

Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en apoyo al diseño estructural en la  
empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

Nicolás Mateo Corredor Castro

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Luis Eduardo Zapata Orduz

Ingeniero Civil, PhD.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Marco conceptual.....	13
1.1 Cimentaciones.....	13
1.1.1 Cimentaciones superficiales.....	13
1.2 Muros de contención.....	14
1.2.1 Muros en voladizo tipo cantilever.....	15
1.2.2 Muros de sótano.....	15
1.3 Elementos estructurales .....	15
1.3.1 Muros estructurales.....	15
1.3.2 Columnas .....	16
1.3.3 Vigas .....	16
1.3.4 Viguetas .....	17
1.3.5 Losas .....	17
1.4 Elementos no estructurales .....	18
1.4.1 Escaleras .....	18
1.5 Planos estructurales.....	18
1.6 Cantidades de obra.....	18
1.7 Hojas de cálculo.....	19
1.8 Memorias de cálculo.....	19
1.9 Control de calidad.....	20

2. Objetivos .....	22
2.1 Objetivo General .....	22
2.2 Objetivos Específicos.....	22
3. Metodología .....	23
3.1 Metodología de trabajo .....	23
3.1.1 Asignación de tareas .....	25
3.1.2 Dibujo de planos iniciales.....	25
3.1.3 Análisis y diseño preliminar .....	25
3.1.4 Presentación de planos.....	26
3.1.5 Elaboración de memorias.....	27
3.1.6 Control de calidad y cantidades de obra .....	27
3.1.7 Entrega de proyectos.....	28
3.1.8 Retroalimentación y cierre del proyecto .....	28
4. Desarrollo de la práctica y Resultados.....	30
4.1 Proyecto residencial: Casa Náutica.....	30
4.1.1 Dibujo de planos estructurales .....	30
4.1.2 Análisis preliminar de elementos estructurales.....	31
4.2 Proyecto de Vivienda de Interés Social (VIS) Torres La Miel.....	38
4.2.1 Dibujo de planos estructurales.....	38
4.2.2 Análisis preliminar de elementos estructurales.....	38
4.2.3 Control de calidad de muros estructurales .....	44
4.3 Proyecto de Vivienda Residencial Punta Ruitoque 78 .....	46
4.3.1 Dibujo de planos estructurales .....	46

4.3.2 Análisis preliminar de elementos estructurales.....	46
4.4 Proyecto de Edificio de Vivienda Multifamiliar La Flora Cali .....	51
4.4.1 Dibujo de planos estructurales .....	51
4.4.2 Análisis preliminar de elementos estructurales.....	51
4.4.3 Control de calidad de vigas.....	53
4.4.4 Control de calidad de columnas .....	53
5. Análisis de resultados .....	56
6. Conclusiones.....	57
7. Recomendaciones .....	58
Referencias Bibliográficas .....	59

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Descripción de actividades realizadas por proyectos.....	29
<b>Tabla 2</b> Resistencia nominal de mallas M-188 y refuerzo adicional .....	43
<b>Tabla 3</b> Espesores mínimos para losas reforzadas en una dirección.....	47

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estructura DRIDS-V (Define, Research, Identify, Decide, Solve and Verify).....	24
<b>Figura 2.</b> Plano arquitectónico vs plano estructural.....	30
<b>Figura 3.</b> Hoja de cálculo de zapatas céntricas aisladas .....	32
<b>Figura 4.</b> Detalle de profundidad de cimentación.....	33
<b>Figura 5.</b> Diagrama de muro de contención.....	35
<b>Figura 6.</b> Modelo bidimensional de un muro en voladizo en ETABS.....	37
<b>Figura 7.</b> <i>Formas irregulares de zapatas corridas unidas por vigas de amarre</i> .....	39
<b>Figura 8</b> Despiece de una zapata corrida en altura .....	40
<b>Figura 9.</b> Despiece de una zapata corrida combinada en planta .....	40
<b>Figura 10.</b> Franjas de losas analizadas.....	42
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flexo-compresión del muro X01-1.....	45
<b>Figura 12.</b> Modelo bidimensional de una vigueta en SAP2000® .....	50
<b>Figura 13.</b> Modelo bidimensional de escaleras en ETABS® .....	52
<b>Figura 14</b> Hoja de cálculo para cuantía volumétrica .....	55
<b>Figura 15.</b> Despieces de Vigas y columnas .....	55

### Lista de Apéndices

“Los Apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice 1. Plano arquitectónico sótano casa Náutica

Apéndice 2. Plano estructural sótano casa Náutica

Apéndice 3. Hoja de cálculo de Zapatas aisladas para casa Náutica

Apéndice 4. Hoja de cálculo de Factores de seguridad para muro en voladizo

Apéndice 5. Memoria cálculo de diseño preliminar de muro de contención

Apéndice 6. Hoja de cálculo de análisis dinámico por el método Mononobe-Okabe

Apéndice 7. Despiece de muro tipo de contención en Voladizo

Apéndice 8. Nomenclatura de grupos de muros con simetría en Torres La Miel

Apéndice 9. Planta de cimentación con zapatas corridas Torres La Miel

Apéndice 10. Corte de zapata corrida en función del ancho Torres La Miel

Apéndice 11. Despiece de zapatas corrida en función del ancho Torres La Miel

Apéndice 12. Franjas de Losa Torres La Miel

Apéndice 13. Hoja de cálculo de para cargas de losa Torres La Miel

Apéndice 14. Hoja de cálculo para cargas de losa Torres La Miel

Apéndice 15. Hoja de cálculo análisis de deflexiones de losa máximas permisibles

Apéndice 16. Diagramas de Momento y cortante en franjas de losa Torres La Miel

Apéndice 17. Cargas de diseño y refuerzo longitudinal en franjas de losa Torres La Miel

Apéndice 18. Despiece de losas de entrepiso, mallas superior, inferior y refuerzo adicional

Apéndice 19. Despiece de muros de cortante Torres La Miel

Apéndice 20. Cortes transversales de muros de cortante Torres La Miel

Apéndice 21. Hoja de cálculo de mallas de cortante Torres La Miel

Apéndice 22. Diagramas de flexo-compresión Muro Y02-1 Torres La Miel

Apéndice 23. Hoja de cálculo para análisis de cargas de losa aligerada Punta Ruitoque 78

Apéndice 24. Chequeo de área mínima de refuerzo por cortante

Apéndice 25. Despiece de viguetas Punta Ruitoque 78

Apéndice 26. Diagramas de cortante, momento y acero requerido en viguetas

Apéndice 27. Hoja de cálculo de deflexiones en viguetas

Apéndice 28. Despiece de escaleras La Flora Cali

Apéndice 29. Hoja de cálculo de escaleras La Flora Cali

Apéndice 30. Hoja de cálculo de chequeo de refuerzo de en vigas

Apéndice 31. Chequeo de estribos en columnas y chequeo de cuantía volumétrica

## Resumen

**Título:** Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en apoyo al diseño estructural en la empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S.\*

**Autor:** Nicolás Mateo Corredor Castro\*\*

**Palabras Clave:** Práctica empresarial, plano estructural, diseño estructural, software de análisis, memorias de cálculo, control de calidad.

### Descripción:

En el pregrado de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander se hace un mayor énfasis en la rama diseño estructural, por ello, para garantizar el éxito en el desempeño laboral de los ingenieros egresados, se deben cumplir las competencias de diseño establecidas en la norma sismo resistente colombiana NSR-10. La finalidad de este documento es representar las actividades que se realizaron en los diferentes proyectos asignados durante la práctica empresarial desarrollada en la empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

La metodología de desarrollo de las actividades se pueden recapitular por etapas de trabajo, entre las cuales se pueden resaltar: el análisis de diseño a nivel preliminar de elementos estructurales como losas, zapatas, escaleras y muros de contención; el dibujo asistido por computador de planos estructurales, detalles constructivos y especificaciones técnicas en el programa AutoCAD®; el uso de software de análisis y diseño estructural SAP2000® y ETABS® para análisis preliminar; el uso e intervención en hojas de cálculo programables en Microsoft Excel y la recopilación de información de diseño para la elaboración de memorias de cálculo. También se realizó el ejercicio de control de calidad al diseño de elementos estructurales hechos por los ingenieros del equipo de diseño en diferentes proyectos.

Dentro de este documento se pueden encontrar evidencias de los resultados obtenidos dirigidos al cumplimiento de los objetivos propuestos, como hojas de cálculo y detalles estructurales que fueron utilizados para la presentación memorias y planos de los proyectos. Finalmente se expresan los beneficios que trae el participar en una práctica empresarial y su influencia en el desempeño laboral, como el aprendizaje de técnicas y criterios de diseño estructural.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Eduardo Zapata Orduz. Ingeniero Civil, PhD.

## Abstract

**Title:** Business practice as a civil engineering assistant in support of structural design at the company Alexis Vega Ingenieros S.A.S\*

**Author:** Nicolás Mateo Corredor Castro\*\*

**Key Words:** Business practice, structural plan, structural design, analysis software, calculation reports, quality control.

### Description:

In the civil engineering career at the Industrial University of Santander, a great emphasis is placed on the branch of structural design, therefore, to guarantee success in the job performance of graduate engineers, the design competencies established in the Colombian Seismic Standard NSR-10 must be satisfied. The purpose of this document is to represent the activities that were carried out in the different projects assigned during the participation in the business practice developed in the company Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

The activities development methodology can be summarized by work stages, among which we can highlight: preliminary design analysis of structural elements such as slabs, footings, stairs and retaining walls; computer-assisted drawing of structural plans, construction details and technical specifications in the AutoCAD® software; the use of SAP2000® and ETABS® structural design and analysis software for preliminary analysis; the use and intervention in programmable spreadsheets in Microsoft Excel and the collection of design information for the preparation of calculation reports. The quality control exercise was also carried out on the design of structural elements made by the engineers of the design team in different projects.

Within this document you can find evidence of the results obtained aimed at meeting the proposed objectives, such as spreadsheets and structural details that were used for the presentation of reports and plans of the projects. Finally, the benefits of participating in a business practice and its influence on job performance are expressed, such as learning structural design techniques and criteria.

---

\*Degree Work

\*\*Faculty of Physic-Mechanical engineering, School of Civil Engineering. Director: Luis Eduardo Zapata Orduz. Civil Engineer, PhD.

## Introducción

Las obras civiles tienen un gran impacto en el desarrollo económico, demográfico y cultural en el país, ya que estas suplen directamente necesidades específicas de la población; el diseño estructural de estas obras, debe estar encaminado a salvaguardar la vida de las personas, por ello se hace necesario impartir la premisa del correcto ejercicio de la ingeniería civil, el cual, al desarrollar una práctica empresarial, se ve fortalecido dada la adquisición de habilidades y técnicas en el ejercicio de la profesión (Güiza B et al., 2018).

Internacionalmente las discusiones sobre los factores que contribuyen a los fallos de infraestructura en Colombia, resaltan la mala práctica de la ingeniería civil, partiendo de diseños iniciales inadecuados, falta de experiencia y falta de supervisión (Daheshpour & Herbert, 2018); Además, debido a la presión para completar proyectos de consultoría en cortos periodos de tiempo, no se llegan a cumplir las exigencias de los códigos de diseño y el control de calidad se vuelve un proceso crítico en el éxito de un proyecto (Cai, 2006).

Según Sarria Molina (2008) la desconexión entre el sector académico y el ejercicio profesional encontrada en las deficiencias de la preparación universitaria, se podían subsanar con escuelas de formación; estas escuelas o firmas de ingeniería que existieron en Colombia entre 1950 y 1980, tenían la premisa de formación mediante un proceso tutorial, en el cual, los intercambios de ideas con colegas de diferentes especialidades y la enseñanza progresiva, complementaban el componente académico, favoreciendo el futuro profesional de los ingenieros recién egresados.

Durante una práctica empresarial, los estudiantes se enfrentan a problemas de diseño realistas, que complementan el conocimiento adquirido durante el pregrado; dado que el enfoque

es mejorar la habilidad de resolución de problemas, se desarrolla el pensamiento crítico, el aprendizaje autónomo y el trabajo en equipo; lo cual permite estar mejor preparado al hacer la transición a la práctica de la ingeniería en el mundo real (Jackson & Tarhini, 2015).

La finalidad de hacer una práctica empresarial al integrarse a un equipo de diseño estructural, es fortalecer las aptitudes y conocimientos adquiridos durante la carrera, brindando apoyo en el proceso de diseño y teniendo una colaboración recíproca entre estudiante y empresa.

La principal participación en esta práctica empresarial se da como soporte en el análisis, diseño preliminar, dibujo y control de calidad de elementos que componen una edificación de uso residencial; como zapatas, losas, escaleras, muros y viguetas. Para ello, se hace uso de software que facilita el análisis, dibujo y presentación de dichos elementos, los cuales permiten mejorar el desempeño y productividad de estos procesos. Entre dichos softwares se encuentran AutoCAD® (Walker et al., 1982), SAP 2000® (Habibullah, 1996), ETABS® (Habibullah, 1984) y Microsoft Excel (Bricklin, 1985).

En la empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S. se da la oportunidad para que los estudiantes tengan un primer acercamiento al entorno laboral en un espacio de cooperación y aprendizaje, con el fin de complementar la formación académica y mejorar el desempeño laboral. Todas las actividades desarrolladas en la práctica empresarial son dirigidas y revisadas por parte de un tutor, de forma que se ofrezca un acompañamiento encaminado a cumplir los objetivos, los cuales se profundizan en la metodología de trabajo explicada en este artículo.

## 1. Marco conceptual

Para brindar el apoyo directo en el diseño estructural de los proyectos de la empresa se debe tener conocimiento y apropiación de los conceptos correspondientes a los elementos que componen una edificación y su diseño.

### 1.1 Cimentaciones

Las cimentaciones son la parte de interacción suelo-estructura, las cuales soportan y transmiten las cargas de muros y columnas al suelo subyacente; dependiendo de la capacidad del suelo competente y su nivel en el terreno, se pueden emplear cimentaciones superficiales o cimentaciones profundas (Nilson, 2000).

#### *1.1.1 Cimentaciones superficiales*

Estas cimentaciones se utilizan cuando el estrato de suelo subyacente tiene la resistencia suficiente para soportar cargas o cuando se pueden transmitir dichas cargas a pequeñas profundidades mediante recuperaciones de concreto ciclópeo; para el contexto de esta práctica empresarial se evaluarán dos tipos de zapatas superficiales (Herrera, 2021).

**1.1.1.1 Zapata aislada.** Se usa para soportar la carga de una sola columna, éstas son por lo general las más usadas y suelen ser losas de espesor continuo de formas cuadradas o

rectangulares dependiendo de la sección transversal de la columna que sostienen (McCormac & Brown, 2011). El tamaño de estas zapatas influencia el incremento de presión transmitido al terreno y este disminuye progresivamente en profundidad, ese espacio geométrico del suelo se denomina bulbo de presiones. Estas zapatas generalmente suelen tener áreas y cargas homogéneas o en un corto rango de magnitud (sugerido por el geotecnista) dentro de un mismo terreno, ya que su proximidad podría ocasionar solapamiento entre bulbos de tensiones y tener efectos de asentamientos diferenciales no admisibles (Documento básico SE-C, 2006).

**1.1.1.2 Zapata corrida.** Es una franja de concreto reforzado más ancha que el muro, cuya finalidad es distribuir adecuadamente la carga sobre el suelo competente, estas zapatas normalmente se usan en el perímetro de un edificio y bajo los muros interiores (McCormac & Brown, 2011).

## **1.2 Muros de contención**

Los muros de contención soportan pendientes de suelo que ocasionan una presión lateral sobre su longitud que tienden a volcarlos o desplazarlos, el diseño de estos muros se puede dividir en dos fases; la primera es la verificación de la estabilidad, conociendo el empuje lateral del suelo y los efectos de sobrecarga, en esta fase se examina la estructura en busca de fallas por volcamiento, deslizamiento y capacidad de carga; en la segunda fase, se comprueba la resistencia de cada componente de la estructura y se diseña el acero de refuerzo (Das, 2006). En proyectos de baja escala los tipos de muros de concreto reforzado comúnmente utilizados son los muros de sótano y muros en voladizo.

### ***1.2.1 Muros en voladizo tipo cantilever***

Los muros cantilever son muros de retención de concreto reforzado que consisten en un vástago y una zapata en la base que se divide en punta y talón, su diseño se dispone de manera que se use el peso del material en el talón para contrarrestar momentos (McCormac & Brown, 2011).

### ***1.2.2 Muros de sótano***

Estos muros tienen las mismas consideraciones de diseño que los muros en voladizo, a diferencia de que el acero longitudinal de estos muros tiene puntos de anclaje superiores e inferiores en la estructura; al ser perimetrales a la excavación de un nivel inferior a la cota de construcción, tienden a llenarse con materiales granulares y deben tener un drenaje adecuado para evitar su colapso (Bowles, 1996).

## **1.3 Elementos estructurales**

### ***1.3.1 Muros estructurales***

Los muros de cortante o muros estructurales son aquellos muros que resisten principalmente las cargas laterales debidas a viento o sismo, los cuales proporcionan resistencia y rigidez lateral al resto de la estructura; estos muros resisten las cargas gravitacionales transferidas al muro junto con los cortantes laterales y momentos alrededor de su eje fuerte (Wight & MacGregor, 2012).

### ***1.3.2 Columnas***

Las columnas son elementos estructurales verticales que soportan cargas de compresión axial, con o sin momentos, estas soportan cargas verticales desde los pisos superiores y las transmiten a la cimentación; las dimensiones de la sección transversal de una columna son generalmente considerablemente menores que su altura (Wight & MacGregor, 2012).

### ***1.3.3 Vigas***

Las vigas son miembros estructurales que están sujetos principalmente al momento de flexión y al esfuerzo cortante asociado. Por lo tanto, las fuerzas internas dominantes en una sección transversal típica de una viga son el momento flector ( $M$ ) y la fuerza cortante ( $V$ ). En una edificación, algunos de los elementos tipo viga (como viguetas o correas) soportan únicamente las cargas gravitacionales transferidas desde las losas de piso o techo (es decir, cargas muertas, vivas, empozamiento, etc.), mientras que las vigas cargueras (vigas principales conectadas a las columnas en un nudo) soportan principalmente cargas laterales junto con una pequeña fracción de las cargas de gravedad en sistemas como pórticos resistentes a momento y las transmiten hacia sus apoyos (Shen et al., 2021).

### ***1.3.4 Viguetas***

Las viguetas se comportan de manera similar a las vigas, transfiriendo cargas de piso hacia las vigas principales, estas tienen un espaciamiento uniforme entre sí, el cual se conoce como ancho aferente (Khillar, 2018).

### ***1.3.5 Losas***

Las losas de concreto reforzado son elementos estructurales horizontales soportadas por vigas, muros o columnas y resisten cargas normales a su plano. (Nilson, 2000); las losas se conocen como *losas en una dirección* cuando la flexión es en una sola dirección, puesto que transmite las cargas perpendicularmente a los apoyos y *losas en dos direcciones* cuando están apoyadas perimetralmente o en hileras de columnas o muros, y la flexión se da en ambas direcciones, necesitando refuerzo en ambas direcciones; a diferencia de las anteriores, los apoyos de las losas bidireccionales poseen una rigidez a flexión mucho mayor que la rigidez de la misma losa, siendo estos apoyos vigas o muros estructurales (González Cuevas & Fernández Villegas, 2005).

*Losas aligeradas* consisten usualmente en una loseta de concreto reforzado en las que el espesor de su losa superior oscila entre 5 a 10 cm, y se apoya en viguetas uniformemente espaciadas. Con el fin de reducir carga muerta, se generan vacíos entre estos apoyos y dependiendo del proyecto, llevan una losa inferior.

Las *losas macizas* son aquellas que no tienen vacíos en su interior, estas consisten en una losa de concreto reforzado con refuerzo interno sin ningún tipo de aligeramiento (Rochel Awad, 2007).

## **1.4 Elementos no estructurales**

### ***1.4.1 Escaleras***

Las escaleras son estructuras inclinadas que permiten el traslado entre niveles de una estructura, el diseño de estos elementos estructurales debe cumplir con el principio de estabilidad isostático, es decir, se toman como miembros simplemente apoyados sobre vigas en cada nivel (Muñoz, 2020).

## **1.5 Planos estructurales**

Los planos estructurales son parte esencial en el diseño estructural, son medios visuales que se utilizan para representar y comunicar los conceptos y detalles de diseño en proyectos de infraestructura, estos se realizan con la ayuda de un software CAD (computer-aided drafting) y se desarrollan a lo largo de las fases de planeación, factibilidad y diseño final (Choi, 2017). Los planos deben contener las especificaciones necesarias de los materiales de construcción, tamaño y localización de elementos estructurales, detalles de acero de refuerzo y conexiones según lo especificado en A.1.5.2.1 de la NSR-10 (Decreto 945, 2017).

## **1.6 Cantidades de obra**

Durante la etapa de diseño en proyectos de ingeniería civil la estimación de costos es prioridad en el estudio de factibilidad de proyectos y es responsabilidad del ingeniero asistir al

cliente en planear y presupuestar el costo de obra; este proceso se da en dos partes: el cálculo de cantidades de obra y la estimación de precios de estas cantidades, lo cual implica estimar las cantidades de diversos materiales e insumos necesarios como concreto, acero, madera, etc.; estas cantidades se dan en medidas de longitud, distancia, área, volumen o peso, y su estimación consume una considerable cantidad de tiempo dependiendo de la complejidad y geometría de los diseños (Choi, 2017).

### **1.7 Hojas de cálculo**

Los procesos de análisis y diseño en la ingeniería civil son tareas repetitivas que se han automatizado gracias a la disponibilidad de software como Microsoft Excel (Bricklin, 1985), el crear hojas de cálculo en este software permite la flexibilidad en su uso y el tiempo que se usa en su creación se compensa con la reutilización, aumentando la productividad de los procesos. Estas hojas de cálculo tienen la facilidad de entrada y manipulación de datos y fórmulas en un formato simplificado, lo cual resulta amigable para el usuario, además, al permitirse la personalización, se puede asegurar la precisión de los resultados y se facilita la colaboración entre miembros de un mismo equipo (Shanmuganathan, 2000).

### **1.8 Memorias de cálculo**

Con el fin de sustentar un proyecto de diseño estructural, se debe crear un documento descriptivo que funcione como registro del proceso de diseño y establezca el razonamiento detrás de la toma de decisiones; este documento conocido como memoria de cálculo, transmite

detalladamente información de procesos y resultados calculados en el diseño de la estructura, recopilando información general que será utilizada para la verificación de diseño y garantía del cumplimiento de la norma (Monroy, 2021). Esta memoria de cálculo debe contener una descripción del sistema estructural, tipo de análisis sísmico utilizado y verificación de derivas máximas, así como el reporte de diseño del software de análisis utilizado con su respectiva explicación según lo solicitado en A.1.5.3.1 de la NSR-10 (Decreto 945, 2017).

## **1.9 Control de calidad**

El control de calidad en proyectos de ingeniería civil es un proceso continuo que permite garantizar que el diseño cumpla con los estándares normativos de seguridad y desempeño; este proceso de control, se realiza a lo largo del proyecto y permite determinar errores y fallas de diseño mediante la intervención de una persona que realice chequeos rutinarios; este proceso se basa en hacer una verificación efectiva en los métodos de análisis, criterios de diseño y resultados cumpliendo basados en los códigos de diseño (Cai, 2006).

En Alexis Vega Ingenieros S.A.S. la estructura organizacional de la empresa se muestra en una forma descendente desde la gerencia hacia las direcciones administrativa, técnica y de diseño. Los practicantes responden directamente a los ingenieros que conforman el departamento de diseño, en el cual se distribuyen las actividades de la siguiente manera:

- Asignación de proyecto al ingeniero que hace las veces de tutor
- Asignación de tareas al practicante
- Recopilación de información arquitectónica y de suelos en bases de datos
- Seguimiento a la metodología de trabajo al desarrollo de actividades

- Finalización y entrega por parte del practicante al ingeniero
- Retroalimentación y correcciones

Al finalizar la entrega de tareas en forma de productos entregables (planos y memorias), se da por terminada la participación en los proyectos asignados.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Apoyo como auxiliar de ingeniería civil en el diseño estructural en ejecución de proyectos de construcción en la empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

### 2.2 Objetivos Específicos

**Objetivo 1:** Realizar dibujo asistido por computador de planos estructurales y detalles varios de diseño estructural.

**Objetivo 2:** Desarrollar análisis a nivel preliminar de elementos estructurales en dos dimensiones como viguetas, escaleras, losas y muros de contención, aplicando criterios de diseño de la NSR-10 (Decreto 945, 2017).

**Objetivo 3:** Mejorar hojas de cálculo programables, que permitan optimizar y agilizar análisis y diseño de elementos estructurales tales como escaleras, viguetas, losas, zapatas y muros estructurales.

### **3. Metodología**

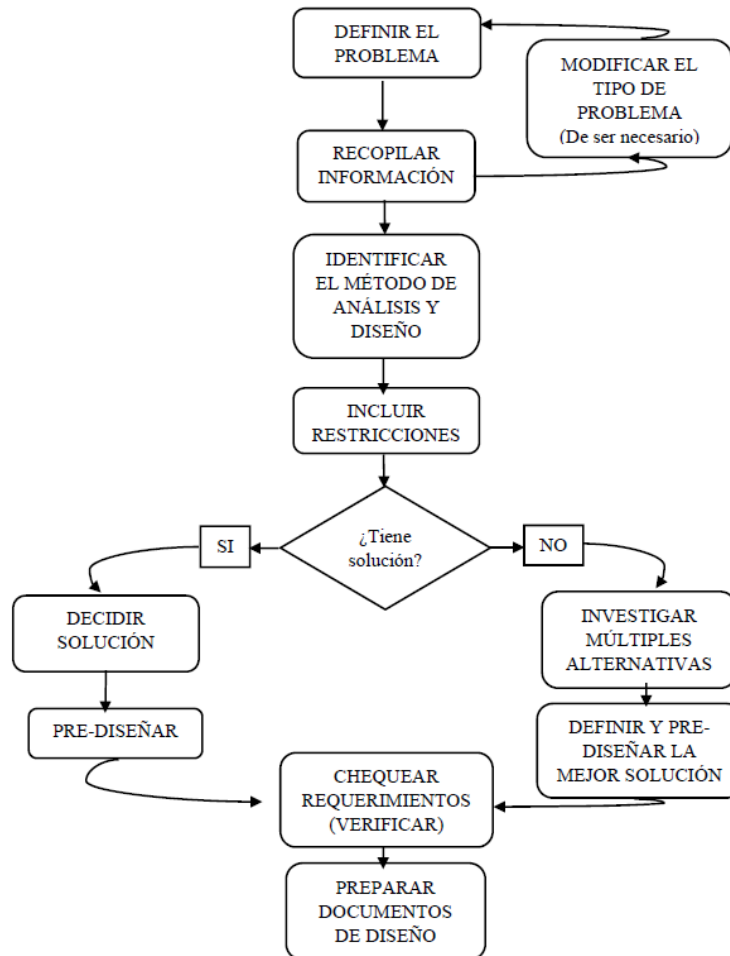
Durante esta práctica empresarial como integrante del equipo de diseño de la empresa, se asignaron actividades a realizar por el practicante en cada proyecto, además, se asignó un tutor que llevó a cabo la labor de revisión y control.

#### **3.1 Metodología de trabajo**

Para la resolución de las actividades asignadas se hizo referencia a una estructura de trabajo y aprendizaje denominada DRIDS-V por sus siglas en inglés, Define (definir), Research (Investigar), Identify (Identificar), Decide (Decidir), Solve (Resolver), y Verify (Verificar), enfoque de trabajo que se basa en desglosar las acciones para resolver los problemas paso a paso (Jackson & Tarhini, 2015).

**Figura 1**

*Estructura DRIDS-V (Define, Research, Identify, Decide, Solve and Verify)*



*Nota.* Estructura de desarrollo de actividades. Adaptado al español de “*Progressive Integration of Design process into Civil engineering curriculum*” con permiso de Hudson V. Jackson, Ph.D., P.E., M.ASCE; and Kassim M. Tarhini, Ph.D., P.E., M.ASCE, (Jackson & Tarhini, 2015).

Partiendo de este enfoque, cada actividad se descompone en partes de trabajo dirigidas al cumplimiento de los objetivos específicos como se demuestra en la siguiente metodología de trabajo.

### ***3.1.1 Asignación de tareas***

Semanalmente se divide la cantidad de trabajo que se debe realizar en los proyectos respectivos, estableciendo generalidades, criterios de diseño, restricciones y plazos de entrega.

### ***3.1.2 Dibujo de planos iniciales***

El dibujo de planos estructurales asistido por computador en el programa AutoCAD® (Walker et al., 1982) correspondiente al *Objetivo 1*, es necesario en varias fases del proyecto, en esta primera fase de planeación y partiendo de la arquitectura, se hace una superposición de elementos estructurales (vigas, columnas, viguetas y muros) sobre planos arquitectónicos y se dibujan borradores de planos, en los que se identifica la posición, dimensiones y ejes locales; estos borradores, se entregan al ingeniero encargado de hacer el modelo estructural en ETABS® (Habibullah, 1984).

### ***3.1.3 Análisis y diseño preliminar***

Para ejecutar el análisis de elementos estructurales en un nivel preliminar correspondiente al *Objetivo 2*, se recibe por parte del ingeniero a cargo del proyecto, el modelo estructural; con las cargas y reacciones del modelo, se recopila la información necesaria para el pre-diseño de zapatas, viguetas, muros de contención, escaleras y losas, los cuales deben cumplir las especificaciones de la norma NSR-10 (Decreto 945, 2017).

En el cumplimiento de este *Objetivo 2* se hace uso del software ETABS ® (Habibullah, 1984) y SAP2000® (Habibullah, 1996) para hacer modelos bidimensionales de escaleras, losas, viguetas y muros de contención. A su vez, para realizar el análisis preliminar de estos elementos se utilizan las hojas de cálculo programables en el software Microsoft Excel (Bricklin, 1985) que fueron proporcionadas por la empresa; estas hojas de cálculo serán modificadas en fondo y no en forma para no alterar las plantillas de presentación utilizadas por la empresa.

La modificación de las hojas de cálculo establecida en el *Objetivo 3*, se hace para disminuir los tiempos de trabajo, dado que automatizar las tareas repetitivas de análisis y diseño consumen una considerable cantidad de tiempo. Entre las modificaciones que se realizan a dichas hojas de cálculo se tiene: entrada interactiva de datos, facilidad de edición de variables por criterios de diseño, progresión interactiva en la toma de decisiones, automatización de cálculos, y selección de soluciones (Shanmuganathan, 2000).

Las hojas de cálculo que se modificaron fueron para el diseño de zapatas, losas de entrepiso, diseño de escaleras, diseño de muros de contención, chequeos de estribos y chequeo de cuantías volumétricas; estos cambios de fondo en las plantillas se señalarán en la descripción de cada proyecto.

#### ***3.1.4 Presentación de planos***

Al terminar el análisis y diseño preliminar conforme al *Objetivo 2*, se debe hacer el dibujo de detalles estructurales y planos finales, en los cuales se especifiquen la nomenclatura, posición, dimensiones, referencia de acero y demás especificaciones técnicas para la construcción,

culminando el desarrollo del *Objetivo 1*, una vez finalizados estos planos el tutor hace revisión de planos finales y verificaciones de diseño.

### ***3.1.5 Elaboración de memorias***

En este paso se completa la competencia establecida en el *Objetivo 3* dado que se realiza la recopilación de memorias de diseño, es decir, se presentan las hojas de cálculo modificadas en formato PDF para constituir el libro de memorias y este pasa a ser revisado por el ingeniero a cargo del proyecto, el cual elabora un listado de observaciones y correcciones que se deben realizar para constituir la entrega.

### ***3.1.6 Control de calidad y cantidades de obra***

El proceso de control de calidad es inherente al desarrollo de todos los objetivos específicos, ya que garantiza el cumplimiento del diseño según la norma NSR-10 (Decreto 945, 2017), verificando resultados, asunciones y criterios de diseño; este proceso es de los más exhaustivos del proyecto y se realiza como un riguroso listado de chequeos entre la entrada de datos y resultados. El ingeniero a cargo del proyecto delega al practicante verificaciones en elementos estructurales como vigas, columnas y muros de cortante, para los cuales se utilizan hojas de cálculo programables; finalmente. el cálculo de cantidades de obra se puede suponer como el paso final en la culminación de un proyecto donde se cumplieron todos los objetivos, dado que, para este proceso, el diseño debe estar aprobado por el ingeniero a cargo.

### ***3.1.7 Entrega de proyectos***

Una vez terminado el reporte de control de calidad y libro de cantidades de obra, se recopila la información de memorias y planos finales y se enlaza a links entregables por Google Drive; estos se entregan al equipo de diseño y posteriormente al cliente para revisión y solicitud de permisos constructivos. A partir de la entrega al cliente, se cierra el proyecto momentáneamente y se procede a recibir asignación de tareas repitiendo la metodología hasta recibir información de la curaduría municipal encargada del proyecto, proceso que puede tomar entre 2 semanas a 2 o más meses dependiendo de la magnitud e inversión de por medio.

### ***3.1.8 Retroalimentación y cierre del proyecto***

Las revisiones de curaduría municipal generalmente tienen dos tipos de requisitos: justificar el porqué de los criterios de diseño de algún elemento estructural o solicitar información adicional faltante en las entregas, para ello, el practicante crea un documento de respuesta, en el cual, con ayuda de las memorias de cálculo se justifican todas las observaciones.

En la Tabla 1, se hace una descripción general de los proyectos en los que se participó, así como una enumeración de las actividades realizadas.

**Tabla 1***Descripción de actividades realizadas por proyectos*

<b>Proyecto</b>	<b>Descripción del Proyecto</b>	<b>Participación en el proyecto</b>
<b>Proyecto 1:</b> Proyecto Residencial Casa Náutica	Vivienda residencial de 2 pisos y 1 sótano, sistema estructural combinado con capacidad especial de disipación de energía (DES), cimentación con zapatas individuales con vigas de amarre, perfil de suelo tipo D con capacidad portante de 440 kN/m <sup>2</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dibujo de planos estructurales y detalles</li> <li>• Análisis de diseño preliminar de zapatas aisladas</li> <li>• Análisis y diseño de muros de contención en voladizo</li> <li>• Creación de memorias de cálculo</li> </ul>
<b>Proyecto 2:</b> Proyecto de Vivienda de Interés Social (VIS) Torres La Miel	Torres de vivienda multifamiliar de 11 pisos y 2 sótanos, sistema estructural de muros estructurales y losas macizas, capacidad especial de disipación de energía (DES), cimentación con zapatas corridas unidas por vigas de amarre, perfil de suelo tipo C con capacidad portante de 300 kN/m <sup>2</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dibujo de planos estructurales y detalles</li> <li>• Análisis de diseño preliminar de zapatas corridas</li> <li>• Franjas de losa</li> <li>• Dibujo y control de calidad de muros estructurales</li> <li>• Creación de memorias de cálculo</li> </ul>
<b>Proyecto 3:</b> Proyecto de Vivienda Residencial Punta Ruitoque 78	Vivienda residencial 2 pisos, sistema estructural combinado con capacidad especial de disipación de energía (DES), cimentación con zapatas aisladas con vigas de amarre y cabezales de pilotes, perfil de suelo tipo C con capacidad portante de 200 kN/m <sup>2</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dibujo y corrección de planos estructurales y detalles</li> <li>• Análisis y diseño preliminar de losas aligeradas</li> <li>• Análisis y diseño preliminar de viguetas</li> <li>• Creación de memorias de cálculo</li> </ul>
<b>Proyecto 4:</b> Proyecto de Edificio de Vivienda Multifamiliar La Flora Cali	Torre de vivienda multifamiliar de 11 pisos y 3 sótanos, sistema estructural combinado con capacidad especial de disipación de energía (DES), cimentación con pilotes con cabezales, perfil de suelo tipo C con capacidad portante de 392.26 kN/m <sup>2</sup> a 8 metros de profundidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dibujo de planos estructurales y detalles</li> <li>• Análisis y diseño preliminar escaleras</li> <li>• Control de calidad de vigas y columnas</li> <li>• Creación de memorias de cálculo</li> </ul>

## 4. Desarrollo de la práctica y Resultados

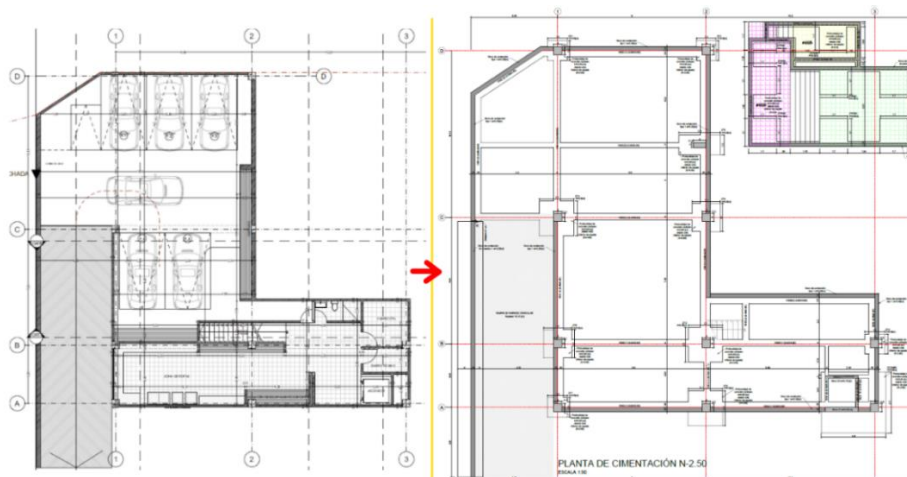
### 4.1 Proyecto residencial: Casa Náutica

#### 4.1.1 Dibujo de planos estructurales

El primer paso es la ubicación de elementos estructurales conforme a los planos arquitectónicos con sus respectivas dimensiones y nomenclatura en el software AutoCAD ® (Walker et al., 1982), para ello se hace una superposición de plantas y se genera el plano borrador de elementos estructurales como se evidencia en la Figura 2.

#### Figura 2.

##### *Plano arquitectónico vs plano estructural*



*Nota.* Estos planos iniciales constituyen el desarrollo del *Objetivo 1* y deben contener: nomenclatura de elementos, dimensiones en planta, alturas y cotas. Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S, Ver Apéndices 1 y 2

#### ***4.1.2 Análisis preliminar de elementos estructurales***

**4.1.2.1 Zapatas aisladas.** Para el análisis preliminar de zapatas establecido en el Objetivo 2 se requieren las reacciones muerta, viva y sísmica en los nodos de la base del modelo estructural proporcionado por el ingeniero encargado, así como generalidades del perfil de suelo para utilizar como datos iniciales en el diseño.

Al aplicar el enfoque DRIDS-V (Jackson & Tarhini, 2015), se *define, investiga* y se *identifica* el tipo de zapatas como zapatas aisladas según la ubicación dentro de los linderos del predio. Con el fin de optimizar el diseño se *decide* reducir el número de zapatas a diseñar haciendo una discretización por geometría y resistencia, es decir, se establece una franja de valores de reacciones similares y se diseñan los límites de cada franja, reduciendo el número de veces que se debe repetir el diseño.

El proceso de diseño preliminar de las zapatas aisladas se hace con el fin de determinar áreas y alturas, siguiendo los requisitos de la norma NSR-10 (Decreto 945, 2017).

Para los pasos de *resolver* y *verificar* el diseño, se debe utilizar la hoja de cálculo de zapatas aisladas, en la cual y para cumplir el *Objetivo 3*, se modifica con entrada interactiva de datos, progresión interactiva en la toma de decisiones, automatización de cálculos, y selección de acero para soluciones. La secuencia de diseño se enumera de la siguiente manera:

- Obtención de cargas de servicio
- Determinación de presiones y área
- Diseño cortante unidireccional
- Diseño cortante bidireccional
- Chequeo aplastamiento

- Diseño a flexión

**Figura 3.**

*Hoja de cálculo de zapatas céntricas aisladas*

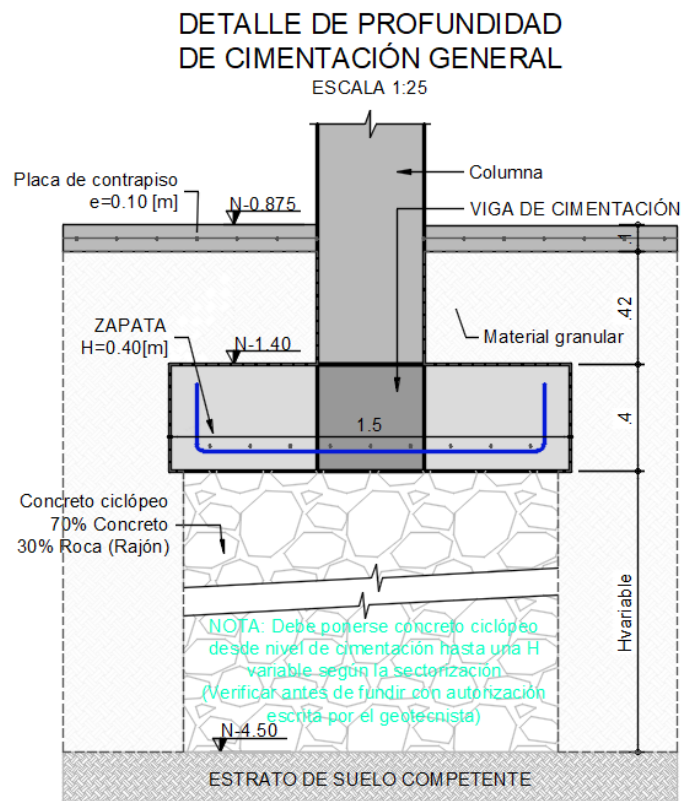
<b>ZT1 CEN</b>		<b>H=0.5</b>	<b>A-1</b>	
<b>Carga</b>		<b>Predim. cuadrada</b>		
D [kN]	491.0000	Área [m <sup>2</sup> ]	Lado [m]	
L [kN]	51.0000	1.30132053	1.14075437	
<b>Columna</b>		<b>Dimensiones</b>		
Lx [m]	0.5	L1 [m] en x	1.2	
Ly [m]	0.5	L2 [m] en y	1.2	CUMPLE
<b>Zapata</b>		<b>Factores</b>		
H [m]	0.5	NSR-10	Ø cortante	0.75
Rec. [m]	0.08		Ø flexión	0.9
d [m]	0.42		Ø aplast.	0.65
			Factor D	1.2
			Factor L	1.6
<b>Suelo</b>		<b>Materiales</b>		
Qa [kN/m <sup>2</sup> ]	440	f'c [Mpa]	Peso espec. [kN/m <sup>3</sup> ]	
Prof. [m]	1	Conc. ref.	21	24
H SUELO	0.5	Ciclop.	19	23
<b>ANÁLISIS DE RESISTENCIA AL CORTANTE POR PUNZONAMIENTO</b>				
Pu [1.2D+1.6L] [kN]	670.8			
Presión Qu [kN/m <sup>2</sup> ]	465.833333			
Perímetro crítico [m]	3.68			
Área crítica (planta) [m <sup>2</sup> ]	0.8464			
Vu por punzonam. [kN]	276.518667			
Ø Vc [kN]	1770.70725			CUMPLE
<b>ANÁLISIS DE RESISTENCIA AL CORTANTE POR ACCIÓN DE VIGA</b>				
Vux [kN]	-39.13	Vuy [kN]	-39.13	
Ø Vcx [kN]	288.7022688	CUMPLE	Ø Vcy [kN]	288.702269
<b>RESISTENCIA DE DISEÑO POR CONTACTO</b>				
A1 [m <sup>2</sup> ]	0.25	lado a2 x	1.2	
A2 [m <sup>2</sup> ]	1.44	lado a2 y	1.2	
Pu apla. [kN]	670.8			
Ø Pn [kN]	5801.25			CUMPLE
<b>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</b>				
Muy [kN]	34.23875	Mux [kN]	34.23875	p mínima
px	0.00043008	py	0.00043008	0.002
Asx [mm <sup>2</sup> ]	1008	CUMPLE	Asy [mm <sup>2</sup> ]	1008
Barras N	5	S [m]	0.24	

*Nota.* Memoria de cálculo de zapatas aisladas céntricas. Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

Al terminar el procedimiento de diseño con el uso de estas hojas de cálculo, se procede a discretizar las zapatas con la nomenclatura ZT1, ZT2, ZT3..., luego se dibujan en los planos estructurales especificando dimensiones, altura, refuerzo y cantidad, además se dibuja un detalle general de profundidad de cimentación como el de la Figura 4. En el Apéndice 3 se pueden observar las modificaciones en la hoja de cálculo para el análisis y diseño de zapata aislada.

#### Figura 4.

*Detalle de profundidad de cimentación*



*Nota.* Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

**4.1.2.2 Muros de contención en voladizo.** En las etapas de *definición e investigación* se encontró que para el diseño preliminar de los muros en voladizo se tienen en cuenta dos partes: el

pre-dimensionamiento con factores de seguridad y el diseño a flexión y cortante. Con el fin de cumplir el *Objetivo 2*, se requieren los datos iniciales de cohesión, peso unitario, altura del nivel freático y ángulo de fricción del terreno, los cuales se pueden extraer del estudio de suelos; con estos datos iniciales y siguiendo el procedimiento de diseño *identificado* para muros tipo cantilever, se calcula la presión lateral del suelo sobre el muro por el método de la presión activa de Rankine (Das, 2011), y se calcula el efecto de la sobrecarga según las especificaciones del estudio de suelos. A partir de este cálculo se *proponen* dimensiones *verificando* que cumplan los factores de seguridad al deslizamiento, volcamiento y capacidad portante de acuerdo a las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$FS = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \quad (1)$$

$$FS = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} \quad (2)$$

$$FS = \frac{q_u}{q_{max}} \quad (3)$$

***Ecuación 1.*** Factor de seguridad al volcamiento (Das, 2011).

***Ecuación 2.*** Factor de seguridad al deslizamiento (Das, 2011).

***Ecuación 3.*** Factor de seguridad de capacidad portante (Das, 2011).

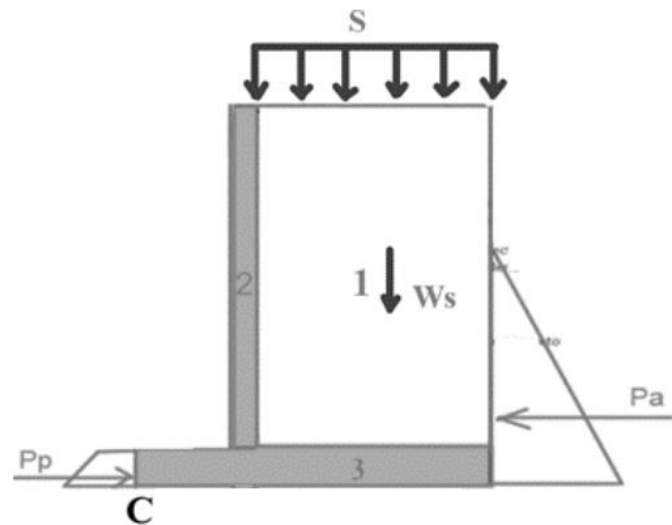
Donde  $FS$  es factor de seguridad,  $\sum M_R$  es la sumatoria de los momentos de las fuerzas que tienden a resistir el vuelco sobre el punto C,  $\sum M_o$  es la sumatoria de los momentos de fuerzas que tienden a volcar alrededor del punto C,  $\sum F_R$  es la sumatoria de las fuerzas resistentes,  $\sum F_d$  es la sumatoria de las fuerzas actuantes,  $q_u$  es la capacidad última de carga y  $q_{max}$  es la capacidad máxima de carga.

En la Figura 5, se puede observar un diagrama general de cómo actúan las fuerzas en el análisis de cargas de un muro cantilever cuando no se presentan cambios de estrato ni hay

influencia del nivel freático, este tipo de muros se utilizan en los linderos de la propiedad cuando se presentan cortes o rellenos del terreno. El análisis de la presión activa se hace según la teoría de cálculo de presión activa de Rankine (Das, 2011), siguiendo especificaciones del estudio de suelo, dado que usar la presión lateral del suelo en reposo solo se usa para muros que no se deforman.

### Figura 5.

*Diagrama de muro de contención*



*Nota.*  $S$  es la sobrecarga,  $W_s$  es la sumatoria de los momentos de las fuerzas que tienden a resistir el vuelco sobre el punto  $C$ ,  $P_a$  es la presión activa del terreno,  $P_p$  es la presión pasiva en la zapata.

Para el desarrollo del *Objetivo 3*, se requiere modificar las hojas de cálculo previstas por la empresa en ambas partes del diseño, sin embargo, para el caso de pre-dimensionamiento cumpliendo factores de seguridad, se propuso personalmente al tutor una hoja de cálculo desde cero, basada en la teoría de diseño (Das, 2011); la cual fue aprobada para ser incluida en las memorias de cálculo. (Ver Apéndices 4 y 5)

La segunda parte del diseño de un muro cantilever se hace teniendo las dimensiones del muro, para ello se procede a modelar en 2 dimensiones en el programa ETABS® (Habibullah, 1984) un muro en voladizo con sección constante con profundidad de 1 metro, al cual se le aplican cargas estáticas de presión del suelo y el efecto de la sobrecarga junto con las fuerzas del análisis dinámico por el método Mononobe-Okabe (Ministerio del Transporte e Instituto Nacional de Vías-INVIAS, 2013) (Ver Apéndice 6), y se procedió a hacer el análisis preliminar utilizando las combinaciones de carga establecidas en el título B.2.4.2 Título B NSR-10 (Decreto 945, 2017).

$$0.9D+1.6H \quad (4)$$

$$0.9D+1.6E \quad (5)$$

***Ecuación 4.*** combinaciones de carga (B.2.4-6) NSR-10.

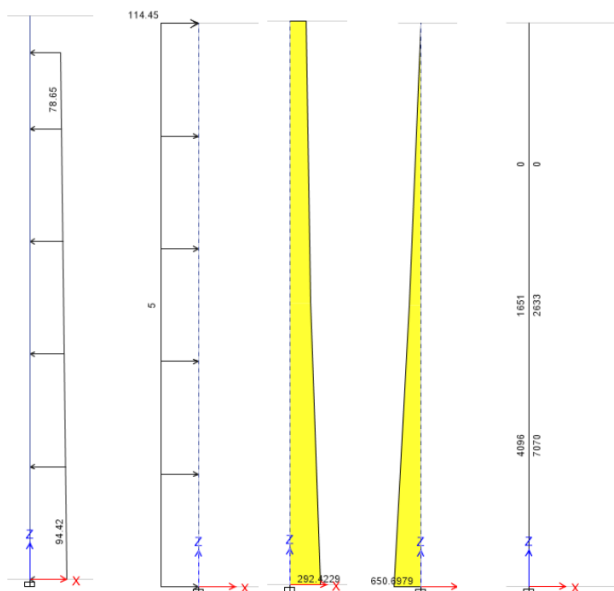
***Ecuación 5*** combinaciones de carga ACI 318S-14 (ACI, 2014).

Donde  $D$  es la carga axial muerta,  $L$  es la carga axial viva,  $E$  son las fuerzas sísmicas reducidas de diseño y  $H$  son las cargas de empuje lateral.

Una vez se ejecute el modelo bidimensional en ETABS® (Habibullah, 1984), se debe hacer diseño preliminar del muro a flexión según C.14.1.2 Titulo C NSR-10 y a cortante según C.11.2.1.1 Titulo C NSR-10 (Decreto 945, 2017), asegurando que la sección de concreto pre-dimensionada cumpla con la resistencia a flexión y tenga una cuantía de refuerzo horizontal mínimo de acuerdo a C.14.3.3 Titulo C NSR-10. En la figura 6 se muestra el modelo bidimensional para el análisis de un muro en voladizo.

**Figura 6.**

*Modelo bidimensional de un muro en voladizo en ETABS*



*Nota.* Modelo bidimensional donde se muestra, presión del suelo, efecto de sobrecarga, diagrama de cortante, diagrama de momento y solicitaciones de acero en el diafragma de un muro de contención respectivamente.

Finalmente, al terminar el diseño preliminar establecido en el *Objetivo 2*, se dibuja el despiece detallado en los planos estructurales especificando dimensiones, altura, calibre y longitudes de acero de refuerzo; este detalle junto con el registro de análisis de pre dimensionamiento se entrega al ingeniero encargado para revisión, cumpliendo con los 3 objetivos específicos en esta actividad. Los muros de contención no conllevan retroalimentación por parte del tutor porque finalmente son diseñados por los ingenieros geotecnistas. Las memorias y planos resultantes son presentados al ingeniero para verificación. (Ver Apéndice 7)

## **4.2 Proyecto de Vivienda de Interés Social (VIS) Torres La Miel**

### ***4.2.1 Dibujo de planos estructurales***

En este proyecto se recibieron asignaciones sobre el *Objetivo 1* en el dibujo de planos de la torre B, en los cuales se nombran individualmente todos los muros estructurales de forma que se puedan referenciar a su despiece correctamente; dado que existe simetría en todo el proyecto, y a modo de optimización en el proceso de diseño, se hace una compilación de grupos de muros que tengan la misma forma para que tengan el mismo nombre, de manera que se eliminen las repeticiones de diseño para las misma geometría de grupo y resulten despieces de muros iguales; esto se hace con la premisa de diseñar bajo la mayor sollicitación y reducir tiempos de diseño. (Ver Apéndice 8)

### ***4.2.2 Análisis preliminar de elementos estructurales***

**4.2.2.1 Zapatas corridas.** En el cumplimiento del *Objetivo 2*, el diseño preliminar de zapatas se realizó de manera similar a las zapatas aisladas con la excepción de mantener una dimensión lineal de un (1) metro en la hoja de cálculo, determinando el ancho individual de zapata por muro; a su vez, el criterio de diseño planteado por el ingeniero encargado, fue diseñar con la misma capacidad portante, con el fin de evitar asentamientos diferenciales y que las vigas de amarre que unen las zapatas tuviesen que resistir cargas excesivas.

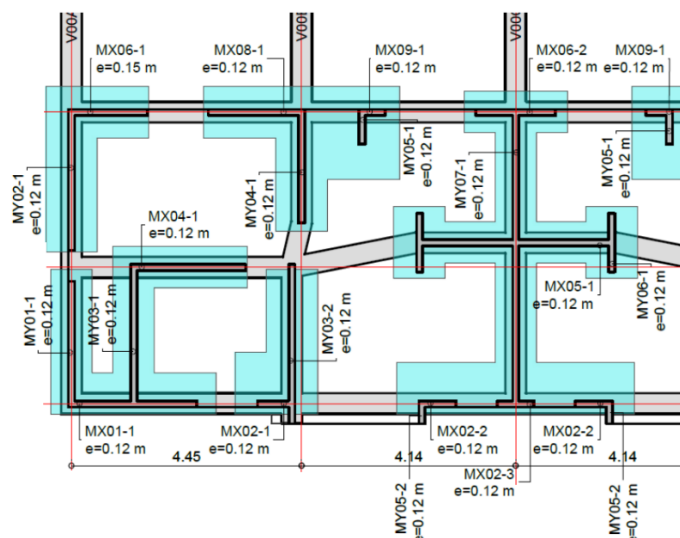
Estos criterios de diseño impartidos por el ingeniero encargado se implementaron en la programación de las hojas de cálculo de zapatas corridas, habilitando la progresión interactiva

cuando se fijan celdas con datos constantes y se obtienen soluciones específicas, abordando el cumplimiento del *Objetivo 3*.

Dado que los muros trabajan en grupos, estas zapatas adquieren formas irregulares, por lo que una vez calculado el ancho de zapata individual por carga de muro e intersectando la figura irregular; se debe verificar que el centroide de fuerzas del grupo de muros sea el mismo que el centroide geométrico de la figura; algunas de las formas que adquieren estas zapatas se pueden apreciar en la Figura 7.

**Figura 7.**

*Formas irregulares de zapatas corridas unidas por vigas de amarre*

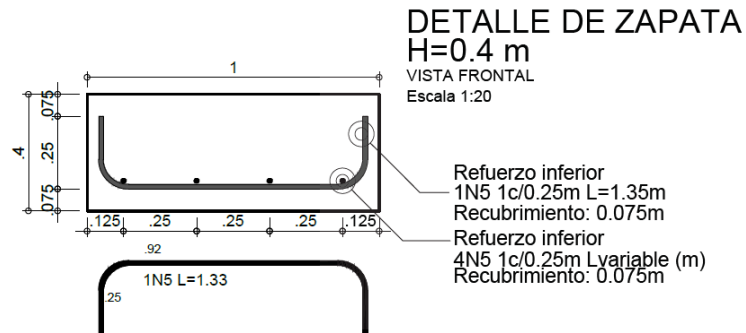


*Nota.* Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S. (Ver Apéndices 9 y 10)

Al finalizar el análisis preliminar cumpliendo el *Objetivo 2*, el despiece del diseño preliminar de cada zapata corrida, se debe dibujar en planta y hacer un detalle de corte en altura, de manera que se especifique el acero de refuerzo, dimensiones y tipo de zapata, en las Figuras 8 y 9 se puede observar como resultado el dibujo del despiece estructural de estas zapatas.

**Figura 8**

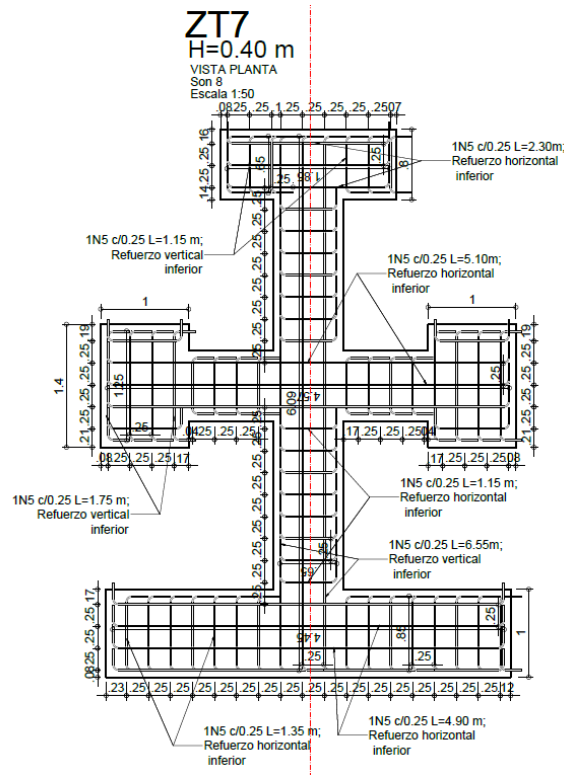
*Despiece de una zapata corrida en altura*



*Nota.* Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S. (Ver Apéndice 11)

**Figura 9.**

*Despiece de una zapata corrida combinada en planta*



*Nota.* Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S. (Ver Apéndice 12)

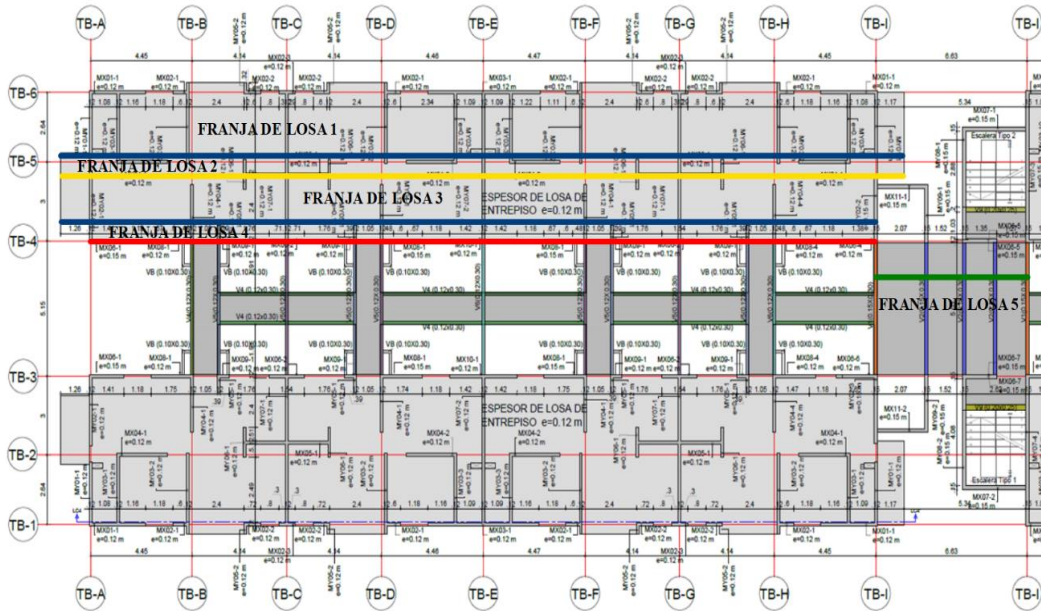
**4.2.2.2 Franjas de losas macizas.** Este sistema estructural se basa en una losa maciza apoyada en muros estructurales en ambas direcciones; para cumplir con el análisis preliminar del *Objetivo 2*, se parte del criterio del ingeniero encargado, el cual es diseñar por el método de franjas de losa, con esa *definición*, se *investiga* en qué consiste el método de diseño y se reciben instrucciones para el diseño de las franjas *identificadas* por el tutor como se muestra en la Figura 10, para este proceso se hace uso de hojas de cálculo para el análisis de cargas vivas y muertas sobre losa, editando la entrada de datos para el cálculo de carga muerta sobreimpuesta con el fin tener mayor exactitud en las asignaciones, dirigiendo los esfuerzos al cumplimiento del *Objetivo 3*.

Según los requisitos arquitectónicos de espesor de losa, se debe asegurar que se cumpla con los máximos permisibles de deflexiones, para ello se hace uso de la hoja de cálculo de deflexiones (Ver Apéndice 14 y 15); una vez aprobado el espesor de losa se *propone* el diseño con una malla de refuerzo electrosoldada conocida como XX-188 encontrada en tabla no.11 de la NTC 5806 (ICONTEC, 2014, p. 15), la cual se conforma de barras 6.0M espaciadas cada 15 cm en ambas direcciones.

Para el diseño de franjas de losa se hacen modelos bidimensionales por (1) un metro de profundidad en el programa SAP2000® (Habibullah, 1996), teniendo en cuenta los apoyos, espesores y cargas muertas y vivas distribuidas, evaluando las combinaciones de carga descritas en B.2.4.2 Título B NSR-10 (Decreto 945, 2017); se corre el modelo para obtener los diagramas de cortante y momento por franja, y se procede a diseñar cada una, este proceso se repite para todas las franjas de losa clasificadas por el ingeniero diseñador en todos los pisos del edificio. (Ver Apéndices 16 y 17).

**Figura 10.**

*Franjas de losas analizadas*



*Nota.* Franjas de losa asignadas por el ingeniero diseñador. Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S. (Ver Apéndice 13)

La malla inferior debe ser continua a lo largo de toda la losa y se añade refuerzo adicional cuando la resistencia al momento positivo último es insuficiente; en el caso de la malla superior, esta se coloca desde el apoyo hasta los puntos de inflexión sumando la distancia mayor entre  $d$  o  $12$  veces el diámetro de barra, y se añade refuerzo adicional cuando se pase la resistencia nominal al momento negativo último en las caras de los apoyos; en la Tabla 2 se pueden identificar las resistencias nominales de la malla M-188 y las barras adicionales de refuerzo.

**Tabla 2***Resistencia nominal de mallas M-188 y refuerzo adicional*

M-188	Ø(mm)	d(mm)	ΦMn(kN-m)
6.0M	6	97	6.75
	Malla		ΦMn(kN-m)
M-188	+	3.0M	8.28
M-188	+	3.5M	8.83
M-188	+	4.0M	9.45
M-188	+	4.5M	10.14
M-188	+	5.0M	10.91
M-188	+	5.5M	11.75
M-188	+	6.0M	12.65
M-188	+	6.5M	13.62
M-188	+	7.0M	14.66
M-188	+	7.5M	15.75
M-188	+	8.0M	16.90
M-188	+	8.5M	18.09
M-188	+	N3	20.70
M-188	+	N4	29.65
M-188	+	N5	38.95

*Nota. Resistencia Nominal usada para el diseño preliminar de losas de entepiso.*

Para cumplir con el *Objetivo 1* con respecto al dibujo de planos estructurales, en el despiece de losas de entepiso se deben seguir preferencias de dibujo específicas para facilitar la lectura y entendimiento de los planos (Ver Apéndice 18), una vez finalizados los planos y recopiladas las hojas de cálculo para el libro de memorias estructurales, se hace entrega al ingeniero encargado y se somete a revisión y control de calidad.

### ***4.2.3 Control de calidad de muros estructurales***

Para brindar una participación completa en todas las etapas de diseño en proyectos estructurales se debe participar en el proceso de control de calidad, este proceso se hace para verificar que el diseño de elementos de borde en los muros cumpla con la mínima distancia de elemento de borde requerida en el reporte de diseño por muro. Para ello se hace una revisión de los cortes de muros proporcionados por el diseñador y se prepara un reporte de resultados,

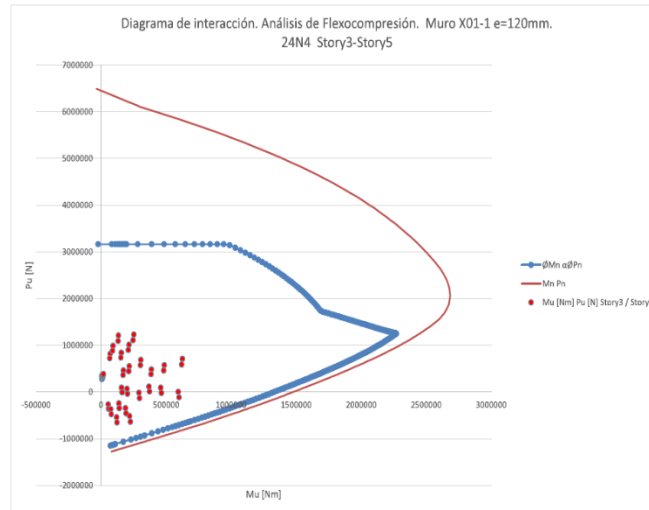
Ese chequeo se hace revisando que la distribución de barras en el elemento de borde cumpla con la longitud mínima según C.21.9.6.2 Titulo C NSR-10 (Decreto 945, 2017). Este proceso se debe hacer para cada muro y en cada nivel.

En el segundo chequeo, se debe revisar que el refuerzo propuesto en elementos de borde, no sobrepase los puntos en su diagrama de flexo-compresión, y que la malla a cortante propuesta, cumpla los criterios de refuerzo a cortante, estos chequeos se realizan en las hojas de cálculo proporcionadas por la empresa y los resultados se anexan al libro de memorias de cálculo.

Para la revisión de flexo-compresión y cortante en muros estructurales, las hojas de cálculo previstas por la empresa no se editaron y se usaron según instrucciones del ingeniero a cargo, en la Figura 11 se puede apreciar el diagrama de flexo-compresión para el muro X01-1.

En el control de calidad de muros estructurales no se participa en ningún aspecto del análisis ni diseño estructural, en estos elementos solo se reciben instrucciones directas del ingeniero que diseña sobre cómo se deben realizar dichos chequeos.

Los resultados de estas revisiones se envían al tutor y este se encarga de dar las instrucciones para los cambios en los planos estructurales.

**Figura 11.***Diagrama de flexo-compresión del muro X01-1*

*Nota.* Puntos en el diagrama de Flexo-compresión de un muro tipo membrana entre niveles de un corte.

Estos muros estructurales se dibujan en altura y con 3 cortes transversales de refuerzo para facilidad constructiva, en estos cortes y alzados. En los planos resultantes se asegura que se cumpla con la longitud de desarrollo en anclajes y traslapos. (Ver Apéndices 21 y 22)

Finalmente se debe revisar que los estribos en los elementos de borde propuestos en altura cumplan con C.21.9.6.4 Titulo C NSR-10 (Decreto 945, 2017) (Ver Apéndices 19 y 20), chequeo que se debe revisar cambiando la separación vertical entre estribos o agregando ganchos suplementarios por elemento de borde satisfaciendo la ecuación 6.

$$A_{sh} = 0.09 \frac{S_b c f'_c}{f_{yt}} \quad (6)$$

**Ecuación 6.** Área del refuerzo transversal C.21.6.4.4 Titulo C NSR-10.

Donde  $A_{sh}$  es el área total del refuerzo transversal incluyendo ganchos suplementarios,  $S$  es la separación entre estribos,  $b_c$  es la dimensión transversal del núcleo del elemento medida entre los bordes externos del refuerzo transversal.,  $f'_c$  es la resistencia a la compresión del concreto y  $f_{yt}$  es la resistencia a la fluencia del refuerzo transversal

### **4.3 Proyecto de Vivienda Residencial Punta Ruitoque 78**

#### ***4.3.1 Dibujo de planos estructurales***

La participación en el dibujo de planos asignados en este proyecto como cumplimiento al *Objetivo 1*, se hizo en forma de control de calidad sobre planos existentes, es decir, a partir de la presentación de planos y detalles entregados anteriormente, se asignó la revisión y corrección de sus detalles. Esta nueva metodología se implementó por las retroalimentaciones de las curadurías municipales en unos puntos redundantes referentes a planos estructurales, en la cuales la solución se plantearon el chequeo manual de despieces de vigas y columnas, asignación de cotas y dimensiones abundantes en las plantas y colocación de textos específicos en los planos a un tamaño de impresión no menor a 2 mm.

#### ***4.3.2 Análisis preliminar de elementos estructurales***

**4.3.2.1 Losas aligeradas.** En el análisis preliminar de losas aligeradas se debe considerar el mínimo espesor de losa necesario para evitar las deflexiones máximas según lo establecido en la tabla C.9.5(a) o en la tabla CR.9.5 Titulo C NSR-10 (Decreto 945, 2017), dependiendo de las

particiones que soporta esta losa. El análisis se hace mediante una hoja de cálculo editada para facilidad de resultados. (Ver Apéndice 23)

**Tabla 3**

*Espesores mínimos para losas reforzadas en una dirección*

Elementos	Espesor mínimo, $h$			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En Voladizo
Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.				
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{19}$	$\frac{l}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{8}$

*Nota.* Adaptada de CR.9.5 NS-10 Título C NSR-10.

El segundo aspecto a cumplir el diseño a flexión de la losa superior, la cual se modela bidimensionalmente en el programa ETABS® (Habibullah, 1984), teniendo en cuenta la separación de viguetas para sus apoyos y asumiendo 1 metro de profundidad para sus cargas. Se debe cumplir el diseño a flexión teniendo en cuenta que al ser un elemento de espesor que oscila entre 6 y 10 centímetros, el refuerzo propuesto no debe ser menor que las ecuaciones 7 y 8.

$$A_{s,min} \geq \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (7)$$

$$A_{smin} > 1.4 \frac{b_w d}{f_{yt}} \quad (8)$$

**Ecuación 7 y 8. Resistencia mínima a flexión C.10.5.1 Titulo C NSR-10.**

Donde  $A_{smin}$  es el área mínima de refuerzo a flexión,  $f_y$  es la resistencia a la fluencia del refuerzo,  $f'_c$  es la resistencia a compresión del concreto,  $b_w$  es el ancho en el sentido de diseño y  $d$  es a distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

El recubrimiento mínimo de estas losas es de 2 cm según C.7.7.1(c) Titulo C NSR-10 (Decreto 945, 2017), por lo que se *decide proponer* un refuerzo a flexión con mallas electrosoldadas con separación de 15 cm en ambas direcciones; por otro lado, se debe cumplir con el refuerzo mínimo por retracción y temperatura definido en C.7.12.2.1 (b) Titulo C NSR-10, para el cual la cuantía mínima es de 0.0018, y junto con la separación, se deben cumplir las ecuaciones 9, 10 y 11.

$$\rho = \frac{A_s}{b_w * d} \quad (9)$$

$$S \leq 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2.5C_c \quad (10)$$

$$S < 300 \left( \frac{280}{f_s} \right) \quad (11)$$

**Ecuación 9. Cuantía de refuerzo (Herrera, 2021).****Ecuación 10 y 11. Espaciamiento máximo del refuerzo C.10.6.4 Titulo C NSR-10.**

Donde  $A_s$  es el área mínima de refuerzo longitudinal a tracción,  $\rho$  es la cuantía de refuerzo,  $f_s$  es el esfuerzo en el refuerzo calculado para las cargas de servicio,  $C_c$  es el recubrimiento libre del refuerzo y  $d$  es la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

Culminando el desarrollo del *Objetivo 2* en el diseño preliminar de losas aligeradas, en las hojas de cálculo utilizadas en el análisis de cargas, se mantuvo la entrada interactiva de datos

variables como luz de diseño y espesor de placa, comprobando mediante la automatización de fórmulas con las tablas C.9.5(a) y CR.9.5 Título C NSR-10 (Decreto 945, 2017), que los resultados cumplieran con las deflexiones admisibles de manera que las decisiones sobre espesor se mantuviera progresivamente, además, se usaron los resultados de cálculo de carga muerta sobreimpuesta dentro de la automatización de los cálculos, en función de reducir el número de cálculos y cumplir con el *Objetivo 3*. Los resultados de dibujo de losas en los planos pasaron a ser evaluados por el ingeniero a cargo para verificación y retroalimentación.

**4.3.2.2 Viguetas.** Para el análisis preliminar de viguetas de acuerdo al *Objetivo 2*, se hace un modelo bidimensional en SAP2000® (Habibullah, 1996), teniendo en cuenta separación de los apoyos, la longitud de los vanos y la ubicación de voladizos, a los cuales se les asignan las cargas multiplicadas por la aferencia entre viguetas, un ejemplo tipo de este modelo se observa en la Figura 12. Estas viguetas se diseñan por resistencia a flexión y resistencia a cortante, con la premisa de que los estribos aportan resistencia al cortante se calcula su aporte con la ecuación 12 y se verifica el cumplimiento de resistencia nominal con la ecuación 13.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{S} \quad (12)$$

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \quad (13)$$

**Ecuación 12.** Resistencia nominal al cortante que aportan los estribos C.11.4.7.2 Título C NSR-10.

**Ecuación 13.** Resistencia nominal al cortante C.11.1.1 Título C NSR-10.

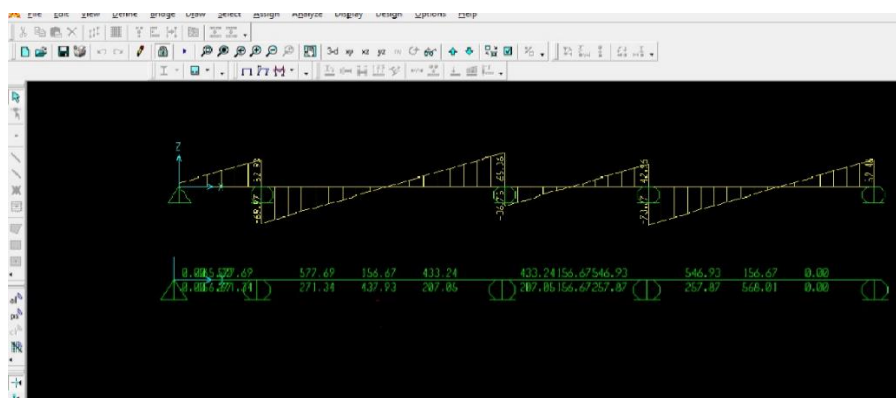
Donde  $V_s$  es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo a cortante,  $V_c$  es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto,  $V_n$  es la resistencia nominal al cortante,  $A_v$  es el área de refuerzo por cortante con un espaciamiento  $s$ ,  $\Phi$  es el factor de reducción

de resistencia C.9.3.2.3 Título C NSR-10 (Decreto 945, 2017),  $S$  es la separación entre estribos,  $f_{yt}$  es la resistencia a la fluencia del refuerzo transversal y  $d$  es la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

En el dibujo de viguetas en AutoCAD® (Walker et al., 1982) dentro del *Objetivo 1*, se deben posicionar riostras según C.8.13.3.1 Título C NSR-10 (Decreto 945, 2017), en dirección perpendicular al sentido elegido, y a una distancia libre que no exceda 4.0 m. En este proyecto el criterio de diseño del ingeniero encargado fue disminuir acero consumido en las viguetas de cubierta, para ello, se discontinuó el refuerzo a flexión superior para momento negativo, la razón de esta decisión se debe a la interpretación de diseño con los diagramas de cortante, para los cuales se establece en C.11.4.6.1 Título C NSR-10 (Decreto 945, 2017), que para un cortante último menor a  $0.5\Phi V_c$  no es necesario un área mínima de refuerzo dado que el concreto aporta toda la resistencia. (Ver Apéndices 24 y 25)

## Figura 12.

*Modelo bidimensional de una viga en SAP2000®*



*Nota.* Modelo bidimensional de viga en SAP2000® Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

Según criterios de diseño y experiencia de los ingenieros encargados, el chequeo de diseño por flexión y cortante de viguetas para el pequeño alcance de este proyecto, no justifica el tiempo que se invierte en crearlo, sin embargo, es necesario adjuntar a la memoria de cálculo los diagramas de momento y cortante por tipos de vigueta, así como el chequeo de deflexiones. Los planos y memorias resultantes son recopilados y pasan a verificación por parte del tutor. (Ver Apéndices 26 y 27)

#### **4.4 Proyecto de Edificio de Vivienda Multifamiliar La Flora Cali**

##### ***4.4.1 Dibujo de planos estructurales***

La participación en el *Objetivo 1* en el dibujo de planos estructurales en este proyecto se vio reflejada en la ubicación y nomenclatura de vigas, vigas auxiliares, columnas y viguetas; dado que, al ser un proyecto variable por cambios de arquitectura, la labor principal fue evaluar los cambios de longitud en vigas, cambios de nivel y cambios en vacíos que se presentaran en cada piso, generando un informe detallado de elementos afectados y elementos propuestos.

##### ***4.4.2 Análisis preliminar de elementos estructurales***

**4.4.2.1 Escaleras.** El análisis preliminar de escaleras se realiza con la premisa de transmitir cargas a los apoyos de la estructura, siendo estos apoyos, muros estructurales o vigas auxiliares; para la estimación de cargas en la hoja de cálculo, se consideran cargas muertas y vivas por profundidad de cada vano, y se crea un modelo en el software ETABS® (Habibullah, 1996), en el

que se asignan dichas cargas y se diseña bajo las combinaciones de carga de las ecuaciones  $a$  y  $b$  según B.2.4.2 Título B NSR-10 (Decreto 945, 2017), como se observa en la Figura 13. Para hacer una estimación del mínimo espesor de placa de escaleras, se parte de la ecuación 14.

$$h > \frac{L}{20} \quad (14)$$

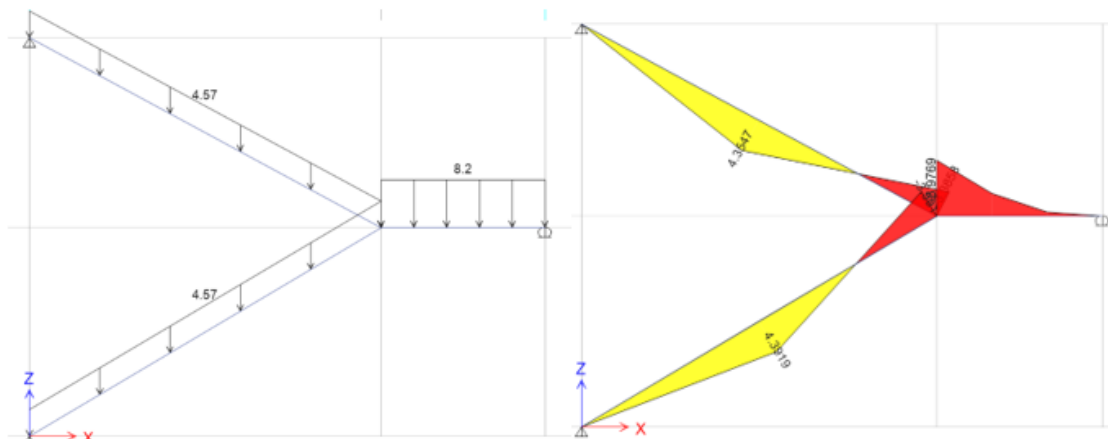
**Ecuación 14.** Espesor de losa de escalera (Muñoz, 2020).

Donde  $h$  es el espesor de losa y  $L$  es la proyección horizontal de la longitud total de la escalera.

Una vez se *resuelve* el diseño de esta losa de escalera cumpliendo el diseño a flexión y cumpliendo con el refuerzo transversal por retracción y temperatura según C.7.12.2.1 (b) Título C NSR-10 (Decreto 945, 2017), se procede a realizar el despiece en AutoCAD® (Walker et al., 1982) y recopilar información de diseño (Ver Apéndice 28 y 29), estos resultados se entregaron al ingeniero a cargo para verificación y se espera retroalimentación.

**Figura 13.**

*Modelo bidimensional de escaleras en ETABS®*



*Nota.* Modelo de escalera con asignaciones de carga y diagramas de momentos en ETABS®

Adaptada de Alexis Vega Ingenieros S.A.S.

#### ***4.4.3 Control de calidad de vigas***

El proceso de control de calidad de vigas es un proceso exhaustivo que requiere una gran cantidad de tiempo y trabajo, en este se requiere hacer una comparación entre el momento nominal proporcionado por el despiece y el refuerzo requerido en los diagramas de momento y cortante.

Para ello se utilizan los diagramas del modelo estructural; en este chequeo se busca que la resistencia a cortante proporcionada por el concreto y los estribos estén por encima de las solicitaciones del modelo; otro aspecto a revisar es verificar que la distribución de acero garantice el cumplimiento de longitudes de desarrollo y anclajes en los despieces, para evitar extender refuerzo más allá de lo requerido por norma.

Al revisar el acero a flexión propuesto en cada viga, se debe hacer el chequeo de deflexiones admisibles para verificar que la sección y el refuerzo también cumpla la deflexión máxima, de otra forma, el acero de refuerzo se debe aumentar o en su defecto, la sección transversal de la viga. Los resultados de chequeo se plasman en las memorias de cálculo y se entregan al ingeniero encargado para su verificación. (Ver Apéndice 30)

#### ***4.4.4 Control de calidad de columnas***

En la revisión del diseño y disposición de acero en columnas se asigna por parte del ingeniero encargado, el chequeo de longitudes de barra para cumplir las longitudes de desarrollo y anclajes según la tabla C.12.2.2 Título C NSR-10 (Decreto 945, 2017); también se revisa que el área de refuerzo transversal  $A_{sh}$ , cumpla con las ecuaciones 7 y 15. con el fin de encontrar y corregir errores en los despieces. A su vez, se debe hacer una revisión de cuantía volumétrica

contra el diseño propuesto; una vez se terminen estos chequeos se procede a registrar en memorias de cálculo y en planos estructurales para presentar al ingeniero encargado y esperar retroalimentación. Para los chequeos  $a$  y  $b$  se crea una hoja de cálculo y se presenta al tutor. (Ver Apéndice 31)

a) Chequeo de separación del refuerzo a cortante y ganchos suplementarios

$$A_{sh} = 0.3 \frac{S b_c f'_c}{f_{yt}} \left[ \left\langle \frac{A_g}{A_{ch}} \right\rangle - 1 \right] \quad (15)$$

**Ecuación 15.** Área mínima del refuerzo transversal C.21.6.4.4 Título C NSR-10.

Donde  $A_{sh}$  es el área total del refuerzo transversal incluyendo ganchos suplementarios,  $S$  es la separación entre estribos,  $b_c$  es la dimensión transversal del núcleo del elemento medida entre los bordes externos del refuerzo transversal,  $A_g$  es el área bruta de la sección de concreto,  $A_{ch}$  es el área de la sección transversal de un elemento estructural medido entre los bordes exteriores del refuerzo transversal,  $f'_c$  es la resistencia a la compresión del concreto y  $f_{yt}$  es la resistencia a la fluencia del refuerzo transversal.

b) Revisión de cuantía volumétrica

$$0.01A_g \leq A_{st} \leq 0.04A_g \quad (16)$$

**Ecuación 16.** Área mínima del refuerzo transversal C.21.6.3.1 Título C NSR-10.

Donde  $A_{st}$  es el área de refuerzo longitudinal y  $A_g$  es el área bruta de la sección de concreto.

**Figura 14**

Hoja de cálculo para cuantía volumétrica

Cuantía Volumétrica									
NOMBRE	f'c [MPa]	b [mm]	h [mm]	Barra N.º	# Barras	Ast[mm <sup>2</sup> ]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	%	
E4, D2, E3, E'-1, B2	21	450	450	5	12	2375.191308	202500	1.17%	CUMPLE
A1, B1	21	450	450	5	12	2375.191308	202500	1.17%	CUMPLE
A2	21	450	450	5	12	2375.191308	202500	1.17%	CUMPLE
D1	21	1000	350	6	16	4560.367312	350000	1.30%	CUMPLE
B4	21	1050	350	6	16	4560.367312	367500	1.24%	CUMPLE
C4	21	1050	350	6	16	4560.367312	367500	1.24%	CUMPLE
F4-F'-1	21	450	850	5	20	3958.65218	382500	1.03%	CUMPLE

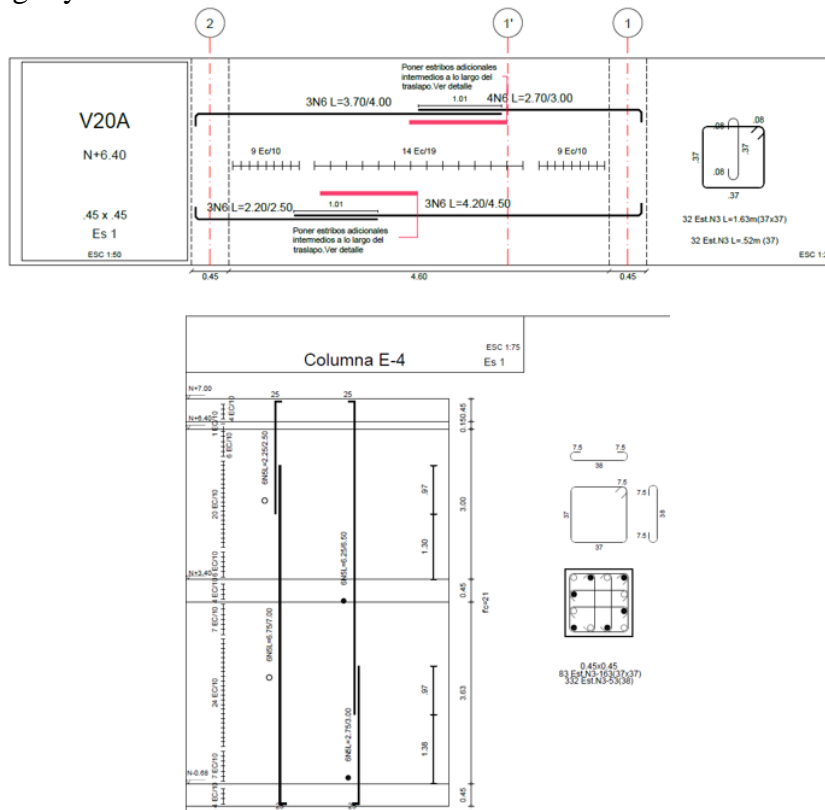
  

Cuantía Volumétrica							
NOMBRE	f'c [MPa]	Ø [mm]	Barra N.º	# Barras	Ast[mm <sup>2</sup> ]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	%
F3	21	450	7	10	3879.48	159043.13	2.44%

Nota. Hoja de cálculo de cuantía volumétrica en columnas. (Ver Apéndice 31)

**Figura 15.**

Despices de Vigas y columnas



Nota. Despices de vigas y columnas resultantes de los controles de calidad. Adaptada de Alexis

Vega Ingenieros S.A.S.

## 5. Análisis de resultados

- Dirección al cumplimiento de objetivos

Las actividades realizadas durante la práctica como apoyo al equipo de diseño estructural se hicieron con la intención de que, en todos los pasos, se estuviera cumpliendo con los objetivos específicos; el uso de software para análisis y diseño permitió que las tareas se desarrollaran secuencialmente y el tiempo invertido en el uso de estos softwares se vio recuperado en la reutilización y entendimiento para repetir tareas.

- Reporte de actividades y recopilación de datos

La organización en el reporte de datos es la base de una retroalimentación efectiva y una comunicación eficiente; no solo entre integrantes del mismo equipo, sino entre las partes que tienen interés en el proyecto como arquitectos, geotecnista, interventores y cliente (Cai. 2006).

Al reportar los diseños preliminares con una hoja de cálculo que los justificara y un detalle estructural que lo sintetice, el proceso de chequeo, verificación y ajuste resultó armónico y permitió la reducción de mano de obra, tiempo invertido y costos de trabajo.

- Aprendizaje y retroalimentación

En la teoría la taxonomía del aprendizaje se plantean 6 niveles de dominio cognitivo, que se deben superar para demostrar el aprendizaje, dichos niveles son: *Conocimiento* (recordar información, identificar conceptos, definir), *Comprensión* (describir, explicar, resumir, entender la relevancia de los principios), *Aplicación* (aplicar conocimiento y soluciones al dirigirse a un problema), *Análisis* (desglosar ideas y relacionar conceptos relevantes), *Síntesis* (ordenar ideas e

integrar conceptos en procesos ordenados) y *Evaluación* (hacer juicios y tomar decisiones basadas en evidencia) (Bloom et al., 1956).

Según esta teoría el enfoque utilizado DRIDS-V (Jackson & Tarhini, 2015), que se basa en *definir, investigar, identificar, decidir, resolver y verificar* en las actividades, está poniendo en práctica los pasos del aprendizaje, desde la asignación de una tarea hasta la presentación de su resultado final en los planos y memorias de cálculo. La retroalimentación del tutor de la práctica es la culminación del proceso de aprendizaje dado que con sus observaciones, comentarios y correcciones se adquiere experiencia en pensamiento crítico y criterio en la toma de decisiones en el diseño ingenieril.

## 6. Conclusiones

Durante el desarrollo de actividades de esta práctica empresarial de acuerdo a la metodología de trabajo impartida por la empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S. se lograron cumplir con los objetivos propuestos inicialmente, brindando apoyo efectivo en el desarrollo de los proyectos asignados.

La utilización de software como SAP2000® (Habibullah, 1996) y ETABS® (Habibullah, 1984) para análisis preliminar de elementos estructurales permitió incrementar la eficiencia de los procesos de diseño, ya que, al automatizar fórmulas e ingresar los resultados extraídos de diseño como variables interactivas en las hojas de cálculo, se permitió reducir tiempos de trabajo alcanzando a completar los entregables en los plazos requeridos.

El entendimiento de los requisitos de la norma NSR-10 fueron una parte fundamental en el diseño preliminar, gracias a que, cumpliendo con los apartados específicos, se facilitó la revisión del tutor del proyecto, lo cual permitió afianzar procesos y simplificó el proceso de control de calidad.

Finalmente, se aprendieron algunos criterios de diseño estructural que se usan comúnmente para garantizar la viabilidad de los proyectos, estos se fundamentan en la experiencia e intuición de los ingenieros a cargo; la mayoría de estos criterios parten de la interpretación a las restricciones, por ejemplo, la disposición de acero de refuerzo según disponibilidad, la variación de secciones transversales y la separación acero; con el fin de encontrar alternativas que cumplan la teoría de diseño y no representen incrementos excesivos en costos de construcción

## **7. Recomendaciones**

Como sugerencia enfocada en promover la colaboración entre integrantes del equipo de diseño y mejorar la productividad en la empresa, se podría considerar la creación de un banco virtual de detalles estructurales en AutoCAD® (Walker et al., 1982) que reduzcan los procesos de búsqueda y dibujo.

También se podría contemplar la idea de crear una plantilla general de requisitos para mejorar la calidad de organización y presentación de memorias estructurales con el fin de evitar re-procesos en las revisiones de las curadurías urbanas.

### Referencias Bibliográficas

- ACI (American Concrete Institute) Committee 318. (2014). *Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*. Farmington Hills, MI.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Handbook I: Cognitive domain*. Longmans, GREEN AND CO LTD.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5a ed.). McGraw-Hill.
- Bricklin, D. (1985). *Microsoft Excel* (Nº de versión 2016). Windows, MacOS, Android E IOS. Boston, Massachusetts: Microsoft Office.
- Cai, Y. X. (2006). *Quality Assurance of Structural Engineering Design*. Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety (pp. 1–10). American Society of Civil Engineers.
- Choi, Y.-K. (2017). *Principles of Applied Civil Engineering Design: producing drawings, specifications and cost estimations for heavy civil projects* (2a ed.). American Society of Civil Engineers.
- Daheshpour, K., & Herbert, S. (2018). *Infrastructure project failures in Colombia* (K4D helpdesk report). UK Government's Department for International Development (DFID).
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (7a ed.). Cengage Learning.
- Documento básico SE-C. (2006), *Seguridad estructural de cimientos*. Real Decreto 314/2006 (España).
- González Cuevas, Ó. M., & Fernández Villegas, F. R. (2055). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (4a ed.). Limusa, S.A.

- Güiza B, L. D., Ramírez D, C. A., & Echeverría G, J. D. (2018). *Civil engineering works, a fundamental basis for social change*. Tekhnê journal, 15, 27–38.
- Habibullah, A. (1984). *ETABS®* (N° de versión 16). Windows. Berkeley, California: Computers and Structures, Inc.
- Habibullah, A. (1996). *SAP2000®* (N° de versión 16). Windows. Berkeley, California: Computers and Structures, Inc.
- Herrera, J. I. (2021). *Diseño de Cimentaciones*. Diseño de Elementos Estructurales con la actualización al ACI 318S-19. Bogotá, Colombia.
- ICONTEC. (2014). *Alambre de acero liso y grafilado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto* (NTC 5806). Instituto colombiano de normas técnicas y certificación.
- Jackson, H. V., & Tarhini, K. M. (2015). *Progressive Integration of Design Process into Civil Engineering Curriculum*. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 142(3), Artículo 1943-5541. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000269](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000269)
- Khillar, S. (2018). *Difference Between Joist and Beam*. Difference Between Similar Terms and Objects. <http://www.differencebetween.net/object/difference-between-joist-and-beam%3E>
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto reforzado*. (8a ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Ministerio del transporte e instituto nacional de Vías-INVIAS. (2013). *Norma Colombiana de Diseño de Puentes, Muros, Estribos y pilas. Sección 11 (LRFD-CCP14.)*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 945 de 2017, *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. Titulo A* (NSR-10). Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 945 de 2017, *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. Titulo B* (NSR-10). Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 945 de 2017, *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. Titulo C* (NSR-10). Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS.

Monroy, J. D. (2021, 2 de abril). *Structural calculation report: Contents and structure*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/structural-calculation-report-contents-structure-monroy-cfm/>

Muñoz. (2022). *Diseño de Escaleras en Concreto Armado*. InfoBasicIngCivil. <https://infobasicingcivil.blogspot.com/2020/01/disen-de-escaleras-en-concreto-armado.html>

Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto* (12a ed.). McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Rochel Awad, R. (2007). *Hormigón Reforzado*. Fondo Editorial Universidad EAFIT.

Sarria Molina, A. (2008). *Aprendizaje, práctica inicial y consultoría en la ingeniería civil colombiana*. Revista de ingeniería Universidad de los andes, (27), 86–92.

Shanmuganathan, S. (2000). *Design Automation in Civil Engineering*. Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE-VIII) August 14-16, 2 (pp. 1387–1394). American Society of Civil Engineers.

Shen, J., Akbas, B., Seker, O., & Faytarouni, M. (2021). *Design of Steel Structures*. McGraw-Hill Education.

Walker, J. et al. (1982). *AutoCAD®* (Nº de versión 2022). Windows, MacOS, IOS, Android. Las Vegas, Nevada: Autodesk, Inc.

Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. (6a ed.). Pearson.