

**Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la ejecución de proyectos de consultoría en diseño estructural en el departamento de Santander**

**Lizeth Daniela Velandia González**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director:**

**Homer Armando Buelyas Moya**

**MSc. en Ingeniería Estructural**

**Tutor.**

**Dalton Moreno Girardot**

**MSc. en Ingeniería Civil**

**Universidad Industrial de Santander**  
**Facultad de Ingenierías Físicomecánicas**  
**Escuela de Ingeniería Civil**  
**Bucaramanga**

**2020**

### Agradecimientos

Agradezco a Dios, por ser el guía en mi camino y porque sus tiempos son perfectos. A mis padres Gerardo Velandia Maldonado y Edilma Isabel González Ferreira, son el motor de mi vida, mi inspiración y ejemplo de que las cosas se pueden hacer honestamente y con trabajo fuerte, a mi hermana Laura Milena Velandia González y a toda mi familia por su apoyo incondicional, dedicación y confianza, pues sin ustedes no habría logrado culminar mis estudios de pregrado universitario. Esto es por y para ustedes.

Agradezco a todos mis compañeros universitarios y en especial a mis amigos y compañeros de crimen, sin ustedes no habría sido tan satisfactoria mi camino por la universidad.

Agradezco al profesor Homer Armando Buelvas, quien le brindó su apoyo a una estudiante que no conocía pero aun así dio sus consejos y orientación indispensable para el desarrollo de mi práctica empresarial.

Agradezco al ingeniero Dalton Moreno Girardot, por compartir su conocimiento y experiencia para conmigo, confiando en mis capacidades y dándome responsabilidad que hoy permiten culmine con mi pregrado universitario.

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander por haberme dado la oportunidad y herramientas para hoy optar por el título de Ingeniero Civil.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Fundamento Teórico .....	13
1.1 Diseño estructural .....	13
1.2 Sistema Estructurales .....	14
1.2.1 Sistema pórtico.....	14
1.2.2 Sistema de muros de carga.....	14
1.2.3 Sistema combinado.....	14
1.2.4 Sistema dual.....	14
1.3 Planos estructurales.....	15
1.4 Memorias de cálculo estructural .....	15
1.5 Herramientas computacionales .....	16
1.5.1 Software de modelamiento estructural.....	16
1.5.2 Building Information Modeling.....	16
1.5.2.1 Revit.....	17
1.5.3 Software AutoCAD.....	17
2. Identificación de sistemas estructurales y oportunidades de mejora .....	18
2.1 Etapa de diseño .....	19
2.1.1 Recepción y evaluación de proyectos Florida de la Sierra y Reserva Cabo Verde.....	19

2.1.2 Sistema Estructural .....	20
2.1.2.1 Proyecto San Juan de la Cuesta. ....	20
2.1.2.2 Proyecto Plurifuncional CREMAS. ....	22
2.1.2.3 Proyecto Florida de la Sierra.....	22
2.1.2.4 Proyecto Reserva Cabo Verde. ....	23
2.1.2.5 Predimensionamiento de elementos estructurales. ....	24
2.1.3 Interpretación de datos. ....	26
2.1.4 Diseño de elementos estructurales. ....	27
2.1.4.1 Vigas. ....	27
2.1.4.2 Columnas. ....	28
2.1.4.3 Losas. ....	28
2.1.4.4 Generación de hoja de cálculo para refuerzo longitudinal.....	28
2.1.4.5 Cálculo de refuerzo transversal.....	29
2.1.5 Planos estructurales.....	30
2.1.5.1 Construcción de Despieces. ....	30
2.1.5.2 Malla. ....	31
2.1.6 Memoria de calculo.....	32
3. Actividades de apoyo a la ejecución de proyectos.....	33
3.1 Definición de parámetros de diseño.....	33
3.1.1 Definición de cargas de diseño. ....	33
3.1.1.1 Carga Muerta. ....	33
3.1.1.2 Carga Viva. ....	33
3.1.1.3 Cargas sísmicas. ....	33

---

3.1.2 Modelación numérica tridimensional de la estructura en un software estructural.....	35
3.1.2.1 Materiales.....	35
3.1.2.2 Espectro elástico de aceleración. ....	35
3.1.2.3 Vigas. ....	35
3.1.2.4 Columnas. ....	36
3.1.2.5 Muros. ....	36
3.1.2.6 Losas. ....	36
3.1.3 Análisis estructural.....	37
3.2 Información adicional y/o cambios.....	37
4. Conclusiones.....	39
Referencias Bibliográficas .....	40

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1</i> Sistemas estructurales de resistencia sísmica. Andres Ceballo (2019).....	15
<i>Figura 2.</i> Diagrama de flujo de etapa de diseño estructural. ....	19
<i>Figura 3.</i> Modelo de locales para proyecto San Juan de la Cuesta. Nota: tomado de ETABS 2018.....	21
<i>Figura 4.</i> Modelo de salón social para proyecto San Juan de la Cuesta. Nota: tomado de ETABS 2018.....	21
<i>Figura 5.</i> Modelo y proyección de muros de carga para proyecto Florida de la Sierra. Nota: tomado de ETABS 2018. ....	23
<i>Figura 6.</i> Tabla C.9.5(a) – Alturas o espesores mínimos de vigas preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen deflexiones. ....	25
<i>Figura 7.</i> Guía en la asignación y cálculo de barras de acero y traslapos. ....	31
<i>Figura 8.</i> Tipos de mallas planta tipo de un proyecto: nombre, dimensiones, separación y cantidad. ....	32
<i>Figura 9.</i> Diagrama de flujo de asignación de la fuerza sísmica.....	34

## Lista de Apéndices

Ver Apéndices en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A. Planos Arquitectonicos

Apéndice B. Longitudinal Reinforcing

Apéndice C. Memoria de cálculo de refuerzo longitudinal

Apéndice D. Memoria de cálculo de refuerzo transversal en espiral

Apéndice E. Planos Estructurales

## Resumen

**TITULO:** Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la ejecución de proyectos de consultoría en diseño estructural en el departamento de Santander \*

**AUTOR:** Lizeth Daniela Velandia González \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Proyectos, Diseño, Reglamento, Refuerzo, Software, Resistencia.

### DESCRIPCIÓN:

Este artículo presenta la metodología, el desarrollo y los resultados del apoyo a las actividades de diseño e implementación de mejoras en los procesos técnicos realizados en la práctica empresarial realizada en la empresa DALMO S.A.S, líder en la ejecución de proyectos consultoría en el diseño estructural en el departamento de Santander. En las actividades que se realizaron como auxiliar de ingeniería se aplicaron los conceptos de diseño estructural conociendo los alcances de las herramientas y técnicas estratégicas para cumplir con los objetivos de un proyecto de estructuras. Destacándose el acompañamiento a proyectos de construcción en el diseño estructural como la identificación de problemáticas y factibilidad de un sistema estructural que se adecue a las demandas y necesidades, obedeciendo los lineamientos exigidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. También, se propone una metodología apoyada en una memoria de cálculo de refuerzo longitudinal apoyada en la interpretación de resultados obtenidos del software de modelamiento tridimensional, con el objetivo de desarrollar una herramienta que permita optimizar la selección de cantidades de obra. Finalmente, se concluye que las tareas y labores se realizaron bajo la orientación del tutor, profesional de la ingeniería civil; de forma correcta y satisfactoria de acuerdo a los resultados.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director: Homer Armando Buelyas Moya Ingeniero Civil Tutor. Dalton Moreno Girardot MSc. en Ingeniería Civil

## Abstract

**Title:** Business practice as an engineering assistant in the execution of consulting projects in structural design in the department of Santander \*

**Author:** Lizeth Daniela Velandia González \*\*

**Key Words:** Projects, Design, Regulation, Reinforcement, Software, Resistance.

### Description:

This article presents the methodology, the development and the results of the support to the activities of design and implementation of improvements in the technical processes carried out in the business practice carried out in the company DALMO S.A.S, leader in the execution of consulting projects in the structural design in the department of Santander. In the activities that were carried out as an engineering assistant, the concepts of structural design were applied knowing the scope of the tools and strategic techniques to meet the objectives of a structural project. Highlighting the accompaniment to construction projects in structural design such as the identification of problems and feasibility of a structural system that meets the demands and needs, obeying the guidelines required by the Colombian Regulation of Construction Earthquake Resistant, NSR-10. Also, a methodology based on a longitudinal reinforcement calculation memory based on the interpretation of results obtained from the three-dimensional modeling software is proposed, with the aim of developing a tool that optimizes the selection of work quantities. Finally, it is concluded that the tasks and tasks were carried out under the guidance of the tutor, civil engineering professional; correctly and satisfactorily according to the results.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director: Homer Armando Buelyas Moya Ingeniero Civil Tutor. Dalton Moreno Girardot MSc. en Ingeniería Civil

## Introducción

El sector de la construcción ha sido considerado uno de los contribuyentes más relevantes en el crecimiento y desarrollo de la economía en Colombia, sin embargo, en el año 2019 este sector está pasando por un fuerte estancamiento económico que inicia desde la realización de diseño hasta la ejecución de obras. Se está presentando un menor volumen de actividad constructiva, un menor ritmo en ejecución de proyectos y una menor participación, generando incertidumbre en los inversionistas y un deterioro en las condiciones de empleo en el área del diseño y construcción (El Espectador. 2019).

Debido a su capacidad de influir en el progreso y productividad, las entidades públicas y privadas dedicadas a proyectos de infraestructura intentan generar competitividad y desarrollo dependiente en gran medida del conocimiento y destreza de sus trabajadores, por lo que, enfocan sus objetivos estratégicos en la búsqueda de capital humano loable y capaz de ejecutar labores de diseño y construcción.

El programa de prácticas empresariales en la empresa DALMO S.A.S., se ha caracterizado por su calidad en el apoyo a formación de profesionales del diseño y la construcción, apoyando la innovación santandereana, liderando la ejecución de proyectos de consultoría en diseño estructural y aportando la creación de riqueza económica y social, manteniendo la conservación, cuidado y mejoramiento del entorno ambiental y social. En el presente documento se establece la relación del capital humano con el apoyo a las actividades de diseño que permitan el avance del sector.

## 1. Fundamento Teórico

La modalidad de proyecto de grado tipo práctica empresarial en el apoyo del diseño estructural integra los siguientes conceptos fundamentales.

### 1.1 Diseño estructural

Es un campo de la ingeniería estructural que tiene en cuenta aspectos como la concepción arquitectónica, zona geográfica y efectos sísmicos con los cuales se define y plantea un sistema estructural más asertivo a los requerimientos de uso, cargas, grupo de importancia, especificaciones de los materiales y análisis estructural. Tiene como propósito generar planos estructurales y especificaciones de construcción, los cuales se sustentan por memorias de cálculo y modelamientos numéricos (Rochel, R. 2012).

La estructura de una edificación en el departamento de Santander debe diseñarse para que tenga resistencia adecuada ante las cargas mínimas de diseño prescritas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y debe, además, verificarse que dispone de rigidez necesaria para limitar la deformidad antes las cargas de servicio o de uso, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación. Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de las normas debe seguir los principios de seguridad, funcionalidad y economía; además debe ser capaz de resistir fuerzas que le impone su uso, como sismos de poca intensidad sin daño alguno, sismos moderados sin daño estructural, pero con daños moderados en elementos

no estructurales, y un sismo fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso (AIS. 2010).

## 1.2 Sistema Estructurales

Colombia reconoce cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica:

**1.2.1 Sistema pórtico.** Compuesto principalmente por vigas y columnas, que resisten todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

**1.2.2 Sistema de muros de carga.** Tiene como principal elemento estructural, el muro de carga que resiste cargas verticales; y muros estructurales o pórticos con diagonales para las cargas horizontales.

**1.2.3 Sistema combinado.** Este sistema usualmente se compone de una combinación de un pórtico resistente a momentos y un sistema de muros estructurales, donde su conjunto resiste tanto cargas verticales como horizontales.

**1.2.4 Sistema dual.** Se compone de un pórtico espacial resistente a momento que soporte las cargas verticales y un sistema de muros estructurales o pórtico con diagonales que resista fuerzas horizontales y máximo el 25% del cortante sísmico de la base (AIS. 2010).

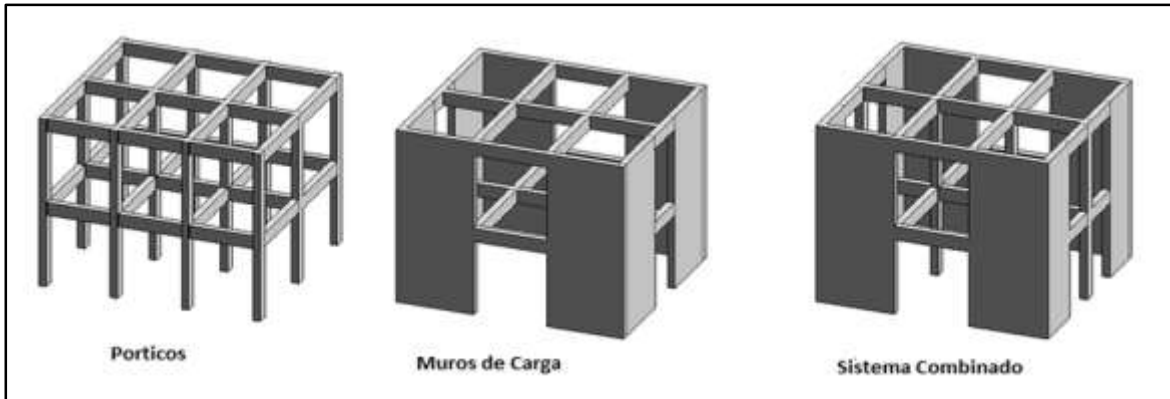


Figura 1 Sistemas estructurales de resistencia sísmica. Andres Ceballo (2019).

### 1.3 Planos estructurales

Son el resultado gráfico del diseño estructural por medio de los cuales se ejecutarán los procesos constructivos. Deben contener como mínimo: especificaciones de los materiales de construcción, tamaño y localización de los elementos, además, sus dimensiones y refuerzo; cargas de diseño, especificaciones de valores para el diseño y grado de disipación de energía, recomendaciones y precauciones especiales para el proceso constructivo y demás información adicional que se requiera para llevar a cabo la obra (AIS. 2010). Los planos estructurales deben estar firmados por un ingeniero civil facultado para este fin y quien obra como diseñador responsable, además deben ser revisados y aprobados por curaduría o planeación del municipio donde se desarrollará el proyecto de construcción, según sea la entidad encargada.

### 1.4 Memorias de cálculo estructural

Son los documentos técnicos que contienen todos los cálculos numéricos que sustentan y acompañan los planos estructurales. Son documentos firmados por el ingeniero quien realizó el

diseño estructural, con el fin de justificar todo aquello que se dispuso en los planos o esquemas y deben incluir la descripción del sistema estructural usado y principios de diseño, descripción de la estructura, cargas de diseño y especificación en las cargas gravitacionales, coeficiente de disipación de energía, cálculos de la fuerza sísmica, tipo de análisis usado, verificación de derivas y demás chequeos requeridos por la NSR-10. Debe entregarse una descripción del modelo digital y su análisis estructural, y datos específicos de entrada en caso de usar equipo de procesamiento automático de información, software (AIS. 2010).

## **1.5 Herramientas computacionales**

**1.5.1 Software de modelamiento estructural.** Es una herramienta para análisis y diseño estructural, tecnológicamente avanzado, productivo e intuitivo, aplicable para estructuras en 2D y más complejas en 3D. El software de modelamiento integra todos los aspectos de un proyecto de edificios, desde el inicio de su concepción hasta detalles de estructuras. Es una herramienta de modelamiento y visualización, con alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal; proporcionada para ingenieros de estructuras (CSI). Como auxiliar de diseño, esta herramienta otorgo un amplio campo de acción para realizar un análisis completo donde se apliquen las normas sismos resistentes requisito en Colombia.

**1.5.2 Building Information Modeling.** Es una metodología de trabajo formada por una base de datos de los elementos constructivos que conforman el proyecto, en la que, sustentado por un software de modelado tridimensional, recopila información detallada para predimensionar un proyecto desde el diseño hasta su construcción.

Apoya la creación y gestión de un proyecto por medio del uso de herramientas extendidas. La incorporación de información geométrica (3D), tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (7D) y de mantenimiento (7D), supone una evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano (Building SMART. BIM)

**1.5.2.1 Revit.** Por sus siglas “Revise it” revisarlo o cambiar algo, es un software que permite producir diseños y documentación de estructuras coherentes, coordinados y complejos basados en modelos tridimensionales. Con este software se puede predimensionar el proyecto en un equipo multidisciplinar donde las diferentes áreas realizan un trabajo compartido, guardando lo contribuido en el mismo proyecto y generando disminución en plazos de entrega. La licencia educativa se adquirió el día 10 de Octubre del 2019 por medio de la comunidad educativa de Autodesk (ESPACIOBIM. 2015)

**1.5.3 Software AutoCAD.** Es un programa de dibujo por computadora, donde su nombre se compone por las siglas “Auto” que hace referencia a su propietario Autodesk y “CAD” por Computer Aided Design. Esta herramienta cuenta con 2 y 3 dimensiones, donde puedes crear dibujos o planos genéricos, documentar proyectos de ingeniería, arquitectura, mapas o sistemas de información geográfica por mencionar algunas industrias y aplicaciones.

La licencia de la última versión de AutoCAD (2019) fue adquirida el 10 de Marzo del 2019 desde la plataforma Autodesk por el estudiante de esta práctica. Es el programa más usado en la industria para la producción de dibujos y/o planos por computadora. Sin embargo, con la aparición de Revit en el 2002 ha perdido protagonismo en el desarrollo de los proyectos (Academica. 2018).

En el desarrollo de la práctica se combinó el uso de BIM y AUTOCAD en los proyectos abordados. Cuando nos referimos a dibujo de planos, se utilizó la herramienta AutoCAD en la creación, sin embargo, fue posible empalmar el software AutoCAD y la metodología BIM y revisar proyectos también en este espacio de modelamiento.

## **2. Identificación de sistemas estructurales y oportunidades de mejora**

A lo largo de la práctica se abordaron diferentes proyectos ubicados en el departamento de Santander con el fin de aportar a su concepción general, diseño o especificaciones técnicas. Entre ellos resaltan:

- Proyecto San Juan de la Cuesta, diseño de locales y salón social, Piedecuesta.
- Proyecto sede recreacional Sabana – Caja de compensación CAJASAN, municipio de Sabana.
- Proyecto EDIC UIS, Bucaramanga.
- Proyecto Plurifuncional CREMAS, Girón.
- Proyecto conjunto residencial Florida de la Sierra, Floridablanca.

## 2.1 Etapa de diseño

Mediante la etapa de diseño se identificó y trabajaron los diferentes procesos relacionado con el diseño estructural. Siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 2 se realiza un proceso de recepción, verificación, chequeo y construcción de proyectos de diseño estructural.

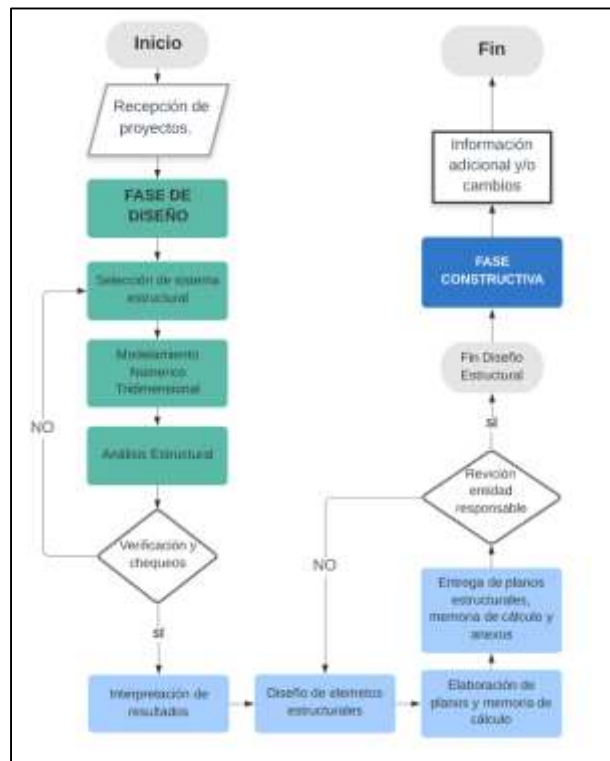


Figura 2. Diagrama de flujo de etapa de diseño estructural.

### 2.1.1 Recepción y evaluación de proyectos Florida de la Sierra y Reserva Cabo Verde.

Antes de dar inicio a las actividades que componen el diseño estructural de una edificación, es necesario tener claridad de los objetivos, alcances y limitaciones que el nuevo proyecto trae consigo. La recepción y evaluación de los documentos técnicos del proyecto junto con la coordinación de las demás áreas afines al diseño permiten empalmar y consolidar los aspectos

esenciales con respecto al resultado del conjunto que cumpla con las expectativas. Se realiza recepción inicial de los siguientes proyectos:

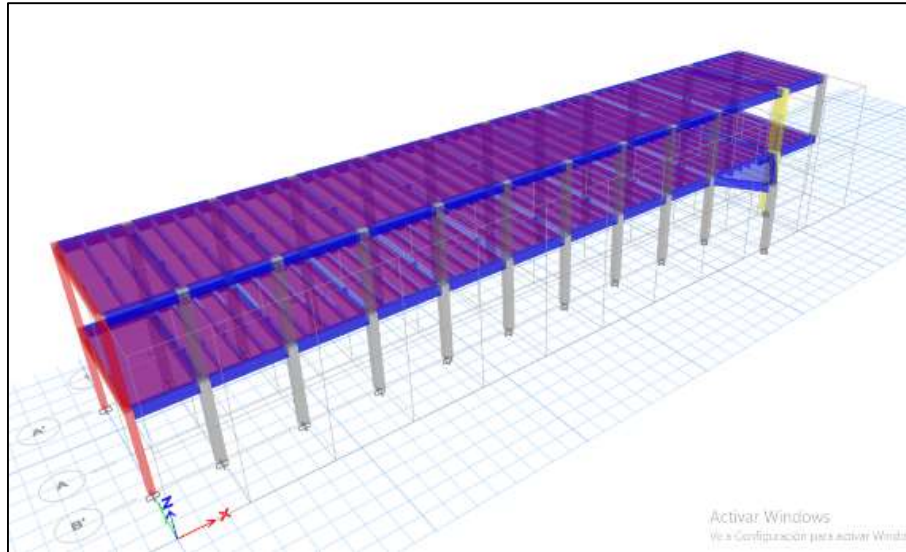
- Proyecto Florida de la Sierra.
- Proyecto reserva Cabo Verde.

Asistiendo a la recepción y estudio de los correspondientes documentos técnicos tales como los planos arquitectónicos (ver ejemplo en anexo 1 – planos arquitectónicos), estudios del suelo y topográficos, planos de los sistemas eléctricos, hidráulicos y sanitarios, estudios previos y comentarios adicionales por parte de los profesionales de otras áreas.

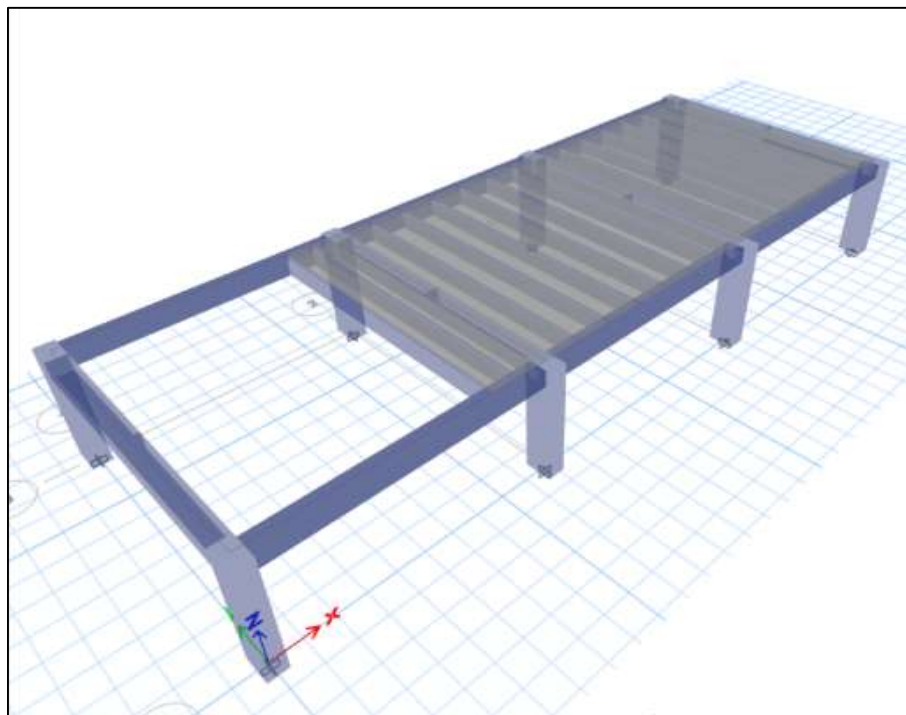
En reuniones con el propietario, arquitecto y diseñador se definen características de altura de pisos, distribución de áreas, propuesta del sistema estructural a experiencia del diseñador, aclaración de límites, vacíos y uso de espacios. Así mismo aclaraciones y planteamiento de ideas necesitadas a simple vista por el diseñador que se consideren relevantes previo al diseño. Este mismo proceso se debe hacer para todos los proyectos.

### **2.1.2 Sistema Estructural**

**2.1.2.1 Proyecto San Juan de la Cuesta.** Este proyecto tiene un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial de columnas y viga tal como se observa en la Figura 3 y la Figura 4. Dichas estructuras corresponden a una edificación de uso comercial (locales) y otra como área recreativa (salón social), respectivamente.



*Figura 3.* Modelo de locales para proyecto San Juan de la Cuesta. Nota: tomado de ETABS 2018.



*Figura 4.* Modelo de salón social para proyecto San Juan de la Cuesta. Nota: tomado de ETABS 2018.

**2.1.2.2 Proyecto Plurifuncional CREMAS.** Consiste en un edificio con más de los 50 metros de altura y su ubicación en una zona de riesgo sísmico alto como lo cataloga la NSR-10 al municipio de Girón (AIS. 2010), se asigna como sistema estructural un sistema pórtico que aporta funcionalidad en el diseño y la etapa constructiva, además de seguridad para con una estructura con fines comerciales y residenciales. De acuerdo a los requisitos descritos en la tabla A.3-3 de la NSR-10 (AIS. 2010), se establecen dichos los límites de altura que puede tener el sistema, para cada una de las zonas de amenaza sísmica.

**2.1.2.3 Proyecto Florida de la Sierra.** Un tipo de edificación donde las fuerzas verticales de este proyecto son resistidas por muros de cargas y las horizontales por muros estructurales. Este es un sistema estructural económico y rápido de ejecutar su esqueleto, generando una estructura mucho más ligera y posee gran rigidez, siendo lo adecuado con respecto al comportamiento que se espera del suelo.

De la tabla A.3-1 también se selecciona el coeficiente de capacidad de disipación de energía **R**, según en la zona de amenaza sísmica. Debido a la ubicación de los proyectos, el valor común para estructuras que no superen los 50 metros es  $R_0$  igual a 5.0.

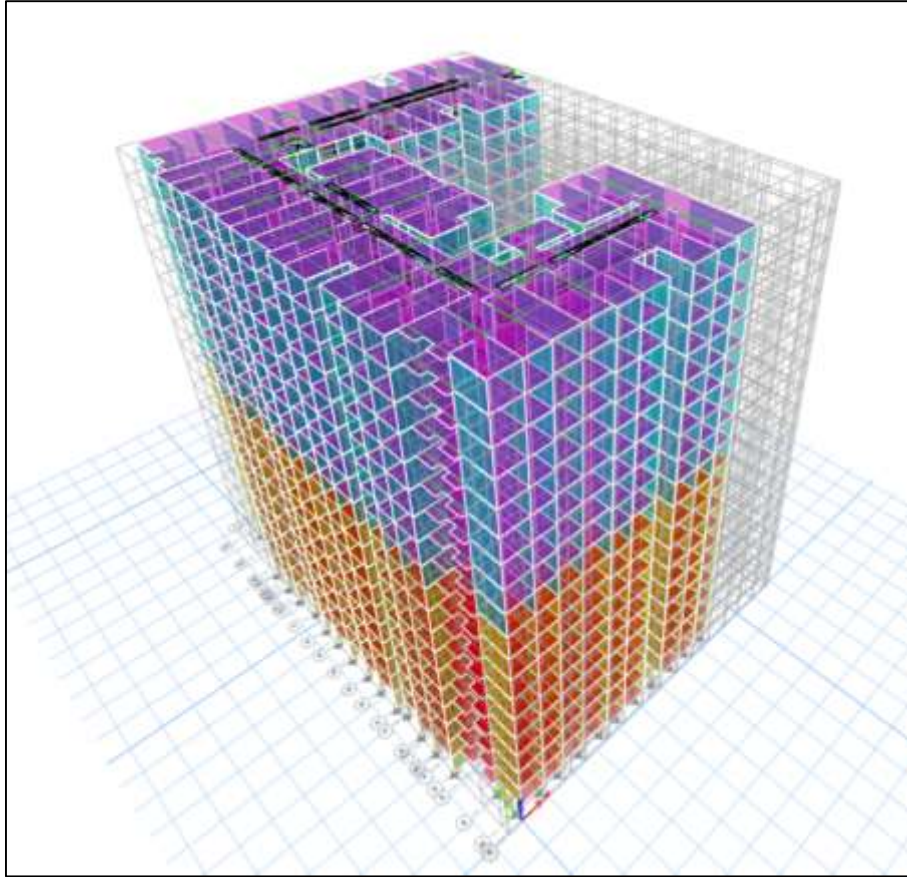


Figura 5. Modelo y proyección de muros de carga para proyecto Florida de la Sierra. Nota: tomado de ETABS 2018.

**2.1.2.4 Proyecto Reserva Cabo Verde.** El uso de un sistema estructural combinado tiene como fin proporcionar una estructura con muros de cargas que superaba el límite en altura al estar en una zona de amenaza sísmica alta como lo es el municipio de Lebrija; aportando mayor rigidez en la base con un factor  $R$  mayor y un valor de altura máxima superior al de la estructura. A pesar de ser un sistema estructural un poco más costoso en su construcción, aporta mayor seguridad y evita que ha futuro la estructura presente problemas que en termino económicos, estos serían mucho más elevados al costo actual. Al ser una combinación de sistemas estructurales en altura, se deben cumplir los requisitos de A.3.2.4 de la NSR-10 (AIS. 2010):

R máximo: debe ser el menor valor  $R$  de los sistemas estructurales que se estén combinando por encima de ese nivel y en la dirección considerada. Sin embargo, si la masa de los pisos que estén por encima del nivel donde se inicia el sistema estructural es menor del 10 por ciento de la masa total de la edificación, se omite la condición de  $R_{máx}$ .

Si se cumple las condiciones de la tabla A.3-5 de la NSR-10 (AIS. 2010), acerca de una estructura flexible sobre una estructura de mayor rigidez: ambos sistemas considerados regulares cumpliendo los requisitos de A.3.3, promedio de las rigideces sea por lo menos 10 veces mayor al promedio de la parte alta y el periodo de la estructura total  $T$ , no sea mayor 1.1 veces del periodo de la parte superior considerada como una estructura empotrada en la base.

Si cumplen, se permite a la estructura regular diseñarse sísmicamente utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente, pero en el caso del proyecto Reserva Cabo Verde, la estructura se consideró irregular al no cumplir las condiciones y de diseño siguiendo los requisitos en A.3.3 de la NSR-10.

**2.1.2.5 Predimensionamiento de elementos estructurales.** Ya sea que el proyecto corresponda a un sistema pórtico, muros de carga y/o combinado, se deben establecer características tales como ubicación y tipo de suelo, distribución espacial, altura y número de pisos, uso, entre otros factores acordados que permitan afinar un proyecto arquitectónico. Partiendo de la distribución de elementos y dimensionamiento previo realizado por parte del arquitecto se siguen las recomendaciones según la NSR-10.

- Definición de materiales: debido a la magnitud de los proyectos, regularmente se usó concreto con resistencia  $f'c$  de 28 MPa (4000 psi). Sin embargo, se presentó la situación en que la resistencia del concreto sería diferente (mayor) para los niveles inferiores con

respecto a los superiores para el proyecto Florida de la Sierra, como motivo de no ser necesario mantener la resistencia del concreto a lo largo del desarrollo de toda la estructura, valores  $f'c$  de 28 MPa y 21 MPa (3000 psi).

Para el caso del acero, se especificó un  $F_y$  de 420 MPa (60.000 psi), varillas corrugadas mayores a No.3 y malla electrosoldada,  $F_y$  de 240 MPa (34.000 psi), varilla lisa para No.2.

- Elementos horizontales: tales como vigas y losas, de acuerdo a CR.9.5(a) (ver tabla 1) según sus condiciones de apoyo y luces entre estos, con respecto a la altura o espesor. En el caso de la dimensión de la base de la viga, C.21.5.1.3 establece que:

$$b \geq \left\{ \begin{array}{l} 0.3h \\ 250 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Sin embargo, haciendo uso del criterio como diseñadores, una viga para un sistema DES el valor de base se trabajó de 30 a 40 centímetros.

	Espesor mínimo, $h$			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que <b>NO</b> soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Figura 6. Tabla C.9.5(a) – Alturas o espesores mínimos de vigas preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen deflexiones. Nota. Tomado de: *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Título C.

Por otra parte, para elementos en la dirección contraria, verticales tales como columnas y muros; se propone una dimensión previa a concepto del diseñador, que tras los chequeos de capacidad sísmica y solicitaciones de refuerzo pueden permanecer igual o variar.

Adicionalmente, dado que en su mayoría los proyectos tienen lugar en Bucaramanga, se tiene en cuenta las siguientes condiciones para elementos pertenecientes a pórticos (vigas y columnas) DES:

C.21.6.1.1: la dimensión menor de la sección transversal no debe ser menos o igual de 30 centímetros (AIS. 2010).

C.21.6.1.2: la relación entre la menor dimensión y la dimensión perpendicular no debe ser menor a 0.25. Además, cuya dimensión menor no debe ser mayor o igual de 50 centímetros (AIS. 2010).

Las dimensiones que rigieron el proceso de diseño de los proyectos trabajados en la empresa, se mantuvieron en el rango de 40-45 centímetros para vigas principales y 25-30 centímetros para las vigas auxiliares.

En casos como las vigas que componen el sistema aporticado del proyecto CREMAS, se mantuvo la dimensión menor de viga de 45 centímetros y aumentar la altura a 60 centímetros, debido a ser una zona prometida al uso comercial, lo que corresponde a mayor volumen de carga actuante y como fin de hacer el espacio seguro, funcional y estético se asumieron estas dimensiones.

**2.1.3 Interpretación de datos.** Gracias al análisis estructural generado por el software ETABS y el cumplimiento de los requisitos de diseño para la estructura: periodos en los modos principales de vibración, derivas, volumen de carga coherente con la estructura, entre otros; se

pasa a revisar las solicitudes de área de refuerzo de los elementos estructurales (ver anexo 2 – Pier longitudinal reinforcing de ETABS).

**2.1.4 Diseño de elementos estructurales.** Mediante el uso de los resultados obtenidos de la modelación, se determinan las cantidades de refuerzo requeridas por los elementos estructurales que componen el sistema de resistencia: vigas, columnas, losas y/o muros.

**2.1.4.1 Vigas.** Partiendo del cálculo de refuerzo longitudinal mínimo requerido por el elemento dada la ecuación:

$$A_{s_{min}} = 0.0033 * b * h$$

Donde, ***b*** y ***h*** son las dimensiones de la viga.

Se establece cantidad y calibre de barras de acero de acuerdo a los valores establecidos en la tabla C.3.5.3-2 en la NSR-10 (AIS. 2010). A continuación, se halla la diferencia entre el resultado total de área de acero y el valor de acero mínimo, de esta forma, se conoce el refuerzo adicional requerido por el elemento.

Fue visto, que difícilmente las cantidades de área por parte de las barras de refuerzo fuesen exactas al valor solicitado por elemento luego del análisis del software, existía cierto valor de más o exceso que bajo concepto ingenieril del practicante se mantuvo en un valor mínimo. Esto fue posible al variar las longitudes de las barras que componen el refuerzo adicional y a su vez, los calibres.

**2.1.4.2 Columnas.** Recordar que adicionalmente del refuerzo que solicite de acuerdo a los datos del software; si se tiene más de 50-55 centímetros debe anexar 2 barras No.5 en el centro de la sección transversal a lo largo de toda su longitud a cada lado.

**2.1.4.3 Losas.** De acuerdo a las dimensiones de mallas comúnmente usadas 2.35 x 6.00 metros, estas se asignan por el dibujante y se modifican las dimensiones necesidad ya sea por vacíos o disposiciones de la forma de la placa.

La necesidad de crear una sistematización técnica que facilitara y agilizara el cálculo del número y calibre de las barras de refuerzo adicional dio lugar a la elaboración de una plantilla de cálculo (anexo 3 – Hoja de cálculo de refuerzo), que permite simplificar esta búsqueda y no exceder a grandes cantidades de acero; ingresando valores esenciales como dimensión del elemento, área total requerida y numero de barras por fila, esto último a determinación del diseñador con base en el recubrimiento y separación mínima entre barras.

**2.1.4.4 Generación de hoja de cálculo para refuerzo longitudinal.** Con la finalidad de aportar al proceso de diseño para la empresa DALMO S.A.S, se plantea y crea con ayuda de memorias de cálculo programadas, que permite cumplir con los requerimientos que la empresa necesita y a su vez con el objetivo planeado para la práctica (anexo 3 – Memoria de cálculo de refuerzo longitudinal).

Ingresando datos establecidos en el predimensionamiento como la base, altura y materiales, además del total de área de refuerzo solicitada por la viga de acuerdo con el resultado del análisis y diseño del modelamiento. El diseñador agrega el número de barras por fila que pertenecerán al acero mínimo y la hoja de cálculo realiza el cálculo para el refuerzo mínimo requerido por la

sección según la NSR-10 y despeja la cantidad faltante realizando las combinaciones entre barras de acero más adecuada, revisando la relación de acero suministrado sobre requerido.

**2.1.4.5 Cálculo de refuerzo transversal.** Las cantidades de refuerzo transversal se establecieron de acuerdo a C.21.6.4.2 de la NSR-10 y la separación de este se establece siguiendo las condiciones dadas en C.21.6.4.1 y C.21.6.4.3 de la NSR-10 (AIS. 2010). Mediante el uso de hojas de cálculo se optimiza el refuerzo estableciendo la combinación de ramas de estribos y ganchos. Así como la separación de este refuerzo en las zonas confinadas: traslapo y cerca a los apoyos, y en zonas libres (ver en anexo 3 – memoria de cálculo de refuerzo transversal).

Un caso particular fue realizado para el diseño de pilotes pertenecientes al proyecto plurifuncional CREMAS, la cuantía de refuerzo en espiral está limitada por C.10.9.3 y C.21.6.4.4 donde los factores de resistencia del concreto (28 MPa) y del acero (420 MPa), recubrimiento (5 cm) y dimensiones ( $\phi=60, 75, 90$  cm), son las variables que la determinan. Posteriormente, de acuerdo a la relación de volumen de acero y volumen de concreto de la siguiente ecuación:

$$\frac{V_s}{V_c} = \rho_s \rightarrow V_s = \rho_s V_c \rightarrow L * A_s = A_g * s * \rho_s$$

Finalmente, se despeja la separación;

$$s = \frac{L * A_s}{A_g * \rho_s}$$

Donde,  $A_s$  y  $A_g$  son el área de refuerzo y de concreto, respectivamente.  $\rho_s$  es la cuantía que rige y  $L$  es la longitud de espiral.

Simplificando esto, se ingresan datos en la memoria de cálculo propuesta y de acuerdo a cada calibre de barra, diámetro de la sección se presentan los resultados óptimos para una propuesta de refuerzo (ver anexo 4 – memoria de cálculo de refuerzo transversal en espiral).

**2.1.5 Planos estructurales.** Parte del apoyo de auxiliar de diseño al realizar la práctica se realizó mediante el dibujo y transcripción de diseños a planos. Como dibujante de planos estructurales, se realizaron esquemas que cumplieren con lo dispuesto en A.1.5.2.1 de la NSR-10 (AIS. 2010) y los requisitos acá expuestos:

- Firma o sello del diseñador estructural.
- Vistas en planta y/o perfil de ser necesario.
- Cuadro de especificaciones de diseño: resistencia del acero y concreto, cargas, detalles del estudio geotécnico, entre otras.
- Dimensiones de los elementos estructurales en su totalidad, ubicación y despiece de estos.
- Detalles estructurales de término aclaratorio y/o de sugerencia para el constructor.
- Detalles de empalmes, traslapos y ganchos.
- Versión, nombre del proyecto, escala y fecha del plano.

**2.1.5.1 Construcción de Despieces.** Esta actividad como auxiliar de ingeniería consistió en asignar el acero requerido calculado anteriormente de la interpretación de datos del software. Verificar longitudes de traslapo, calibre de barras de acero, distribución en la sección del elemento y facilitar detalles estructurales respectivos para vigas de cimentación, vigas principales y auxiliares y columnas (ver anexo 5 – planos estructurales) de acuerdo a la Tabla 2 del presente documento

TABLA C.3.5.3-2 DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO (Diámetros basados en octavos de pulgada)							
Designación de la barra	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES		Masa kg/m	LD (No. De veces x diámetro)	Traslapo cm	Traslapo + 30% cm
		Diámetro mm	Área cm <sup>2</sup>				
No. 2	1/4"	6,4	0,32	0,25	44	28	35
No. 3	3/8"	9,5	0,71	0,56	44	42	55
No. 4	1/2"	12,7	1,29	0,994	44	56	75
No. 5	5/8"	15,9	1,99	1,552	44	70	90
No. 6	3/4"	19,1	2,84	2,235	44	85	110
No. 7	7/8"	22,2	3,87	3,042	54	120	160
No. 8	1"	25,4	5,1	3,973	54	140	180

Figura 7. Guía en la asignación y cálculo de barras de acero y traslapos.

En conjunto con la empresa DALMO S.A.S se proponen una serie de recomendaciones para la asignación de traslapos en refuerzo longitudinal, tales como:

- Vigas: en términos de ubicación y longitud. Al aumentar la longitud del valor de traslapo un 30% del valor original, esto da lugar a realizar los traslapos en los centros de luz entre apoyos para zona negativa y positiva de la sección.
- Columnas: se siguió de igual forma el cálculo del nuevo valor de traslapo, a excepción que este se realizaba intercalo en el centro de altura entre cada piso.
- Con respecto a la separación de estribos, será para zonas confinadas,  $\frac{1}{4}$  de la dimensión menor de la sección cerca de los apoyos y en la zona de traslapo; y  $\frac{1}{2}$  de la misma dimensión para zona no confinada.
- En general, la longitud de gancho del inicio y final de las barras es 5 veces el número de la barra.

**2.1.5.2 Malla.** El traslapo entre las mallas electrosoldadas está ligado al diámetro de las barras que la componen. En los proyectos tratados comúnmente se usaron mallas de 6 milímetros con

traslapo de 40 centímetros o mallas No. 7 con traslapo de 1.20 metros. Ver Tabla 3 para mayor detalle de los tipos de mallas de refuerzo.

MALLAS SUPERIORES PLANTA PISO 1					
MALLA	DIMENSIONES				
	X (m)	Y (m)	Ø (mm)	SEPARACIÓN (m)	CANT.
S1	6.00	2.35	7.0	Cada 0.15	73
S2	6.00	2.05	7.0	Cada 0.15	1
S3	3.35	2.35	7.0	Cada 0.15	11
S5	4.10	2.35	7.0	Cada 0.15	3
S6	5.30	1.45	7.0	Cada 0.15	2
S7	1.50	2.35	7.0	Cada 0.15	7
S8	4.35	2.10	7.0	Cada 0.15	1
S9	5.15	2.05	7.0	Cada 0.15	1
S11	4.05	1.55	7.0	Cada 0.15	2
S12	3.50	1.80	7.0	Cada 0.15	1
S13	2.15	1.80	7.0	Cada 0.15	1
S14	5.35	2.35	7.0	Cada 0.15	1
S16	1.80	1.40	7.0	Cada 0.15	1
S21	4.10	1.35	7.0	Cada 0.15	1
S30	6.00	1.30	7.0	Cada 0.15	1
S31	3.70	2.35	7.0	Cada 0.15	10
S32	6.00	1.85	7.0	Cada 0.15	3
S33	3.70	2.15	7.0	Cada 0.15	1
S34	3.20	1.85	7.0	Cada 0.15	1
S35	3.20	2.35	7.0	Cada 0.15	3
S36	4.30	2.35	7.0	Cada 0.15	2
S38	2.50	2.35	7.0	Cada 0.15	8
S39	2.70	2.35	7.0	Cada 0.15	3
S40	5.20	2.05	7.0	Cada 0.15	1
S41	2.70	1.30	7.0	Cada 0.15	1
S47	2.35	1.00	7.0	Cada 0.15	1
S50	2.65	1.75	7.0	Cada 0.15	2
S51	4.55	1.60	7.0	Cada 0.15	1
S52	6.00	1.30	7.0	Cada 0.15	5
S53	3.35	1.30	7.0	Cada 0.15	1
S54	1.50	1.30	7.0	Cada 0.15	1
S55	5.35	0.85	7.0	Cada 0.15	1

Figura 8. Tipos de mallas planta tipo de un proyecto: nombre, dimensiones, separación y cantidad.

Nota. Tomado de: *Planos estructurales proyecto EDIC UIS.*

**2.1.6 Memoria de cálculo.** La memoria de cálculo es un compendio de cálculos numéricos lógicos que representan el complemento de los planos estructurales, garantizando todos los aspectos del diseño estructural, desde los cálculos realizados para la elaboración de los elementos hasta los cálculos tipos de los procedimientos realizados por el software, como fin de comprender lo realizado; que mostraran la veracidad de todos los chequeos requeridos según la NSR-10.

### 3. Actividades de apoyo a la ejecución de proyectos

#### 3.1 Definición de parámetros de diseño

**3.1.1 Definición de cargas de diseño.** Teniendo definidos los elementos que hacen parte del sistema estructural elegido, se evaluaron las cargas de diseño que afectan la estructura.

**3.1.1.1 Carga Muerta.** Corresponden al peso propio generado por la estructura y acabados.

**3.1.1.2 Carga Viva.** La respectiva carga viva se considera de acuerdo al uso que la estructura tendrá.

Con excepción del valor de peso propio el cual es calculado directamente por el software usado en la modelación numérica, se determina según el título B de la NSR-10.

Para los proyectos manejados, cargas para uso residencial, educativo y oficinas en su mayoría, se determinan según los valores mínimos establecidos por la tabla B.4.2.1-1 (AIS. 2010).

**3.1.1.3 Cargas sísmicas.** Debido al uso de una herramienta computacional como lo es ETABS. Internamente en su procedimiento se realiza el cálculo por medio del método modal espectral (Ver procedimiento en Figura 6).

El software de modelamiento construye el espectro de aceleración a partir de ingresar las variables que describen el comportamiento de la gráfica, y una vez lo define, simula las cargas

sísmicas generan según las características descritas previamente. Es necesario definir valores como:

- Tipo de suelo: con base en el estudio de suelos realizado por el ingeniero de geotecnia o con base en la clasificación dada en la NSR-10. En el área local de trabajo, rigen suelos tipo C y D.
- Coeficiente de importancia, ligado al uso de la edificación. En su mayoría, los proyectos manejados en DALMO, son de uso residencial, por lo tanto, estructuras de grupo I fueron el factor en común.
- Zona sísmica: se determina según los parámetros de aceleración pico efectiva  $A_a$  y velocidad pico efectiva  $A_v$ , puede ser baja, media o alta.

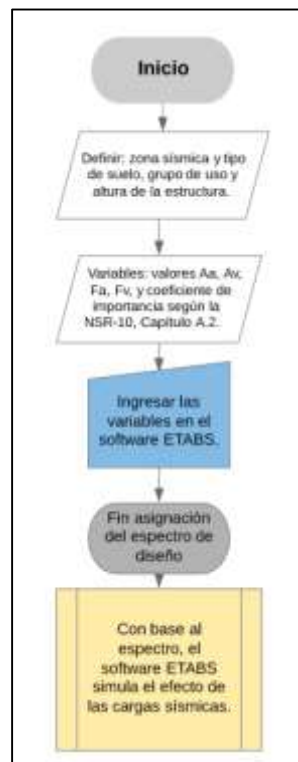


Figura 9. Diagrama de flujo de asignación de la fuerza sísmica.

La NSR-10 describe el método modal espectral para definir estas cargas, definiendo los valores para los coeficientes  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $F_a$  y  $F_v$ , todos determinados acordes al coeficiente de importancia y la información de la zona sísmica según el tipo de suelo, altura de la estructura y grupo de uso, se construye el espectro elástico de aceleraciones bajo el cual está sometida y que describe su comportamiento.

### 3.1.2 Modelación numérica tridimensional de la estructura en un software estructural.

La construcción del modelo para los proyectos de San Juan de la Cuesta y Florida de la Sierra, siguieron los siguientes pasos:

**3.1.2.1 Materiales.** Definir previamente los tipos de concreto según su resistencia  $f'_c$ . Locales y Salón Social: 28 MPa (4000 psi) y Florida de la Sierra: P1 a P11, 28 MPa y P11 a P19, 21 MPa (3000 psi).

**3.1.2.2 Espectro elástico de aceleración.** Tomando los valores del capítulo A.2. de la NSR-10 (AIS. 2010), se ingresan en la ventana del software en Response Spectrum Function.

- **Cargas de diseño:** se deben establecer los casos de carga necesarios para realizar los chequeos y verificaciones, y posteriormente los usados para cálculo de áreas de acero requeridas por los elementos estructurales.

LL: 1.8 [kN/m<sup>2</sup>] para cuartos privados y 3.0 [kN/m<sup>2</sup>] escaleras y áreas comunes.

**3.1.2.3 Vigas.** Se modelan tipo frame, asignando dimensiones, material y restricciones.

**3.1.2.4 Columnas.** Tipo frame, asignando dimensiones, material y restricciones, y adicionalmente con empotramiento en la base.

**3.1.2.5 Muros.** Tipo Shell, asignación espesor y más tarde cuando se dibujó, longitud correspondiente.

**3.1.2.6 Losas.** Tipo membrana, simulando un comportamiento más acercado a la realidad, o tipo Shell.

Diseños CAD se convirtieron directamente en modelos ETABS permitiendo simplificar una etapa del diseño, usando como plantillas a partir de los cuales se pudo realizar el modelado. Por ejemplo, para el proyecto Campamento La Sierra, se aplicó la siguiente estrategia de trabajo:

- Generar un archivo de extensión dxf: partiendo de los planos arquitectónicos en el programa AutoCAD, donde se ubicaron los muros de carga, el borde de la losa y los vacíos existentes. Los elementos pertenecientes al sistema estructural en los layers, luego se lleva al origen (0, 0, 0). Finalmente, se guarda una versión del archivo dxf.
- Importar un archivo dxf al software: siguiendo la ruta. File, Import y seleccionamos el archivo dxf. Acontinuacion en Options, Architectural Plan Oprtions, se apagan las capas dejando solo la de los elementos estructurales a replicar activa.
- Adicionar elementos estructurales: haciendo click derecho, Add Area, Wall, Column o Beam Object se genera el modelo del elemento.

Siguiendo, se verifican en las vistas que las características asignadas del archivo de AutoCAD al software sean consistentes y se modifican las secciones establecidas por ETABS a la hora de simular los elementos, revisando dimensiones y material asignados por este.

**3.1.3 Análisis estructural.** Habiendo construido en el software la estructura, se realiza los chequeos y verificaciones correspondientes con el fin de ver el efecto generado en la estructura. Tales como periodos en los modos de vibración principales, volumen de carga que corresponda la estructura, derivas y fallas de diseño.

Internamente el software, realiza un análisis dinámico a través del método modal espectral de acuerdo a los parámetros de la NSR-10 tenidos en cuenta por la herramienta computacional.

### **3.2 Información adicional y/o cambios**

En muchos casos, luego de la supervisión técnica, ya sea por parte de la entidad reguladora o el propietario de la obra; suelen generarse cambios: modificación arquitectónica de la estructura, alteraciones de cargas por parte del uso de la estructura, condiciones que no se cumplen según la NSR-10, entre otros.

- Después de discutir los resultados entregados, por medio de reuniones con el diseñador y representantes de las demás áreas, el diseñador y los dibujantes realizan los cambios pendientes en un periodo de tiempo corto con el fin de no detener el ritmo de planeación del proyecto. Como se dio el caso en el proyecto EDIC UIS, las actividades de excavación y construcción del proyecto habían iniciado, por lo cual, se requerían los planos estructurales corregidos.
- Se realiza una reunión final, donde se ratifica y verifica el cumplimiento de los objetivos y cambios realizados, haciendo entrega final del proyecto.

El avance de las actividades de obra, es también controlado por parte del diseñador, por lo cual, es necesario la visita del diseñador cada cierto periodo de tiempo con el fin de brindar

observaciones y/o aportar detalles adicionales necesarios por el constructor como parte del compromiso de las partes interesadas.

#### 4. Conclusiones

Se comprueba la importancia de asignar un correcto sistema estructural de acuerdo al cumplimiento del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), además de la posible optimización del diseño de acuerdo a criterios de economía, viabilidad y seguridad, como en la asignación de las barras de refuerzo para los elementos estructurales que cumplieren una relación adecuada de acero suministrado y requerido, pero sin exceder arbitrariamente estas cantidades tal como se explicó del Anexo 3 - hoja de cálculo de refuerzo.

El manejo de hojas de cálculo guía, permitió la optimización de tareas mecánicas como lo son interpretar resultados de refuerzo del software de modelamiento, determinando calibre y cantidad de refuerzo adecuado. Además de cumplir con requerimientos de seguridad, funcionalidad y costos que, como ingenieros, tenemos la obligación tener en cuenta.

Se realizó efectivamente el apoyo a diferentes proyectos de diseño y en especial, se denotó en cada uno de ellos, que las revisiones realizadas por la entidad encargada sustentaron cada proyecto por parte de la empresa, aprueban y garantizan los parámetros de la NSR-10 en el desarrollo de esta práctica.

### Referencias Bibliográficas

Academica (10 de agosto de 2018). Obtenido de <https://www.guiaacademica.com>.

AIS, A. C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Títulos A, B, C. Bogotá.

Building SMART. BIM. España. Obtenido de <https://www.buildingsmart.es>.

CSi. ETABS. España. Obtenido de <https://www.csiespana.com>.

DALMO S.A.S. Empresa. Obtenido de <https://www.dalmoingenieria.com>

El Espectador. (4 de Junio de 2019). Obtenido de <https://www.elespectador.com>.

ESPACIOBIM. Autodesk Revit. (2015). Obtenido de <https://www.espaciobim.com>.

Rochel, R. (2012). *Análisis y Diseño Sísmico de Edificios*. 2da Ed. Medellín: Fondo editorial Universidad EAFIT EL TIEMPO. Guía