

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL  
MUNICIPIO DE BUCARAMANGA COMO AUXILIAR DE DISEÑO ESTRUCTURAL

MARY ALEXANDRA MALDONADO RINCÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
BUCARAMANGA

2023

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL  
MUNICIPIO DE BUCARAMANGA COMO AUXILIAR DE DISEÑO ESTRUCTURAL

MARY ALEXANDRA MALDONADO RINCÓN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

ALEXIS VEGA ARGUELLO

INGENIERO CIVIL ESP. EN ESTRUCTURAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA

2023

## **DEDICATORIA**

A Dios por la oportunidad de formarme como profesional, por darme fuerza y sabiduría para continuar en este proceso y ser mi guía en cada uno de mis pasos.

A mis padres y hermano por su amor, sacrificio y apoyo incondicional durante estos años, para ellos que siempre han confiado en mí, son mi mayor motivación.

A mis colegas y amigos por su compañía y apoyo durante mi formación, con quienes compartí gratos momentos, gracias por estar allí.

A todas las personas que me han apoyado e hicieron de este trabajo un éxito, especialmente a los que me dedicaron de su tiempo y compartieron sus conocimientos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN -----	14
1. OBJETIVOS-----	16
1.1. OBJETIVO GENERAL -----	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	16
2. DESCRIPCIÓN DE LA ENTIDAD-----	17
2.1. MISIÓN -----	17
2.2. VISIÓN -----	17
2.3. POLÍTICA DE CALIDAD -----	18
2.4. SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA -----	18
3. MARCO REFERENCIAL -----	19
3.1. PLANEACIÓN -----	19
3.2. ANÁLISIS -----	19
3.3. DISEÑO -----	20
3.4. CONSTRUCCIÓN-----	21
3.5. MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL -----	21
3.6. PLANOS ESTRUCTURALES -----	21
3.7. CÁLCULO DE CANTIDADES DE OBRA -----	22
3.8. BIM (BUILDING INFOMATION MODELING)-----	22

4. METODOLOGÍA -----	23
4.1. ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR-----	23
4.2. VISITA DE RECONOCIMIENTO -----	24
4.3. REVISIÓN E INTERPRETACIÓN DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS -----	24
4.4. SISTEMA ESTRUCTURAL -----	26
4.5. ANÁLISIS DE CARGAS-----	26
4.6. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL -----	26
4.6.1. Parámetros y coeficientes del sistema estructural-----	27
4.6.2. Modelo matemático y análisis sísmico de la estructura -----	28
4.7. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES--	32
4.8. GENERACIÓN DE PLANOS ESTRUCTURALES -----	33
4.9. CANTIDADES DE OBRA ESTRUCTURAL-----	34
5. RESULTADOS -----	35
5.1. PROYECTO REPOTENCIACIÓN INSTITUCIÓN EDUCATIVA INEM CUSTODIO GARCÍA ROVIRA -----	35
5.1.1. Evaluación de cargas -----	36
5.1.2. Nivel de amenaza sísmica-----	37
5.1.3. Movimientos sísmicos de diseño -----	38
5.1.4. Características de la estructura y material estructural empleado -----	39
5.1.5. Modelo matemático y procedimiento de análisis -----	41
5.1.6. Grado de irregularidad de la estructura -----	43
5.1.6.1. Irregularidad Torsional -----	43
5.1.6.2. Irregularidad Sistemas no Paralelos -----	45
5.1.6.3. Irregularidad por Ausencia de Redundancia -----	46
5.1.6.4. Resumen de Irregularidades -----	46
5.1.7. Determinación de las fuerzas sísmicas -----	47

5.1.8. Combinaciones de carga -----	48
5.1.9. Análisis Sísmico de la estructura -----	50
5.1.10. Desplazamientos horizontales y verificación de derivas -----	50
5.1.11. Especificaciones del diseño de los elementos estructurales -----	51
5.1.12. Generación de planos estructurales -----	53
5.1.13. Cantidades de obra estructural -----	55
6. CONCLUSIONES -----	56
BIBLIOGRAFÍA -----	58

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Irregularidad en altura $\phi_a$ -----	30
<b>Tabla 2.</b> Irregularidad en planta $\phi_p$ -----	31
<b>Tabla 3.</b> Evaluación de cargas estructuras Colegio INEM-----	36
<b>Tabla 4.</b> Zona de amenaza sísmica -----	37
<b>Tabla 5.</b> Efectos Locales -----	38
<b>Tabla 6.</b> Coeficiente de importancia-----	38
<b>Tabla 7.</b> Periodos de vibración del espectro de diseño, en segundos -----	39
<b>Tabla 8.</b> Coeficientes del sistema estructural -----	40
<b>Tabla 9.</b> Materiales empleados -----	40
<b>Tabla 10.</b> Irregularidad Torsional-----	44
<b>Tabla 11.</b> Puntos por Verificar Irregularidad Torsional en Módulo Baños -----	44
<b>Tabla 12.</b> Verificación de Irregularidad Torsional en Módulo Baños-----	45

<b>Tabla 13.</b> Irregularidad Sistemas no Paralelos -----	45
<b>Tabla 14.</b> Verificación Irregularidad por Ausencia de Redundancia -----	46
<b>Tabla 15.</b> Resumen de Irregularidades Módulos de Baños, Estación de Radio y Cafetería-----	47
<b>Tabla 16.</b> Ajuste por Fuerza Horizontal Equivalente Módulo de Baños-----	47
<b>Tabla 17.</b> Combinaciones de carga Mayoradas-----	49
<b>Tabla 18.</b> Participación Modal Módulo de Baños -----	50
<b>Tabla 19.</b> Verificación de Derivas Módulos de Baños -----	51
<b>Tabla 20.</b> Especificaciones de Diseño Estructural-----	51

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
<b>Ilustración 1.</b> Logo Alcaldía de Bucaramanga -----	17
<b>Ilustración 2.</b> Portería principal Colegio INEM -----	24
<b>Ilustración 3.</b> Planta Módulo baños -----	25
<b>Ilustración 4.</b> Planta Estación de radio-----	25
<b>Ilustración 5.</b> Planta cafetería -----	25
<b>Ilustración 6.</b> Espectro elástico de aceleraciones de diseño. NSR-10. -----	27
<b>Ilustración 7.</b> Plano Planta Nivel 1 Muros, Módulo de baños INEM, generado en Autodesk Revit. -----	33
<b>Ilustración 8.</b> Espectro elástico de diseño -----	39
<b>Ilustración 9.</b> Modelo en ETABS 3D Módulo Baños-----	42
<b>Ilustración 10.</b> Modelo en ETABS 3D Estación de Radio-----	42
<b>Ilustración 11.</b> Modelo en ETABS 3D Cafetería -----	43
<b>Ilustración 12.</b> Modelo 3D Módulo de Baños-----	53

**Ilustración 13.** Modelo 3D Estación de Radio----- 54

**Ilustración 14.** Modelo 3D Cafetería----- 54

## **LISTA DE ANEXOS**

**(Ver anexos adjuntos y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)**

**ANEXO A.** Planos Arquitectónicos de los módulos de baños, cafetería y estación de radio del colegio INEM

**ANEXO B.** Verificación de Irregularidad Torsional en Estación de Radio y Cafetería

**ANEXO C.** Verificación Irregularidad por Ausencia de Redundancia en Estación de Radio y Cafetería

**ANEXO D.** Ajuste por Fuerza Horizontal Equivalente en las estructuras Estación de Radio y Cafetería

**ANEXO E.** Participación modal en las estructuras Estación de Radio y Cafetería

**ANEXO F.** Verificación de Derivas en las estructuras Estación de Radio y Cafetería

**ANEXO G.** Planos estructurales del Módulo de Baños, Estación de Radio y Cafetería

**ANEXO H.** Cantidades de obra estructural del Módulo de Baños, Estación de Radio y Cafetería

## RESUMEN

**Título:** Práctica empresarial en la Secretaría de Infraestructura del Municipio de Bucaramanga como auxiliar de diseño estructural. \*

**Autor:** Mary Alexandra Maldonado Rincón \*\*

**Palabras Clave:** Planos estructurales, Análisis estructural, Diseño, Etabs, Revit, Cantidad de obra estructural.

### **Descripción:**

Este documento tiene como objeto presentar el desarrollo de las actividades realizadas durante el periodo de duración de las prácticas empresariales como auxiliar de ingeniería civil, brindando apoyo y acompañamiento técnico en el desarrollo de los diseños estructurales asignados por el equipo encargado del área estructural de la Secretaría de infraestructura del Municipio de Bucaramanga. En las actividades realizadas se aplicaron los procedimientos de diseño y construcción de acuerdo con los lineamientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 y las metodologías y procesos empleados por el equipo del área estructural. Dentro de estas actividades se brindó el apoyo en la elaboración de memorias de cálculo, estimación de cantidades y elaboración de planos estructurales de las edificaciones asignadas las cuales corresponden a los módulos de baños, cafetería y estación de radio de la Institución Educativa INEM Custodio García Rovira, siendo unas de las edificaciones nuevas que se llevarán a cabo en dicha institución. Con el propósito de proyectar y realizar los diferentes chequeos de los diseños asignados se realizaron los modelos matemáticos y planos estructurales implementando softwares de modelamiento tridimensional. Finalmente, se presentan las evidencias y conclusiones de los resultados obtenidos durante la práctica, de la cual se alcanzó un desempeño óptimo en la realización de las labores designadas, complementando los conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Alexis Vega Arguello, Ingeniero Civil Esp. en Estructuras.

## ABSTRACT

**Title:** Business practice in the Secretariat of Infrastructure of the Municipality of Bucaramanga as structural design assistant. \*

**Author:** Mary Alexandra Maldonado Rincón \*\*

**Keywords:** Structural plans, Structural analysis, Design, Etabs, Revit, Amount of structural work.

### **Description:**

This document aims to present the development of the activities carried out during the period of duration of the business practices as a civil engineering assistant, providing support and technical assistance in the development of the structural designs assigned by the team in charge of the structural area of the Secretariat of infrastructure of the Municipality of Bucaramanga. In the activities carried out, the design and construction procedures were applied in accordance with the guidelines of the Colombian Earthquake Resistant Construction Regulation, NSR-10, and the methodologies and processes used by the team in the structural area. Within these activities, support was provided in the preparation of calculation reports, estimation of quantities and preparation of structural plans of the assigned buildings, which correspond to the bathrooms, cafeteria and the radio station of the Educational Institution INEM Custodio García Rovira, being some of the new buildings that will be carried out in said institution. With the purpose of projecting and carrying out the different checks of the assigned designs, the mathematical models and structural plans were made by implementing three-dimensional modeling software. Finally, the evidence and conclusions of the results obtained during the practice are presented, from which optimal performance was achieved in carrying out the designated tasks, complementing the knowledge acquired during the university career.

---

\* Degree work

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Alexis Vega Arguello, Civil Engineer Esp. in Structures.

## INTRODUCCIÓN

El desempeño profesional de un ingeniero civil está determinado por las bases teóricas obtenidas en su formación académica, son este conjunto de saberes técnicos e ingenieriles los que van a dar paso al desarrollo de competencias que permitirán la identificación y análisis de problemas, así como el planteamiento de soluciones eficaces y sostenibles. Adicionalmente es necesario actualizar conocimientos constantemente y mantenerse en continuo aprendizaje para brindar siempre resultados de calidad de la mano del uso de nuevas tecnologías.

El estudiante que aspira a ser competitivo dentro de su entorno laboral debe aprender a interactuar con los demás y desarrollar fortalezas individuales como las mencionadas anteriormente. En vista de que la Universidad Industrial de Santander ofrece la posibilidad de realizar prácticas empresariales como modalidad de proyecto de grado, se ha determinado desarrollar dicha práctica en la Secretaría de Infraestructura del Municipio de Bucaramanga. Dentro de las funciones principales de la secretaría de Infraestructura se encuentran la planeación, formulación, ejecución y control de los planes y proyectos, programas de la administración municipal en materia de inversión en infraestructura y alumbrado público del municipio de acuerdo con los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, y marco legal vigente en la materia.

Son las prácticas empresariales las que van a facilitarle al estudiante el proceso de adaptación al medio profesional, afianzar y complementar los conocimientos adquiridos en la universidad, enfrentando a la persona a situaciones reales que requieren la intervención de sus habilidades para evaluar, planificar y poner en marcha alternativas que cumplan con los estándares y disposiciones de los entes reguladores que supervisan el ejercicio profesional del ingeniero.

Este documento tiene como objeto presentar y describir las actividades realizadas con la Secretaría de Infraestructura del Municipio de Bucaramanga bajo la dirección del tutor asignado, dando cumplimiento a las labores designadas durante el periodo de duración de la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil, brindando apoyo y acompañamiento técnico en el desarrollo de los diseños estructurales.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Apoyar como auxiliar de ingeniería civil en la Alcaldía Municipal de Bucaramanga, en el análisis y diseño de elementos estructurales, estimación de cantidades y elaboración de planos estructurales correspondientes a las edificaciones implementadas en los proyectos estructurales que adelanta la Secretaría de infraestructura.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Adquirir habilidades para evaluar, planificar y poner en marcha alternativas que cumplan con las normas y disposiciones de los entes reguladores que supervisan el ejercicio profesional del ingeniero.
- Apoyar en el análisis y diseño de estructuras de los proyectos asignados por la Secretaría de infraestructura de la Alcaldía Municipal de Bucaramanga.
- Participar en la elaboración de los planos estructurales, estimación de cantidades y memorias de cálculo de los proyectos que se lleven a cabo.
- Apoyar en el reconocimiento de las obras a realizar mediante visitas técnicas, de acuerdo con los proyectos que ejecute la Secretaría de infraestructura.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ENTIDAD

*Ilustración 1. Logo Alcaldía de Bucaramanga*



Fuente: Alcaldía de Bucaramanga

### 2.1. MISIÓN

El Municipio de Bucaramanga es una entidad territorial encargada de asegurar el desarrollo y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes garantizando el acceso a oportunidades y al desarrollo del ser humano como eje fundamental de la sociedad, con sentido de responsabilidad frente a las generaciones futuras, cumple su propósito promoviendo la participación ciudadana, con valores, principios y transparencia en su gestión (Alcaldía Bucaramanga, 2016).

### 2.2. VISIÓN

Bucaramanga será una ciudad vivible, sostenible y vibrante, una ciudad en la que sus habitantes sean felices, educados y se encuentren satisfechos con la oferta de bienes y servicios puesta a su disposición. Una ciudad inteligente que cuente con datos precisos, georreferenciados y recogidos en tiempo real, para tomar las mejores decisiones en términos de localización de infraestructura, seguridad, ubicación de equipamientos y dispositivos que ayuden a consolidar espacios seguros, en donde la gente pueda transitar libremente y desarrollar actividades lúdicas, deportivas y recreativas, aumentando así el disfrute de la ciudad. Una ciudad con una infraestructura tecnológica que permita tomar

decisiones acertadas y así focalizar acciones para atender a la población más necesitada de la ciudad. Una Bucaramanga en donde sus habitantes progresen y se quieran quedar (Alcaldía Bucaramanga, 2016).

### **2.3. POLÍTICA DE CALIDAD**

El Municipio de Bucaramanga es ente territorial encargada del desarrollo y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, basado en la efectividad, transparencia y legalidad. Prestando oportuna y eficientemente servicios a los diferentes sectores de la comunidad, acorde a las necesidades de la ciudadanía, las exigencias del medio y el cumplimiento de la Constitución y las Leyes, fomentando el autocontrol y la autogestión, para alcanzar la satisfacción de los usuarios. Centrada en un sistema de gerencia participativa, garantizando la identificación y la prevención de las condiciones y factores que afectan la salud y seguridad de los servidores públicos, para garantizar un ambiente de trabajo adecuado, el uso eficiente de los recursos y el compromiso para estar a la vanguardia en conocimientos, técnicas y metodologías que contribuyan al desarrollo de la competitividad y a la mejora continua del Sistema de Gestión y Control Sistema Integrado de Gestión y Control (Alcaldía Bucaramanga, 2016).

### **2.4. SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA**

Tiene como propósito gestionar y accionar eficazmente la planeación, construcción, optimización, adecuación y mantenimiento de proyectos de transporte e infraestructura en los diferentes sectores de interés general, tales como: salud, educación, electrificación, energía, telecomunicaciones, recreación y deporte, espacio público, agua potable y saneamiento básico, con el objetivo de brindar a los pobladores de Santander una mejor calidad de vida (Gobernación de Santander, 2017).

### **3. MARCO REFERENCIAL**

El proceso de creación de una estructura requiere planeación, análisis, diseño y construcción. A continuación, se hará una breve descripción de cada una de estas etapas y demás conceptos fundamentales considerados en el apoyo durante la práctica empresarial.

#### **3.1. PLANEACIÓN**

Al crear una estructura para que cumpla una función específica de uso público, primero debe considerarse la selección de una forma estructural que sea segura, estética y económica. Ésta es usualmente la fase más difícil y a la vez más importante de la ingeniería estructural. A menudo se requieren varios estudios independientes de diferentes soluciones antes de decidir cuál es la forma (arco, armadura, marco, etc.) más apropiada. Una vez tomada esta decisión, se especifican entonces las cargas, materiales, disposición de los miembros y sus dimensiones de conjunto. Está claro que la habilidad necesaria para llevar a cabo esas actividades de planeación se adquiere normalmente después de varios años de experiencia en el arte y ciencia de la ingeniería (Russell.C. Hibbeler, 1997).

#### **3.2. ANÁLISIS**

Por análisis se entiende el estudio del comportamiento de una estructura; aquí la estructura es dato, y mediante su análisis se obtiene el cómo funciona en determinadas condiciones. El análisis valida o inválida las decisiones de diseño, cuando no se cuenta con procedimientos de cálculo capaces de definir la estructura (Gonzalez, 2010).

Para analizar apropiadamente una estructura, deben hacerse ciertas idealizaciones sobre cómo están soportados y conectados los miembros entre sí. Una vez que se ha

determinado esto y se han especificado las cargas, las fuerzas en los miembros y sus desplazamientos pueden encontrarse utilizando la teoría de la mecánica estructural (Russell.C. Hibbeler, 1997).

### **3.3. DISEÑO**

Por diseño de estructuras se entiende el procedimiento general que lleva a la definición de una estructura. La estructura es la incógnita y los datos son los requisitos estructurales, el tipo de edificio, las alturas, las restricciones a la ubicación de los elementos y al tamaño de las partes estructurales, el contexto, etc. El resultado es la determinación de todos los elementos de la estructura: material, disposición, sección, armado, etc. (Gonzalez, 2010).

Para diseñarla es necesario determinar tanto su forma general como sus detalles, lo cual se realiza mediante cálculos de todo tipo. El cálculo es una herramienta local para encontrar el valor de los elementos con problemas de tipo estructural: se calculan las armaduras, los arriostramientos, las secciones de los soportes, etc.; con los cálculos se define la geometría de los elementos de la estructura. Para diseñar una estructura es necesario definir todos sus elementos, lo que conlleva necesariamente cálculos de todos ellos. El diseño ordena el proceso de determinación utilizando las herramientas disponibles en cada nivel (Gonzalez, 2010).

Una vez obtenidas las cargas internas de un miembro, el tamaño de éste puede determinarse de manera que se satisfagan los criterios de resistencia, estabilidad y deflexión, como está asentado en las normas y códigos locales. Además, las conexiones entre los miembros pueden diseñarse por resistencia y las dimensiones detallarse de manera que todas las partes queden ajustadas entre sí en forma apropiada (Russell.C. Hibbeler, 1997).

### **3.4. CONSTRUCCIÓN**

La fase final requiere ordenar los diversos componentes de la estructura y planear las actividades que implica el montaje real de ésta. Respecto a esto, todas las fases de la construcción deben inspeccionarse para garantizar que la estructura está siendo construida de acuerdo con los planos de diseño especificados (Russell.C. Hibbeler, 1997).

### **3.5. MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL**

Una memoria de cálculo estructural es un documento descriptivo donde se reflejan de manera exhaustiva los procedimientos aplicados, en este caso, para el cálculo de determinada estructura y el dimensionamiento de cada uno de sus elementos. Para que la memoria cumpla con su función, la misma debe contener y transmitir con claridad una serie de capítulos o contenidos mínimos, que pueden variar según la normativa de cada país o el tipo de estructura (STRUCTURALIA, 2021).

### **3.6. PLANOS ESTRUCTURALES**

Los planos estructurales son la representación gráfica de todos los elementos estructurales que plantea un proyecto. Estos muestran cotas, dimensiones lineales superficiales y volumétricas de todas las construcciones y acciones que conforman los trabajos desarrollados por el proyectista. Además, tienen como misión, definir, junto con otros documentos de forma unívoca el objeto del proyecto; y definir las obras que ha de desarrollar el Contratista. También son los documentos más utilizados y por ello han de ser completos, suficientes y concisos, es decir, incluir toda la información necesaria para poder ejecutar la obra objeto del proyecto en la forma más concreta posible y sin dar información inútil o innecesaria. Los planos tienen carácter vinculante en las reclamaciones jurídicas, por lo que un error o un defecto en un plano pueden tener efectos de gran repercusión sobre el proyecto (Cáceres & Jaimes, 2007).

### **3.7. CÁLCULO DE CANTIDADES DE OBRA**

La revisión de las cantidades de obra se realiza verificando las medidas de los diferentes planos de diseño del proyecto respecto a los cálculos de la memoria de cantidades; o en el caso de proyectos de mejoramiento, adecuación y/o mantenimiento de edificaciones donde no se cuenta con planos del lugar, se verifican por medio de medidas tomadas en el sitio por medio de una visita técnica. La memoria de cantidades es el documento que contiene las medidas y cantidades de cada ítem del presupuesto general de manera ordenada y debidamente justificadas en términos de su correspondiente unidad de medida (Barbosa, 2021).

### **3.8. BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)**

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar. Esta información puede ser de tipo formal, pero también puede referirse a aspectos como los materiales empleados y sus calidades físicas, los usos de cada espacio, la eficiencia energética de los cerramientos, etc. (Coloma Picó et al., 2008).

## **4. METODOLOGÍA**

En el desarrollo de la práctica empresarial realizada en la Secretaría de Infraestructura del Municipio de Bucaramanga se planteó la siguiente metodología, con el fin de, alcanzar los objetivos propuestos. Cada actividad estuvo bajo supervisión del tutor asignado dando así cumplimiento a estas en el tiempo requerido.

### **4.1. ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR**

Una vez se obtuvo la aprobación de la realización de las prácticas por parte del comité de trabajos de grado con la Alcaldía Municipal de Bucaramanga, se hizo efectiva la vinculación con la entidad, y se realizaron los trámites necesarios para la contratación. A su vez, se recibió una inducción por parte de la entidad para finalmente asignar las actividades que se llevaron a cabo de acuerdo con los proyectos que adelanta la secretaria de infraestructura del municipio de Bucaramanga.

Dentro de los proyectos que se adelantan en la Secretaría de Infraestructura se encuentran la revitalización de colegios, esto como apuesta a mejorar la infraestructura educativa de la ciudad. El proyecto donde se brindó apoyo corresponde a la repotenciación de la institución educativa INEM Custodio García Rovira, una obra pública de inversión social orientada al mantenimiento, construcción y adecuación de sus instalaciones, edificaciones, espacios y zonas libres, donde fueron asignadas algunas de las edificaciones nuevas que se llevarán a cabo en dicha institución, con el propósito de generar espacios agradables y funcionales a la comunidad educativa y así dar un mayor confort.

## 4.2. VISITA DE RECONOCIMIENTO

El propósito de la visita es poder reconocer la zona en donde se desarrollará el proyecto y comprobar la condición actual del mismo. Por lo tanto, es fundamental comprender también la realidad social del área de influencia directa e indirecta del proyecto, lo que a su vez dará pie para conocer donde se localizan las problemáticas más sentidas de acuerdo con su estado físico y estructural. La respectiva visita se realizó con miembros del taller de arquitectura y del equipo encargado del área estructural.

*Ilustración 2. Portería principal Colegio INEM*

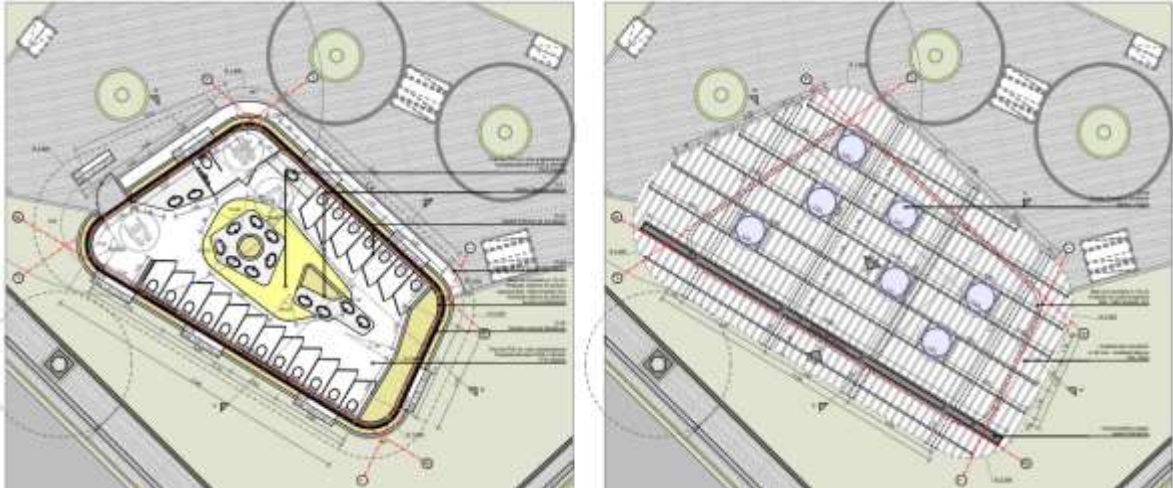


Fuente: Proyecto Repotenciación Institución Educativa INEM Custodio García Rovira

## 4.3. REVISIÓN E INTERPRETACIÓN DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS

En esta etapa se planteó la revisión de los planos arquitectónicos proyectados por miembros del taller de arquitectura, identificando a detalle la ubicación, diseños y dimensiones de las edificaciones asignadas las cuales corresponden a los módulos baños, cafetería y estación de radio del colegio INEM, esta revisión se realizó en conjunto con los arquitectos líder de diseño del proyecto. En las siguientes imágenes se puede apreciar la distribución arquitectónica de los módulos de baños, cafetería y estación de radio:

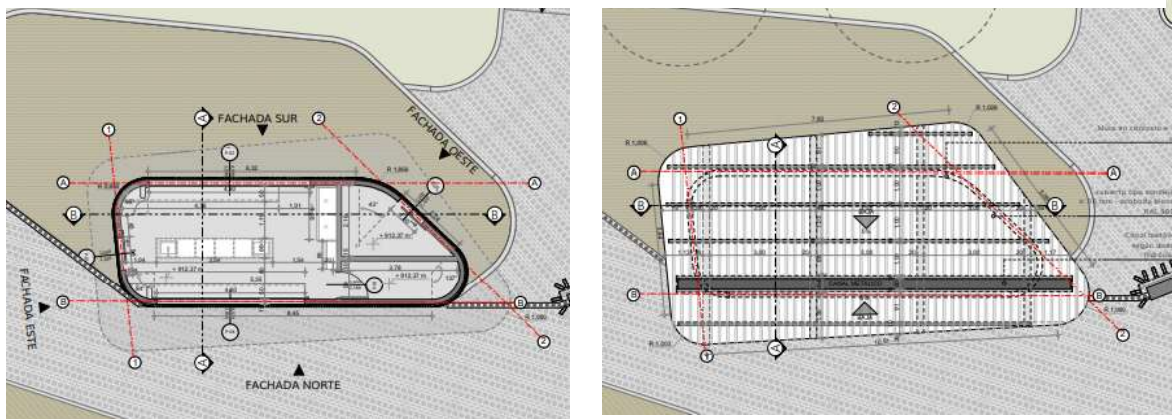
**Ilustración 3. Planta Módulo baños**



**Ilustración 4. Planta Estación de radio**



**Ilustración 5. Planta cafetería**



#### **4.4. SISTEMA ESTRUCTURAL**

Una vez hecha la revisión y de acuerdo con la configuración arquitectónica se procedió a definir el sistema estructural de resistencia sísmica, sistema de cubierta, vigas auxiliares y demás especificaciones, con el fin de, evaluar las diferentes solicitaciones necesarias para realizar el análisis de la estructura tales como: la masa de la estructura, las cargas muertas, las cargas vivas, los efectos sísmicos y las fuerzas de viento. Tomado de la tabla A.1.3-1 de la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

#### **4.5. ANÁLISIS DE CARGAS**

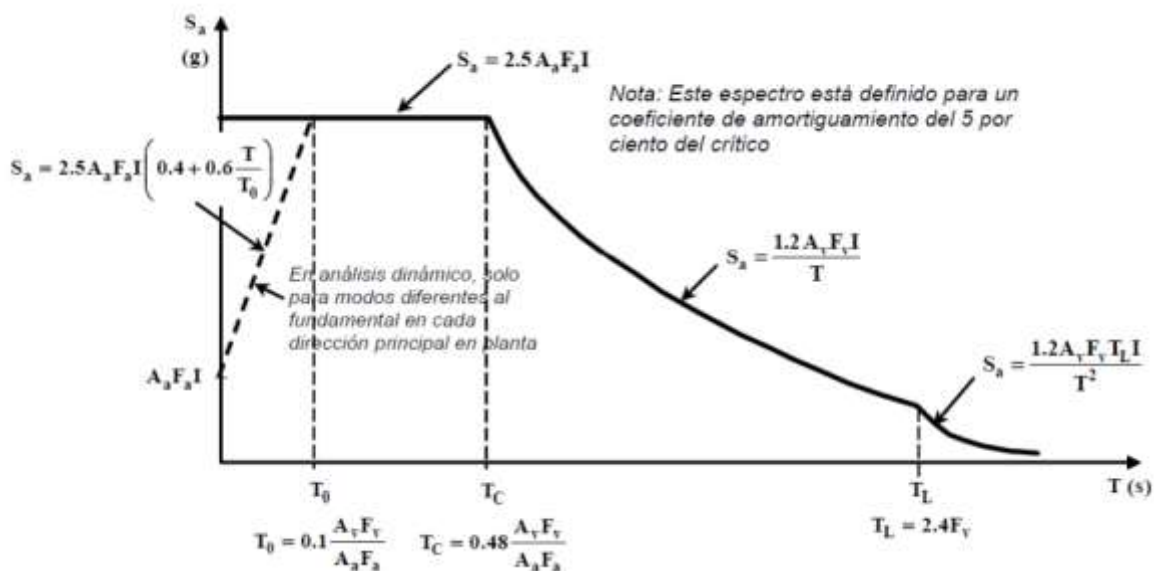
Luego de tener definido el sistema y material estructural se realizó el análisis de cargas, el cual permitió determinar la masa de la edificación y con ello fue posible saber el peso total que la edificación transfiere a su cimentación, y por ende la carga que la cimentación transfiere al terreno sobre el que se asienta. Una edificación puede verse afectada por acciones estructurales que inducen tensión, deformación y desplazamientos en la estructura. Estas cargas estructurales se evaluaron en función a las solicitaciones del Reglamento Colombiano NSR-10.

#### **4.6. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL**

De acuerdo con los procedimientos y criterios descritos en el Título A del Reglamento Colombiano NSR-10, en la Tabla A.1.3-1 Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes, se procedió a realizar el modelamiento y análisis estructural de las edificaciones haciendo uso del software ETABS (Versión 19.1.0), con apoyo del tutor asignado de la Entidad quien se encargó de verificar el adecuado funcionamiento de los modelos.

**4.6.1. Parámetros y coeficientes del sistema estructural.** En esta fase lo primero que se determinó fue el nivel de amenaza sísmica (alta, intermedia o baja) de acuerdo con la ubicación del proyecto. En el Apéndice A-4 del título A del reglamento NSR-10, se define para cada municipio colombiano, la zona de amenaza sísmica de acuerdo con los valores de los parámetros  $A_a$  (aceleración pico efectiva) y  $A_v$  (velocidad pico efectiva), los cuales definen los movimientos sísmicos de diseño. Mediante el estudio geotécnico se obtiene el tipo de perfil del suelo y su clasificación se hace de acuerdo con la Tabla A.2.4-1, con esta información es posible determinar los efectos locales que se pueden presentar, los valores de estos coeficientes se dan en las Tablas A.2.4-3 y A.2.4-4, los cuales inciden en la ampliación o reducción del espectro de diseño. Otro factor importante fue determinar el coeficiente de importancia conforme al tipo de uso de la edificación y sus valores se encuentran en la Tabla A.2.5-1 del reglamento NSR-10. Estos parámetros y coeficientes definidos se expresan por medio de un espectro elástico de diseño.

**Ilustración 6.** Espectro elástico de aceleraciones de diseño. NSR-10.



Fuente: (AIS, 2010)

**$A_a$ :** Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.

- $A_v$ :** Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.
- $F_a$ :** Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debido a los efectos de sitio, adimensional.
- $F_v$ :** Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debido a los efectos de sitio, adimensional.
- $I$ :** Coeficiente de importancia.
- $S_a$ :** Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo  $T$ .
- $T$ :** Periodo de vibración del sistema elástico, en segundos.
- $T_0$ :** Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones, en segundos.
- $T_c$ :** Periodo de vibración correspondiente a la transmisión entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo, en segundos.
- $T_L$ :** Periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos, en segundos.

**4.6.2. Modelo matemático y análisis sísmico de la estructura.** Con el fin de generar una idealización matemática para representar el comportamiento real de la estructura, se procedió a realizar el modelo matemático de la estructura en el software de análisis sismo resistente ETABS de acuerdo con la distribución arquitectónica, el sistema estructural definido, el material estructural y demás parámetros necesarios para su correcto análisis. Este análisis se realizó por medio del método de análisis dinámico modal espectral y el ajuste de los resultados como indica en el artículo A.5.4.5 se hizo por la fuerza horizontal equivalente de acuerdo con los factores de modificación donde el cortante total dinámico en la base,  $V_{tj}$ , para cualquiera de las direcciones no puede ser menor al 80 por ciento para estructuras regulares y al 90 por ciento para estructuras irregulares del cortante sísmico de la base,  $V_s$ .

***Ecuación 1. Coeficiente para estructuras regulares***

$$0.8 \frac{V_s}{V_{tj}}$$

***Ecuación 2. Coeficiente para estructuras irregulares***

$$0.9 \frac{V_s}{V_{tj}}$$

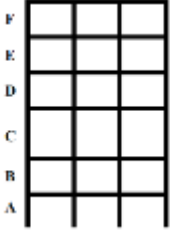
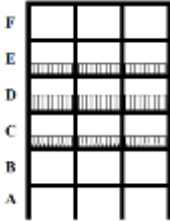
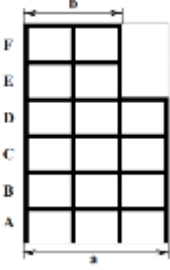
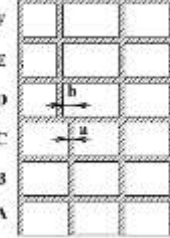
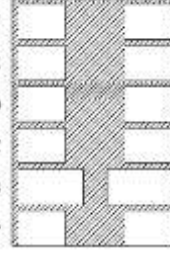
Donde:

$V_s$ : Cortante sísmico de diseño en la base

$V_{tj}$ : Cortante sísmico en la base total en la dirección analizada

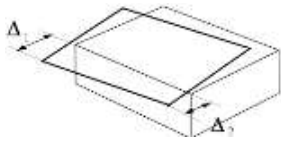
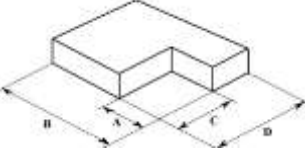
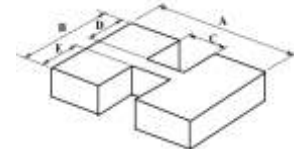
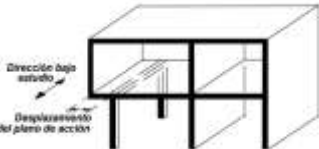
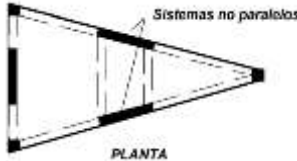
Como se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2, las irregularidades de las estructuras pueden presentarse ya sea en altura ( $\phi_a$ ), en planta ( $\phi_p$ ), o ambas y también se puede presentar irregularidad por ausencia de redundancia ( $\phi_r$ ), de acuerdo con el artículo A.3.3.8.2, toda estructura cuenta con un sistema estructural de resistencia sísmica que, de acuerdo con el material empleado y la capacidad de disipación de energía se puede definir su coeficiente de disipación de energía básico,  $R_o$ , según las Tablas A.3-1 a la A.3-4 del reglamento NSR-10.

**Tabla 1.** Irregularidad en altura  $\phi_a$

Irregularidad	Figura
Tipo 1aA - Piso flexible $\phi_a = 0.9$ Tipo 1bA - Piso flexible extremo $\phi_a = 0.8$	
Tipo 2A - Distribución masa $\phi_a = 0.9$	
Tipo 3A - Geométrica $\phi_a = 0.9$	
Tipo 4A - Desplazamiento dentro del plano de acción $\phi_a = 0.8$	
Tipo 5aA - Piso dédil $\phi_a = 0.9$ Tipo 5bA - Piso dédil extremo $\phi_a = 0.8$	

**Nota 1.** Adaptado del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

**Tabla 2.** Irregularidad en planta  $\phi_p$

Irregularidad	Figura
Tipo 1aP - Irregularidad torsional $\phi_p = 0.9$ Tipo 1bP - Irregularidad torsional extrema $\phi_p = 0.8$	
Tipo 2P - Retrocesos en las esquinas $\phi_p = 0.9$	
Tipo 3P - Irregularidad del diafragma $\phi_p = 0.9$	
Tipo 4P - Desplazamiento de los planos de acción $\phi_p = 0.9$	
Tipo 5P - Sistemas no paralelos $\phi_p = 0.9$	

**Nota 2.** Adaptado del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Una vez definido el coeficiente de disipación de energía básico,  $R_o$ , y los coeficientes de disipación de energía por irregularidades, se realizó el cálculo del coeficiente de disipación de energía,  $R$ , el cual puede reducir las fuerzas sísmicas,  $F_s$ , en el diseño de

estructuras, esto hace que su diseño sea más asequible económicamente. Este coeficiente se obtuvo según la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.** *Coeficiente de capacidad de disipación de energía, R.*

$$R = \phi_a \cdot \phi_p \cdot \phi_r \cdot R_o$$

Antes de diseñar una estructura, Se debe realizar la evaluación de los desplazamientos horizontales haciendo la verificación de las derivas de acuerdo con el reglamento NSR-10, el cual exige que la deriva en todo el nivel de la edificación sea menor al 1% de la altura del nivel en el caso de estructuras de concreto, metálicas y madera, y menor a 0.5% de la altura del nivel para estructuras de mampostería estructural. (ver Tabla A.6.4-1 de la NSR-10). Si no se cumple este chequeo, se debe aumentar la rigidez de la estructura, con el fin de reducir su desplazamiento horizontal.

Otra revisión importante consiste en la participación modal mínima, que debe ser mayor del 90% de la masa participativa, determinada por los modos de vibración de la estructura, cada modo tiene asociado un período relacionado a una aceleración en el espectro de diseño, esta aceleración afecta la masa de la estructura, la cual, define las fuerzas sísmicas y la suma de estas corresponden al cortante basal de la estructura.

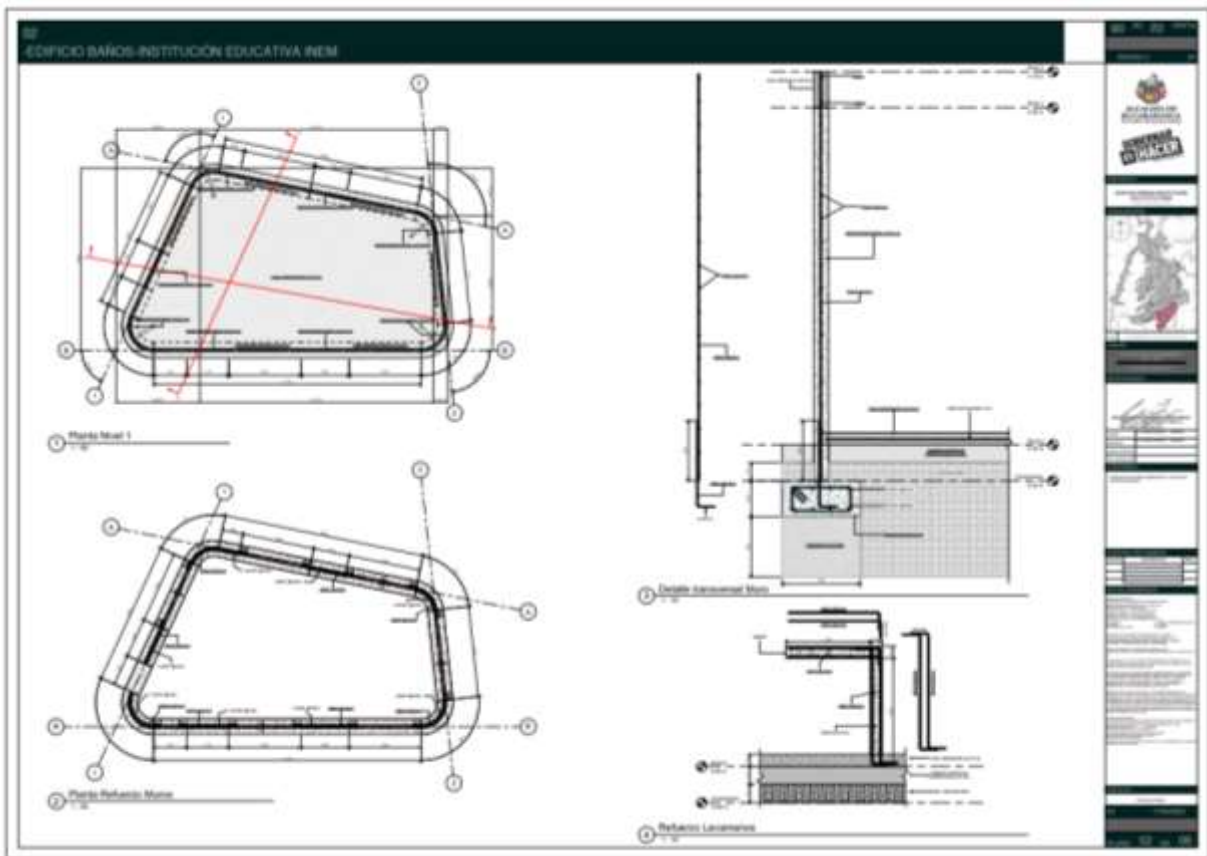
#### **4.7. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

Luego de realizar el modelamiento y análisis sísmico de la estructura, se procedió a realizar el diseño de los elementos estructurales de acuerdo con los requisitos del sistema de resistencia sísmica definido y del material estructural de cada elemento. En esta fase se presentaron los resultados obtenidos del análisis sismo resistente de las estructuras junto al modelo matemático realizado al ingeniero a cargo del diseño estructural, quien hizo la revisión de dichos resultados y de acuerdo con las especificaciones entregadas procedió a realizar el diseño de los elementos estructurales.

#### 4.8. GENERACIÓN DE PLANOS ESTRUCTURALES

Una vez hecha la revisión de todos los diseños de los elementos estructurales y las especificaciones dadas por el ingeniero de diseño, se procedió a realizar los planos estructurales de las edificaciones asignadas, cumpliendo con los requisitos expuestos en el artículo A.1.5.2.1 del Reglamento NSR-10. Los planos se realizaron en el software Autodesk Revit, el cual, permitió la generación de un modelo en 3D que aportó mayor claridad sobre el proyecto a construir y facilitó la generación de documentación para diseño, gestión y construcción del proyecto.

**Ilustración 7.** Plano Planta Nivel 1 Muros, Módulo de baños INEM, generado en Autodesk Revit.



Fuente: Propia

#### **4.9. CANTIDADES DE OBRA ESTRUCTURAL**

El cálculo de cantidades se realizó en base a los planos estructurales y especificaciones de cada elemento. Una vez obtuvo toda la información necesaria y con ayuda de herramientas como Autodesk Revit, AutoCAD y Microsoft Excel, se realizó un documento que contiene de manera clara y organizada las cantidades de concreto y acero requeridas para la construcción del proyecto.

## **5. RESULTADOS**

Finalmente, se presentan los resultados de las actividades donde se brindó apoyo durante el desarrollo de la práctica empresarial con la Secretaría de Infraestructura del Municipio de Bucaramanga bajo la dirección del tutor asignado. El proyecto asignado corresponde a la repotenciación de la institución educativa INEM Custodio García Rovira, donde se brindó apoyo en unas de las edificaciones nuevas las cuales son los módulos de baños, cafetería y estación de radio de dicha institución. A continuación, se presenta lo realizado en cada etapa descrita en la metodología.

### **5.1. PROYECTO REPOTENCIACIÓN INSTITUCIÓN EDUCATIVA INEM CUSTODIO GARCÍA ROVIRA**

En el desarrollo de este proyecto una vez asignadas las edificaciones, se realiza una visita con miembros del taller de arquitectura y del equipo encargado del área estructural, con el propósito de reconocer el lugar donde se desarrollarán cada una de las edificaciones asignadas. Después de la visita se recibieron los planos arquitectónicos y las especificaciones de parte de los arquitectos a cargo del proyecto, con el fin de, ser revisados a detalle cada uno de los módulos asignados, de dicha revisión se identificaron la ubicación y dimensiones de cada estructura. En el Anexo A se pueden observar los planos arquitectónicos de los módulos de baños, cafetería y estación de radio del colegio INEM.

Luego de hacer la revisión a detalle de cada plano se procedió a definir el sistema estructural de resistencia sísmica, características de la estructura y material que se será empleado. De acuerdo con la configuración arquitectónica, el tipo de sistema de la estructura principal consistirá en muros estructurales en concreto reforzado amarrado a un sistema de cubierta con teja tipo sándwich espesor 2" apoyada sobre correas metálicas tubulares rectangulares inclinadas PTE (60x120x2.5cm) y vigas metálicas IPE

300, y la cimentación será tipo zapata corrida céntrica. Las características de la estructura y material estructural empleado son establecidas por consideraciones de rigidez, estabilidad y resistencia de acuerdo con los requisitos del Reglamento NSR-10 y a su funcionalidad dentro del sistema del proyecto.

**5.1.1. Evaluación de cargas.** Una vez definido el sistema y material estructural se realizó la evaluación de cargas de acuerdo con el reglamento NSR-10, teniendo presente lo establecido en el diseño arquitectónico donde se planteó que estos módulos tengan el mismo sistema y material estructural.

**Tabla 3.** Evaluación de cargas estructuras Colegio INEM

<b>ANÁLISIS DE CARGA</b>		
<b>BAÑOS, CAFETERÍA Y ESTACIÓN DE RADIO - COLEGIO INEM</b>		
<b>CARGA CUBIERTA LIGERA</b>		
<b>CARGA MUERTA</b>		
Teja KingRoof (Tipo Sándwich, e=50 mm, cal28)	0.10	[kN/m <sup>2</sup> ]
Cielo Raso	0.30	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>CM cubierta</b>	<b>0.40</b>	<b>[kN/m<sup>2</sup>]</b>
<b>CARGA VIVA</b>		
Inclinación (%)	8	
<b>Cv cubierta</b>	0.50	<b>[kN/m<sup>2</sup>]</b>
NSR-10 Tabla B.4.2.1-2		
<b>CARGA VIENTO SUCCIÓN</b>		

<b>Cw succión</b>	0.40	[kN/m <sup>2</sup> ]	NSR-10 B.6.4.2.2-1
-------------------	------	----------------------	-----------------------

---

**CARGA VIENTO COMPRESIÓN**

---

<b>Cw compresión</b>	0.40	[kN/m <sup>2</sup> ]	NSR-10 B.6.4.2.2-1
----------------------	------	----------------------	-----------------------

Fuente: Propia

**5.1.2. Nivel de amenaza sísmica.** El proyecto está localizado en el departamento de Santander en la ciudad de Bucaramanga con amenaza sísmica alta. De acuerdo con esta información, se establecen los siguientes parámetros:

**Tabla 4.** Zona de amenaza sísmica

**ZONA DE AMENAZA SÍSMICA (A.2.3 NSR-10)**

País	Colombia
Departamento	Santander
Municipio	Bucaramanga
Amenaza sísmica	Alta
Coeficiente <b>A<sub>a</sub></b>	0.25
Coeficiente <b>A<sub>v</sub></b>	0.25
Coeficiente <b>A<sub>e</sub></b>	0.15
Coeficiente <b>A<sub>d</sub></b>	0.09

Fuente: Propia

**5.1.3. Movimientos sísmicos de diseño.** En la revisión de los estudios realizados previamente a la zona donde está ubicado el proyecto, se obtiene el perfil del suelo tipo D, determinando con ello los efectos locales, los valores de los coeficientes se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Efectos Locales**

<b>EFFECTOS LOCALES (A.2.4 NSR-10)</b>	
Perfil del suelo	D
Coeficiente $F_a$	1.3
Coeficiente $F_v$	1.9

Fuente: Propia

La estructura de acuerdo con su tipo de uso pertenece al grupo III, debido a que se encuentra catalogado como una estructura de atención a la comunidad, con un coeficiente de importancia de 1.25.

**Tabla 6. Coeficiente de importancia**

<b>COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (A.2.5 NSR-10)</b>	
Grupo III	1.25

Fuente: Propia

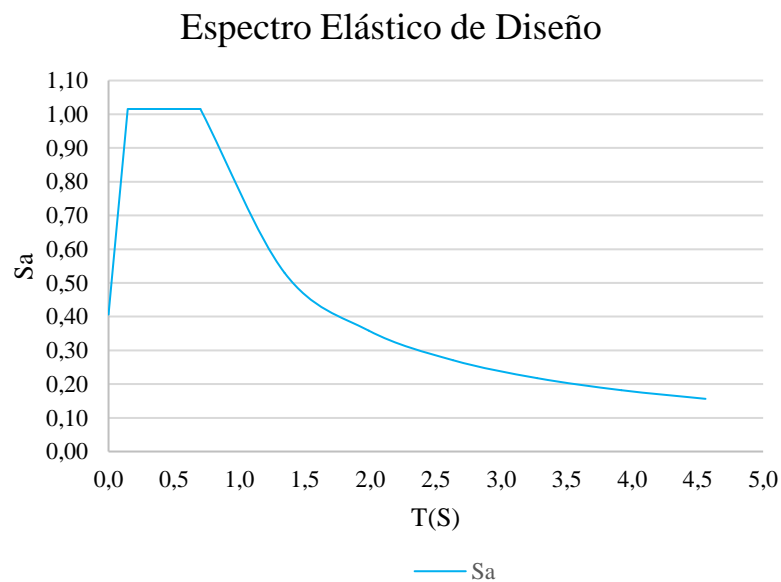
Luego de determinar estos parámetros y coeficientes, se obtienen los periodos de vibración, necesarios para construir el espectro elástico de aceleraciones de diseño, de acuerdo con la ilustración 5.

**Tabla 7.** Periodos de vibración del espectro de diseño, en segundos

PERIODOS DE VIBRACIÓN	
$T_o$	0,146 s
$T_c$	0,702 s
$T_L$	4,560 s

Fuente: Propia

**Ilustración 8.** Espectro elástico de diseño



Fuente: Propia

**5.1.4. Características de la estructura y material estructural empleado.** El sistema de la estructura principal de resistencia sísmica de acuerdo con los sistemas prescritos en el capítulo A.3 de la NSR-10, consistirá en muros estructurales en concreto reforzado con capacidad especial de disipación de energía (DES), y según la tabla A.3-1 del Reglamento NSR-10, se establecen los siguientes coeficientes:

**Tabla 8. Coeficientes del sistema estructural**

<b>COEFICIENTES DEL SISTEMA ESTRUCTURAL (TABLA A.3-1 NSR-10)</b>	
$R_0$	5.0
$\Omega_0$	2.5

Fuente: Propia

Los materiales estructurales empleados son el concreto estructural reforzado con varillas de acero, teja tipo sándwich espesor 2" apoyada sobre correas metálicas tubulares rectangulares inclinadas PTE (60x120x2.5 cm) y vigas metálicas IPE 300. Cada uno de los materiales tiene resistencias y propiedades específicas, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Materiales empleados**

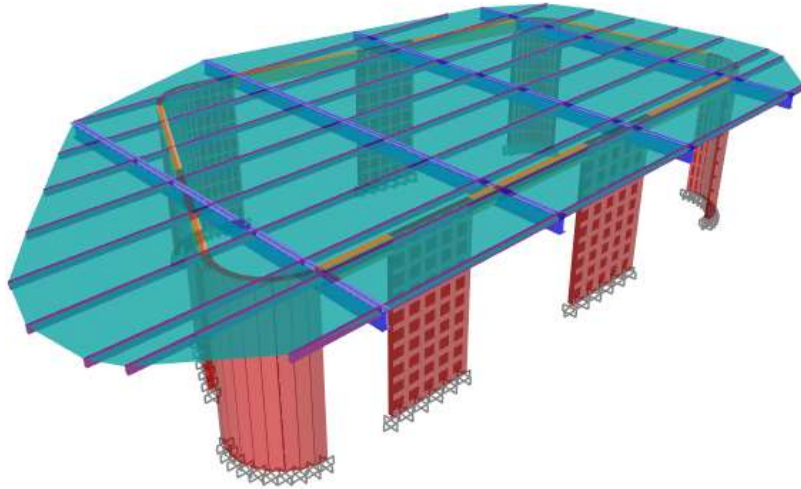
<b>MATERIALES EMPLEADOS</b>		
Concreto 4000 Psi		
$f'_c$	28	MPa
$E = 4700\sqrt{f'_c}$	24870	MPa
Densidad	24	kN/m <sup>3</sup>
Concreto 3500 Psi		
$f'_c$	24,5	MPa
$E = 4700\sqrt{f'_c}$	23264	MPa
Densidad	24	kN/m <sup>3</sup>
Concreto 3000 Psi		
$f'_c$	21	MPa

$E = 4700\sqrt{f'_c}$	21538	MPa
Densidad	24	kN/m <sup>3</sup>
ASTM 572 Grado 50		
Fy	345	MPa
Fu	450	MPa
Densidad	76	kN/m <sup>3</sup>
ASTM A 500 Grado C y B		
Fy	350	MPa
Fu	428	MPa
Densidad	76	kN/m <sup>3</sup>

Fuente: Propia

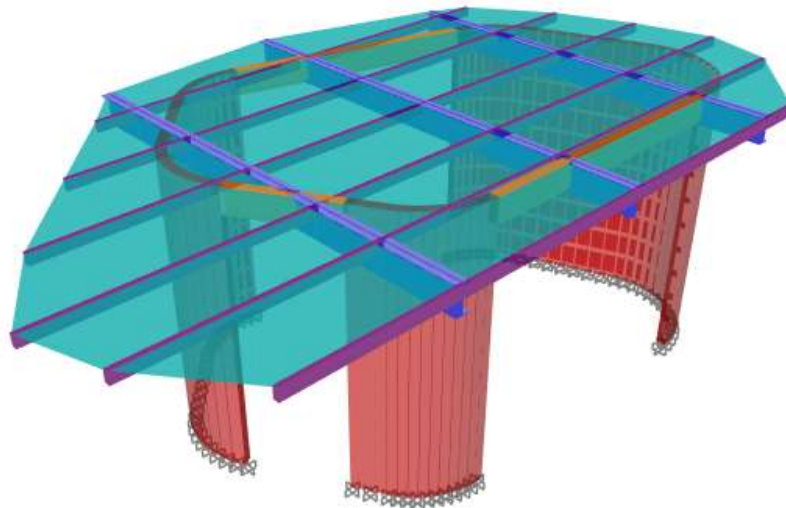
**5.1.5. Modelo matemático y procedimiento de análisis.** El modelo matemático de las estructuras se realizó en el software de análisis sismo resistente ETABS, donde se construyó un modelo numérico tridimensional para cada estructura, suponiendo un diafragma rígido que une toda la estructura. Las vigas se realizan a través de elementos tipo Frame y los muros y cubierta un tipo Shell, a cada elemento se le asignan sus respectivas propiedades. Una vez definidos todos los parámetros necesarios para realizar el modelo, se procede a realizar el análisis sísmico por medio del método dinámico modal espectral y el ajuste de resultados se hace por la fuerza horizontal equivalente.

**Ilustración 9.** Modelo en ETABS 3D Módulo Baños



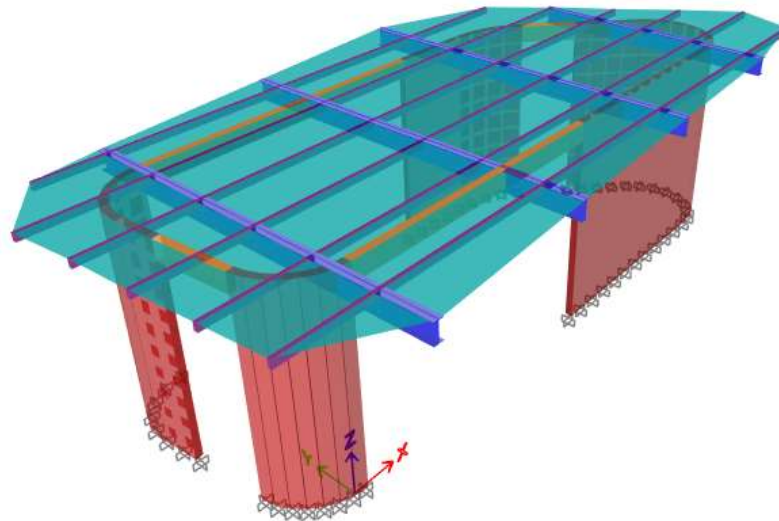
Fuente: Propia

**Ilustración 10.** Modelo en ETABS 3D Estación de Radio



Fuente: Propia

**Ilustración 11.** Modelo en ETABS 3D Cafetería




Fuente: Propia

**5.1.6. Grado de irregularidad de la estructura.** Al realizar el análisis de los resultados del modelo estructural, se deben hacer el análisis de las irregularidades, lo que ayuda a identificar posibles fallas en los elementos. Luego de revisar e identificar las irregularidades que pueden presentarse en las estructuras realizadas, se establece que estas estructuras no presentan irregularidades en altura, por lo cual no se consideraron las irregularidades descritas en la tabla A.3-7 del Reglamento NSR-10, por lo tanto, se realizó el análisis de las irregularidades en planta según la tabla A.3-6 y de acuerdo con el artículo A.3.3.8.2 se revisó la irregularidad por ausencia de redundancia. A continuación, se presentan los resultados de los chequeos de irregularidades consideradas en las estructuras.

#### **5.1.6.1. Irregularidad Torsional**

**Tabla 10. Irregularidad Torsional**

<p>Tipo 1aP - Irregularidad torsional  <math>\phi_P = 0.9</math>  <math>1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 &gt; 1.2\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)</math></p> <p>Tipo 1bP - Irregularidad torsional extrema  <math>\phi_P = 0.8</math>  <math>\Delta_1 &gt; 1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)</math></p>	
--	--

**Nota 3.** Adaptado del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

De acuerdo con la tabla anterior, se realizó la verificación de Irregularidad torsional para cada estructura, en las siguientes tablas se muestra la verificación de irregularidad torsional en el módulo de baños.

**Tabla 11. Puntos por Verificar Irregularidad Torsional en Módulo Baños**

<b>PUNTOS POR VERIFICAR</b>			
Esquina		Punto	
Inferior Izquierda		47	
Inferior Derecha		8	
Superior Derecha		67	
Superior Izquierda		16	
NIVEL	PUNTO	DERIVA X	DERIVA Y
Nivel 1	47	0,000132	0,000028
Nivel 1	8	0,000132	0,000036
Nivel 1	67	0,00014	0,000035
Nivel 1	16	0,000145	0,000017

Fuente: Propia

**Tabla 12. Verificación de Irregularidad Torsional en Módulo Baños**

Esquina Inferior izquierda Vs Esquina Inferior Derecha												
Nivel	D1 (Dir X)	D1 (Dir Y)	D2 (Dir X)	D2 (Dir Y)	Dirección X				Dirección Y			
					1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check	1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check
Nivel 1	0,000132	0,000028	0,000132	0,000036	0,0001848	0,0001584	0,000132	Regular	0,0000448	0,0000384	0,000036	Regular

Esquina Inferior Derecha Vs Esquina Superior Derecha												
Nivel	D1 (Dir X)	D1 (Dir Y)	D2 (Dir X)	D2 (Dir Y)	Dirección X				Dirección Y			
					1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check	1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check
Nivel 1	0,000132	0,000036	0,00014	0,000035	0,0001904	0,0001632	0,00014	Regular	0,0000497	0,0000426	0,000036	Regular

Esquina Superior Derecha Vs Esquina Superior Izquierda												
Nivel	D1 (Dir X)	D1 (Dir Y)	D2 (Dir X)	D2 (Dir Y)	Dirección X				Dirección Y			
					1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check	1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check
Nivel 1	0,00014	0,000035	0,000145	0,000017	0,0001995	0,000171	0,000145	Regular	0,0000364	0,0000312	0,000035	irregular

Esquina Superior Izquierda Vs Esquina Inferior Izquierda												
Nivel	D1 (Dir X)	D1 (Dir Y)	D2 (Dir X)	D2 (Dir Y)	Dirección X				Dirección Y			
					1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check	1.4((D1+D2)/2)	1.2((D1+D2)/2)	D1	Check
Nivel 1	0,000145	0,000017	0,000132	0,000028	0,0001939	0,0001662	0,000145	Regular	0,0000315	0,000027	0,000028	irregular

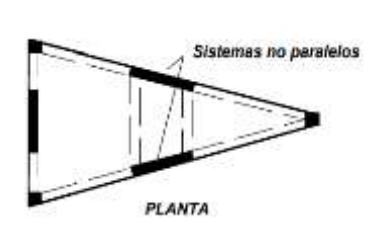
La estructura es Irregular  $\phi_p = 0,9$

Fuente: Propia

En el Anexo B, se puede apreciar la verificación de irregularidad torsional, realizada para las edificaciones estación de radio y cafetería.

### 5.1.6.2. Irregularidad Sistemas no Paralelos

**Tabla 13. Irregularidad Sistemas no Paralelos**

<p>Tipo 5P - Sistemas no paralelos</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi_p = 0.9</math></p>	
---	--

**Nota 4.** Adaptado del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Como las direcciones de acción horizontal de los muros del sistema de cada edificación no son paralelas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, las estructuras se consideran irregulares. Por lo tanto,  $\phi_p = 0.9$ .

**5.1.6.3. Irregularidad por Ausencia de Redundancia.** De acuerdo con el artículo A.3.3.8.2, se realiza la verificación de la irregularidad por ausencia de redundancia ( $\phi_r$ ), en cada una de las estructuras.

**Tabla 14.** Verificación Irregularidad por Ausencia de Redundancia

IRREGULARIDAD POR AUSENCIA DE REDUNDANCIA									
		PARTICIPACION POR PISO							
		SPECX		SPECY		SPECX		SPECY	
Elemento		Vix (Tn)	Viy (Tn)	Vix (Tn)	Viy (Tn)	%Vix	%Viy	%Vix	%Viy
P1	Nivel 1	15,1441	19,8581	26,4813	72,294	28,39%	22,42%	22,42%	21,45%
P2	Nivel 1	0,0561	42,5437	0,8089	13,0058	0,11%	0,68%	0,68%	3,86%
P3	Nivel 1	0,1202	57,9931	1,8811	19,0352	0,23%	1,59%	1,59%	5,65%
P4	Nivel 1	15,507	18,5047	63,7987	57,8766	29,07%	54,02%	54,02%	17,17%
P5	Nivel 1	2,9778	12,6988	14,8271	42,8109	5,58%	12,55%	12,55%	12,70%
P6	Nivel 1	0,1201	29,5965	1,4707	32,6265	0,23%	1,25%	1,25%	9,68%
P7	Nivel 1	19,2525	69,0421	8,0709	32,8076	36,09%	6,83%	6,83%	9,73%
P8	Nivel 1	0,1689	20,4536	0,7706	66,6373	0,32%	0,65%	0,65%	19,77%
<b>TOTAL</b>		53	271	118	337				
	Nivel 1	53	271	118	337				

Fuente: Propia

Participación máxima por piso para cualquier muro: 54,02%, la estructura presenta irregularidad por ausencia de redundancia, considerando que uno de los muros es responsable de más del 33% del cortante para cada piso. Por lo tanto,  $\phi_r = 0.9$ .

En el Anexo C, se puede observar la verificación de Irregularidad por Ausencia de Redundancia realizada para las edificaciones estación de radio y cafetería.

**5.1.6.4. Resumen de Irregularidades.** Una vez realizadas todas las verificaciones de las irregularidades, se obtuvo para todas las edificaciones los siguientes resultados:

**Tabla 15.** Resumen de Irregularidades Módulos de Baños, Estación de Radio y Cafetería

<b>RESUMEN DE IRREGULARIDADES</b>	
$\phi_a$	1,0
$\phi_p$	0,9
$\phi_r$	0,9

Fuente: Propia

Una vez obtenidas las irregularidades presentes en las estructuras, se realiza el cálculo del coeficiente de disipación de energía, R, de acuerdo con la ecuación 3:

$$R = \phi_a \cdot \phi_p \cdot \phi_r \cdot R_o = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 5$$

$$R = 4,05$$

**5.1.7. Determinación de las fuerzas sísmicas.** Una vez obtenidos los cortantes sísmicos en la base, se realiza el ajuste por fuerza horizontal equivalente de acuerdo con los factores de modificación. Dado que las estructuras son irregulares el coeficiente se calculó de acuerdo con la Ecuación 2, donde el cortante total dinámico en la base,  $V_{tj}$ , para cualquiera de las direcciones no puede ser menor al 90 por ciento. En la siguiente tabla, se presentan el análisis modal espectral, las fuerzas sísmicas obtenidas y el ajuste por fuerza horizontal equivalente realizados para el módulo de baños.

**Tabla 16.** Ajuste por Fuerza Horizontal Equivalente Módulo de Baños

<b>Ajuste por Fuerza Horizontal Equivalente (A.4.2 NSR-10)</b>	
M [kgf·s <sup>2</sup> /m]	<b>2452</b>
Peso	240,5 kN
h <sub>total</sub>	<b>3,40</b>
A <sub>v</sub>	0,25
F <sub>v</sub>	1,9

Cu		1,18		A.4.2-2 NSR-10	
<b>Sistema en X</b>			<b>Sistema en Y</b>		
Ctx	<b>0,047</b>	Cty	<b>0,047</b>		
$\alpha_x$	<b>0,9</b>	$\alpha_y$	<b>0,9</b>		
Tax	0,141 s	Tay	0,141 s		
Cu·Tax	0,167 s	Cu·Tay	0,167 s		
Tx modal	0,096 s	Ty modal	0,146 s		
Tajuste x	0,141 s	Tajuste y	0,146 s		
Sax[g]	1,016	Say[g]	1,016		
Vsx	244 kN	Vsy	244 kN		
90% FHE	220 kN	90% FHE	220 kN		
<b>Análisis Modal Espectral</b>					
Tx modal	<b>0,096 s</b>	Ty modal	<b>0,146 s</b>		
Sax modal [g]	1,016	Say modal [g]	1,016		
<b>Ajuste de Resultados para Revisión de cortante Basal (A.5.4.5 NSR-10)</b>					
<b>Cortante Basal con el modelo inicial</b>					
	F1	F2		Vt [kN]	
Vs(x) [kN]	<b>219,60</b>	<b>13,457</b>		219,981	
Vs(y) [kN]	<b>13,988</b>	<b>219,50</b>		219,985	
<b>AJUSTE</b>	<b>90% FHE</b>	<b>Factor de Corrección</b>			
	Ajuste X	1,0		<b>9,81</b>	
	Ajuste Y	1,0		<b>9,81</b>	

Fuente: Propia

En el Anexo D, se presenta el ajuste por fuerza horizontal equivalente realizada para las edificaciones estación de radio y cafetería.

**5.1.8. Combinaciones de carga.** Considerando el grado de irregularidad presente en las edificaciones, el grado de disipación y fuerzas sísmicas obtenidas, se realizan las combinaciones de los diferentes tipos de cargas que afectan la estructura y se obtienen las solicitaciones de diseño sobre los elementos.

**Tabla 17. Combinaciones de carga Mayoradas**

**COMBINACIONES DE CARGA**

B.2.4 Combinaciones Mayoradas

B.2.4.-1	COMB0	1.4D
B.2.4.-2	COMB1a	1.2D+0.5Lr
	COMB1b	1.2D
B.2.4.-3	COMB2a	1.2D+1.6Lr
	COMB2b	1.2D
	COMB2d	1.2D+0.8W+1.6Lr
	COMB2e	1.2D+0.8W
B.2.4.-4	COMB3a	1.2D+1.6W+0.5Lr
	COMB3b	1.2D+1.6W
B.2.4.-5	COMB4a	1.2D+0.247EX+0.074EY
	COMB4b	1.2D+0.074EX+0.247EY
B.2.4.-6	COMB5	0.9D+1.6W
B.2.4.-7	COMB6a	0.9D+0.247EX+0.074EY
	COMB6b	0.9D+0.074EX+0.247EY

Fuente: Propia

**5.1.9. Análisis Sísmico de la estructura.** Es importante conocer el comportamiento real de la estructura y gracias a los modelos matemáticos de las estructuras realizados en el software de análisis sísmico ETABS, se definen los diferentes periodos de vibración de las estructuras, cada período está asociado con el factor de participación de la masa sísmica. En la siguiente tabla, se presentan los periodos de la estructura del módulo de baños y la participación modal para cada modo de vibración, se observa que se cumple con la participación modal mínima, siendo mayor del 90% de la masa participativa.

**Tabla 18.** Participación Modal Módulo de Baños

PARTICIPACIÓN MODAL							
Modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	0,057	0,0016	0,9425	0	0,0016	0,9425	0
2	0,036	0,9785	0,0051	0	0,9801	0,9476	0
3	0,033	0,0199	0,0524	0	1	1	0

Fuente: Propia

En el Anexo E, se puede apreciar la participación modal para las edificaciones estación de radio y cafetería.

**5.1.10. Desplazamientos horizontales y verificación de derivas.** Como se presentan irregularidades torsionales en planta del tipo 1aP o 1bP, la deriva se puede calcular como el valor absoluto de la diferencia algebraica de los desplazamientos horizontales del centro de masa del diafragma de cada piso en las dos direcciones principales de estudio, con respecto a los del diafragma de piso inmediatamente inferior en las mismas direcciones y combinándolas por medio de una suma vectorial, obteniendo así un valor de la deriva máxima de cada piso, incluyendo los efectos P-Delta. A continuación, se presentan las derivas máximas para cada diafragma, donde se consideraron todos los extremos de vigas y muros a nivel de los diafragmas.

**Tabla 19.** Verificación de Derivas Módulos de Baños

<b>SISMO X</b>					
<b>Nivel</b>					
<b>Piso</b>	<b>[m]</b>	<b>Deriva X</b>	<b>Deriva Y</b>	<b>Limite</b>	<b>Check</b>
Nivel 1	3,4	0,015%	0,004%	1%	OK
Base	0	0%	0%	1%	OK

<b>SISMO Y</b>					
<b>Nivel</b>					
<b>Piso</b>	<b>[m]</b>	<b>Deriva X</b>	<b>Deriva Y</b>	<b>Limite</b>	<b>Check</b>
Nivel 1	3,4	0,010%	0,047%	1%	OK
Base	0	0%	0%	1%	OK

Fuente: Propia

Dado a que la deriva de piso supera el límite del 1%, se considera que la rigidez de las estructuras es apropiada según lo establecido en la NSR-10. En el Anexo F, se presenta la verificación de Derivas en las estructuras Estación de Radio y Cafetería.

**5.1.11. Especificaciones del diseño de los elementos estructurales.** Una vez presentados los resultados obtenidos del modelamiento y análisis sísmico de las estructuras al ingeniero a cargo del diseño estructural, se realizaron los planos estructurales de cada estructura. Las especificaciones y solicitudes finales entregadas por el ingeniero sobre el diseño estructural fueron las siguientes:

**Tabla 20.** Especificaciones de Diseño Estructural

<b>ESPECIFICACIONES DISEÑO ESTRUCTURAL</b>		
Zapata corrida	Acero Longitudinal	8 ØN°4
(65x30 cm)	Acero Transversal	ØN°4 @20 cm
f'c= 4000 Psi	Long. Traslapo	55 cm

Concreto Ciclópeo	e= 50 cm	
Placa de Contrapiso (e=10cm) f'c= 3500 Psi	Malla Electrosoldada Ø7mm	Cada 15 cm en ambos sentidos
Subbase Granular Compactada	e= 15 cm	
Muros Estructurales (e=12cm) f'c= 4000 Psi	Acero Longitudinal Acero Transversal Bastones de arranque	ØN°3 @20 cm ØN°3 @20 cm ØN°3 @20 cm
Viga Corona (12x30 cm) f'c= 4000 Psi	Acero Longitudinal Acero Transversal Long. Desarrollo	2 ØN°4 ØN°3 @15 cm 55 cm
Viga Cinta (12x10 cm) f'c= 4000 Psi	Acero Longitudinal Acero Transversal	2 ØN°3 ØN°3 @15 cm
<b>Cubierta Metálica</b>		
Vigas IPE 300 Correas PTE (120x60x2.5 mm)	ASTM A572 G50 ASTM A500 Grado C	
Para las conexiones entre muros e IPE 300		
<u>Platinas</u>		<u>Anclajes y Tornillos</u>
PL-1 (100x120mmx1/2")		Anclaje HILTI L=0.2m, Ø=3/4"
PL-2 (120x300mmx5/8")		Tornillo ASTM 325, Ø= 1 1/2"

PL-3 (150x300mmx1/2")

PL-4 (112.5x300mmx1/2")

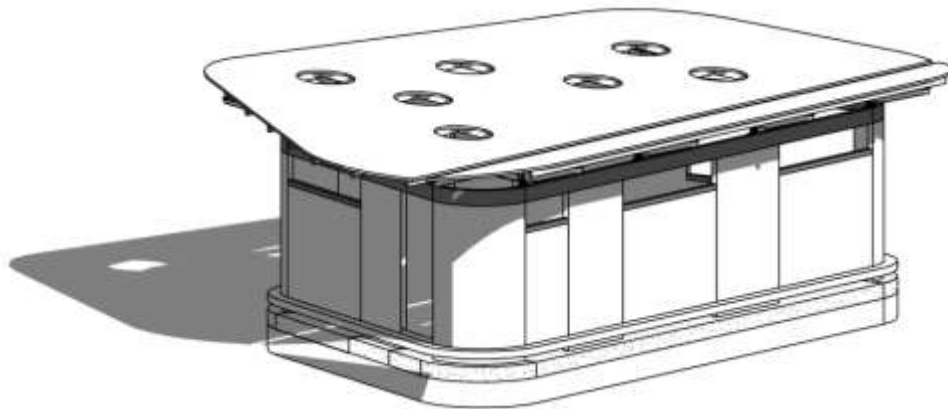
PL-Rigidizador (69.9x275.4mmx1/2")

---

Fuente: Propia

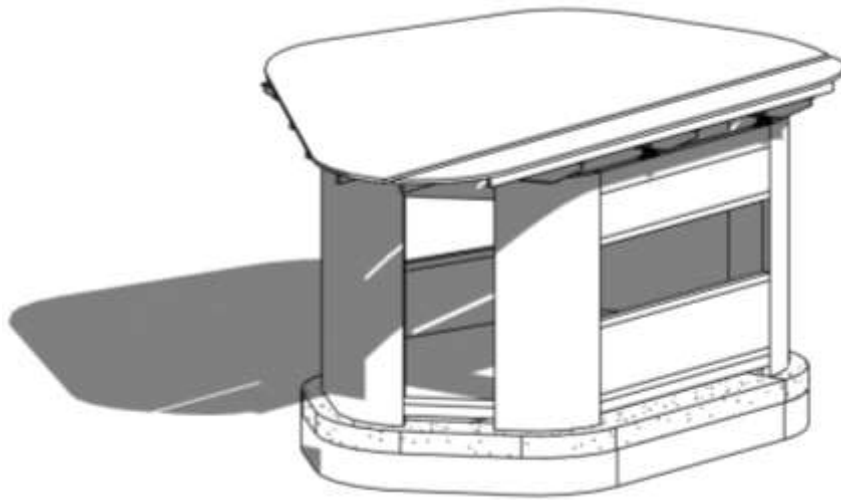
**5.1.12. Generación de planos estructurales.** Considerando las especificaciones dadas por el ingeniero de diseño y los requisitos expuestos en el artículo A.1.5.2.1 del Reglamento NSR-10, se realizaron los planos estructurales de las edificaciones por medio del software Autodesk Revit. A continuación, se presentan los modelos 3D de las edificaciones realizadas y en el Anexo G, se puede observar a detalle lo planos generados para las estructuras de módulos de baños, estación de radio y cafetería.

***Ilustración 12. Modelo 3D Módulo de Baños***



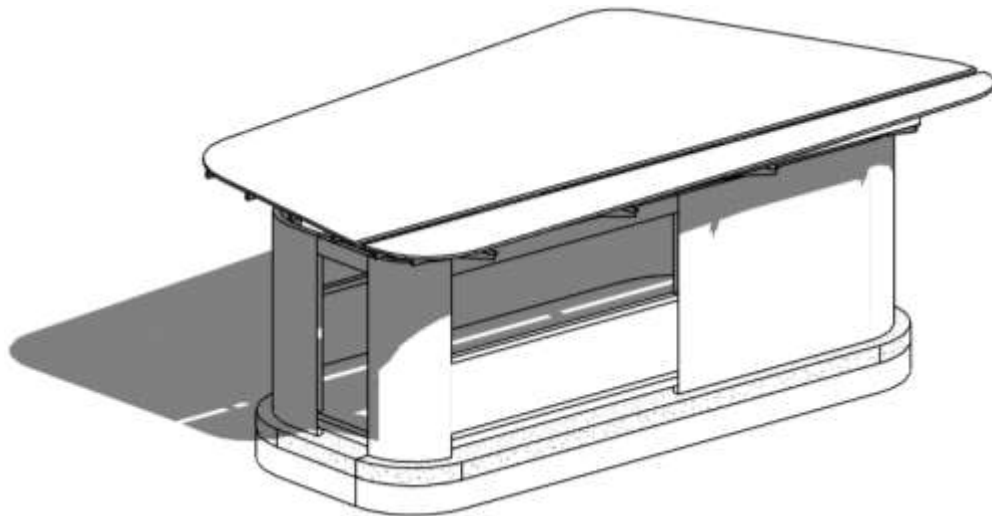
Fuente: Propia

**Ilustración 13.** Modelo 3D Estación de Radio



Fuente: Propia

**Ilustración 14.** Modelo 3D Cafetería



Fuente: Propia

**5.1.13. Cantidades de obra estructural.** Una vez realizados los planos estructurales y de acuerdo con las especificaciones de cada elemento, se realiza el cálculo de cantidades para cada estructura. En el Anexo H, se encuentran de manera clara las cantidades de concreto y acero de los elementos estructurales requeridas para la construcción del proyecto. Dichas cantidades se consignaron en el formato entregado por los líderes del área estructural.

## 6. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la práctica se logró dar apoyo en el análisis sísmo resistente de las estructuras asignadas, como se observa en las evidencias presentadas se realizaron los análisis y chequeos requeridos a los modelos de las estructuras, de acuerdo con lo establecido en el Título A del Reglamento Colombiano NSR-10.

En la elaboración de los planos estructurales se adquirió conocimiento sobre su adecuada presentación, dando así, mayor claridad sobre el proyecto a construir y en base a estos planos y especificaciones de cada elemento estructural se logró realizar la correcta estimación de cantidades de concreto y acero requeridas para la construcción del proyecto.

Gracias al uso del software ETABS se logró observar el comportamiento real de las estructuras y de acuerdo con el análisis realizado se verificó la presencia de irregularidad en planta e irregularidad por ausencia de redundancia, por lo tanto, los coeficientes  $\phi_p = 0.9$  y  $\phi_r = 0.9$ , luego de definir cada coeficiente se obtiene el coeficiente de disipación de energía, R, teniendo un valor de 4.05, el cual se tuvo en cuenta para reducir las fuerzas sísmicas.

Se logró realizar el análisis dinámico modal espectral de cada estructura y su respectivo ajuste de resultados por la fuerza horizontal equivalente de acuerdo con el factor de modificación para estructuras irregulares. Dentro del análisis se logró cumplir con la participación modal mínima, siendo mayor del 90% de la masa participativa y dado que la deriva de piso no supera el 1%, se considera que la rigidez de las estructuras es apropiada según lo establecido en la NSR-10.

En base a lo expuesto anteriormente, se consigue afianzar y complementar los conocimientos adquiridos en la universidad y mayor manejo en los softwares de

modelamiento tridimensional, puesto que, se logró cumplir con las actividades asignadas durante el periodo de duración de la práctica como auxiliar de ingeniera civil, donde se brindó apoyo en el proyecto de repotenciación de la institución educativa INEM Custodio García Rovira.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Bucaramanga. (2016). [Sitio web]. Bucaramanga: Nuestra Alcaldía, Transparencia y acceso a la información pública. [Consulta: 11 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.bucaramanga.gov.co/transparencia/nuestra-alcaldia/>.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitacional República de Colombia COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES (Creada por la Ley 400 de 1997) NSR-10 TÍTULO A-REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE.
- Barbosa, A. (2021). Práctica empresarial en la Alcaldía Municipal de Piedecuesta como auxiliar en la revisión verificación de presupuestos y especificaciones técnicas de proyectos asignados por la Secretaría de Infraestructura.
- Cáceres, J. de J., & Jaimes, S. (2007). Manual de dibujo para proyectos de ingeniería civil orientado a estructuras. Universidad Industrial de Santander.
- Coloma Picó, Eloi., Universidad Politècnica de Catalunya. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I., & Escola Tècnica Superior de Arquitectura de Barcelona. (2008). Introducción a la tecnología BIM. Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I, Secció de Geometria Descriptiva, ETSAB, UPC.
- Gobernación de Santander. (2017). [Sitio web]. Bucaramanga: Gobernación de Santander, Secretaría de Infraestructura. [Consulta: 11 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://historico2.santander.gov.co/index.php/secretaria-infraestructura>.

Gonzalez, J. (2010). Análisis del proceso de diseño de estructuras porticadas.

Russell.C. Hibbeler. (1997). Analisis Estructural (P. Hall, Ed.; 3ra edicio).

STRUCTURALIA. (2021). [Sitio web]. Memoria de cálculo estructural: Contenidos y estructura. Blog y noticias sobre ingeniería, Structuralia. [Consulta: 12 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://blog.structuralia.com/memoria-calculo-estructural>.