

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

Miguel Eduardo Salazar Motta

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Alexis Vega Arguello

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Dedicada a la memoria de mi abuela Amilde Amaya.

Agradecimientos

Gracias a mi familia, pareja y amigos por su ayuda, por todo su apoyo durante esta etapa de desarrollo profesional y humano.

Gracias a la Universidad Industrial de Santander y maestros por todas las enseñanzas y oportunidades brindadas.

Tabla de Contenido

		Pág.
	Introducción.....	12
1.	Objetivos.....	13
1.1	Objetivo General.....	13
1.2	Objetivos Específicos.....	13
2.	Metodología.....	14
2.1.	Predimensionamiento de elementos estructurales.....	14
2.1.1.	Losa Maciza.....	14
2.1.2.	Columnas.....	15
2.1.3.	Vigas.....	16
2.2.	Verificación y cumplimiento de derivas.....	17
2.3.	Método de análisis – Fuerza Horizontal Equivalente.....	19
2.4.	Diseño de elementos a cortante.....	23
2.5.	Diseño de elementos a flexión.....	24
2.5.1.	Diseño de vigas.....	24
2.5.2.	Diseño de viguetas de una losa nervada.....	26
2.5.3.	Diseño de losa maciza en una dirección.....	28
2.5.4.	Muros de contención.....	29
2.5.5.	Diseño de escaleras.....	31
2.5.6.	Diseño de pilotes.....	33
2.5.7.	Diseño de zapatas.....	34
2.5.8.	Diseño de elementos no estructurales.....	37

2.6.	Diseño de elementos de flexo-comprensión.	37
2.7.	Diseño de columnas.	39
2.8.	Diseño de muros estructurales.	42
2.8.1.	Refuerzo por cortante:.....	43
2.8.2.	Refuerzo longitudinal.....	45
2.8.3.	Elementos de borde.....	45
3.	Resultados	46
3.1.	Casa Gold22.....	46
3.2.	Mensuli 14	48
3.3.	Rincón del Lago	50
3.4.	La Miel.....	51
3.5.	Clínica Girón.....	52
3.6.	Casa Sánchez	53
3.7.	Casa Zapatoca	53
4.	Conclusiones	56
5.	Recomendaciones	57
	Referencias bibliográficas.....	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Requerimientos de columnas.</i>	15
Tabla 2 <i>Requerimientos de vigas.</i>	17
Tabla 3 <i>Coefficiente de importancia</i>	19
Tabla 4 <i>Valores para el exponente k.</i>	21
Tabla 5 <i>Deriva máxima.</i>	22
Tabla 6 <i>Área mínima.</i>	25
Tabla 7 <i>Requerimientos a cortante en vigas.</i>	26
Tabla 8 <i>Requerimiento losas nervadas.</i>	27
Tabla 9 <i>Refuerzo de retracción</i>	28
Tabla 10 <i>Requerimientos muros de contención.</i>	31
Tabla 11 <i>Requisitos para pilotes.</i>	34
Tabla 12 <i>Condiciones de recubrimiento NSR-10.</i>	36
Tabla 13 <i>Criterios de separación de estribos</i>	41
Tabla 14 <i>Área mínima de estribos según norma.</i>	42
Tabla 15 <i>Cuantías muros estructurales.</i>	44
Tabla 16 <i>Proyectos a cargo.</i>	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Losa Maciza representación gráfica</i>	14
Figura 2 <i>Columna</i>	15
Figura 3 <i>Viga</i>	16
Figura 4 <i>Espectro elástico de respuesta</i>	18
Figura 5 <i>Cortante basal</i>	20
Figura 6 <i>Cálculo de derivas</i>	21
Figura 7 <i>Distribución de cargas de muro de contención</i>	30
Figura 8. <i>Condiciones de análisis e idealización escalera tipo</i>	32
Figura 9 <i>Modelamiento zapata</i>	35
Figura 10 <i>Fuerzas internas en un elemento armado a flexo-compresión</i>	38
Figura 11 <i>Distribución de estribos en columnas</i>	40
Figura 12 <i>Planta estructural cubierta Casa Gold22</i>	47
Figura 13 <i>Diagrama de interacción</i>	48
Figura 14 <i>Hoja de cálculo muros de contención</i>	49
Figura 15. <i>Chequeo de columnas</i>	50
Figura 16. <i>Despiece de columnas</i>	51
Figura 17. <i>Cantidades La Miel</i>	52
Figura 18. <i>Detalles muros de mampostería reforzada</i>	53

Glosario

Aceleración espectral: corresponde al mayor valor de la aceleración que se obtiene a través de un espectro elástico de aceleraciones.

Barra corrugada: barra con núcleo de sección circular en cuya superficie existen resalten que aumentan la adherencia entre el concreto y el acero.

Coefficiente de capacidad de disipación de energía: representa la cantidad de energía que puede disipar una estructura mediante sus deformaciones inelásticas, reduciendo las fuerzas sísmicas para el diseño de la estructura.

Columna: elemento estructural cuya sollicitación principal es la carga axial acompañada o no de momentos flectores, torsión o esfuerzos cortantes.

Cortante basal: acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso en la base.

Cuantía: porcentaje de acero utilizado en una sección de hormigón comparado con el concreto.

Deriva: diferencia entre desplazamientos o deflexiones horizontales de dos pisos consecutivos.

Despiece: representación y definición de los diámetros y longitudes de las barras corrugadas a utilizar en un elemento de hormigón armado.

Elemento de borde: parte del borde de la sección de los muros estructurales y diafragmas que se refuerza con armadura longitudinal y transversal.

Espectro elástico: curvas obtenidas a partir de registros sísmicos, representa la respuesta de las edificaciones ante un sismo, dependen del tipo de suelo, tipo de estructura y nivel de importancia.

Estribo: Elementos que corresponden a una forma de refuerzo transversal, utilizados para resistir esfuerzos cortantes, de torsión y para proveer confinamiento al elemento.

Flexión: deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

Losa: elemento rígido construido monolíticamente que separa un piso de otro construido monolíticamente.

Muro: elemento cuyo espesor es mucho menor en relación con sus otras dos dimensiones, usualmente vertical.

Parrilla: consiste en dos capas de barras ensambladas con ángulos rectos.

Periodo fundamental: se refiere al tiempo que tarda en dar una vibración una estructura en la forma que moviliza la mayor parte de su masa.

Pilote: pieza larga a modo de estaca, que se hinca en el terreno para consolidar los cimientos de una construcción.

Pórtico: conjunto estructural constituido por vigas y columnas unidas rígidamente.

Resistencia a la fluencia (f_y): valor de resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo.

Resistencia nominal: resistencia de un elemento o sección calculada analíticamente de acuerdo con los requisitos y disposiciones del método de resistencia sin incluir ningún coeficiente de reducción.

Resistencia nominal del concreto a compresión f'_c : resistencia nominal especificada del concreto a la compresión.

Viga: elemento estructural horizontal cuya dimensión longitudinal es mayor a las otras dos y su sollicitación principalmente es el momento flector.

Vigueta: elemento estructural que forma parte de la losa nervada, el cual trabaja principalmente a flexión

Zapata: tipo de cimentación resistente a compresiones medias o altas con forma de prisma.

Resumen

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

Autor: Miguel Eduardo Salazar Motta **

Palabras Clave: análisis, diseño, memorias de cantidades, memorias estructurales, práctica empresarial, predimensionamiento, propuestas estructurales, proyectos, rama estructural, situación laboral.

Descripción: Mediante la práctica empresarial se generaron actitudes productivas, relaciones laborales y adaptación a la situación laboral en la empresa Alexis Vega Ingenieros S.A.S. la cual trabaja con varios equipos de diseño arquitectónico externos en cada proyecto, los cuales realizaron propuestas arquitectónicas que a través de las condiciones de equilibrio y predimensionamiento fueron convertidas en propuestas estructurales para su posterior análisis y diseño, tanto de elementos estructurales como de no estructurales siguiendo los criterios de la norma sismo resistente NSR-10 y la utilización de criterios teóricos adquiridos durante la etapa educativa sobre la rama estructural, además de generar las memorias estructurales y memorias de cantidades, a excepción de algunos aún en estudio. Todos los proyectos en los que se participó fueron aprobados por curaduría urbana quienes son los encargados de verificar el diseño realizado, cumpliendo con los tiempos pactados de entrega definidos a los clientes y la realización con éxito del dibujo asistido por computador.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Alexis Vega Arguello Ingeniero Civil.

Abstract

Title: Internship as Civil Engineering assistant in support of the structural design in the company Alexis Vega Ingenieros S.A.S. *

Author(s): Miguel Eduardo Salazar Motta**

Key Words: analysis, design, drawing, employment situation, internship, pre-dimensioning, projects, quantity memories, structural memories, structural proposals.

Description: Through internship, productive attitudes, labor relations and adaptation to the employment situation were generated in the company Alexis Vega Ingenieros S.A.S. which works with several external architectural design teams in each project who made architectural proposals that, through equilibrium and pre-dimensioning conditions, were converted into structural proposals for subsequent analysis and design, both of structural and non-structural elements, following the criteria of the NSR-10 earthquake resistant standard and the use of theoretical criteria acquired during the educational stage on the structural branch, in addition to generating structural memories and quantity memories. Except for some still under study, all the projects in which they participated were approved by the urban curator who oversees verifying the design made, complying with the agreed delivery times defined to the clients and the successful completion of the assisted computer drawing.

* Degree Work

** Physical-Mechanical Faculty. Civil Engineering School. Civil Engineering. Director: Alexis Vega Argullo Civil Engineer.

Introducción.

Entre la vida estudiantil y la vida laboral existe una gran brecha, en principio, el estudiante se prepara para servir en una sociedad, adquiriendo conocimientos teóricos los cuales ayudan a consolidar sus competencias, no se trata de una acumulación de títulos, es un proceso de desarrollo humano e intelectual, aumentando la capacidad de análisis y resolución de problemas; sin embargo, cuando se sumerge en la vida laboral entran factores muy importantes a tener en cuenta, la adaptación al trabajo en equipo, la productividad, la obligación de acatar órdenes de un superior, entre otras.

Para cerrar la brecha el tiempo es fundamental pues este se encarga de aportarle experiencia mientras va participando en proyectos, entendiendo que su participación es de gran ayuda, lo que le enseña a valorar su trabajo y enorgullecerse de sus competencias. Con el fin de validar, mejorar competencias y cerrar la brecha entre la vida estudiantil y laboral, en esta práctica empresarial se realizó diseño y dibujo de elementos estructurales y no estructurales apoyado en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes (NSR-10) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), el cual tiene como objetivo brindar calidad al diseño realizado. A continuación, en el capítulo 2 se describe la metodología llevada a cabo en los proyectos basada en el predimensionamiento de elementos estructurales, análisis y diseño para elementos sometidos a fuerzas cortantes, flexión y flexocompresión. En el capítulo 3 se muestran los resultados resaltando los proyectos llevados a cabo de manera personal por el practicante que fueron aprobados por curaduría urbana. Finalmente, en los capítulos 4 y 5 se presentan las conclusiones y la referencia bibliográfica utilizada durante el diseño.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

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

1.2 Objetivos Específicos

Realizar dibujo asistido por computadores de planos estructurales y detalles varios del diseño estructural.

Desarrollar análisis a nivel preliminar de elementos estructurales en dos dimensiones como, escaleras, viguetas, losas y muros de contención, aplicando los criterios de diseño de la norma NSR-10.

Mejorar en la redacción de informes de carácter ofimático como hojas de cálculo, que permitan justificar el diseño estructural.

2. Metodología.

El practicante de Alexis Vega Ingenieros S.A.S. en el periodo junio-septiembre de 2022 se encargó de la presentación y diseño de planos estructurales para los proyectos de: Casa Gold22, Casa Mensuli114, Casa Zapatoca, Casa Sánchez; generar informes y planos de respuesta requeridos para los proyectos de: San Francisco Tower y Casa Rincón del Lago; presentar memorias de cantidades para el proyecto de La Miel, además de apoyar el diseño de elementos auxiliares en el proyecto de: AvatarSM. Contó con la supervisión del departamento y dirección de diseño quienes realizaron el modelado estructural mediante los parámetros brindados por el practicante, el practicante realizó los modelos de menor complejidad; cubiertas, losas, viguetas, muros de contención y modificaciones. La metodología se basó en:

2.1.Predimensionamiento de elementos estructurales.

El predimensionamiento es el conjunto de técnicas que permiten calcular las dimensiones en los elementos estructurales antes de calcular con precisión los esfuerzos sobre los mismos. Con ayuda del profesional de arquitectura, se establecieron dimensiones orientativas y posteriormente se chequeó el cumplimiento de los requerimientos, en caso de no cumplir, se ajustaron las dimensiones.

2.1.1. Losa Maciza.

Figura 1

Losa Maciza representación gráfica.



Nota: El gráfico representa la losa maciza. Elaboración propia.

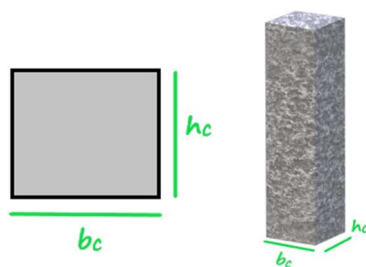
Fue necesario determinar si el espesor planteado por arquitectura cumple con las recomendaciones de la norma NSR-10 en las tablas CR.9.5 o C.9.5(a) en caso de losas reforzadas en una dirección.

2.1.2. Columnas.

Para el predimensionamiento de columnas, fue importante determinar la base y la altura de la sección transversal.

Figura 2

Columna



Nota: La figura representa las columnas y su determinación de altura y base. Elaboración propia

Para determinar la base y la altura de la sección transversal, es necesario revisar los capítulos C.21 NSR-10. Por ejemplo, para pórtico DES:

Tabla 1

Requerimientos de columnas.

Requerimiento	Norma
$bc \geq 300 \text{ mm}$	C.21.6.1
$bc \geq 0.4hc$	C.21.5.1.2
$\text{Área} \geq 900 \text{ cm}^2$	C.21.5.1.3

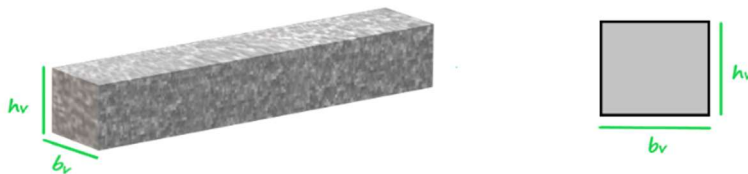
Nota: La tabla muestra los requerimientos de columnas según las normas de NSR-10. Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.1.3. Vigas.

Al igual que las columnas, en las vigas las dimensiones de predimensionamiento importantes son la altura y la base transversal, que dependen de la longitud de la luz.

Figura 3

Viga



Nota: La figura muestra las dimensiones de altura y base transversal. Elaboración propia.

La altura mínima debe cumplir con los requisitos mencionados en las tablas CR.9.5 o C.9.5(a) de la NSR-10.

También es necesario verificar si cumple con los demás requerimientos de la norma en el capítulo C.10 y C.21. Por ejemplo, para pórtico DES:

Tabla 2*Requerimientos de vigas.*

Requerimiento	Norma
$L \leq 50bw$	C.10.4.1
$L \geq 4h$	C.21.5.1.2
$bw \geq 0.3h$	C.21.5.1.3
$bw \geq 250 \text{ mm}$	C.21.5.1.3
$bw \leq c2+1.5c1$	C.21.5.1.4

Nota: La tabla muestra los requerimientos de columnas según las normas de NSR-10. Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

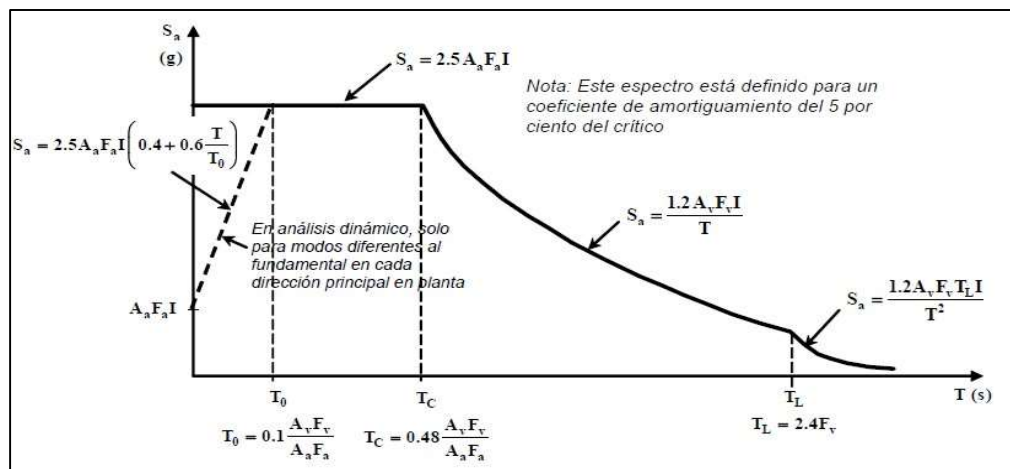
Se realizó el predimensionamiento de elementos mediante las recomendaciones de la norma NSR-10 y posteriormente se procedió a verificar derivas.

2.2.Verificación y cumplimiento de derivas.

Inicialmente, fue necesario establecer el espectro elástico de aceleraciones de la estructura, este depende de la zona de amenaza sísmica, tipo de edificación y tipo de suelo del proyecto. Luego de obtener el cortante en la base, mediante el método de la fuerza horizontal equivalente se asignaron las fuerzas de piso en cada centro de masa para verificar su desplazamiento.

Figura 4

Espectro elástico de respuesta



Nota: Para encontrar el gráfico del espectro elástico de respuesta, la norma determinó la curva para un coeficiente de 5% del amortiguamiento crítico, tomado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

A_a y A_v son los coeficientes de aceleración; Colombia maneja la alerta en tres zonas que se clasifican en: Alta; A_v o A_a o ambos, son mayores que 0.20, Intermedia; A_a o A_v o ambos, son mayores de 0.10 y ninguno de los excede 0.20, Baja; A_a y A_v son menores o iguales a 0.10. Para obtener estos valores la norma NSR-10 dispone de la tabla A.2.3-2, la cual relaciona los valores de A_a y A_v con la ciudad y zona de amenaza sísmica.

F_a y F_v son coeficientes de velocidad pico efectivas; dependen del tipo de suelo bajo la edificación ya que éste puede amplificar el sismo. Los valores de F_a y F_v dependen de A_a y A_v . La norma dispone de las tablas A.2.3-4 y A.2.4-4 para su cálculo.

El coeficiente de importancia depende del tipo de estructura a construir

Tabla 3*Coficiente de importancia*

GRUPO	EDIFICACIÓN	I
IV	Indispensable	1.50
III	De Atención a la comunidad	1.25
II	Ocupación especial	1.10
I	Ocupación normal	1.00

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

Por último, el periodo aproximado de la estructura se pudo calcular como:

$$T_a = C_t \cdot h^\alpha \quad (1)$$

Donde los valores de C_t y α están dados en la tabla A.4.2-1 de la NSR-10. Fue necesario la revisión y verificación de este valor de periodo aproximado mediante la realización del modelo matemático linealmente elástico de la estructura, el valor del periodo no excedió $C_u T_a$, donde C_u se calculó por medio de la ecuación A.4.2-2 y T_a se calculó de acuerdo con A.4.2-3

2.3.Método de análisis – Fuerza Horizontal Equivalente

La norma en A.3.4.1 reconoce cuatro métodos de análisis sistema de resistencia sísmica para efectos de diseño, sin embargo, durante la práctica solo se realizó el análisis por medio del método fuerza horizontal equivalente, cumpliendo los criterios de A.3.4.2.1. En casos donde la estructura requirió otro tipo de análisis, este fue llevado a cabo por el departamento de diseño.

Con el anterior proceso, se obtuvo la aceleración espectral debida al periodo fundamental de la estructura, lo cual es fundamental para obtener el cortante basal.

$$V_a = S_a \cdot g \cdot M \quad (2)$$

Donde S_a es el valor de la aceleración espectral debida al periodo fundamental verificado en el modelo matemático, M es la masa total de la estructura incluyendo la masa de elementos tales como muros divisorios y particiones, equipo permanente, tanques y sus contenidos, g la gravedad. Con este cortante basal calculado, se procedió a distribuir la fuerza en altura aplicándola en su centro de masa.

Figura 5

Cortante basal.



Nota: Tomado de "Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia".

$$f_i = C_{vi} \cdot V_s \quad (3)$$

$$C_{vi} = \frac{m_i \cdot h^k}{\sum m_i \cdot h^k} \quad (4)$$

En donde m es la masa de cada piso, h_i la altura de la base para cada piso y k es el exponente relacionado con el periodo fundamental, T , de la edificación de la siguiente manera, estos valores se encuentran en la NSR-10:

Tabla 4

Valores para el exponente k .

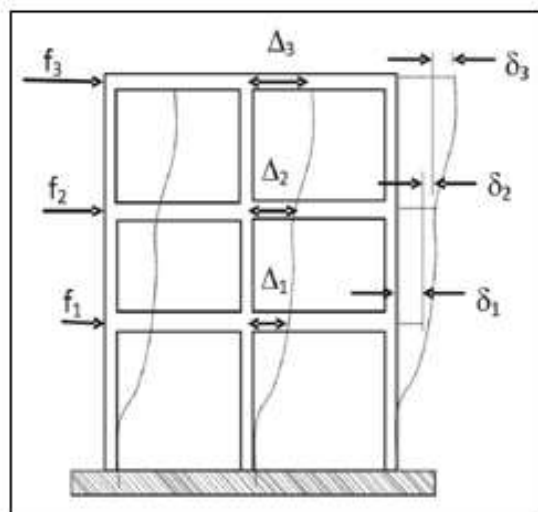
- | |
|---|
| <p>(a) Para T menor o igual a 0.5 segundos, $k = 1.0$,
 (b) Para T entre 0.5 y 2.5 segundos, $k = 0.75 + 0.5T$, y
 (c) Para T mayor que 2.5 segundos, $k = 2.0$.</p> |
|---|

Nota: Tomado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

Por último, las derivas es la diferencia de desplazamientos entre dos pisos consecutivos de una estructura en su centro de masa.

Figura 6

Cálculo de derivas.



$$\text{Piso 1: } \delta_1 = \Delta_1$$

$$\text{Piso } i: \delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$$

$$\delta_{i \text{ máx}} = \sqrt{\delta_{xi}^2 + \delta_{yi}^2}$$

Nota: Los límites de las derivas no pueden exceder la deriva máxima que se especifica en la siguiente tabla, esto con el fin de evitar daños en elementos no estructurales muy costosos de reparar y acabados. Adaptado de: Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10" "[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia".

Tabla 5

Deriva máxima.

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% $\left(\Delta_{\max}^i \leq 0.010 h_{pi} \right)$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% $\left(\Delta_{\max}^i \leq 0.005 h_{pi} \right)$

Nota: Tomado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

De exceder los límites de las derivas fue necesario rigidizar la estructura, para ello existieron varias opciones: agregar más elementos verticales, aumentar secciones de elementos y/o aumentar la resistencia del concreto.

Con las derivas verificadas, se procedió a iniciar diseño, calculando el coeficiente de disipación de la energía R, siendo la multiplicación del coeficiente de energía básico R_0 y coeficientes de reducción de capacidad por irregularidades en altura, en planta y por ausencia de redundancia.

2.4. Diseño de elementos a cortante.

Para determinar la resistencia y atender las consideraciones estipuladas en la NSR-10, el diseño a cortante está basado en que la resistencia del elemento debe ser mayor o igual que la fuerza cortante a soportar

$$\phi V_n \geq V_u \quad (5)$$

Para cortante, la norma NSR-10 estipula ϕ igual a 0.75 en C.9.3.2.3. Definimos “ V_n ” la resistencia nominal del elemento igual a la resistencia del concreto “ V_c ” más la resistencia del acero “ V_s ”.

$$V_n = V_c + V_s \quad (6)$$

En donde:

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (7)$$

En donde $f'c$ es la resistencia del concreto, b la base de la sección transversal y d la altura libre de la sección transversal de concreto (altura total menos recubrimiento).

Con los valores de V_n y V_c se despeja V_s y se iguala a

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} \quad (8)$$

Donde A_v representa el área del estribo, f_y la resistencia del acero, d la altura libre de la sección transversal de concreto y S la separación a la cual se colocan los estribos.

En la ecuación 8 existen dos incógnitas, A_v y S . Fue necesario suponer un calibre de barra a usar con un valor determinado de área A_v dada por la tabla C.3.5.3-2 de la norma.

Finalmente, sólo la separación es incógnita y se despejó para verificar el diseño.

El espaciamiento del refuerzo cortante colocado no debió exceder $d/2$, además, el área mínima por refuerzo a cortante se define de la siguiente manera:

$$A_{v-min} = 0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b_w \cdot S}{f_{yt}} \quad (9)$$

2.5. Diseño de elementos a flexión.

Al igual que en diseño a cortante, la resistencia de diseño M_n es equivalente a la resistencia nominal del elemento multiplicada por un factor de reducción ϕ que depende de la sección controlada a tracción o controlada a compresión. Este diseño se basó en el equilibrio y la contabilidad de deformaciones, la máxima deformación unitaria por compresión en el concreto es 0.003.

Para el cálculo del acero longitudinal fue necesario conocer el momento M_u , el factor de reducción ϕ igual a 0.9, la altura libre de la sección d , la base de la sección b , la resistencia del acero f_y , la resistencia del concreto f'_c .

$$M_u = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.59 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{f'_c \cdot b} \right) \quad (10)$$

De la ecuación anterior solo A_s es incógnita, fue necesario despejar y proponer un acero que sea igual o mayor al requerido. Esto asumiendo condiciones de equilibrio de compatibilidad de deformaciones, sin considerar la resistencia a tensión del concreto.

2.5.1. Diseño de vigas.

Una viga es un elemento sometido a cargas cortantes y momentos flectores, se consideran despreciables las fuerzas axiales y momentos torsionales.

Para el diseño de vigas, fue necesario tener de base un modelo analítico similar al de derivas realizado por el equipo de diseño, pero reduciendo la carga sísmica por el coeficiente de reducción R , y realizando las combinaciones de diseño otorgados por la norma en el título B. Cada viga contó con diferente configuración, valores de momento flector y fuerza cortante. Para su despiece se analizó por partes, apoyo y mitad de luz. En los apoyos el momento flector es

negativo, por ende, requirió acero a flexión en la parte superior de la viga, a mitad de luz su momento flector es positivo ocasionando la tensión en la parte inferior de la viga, donde fue necesario reforzar.

Para calcular del acero necesario en cada tramo, primero se evaluó el combo más desfavorable y posteriormente se propone el acero que satisfaga el área de acero requerida cumpliendo además con los requerimientos de la norma

Tabla 6

Área mínima.

Requerimiento	Norma
$A_{Smin} = \frac{0.25 \cdot \sqrt{f'c}}{fy}$	C.10-3
$A_{Smin} > 1.4 \cdot b \cdot d$	C.10-3

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

Una vez despiezado el acero longitudinal continuo, se debe suministrar el acero a cortante, cumpliendo los requerimientos de la norma.

Tabla 7

Requerimientos a cortante en vigas.

Requerimiento	Norma
$Av_{min} = 0.062 \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{b \cdot S}{fy}$	C.11-13
$Av_{min} > \frac{(0.35 \cdot b \cdot S)}{fy}$	C.11-13
$S < d/2$	C.11.4.5
$S < 600 \text{ mm}$	C.11.4.5

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.5.2. Diseño de viguetas de una losa nervada.

Para realizar el diseño de viguetas se tuvo en cuenta la evaluación de cargas del proyecto realizada por el equipo de diseño. Con las cargas definidas se verificaron las condiciones de dimensiones y espaciamiento entre viguetas, cumpliendo los requerimientos de la norma además de los requerimientos de predimensionamiento

Tabla 8

Requerimiento losas nervadas.

Requerimiento	Norma
Ancho > 100 mm	C.8.13.2
Altura ≤ 5 Ancho promedio	C.8.13.2
Separación ≤ 2.5 Espesor	C.8.13.3
Separación ≤ 1.20 m	C.8.13.3
S Vigueta transversal < 10 Espesor	C.8.13.3.1
S Vigueta transversal < 4.0 m	C.8.13.3.2

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

Con la separación definida, se identificó la profundidad aferente de cada vigueta para linealizar la carga, posteriormente se realizó el modelamiento de manera individual con elementos finitos tipo barra, con la configuración de apoyos, se cargó y realizaron las combinaciones básicas dadas por la norma en B.2.4.2.

Finalmente se obtuvieron los valores de momento máximo M_u y cortante máximo V_u en diferentes posiciones para realizar el despiece conforme al diagrama. Con el momento máximo se propuso el acero requerido a flexión conforme a la metodología de elementos a flexión descrita anteriormente y a diferencia con vigas, en viguetas el acero puede ser interrumpido en algún punto. Con el cortante máximo se propuso el acero requerido a cortante conforme a la metodología de elementos a cortante también descrita anteriormente.

2.5.3. *Diseño de losa maciza en una dirección.*

Al igual que en losa nervada, la losa maciza es un elemento sometido a flexión y su modelamiento depende de la carga del proyecto, pero esta se linealizó por 1 metro de fondo, también se realizó su modelamiento por medio de elementos finitos tipo barra. Se caracteriza porque la relación entre sus lados es mayor a dos presentando una deflexión más marcada en la dirección de refuerzo.

Según C.7.12 las losas donde el refuerzo se extiende en una sola dirección, se debe colocar refuerzo normal para resistir los esfuerzos de retracción y temperatura con las siguientes características: La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menor que 0.0014. El refuerzo no debe tener una separación mayor de 5 veces el espesor de la losa ni 450 mm (Quintero, 2020).

En la parte inferior de la losa el refuerzo debe ser continuo con un empalme de 45 veces el diámetro de barra a usar y en la parte superior se despieza de acuerdo con el diagrama de momentos.

Tabla 9

Refuerzo de retracción

Características	Cuantía	Norma
Barras Gr280 o Gr350	0.0020	C.7.12.2.1
Gr420 o electrosoldado	0.0018	C.7.12.2.1
$f_y > 420 \text{ MPa}$	$\frac{0.0018 \cdot 420}{f_y}$	C.7.12.2.1

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

El refuerzo a cortante de una losa maciza debe ser asumido solo por el concreto sin necesidad de reforzar.

$$\frac{Vu}{\phi \cdot b \cdot d} < \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \quad (11)$$

En donde ϕ es igual a 0.75, b es la base de la losa, es decir 1 metro, y d es el espesor de la losa.

2.5.4. Muros de contención.

Un muro de contención es un elemento sometido a flexión, apoyado en las vigas de cimentación y entrepiso, sin embargo, a diferencia de las losas y vigas sus cargas dependen del suelo. Su modelamiento se realizó por medio de elementos finitos tipo barra. Para diseñar el acero del muro de contención se consideró lo siguiente: la presión activa ejercida por el suelo se cuantifica con ayuda del estudio de suelos y su fórmula es:

$$P = K_a \cdot h \cdot W_s \quad (12)$$

Donde h representa la altura del muro, K_a el coeficiente de empuje activo y W_s el peso específico del suelo.

La sobrecarga, asociada al empuje lateral que puede experimentar el suelo producto de una carga viva horizontal en la parte superior se calcula como:

$$L = K_a \cdot q \quad (13)$$

Donde K_a es el coeficiente de empuje activo y q es la carga viva social (5 kN/ m²).

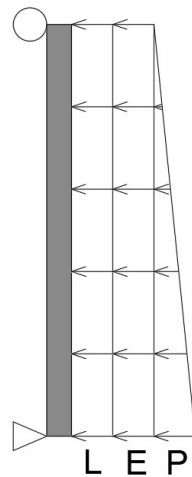
Para el empuje activo generado por el sismo, se usó el método de Mononobe-Okabe, siguiendo los apéndices A11 de CCP-14 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2013).

$$E = 0.5\gamma h^2 K_{AE} \quad (14)$$

Donde K_{AE} es el coeficiente sísmico de presión activa del suelo (admisible), y el peso unitario del suelo detrás del muro, h la altura total del muro. Esta carga se distribuye en todo el muro.

Figura 7

Distribución de cargas de muro de contención.



Nota: Elaboración propia

Según su distribución de cargas, el cortante máximo se encuentra en la parte inferior del muro y debe ser asumido por el concreto, esto se verificó con la ecuación 11, de no cumplir fue necesario aumentar el espesor.

Una vez realizado el modelo, con las cargas contempladas, se realizan los combos $1.6P+E$; $1.6P+1.6L$, se identifica el combo crítico (mayores momentos y cortantes) y se diseña el elemento a flexión con y se define el refuerzo horizontal con la cuantía mínima.

Tabla 10*Requerimientos muros de contención.*

Requerimiento	Norma
<i>Cuantía vertical mínima</i>	
Barras calibre menor a N0.5 = 0.0012	C.14.3.2.(a)
0.0015 para otras barras	C.14.3.2.(b)
0.0012 refuerzo electrosoldado	C.14.3.2.(c)
<i>Cuantía horizontal mínima</i>	
Barras calibre menor a N0.5 = 0.0020	C.14.3.3(a)
0.0025 para otras barras	C.14.3.3(b)
0.0020 para refuerzo electrosoldado	C.14.3.3(c)

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.5.5. Diseño de escaleras.

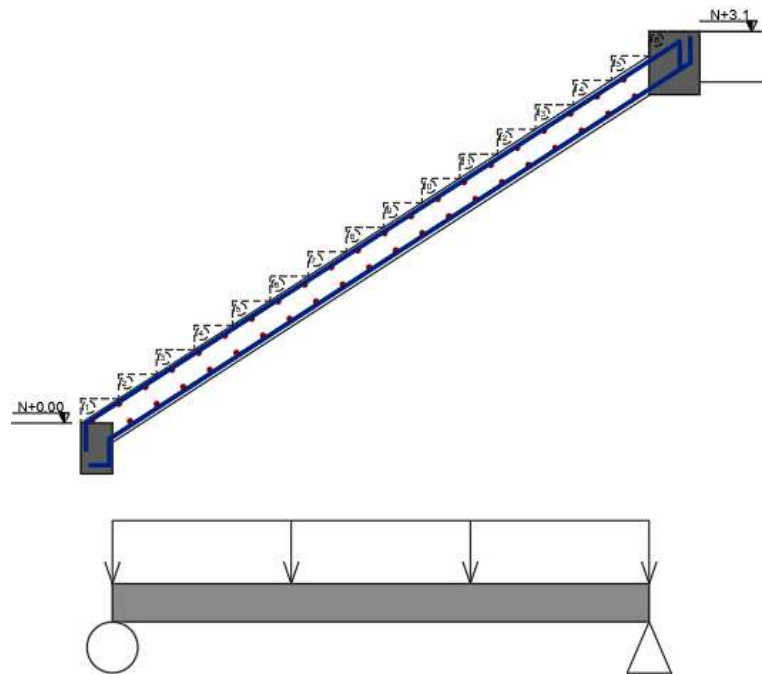
Para el diseño de escaleras, fue necesario verificar si el prediseño realizado por el profesional de arquitectura cumple con los espesores mínimos de acuerdo con la norma en la tabla C.9.5(a), además, que, en cuanto a dimensiones de huella, contrahuella, ancho y descansos, cumplan con los criterios de la norma en K.3.8.3. Se abordaron escaleras de 1, 2 y 4 tiros tipo losa. Se realizó el modelo mediante el análisis lineal estático por medio de elementos finitos tipo barra. Se analizó como una viga de luz L correspondiente a la distancia horizontal entre apoyos los cuales se encuentran en los extremos y su momento máximo se encuentra a mitad de luz.

Para la carga viva se optó por usar 3kN/m^2 , para la carga muerta se analizaron los pesos propios y sobre impuestos. Una vez obtenidas las cargas se realizó el modelo con los combos de diseño B.2.4.2. El modelo de análisis contempla los apoyos dados por vigas de entrepiso o vigas auxiliares a mitad de muro.

Con el momento último M_u se propuso parrilla a flexión superior e inferior obteniendo el acero y para el refuerzo transversal se asignó el acero mínimo. Al igual que en losas macizas, el cortante debe ser asumido por el concreto.

Figura 8.

Condiciones de análisis e idealización escalera tipo



Nota: Elaboración propia

2.5.6. *Diseño de pilotes.*

Para el diseño de pilotes, se considera un elemento empotrado en su cabezal con múltiples apoyos elásticos, que sufre carga debido a la presión del suelo y las cargas transferidas de la estructura para obtener un valor de momento M_u y cortante V_u . En los proyectos, se consideró efecto de punta y fricción trabajando conjuntamente, se analizó mediante el método lineal y elementos finitos tipo barra, se realizó el despiece de manera individual, pues el análisis de grupo y capacidad admisible fue una recomendación dada por el equipo de geotecnia.

Fue necesario evaluar la resistencia al corte del hormigón y del acero, y la resistencia al corte nominal, además de las capacidades axiales y de flexión individual, similar a una columna, con la metodología de elementos a flexocompresión. El acero de refuerzo longitudinal se obtuvo mediante la siguiente ecuación en donde P_u es la carga de servicio que llega de las columnas

$$P_u = 0.70[(0.85f'_c)(A_g - A_s) + A_s f_y] \quad (15)$$

Para el diseño estructural de los pilotes se utilizaron los criterios de la tabla C.15.11 de la NSR-10.

Tabla 11*Requisitos para pilotes.*

Requerimiento	DMI	DES-DMO
f'c mínimo	17.5 MPa	17.5 MPa
Cuantía longitudinal mínima	0.0025	0.0050
Número mínimo de barras longitudinales	4	4
Longitud del refuerzo longitudinal	Tercio superior del pilote, pero no menos de 4m	Mitad superior del pilote, pero no menos de 6m
Diámetro de la barra de estribos	N2 hasta 500 mm de diámetro y N3 diámetros mayores a 100 mm en los 600 mm superiores y 16db a lo largo de la armadura	N3 para pilotes hasta 750 mm de diámetro y N4 para diámetros mayores a 75 mm en los 1.20 m superiores y 16db a lo largo de la armadura

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.5.7. Diseño de zapatas

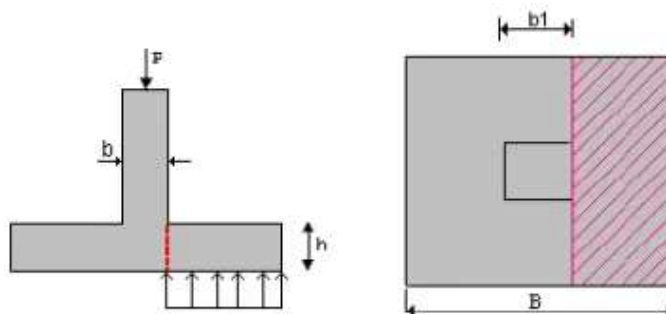
Para realizar el diseño de zapatas, fue necesario obtener la carga de servicio de las columnas que llegan a las zapatas en el modelo analítico.

Para el predimensionamiento de área requerida se divide la carga de servicio sobre la capacidad admisible del suelo (dato de geotecnia), y se supone un espesor de zapata mayor a 150mm.

Con el área requerida, se ajustan las dimensiones de cada lado como la raíz del área y se aproximan al centímetro. Luego de esto, es necesario analizar cada zapata como un elemento empotrado en su centro y que sufre cargas debido al suelo.

Figura 9

Modelamiento zapata.



Nota: Tomado de diseño de estructuras de cimentación de acuerdo con la NSR-10.

El chequeo de cortante por perforación consiste en verificar el cortante que sufre la zapata ante la acción de la columna y el suelo sea menor al cortante admisible por el concreto.

$$V_{up} = \left(\frac{\sigma \cdot A}{0.75 \cdot P \cdot dz} \right) < V_{cp} = \frac{\sqrt{f'c}}{3} \quad (16)$$

El chequeo por cortante simple consiste en verificar que el cortante que sufre la zapata sea menor al admisible por el concreto.

$$\phi V_u = \frac{\sigma \cdot A}{0.75 \cdot b \cdot d} < \phi V_c = \frac{\sqrt{f'c}}{6} \quad (17)$$

Para despiezar la zapata, se obtiene el momento en la dirección de trabajo de la zapata mediante la siguiente ecuación

$$M_u = \frac{P_u}{2B} \left(\frac{B}{2} - \frac{b_1}{2} \right)^2 \quad (18)$$

Como un elemento a flexión, con el momento M_u se calcula la cuantía necesaria para proponer el acero que pueda satisfacer los requisitos, ecuación 9. Este acero calculado también se suministra en dirección transversal formando una parrilla. Por último, el recubrimiento de la cimentación está definido por la siguiente tabla de condiciones de recubrimiento.

En los proyectos llevados a cabo, se realizó el diseño mediante zapatas céntricas, sin embargo, para el diseño de zapatas excéntricas, se usa el mismo análisis, contemplando los valores de esfuerzo máximo y mínimos que sufre la zapata debido a su excentricidad y los momentos generados que afectan las vigas de amarre, las cuales se consideran como un elemento a flexión debido a la presión que ejerce el suelo sobre ellas.

Tabla 12

Condiciones de recubrimiento NSR-10.

Requerimiento	Recubrimiento	Norma
Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75 mm	C.7.7.1
Concreto expuesto al suelo e intemperie (Barras N6 a N18)	50 mm	C.7.7.1
Concreto expuesto al suelo e intemperie (N5 o menores)	40 mm	C.7.7.1

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.5.8. Diseño de elementos no estructurales

La norma NSR-10 contempla en el título A.9 lo referido al diseño de elementos no estructurales en donde se tuvo en cuenta: grupo de uso, el grado de desempeño, criterio de diseño, fuerza sísmica de diseño y tipo de anclaje. Inicialmente se calculó la masa del elemento no estructural, siendo el resultado de la carga por la altura y longitud aferente. Se calculó la fuerza sísmica horizontal con la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x \cdot a_p}{R_p} \cdot g \cdot M_p \quad (19)$$

En donde a_x es la aceleración horizontal, a_p el coeficiente de amplificación dinámica, R_p el coeficiente de capacidad de disipación de energía del, g la gravedad y M_p la masa del elemento no estructural. Por último, para la realización del diseño se contempló el momento último actuante sobre el muro, en muros divisorios es igual a la fuerza sísmica horizontal por la altura del muro sobre 4, en muros de antepecho es igual a la fuerza sísmica horizontal por la altura del antepecho sobre 4. Con este momento se analizó como un elemento a flexión calculando el área de acero requerida de acero A_s .

2.6. Diseño de elementos de flexo-compresión.

El diseño de elementos a flexo-compresión se basa en garantizar la resistencia frente a cargas axiales y momentos flectores, para esto, se utilizan los diagramas de interacción.

Los diagramas de interacción son apropiados para estudiar las resistencias de las columnas con proporciones variables de cargas axiales y de momentos. Cualquier combinación

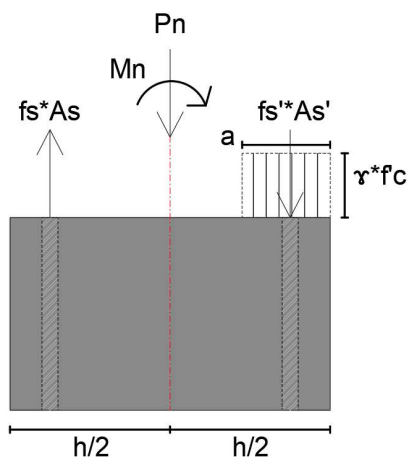
de cargas que quede dentro de la curva es satisfactoria, mientras que una combinación que caiga fuera de la curva representa una falla (Brown, McCormac; 2017).

La falla balanceada ocurre cuando el refuerzo extremo en tracción alcanza la deformación unitaria correspondiente a f_y al mismo tiempo que el hormigón de compresión alcanza la deformación unitaria última 0.003. En este caso la distancia de la fibra extrema del hormigón a compresión al eje neutro se denomina C_b (Awad, 2012)

Para realizar el análisis de un elemento a flexo-compresión es necesario identificar las fuerzas internas que componen el elemento armado. La sección transversal de la columna se divide en dos: una parte a tensión compuesta por una fracción de las barras de acero, y una parte a compresión compuesta por el bloque de concreto y la parte restante de barras de acero.

Figura 10

Fuerzas internas en un elemento armado a flexo-compresión.



Nota: elaboración propia

Con el diagrama de cuerpo libre de la sección de base b y altura h , realiza equilibrio para despejar P_n y M_n (resistencias nominales)

$$P_n = \gamma \cdot f'_c \cdot a \cdot b + f'_s \cdot A_s' - f_s \cdot A_s \quad (20)$$

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + A_s' \cdot f'_s \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right) + \gamma \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) \quad (21)$$

De las ecuaciones 17 y 18 son conocidas h , d , d' , A_s y A_s' , sin embargo, la altura del bloque a compresión a , y los esfuerzos de acero a compresión y tracción son desconocidos debido a que dependen de la posición del eje neutro. Se asume una deformación unitaria del concreto igual a 0.003 y se varía la posición del eje neutro para obtener diferentes valores de P_n y M_n con el fin de obtener el diagrama de interacción admisible, reduciendo los valores de P_n y M_n al multiplicar por ϕ , que varía entre 0.9 y 0.65.

Una vez construido el diagrama de interacción, este sirve de verificación visual para reconocer si un elemento con un refuerzo A_s resiste las solicitaciones que actúan sobre él.

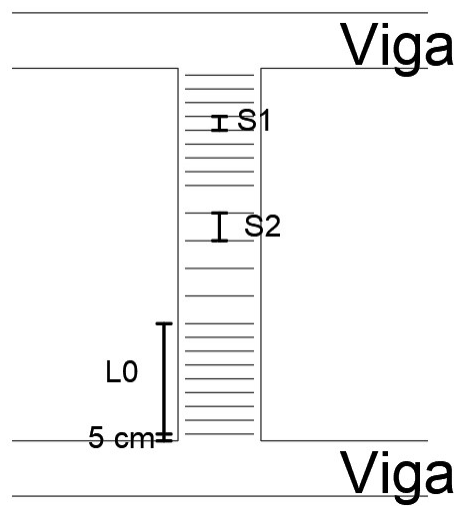
2.7. Diseño de columnas.

Inicialmente, para el diseño de columnas se propone una cuantía de acero para la sección transversal de la columna, que según la norma en C.10.9.1, está entre el 1 % y el 4 %. Luego se debe realizar análisis de los esfuerzos internos producidos en la sección de la columna, una parte de las barras de acero se encuentran a tensión y una parte del concreto más la parte restante de barras de acero a compresión. Siguiendo la metodología de elementos sometidos a flexo-compresión se realiza el diagrama de interacción para verificar si la cuantía propuesta cumple con la resistencia última, de no cumplir es necesario aumentar la sección de concreto, aumentar la cuantía del acero, o aumentar la resistencia del concreto.

Una vez cumplido el diseño longitudinal a flexocompresión, es necesario realizar el diseño a cortante.

Figura 11

Distribución de estribos en columnas



Nota: elaboración propia

Tabla 13*Criterios de separación de estribos*

Requerimiento	Norma
$L_o \geq \text{Mayor entre } h \text{ y } b$	C.21.3.5.6 (DMO)
$L_o \geq L/6$	C.21.3.5.6 (DMO)
$L_o \geq 50 \text{ cm}$	C.21.3.5.6 (DMO)
$L_o \geq \text{Mayor entre } h \text{ y } b$	C.21.6.4.1 (DES)
$L_o \geq L/6$	C.21.6.4.1 (DES)
$L_o \geq 45 \text{ cm}$	C.21.6.4.1 (DES)
$S_1 \leq h/3 \text{ o } b/3$	C.21.3.5.6 (DMO)
$S_1 \leq 8db$	C.21.3.5.6 (DMO)
$S_1 \leq 16 \text{ de}$	C.21.3.5.6 (DMO)
$S_1 \leq 15 \text{ cm}$	C.21.3.5.6 (DMO)
$S_1 \leq h/4 \text{ o } b/4$	C.21.6.4.4 (DES)
$S_1 \leq 6 \text{ db}$	C.21.6.4.4 (DES)
$S_1 \text{ entre } 10 \text{ y } 15 \text{ cm}$	C.21.6.4.4 (DES)
$S_2 \leq 2S_1$	C.21.3.5.11(DMO)
$S_2 \leq 6db$	C.21.6.4.5(DES)
$S_2 \leq 15 \text{ cm}$	C.21.6.4.5(DES)

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

El área del acero transversal debe garantizarse de la siguiente manera:

Tabla 14

Área mínima de estribos según norma.

Requerimiento	Norma
DMO	
$Ash \geq 0.2 \cdot S1 \cdot hc \cdot \left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right) \cdot \frac{f'c}{fy}$	C.21.3.5.7
$Ash \geq 0.06 \cdot S1 \cdot hc \cdot \frac{f'c}{fy}$	C.21.3.5.7
DES	
$Ash \geq 0.3 \cdot S1 \cdot hc \cdot \left(\frac{Ag}{Ach} - 1\right) \cdot \frac{f'c}{fy}$	C.21.6.4.4
$Ash \geq 0.09 \cdot S1 \cdot hc \cdot \frac{f'c}{fy}$	C.21.6.4.4

Nota: En donde hc hace referencia a la altura de la columna en la sección transversal menos el recubrimiento, A_g área de la sección bruta de la columna, A_{ch} área de la sección crítica de la columna. Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.8. Diseño de muros estructurales.

Diseño de muros estructurales Los muros estructurales, al igual que las columnas son elementos que trabajan a flexo compresión. Tienen dos tipos de refuerzo, las mallas electrosoldadas que trabajan a cortante y los elementos de borde que trabajan a compresión (Caiza, 2019)

Según la NSR-10 en C.14.3.4 si el espesor del muro es mayor a 25 centímetros se deben usar 2 mallas o más. Para un muro de altura h , espesor t y longitud L

2.8.1. Refuerzo por cortante:

Para el diseño de fuerzas cortantes horizontales fue necesario definir la altura efectiva del muro, la cual corresponde al 80 % del lago del muro. También se debe verificar el espesor planteado mediante la siguiente ecuación

$$\frac{Vu}{hd} \leq \frac{5}{6} \sqrt{f'c} \quad (22)$$

Como segundo paso, se encontró la resistencia que debe tener el acero por cortante mediante la siguiente ecuación

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc \quad (23)$$

En donde ϕ es igual a 0.75 y Vc , es la resistencia del concreto, igual a un sexto de la raíz de $f'c$. Con el valor de la resistencia requerida del concreto se supone un refuerzo y se halla la separación vertical de la malla.

$$Vs = \frac{Av \cdot fy}{t \cdot S} \quad (24)$$

Esta separación debe ser menor a $L/5$, $3e$ y $0.50m$. Con la distancia seleccionada, se verifica la cuantía horizontal

$$\rho_h = \frac{Avh}{t \cdot S} \quad (25)$$

Posteriormente se verifica la cuantía vertical del muro, que debe ser menor a la cuantía horizontal.

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h}{L} \right) \cdot (\rho_h - 0.0025) \quad (26)$$

Fue necesario comparar estas cuantías obtenidas con las de la norma, pero estas dependen del cortante;

Si $Vu \leq \left(\frac{1}{12}\right) \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c}$ comparar cuantías C.14

Si $Vu > \left(\frac{1}{12}\right) \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c}$ comparar cuantías C.21.

Tabla 15

Cuantías muros estructurales.

Requerimiento	Norma
<i>Cuantía vertical mínima</i>	
Barras calibre menor a N0.5 = 0.0012	C.14.3.2.(a)
0.0015 para otras barras	C.14.3.2.(b)
0.0012 refuerzo electrosoldado	C.14.3.2.(c)
<i>Cuantía horizontal mínima</i>	
Barras calibre menor a N0.5 = 0.0020	C.14.3.3(a)
0.0025 para otras barras	C.14.3.3(b) – C14
0.0020 para refuerzo electrosoldado	C.14.3.3(c) – C14
<i>Cuantía vertical mínima y horizontal</i>	
0.0025	C.21

Nota: Adaptado de “Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia”.

2.8.2. Refuerzo longitudinal.

Para el diseño por flexo-compresión, al igual que en columnas, se propone una cantidad de acero inicial como refuerzo longitudinal, se analizan las fuerzas internas de la sección variando la posición del eje neutro C , obteniendo los datos de resistencia nominal P_n y M_n , que deben ser ajustados por ϕ para dibujar el diagrama de resistencia admisible (Giraldo, 2003)

Con el diagrama dibujado, se evalúan las cargas en la base (momento, axial y cortante) de tal forma que satisfagan al estar dentro de la curva de resistencia, de no ser así, es necesario rediseñar con más refuerzo longitudinal.

2.8.3. Elementos de borde.

Son elementos tipo columnas estribadas, que se encuentran en los extremos de los muros. Según C.21.9.6.2 es necesario reforzar cuando

$$c \geq \frac{l_w}{600\left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)} \quad (27)$$

Donde c corresponde a la mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial mayorada y resistencia nominal de momento congruente con el desplazamiento del muro según la NSR-10. L_w hace referencia a la longitud del muro, h_w a la altura del muro y δ_u al desplazamiento último, δ_u/h_w debe ser mayor o igual a 0.005. También es necesario reforzar cuando el esfuerzo de compresión máximo sobrepase el 20 % de f'_c . La longitud del elemento de borde se define como el valor del eje neutro menos el 10 % de la longitud del muro o como el valor del eje neutro dividido entre dos, se escoge el mayor. El refuerzo transversal de los elementos de borde debe cumplir con los criterios dictados por la norma en C.21.6.4.2 a C.21.6.4.4.

3. Resultados

Una vez especificado el proceso de diseño se resumen los proyectos a cargo, con descripción general y actividades llevadas a cabo en cada uno.

3.1. Casa Gold22

Localizada en Piedecuesta, se planteó como una estructura residencial con sistema estructural combinado en concreto reforzado, cimentada en pilotes, cuenta con 3 pisos y 1 sótano. En ella se realizó toda la actividad de diseño para construcción.

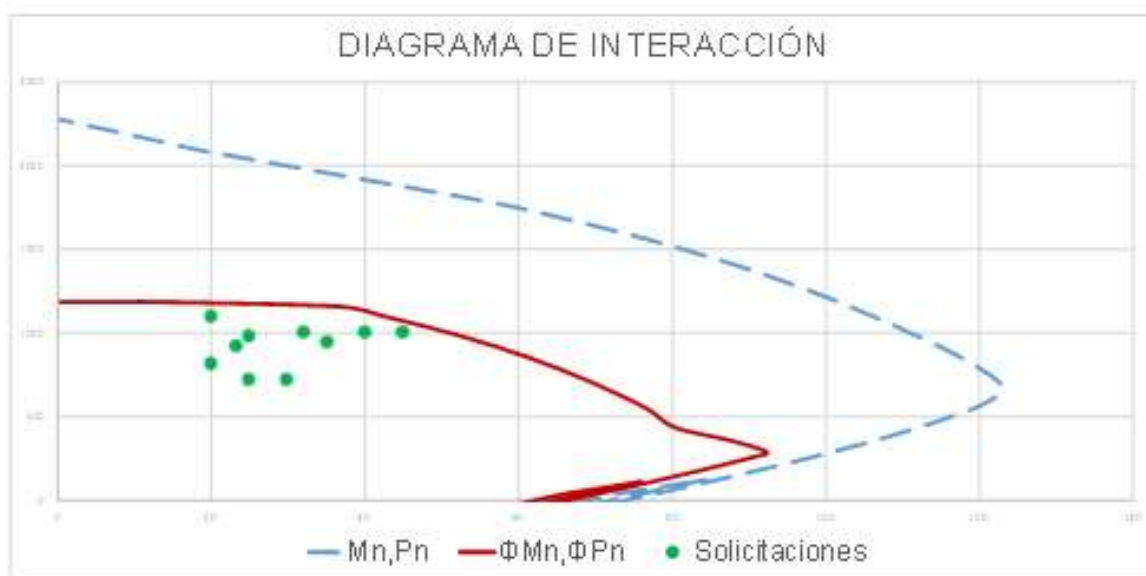
A nivel preliminar, antes del predimensionamiento, se analizó que; se plantearon grandes voladizos lo cual significaría un momento negativo de gran magnitud con la necesidad de usar secciones con gran peralte tanto en vigas como en columnas y variación de alturas de vigas y viguetas dependiendo su condición de apoyo en planta. También se observaron placas planteadas a desnivel inestables, lo que requirió de nuevas columnas.

En este proyecto inicialmente se dibujaron las plantas estructurales predimensionando los elementos tipo viga, viguetas y columnas, los cuales requieren grandes alturas debido a que la casa es planteada con voladizos que hacen su diseño complejo, además, se plantea la estabilidad para todos los elementos horizontales procurando que tenga al menos dos apoyos.

El diseño y verificación de columnas y muros se realizó mediante el diagrama de interacción de autoría propia, en este se toman en cuenta las solicitaciones en la base de las columnas o muros y las propiedades geométricas de los mismos.

Figura 13

Diagrama de interacción



Nota: elaboración propia

Finalmente se expidió la versión final de la casa, la cual fue aprobada por curaduría.

3.2.Mensuli114

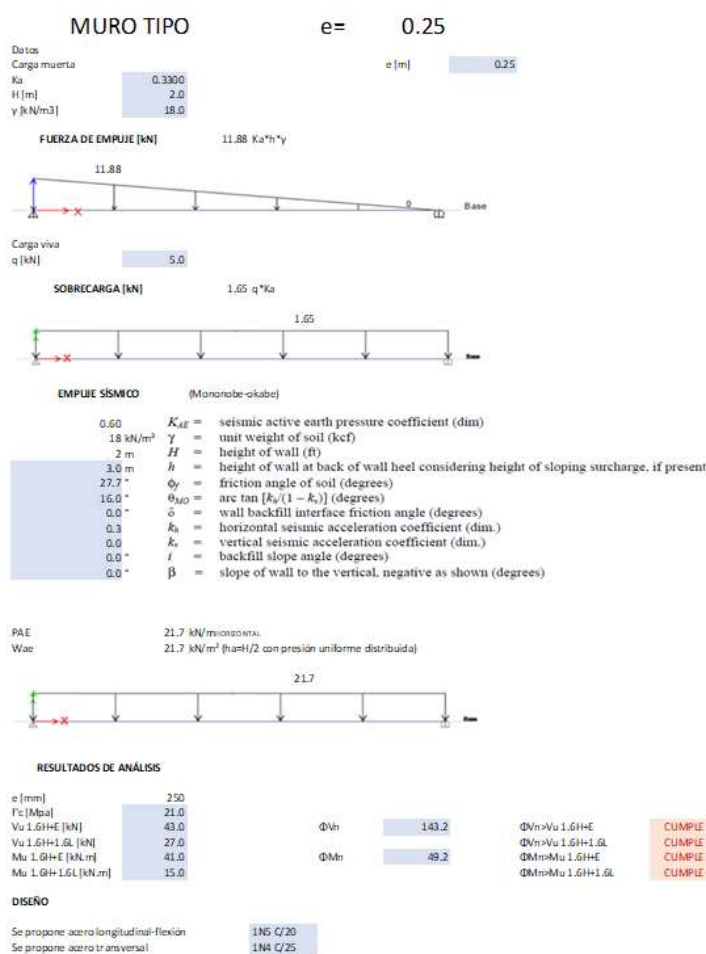
Localizada en Piedecuesta, es una estructura residencial con sistema estructural combinado en concreto reforzado, cimentada en zapatas, cuenta con 3 pisos. En ella se realiza toda la actividad de diseño para construcción.

A nivel preliminar, en este proyecto se analizó la existencia de una escalera la cual no tenía los suficientes apoyos para ser estable, pero luego de implementar un muro estructural se decidió agregar una viga a mitad de muro para sostener la losa del descanso.

Al igual que en casa Gold22, en este proyecto se dibuja las plantas estructurales, notando que existen muros de contención a un lado de la casa, la empresa no cuenta con una hoja de cálculo para el diseño de muros de contención, esta se programa, en donde se tiene en cuenta la presión del suelo, la sobrecarga viva y el empuje sísmico para el modelado, como lo indica la metodología de diseño de muros de contención, del cual se extrae la información y se suministra el acero requerido con la hoja de cálculo de elementos a flexión.

Figura 14

Hoja de cálculo muros de contención



Nota: elaboración propia

El diseño de elementos estructurales es similar al de Casa Gold22, inicialmente se predimensionaron los elementos como vigas, viguetas y columnas. Posteriormente se procedió a diseñar los elementos, utilizando las hojas diseñadas para el cálculo de elementos a flexión y a cortante.

En este proyecto, a petición de curaduría se requirió un chequeo rápido del refuerzo suministrado en las columnas, esto se realiza mediante otra programación que, para posteriores proyectos, como San Francisco Tower y Rincón del Lago, también fue utilizada. La hoja de cálculo consiste en chequear los despieces realizados con anterioridad e identificar el acero suministrado, exportar un diseño mediante el software SAP2000 de acero requerido en columnas y compararlas.

Figura 15.

Chequeo de columnas

PROYECTO:

COLUMNA	E1						
NIVEL	A_{exist}	No_{ut}	Cantidad _{ut}	No_{req}	Cantidad _{req}	$A_{\text{propuesto}}$	CHEQUEO
N-3.5	3500	N.8	4	N.7	4	3588	Cumple
N0	2700	N.7	4	N.7	4	3096	Cumple
N3.5	2700	N.7	4	N.7	4	3096	Cumple

Nota: elaboración propia

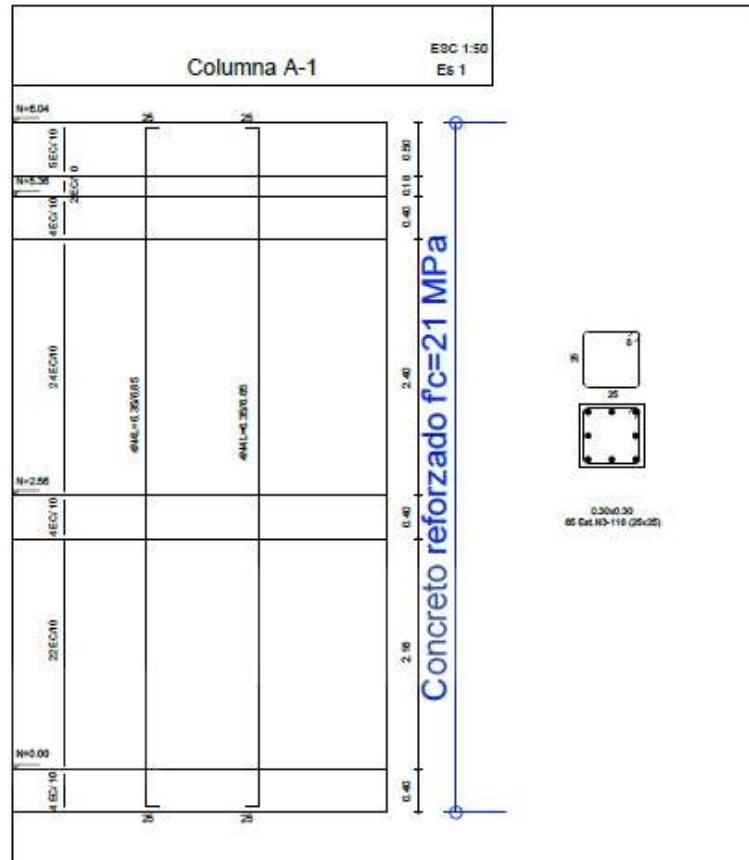
3.3.Rincón del Lago

Localizada en Floridablanca, es una estructura residencial con sistema estructural pórtico en concreto reforzado, cimentada en zapatas, cuenta con 2 pisos. En ella se realiza la adecuación de la cubierta, consiste en el modelado y la verificación de resistencia de las columnas para la nueva cubierta planteada.

Se dibuja el acero requerido en cada columna y se envió el criterio al cliente de cumplimiento con la hoja de cálculo para chequeo de columnas.

Figura 16.

Despiece de columnas



Nota: elaboración propia

3.4.La Miel

Localizada en Piedecuesta, es una estructura residencial con sistema estructural combinado en concreto reforzado, cimentada en zapatas, cuenta con 11 pisos. En ella se realiza diseños de muros de contención con la hoja de cálculo, diseño de muros estructurales e informe

de cantidades. Para el resumen de cantidades, se toma en cuenta el refuerzo de vigas de entrecimpo y cimentación, muros, zapatas, placa, losas adicionales y escaleras.

Figura 17.

Cantidades La Miel

LA MIEL		
RESUMEN DE REFUERZO. LA MIEL TORRE A		
TIPO DE REFUERZO	TOTAL [kg]	%
Ref. Vigas de entrecimpo	28059	7.6%
Ref. Vigas de cim	1382	0.4%
Ref. Muros: elementos de borde de muros, arranque, estribos EB	202289	55.1%
Ref. Mallas de muros estructurales	60174	16.4%
Ref. Ref. Zapatas: acero longitudinal transversal	6621	1.8%
Ref. Refuerzo mínimo inferior placa losa (malla electrosoldada)	27091	7.4%
Ref. Refuerzo mínimo superior placa losa (malla electrosoldada)	34647	9.4%
Ref. Refuerzo Losa (barras)	1567	0.4%
Ref. Escaleras	5374	1.5%
TOTAL [Kg]	367205	
TOTAL [Ton]	367.2	
<i>Área total construída</i>	10416.1	m ²
<i>Relacion kg acero / área total construída</i>	35.3	kg/m ²
<i>Volumen de concreto / área total construída</i>	0.82	m ³ /m ²

Nota: elaboración propia

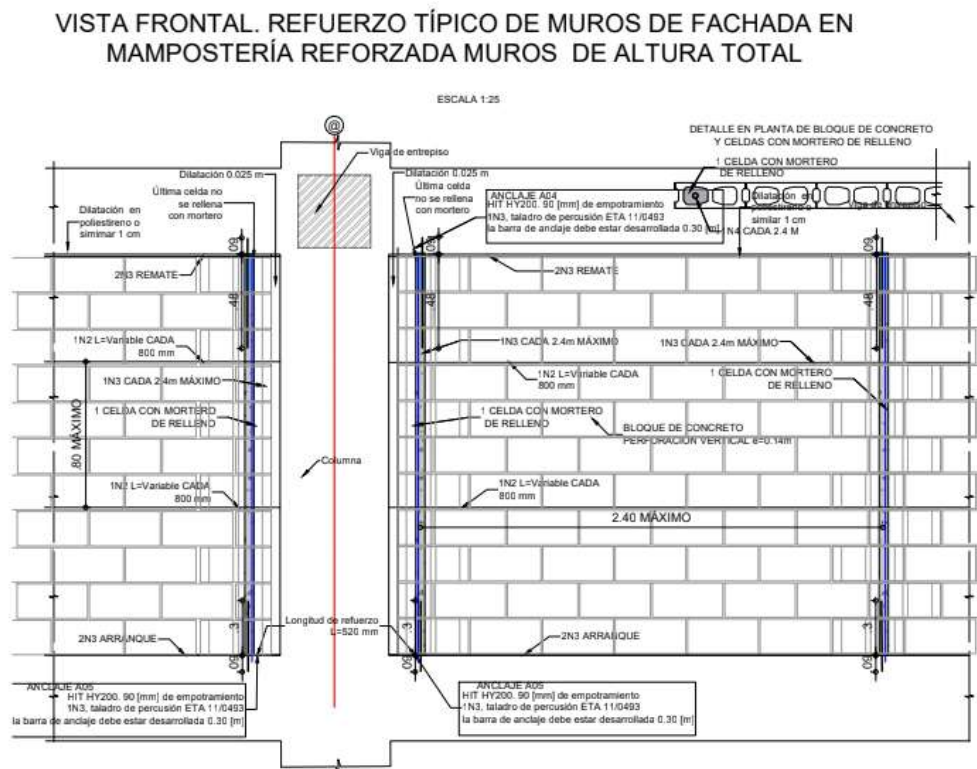
El procedimiento para el cálculo de cantidades consistió en determinar el número de barras de acero con el mismo diámetro y longitud, encontrar su peso por metro y obtener la cantidad total. Este proyecto fue aprobado por curaduría y ya se encuentra en construcción.

3.5. Clínica Girón

Localizada en Girón, es una estructura comercial con sistema estructural pórtico en mampostería reforzada, cuenta con 4 pisos y 1 sótano. En ella se realiza actividad de adecuación y diseño de muros estructurales a cargo del ingeniero gerente, se expresa el diseño planteado en los planos mediante detalles de cada muro y detalles generales.

Figura 18.

Detalles muros de mampostería reforzada



Nota: elaboración propia

3.6. Casa Sánchez

Localizada en Bucaramanga, fue planteada como una estructura residencial con sistema estructural combinado en concreto reforzado, cimentada en zapatas, cuenta con 3 pisos. En ella se realizó los diseños de elementos no estructurales: planos y memorias siguiendo los criterios de diseños de elementos no estructurales.

3.7. Casa Zapatoa

Localizada en Girón, fue planteada como una estructura residencial con sistema estructural pórtico en concreto reforzado, cimentada en zapatas céntricas, cuenta con 2 pisos. En ella se realizó toda la actividad de diseño para construcción. A nivel preliminar se analizó la

presencia de lucernarios en la cubierta que impedían la continuidad de las vigas del sistema estructural, por lo cual se realizó la adecuación de los lucernarios mediante socialización con arquitectura. Se calcularon las cantidades de obra para el proyecto, sin embargo, el cliente no contó con el presupuesto necesario para su construcción, por ende, fue necesario rediseñar la estructura. Por último, se realizó la versión 2 rediseñando totalmente la estructura a petición del cliente con posterior aprobación.

Durante el desarrollo de la práctica, de manera colaborativa, el equipo de diseño impulsó varios proyectos, los cuales cumplieron exitosamente con las normas urbanísticas y de diseño siendo aprobados por curaduría, tales como: Clínica Girón, Tanque la Gloria, Avatar Santa Marta, etc., se incluyen ejemplos en los anexos. Se listan los proyectos realizados durante la práctica empresarial de manera individual, incluyendo dibujo, diseño y generación de memorias estructurales y de cantidades:

Tabla 16

Proyectos a cargo.

Proyecto	Inicio	Terminación
Casa Gold22	04-abr-22	15-jun-22
Mensuli114	12-jul-22	26-ago-22
Rincón del Lago	16-fb-22	23-jun-22
La Miel	31-ene-22	14-jul-22
Casa Sánchez	01-abr-22	25-ago-22
Portería Palmeras	25-may-22	07-jul-22
Casa Zapatoca	08-ago-22	02-sep-22

Nota: En la tabla se muestran los proyectos a cargo. Información proveída por Alexis Vega Ingenieros S.A.S, 2022.

Todos los proyectos a cargo sometidos a la revisión de Curaduría Urbana fueron aprobados. También fue importante respetar los tiempos de trabajo, sin embargo, según los reportes de actividades enviados a la empresa existieron retrasos en proyectos como Clínica Girón (1 semana), Vive Mardel (1 día), San Francisco Tower (2 días), Casa Zapatoca (1 día), tres de estos proyectos eran de carácter grupal excepto Casa Zapatoca en donde el retraso representó el 10 % del trabajo realizado.

En la revisión semanal el equipo de diseño realizó sugerencias y opiniones que permitieron corregir errores antes de la entrega definitiva de los proyectos.

La empresa no contaba con una hoja de cálculo de diseño de muros de contención para agilizar procesos; esta hoja fue diseñada y entregada a los compañeros, que ahora es usada en las memorias de cálculo de cada entrega de proyecto. En columnas se realizó la programación de dos hojas de cálculo, un diagrama de interacción para análisis de resistencia y una de chequeos frente a los datos exportados del programa SAP2000 (Computers & structures INC (CSI), 2009)

Como resultado final, se logró la interpretación y aplicación de la normativa de diseño NSR-10, realizando un ejercicio de diseño con alta confiabilidad debido al cumplimiento de la norma, además de adquirir las capacidades de trabajo en equipo, fortalecer los conocimientos necesarios para el desarrollo de la vida profesional y lograr la aptitud para seguir aprendiendo.

4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados se logró realizar con éxito el dibujo asistido por computador, el cual facilitó el desarrollo de los proyectos y acortó los tiempos de diseño.

A lo largo de la práctica, se evidenció el manejo y apropiación de los criterios de diseño de la norma NSR-10, controlando la calidad del diseño de las obras, con el fin de satisfacer y proteger las necesidades de los usuarios.

Se cumplió con la mejora de la redacción de informes de carácter ofimático y hojas de cálculo mediante las plantillas realizadas; elaboración de diagramas de flexocompresión para chequeo de columnas mediante el análisis de las fuerzas internas, y el diseño de muros de contención mediante el análisis de las cargas debidas al suelo, sobrecarga y empuje sísmico, siendo un aporte esencial para la empresa que no contaba con estas para la presentación de las memorias de diseño, lo cual agiliza los procesos tanto de diseño como de presentación.

Para el buen trabajo de diseño es necesario realizar también análisis correctos de predimensionamiento, evaluación de cargas, análisis sísmico y consideraciones de estabilidad, ayudando así a comprender el comportamiento y las sollicitaciones de los elementos a construir, así como los requerimientos de refuerzo.

La comunicación entre ingeniero estructural y demás áreas interviene el diseño pues para llevarse a cabo se requieren datos específicos de suelos, planos de arquitectura y planteamiento hidrosanitario; a su vez, son las demás áreas las encargadas de aprobar el diseño estructural con las condiciones planteadas y consideraciones asumidas.

Para el buen ejercicio del diseño estructural es necesario también conocer otras normas, como por ejemplo el Código colombiano de diseño sísmico de puentes, pues en él encontramos

las especificaciones y combos de diseño para elementos complementarios al sistema estructural tal como muros de contención o box culvert.

Se cumplieron con los tiempos pactados para la entrega de las actividades semanales, solo fallando por un día en uno de los ocho proyectos a cargo, evitando errores en la planificación y ajustándose a los tiempos de revisión.

5. Recomendaciones

Se recomienda a la empresa Alexis Vega Ingenieros la implementación del modelado de información de construcción (BIM) para fortalecer el trabajo colaborativo con demás áreas.

Referencias bibliográficas.

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2013). Código colombiano de diseño sísmico de puentes.
- Awad, R. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios*. Ed 2. Medellín: Fondo editorial EAFIT, 2012.
- Cantillo, Y. A. (2013). Elaboración de una guía modelo y procedimiento para el diseño de elementos estructurales acorde a la NSR-10 colombiana – primera parte – Vigas de concreto reforzado”, Universidad de la costa, Barranquilla.
- Caiza, P & Viera, P (2019). Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas de hormigón armado. Sangolquí.
- Computers y structures INC (CSI), 2009. SAP2000 Basic V10.
- Garza, L. (2010). Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo con la NSR-10. Medellín, Cap. 4.
- Giraldo, O. (2003). *Diseño de elementos de hormigón*. Ed 2. Medellín.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Ed 12. Kansas: McGrawHill.
- Quintero, O. M. (2020). Guía metodológica para la revisión de diseños estructurales según el reglamento NSR-10, en edificaciones con sistemas de pórticos resistentes a momentos. Universidad Santo Tomás, Bogotá.

McCormac & Brown (2017). *Diseño de concreto reforzado*. Ed 10. Carolina del sur. Alfaomega, 2017.

Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente "NSR-10"[Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Enero de 2010. Bogotá, D.C., Colombia.

Garza, L. (2010). Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo con la NSR-10. Medellín, Cap. 8.