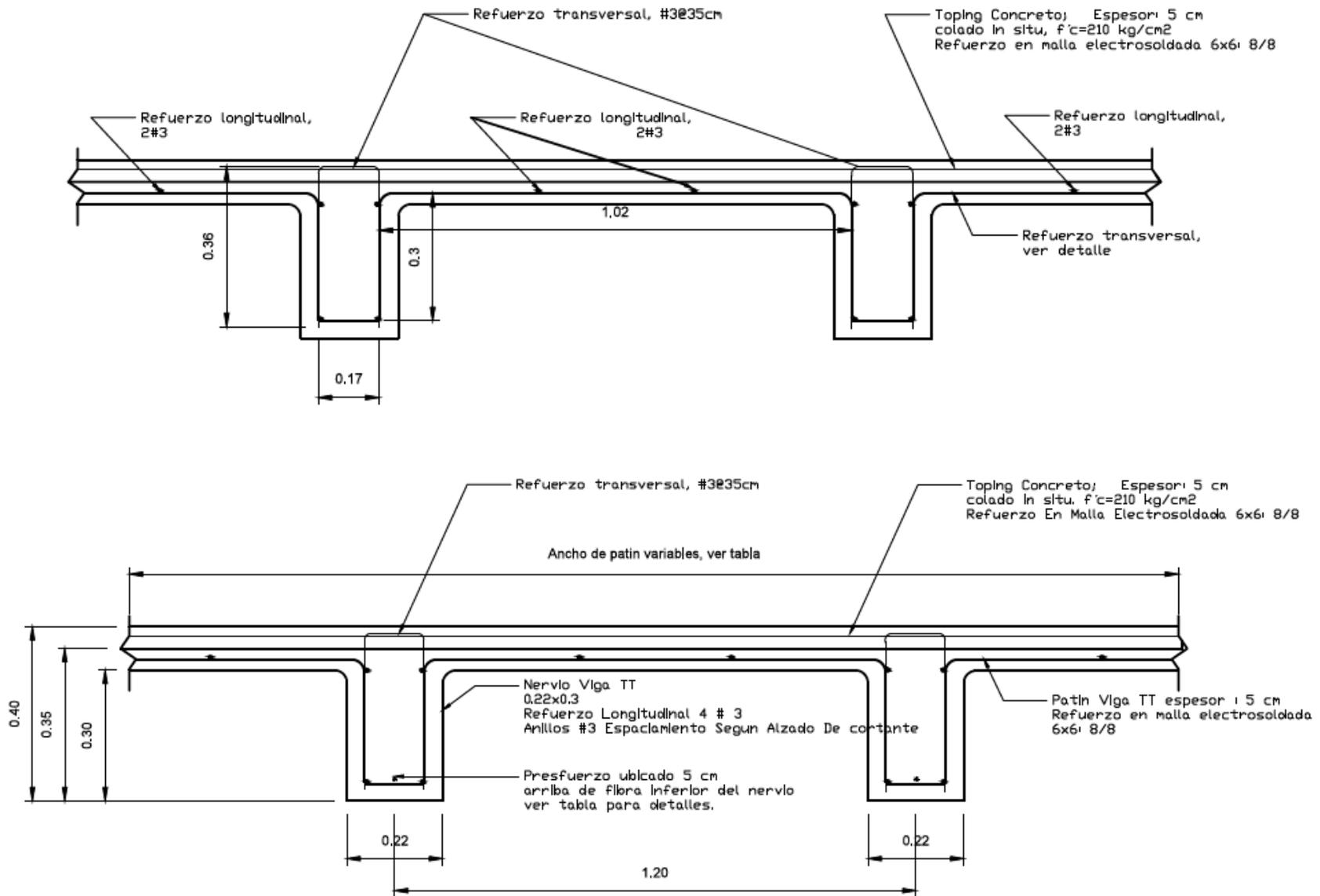


Figura 96. Refuerzo y dimensiones de sección típica de viga doble T

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

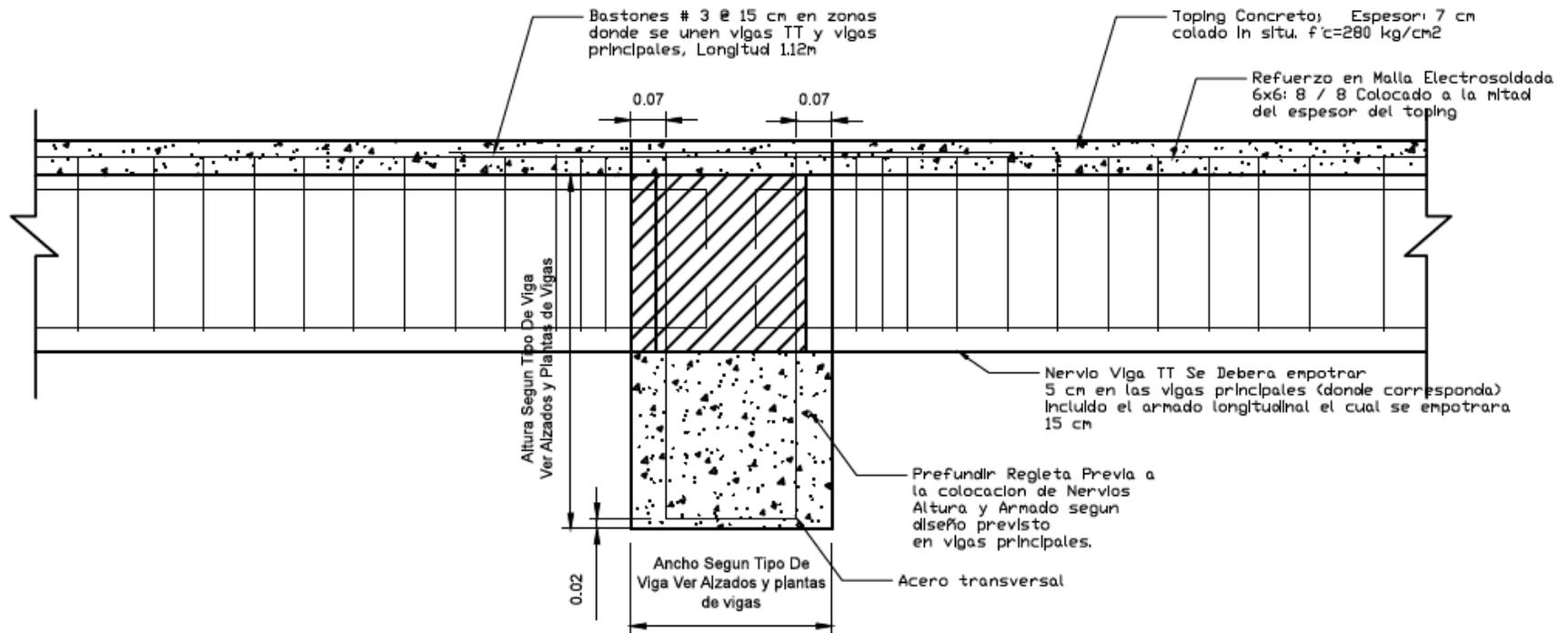


Figura 97. Detalle unión de viga principal continua y viga doble T

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

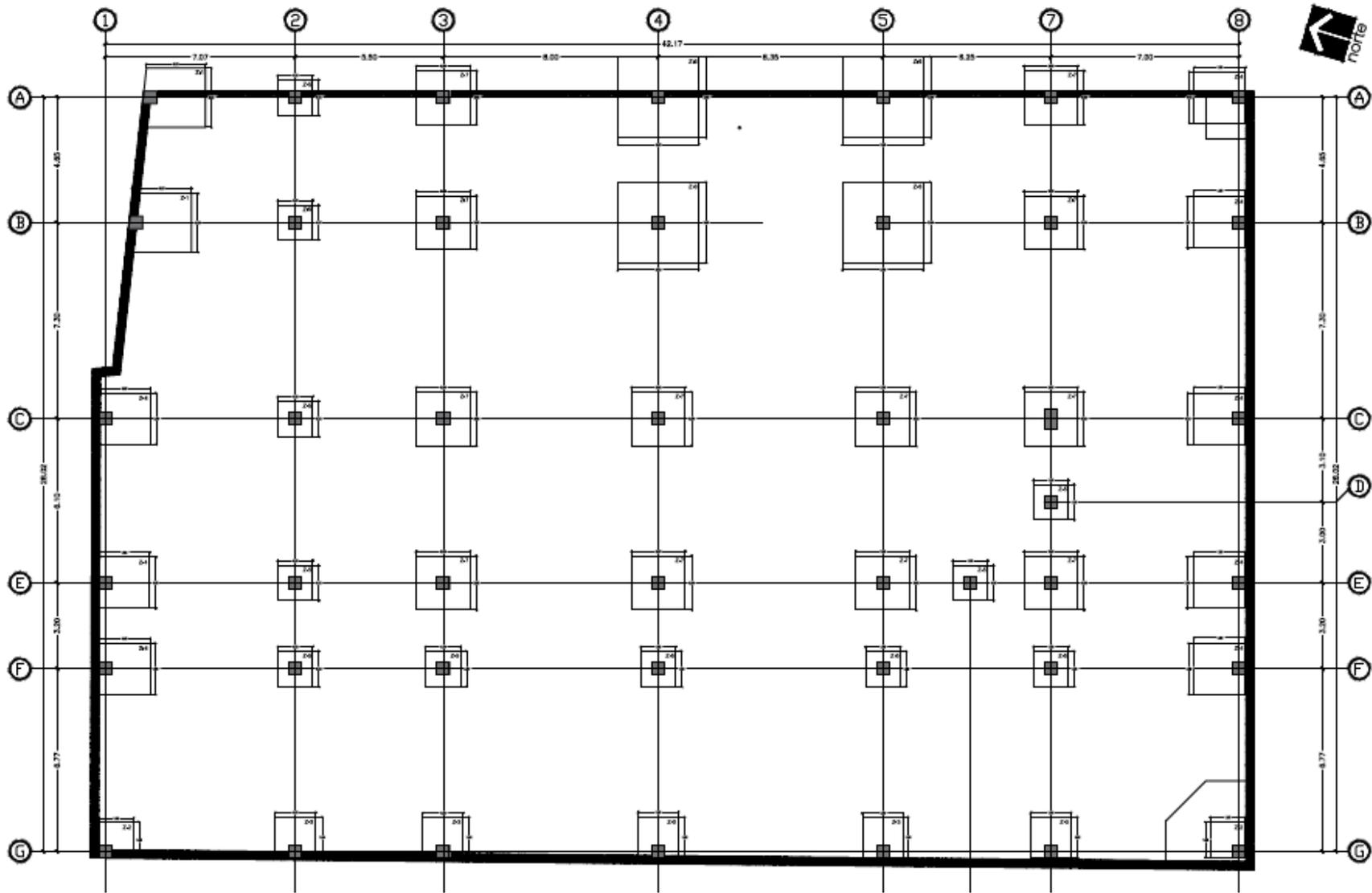
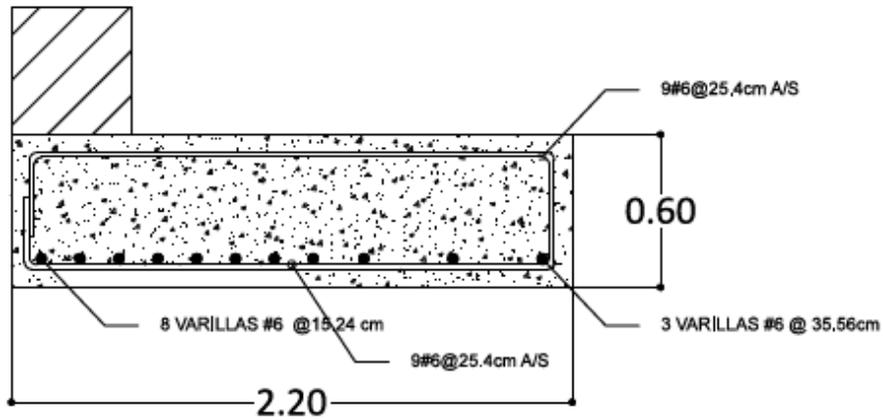
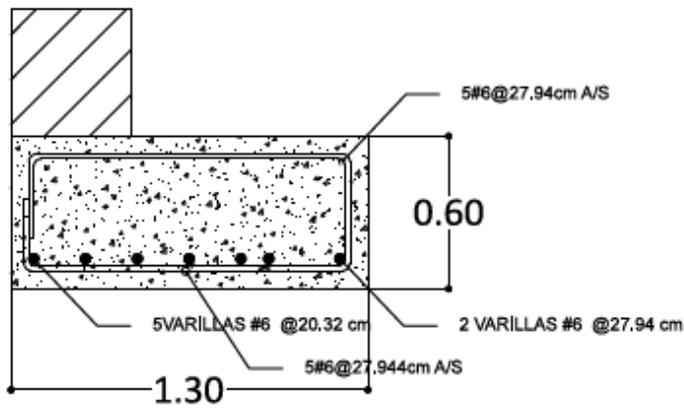


Figura 98. Planta de cimentación del edificio modelado

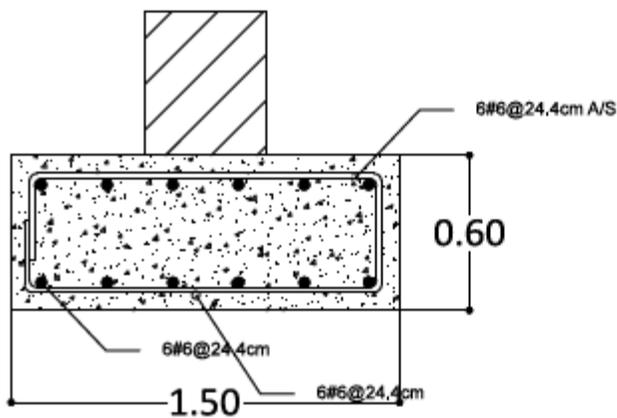
Fuente: (Santos & Compañía, 2016).



ZAPATA Z-1 (2.2X2.2m, e:0.60)



ZAPATA Z-2 (1.30X1.30m, e:0.60)



ZAPATA Z-3 (1.50X1.50m, e:0.60)

Figura 99. Alzado de cimientos Z-1, Z-2 y Z-3 del edificio modelado

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

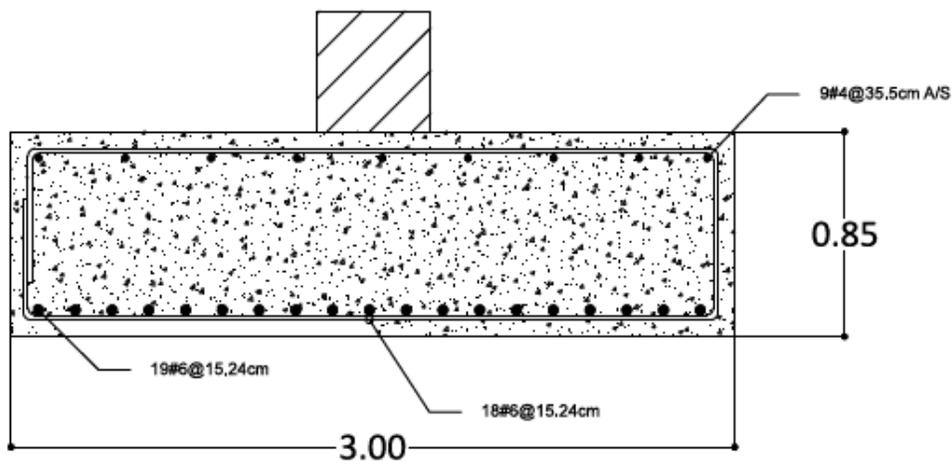
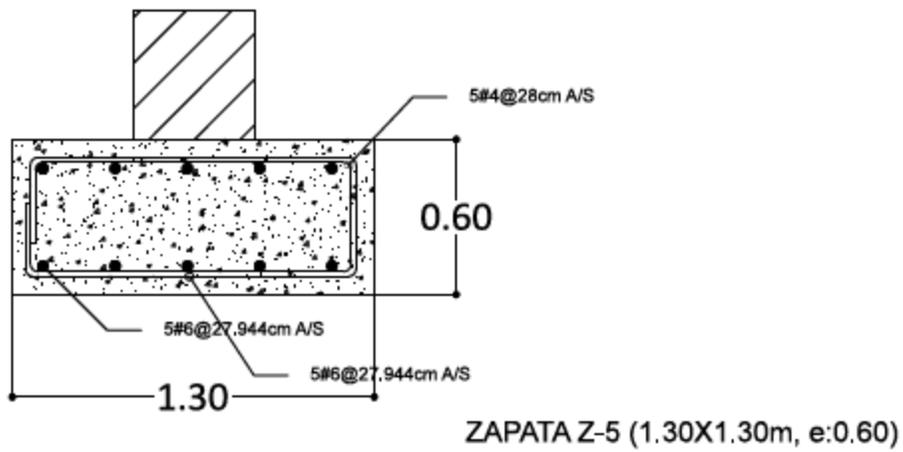
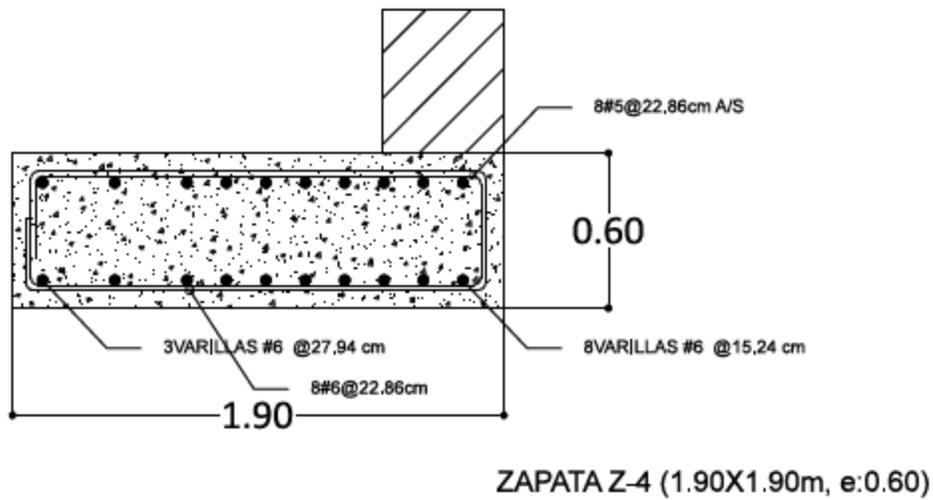


Figura 100. Alzado de cimientos Z-4, Z-5 y Z-6 (3.0X3.0m, e=0.60m) del edificio modelado

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).

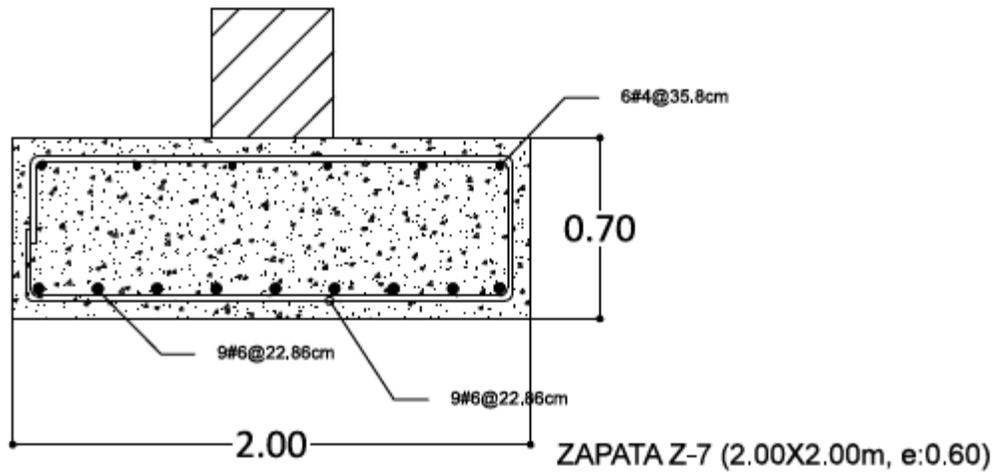


Figura 101. Alzado de cimientos Z-7 (2.0X2.0m, e=0.60m) del edificio modelado

Fuente: (Santos & Compañía, 2016).