

DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE CONSUMO DE CONCRETO Y ACERO DE  
REFUERZO DE SISTEMAS ESTRUCTURALES DUALES/COMBINADOS EN LA  
CIUDAD DE POPAYÁN



Universidad  
del Cauca

CRISTIAN ORLANDO NARVAEZ MARTÍNEZ  
IVÁN ANDRÉS CHAMORRO CUAICAL

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
POPAYÁN  
2024

DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE CONSUMO DE CONCRETO Y ACERO DE  
REFUERZO DE SISTEMAS ESTRUCTURALES DUALES/COMBINADOS EN LA  
CIUDAD DE POPAYÁN



Universidad  
del Cauca

CRISTIAN ORLANDO NARVAEZ MARTÍNEZ  
IVÁN ANDRÉS CHAMORRO CUAICAL

Trabajo de grado

Director (a):  
Ana María Losada  
Ingeniera Civil – Esp. en Estructuras

Codirectora:  
Yesica M. Menza  
Ingeniera Civil - M.Sc. Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
POPAYÁN  
2024

Nota de aceptación:

---

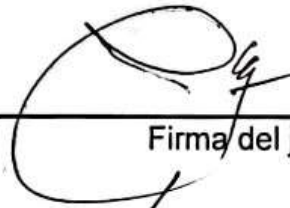
---

---

---

---

---



Firma del jurado



Firma del jurado

Popayán, 06 de Septiembre de 2024

## **Dedicatoria**

### **Cristian Orlando Narvaez Martínez**

Dedico el presente trabajo de investigación a mis queridos padres Adelina y Orlando, cuyo apoyo incondicional fue fundamental para alcanzar este logro, el cual también les pertenece. A mis queridos hermanos, María y Diego, por su confianza en mí y sus palabras de aliento, que fueron una fuente constante de inspiración. A mi pareja, Paula, quien me acompañó durante todo este proceso y cuyo apoyo moral fue esencial para culminar esta etapa.

### **Iván Andrés Chamorro Cuaical**

A mi padres, Lidia y German, que con su bendición me han llevado por el camino del bien. Por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor.

A mi hermano, por su apoyo y presencia en todo momento.

A mis tíos y abuelos, que han sido fuente de inspiración para seguir adelante.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a Dios, por ser nuestra guía a lo largo de este camino, brindándonos fuerza, claridad y sabiduría necesarias para culminar con éxito este proyecto.

Agradecemos a nuestra directora de grado Ana María Losada, cuyo apoyo constante y valiosa orientación en nuestro trabajo fueron fundamentales para la realización de esta investigación. Sentimos gratitud por su dedicación y compromiso con nuestro proceso formativo.

Al ingeniero Luis Ildemar Bolaños Andrade, quien con su trabajo de grado de maestría inspiró la idea principal de esta investigación.

A los propietarios de las estructuras, quienes desinteresadamente nos proporcionaron la información de los proyectos, material de estudio en esta tesis, permitiendo que nuestra investigación se llevara a cabo con los datos necesarios para obtener resultados relevantes y precisos.

A la Universidad del Cauca, por brindarnos un espacio académico, así como los recursos y herramientas que hicieron posible nuestra formación como ingenieros.

A nuestros familiares, por su amor incondicional, comprensión y apoyo durante todo este proceso. Gracias por ser nuestro sostén en los momentos más difíciles y por celebrar con nosotros cada pequeño logro.

Finalmente, a nuestros amigos y todas las personas que de una u otra forma han contribuido en nuestra formación académica. Agradecemos su apoyo, paciencia y confianza en nosotros.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	15
1 INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo General .....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	22
2 MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	23
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	25
2.2.1 Bases teóricas diseño sismo resistente .....	25
2.2.2 Bases teóricas estadísticas.....	26
2.2.2.1 Índices .....	26
<b>2.2.2.2</b> Media o promedio.....	26
2.2.2.3 Desviación típica o estándar.....	27
2.2.2.4 Límite superior e inferior .....	27
2.2.2.5 Coeficiente de variación.....	27
2.2.3 Definiciones complementarias .....	29
2.2.3.1 Tecnología BIM.....	29
2.2.3.2 Revit .....	30
2.2.3.3 AutoCAD.....	30

2.2.3.4	Cantidades de obra .....	31
2.2.3.5	Índices .....	31
2.2.3.6	Del lugar de Estudio .....	31
2.2.4	Norma vigente de construcción: NSR-10 .....	32
2.2.4.1	Sistemas estructurales .....	32
2.2.4.1.1	Sistema dual.....	33
2.2.4.1.2	Sistema combinado .....	33
2.2.4.2	Requisitos mínimos normativos para vigas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10) ....	33
2.2.4.3	Requisitos mínimos normativos para columnas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10) ....	35
2.2.4.4	Requisitos mínimos normativos para muros de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10) ....	35
2.2.4.5	Requisitos mínimos normativos para losas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10) ....	36
2.2.4.6	Requisitos mínimos normativos para barras corrugadas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10) 36	
2.2.4.7	Irregularidades de las estructuras.....	38
2.2.4.7.1	Irregularidades en planta .....	38
2.2.4.7.2	Irregularidades en altura.....	39
3	METODOLOGÍA.....	41
3.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA APLICABLE .....	41
3.1.1	Cálculo de área construida con base en los planos estructurales ..	41
3.1.2	Ajustes en el despiece de la estructura .....	42



3.2	MODELACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA CON METODOLOGÍA BIM.....	43
3.3	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	44
3.3.1	Cuantificación de acero y concreto .....	44
3.3.2	Determinación de los estados de análisis .....	46
3.3.3	Generación de Índices Constructivos .....	47
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ÍNDICES .....	47
4	CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE ESTUDIO .....	49
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
5.1	CANTIDADES DE MATERIALES DE LAS ESTRUCTURAS .....	53
5.2	RESULTADOS Y ESTUDIO DE ÍNDICES CONSTRUCTIVOS POR ESTADO DE ANÁLISIS PARA 7 PROYECTOS.....	55
5.2.1	Estado de análisis 1 .....	56
5.2.1.1	Representación y estudio de índices de concreto .....	57
5.2.1.2	Representación y estudio de índices de acero .....	59
5.2.2	Estado de análisis 2.....	61
5.2.2.1	Representación y estudio de índices de concreto .....	63
5.2.2.2	Representación y estudio de índices de acero .....	65
5.2.3	Estado de análisis 3.....	66
5.2.3.1	Representación y estudio de índices de concreto .....	67
5.2.3.2	Representación y estudio de índices de acero .....	70
5.2.4	Análisis del coeficiente de variación de los índices.....	72
5.3	RESULTADOS Y ESTUDIO DE ÍNDICES CONSTRUCTIVOS POR ESTADO DE ANÁLISIS PARA 6 PROYECTOS.....	75

5.3.1	Estado de análisis 1 .....	75
5.3.2	Estado de análisis 2 .....	77
5.3.3	Estado de análisis 3 .....	78
5.3.4	variabilidad de los índices en función del dato atípico .....	80
6	CONCLUSIONES.....	82
7	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	84
8	BIBLIOGRAFÍA.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Descripción irregularidades en planta.....	38
<b>Tabla 2</b> Descripción irregularidades en altura. ....	39
<b>Tabla 3</b> Cantidades de concreto de las estructuras en los estados de análisis.....	53
<b>Tabla 4</b> Cantidades de acero de las estructuras en los estados de análisis .....	54
<b>Tabla 5</b> Resumen de Índices constructivos del estado de análisis 1 .....	56
<b>Tabla 6</b> Resultados estadísticos del estado de análisis 1 .....	56
<b>Tabla 7</b> Resumen de índices constructivos del estado de análisis 2.....	62
<b>Tabla 8</b> Resultados estadísticos del estado de análisis 2 .....	62
<b>Tabla 9</b> Resumen de índices constructivos del estado de análisis 3.....	66
<b>Tabla 10</b> Resultados estadísticos del estado de análisis 3 .....	66
<b>Tabla 11</b> Coeficiente de variación y su interpretación para cada estado de análisis .....	72
<b>Tabla 12</b> Resultados estadísticos sin proyecto 1 del estado de análisis 1 .....	75
<b>Tabla 13</b> Resultados estadísticos sin proyecto 1 del estado de análisis 2 .....	77
<b>Tabla 14</b> Resultados estadísticos sin proyecto 1 del estado de análisis 3 .....	78
<b>Tabla 15</b> Variabilidad de concreto en función del dato atípico .....	80
<b>Tabla 16</b> Variabilidad de acero en función del dato atípico .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Interpretación del coeficiente de variación .....	28
<b>Figura 2</b> Pros de la tecnología BIM .....	30
<b>Figura 3</b> Modelo de estructura 6 en 3D .....	43
<b>Figura 4</b> Herramienta de obtención de cantidades.....	44
<b>Figura 5</b> Selección de categoría.....	45
<b>Figura 6</b> Selección de parámetros .....	45
<b>Figura 7</b> Resultados en tablas de cantidades .....	46
<b>Figura 8</b> Índices de concreto con promedio y desviación estándar para estado de análisis 1 .....	57
<b>Figura 9</b> Índices de concreto por elemento para estado de análisis 1 .....	58
<b>Figura 10</b> Índices de acero con promedio y desviación estándar para estado de análisis 1 .....	59
<b>Figura 11</b> Índices de acero por elemento para estado de análisis 1 .....	60
<b>Figura 12</b> Índices de concreto con promedio y desviación estándar para estado de análisis 2 .....	63
<b>Figura 13</b> Índices de concreto por elemento para estado de análisis 2 .....	64
<b>Figura 14</b> Índices de acero con promedio y desviación estándar para estado de análisis 2 .....	65
<b>Figura 15</b> Índices de acero por elemento para estado de análisis 2 .....	65
<b>Figura 16</b> Índices de concreto con promedio y desviación estándar para estado de análisis 3.....	67

<b>Figura 17</b> Índices de concreto por elemento para el estado de análisis 3.....	68
<b>Figura 18</b> Índices de acero con promedio y desviación estándar para estado de análisis 3.....	70
<b>Figura 19</b> Índices de acero por elemento para el estado de análisis 3 .....	71
<b>Figura 20</b> Resumen de índices de concreto.....	73
<b>Figura 21</b> Resumen de índices de acero .....	74
<b>Figura 22</b> Índices de concreto sin proyecto 1 para estado de análisis 1 .....	76
<b>Figura 23</b> Índices de acero sin proyecto 1 para estado de análisis 1 .....	76
<b>Figura 24</b> Índices de concreto sin proyecto 1 para estado de análisis 2 .....	77
<b>Figura 25</b> Índices de acero sin proyecto 1 para estado de análisis 2.....	78
<b>Figura 26</b> Índices de concreto sin proyecto 1 para estado de análisis 3 .....	79
<b>Figura 27</b> Índices de acero sin proyecto 1 para estado de análisis 2.....	79

## Índice de ecuaciones

(1) .....	26
(2) .....	26
(3) .....	26
(4) .....	27
(5) .....	27
(6) .....	28

## RESUMEN

Esta investigación se centró en la obtención y análisis de dos índices constructivos clave: el volumen de concreto y los kilogramos de acero respecto al área construida, de siete estructuras con sistema estructural dual o combinado, de grupo de uso I en la ciudad de Popayán, donde el objetivo principal fue determinar la tendencia en los índices correspondientes al sistema de resistencia sísmica de los proyectos, que permita generar un valor estándar y ser utilizado en el ámbito constructivo.

La metodología de la investigación se llevó a cabo en diferentes etapas para la determinación de los índices mencionados. En un inicio se calculó manualmente el área de los proyectos con base en las plantas estructurales, posteriormente, haciendo uso de la metodología BIM, por medio del software Revit, se realizó el modelo de cada uno de los proyectos estudiados, para obtener la cantidad de concreto y acero de cada uno de los elementos que conforman a la estructura, llámese: sistema de resistencia sísmica principal, losas de entrepiso y cimentación.

Dada la influencia de la cimentación y las losas de entrepiso en el total de la cantidad de materiales, se determinaron tres estados de análisis donde se contempla a la estructura desde diferentes ámbitos:

- Estado de análisis 1: sistema sismorresistente (columnas, vigas y muros)
- Estado de análisis 2: sistema sismorresistente y losas de entrepiso
- Estado de análisis 3: sistema sismorresistente, losas de entrepiso y cimentación

Mediante herramientas estadísticas como el promedio y la desviación estándar, se realizó un análisis comparativo en los tres estados, identificando patrones y tendencias, donde, el coeficiente de variación determinó la variabilidad en los índices obtenidos. Estas herramientas fueron aplicadas, en un inicio, al total de la población y posteriormente, a la misma descartando el dato atípico.

En conclusión, dada la variabilidad alta en la muestra completa y variabilidad moderada descartando el dato atípico, no es posible determinar un estándar en los índices constructivos para el sistema estructural dual o combinado, sin embargo, existe posible tendencia que debe ser verificada en futuras investigaciones con una muestra mayor.



## 1 INTRODUCCIÓN

En la ingeniería civil, la etapa de planificación es trascendental para alcanzar un resultado satisfactorio, ya que en ella se evalúan distintos parámetros con el fin de optimizar los recursos constructivos y alcanzar un desarrollo eficiente y sostenible en las estructuras.

En la industria colombiana de la construcción, la información respecto a las cantidades de materiales de las edificaciones se maneja de manera particular por los promotores de los proyectos. Lo cual, aunque resulte de gran utilidad, carece de una estandarización que permita definir valores de consumo de materiales en las estructuras.

Ante esta situación, la presente investigación se centró en el estudio de dos índices constructivos clave: el volumen de concreto y los kilogramos de acero por área construida, con el objetivo de identificar si existe una tendencia en los proyectos analizados y que posibilite la normalización de estos índices para sistemas estructurales duales o combinados en la ciudad de Popayán.

Para la obtención de los índices de interés, se empleó la metodología BIM mediante el uso del software Revit, a través del cual se generó la información de cantidades correspondiente al sistema de resistencia sísmica, las losas de entrepiso y la cimentación de siete edificios con sistema estructural Dual o Combinado.

Con el propósito de profundizar en el comportamiento de los índices obtenidos, se definieron tres estados de análisis que contemplan las estructuras desde diferentes perspectivas, a partir de los cuales se identificaron patrones y tendencias en los resultados.

Finalmente, se incluyó un análisis complementario, donde la muestra de población son los proyectos 2, 3, 4, 5, 6 y 7, excluyendo al proyecto 1, considerado dato atípico. Este estudio permitió identificar una reducción en el porcentaje de variación,

pero, al igual que en el análisis con toda la muestra (7 edificios) no se pudo observar una tendencia debido a la alta variabilidad entre los datos.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestro país, debido a la ausencia de una estandarización en los datos de consumo de las estructuras, llevó a que los promotores emplearan parámetros empíricos para estimar de forma preliminar las cantidades de materiales de sus proyectos.

No obstante, hasta hace algunos años, la cuantificación de materiales se realizaba de forma manual, generando un bajo rendimiento en los cálculos, considerando un margen de error y ocasionando que los análisis comparativos se realizaran de manera aproximada, conservando un margen de incertidumbre.

En este sentido, para la búsqueda de la formalización de índices de materiales, en un principio, se dio el paso a la utilización de herramientas tecnológicas especializadas para cuantificar cantidades. Ya que como lo dice Coloma Picó (2008), hoy en día, en la mayoría de los casos, se usan herramientas CAD para representar diseños de tipo arquitectónico y estructural. Sin embargo, esta actividad demanda un gran consumo de tiempo y una gran capacidad de interpretación. Por esto, la implementación de metodologías tecnológicas viene siendo una tendencia que trae consigo resultados más precisos, fáciles de manejar y de una manera más rápida.

Una tendencia en los índices de cantidades de materiales de construcción para sistemas estructurales dual o combinado de concreto reforzado en la ciudad de Popayán, busca estandarizar un índice cuya función sea conocer la cantidad de material de forma preliminar que una estructura necesita para su buen desempeño y acatar las normas constructivas

Por lo tanto, la investigación busca responder la pregunta: ¿Existe una tendencia que permita estandarizar los índices de consumo de concreto y acero de refuerzo por área construida en los sistemas combinados o duales para estructuras de uso de grupo 1 según la NSR 10 en Popayán?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El diseño y la construcción de edificios con sistemas estructurales duales o combinados en concreto reforzado es una práctica que ha ganado popularidad en la última década, ya que los estudios han indicado que su comportamiento es uno de los más adecuados para zonas de alta sismicidad (Awad, 2012), tal como lo es la ciudad de Popayán, capital del departamento del Cauca en Colombia, poseedora de una gran relevancia histórica para la nación por los eventos sísmicos acaecidos en ella” (Nacional, 1996). En este tipo de zonas los criterios mínimos según la norma NSR 10 son proporcionales a tal exigencia, lo que conlleva a destinar más concreto y acero de refuerzo en los elementos de resistencia sísmica para que el sistema estructural se comporte de la mejor manera.

Por otro lado, en nuestro país, tal como lo describe Villagarcía (2005) el sector constructivo es artesanal, con uso intensivo en mano de obra, un nivel de industrialización sumamente bajo y elevado desperdicio de recursos. Además, dado que en nuestro medio el precio es un factor primordial, las empresas tienden a reducir sus costos para elevar sus márgenes. Por lo tanto, la racionalización y optimización de los recursos se convierte en una obligación para su subsistencia.

En este sentido, el proyecto de investigación buscó identificar una tendencia en la cantidad de materiales de acero y concreto utilizados, respecto al área construida total de la edificación, para los sistemas estructurales dual o combinado en concreto reforzado de edificios con características similares (uso, número de pisos, características del suelo de cimentación). Esto proporciona una herramienta que beneficia al ámbito constructor de la ciudad de Popayán para la estimación preliminar de cantidades de materiales que requiere el sistema en mención en la etapa de planificación y gestión.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo General

Determinar índices de consumo de concreto y acero de refuerzo a partir del análisis de edificios pertenecientes al grupo de uso I que cuentan con sistema estructural dual o combinado en la ciudad de Popayán.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Identificar y registrar edificaciones de uso residencial de la ciudad de Popayán que cuentan con un sistema estructural dual o combinado diseñados bajo el vigente reglamento de construcción sismo resistente NSR-10.
- b. Coleccionar, organizar y gestionar los datos de edificios existentes construidos en la ciudad de Popayán que cuenten con el sistema estructural dual o combinado mediante la construcción de un modelo en el software Revit.
- c. Calcular la cantidad de consumo de acero de refuerzo y concreto, a partir del modelo estructural 3D elaborado en el software Revit para cada edificio seleccionado de Popayán.
- d. Comparar la variabilidad del consumo de materiales del sistema de resistencia sísmica en función de las losas de entrepiso y la cimentación.

#### 1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

En esta investigación, se modeló en el programa REVIT el proyecto estructural de siete edificaciones en la ciudad de Popayán, que están proyectados y licenciados para construcción en sistema estructural combinado o dual, para obtener las cantidades exactas de acero y concreto, y determinar los consumos de concreto y acero por área construida.

Mediante el análisis, el propósito principal fue determinar la existencia de una tendencia entre los índices de consumos de cantidades de concreto y acero, y que posteriormente permitió concluir sobre la posibilidad de estandarizar o no un índice general de consumo de estos materiales.

Aunque el número de elementos en la muestra es limitado respecto a la interpretación del análisis estadístico, el grupo de edificaciones es representativo conforme a la cantidad de edificios en la ciudad con las características de estudio.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El significativo impacto de la construcción de viviendas en la economía del país se ha manifestado en el crecimiento del sector de la construcción durante los últimos años. Así, según el índice de costos de construcción de vivienda (ICCV), publicado por el DANE, en junio de 2021 los costos de construcción crecieron 6,75 % anuales (CAMACOL, 2021). Donde, el componente de los insumos que tuvo el mayor incremento fue el de hierros y aceros. Este importante crecimiento se ha presentado hasta hoy, no de la misma magnitud, pero si en una proporción significativa, por la alta demanda de viviendas de uso residencial en todo el país.

Aunque el planteamiento citado refleja un conocimiento medianamente sobre el efecto de las cantidades de obra de estructura, no deja de ser un factor por considerar para la optimización de los diseños a futuro, principalmente, en las primeras fases de un proyecto como lo son viabilidad y estudios previos.

El avance de la tecnología ha sido fundamental para los ingenieros por el desarrollo de herramientas computacionales que permiten modelar, diseñar, analizar estructuras, cuantificar y replantear. Existen diversos medios sistematizados que permiten obtener cantidades de obra, algunos fundamentados en interpretación de dibujos 2D comúnmente llamados “tradicionales” y otros más modernos que permiten modelación 3D, los cuales, según diferentes fuentes, permiten una mejor obtención e interpretación de resultados.

Por otro lado, se han encontrado referencias externas y locales afines a los resultados que se esperan obtener en esta investigación, donde el primer antecedente literario corresponde a Sofia Villagarcía de la Pontificia Universidad Católica del Perú y su artículo titulado “Indicadores de productividad calidad” donde se centran en encontrar indicadores que permitan optimizar costos, tiempos, mano

de obra, volúmenes de concreto y pesos de acero, siendo estos dos últimos los de interés (Villagarcía, 2005).

Un segundo antecedente literario es el trabajo de grado realizado por José Ferrero y Ana Pirrone denominado “Diseño Sismo Resistente de Sistemas Duales de Concreto Reforzado Basado en el Diseño por Desempeño” que busca establecer lineamientos en el modelamiento de sistemas duales o combinados mediante un análisis no lineal que puedan ser utilizados como criterios de diseño de edificaciones. (Ferrero Cafiero & Pirrone Osuna, 2018)

Un tercer antecedente literario es el trabajo de grado realizado por Andrea Sedano denominado “Análisis Comparativo de las Implicaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10” donde busca determinar la variación de parámetros relacionados con el análisis, diseño y características de la configuración estructural que afectan el costo (Aranguren Sedano, 2011).

Como último referente teórico literario tenemos el artículo realizado por Andrés Chaparro, Alejandro Suárez, José Benjumea y Jesús Morales denominado “Desempeño Sísmico y Cantidades de Obra de Edificaciones Aporticadas de Concreto Reforzado Diseñadas para Diferentes Capacidades de Disipación de Energía” que busca determinar los efectos sobre las cantidades de materiales y el comportamiento sísmico de edificaciones de pórticos cuando la capacidad de disipación de energía es superior a la mínima (Chaparro, Suárez, Benjumea, & Villalba Morales, 2021).



## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 Bases teóricas diseño sismo resistente

En Colombia, la normativa actual para el diseño de edificaciones es el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR 10, el cual relaciona los distintos niveles de desempeño sísmico acordes al nivel de amenaza (alta, media y baja) y el uso de la edificación (Asosismica, 2010).

En este sentido, según el nivel de amenaza del lugar de construcción, la estructura debe ser diseñada con un nivel mínimo de ductilidad, donde los elementos de resistencia sísmica como lo son las vigas, columnas y muros de carga, puedan responder de manera óptima al sismo de diseño correspondiente.

En la NSR 10, el nivel de detalle permite que se obtengan estructuras con capacidad de disipación de energía mínima (DMI), moderada (DMO) o especial (DES), relacionadas con cada uno de los niveles de comportamiento (Chaparro, Suárez, Benjumea, & Villalba Morales, 2021).

De acuerdo con lo anterior, la selección de una capacidad de disipación energía sísmica diferente a la mínima requerida no solo afecta el nivel de desempeño de la edificación, sino que también impacta las cantidades de obra de los elementos del sistema lateral

De acuerdo con lo anterior, la capacidad de disipación energía sísmica con la que se diseñe una estructura se verá afectada en el nivel de desempeño y en la cantidad de materiales de los elementos estructurales.

## 2.2.2 Bases teóricas estadísticas.

### 2.2.2.1 Índices

Los números índices son medidas estadísticas que sirven para comparar una magnitud o un grupo de magnitudes en dos situaciones, una de las cuales se considera de referencia (Zenaida, 2012). En esta situación un índice se refiere a una simple relación entre dos valores de este. Los valores de índices se calculan con las siguientes expresiones:

$$\text{Indice Concreto: } \frac{\text{Total de Concreto Revit [m}^3\text{]}}{\text{Area construida de la estructura [m}^2\text{]}} \quad (1)$$

$$\text{Indice Acero: } \frac{\text{Total de Acero Revit [Kg]}}{\text{Area construida de la estructura [m}^2\text{]}} \quad (2)$$

### 2.2.2.2 Media o promedio.

Matemáticamente es el número que resulta al efectuar una serie determinada de operaciones con un conjunto de números y que en determinadas condiciones puede representar por sí solo a todo el conjunto.

Si agrupamos los valores que se repiten, la expresión de la media es:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^k x_i n_i}{N} = \frac{x_1 n_1 + \dots + x_k n_k}{N} \quad (3)$$

Este es el promedio más utilizado en la práctica y esto es así por las ventajas que tiene y que son fundamentalmente:

- Tiene en cuenta todos los valores observados
- Es fácil de calcular y tiene un claro significado estadístico
- Es única

(Zenaida, 2012, pág. 35)

### 2.2.2.3 Desviación típica o estándar.

Para no trabajar con cifras al cuadrado, se saca la raíz cuadrada de la varianza resultando en la desviación estándar. Es importante destacar que tanto la varianza como la desviación estándar toman a la media como centro al calcular la dispersión y que la media y la varianza o la desviación estándar, por sí solas, describen completamente a una distribución normal, pero solo a una distribución normal. Se representa por  $S'$ .

$$S' = +\sqrt{S'^2} = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (xi - x)^2 ni}{N}} \quad (4)$$

Al venir expresada en las mismas unidades que la variable, permite su comparación con los valores de la variable.

Las propiedades de la desviación típica se deducen fácilmente de las de la varianza. (Zenaida, 2012, pág. 42)

### 2.2.2.4 Límite superior e inferior

Es un rango calculado a partir del promedio y la desviación estándar, el cual se utiliza para demarcar el rango en el cual se encuentra la mayoría de los datos, se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Limite Superior} = x + S' \quad \text{Limite Inferior} = x - S' \quad (5)$$

### 2.2.2.5 Coeficiente de variación.

Es una medida de dispersión relativa libre de unidades de medida por lo que es útil para comparar la variabilidad de dos o más grupos de datos expresados en distintas unidades de medida o cuando los promedios de los conjuntos de datos a comparar son diferentes.

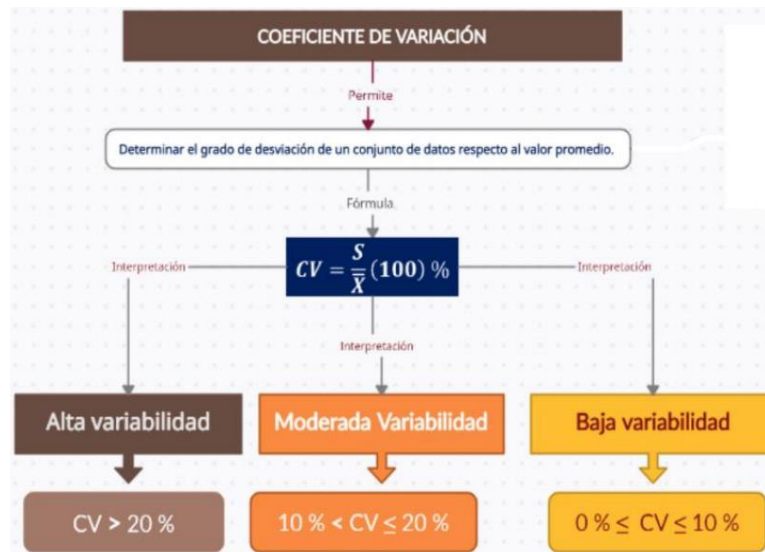
El coeficiente de variación al ser un número libre de unidades de medida, motivo por el cual se puede expresar en porcentajes, es decir:

$$CV = \frac{S'}{X} (100)\% \quad (6)$$

Este número indica la cantidad de veces que la desviación típica contiene a la media, o lo que es lo mismo, el tanto que representa  $S'$  por cada unidad de  $x$  (es un tanto por uno) (Zenaida, 2012, pág. 43).

Puesto que el valor mínimo que puede tomar  $S'$  es cero, este es también el mínimo valor (en valor absoluto) que puede tomar el coeficiente de variación y que corresponde al caso de máxima representatividad de la media aritmética.

**Figura 1** Interpretación del coeficiente de variación



Fuente: Tomado de (Gálvez, 2021)

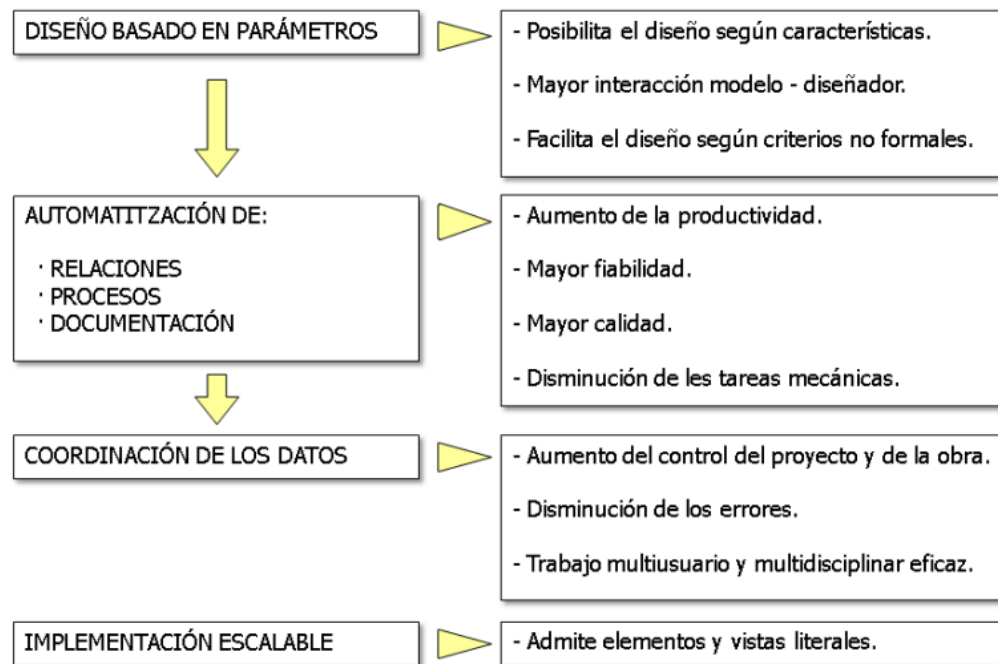
## 2.2.3 Definiciones complementarias

### 2.2.3.1 Tecnología BIM

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling (modelado de la información del edificio) 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, 2008).

La AGC (Associated General Contractors of America) define a la metodología BIM como: "tecnología que permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de softwares computacionales inteligentes, que ayudan a simular la construcción" (Porras , Sánchez , Galvis, Jaimez, & Castañeda, 2015). Esta definición permite ver el modelo BIM, como una herramienta de representación digital 3D que posee información de múltiples modificable de los diseños de un proyecto.

**Figura 2** Pros de la tecnología BIM



Fuente: Tomado de (Coloma Pico, 2008)

### 2.2.3.2 Revit

Es una plataforma de Autodesk que utiliza tecnología BIM. Es un software de diseño de proyectos arquitectónicos e ingeniería en 3D y un sistema completo de documentación de proyectos que respalda todas las fases del proceso (Rodríguez , 2008).

Los proyectos que utilizan Revit tienen una ventaja competitiva inmediata, proporcionando una mejor coordinación y calidad, también, contribuye a una mayor interacción entre los arquitectos y el resto del equipo.

### 2.2.3.3 AutoCAD

Es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Es reconocido internacionalmente por su gran variedad de

posibilidades de edición y el utilizado por arquitectos, ingenieros diseñadores, entre otros. En el que la industria genera alternativas de diseño mediante vistas planas.

#### 2.2.3.4 Cantidades de obra

Cuantificaciones realizadas según los planos, elementos o partes del proyecto. Dichas cantidades están medidas en unidades tales como: metros cúbicos, metros lineales, metros cuadrados, kilogramos y otras unidades.

#### 2.2.3.5 Índices

Los indicadores o índices consisten en expresiones cuantitativas que representan una información obtenida a partir de la medición y evaluación de los productos resultantes. La medición y la evaluación se refieren a la identificación de datos e informaciones y al establecimiento de criterios, especificaciones o valores de comparación entre los resultados obtenidos y estándares o metas definidas.

#### 2.2.3.6 Del lugar de Estudio

Colombia es considerado un país de alta amenaza sísmica debido a su ubicación en el denominado “cinturón de fuego” siendo un territorio tectónicamente activo lo cual implica una alta probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos, en un determinado sitio y tiempo.

El Departamento del Cauca se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta, así lo cataloga la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR10), debido a la configuración geológica de este territorio y a los eventos sísmicos registrados. Uno de los eventos con mayor impacto en el Cauca fue el sismo del 31 de marzo de 1983 en Popayán, dejando consecuencias la pérdida de vidas humanas y la gran afectación de viviendas y construcciones del patrimonio histórico arquitectónico, ubicado en el centro de la ciudad.

Después del sismo de 1983 se evidencian los problemas en cuanto a los sistemas constructivos utilizados en el país y las prácticas de construcción que crea la necesidad de expedir una normatividad para construcciones el cual incluya estudios de amenaza sísmica (Aranguren Sedano, 2011).

Inicialmente se dio origen a la primera norma colombiana de construcciones sismo resistentes, mediante decreto 1400 de 7 de junio de 1984, conocida con las siglas CCCSR 84 (Código Colombiano de Construcciones sismo resistentes). Posteriormente viene la Ley 400 de 1997 y bajo su amparo se expide en 1998 la norma sismo resistente NSR-98 de 1998 y luego en el 2010, la NSR-10. (Garcia, 2015).

#### 2.2.4 Norma vigente de construcción: NSR-10

Actualmente en Colombia se encuentra vigente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), la cual pretende que los promotores de construcción de edificaciones cumplan con ciertos requisitos de carácter técnico-científico principalmente las dimensiones apropiadas y la escogencia de materiales resistentes para el diseño y construcción.

Las siguientes definiciones y parámetros son tomados directamente del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 (2010).

##### 2.2.4.1 Sistemas estructurales

La NSR-10 se permite el uso de cuatro sistemas estructurales. Los cuales pueden ser:

1. Sistema de muro de carga
2. Sistema combinado
3. Sistema de pórtico
4. Sistema dual



A continuación, se describen los sistemas estructurales presentes en el estudio:

#### 2.2.4.1.1 Sistema dual

Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momento y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que se puede clasificar como sistema dual deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- b) Las fuerzas son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base.
- c) Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base.

#### 2.2.4.1.2 Sistema combinado

Consiste en un pórtico tridimensional acoplado con muros estructurales o pórticos con diagonales, ambos de alta ductilidad y resistencia en los cuales los pórticos no alcanzan a soportar el 25 por ciento de la carga horizontal (Awad, 2012), mientras que las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo.

#### 2.2.4.2 Requisitos mínimos normativos para vigas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10)

- C.21.5.1.2. Luz libre.  $l_n$ , no debe ser menor que cuatro veces su altura útil.

- C.21.5.1.3. Ancho del elemento.  $b_w$  no debe ser menor que el más pequeño de  $0.3h$  y  $250$  mm
- C.21.5.2.3. Espaciamiento del refuerzo transversal que confinan las barras traslapadas. No debe exceder al menor entre  $d/4$  y  $100$  mm. No deben usarse empalmes por traslapo:
  - a) Dentro de los nudos
  - b) En una distancia de dos veces la altura del elemento medida desde la cara del nudo, y
  - c) Donde el análisis indique fluencia por flexión causada por desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.
- C.21.5.3.1. Disposición de estribos cerrados de confinamiento. En las siguientes regiones de los elementos pertenecientes a pórticos:
  - a) En una longitud igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara de elemento de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos del elemento en flexión.
  - b) En longitudes iguales a dos veces la altura del elemento a ambos lados de una sección donde puede ocurrir fluencia por flexión debido a desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.
- C.21.5.3.2. Primer estribo cerrado de confinamiento. Debe estar situado a no más de  $50$  mm de la cara del elemento de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor de (a), (b), (c) y (d):
  - a)  $d/4$
  - b) ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas.
  - c) 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento, y
  - d)  $300$  mm.

- C.21.5.2.1. Cuantías mínimas de acero. No debe exceder 0.025. Al menos dos barras deben disponerse en forma continua tanto en la parte superior como inferior.

#### 2.2.4.3 Requisitos mínimos normativos para columnas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10)

- C.21.6.3.1. Refuerzo longitudinal. El área de refuerzo longitudinal,  $A_{st}$ , no debe ser menor que 0.01  $A_g$  ni mayor que 0.04  $A_g$ .
- C.21.6.4.1. Refuerzo transversal. La longitud  $l_o$  no debe ser menor que la de (a), (b) y (c):
  - a) La altura del elemento en la cara del nudo o en la sección donde puede ocurrir fluencia por flexión.
  - b) Un sexto de la luz libre del elemento, y
  - c) 450 mm.
- C.21.6.4.4. Cuantías mínimas de acero. Debe proporcionarse refuerzo transversal en las cantidades que se especifican de (a).
  - a) La cuantía volumétrica de refuerzo en espiral o de estribos cerrados de confinamiento circulares,  $\rho_s$ , no debe ser menor que la requerida por la ecuación  $\rho_s = 0.12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$  y no debe ser menor que la requerida por la ecuación  $\rho_s = 0.45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$

#### 2.2.4.4 Requisitos mínimos normativos para muros de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10)

- C.21.9.2.1. Cuantía mínima. Las cuantías de refuerzo distribuido en el alma,  $\rho_l$  y  $\rho_t$ , para muros estructurales no deben ser menores que 0.0025.

- C.14.5.3. Espesor mínimo. No debe ser menor de 1/25 de altura o longitud del muro, la que sea menor, ni tampoco puede ser menor de 100 mm.

#### 2.2.4.5 Requisitos mínimos normativos para losas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10)

- C.21.11.6. Espesor mínimo. Las losas de concreto y los afinados de piso compuestos que sirven como diafragmas estructurales usados para transmitir fuerzas sísmicas deben tener un espesor mínimo de 50 mm
- C.7.12.2.1. Cuantía mínima. La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que 0.0014:
  - a) En las losas donde se empleen barras corrugadas grado 280 o 350. 0.0020.
  - b) En las losas donde se empleen barras corrugadas grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre. 0.0018.

#### 2.2.4.6 Requisitos mínimos normativos para barras corrugadas de acuerdo con Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10)

- C.12.2. Longitud de desarrollo. No debe ser menor que 300 mm. El espaciamiento entre barras que están siendo empalmadas o desarrolladas no menor que  $db$ , recubrimiento libre no menor que  $db$ , y estribos a lo largo de  $ld$  no menos que el mínimo del Título C NSR-10.
  - a) Para las barras menores a No 6

$$ld = \left( \frac{fy * \phi_t * \phi_e}{2.1 * \lambda * \sqrt{f'c}} \right) * db$$

b) Para barras mayores a No 7

$$l_d = \left( \frac{f_y * \varphi_t * \varphi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f'_c}} \right) * d_b$$

- C.12.5.2. Longitud de gancho. Para las barras corrugadas,  $l_{dh}$  no debe ser menor que  $8d_b$  y 150 mm

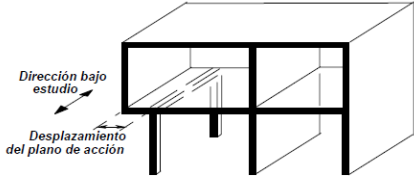
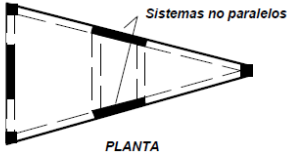
$$l_d = \left( \frac{0.24 * f_y * \varphi_e}{\lambda * \sqrt{f'_c}} \right) * d_b$$

- C.7.1.1. Longitud de gancho. Doblez a  $180^\circ$  más una extensión  $4d_b$ , pero no menor a 65 mm.
- C.7.1.2. Longitud de gancho. Doblez a  $90^\circ$  más una extensión de  $12d_b$  en el extremo de la barra.
- C.7.1.3. Estribos de confinamiento requeridos. Deben emplearse ganchos sísmicos con un doblez de  $135^\circ$ , con una extensión de  $6d_b$ , pero no menor a 75 mm.
- C.12.15. Empalmes de barras corrugadas. La longitud mínima de empalme no debe ser menor que 300 mm.
  - a) Empalme por traslapo clase A 1.0  $l_d$ .
  - b) Empalme por traslapo clase A 1.3  $l_d$ .

## 2.2.4.7 Irregularidades de las estructuras

### 2.2.4.7.1 Irregularidades en planta

**Tabla 1** Descripción irregularidades en planta

Tipo	Descripción	$\phi_p$	Fórmula
1aP	Irregularidad Torsional	0.9	$1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right) \geq \Delta_1 > 1.2 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$
1bP	Irregularidad Torsional externa	0.8	$\Delta_1 > 1.4 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$
2P	Retroceso en las esquinas	0.9	$A > 0.15B$ y $C > 0.15D$
3P	Irregularidad del diafragma	0.9	1) $C \times D > 0.5 A \times B$
			2) $(C \times D + C \times E) > 0.5 A \times B$
4P	Desplazamiento de los planos de acción	0.8	
5P	Sistemas no paralelos	0.9	

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010

2.2.4.7.2 Irregularidades en altura

**Tabla 2** Descripción irregularidades en altura.

TIPO	DESCRIPCIÓN	$\phi_a$	FÓRMULA	
1aA	piso flexible	1	$0.60 \text{ Rigidez } K_D \leq \text{Rigidez } K_C < 0.70 \text{ Rigidez } K_D$ $0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3 \leq \text{Rigidez } K_C < 0.80 (K_D + K_E + K_F) / 3$	
1bA	Piso flexible extremo	1	$\text{Rigidez } K_C < 0.60 \text{ Rigidez } K_D$ $\text{Rigidez } K_C < 0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3$	
2A	Distribución de masa	1	$m_D > 1.50 m_E$ $m_D > 1.50 m_C$	
3A	Geometría	1	$a > 1.30 b$	
4A	Desplazamiento dentro del plano de acción	1	$b > a$	
5aA	Piso débil	1	$0.65 \text{ Resist. Piso C} \leq \text{Resist. Piso B} < 0.80 \text{ Resist. Piso C}$	

5bA	Piso débil extremo	1	Resistencia Piso B < 0.65 Resistencia Piso C	
-----	--------------------	---	--	--

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010



### **3 METODOLOGÍA**

Esta investigación se centró en la búsqueda de índices constructivos que relacionan la cantidad de concreto y acero con el área construida de estructuras con sistema estructural combinado o dual, ubicadas en la ciudad de Popayán.

En el desarrollo de la investigación se usaron diferentes herramientas tecnológicas para procesar y analizar la información, como: Revit, AutoCAD y Excel. Cada programa permitió llevar a cabo de forma eficiente y práctica la metodología planeada.

Finalmente, se realizó el procesamiento de los resultados, empleando herramientas estadísticas para establecer relaciones entre los datos obtenidos y realizar un posterior análisis de las variables relevantes. Este espacio describe las etapas que se desarrollaron en la búsqueda de los objetivos propuestos.

#### **3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y NORMATIVA APLICABLE**

Esta etapa es la relacionada con la búsqueda y recolección de los datos bibliográficos a través de diferentes fuentes de información especializadas. Estos datos fueron sustraídos de artículos, revistas, trabajos de investigación y libros. La búsqueda se centró en aquellas fuentes que aportan información en cuanto a los temas de cantidades de materiales, análisis de datos y metodología BIM.

Posteriormente se estudiaron los criterios mínimos establecidos por la normativa de construcción vigente: NSR 10 Título C, para los sistemas estructurales dual o combinado, marcados en el numeral 2.2.4.

##### **3.1.1 Cálculo de área construida con base en los planos estructurales**

Para sostener la consistencia en los resultados de los índices constructivos, se aseguró que los valores a utilizar de área fuesen determinados bajo los mismos

criterios, por lo que se realizó de manera manual en AutoCAD el cálculo de las áreas construidas de cada estructura con base en las plantas de los diseños estructurales. El proceso para el cálculo de las áreas fue el siguiente:

1. Usando la función “área” se dibuja el perímetro la planta de entrepiso, incluyendo escaleras y cimentación (no se tiene en cuenta el área de cubierta), posteriormente se registra el valor de área.
2. Se repite el proceso anterior para los vacíos de cada entrepiso
3. Se resta el área total de vacíos al área neta de cada entrepiso
4. Se realiza la sumatoria de áreas.

Se repite el procedimiento para cada una de las siete estructuras.

Este proceso permitió encontrar variaciones entre los valores de área suministrados y los calculados, optando por utilizar los valores calculados para la obtención de los índices de cantidades de acero y concreto de las estructuras.

### 3.1.2 Ajustes en el despiece de la estructura

Se revisaron los diseños estructurales de cada proyecto, donde se identificó la ausencia o inapropiada representación de ciertos detalles, que causa un mínimo impacto en las cantidades de materiales de algunos elementos de estructuras en particular, los cuales contradicen la lógica numérica y/o las especificaciones técnicas establecidas en el numeral 322.2.4. En consecuencia, se realizaron ajustes para de esta manera garantizar el cumplimiento de los requisitos de la normativa vigente.

A continuación, se mencionan los detalles estructurales a los cuales se realizaron ajustes en los diferentes proyectos:

- Longitudes de traslapo inadecuadas a la denominación de la barra correspondiente.

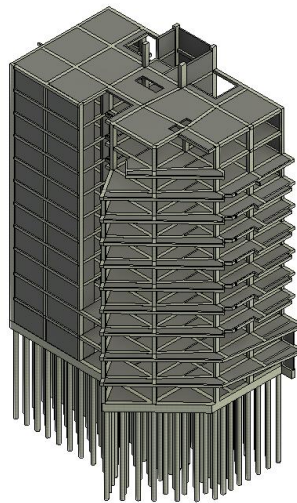
- Incoherencia entre la elección del tipo de gancho y la denominación de la barra elegidas.
- Inconsistencias en barras de acero entre vistas transversales y longitudinales
- Ausencia de elementos de anclaje en los detalles estructurales.
- Intersección entre estribos correspondientes a columnas y vigas.

En el ANEXO 2, se describieron los ajustes realizados en cada estructura según las inconsistencias encontradas en los planos estructurales.

### 3.2 MODELACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA CON METODOLOGÍA BIM

Con el objetivo de obtener datos precisos sobre las cantidades de materiales constructivos para las diversas estructuras analizadas, se empleó el software Revit, el cual facilita la modelación y representación de cada componente estructural. El procedimiento detallado para modelar la Estructura 6, que ha sido seleccionada como modelo tipo, se describió en el ANEXO 3. Adicionalmente, en el ANEXO 5 se encuentran consignadas las imágenes del modelo 3D de todas las estructuras.

**Figura 3** Modelo de estructura 6 en 3D



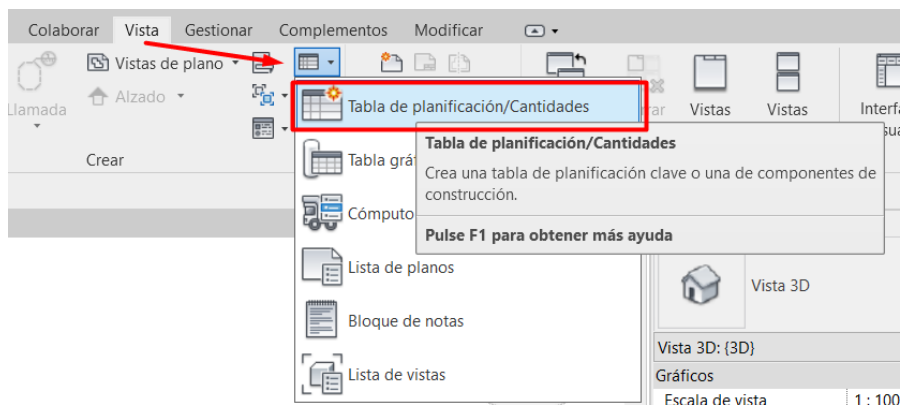
Fuente: Elaboración propia en Revit

### 3.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

#### 3.3.1 Cuantificación de acero y concreto

Una vez finalizado el modelo estructural, se procedió a obtener las cantidades de concreto y acero utilizando la herramienta "Tabla de Planificación" proporcionada por el programa Revit, como se muestra en la **Figura 4**. Esta herramienta permitió calcular la cantidad exacta y actualizada de los materiales empleados en la estructura. Para ello, se seleccionaron las categorías y parámetros necesarios con el objetivo asegurar la legibilidad y precisión de los datos, según el siguiente procedimiento:

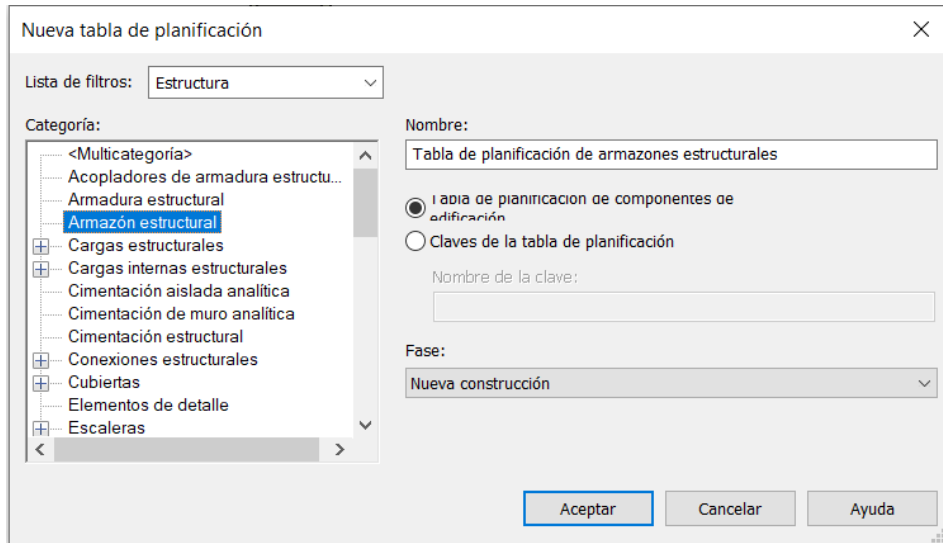
**Figura 4** Herramienta de obtención de cantidades



Fuente: Elaboración propia en Revit

Dentro de la herramienta planificación tenemos la lista para seleccionar la categoría de interés, como se observa en la **Figura 5**

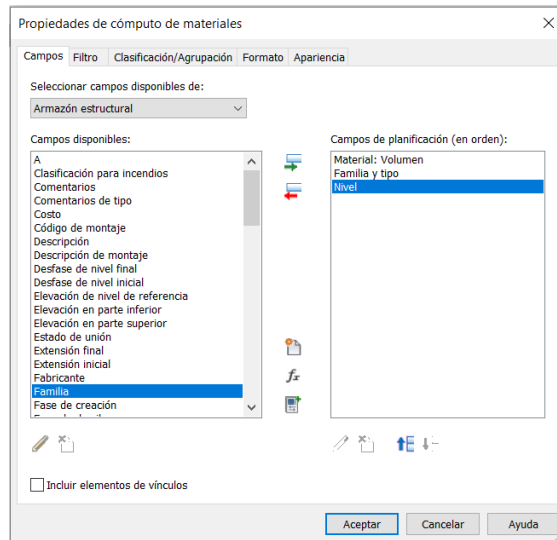
**Figura 5** Selección de categoría



Fuente: Elaboración propia en Revit

Con la categoría de interés definida se proceden a seleccionar los parámetros necesarios para la generación de información importante, como se observa en la **Figura 6**.

**Figura 6** Selección de parámetros



Fuente: Elaboración propia en Revit

Una vez configurados los parámetros y ajustadas las pestañas (Campos, Filtro, Clasificación/Agrupación, Formato y Apariencia) según los requisitos, Revit generó una tabla detallada que recoge las cantidades de concreto y acero de la modelación de la estructura en estudio, incluyendo la suma total de estos materiales, como se ilustra en la **Figura 7**. Adicionalmente, Revit ofreció la opción de exportar los datos en formato texto, permitiendo su importación en Excel para realizar cálculos adicionales y organización de la información.

**Figura 7** Resultados en tablas de cantidades

<ACERO (Completo)>					
A	B	C	D	E	F
Diámetro de barra	Categoría de anfitrión	Longitud de barra	Cantidad	Peso Nominal	Peso Total
6.35 mm	Armazón estructural 390 mm		66	0.25 kg/m	6.49 kg
6.35 mm	Armazón estructural 390 mm		66	0.25 kg/m	6.49 kg
6.35 mm	Armazón estructural 390 mm		66	0.25 kg/m	6.49 kg
6.35 mm	Armazón estructural 390 mm		66	0.25 kg/m	6.49 kg
6.35 mm	Armazón estructural 390 mm		66	0.25 kg/m	6.49 kg

<CONCRETO (Completo)>		
A	B	C
Familia	Tipo	Material: Volumen
Hormigón-Rectangu	C2 0.4*0.6	2.30 m³
Hormigón-Rectangu	C2 0.4*0.6	7.83 m³
Hormigón-Rectangu	C2 0.4*0.6	8.52 m³
Hormigón-Rectangu	C2 0.4*0.6	8.52 m³

Fuente: Elaboración propia en Revit

### 3.3.2 Determinación de los estados de análisis

Con base en la información obtenida del numeral anterior se determinaron las cantidades de material correspondiente a cada elemento que conforma la estructura, cimentación, losas de entrepiso, columnas, vigas y muros. Para posteriormente determinar tres estados de análisis, los cuales evalúan las estructuras desde diferentes perspectivas.

Los estados definidos son los siguientes:

- Estado de análisis 1: contempla únicamente elementos estructurales que conforman el sistema de resistencia sísmica: Columnas Vigas y muros.

- Estado de análisis 2: contempla la estructura con losas de entrepiso y elementos estructurales sismorresistentes
- Estado de análisis 3: contempla la estructura completa (cimentación, losas de entrepiso y elementos estructurales sismorresistentes)

La inclusión de estos estados de análisis a la investigación nos permitió profundizar en el estudio del comportamiento de las tendencias de los índices constructivos.

### 3.3.3 Generación de Índices Constructivos

Con la información generada en el numeral 3.3.1 y el área calculada para cada estructura, se procedió con la obtención de los índices constructivos, tal como está estipulado en la ecuación **(1)** y **(2)**.

Para determinar las tendencias en cada estado de análisis, se generaron en cada estado dos índices principales que corresponden al consumo total de acero y concreto. Adicionalmente, con la finalidad de profundizar en el comportamiento de las tendencias se emplearon 10 índices secundarios (5 de acero y 5 de concreto) por estructura, que corresponden al consumo de cada elemento estructural presente en las estructuras, llámense: cimentación, losas de entrepiso, columnas, vigas y muros.

## 3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ÍNDICES

Con los valores de los índices principales de acero y concreto de cada estructura, se realizó un análisis comparativo el cual sigue la siguiente metodología para los tres estados de análisis.

Inicialmente, para un tipo de material (concreto o acero) se obtuvo el promedio según lo estipulado en la ecuación **(3)**, en seguida se calculó el valor de la desviación estándar **(4)** y se definió así un rango de variabilidad de los índices que se encuentra entre el límite superior e inferior del estado de análisis en cuestión **(5)**. Posteriormente, se realizó una gráfica de dispersión donde se visualizaron los

índices con el promedio y el límite superior e inferior, con la finalidad de analizar de manera visual el comportamiento de la tendencia.

Para complementar el análisis se obtuvo el coeficiente de variación según la ecuación **(6)** el cual nos proporciona información relativa de la lejanía de los datos entre ellos y el promedio. Se repite el procedimiento para el otro material.

Adicionalmente, debido a la naturaleza relativa del coeficiente de variación, este permitió establecer comparaciones entre grupos, determinando cuál es el estado de análisis con menor coeficiente de variación y exponer las razones de estas diferencias en la variabilidad mediante el empleo de los índices secundarios, los cuales, mediante gráficas de columnas, facilitan la comprensión de los datos y exponen como cada elemento afecta la variabilidad de las tendencias.

Finalmente, a partir de las gráficas y tablas generadas para el estado de análisis uno, se buscó responder la pregunta planteada en el problema de la investigación.

En el Anexo 3 se presentó el procedimiento llevado a cabo con los datos de cantidad de material para encontrar los valores estadísticos anteriormente mencionados.



## 4 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE ESTUDIO

### a. Estructura 1

La estructura 1 es un edificio de 9 pisos con una altura total de 29.4m, cimentado en un suelo de perfil tipo D y para el cual se obtuvo un área construida según los planos de 2231.64 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.32x0.80 m, 0.30x0.55 m, 0.35x0.70 m, 0.32x1.28 m, 0.31x1.20 m, 0.30x0.80 m, 0.30x0.70 m, 0.30x0.60 m y 0.30x0.75 m.
- Vigas: 0.30x0.40 m, 0.25x0.40 m y 0.15x0.40 m
- Muros: e=0.2 m y e=0.25 m
- Losa Maciza: e=0.10 m
- Cimentación: Pilotes D=0.6 m y D=0.8 m

### b. Estructura 2

La estructura 2 es un edificio de 10 pisos con una altura de 35.9 m, cimentado en un suelo de perfil tipo D y para el que se obtuvo un área construida según los planos de 19960.9 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.8x0.5 m
- Vigas: 0.40x0.90 m, 0.30x0.30 m y 0.4x0.50 m.
- Muros: e=0.20 m, e=0.25 m, e=0.30 m y e=0.40 m
- Losa Aligerada: e=0.05 m y Nervio=0.12 m
- Losa Maciza: e=0.3 m
- Cimentación: caisson D=1.2 m

### c. Estructura 3

La estructura 3 es un edificio de 4 pisos con una altura de 9.35 m, cimentado en un suelo de perfil tipo D y para el que se obtuvo un área construida según los planos de 3002.91 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.45x0.35 m, 0.40x0.45 m, 0.40x0.40 m, 0.45x0.45 m, 0.35x0.35 m, 0.35x1.00 m, 0.20x0.50 m y D=0.40 m.
- Vigas: 0.35x0.45 m, 0.35x0.40 m, 0.20x0.40 m y 0.3x0.40 m.
- Muros: e=0.20 m
- Losa Aligerada: e=0.05 m y Nervio=0.12 m
- Losa Maciza: e=0.12 m
- Cimentación: losa maciza e=0.2 m y zapatas corridas b=1.45

### d. Estructura 4

La estructura 4 es un edificio de 8 pisos con una altura de 19,44 metros, cimentado en un suelo de perfil tipo E y para el que se obtuvo un área construida según los planos de 2172.1 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.45x0.45 m, 0.40x0.40 m y 0.40x0.60 m
- Vigas: 0.30x0.30 m, 0.30x0.40 m, 0.20x0.30 m y 0.15x0.30 m
- Muros: e=0.15 m y e=0.20 m
- Losa Aligerada: e=0.05 m y Nervio=0.30 m
- Losa Maciza: e=0.12 m
- Cimentación: pilotes D=0.6 m

#### **e. Estructura 5**

La estructura 5 es un edificio de 7 pisos con una altura total de 16,33 metros, cimentado en un suelo de perfil tipo D y para el cual se obtuvo un área construida según los planos de 1084.14 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.30x0.45 m y 0.30x0.30 m
- Vigas: 0.30x0.30 m, 0.25x0.30 m y 0.15x0.30 m
- Muros: e=0.20 m
- Losa Maciza: e=0.15 m
- Cimentacion: zapata Corrida=1.70 m

#### **f. Estructura 6**

La estructura 6 es un edificio de 12 pisos con una altura total de 32.64 metros, cimentado en un suelo de perfil tipo E y para el cual se obtuvo un área construida según los planos de 4006.94 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.45x0.75 m, 0.40x0.40 m, 0.30x0.60 m, 0.40x0.60 m
- Vigas: 0.30x0.35 m, 0.35x0.40 m, 0.20x0.35 m, 0.15x0.35 m
- Muros: e=0.15 m, e=0.2 m, e=0.3 m
- Losas Aligerada: e=0.05 m y Nervio=0.35 m, e=0.12 m y Nervio=0.35 m
- Losa Maciza: e=0.12 m
- Cimentacion: pilotes D=0.5 m

#### **g. Estructura 7**

La estructura 7 es un edificio de 9 pisos con una altura de 27 metros, cimentado en un suelo de perfil tipo D y para el que se obtuvo un área construida según los planos

de 4236.66 m<sup>2</sup>. Esta estructura cuenta con las siguientes dimensiones en sus elementos:

- Columnas: 0.45x1.15m, 0.35x1.00 m, 0.40x1.00 m, 0.40x1.60 m, 0.55x0.25 m, 0.50x0.35 m, 1.05x0.30 m – 1.10x0.35 m (T) y 1.65x0.30 m – 0.80x0.35 m (T).
- Vigas: 0.30x0.35 m, 0.35x0.40 m, 0.40x0.60 m, 0.80x0.60 m y 0.35x1.70 m.
- Muros: e=0.25 m, e=0.40 m y e=0.35 m
- Losa Aligerada: e=0.07 m y Nervio=0.12 m
- Losa Maciza: e=0.3 m
- Cimentación: caisson D=1.2 m

## 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalizado el proceso de modelación, generación de tablas de cantidades y el cálculo de los índices de consumo de cada estructura para los estados 3 de análisis definidos, se consignaron y organizaron los datos mediante tablas y gráficos que permiten visualizar el comportamiento y verificar la tendencia de los resultados. El proceso llevado a cabo para la obtención de resultados se encuentra representado en el ANEXO 4

### 5.1 CANTIDADES DE MATERIALES DE LAS ESTRUCTURAS

Se presentó en la **Tabla 3** y **Tabla 4**, la cantidad de concreto y de acero generadas por el software Revit para cada estructura en cada estado de análisis y el valor del área.

**Tabla 3** Cantidades de concreto de las estructuras en los estados de análisis

Proyecto	Área [m2]	Estado 1	Estado 2	Estado 3
Proyecto 1	2231.64	567.03	706.45	925
Proyecto 2	19960.93	4518.42	6467.33	7522.33
Proyecto 3	3002.91	355.45	565.81	715.33
Proyecto 4	2172.1	265.53	410.59	873.27
Proyecto 5	1084.14	109.39	241.69	301.99
Proyecto 6	4006.94	706.16	1048.55	1698.99
Proyecto 7	4236.66	887.28	1280.40	1461.15

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4** Cantidades de acero de las estructuras en los estados de análisis

Proyecto	Área [m2]	Estado 1	Estado 2	Estado 3
Proyecto 1	2231.64	134630.02	148014.48	172778.4
Proyecto 2	19960.93	638716.24	819450.37	986432.68
Proyecto 3	3002.91	64131.72	84787.5	100897.58
Proyecto 4	2172.1	58696.19	67188.44	114473.83
Proyecto 5	1084.14	17925.72	28772.78	35664.21
Proyecto 6	4006.94	131257.8	164766.3	211183
Proyecto 7	4236.66	146969.04	184866.03	220936.98

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 3** y **Tabla 4**, se evidenció la diferencia de los valores de consumo de material entre las estructuras, esto debido a las características particulares de cada una. Sin embargo, se observó que el área construida conserva una relación directa tanto para el consumo de concreto como para el consumo de acero, por lo tanto, a mayor área construida, mayor consumo de materiales.

De la **Tabla 3** y **Tabla 4**, también, se evidenció una disminución en las cantidades de material entre los estados de análisis, esto, debido a que cada uno considera con un número diferente de elementos, siendo el estado 3 el que representa el mayor consumo de material, analizando la estructura completa: cimentación, losas de entrepiso y sistema de resistencia sísmica. Caso contrario, el estado de análisis 1 el cual solo tuvo en consideración el sistema de resistencia sísmica (columnas, vigas y muros) por ende representa un menor consumo.

## 5.2 RESULTADOS Y ESTUDIO DE ÍNDICES CONSTRUCTIVOS POR ESTADO DE ANÁLISIS PARA 7 PROYECTOS

Para el estudio de los resultados de los tres estados de análisis, fue necesario utilizar herramientas estadísticas básicas como lo son el promedio y la desviación estándar, para posteriormente determinar el coeficiente de variación. Este coeficiente, expresado como un porcentaje permite visualizar de forma relativa la variabilidad de los índices de consumo de acero y concreto respecto a sus respectivos promedios, facilitando la identificación de posibles tendencias para establecer un índice general en cada estado de análisis. Por lo mencionado anteriormente, se obtuvieron los valores de los índices de consumo de cada elemento que conforma la estructura, con la finalidad de analizar como estos pueden afectar en el comportamiento de los índices constructivos entre los estados de análisis

Para abordar la pregunta central de la investigación, se utilizó como base principal de resultados el estado de análisis 1, dado que este se enfoca exclusivamente en el sistema de resistencia sísmica. Esta elección se fundamenta en la mayor estandarización de los requisitos de diseño que presentan los elementos que constituyen dicho sistema: columnas, vigas y muros. En contraste con otros elementos que conforman la estructura, como la cimentación, cuyo diseño está ligado también de características particulares del sitio como características mecánicas del suelo. Del mismo modo, las losas de entrepiso están influenciadas por factores como el tiempo de construcción, aspectos económicos y disponibilidad de recursos en el mercado. Por lo mencionado anteriormente, el análisis de esta investigación comienza con el estado de análisis 1.

### 5.2.1 Estado de análisis 1

En este estado, se consideraron los elementos constituyentes del sistema de resistencia principal (columnas, vigas y muros). los índices constructivos y resultados estadísticos están resumidos en la **Tabla 5** y **Tabla 6**, respectivamente.

**Tabla 5** Resumen de Índices constructivos del estado de análisis 1

PROYECTO	Área [m <sup>2</sup> ]	Índice Concreto [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	Índice Acero [kg/m <sup>2</sup> ]
Proyecto 1	2231.64	0.254	60.33
Proyecto 2	19960.93	0.226	32.00
Proyecto 3	3002.91	0.118	21.36
Proyecto 4	2172.1	0.122	27.02
Proyecto 5	1084.14	0.101	16.53
Proyecto 6	4006.94	0.176	32.76
Proyecto 7	4236.66	0.209	34.69

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6** Resultados estadísticos del estado de análisis 1

Herramienta Estadística	Concreto [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	Acero [kg/m <sup>2</sup> ]
Promedio	0.172	32.10
Desviación Estándar	0.055	13.02
Coefficiente de variación	32.12%	40.58%

Fuente: Elaboración propia

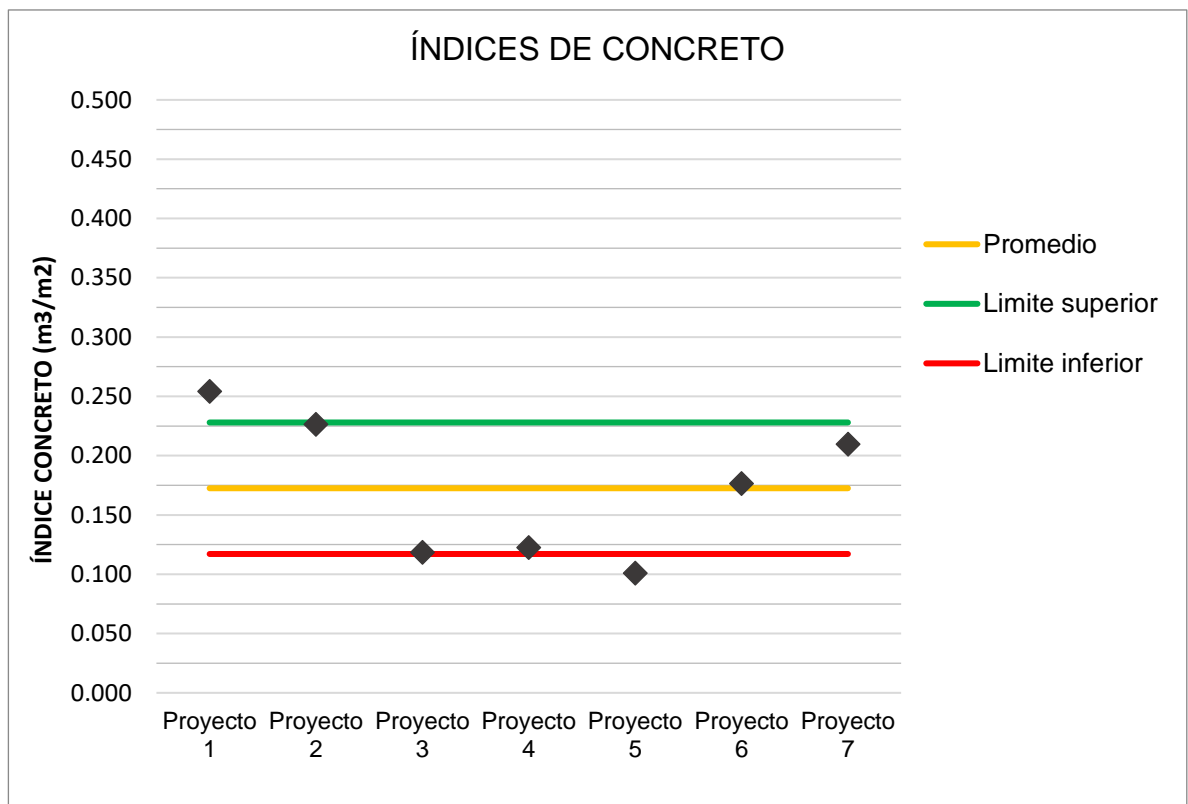
En este estado de análisis, según el coeficiente de variación obtenido y con base en la **Figura 1**, se determinó que hay una alta variabilidad tanto en el índice de concreto como de acero. Esto indicó que existe una baja tendencia de consistencia entre los valores de los índices analizados.



Para el análisis del comportamiento del índice de concreto, se presentaron dos gráficas complementarias, la primera muestra un diagrama de dispersión que ilustra la distribución de los índices, y la segunda, que detalla la contribución del índice de consumo de cada elemento al índice total de la estructura.

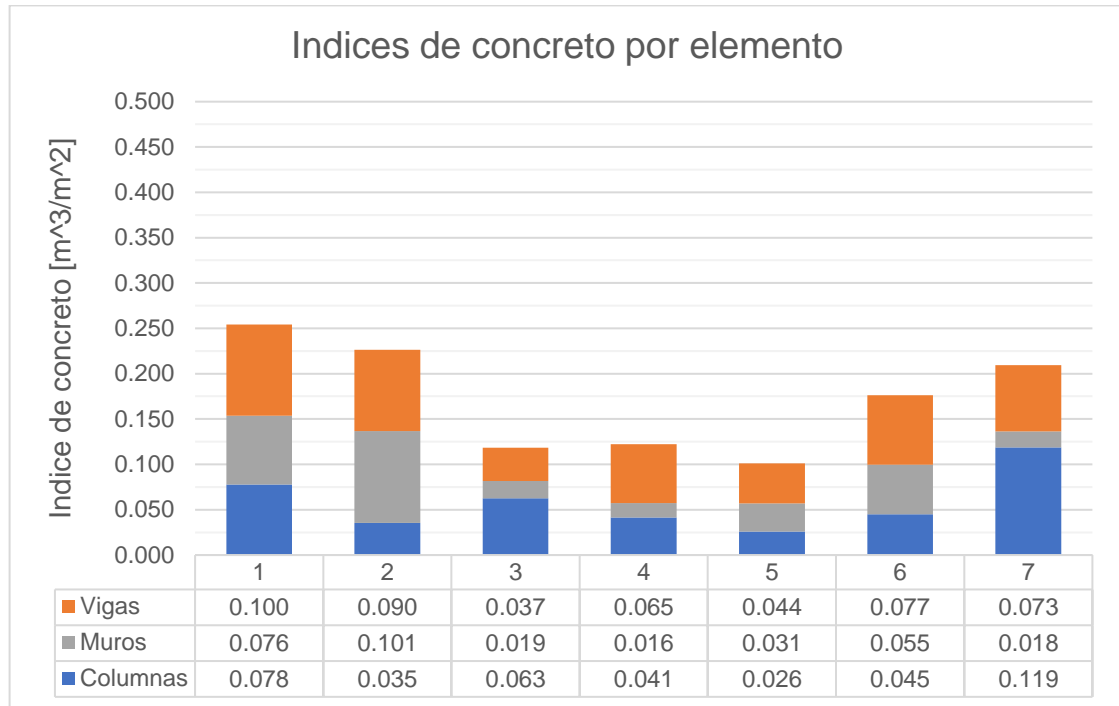
### 5.2.1.1 Representación y estudio de índices de concreto

**Figura 8** Índices de concreto con promedio y desviación estándar para estado de análisis 1



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9** Índices de concreto por elemento para estado de análisis 1



Fuente: Elaboración propia

A partir de la distribución de los índices de concreto indicada en la **Figura 8** se agruparon las estructuras en categorías de proyectos con valores de índices similares, que permitieron realizar una caracterización basada en el numeral 4 y en los datos presentados en las **Figura 9**, de la siguiente forma:

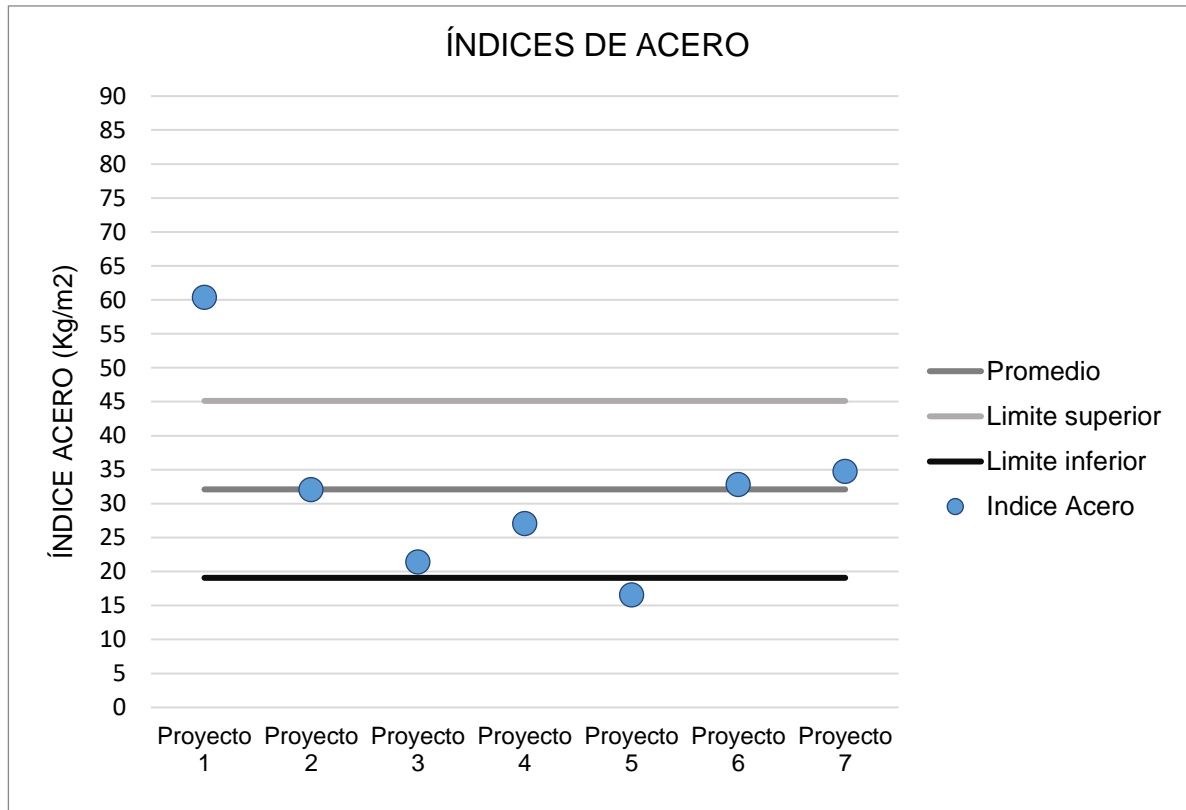
- a. Grupo 1: comprende el Proyecto 1, Proyecto 2 y Proyecto 7. Los índices de estos proyectos se encontraron cercanos al límite superior, las características comunes incluyen el número de pisos (9, 10 y 9), posicionándolos entre las estructuras más altas. Según la **Figura 9** estos proyectos presentaron el mayor consumo de concreto en elementos verticales (columnas y muros) y están cimentados sobre el mismo perfil de suelo (Tipo D).
- b. Grupo 2: incluye el Proyecto 6, cuyo índice se encontró cercano al valor promedio. Aunque por sus características estructurales se esperaba que forme parte del grupo 1 (por ser el segundo proyecto más alto) su índice es inferior

debido a un menor consumo de concreto en los elementos verticales de la estructura como se evidencia en la **Figura 9**.

- c. Grupo 3: compuesto por el Proyecto 3, Proyecto 4 y Proyecto 5, cuyos índices estuvieron cercanos al límite inferior, lo que representa un menor consumo de materiales. las características comunes que explican esta similitud entre los índices son la menor altura de las estructuras, siendo las más bajas del conjunto analizado, y un consumo de concreto similar entre los elementos estructurales verticales según la **Figura 9**. Además, los diseños estructurales se consideran relativamente sencillos.

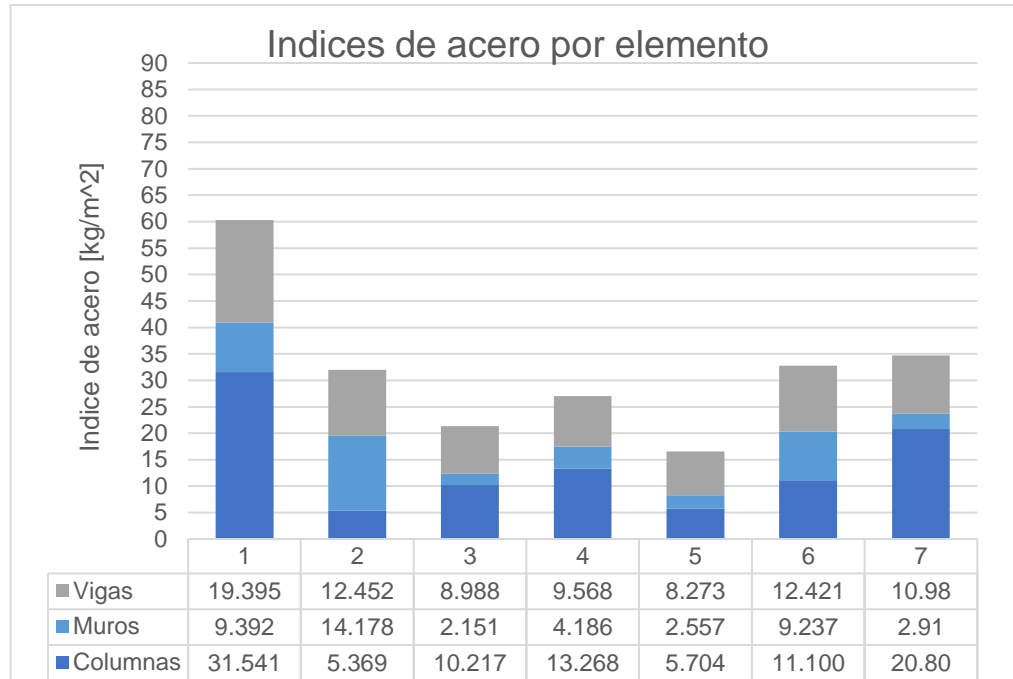
#### 5.2.1.2 Representación y estudio de índices de acero

**Figura 10** Índices de acero con promedio y desviación estándar para estado de análisis 1



Fuente: Elaboración propia

**Figura 11** Índices de acero por elemento para estado de análisis 1



Fuente: Elaboración propia

A partir de la distribución de los índices de acero presentada en la **Figura 10**, se reunieron las estructuras en grupos de proyectos con valores de índices similares, que permitieron realizar una caracterización basada en el numeral 4 y en los datos presentados en la **Figura 11**, de la siguiente forma:

- a. Grupo 1: proyecto 1. Este proyecto presentó un alto consumo de acero de refuerzo en columnas y vigas, según se observa en la **Figura 11**. Este comportamiento es coherente con los planos estructurales, que muestran que las columnas cuentan con un refuerzo longitudinal y transversal mayor en comparación con los demás proyectos en estudio. Asimismo, se evidenció que la cuantía de acero en las vigas es casi idéntica entre el primer y el penúltimo entrepiso. La razón de este incremento se debió a las irregularidades de la estructura, la cual, según el ANEXO 1, fue la más irregular de todas, lo que

conllevó a una mayor demanda sísmica y, en consecuencia, un mayor consumo de acero. No obstante, debido a la gran diferencia en los índices en comparación con los demás proyectos, el Proyecto 1 se considera un valor atípico en el análisis de acero.

- b. Grupo 2: proyecto 2, Proyecto 4, Proyecto 6 y Proyecto 7. Los índices de estos proyectos fueron cercanos entre sí, las características comunes que justificaron esta similitud incluyen alturas similares y un consumo de acero comparable en los elementos verticales y horizontales, como se indica en la **Figura 11**.
- c. Grupo 3: proyecto 3 y Proyecto 5. Este grupo presentó los índices de acero más bajos, entre las razones se encontraron la altura de las edificaciones. Sin embargo, al analizar la **Figura 11**, se concluyó que el consumo de acero para las vigas es similar entre ambos proyectos, no obstante, el proyecto 3 presentó un mayor consumo en columnas, debido a su mayor complejidad estructural en comparación con el proyecto 5, lo que implicó una distribución más extensa de columnas en el diseño del proyecto 3.

Del estudio realizado en este estado de análisis, se pudo afirmar, con base en las **Figura 9** y la **Figura 11** que las vigas son el elemento estructural que cuenta con mayor consistencia en su comportamiento y posibilita la determinación de un estándar en los índices.

### 5.2.2 Estado de análisis 2

En este estado, las estructuras se encontraron conformadas por los siguientes elementos: losas de entrepiso y sistema de resistencia sísmica. los índices constructivos y los valores estadísticos están resumidos en la **Tabla 7** y **Tabla 8**, respectivamente.

**Tabla 7** Resumen de índices constructivos del estado de análisis 2

PROYECTO	Área [m <sup>2</sup> ]	Índice Concreto [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	Índice Acero [kg/m <sup>2</sup> ]
Proyecto 1	2231.64	0.317	66.33
Proyecto 2	19960.93	0.324	41.05
Proyecto 3	3002.91	0.188	28.24
Proyecto 4	2172.1	0.189	30.93
Proyecto 5	1084.14	0.223	26.54
Proyecto 6	4006.94	0.262	41.12
Proyecto 7	4236.66	0.302	43.63

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8** Resultados estadísticos del estado de análisis 2

Herramienta Estadística	Concreto [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	Acero [kg/m <sup>2</sup> ]
Promedio	0.258	39.69
Desviación Estándar	0.054	12.59
Coefficiente de variación	21.03%	31.72%

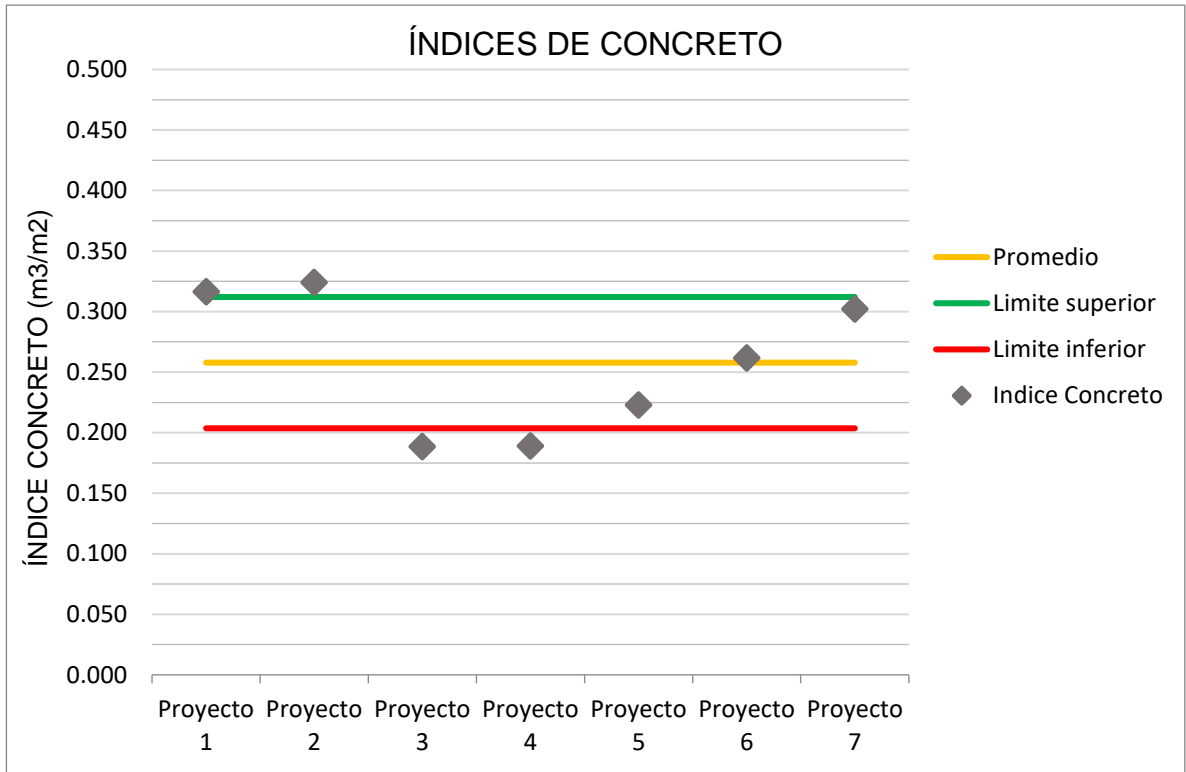
Fuente: Elaboración propia

En este estado de análisis según el coeficiente de variación obtenido y con base en la **Figura 1**, se evidenció una alta variabilidad tanto en el índice de concreto como de acero. Esto indica que existió una baja tendencia de consistencia entre los valores de los índices.

Para el análisis del comportamiento del índice de concreto, se presentaron dos gráficas complementarias, la primera muestra un diagrama de dispersión que ilustraron la distribución de los índices, y la segunda, que detalló la contribución del índice de consumo de cada elemento al índice total de la estructura.

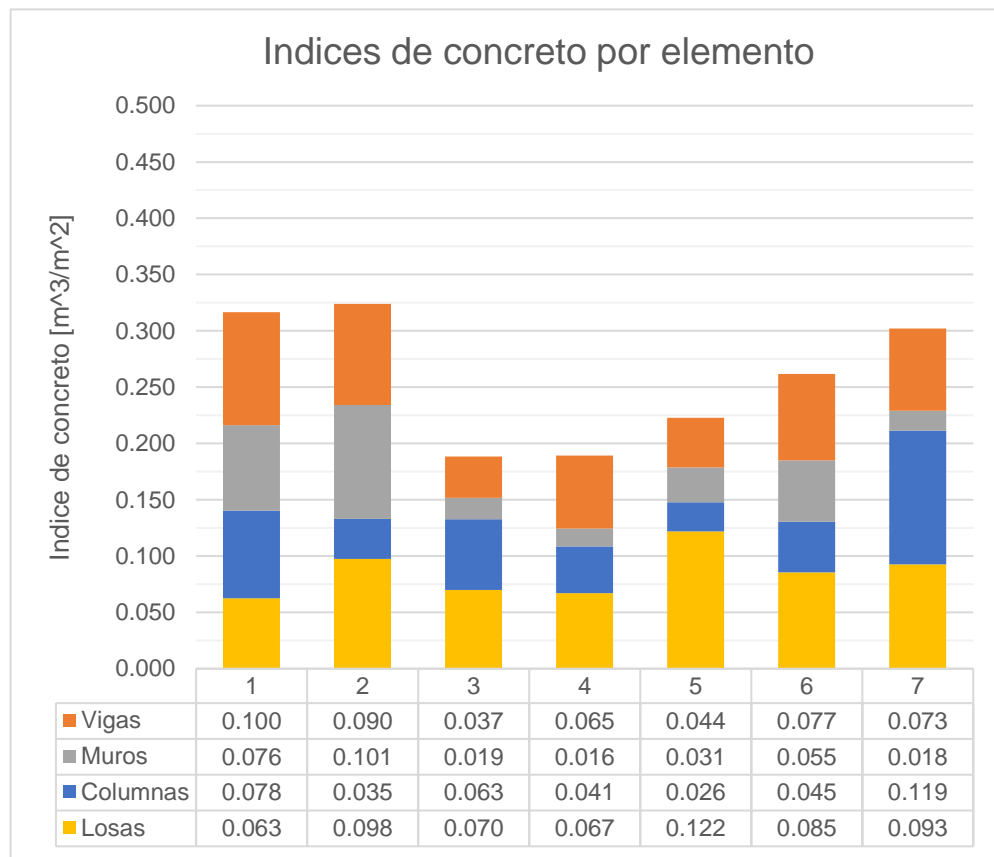
### 5.2.2.1 Representación y estudio de índices de concreto

**Figura 12** Índices de concreto con promedio y desviación estándar para estado de análisis 2



Fuente: Elaboración propia

**Figura 13** Índices de concreto por elemento para estado de análisis 2



Fuente: Elaboración propia

De la **Figura 12** se observó como la tendencia que se presentó en el estado de análisis 1 se conservó, esto debido a la homogeneidad del índice correspondiente a la losa de entepiso de los proyectos, como se evidencia en la figura 13.

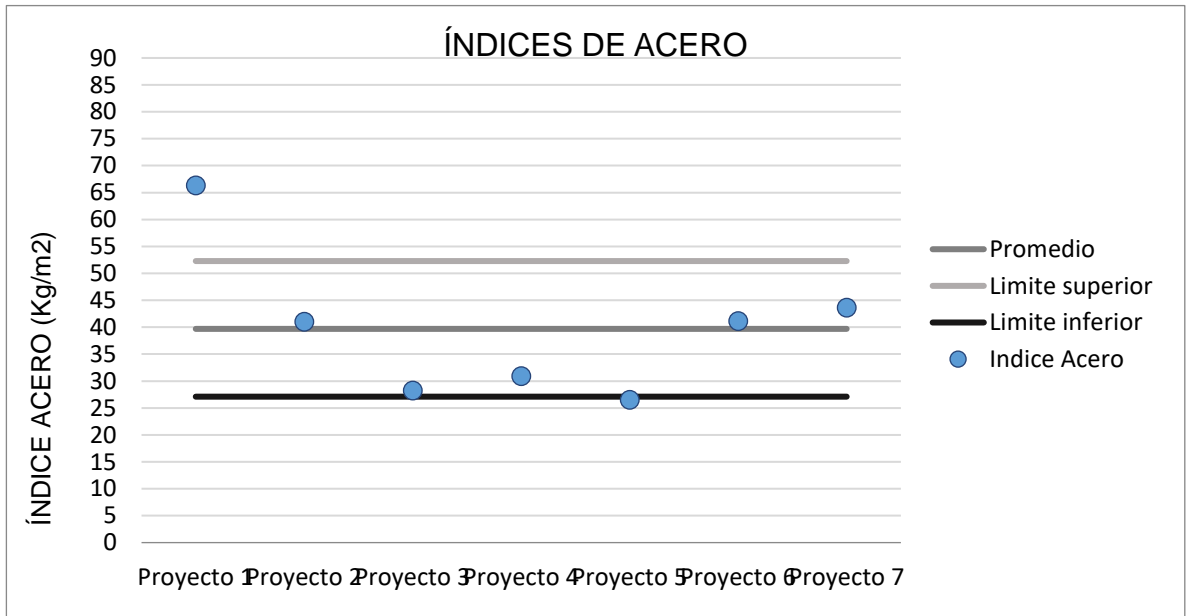
Por lo mencionado, se observó como en particular las estructuras 2, 3, 4, 6 y 7 que dispusieron de losa aligerada, presentaron una tendencia más estrecha entre sus valores, debido a que sus variables de diseño al estar parametrizadas permiten mantener una tendencia en el consumo de material

Según la **Figura 13** las cantidades de concreto que aportaron las losas aligeradas de entepiso de los proyectos 2, 3, 4, 6 y 7, mantuvieron una tendencia indicando la posibilidad de establecer un índice.



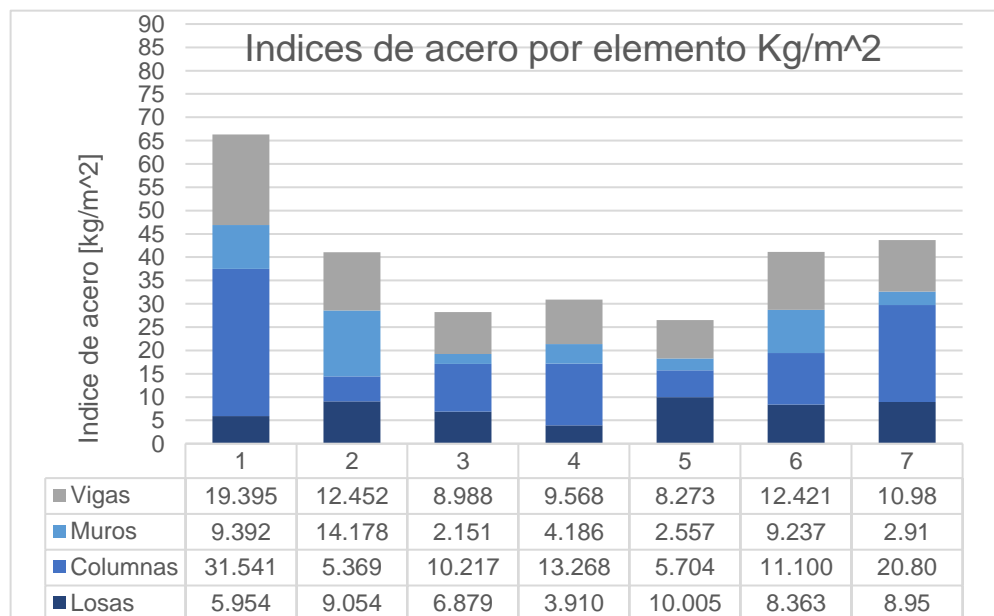
### 5.2.2.2 Representación y estudio de índices de acero

**Figura 14** Índices de acero con promedio y desviación estándar para estado de análisis 2



Fuente: Elaboración propia

**Figura 15** Índices de acero por elemento para estado de análisis 2



Fuente: Elaboración propia

En comparación de la **Figura 14** con la **Figura 10** se pudo observar que los todos los proyectos, mantuvieron la tendencia en los índices de consumo de acero proveniente del estado de análisis 1. En ese sentido, el aporte de las losas representa una distribución homogénea en los índices totales.

### 5.2.3 Estado de análisis 3

En este estado, las estructuras se encontraron conformadas por los siguientes elementos: cimentación, losas de entre piso y sistema de resistencia sísmica: Columnas, vigas y muros. los índices constructivos y los valores estadísticos están resumidos en la **Tabla 9** y **Tabla 10**, respectivamente.

**Tabla 9** Resumen de índices constructivos del estado de análisis 3

PROYECTO	Área [m <sup>2</sup> ]	Índice Concreto [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	Índice Acero [kg/m <sup>2</sup> ]
Proyecto 1	2231.64	0.414	77.42
Proyecto 2	19960.93	0.377	49.42
Proyecto 3	3002.91	0.238	33.60
Proyecto 4	2172.1	0.402	52.70
Proyecto 5	1084.14	0.279	32.90
Proyecto 6	4006.94	0.424	52.70
Proyecto 7	4236.66	0.345	52.15

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10** Resultados estadísticos del estado de análisis 3

Herramienta Estadística	Concreto [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	Acero [kg/m <sup>2</sup> ]
Promedio	0.354	50.13
Desviación Estándar	0.066	13.80
Coeficiente de variación	18.66%	27.53%

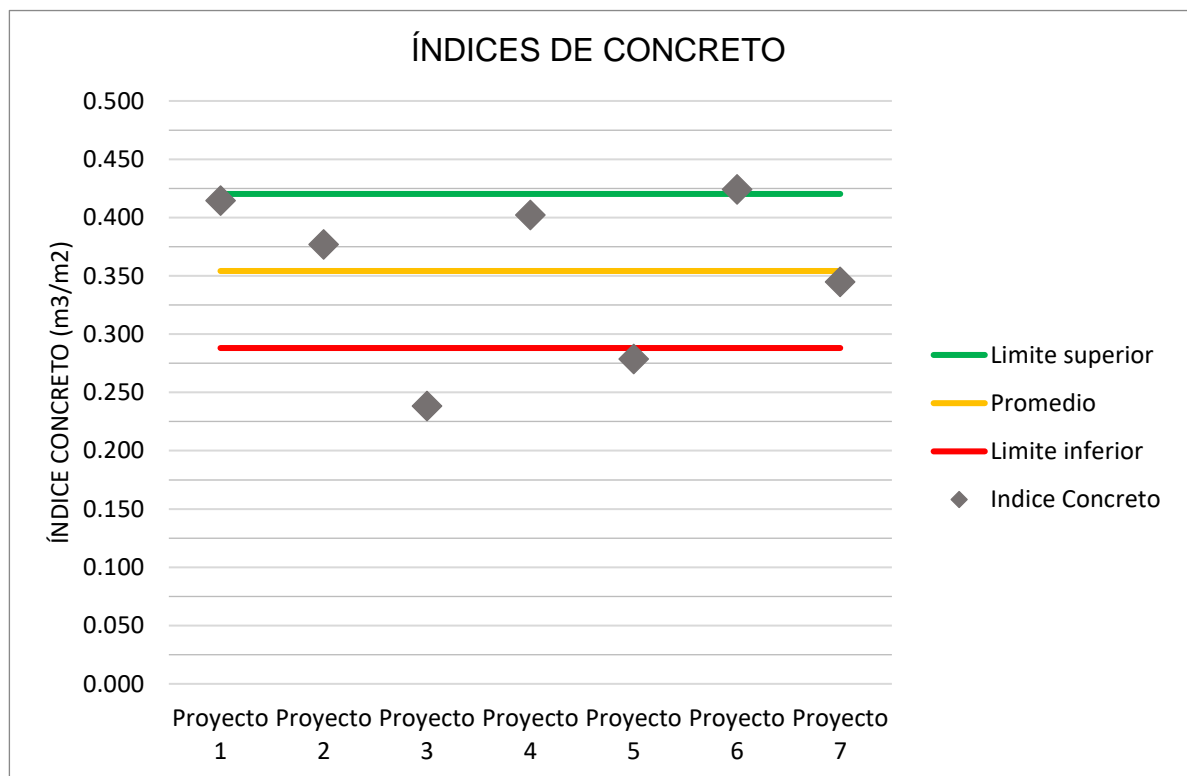
Fuente: Elaboración propia

En este estado de análisis según el coeficiente de variación obtenido y con base en la **Figura 1**, se evidenció una variabilidad moderada en el índice de concreto y una alta variabilidad en el índice de acero. Esto indicó que existe una baja tendencia de consistencia entre los valores de los índices. sin embargo, el concreto presentó un comportamiento más adecuado a un estándar.

Para el análisis del comportamiento del índice de concreto, se presentaron dos gráficas complementarias, la primera muestra un diagrama de dispersión que ilustra la distribución de los índices, y la segunda, detalla la contribución del índice de consumo de cada elemento al índice total de la estructura.

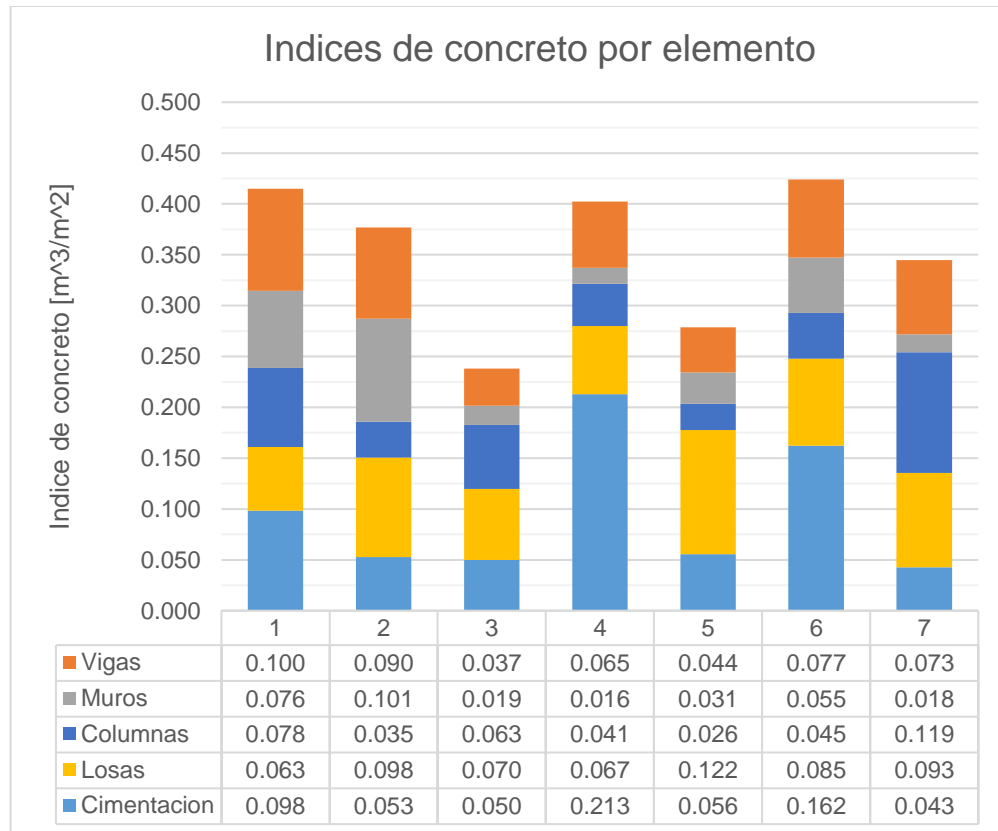
### 5.2.3.1 Representación y estudio de índices de concreto

**Figura 16** Índices de concreto con promedio y desviación estándar para estado de análisis 3



Fuente: Elaboración propia

**Figura 17** Índices de concreto por elemento para el estado de análisis 3



Fuente: Elaboración propia

En el estado de análisis 3, se observó que la distribución de los índices que permanecía similar en los estados de análisis 1 y 2 ya no se presentan, debido a que se vieron afectados por la inclusión de la cimentación en el análisis, por lo tanto, con base en la distribución de índices presentados en la **Figura 16** se reunieron grupos de estructuras con índices similares, por lo tanto, según la caracterización basada en el numeral 4 y en los datos presentados en la **Figura 17**, se formaron los siguientes grupos:

- a. Grupo 1: proyecto 1, Proyecto 4 y Proyecto 6. Los índices en este grupo se encontraron cercanos al límite superior, sus características similares como la

cimentación profunda llevaron a estas estructuras a tener un índice similar, no obstante según la **Figura 17** el proyecto 4 presentó un índice de consumo en la cimentación que representa el 53% del índice total, debido a este aumento, el proyecto 4 se encontró entre las estructuras que más volumen de concreto por metro cuadrado requirió, sin embargo es un proyecto en el cual su índice constructivo en el estado de análisis 1 se hallaba cercano al límite inferior, en consecuencia, el proyecto 4 sufrió una disminución significativa en su rentabilidad debido a la magnitud de la cimentación,

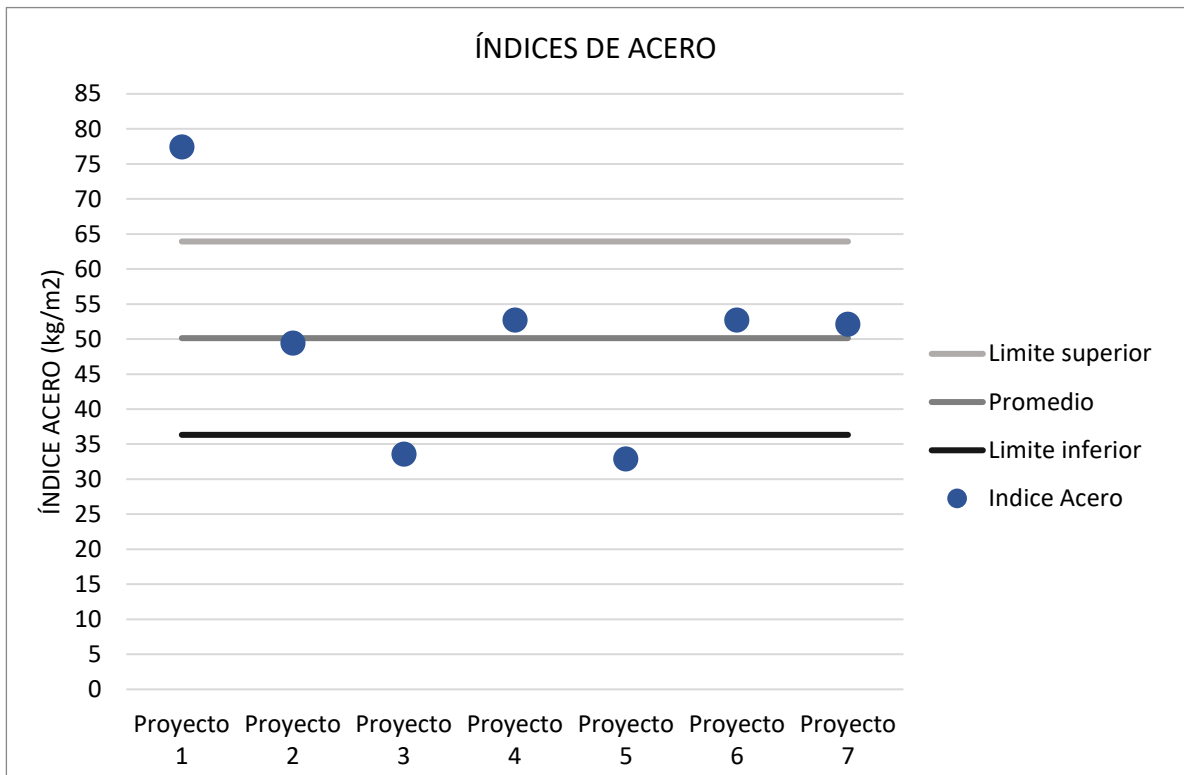
- b. Grupo 2: proyecto 2 y Proyecto 7. En este grupo los proyectos contaron con cimentación profunda y como se observa en la **Tabla 8 Y Tabla 9** presentaron un índice de menor proporción a comparación de los valores de los proyectos del grupo 1, esta diferencia en los valores del índice entre el grupo 1 y grupo 2 se dio ya que la cimentación del grupo 1 contó con una profundidad aproximada de 15m y la cimentación del grupo 2 contó con una profundidad aproximada de 5 metros, en consecuencia, los índices de consumo para la cimentación fueron mayores para el grupo 1, a pesar de que los 2 grupos contaron con cimentación profunda.
- c. Grupo3: proyecto 3 y Proyecto 5. En este grupo se obtuvieron los índices constructivos totales más bajos de la población, ya que los 2 proyectos están cimentados de manera superficial y fueron las estructuras con menor altura, sin embargo, según la **Tabla 9** se evidenció que la cimentación de los proyectos de este grupo contó con un índice semejante a los índices de cimentación del grupo 2, esto demostró la gran variabilidad del consumo de materiales para la cimentación.

Los índices de concreto para la cimentación tuvieron una gran variabilidad en su comportamiento, debido a que la cimentación no solo depende de estándares

normativos, sino que además de factores externos a la norma, como lo son las características geotécnicas del suelo.

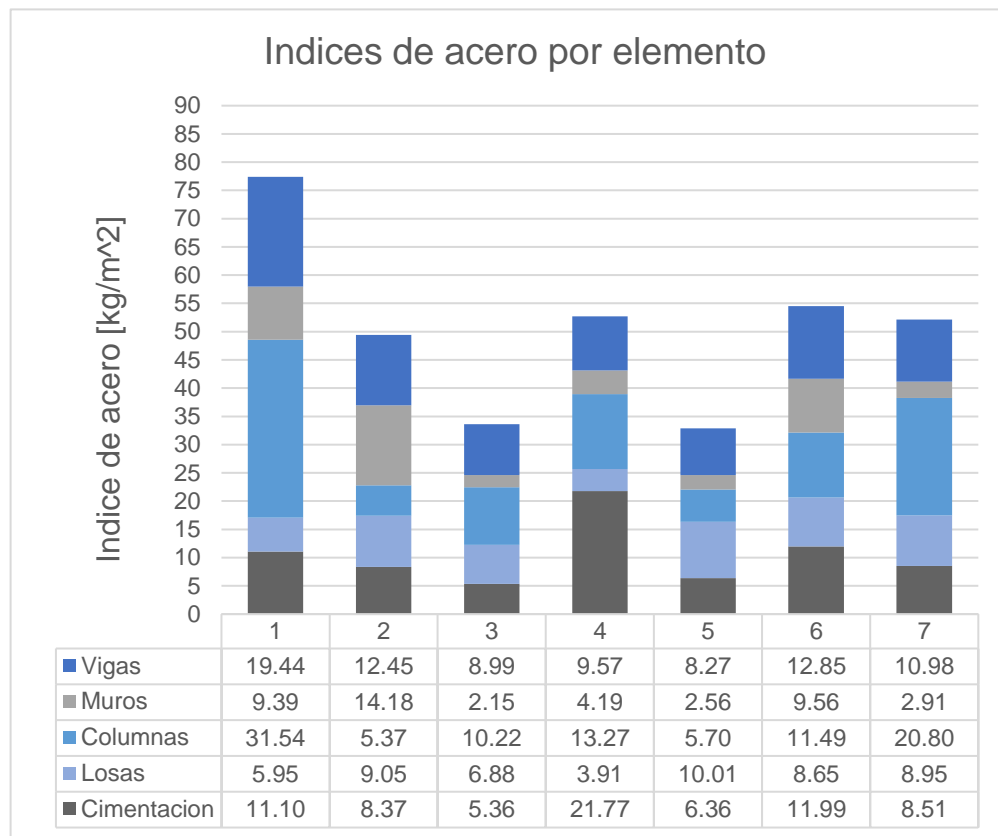
### 5.2.3.2 Representación y estudio de índices de acero

**Figura 18** Índices de acero con promedio y desviación estándar para estado de análisis 3



Fuente: Elaboración propia

**Figura 19** Índices de acero por elemento para el estado de análisis 3



Fuente: Elaboración propia

En una comparación del estado de análisis 3 con los estados de análisis 1 y 2 se pudo observar que, de manera similar a los resultados del concreto, no se mantiene una tendencia en el consumo de acero. Las razones de la alteración en la tendencia inicial se especificaron en el análisis de los índices de concreto.

De la **Figura 19** del proyecto 1 se observó que el índice de acero correspondiente a la cimentación no aporta una cantidad excesiva al total, Por lo tanto, el elemento estructural que convierte al proyecto 1 en un dato atípico es la columna debido al desmesurado consumo de acero en esta.

#### 5.2.4 Análisis del coeficiente de variación de los índices

El coeficiente de variación presentó el valor relativo de la desviación de los datos respecto al promedio y por ende permitió la comparación entre grupos de datos, por esto, con base en los coeficientes de cada estado de análisis se pudo determinar cuál es el estado más cercano a generar un estándar en los índices.

En la **Tabla 11** se presentó el resumen de los coeficientes de variación obtenidos y su interpretación con base en la **Figura 1** para cada estado de análisis.

**Tabla 11** Coeficiente de variación y su interpretación para cada estado de análisis

Estado de análisis	Coeficiente de variación Concreto	Variabilidad Concreto	Coeficiente de variación Acero	Variabilidad Acero
Estado 1	32.14%	Alta	40.58%	Alta
Estado 2	21.03%	Alta	31.72%	Alta
Estado 3	18.66%	Moderada	27.53%	Alta

Fuente: Elaboración propia

Con base en la **Tabla 11** se evidenció que el estado de análisis con menor coeficiente de variación es el estado 3, sin embargo, el estado de análisis principal, del cual se buscó responder la pregunta del problema y obtener las conclusiones de la investigación es el estado de análisis 1, ya que este estado analizó de manera independiente el sistema de resistencia sísmica llámese: columnas, vigas y muros, lo que corresponde con el objetivo principal de la investigación.

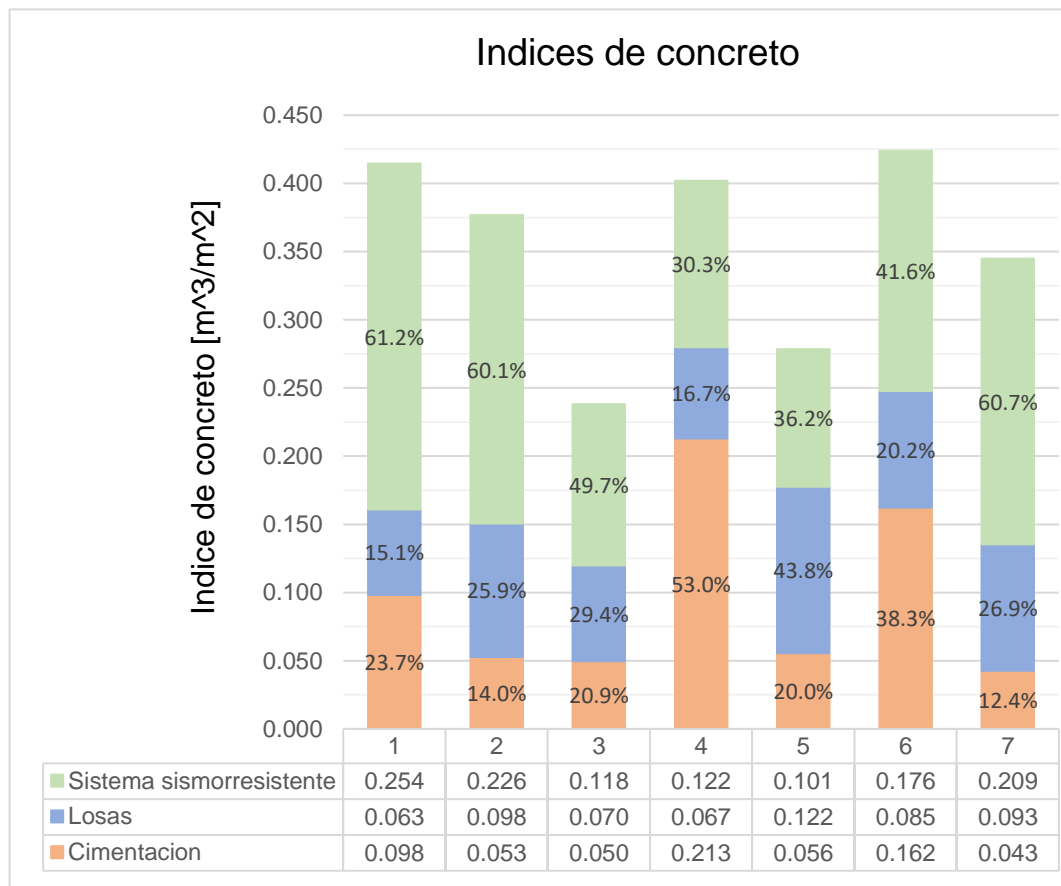
Adicionalmente, en vista de que Los elementos estructurales: cimentación y losas, están condicionados a factores externos, como la cimentación, que depende de las condiciones mecánicas del suelo de cimentación o las losas de entrepiso que se someten a la elección del diseñador y esta depende de las necesidades constructivas como: el tiempo de construcción, mano de obra especializada,



factores económicos, etc. la variabilidad de los índices constructivos cambia considerablemente.

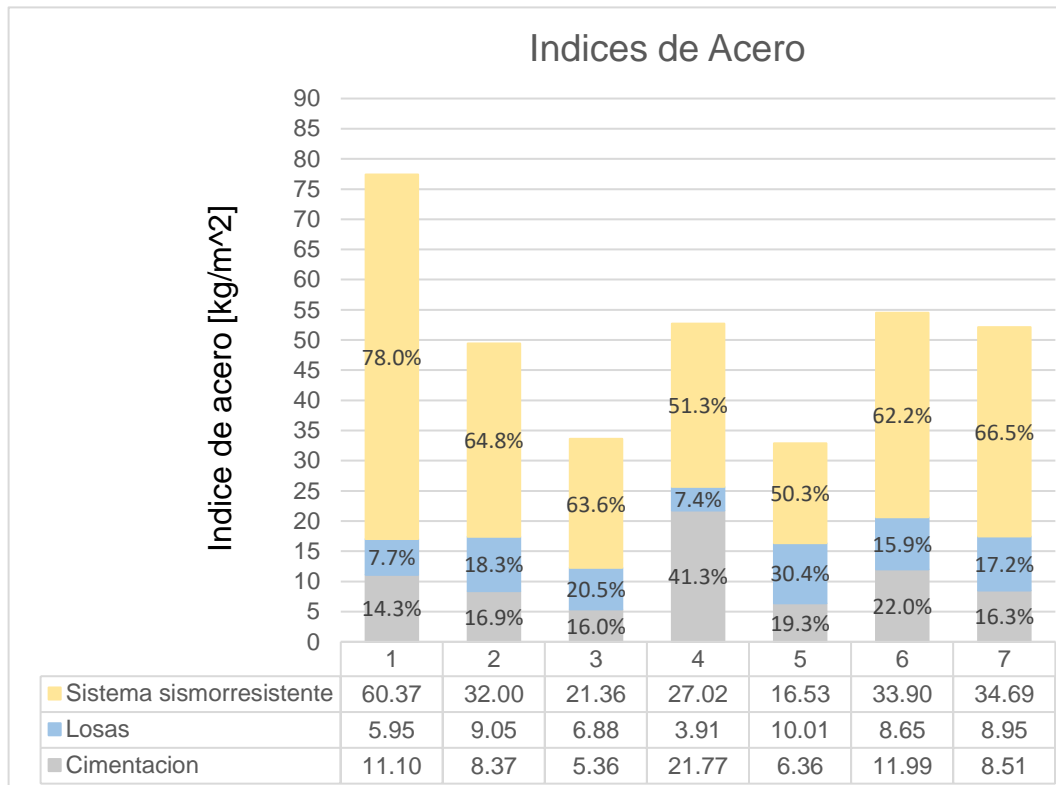
En la **Figura 20** y **Figura 21** se presentó el resumen del aporte al índice total de los elementos de la estructura completa llámense: sistema de resistencia sísmica (estado de análisis 3), losas de entrepiso y cimentación.

**Figura 20** Resumen de índices de concreto



Fuente: Elaboración propia

**Figura 21** Resumen de índices de acero



Fuente: Elaboración propia

A partir del estado de análisis principal (estado 1) y con base en la **Figura 20** y **Figura 21** se evidenció que, debido a la similitud en la mayoría de los índices de las losas de entrepiso entre los proyectos, estos no representaron un cambio considerable en la tendencia del estado de análisis principal, a comparación de la cimentación, donde ésta cuenta con un porcentaje de participación desde 12% hasta el 53% en los diferentes proyectos, lo que, en consecuencia, impacta y altera dicha tendencia.

Finalmente se evidencia en la **Tabla 11** que los tres estados contaron con una variabilidad alta tanto en acero como en concreto a excepción del coeficiente de variación del concreto para el estado 3 el cual contó con una variabilidad moderada.

Con el propósito de obtener una tendencia con menor variabilidad de los índices constructivos, se debe considerar el análisis en un número de elementos significativo con parámetros de diseño comunes de manera que se aspire un coeficiente de variación menor al 10%.

De la **Tabla 11** se demuestra también que el acero presentó un mayor coeficiente de variabilidad en comparación al concreto, esta razón se debe a el impacto generado por el valor atípico del índice de acero del proyecto 1. Por tal razón, se realizó el mismo procedimiento estadístico sin considerar en el análisis el proyecto en mención, con la finalidad de obtener un coeficiente de variación en os índices de acero representativo para la población.

### 5.3 RESULTADOS Y ESTUDIO DE ÍNDICES CONSTRUCTIVOS POR ESTADO DE ANÁLISIS PARA 6 PROYECTOS

Con la finalidad de brindar un soporte a la conclusión presentada en el numeral 5.2 se realizó un segundo análisis donde se descarta la participación del proyecto 1. Con el objetivo de observar el impacto de este dato atípico en la variabilidad de los índices.

Para los análisis del comportamiento de los índices, se presentó para concreto y acero un diagrama de dispersión que ilustró la distribución de los índices y una tabla con los resultados estadísticos.

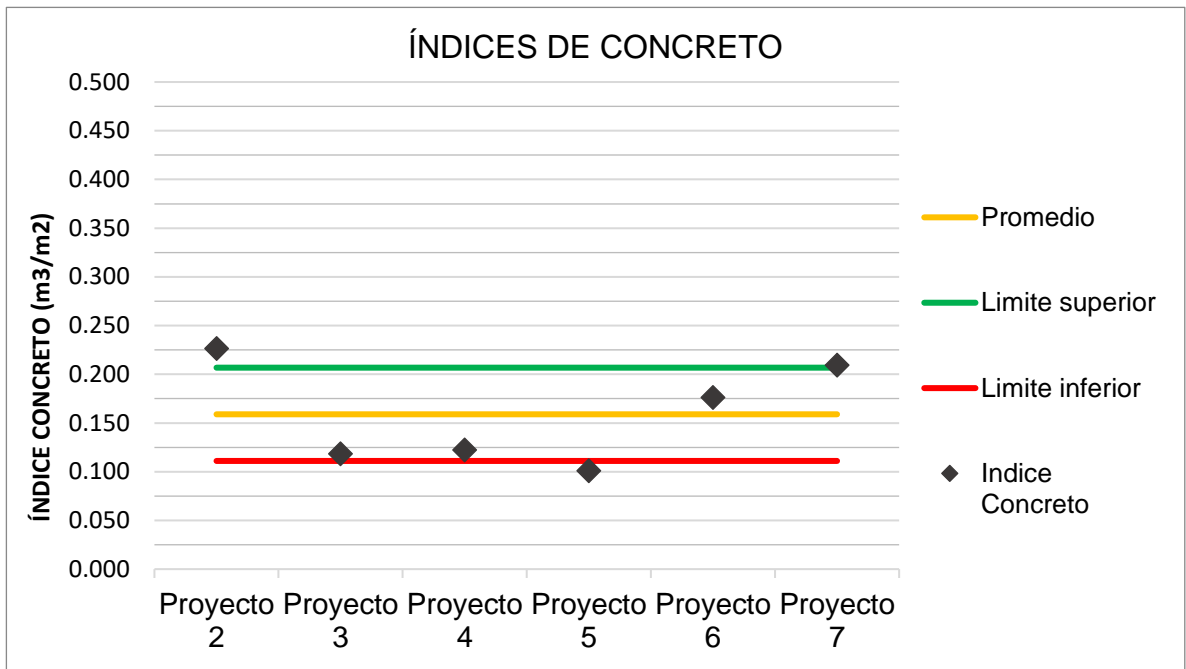
#### 5.3.1 Estado de análisis 1

**Tabla 12** Resultados estadísticos sin proyecto 1 del estado de análisis 1

Herramienta Estadística	Concreto [m3/m2]	Acero [kg/m2]
Promedio	0.159	27.39
Desviación Estándar	0.048	6.55
Coeficiente de variación	30.13%	23.92%

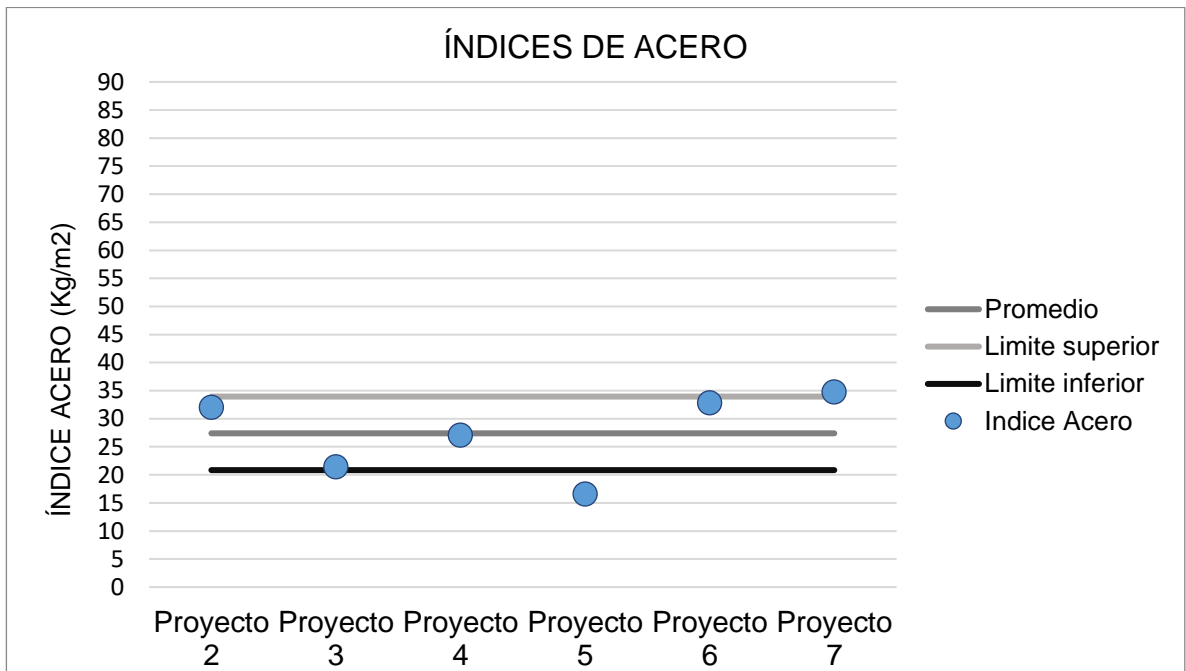
Fuente: Elaboración propia

**Figura 22** Índices de concreto sin proyecto 1 para estado de análisis 1



Fuente: Elaboración propia

**Figura 23** Índices de acero sin proyecto 1 para estado de análisis 1



Fuente: Elaboración propia

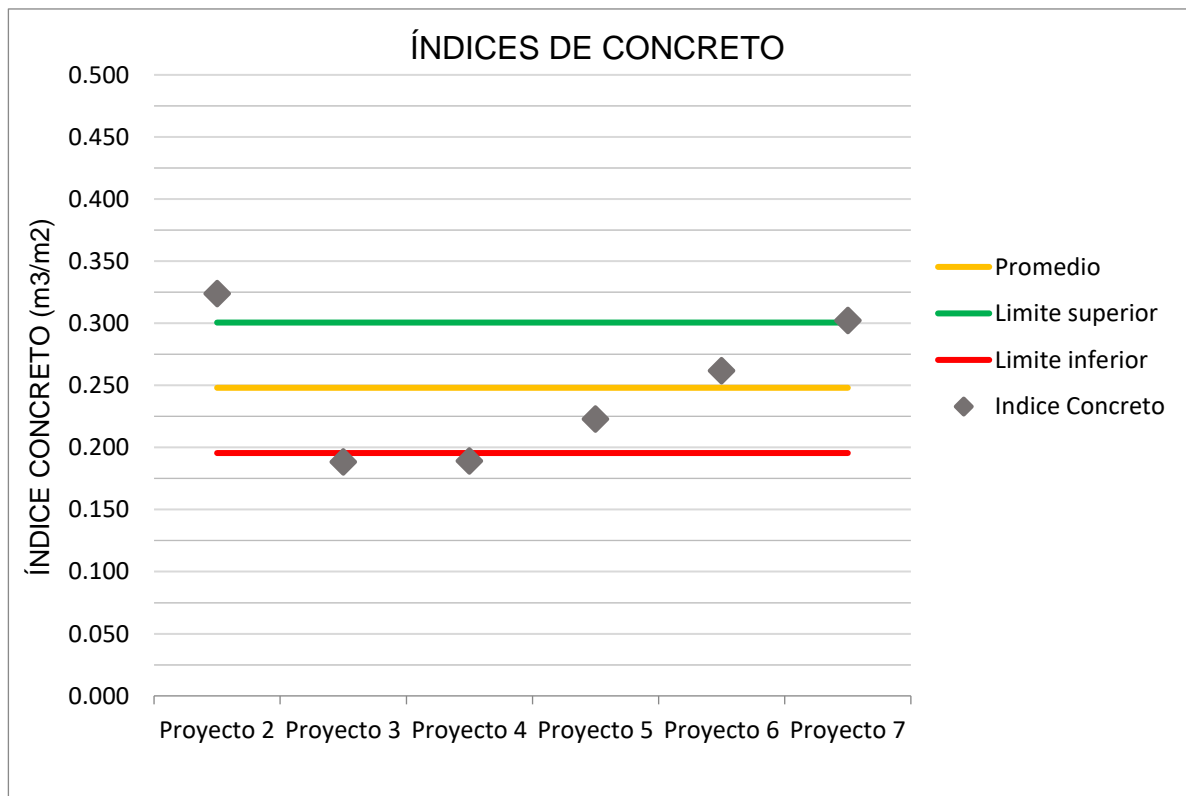
5.3.2 Estado de análisis 2

**Tabla 13** Resultados estadísticos sin proyecto 1 del estado de análisis 2

Herramientas estadísticas	Concreto [m3/m2]	Acero [kg/m2]
Promedio	0.248	35.25
Desviación Estándar	0.053	6.86
Coefficiente de variación	21.18%	19.45%

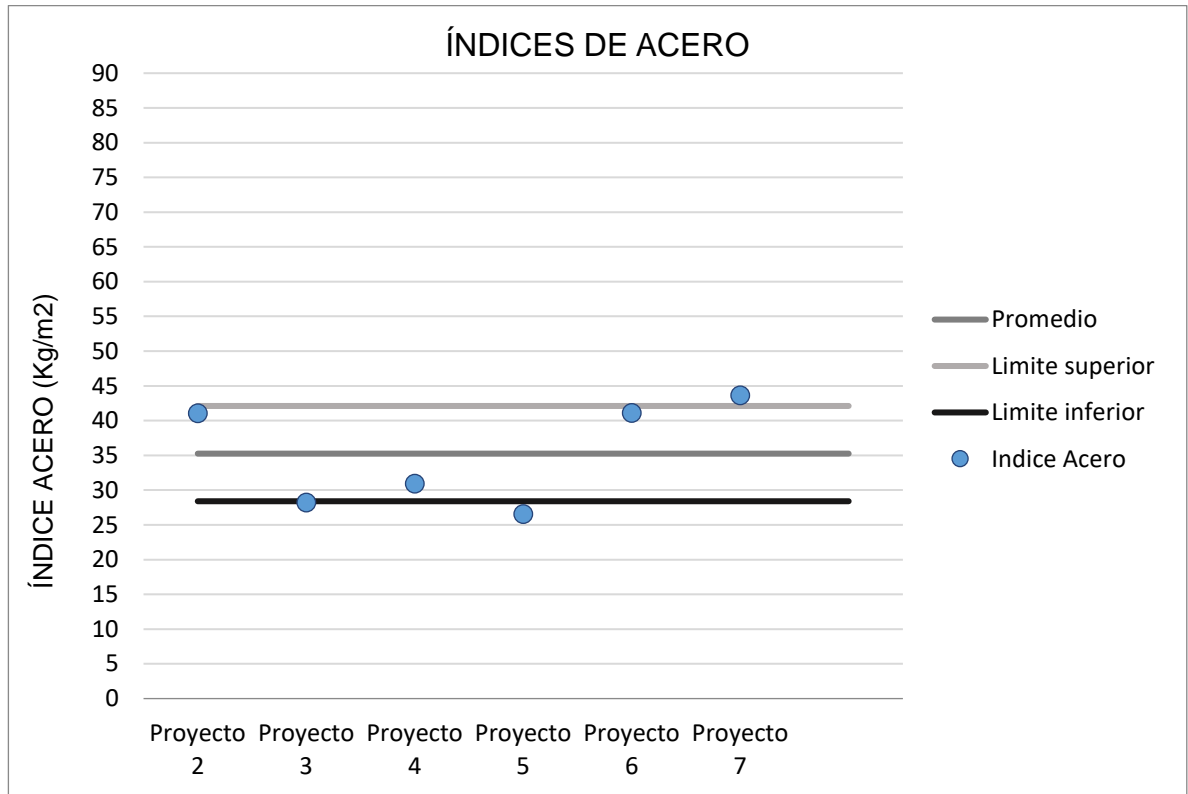
Fuente: Elaboración propia

**Figura 24** Índices de concreto sin proyecto 1 para estado de análisis 2



Fuente: Elaboración propia

**Figura 25** Índices de acero sin proyecto 1 para estado de análisis 2



Fuente: Elaboración propia

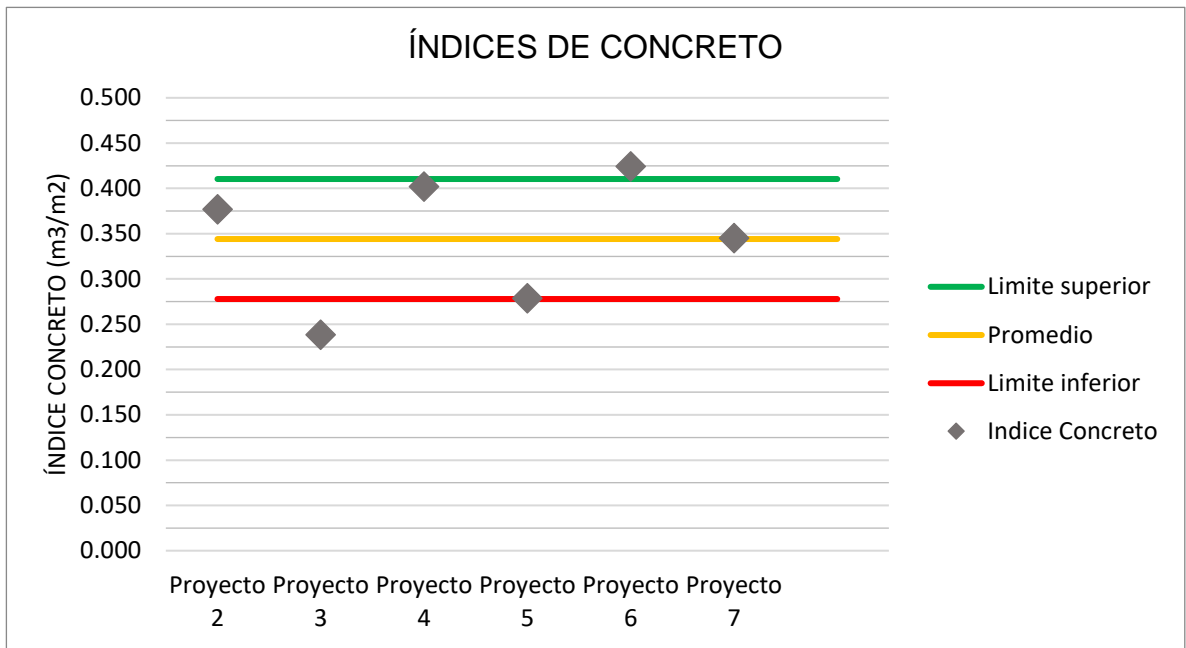
### 5.3.3 Estado de análisis 3

**Tabla 14** Resultados estadísticos sin proyecto 1 del estado de análisis 3

Herramienta estadística	Concreto [m3/m2]	Acero [kg/m2]
Promedio	0.344	45.58
Desviación estándar	0.066	8.79
Coefficiente de variación	19.25%	19.29%

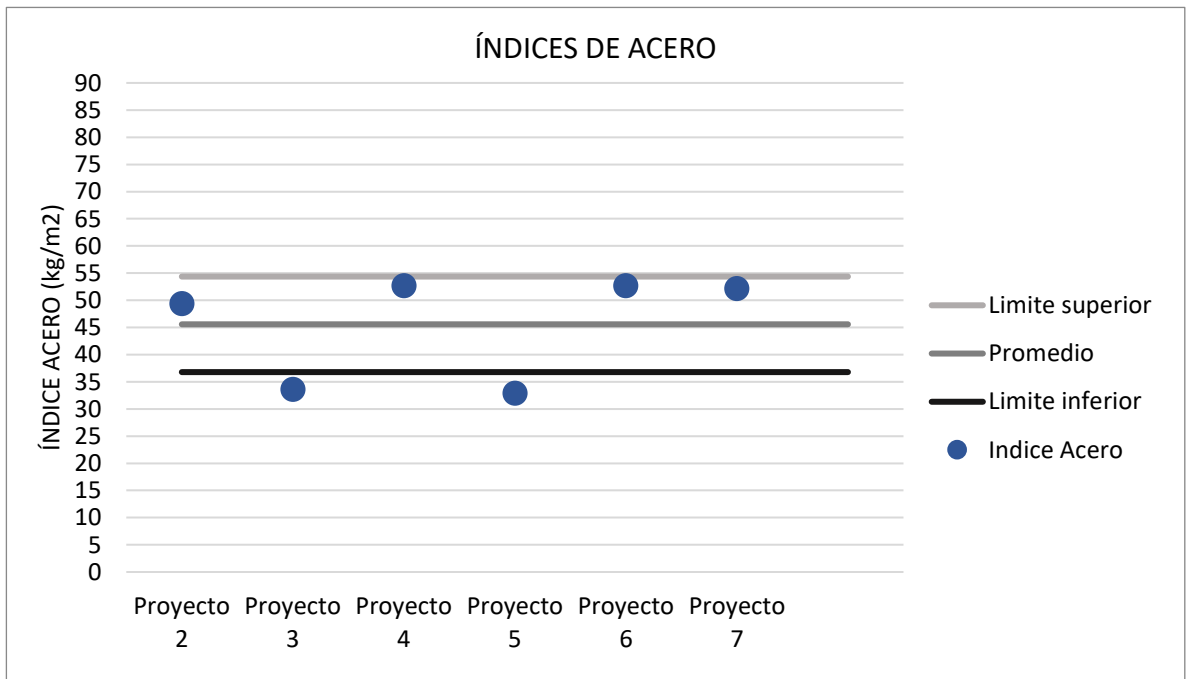
Fuente: Elaboración propia

**Figura 26** Índices de concreto sin proyecto 1 para estado de análisis 3



Fuente: Elaboración propia

**Figura 27** Índices de acero sin proyecto 1 para estado de análisis 3



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 22**, **Figura 24** y **Figura 26** se observó que los valores de promedio, límite inferior y límite superior, con la ausencia del proyecto 1, no tuvieron un significativo cambio en su valor, por lo tanto, los valores de coeficiente para cada estado de análisis se vieron mínimamente afectados.

De la **Figura 23**, **Figura 25** y **Figura 27** correspondientes a los índices de acero se observó cómo, el rango que encierra el límite inferior y límite superior se vio reducido debido a la ausencia del proyecto 1 en el análisis, ya que este alteraba el valor de la desviación estándar de la población.

#### 5.3.4 variabilidad de los índices en función del dato atípico

**Tabla 15** Variabilidad de concreto en función del dato atípico

Estado de análisis	7 proyectos		6 proyectos	
	Coefficiente de variación	Variabilidad Concreto	Coefficiente de variación	Variabilidad Acero
Estado 1	32.14%	Alta	30.13%	Alta
Estado 2	21.03%	Alta	21.18%	Alta
Estado 3	18.66%	Moderada	19.25%	Moderada

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16** Variabilidad de acero en función del dato atípico

Estado de análisis	7 proyectos		6 proyectos	
	Coefficiente de variación	Variabilidad Concreto	Coefficiente de variación	Variabilidad Acero
Estado 1	40.58%	Alta	23.92%	Alta
Estado 2	31.72%	Alta	19.45%	Moderada
Estado 3	27.53%	Moderada	19.29%	Moderada

Fuente: Elaboración propia

De los valores de la **Tabla 15** correspondientes al coeficiente de variación de los índices de concreto de los estados de análisis para las dos situaciones planteadas, no se evidenció un cambio significativo en los valores del coeficiente de variabilidad,



de tal forma que se puede concluir que el proyecto uno no representó ser un dato atípico en los índices de concreto.

Por otro lado, en la **Tabla 16** se evidencio como la ausencia del proyecto 1 en el análisis represento un impacto significativo en la variabilidad de los índices de acero, donde el coeficiente de variación reduce su porcentaje desde un 8.2% hasta un 16.7% en los estados de análisis.

sin embargo, la información representada en las tablas 15 y 16 muestra que variabilidad de los índices, en el mejor de los casos, pasa de alta a moderada. No obstante, no es posible determinar un índice estándar en el consumo de concreto y acero, ya que ningún caso presentó baja variabilidad (<10%).

Por ende, se recomendó llevar a cabo la misma metodología para futuras investigaciones, que estudien el comportamiento con una mayor población de edificios de grupo de uso 1 construidos en sistemas estructurales combinado o dual con capacidad especial de disipación de energía.

## 6 CONCLUSIONES

### Conclusiones respecto a los resultados

- No fue posible determinar un valor estándar para las estructuras con sistema estructural dual o combinado en la ciudad de Popayán, dada la alta variabilidad observada en los datos obtenidos en todos los estados de análisis.
- Se evidenció que la inclusión de las losas de entrepiso en el sistema de resistencia sísmica para el estado de análisis 2 no produjo un cambio significativo en la tendencia observada en el estado de análisis 1. En contraste, en el estado de análisis 3, la incorporación de la cimentación generó una tendencia distinta a la presentada en los dos primeros estados de análisis, balanceando los índices y generando una mejor tendencia.
- Las características particulares y estructurales de cada proyecto no son la única causa que puede afectar los índices constructivos, ya que factores adicionales presentes en la etapa de diseño también influyen, tales como los criterios adoptados por el diseñador y el software de análisis utilizado.
- Se evidenció una menor variabilidad en los índices de consumo de concreto en comparación con los índices de consumo de acero. Esto se debe a que el concreto presenta un rango dimensional más reducido en comparación con el acero, lo que limita las posibilidades de variación. En contraste, la mayor amplitud del rango dimensional del acero permite una mayor flexibilidad en su uso, lo cual depende significativamente de los criterios adoptados por cada diseñador. Esta flexibilidad en el suministro de acero es la principal causa de la alta variabilidad observada en sus índices de consumo.
- Se reconoce que la muestra utilizada en la investigación es representativa para la ciudad de Popayán; sin embargo, su tamaño es relativamente reducido para permitir un análisis estadístico con alta precisión.

- Se evidenció que el consumo de acero y concreto necesarios para la cimentación puede generar una reducción considerable en la rentabilidad de un proyecto. Esto ocurre incluso en casos donde, inicialmente, el diseño del sistema de resistencia sísmica proyectaba una alta rentabilidad. Por lo tanto, la necesidad de mayores cantidades de materiales en la cimentación impacta negativamente la relación costo-beneficio prevista en la etapa del diseño estructural.
- La presencia de un dato atípico no cambia la conclusión de la no determinación de un índice estándar de consumo de materiales, ya que, tras el análisis realizado con las seis estructuras, las variabilidades en los estados de análisis se conservaron en su mayoría.

### **Conclusiones respecto al software REVIT y la tecnología BIM**

- El trabajo de obtener cantidades de acero y concreto se vio optimizado por el software Revit, permitiendo una flexibilidad y agilidad frente al modelamiento de los elementos de la estructura, situación que facilitó la actualización y cálculo de cantidades en un tiempo reducido.
- En el cálculo de las cantidades de acero de refuerzo fue posible observar una gran fortaleza del modelo en Revit, teniendo en cuenta que resultó ser una labor flexible ante modificaciones de diseño y propiedades, y al ser un proceso automático facilitó la representación de acero de refuerzo en el gran número de elementos que lo contienen.
- La implementación de modelos en 3D en comparación con las representaciones de dibujos en planta resultó mucho más beneficiosa, permitiendo, mejor visualización de los elementos, facilidad en la interpretación y actualización sistematizada. Aportando a la disminución del grado de incertidumbre.

## **7 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

- En el desarrollo del análisis se encontró un indicativo de tendencia, basado en los aportes de cantidades de acero y concreto de las losas aligeradas a las cantidades de la estructura. Por ende, se sugiere la realización de un estudio que busque un índice de cantidades de acero y concreto para losas aligeradas en los distintos sistemas estructurales.
- Debido a la baja cantidad de edificios con sistema estructural Dual/combinado en la ciudad de Popayán, no se logró determinar un índice de cantidades de acero y concreto, por eso, se sugiere realizar el mismo estudio en ciudades con mayor cantidad de muestra.
- A manera más general se recomienda seguir en la búsqueda de metodologías que permitan la optimización de materiales en la etapa de diseño de edificaciones de cualquier sistema estructural. En este sentido, buscar soluciones tecnológicas en cuanto a los procesos existentes que tiene impacto en los mecanismos constructivos como lo son la estimación de costo inicial, reducción de residuos de materiales, tiempo y mano de obra.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Aranguren Sedano, A. (2011). *Análisis Comparativo de las Implicaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10*. Bogotá.
- Aristizábal, J. (2013). *Comportamiento de la Variación en la Estimación de las Cantidades de obra sobre el Presupuesto de un Proyecto*. Envigado.
- Asosismica, A. C. (2010). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10*. Bogotá.
- Awad, R. R. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios*. Medellín : Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- CAMACOL. (16 de Julio de 2021). CAMACOL. Obtenido de <https://camacol.co/prensa/noticias/indice-de-costos-de-construccion-de-vivienda-iccv-tuvo-un-aumento-de-675-anual>
- Chaparro, A., Suárez, A., Benjumea, J., & Villalba Morales, J. (2021). *Desempeño Sísmico y Cantidades de Obra de Edificaciones Aporticadas de Concreto Diseñadas para Diferentes Capacidades de Disipación de Energía*. Revista EAI.
- Coloma Picó, E. (2008). *Introducción a la Tecnología BIM*. Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I.
- Ferrero Cafiero, J., & Pirrone Osuna, A. I. (2018). *Diseño Sismoresistente de Sistemas Duales de Concreto Reforzado Basado en el Diseño Por Desempeño*.
- Flores, F., Gálvez, L., Lau, C., Villegas, M., Dávila, V., & Menacho, I. (2022). *Medidas de Dispersión*. Lima: FEPOL FONDO.
- Gálvez, L., Chirinos, D., & Auqui, E. (2021). *Situaciones didácticas para la Enseñanza de la media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación en*

*Estudiantes de Educación Superior Utilizando el Emulador de la Calculadora Científica Casio fx-570LAX Classwiz.* República Dominicana.

Garcia, L. E. (2015). Desarrollo de la Normativa Sismo Resistente Colombiana en los 30 años desde su primera expedición.

Laorent, D., & Nugraha, P. (2019). *Análisis Despegue de Cantidad usando Revit.* Budiman.

Nacional, G. (1996). *Decreto 2248* . Bogotá.

Obando, J., & Ortega, M. (2024). *Estudio de Índices de Cantidades de Acero y Concreto para Sistemas de Porticos en el Municipio de Popayán.* Popayán.

Parra, J. O. (2002). Analisis exploratorio y analisis confirmatorio de datos.

Porras , H., Sánchez , O., Galvis, J., Jaimez, N., & Castañeda, K. (2015). *Tecnologías "Building INformation Modeling" en la Elaboración de Presupuestos de Construcción de Estructuras en Concreto Reforzado.* Cali.

Rodriguez , A. (2008). *Implementación de la Plataforma Revit en Oficinas de Brasil: Reporte de una Experiencia.* Rio de Janeiro.

Rojo, J. m. (2006). *Analisis descriptivo y exploratorio de datos* . Madrid.

Villagarcía, S. (2005). *Indicadores de Productividad y Calidad.*

Zenaida, M. (2012). Desviación típica. En M. Z. Hernandez, *Métodos de Análisis de Datos* (págs. 42-43). Universidad de la Rioja.

## Índice de Anexos

ANEXO 1 Irregularidades en las Estructuras .....	88
ANEXO 2 Ajustes en planos estructurales.....	99
ANEXO 3 Modelación de Información de Entrada con Tecnología BIM .....	108
ANEXO 4 Cálculos para la Obtención de Índices y Obtención de Herramientas Estadísticas.....	123
ANEXO 5 Imágenes de Estructuras Modeladas en Revit .....	131

# ANEXO 1

## Irregularidades en las Estructuras



En este anexo se encuentra el resumen de los valores de irregularidad hallados en las diferentes estructuras, así también el proceso detallado que se llevó a cabo para generar el coeficiente de irregularidades  $\phi$  de la estructura 2, la cual fue seleccionada como estructura tipo para describir el paso a paso del procedimiento.

Tabla. Resumen de Irregularidades de los proyectos en el sentido X, evaluados respecto a la NSR10.

Tipo de Irregularidad	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
2P	1	0.9	1	1	1	1	1
3P	1	1	1	1	1	1	1
4P	1	1	1	1	1	1	1
5P	1	1	0.9	1	1	0.9	1
3A	0.9	0.9	1	1	0.9	1	1
4A	1	1	1	1	1	1	1
Total	0.9	0.81	0.9	1	0.9	0.9	1

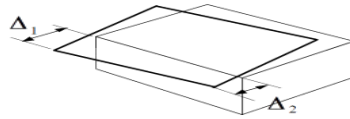
Tabla. Resumen de Irregularidades de los proyectos en el sentido Y, evaluados respecto a la NSR10.

Tipo de Irregularidad	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
2P	1	0.9	1	1	1	1	1
3P	1	1	1	1	1	1	1
4P	1	1	1	1	1	1	1
5P	0.9	1	0.9	1	1	0.9	1
3A	0.9	1	1	1	1	1	1
4A	1	1	1	1	1	1	1
Total	0.81	0.9	0.9	1	1	0.9	1

A continuación, el proceso detallado de la determinación de las irregularidades del proyecto 2.

### Irregularidades en planta

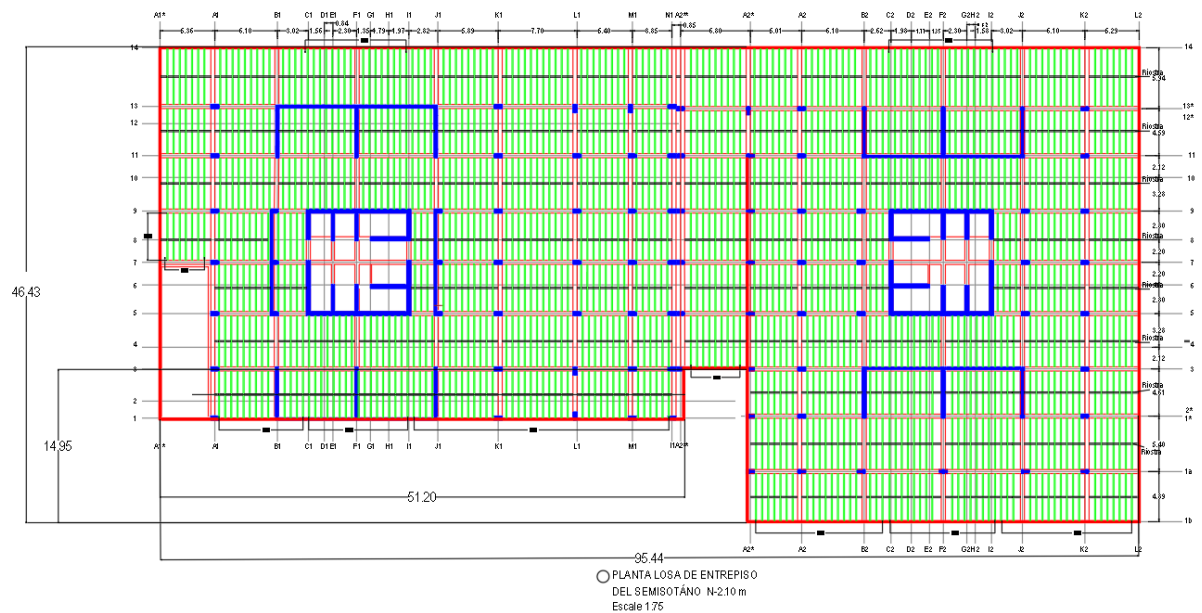
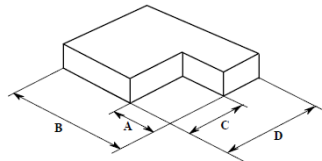
- Irregularidad torsional e irregularidad torsional externa (1aP y 1bP)



No se realizó el cálculo de estas irregularidades puesto que son necesarios los valores de  $\Delta_1$  y  $\Delta_2$  y estos no fueron proporcionado por los diseñadores de cada proyecto.

- Retroceso en las esquinas (2P)

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



$A = 14.95 \text{ m}$ ,  $B = 46.43 \text{ m}$ ,  $C = 51.20 \text{ m}$  y  $D = 95.44 \text{ m}$   
Entonces,

$$A > 0.15B$$

$$14.95 \text{ m} > 0.15 * 46.43 \text{ m}$$

$$14.95 \text{ m} > 6.96 \text{ m}, \text{CUMPLE}$$

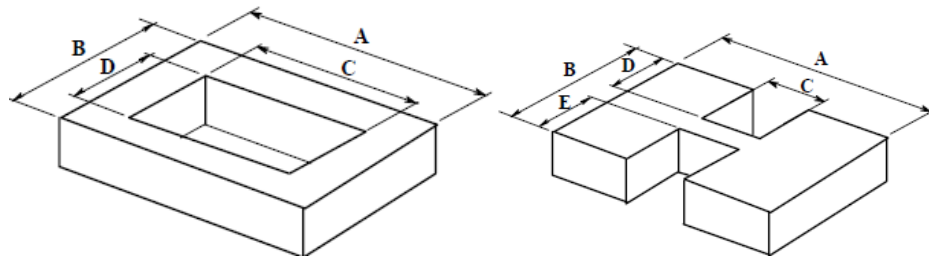
$$C > 0.15 D$$

$$51.20 \text{ m} > 0.15 * 95.44 \text{ m}$$

$$51.20 \text{ m} > 14.32 \text{ m}, \text{CUMPLE}$$

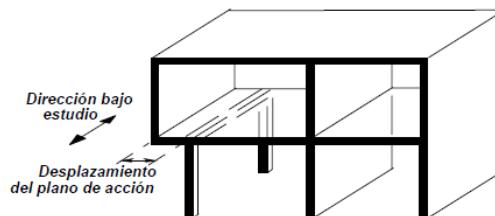
De lo anterior se cumplen las 2 condiciones tanto en el eje X como en el eje Y, por lo tanto,  $\phi_x=0.9$  y  $\phi_y=0.9$ .

- **Irregularidades del diafragma (3P)**

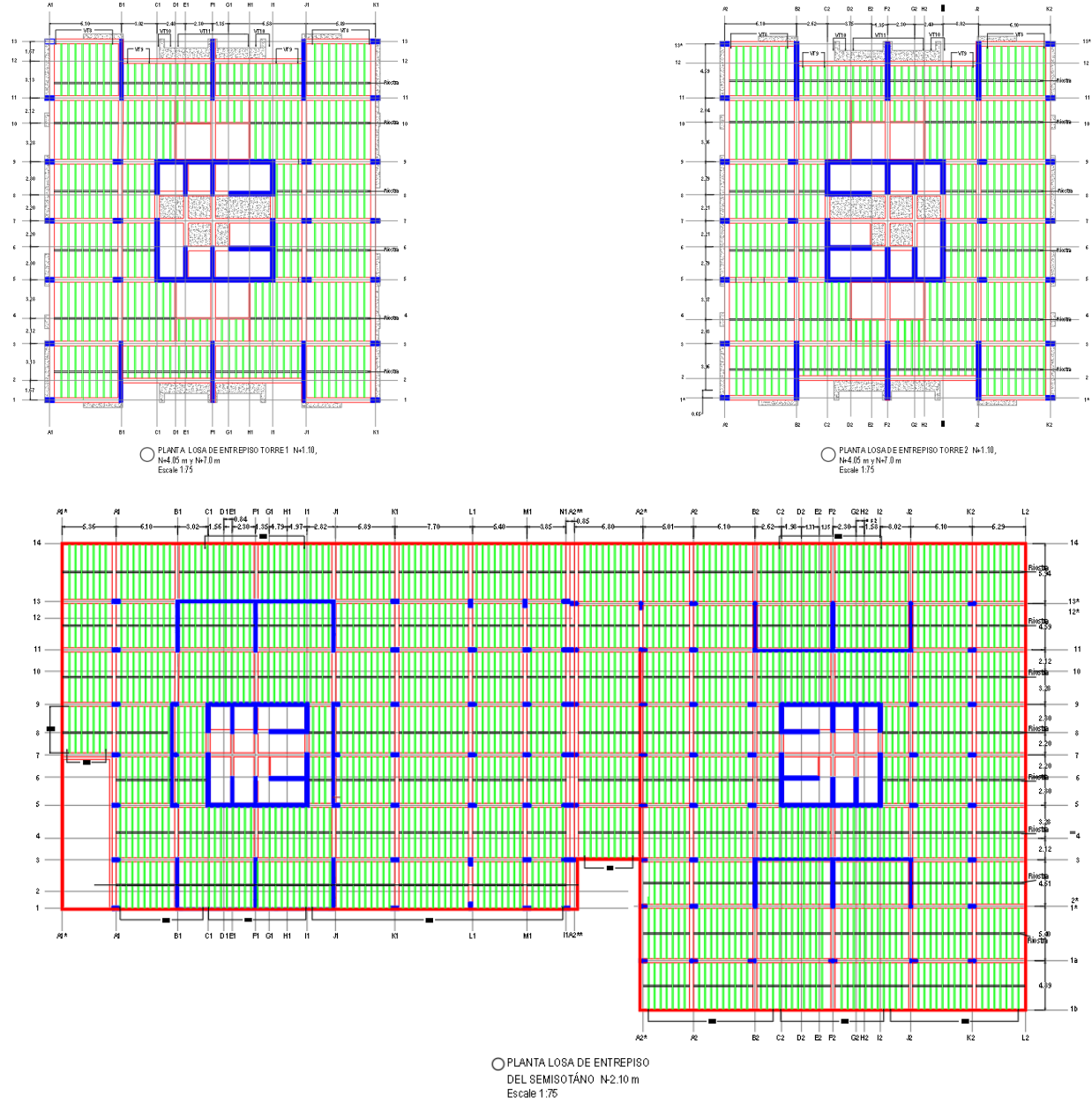


Esta irregularidad no aplica ya que no se presentan vacíos de gran magnitud, por lo tanto,  $\phi_x=1.0$  y  $\phi_y=1.0$ .

- **Desplazamiento de los planos de acción (4P)**

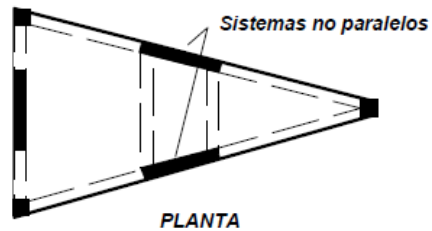


Esta irregularidad no se presenta en la estructura ya todos los elementos, tanto verticales como horizontales, manejan el mismo plano de acción, tal como se en las siguientes ilustraciones:



Delo anterior,  $\phi_x=1.0$  y  $\phi_y=1.0$ .

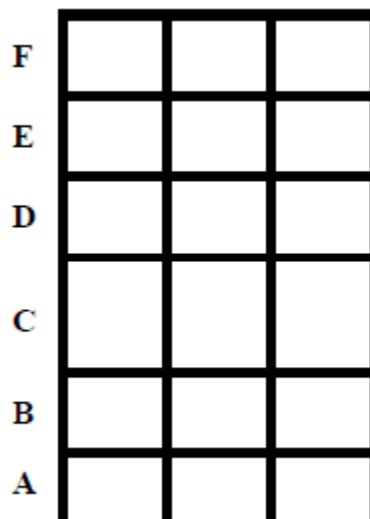
- **Sistemas no paralelos (5P)**



Esta irregularidad no aplica ya que no se presentan vacíos de gran magnitud, por lo tanto,  $\phi_x=1.0$  y  $\phi_y=1.0$ .

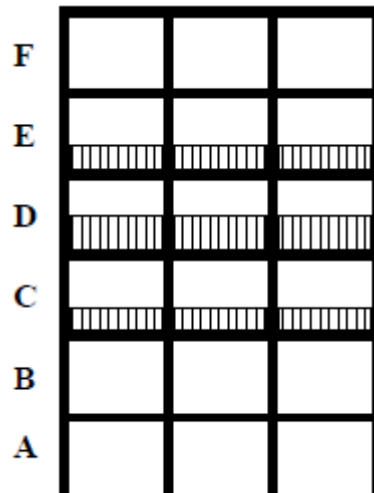
Cálculo de irregularidades en altura

- **Piso flexible y piso flexible externo (1aA y 1bA)**



No se realizó el cálculo de estas irregularidades puesto que son necesarios los valores de rigidez y estos no fueron proporcionado por los diseñadores de cada proyecto.

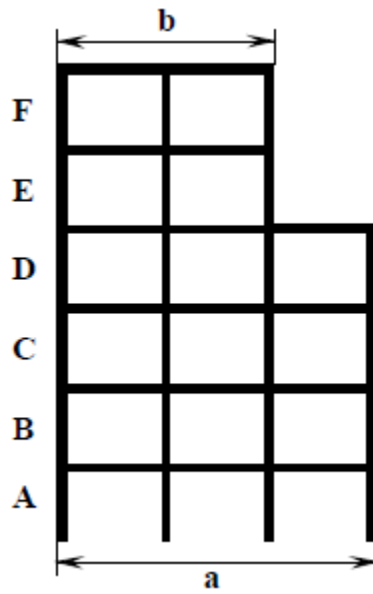
- **Distribución de masa (2A)**



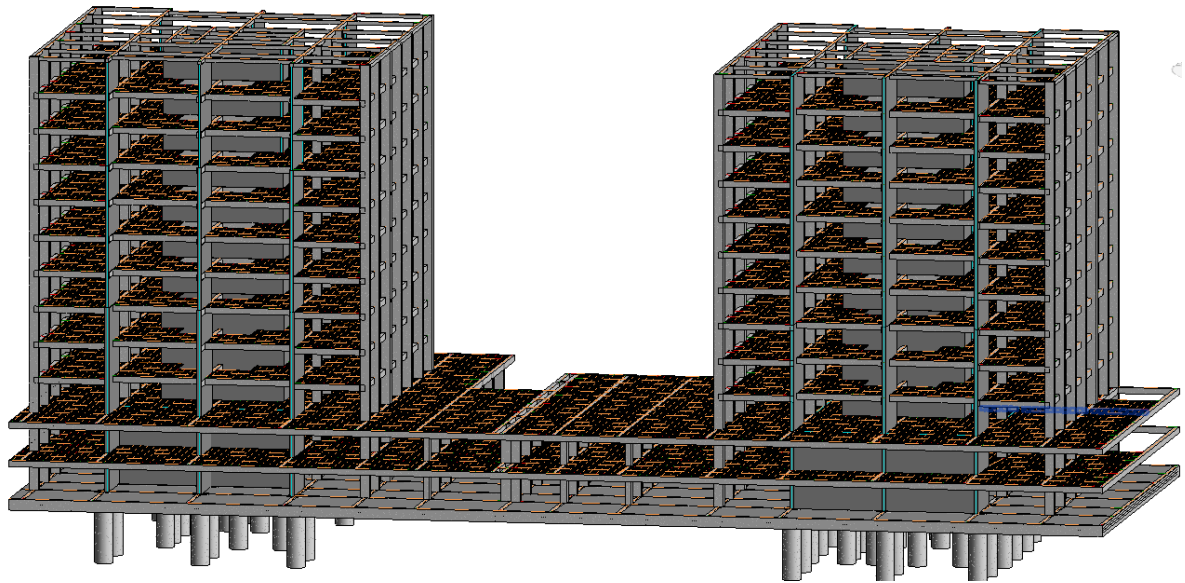
$$m_D > 1.5 m_E \text{ o } m_D > 1.5 m_C$$

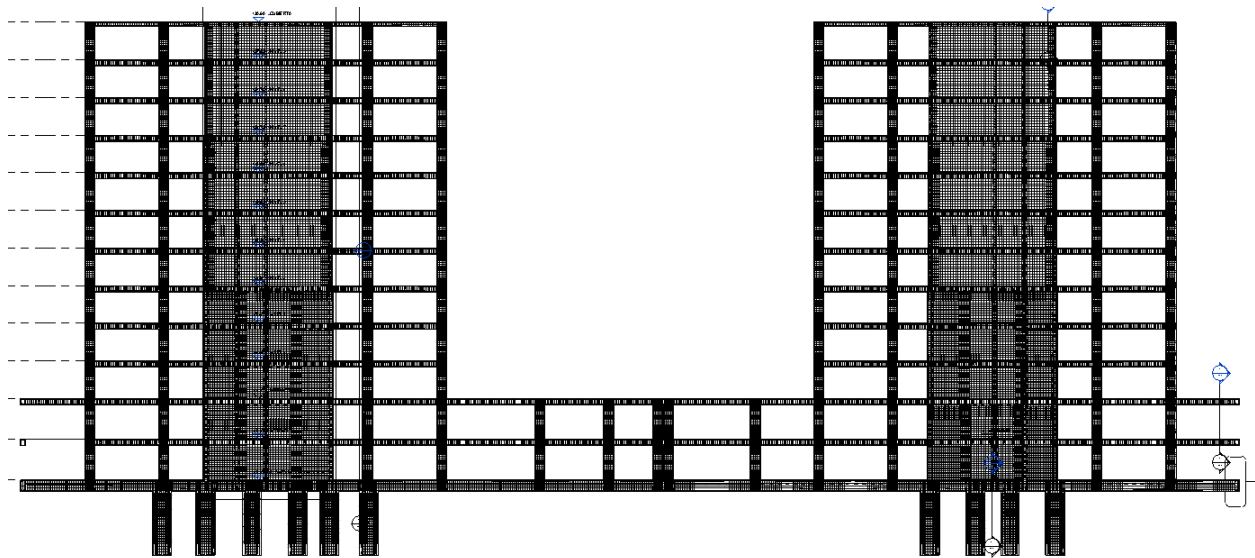
No se realizó el cálculo de estas irregularidades puesto que son necesarios los valores de masas distribuidas en los entrepisos y estos no fueron proporcionado por los diseñadores de cada proyecto.

- **Geometría (3A)**



$$a > 1.30 b$$



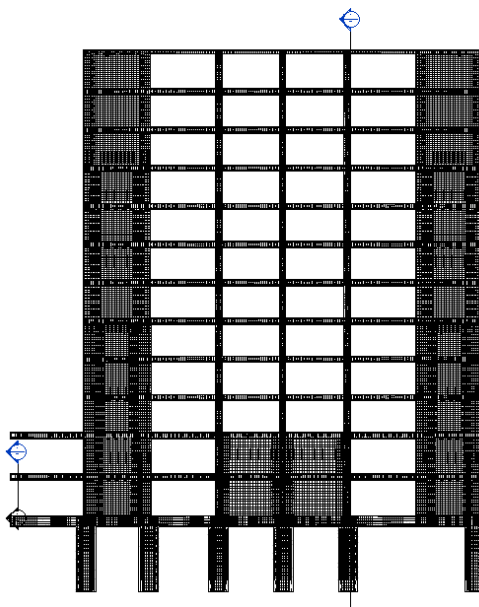


$a = 45.4 \text{ m}, b = 28.43 \text{ m}$

$$a > 1.30 b$$

$$45.4 \text{ m} > 1.30 * 28.43 \text{ m}$$

$$45.4 \text{ m} > 36.9 \text{ m}, \text{ CUMPLE}$$





$$a = 30.80 \text{ m}, b = 36.43 \text{ m}$$

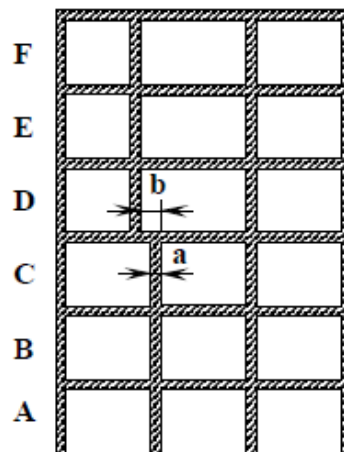
$$a > 1.30 b$$

$$30.8 \text{ m} > 1.30 * 36.43 \text{ m}$$

$$30.8 \text{ m} < 47.36 \text{ m}, \text{NO CUMPLE}$$

De lo anterior no se cumple la condición tanto en el eje X como en el eje Y, por lo tanto,  $\phi_x=0.9$  y  $\phi_y=1.0$ .

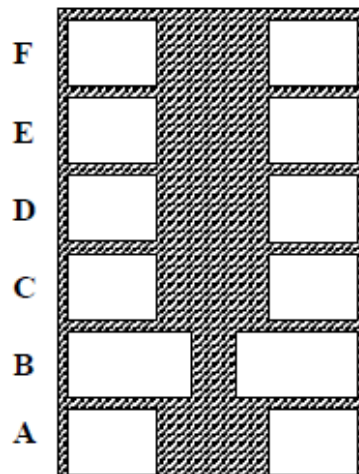
- **Desplazamiento dentro del plano de acción (4A)**



Esta irregularidad no se presenta en la estructura ya que todos los elementos, tanto verticales como horizontales, manejan el mismo plano de acción, tal como se visualiza en las ilustraciones.

por lo tanto,  $\phi_x=1.0$  y  $\phi_y=1.0$ .

- **Piso débil y piso débil externo (5aA y 5bA)**



No se realizó el cálculo de estas irregularidades puesto que son necesarios los valores de resistencias de piso y estos no fueron proporcionado por los diseñadores de cada proyecto.

En las siguientes tablas se resume los resultados obtenidos tras realizar el proceso anteriormente descrito para cada proyecto.

Tabla de irregularidades sentido X

# ANEXO 2

Ajustes en planos estructurales

Tras una revisión de los diseños estructurales de cada proyecto, se identificó la ausencia o inapropiada representación de ciertos detalles en algunos elementos de estructuras en particular que contradicen la lógica numérica y/o las especificaciones técnicas establecidas en las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5, en consecuencia, se realizaron ajustes de mínimo impacto en el diseño y garantizar el cumplimiento de los requisitos de la normativa vigente. A continuación, se mencionan los ajustes que se realizaron en los proyectos durante la modelación:

- Longitudes de traslapo o empalmes de menor distancia a las calculadas bajos los lineamientos de la NSR-10, se presentó principalmente las vigas.
- Se detectaron inconsistencias en las barras de acero longitudinales, donde se presentaron excesos o déficits dimensionales entre lo estipulado por el diseñador y las mediciones realizadas en los planos estructurales. Este caso se presentó en mayor medida en los despieces de vigas.
- En diferentes elementos se presentó el detalle de la sección transversal, aunque, sin detalle de la sección longitudinal, esto incurre en omitir: longitudes de traslapo, longitudes de las barras de acero, cantidad y distribución de estribos o flejes y la no utilización de ganchos. Este caso se presentó en los detalles de losas y muros de carga.
- En detalles estructurales de determinados elementos se presentaron discrepancias respecto al acero de refuerzo de la sección transversal y longitudinal, en las cuales el diámetro de las barras de acero no coincide entre estas, por lo tanto, se optó por emplear para la modelación en Revit los diámetros presentados en el despiece longitudinal.
- En las especificaciones de los detalles estructurales de ciertos proyectos, se estipula la implementación de ganchos con una curvatura de  $180^\circ$  para barras de refuerzo #5 (15.9 mm) o superior. No obstante, dadas las limitaciones prácticas y la complejidad técnica asociada con el doblado in situ de barras de este calibre, se optó por una modificación en el diseño. Se implementaron ganchos con una curvatura de  $90^\circ$ , asegurando el cumplimiento de la longitud

mínima de desarrollo especificada de 12 veces el diámetro de la barra (12db), de acuerdo con los requerimientos normativos vigentes para anclajes de refuerzo.

- En los detalles estructurales de ciertos proyectos, no se presenta la información correspondieren a los elementos de anclaje (ganchos) de las barras longitudinales que parten de la base de los muros de carga.
- Se identificaron incongruencias en la disposición del refuerzo en las intersecciones viga-columna (nudo), ya que se presenta una superposición entre los estribos de las vigas y de las columnas, esta configuración es errónea debido a que la normativa exige la continuidad exclusivamente de los estribos de las columnas.
- Se observo la ausencia de información detallada sobre el refuerzo estructural en determinados elementos que forman parte de la estructura.

A continuación, se presentan de manera específica los hallazgos encontrados en diferentes estructuras.

- De acuerdo con la sección C.13.15 la longitud mínima de empalme por traslapo en tracción está en función de la longitud de desarrollo en tracción  $L_d$ , calculada de acuerdo con C.12.2.2 o C.12.2.3. En resumen, las longitudes de traslapo y longitudes de gancho se consignan en la siguiente tabla:

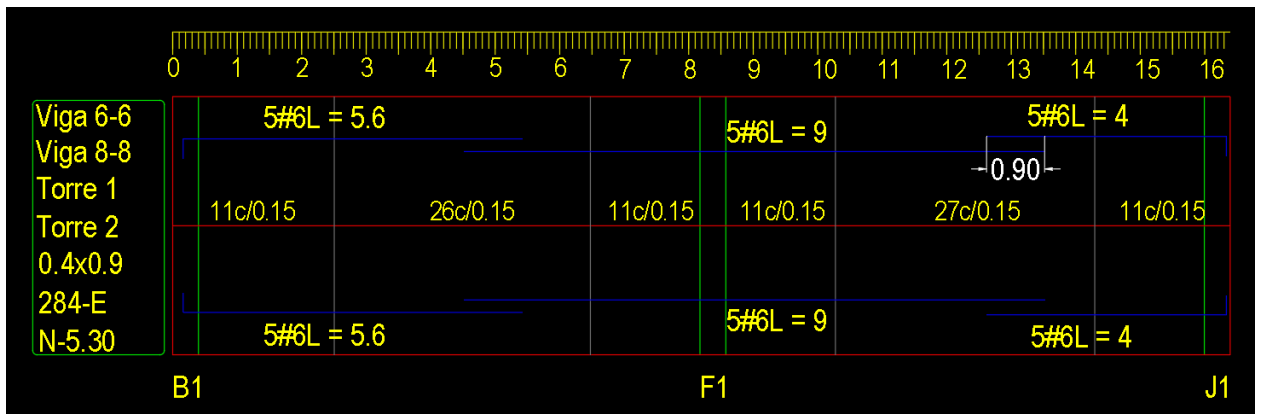
Concreto: 21 MPa Acero: 420 MPa

# Varilla	$L_d$ (cm)	Traslapo Clase B (cm)	Ldh Gancho (cm)
3	41.6	54.0	21.0
4	55.4	72.1	27.9
5	69.3	90.1	34.9

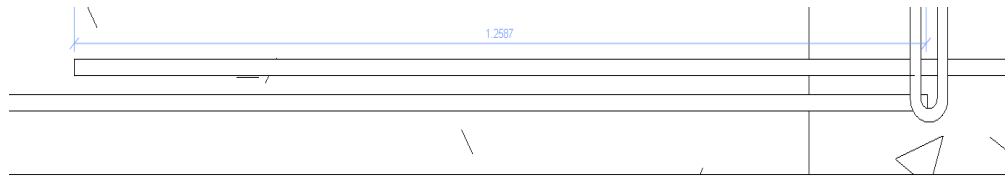
6	83.1	108.1	41.9
7	119.8	155.8	48.9
8	136.9	178.0	55.9

En la revisión, uno de los casos donde se encontró longitudes de traslapo y ganchos menores a las especificadas por la NSR-10 tenemos a la estructura 2, presentando la siguiente información:

CUADRO DE TRASLAPO Y GANCHOS		
#varilla	Long. de traslapo(m)	Long. del gancho (m)
#3	0.60	0.15
#4	0.70	0.20
#5	0.90	0.30
#6	1.00	0.35
#7	1.15	0.35

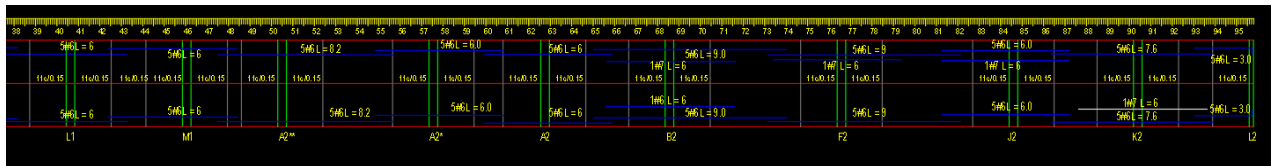
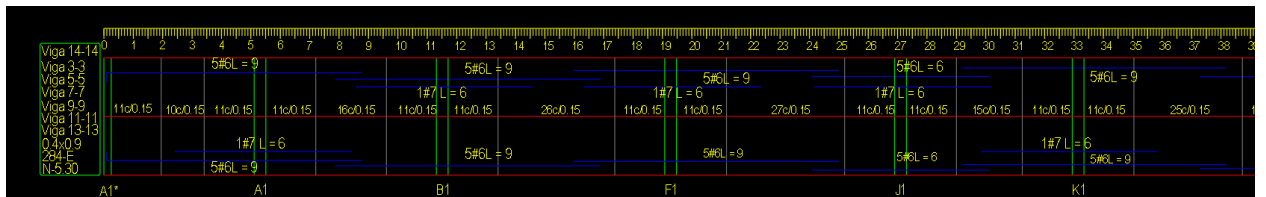


Como se puede observar, tanto en la tabla como en el dibujo de despiece se encuentran inconsistencias que deben ser corregidas en el modelo de Revit.

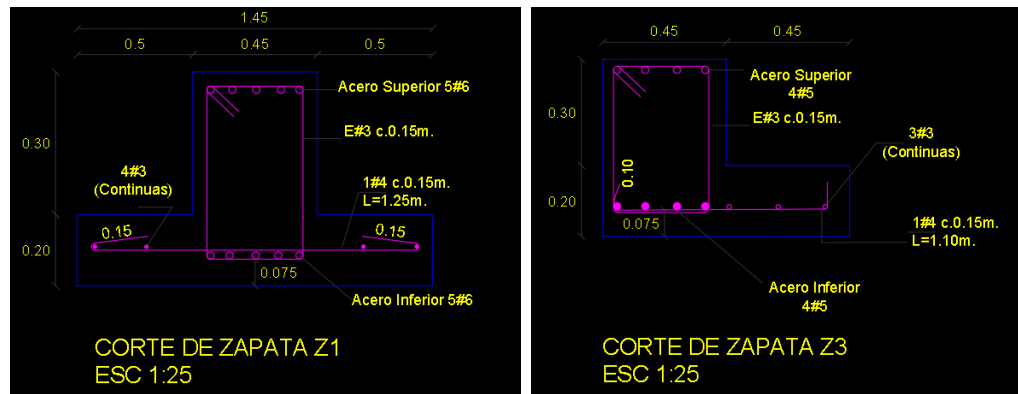


Esta imagen corresponde al acero de la viga en Revit ya realizado la corrección de longitud de traslapo.

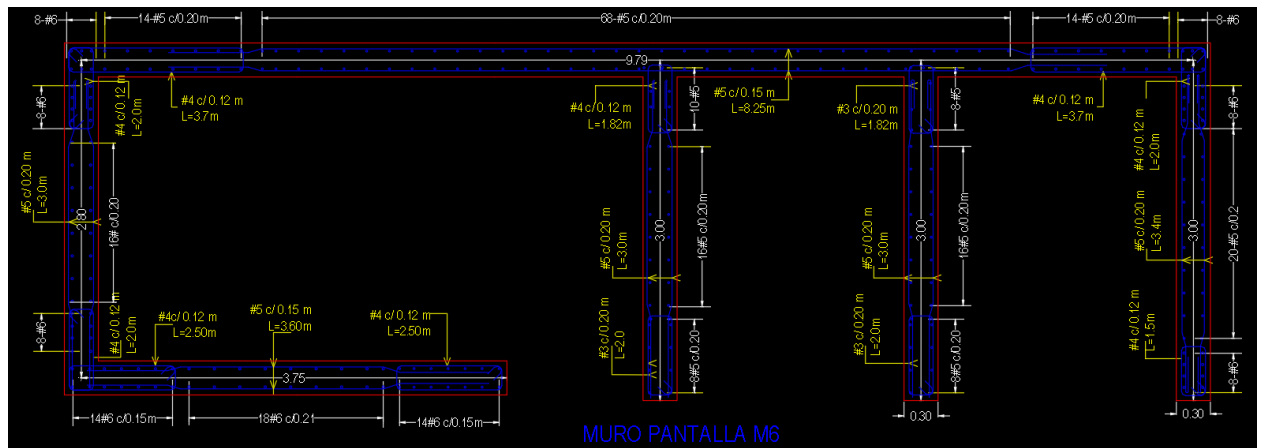
- El caso donde las dimensiones del acero longitudinal eran insuficientes para completar el elemento en Revit se presenta en la estructura 2 debido a los ajustes en las longitudes de traslapos. Uno de los elementos que más impacto tuvo en este tema fue la viga que se presenta a continuación ya que tiene una longitud total de 96 m y muchos traslapos a lo largo de su sección.



- Se presentaron detallados de diferentes secciones transversales, mas no el detallado de los aceros de forma longitudinal tal como se presentó en las zapatas del proyecto 3 y muros de carga en el proyecto 2.



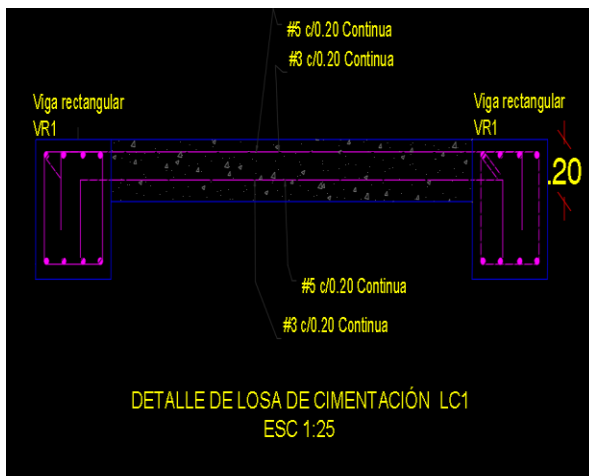
Corte de zapatas Proyecto 3



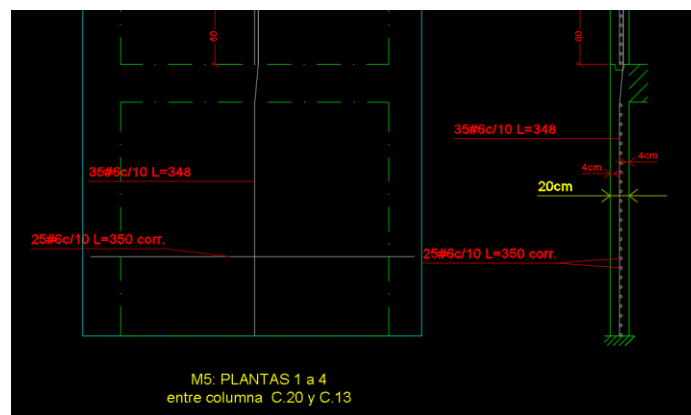
Corte de muro de carga Proyecto 2.

- La diferencia entre dibujos de despiece longitudinal y detallados en sección transversal se presentó en el proyecto 3, en el caso de la losa maciza de cimentación, lo cual se ve reflejado en las siguientes imágenes.

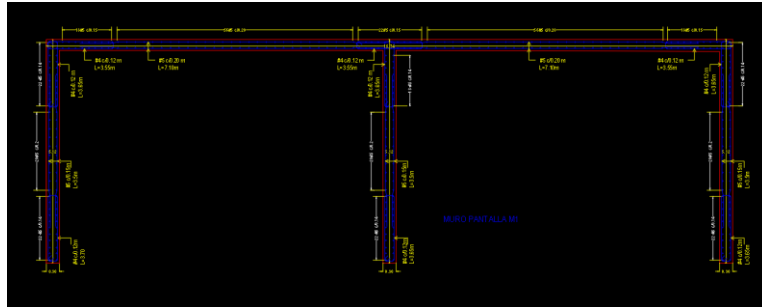




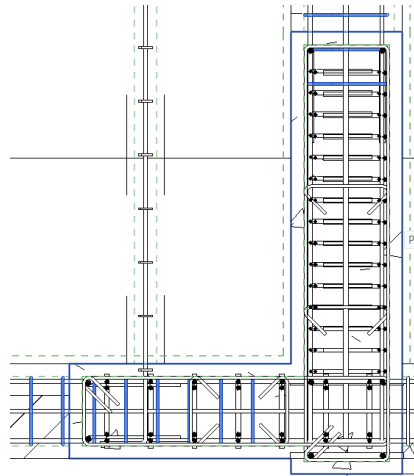
- En los detalles estructurales de algunos proyectos, no se presentan los ganchos de las barras de acero longitudinal que llegan a la base de los muros de carga, tal como sucede en el proyecto 3.



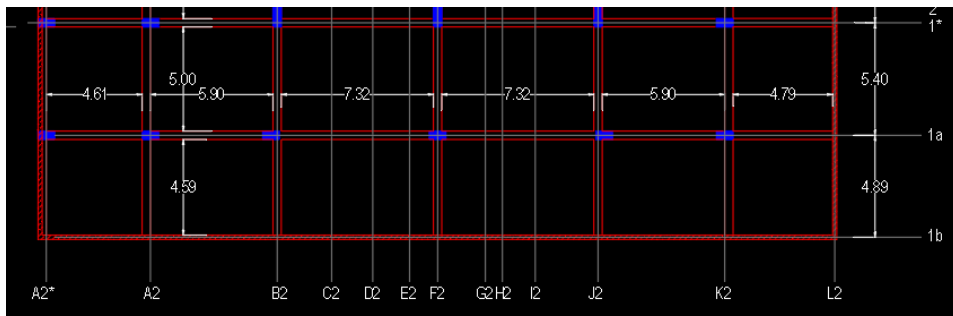
En el proyecto 2 sucede lo mismo, solo se presenta un corte de sección del muro mostrando el detalle de la distribución de las barras, mas no el detalle de los ganchos y traslapos.



- Se encontraron solapes entre los estribos de las vigas y de las columnas, cuando en el nudo debería ser continuos los estribos de las columnas, este caso se presentó en proyecto 3.



- Algunos elementos del sistema estructural no presentaron detallado de refuerzo estructural, tal es el caso puntual del proyecto 2 donde las vigas 1\*, 1<sup>a</sup> y 1b no presentan detallado estructural y se opta por tomar el detallado de vigas similares. Este caso sucedió en los niveles de sótano y semi sótano.



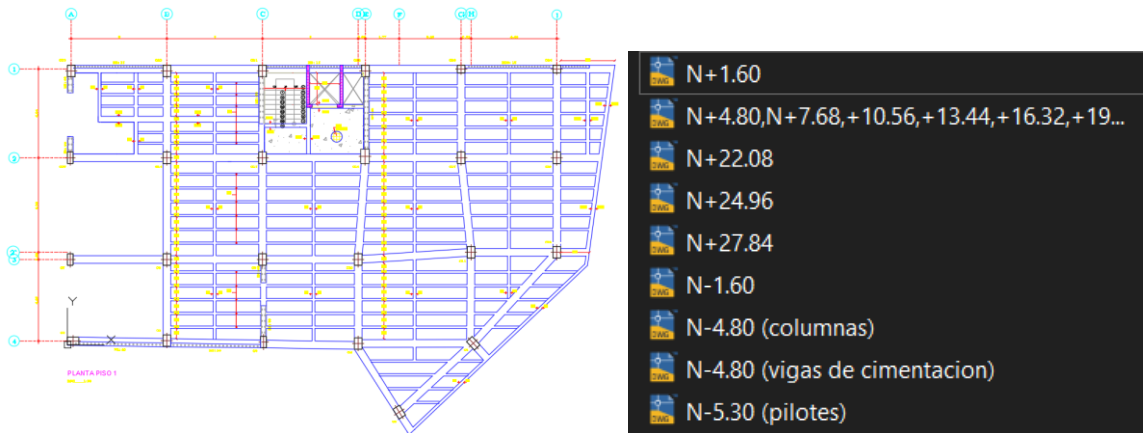
# ANEXO 3

Modelación de Información de  
Entrada con Tecnología BIM

En este anexo se encuentra el proceso detallado que se llevó a cabo para generar el modelo tridimensional de la estructura 6, la cual fue seleccionada como estructura tipo para enseñar el paso a paso del procedimiento.

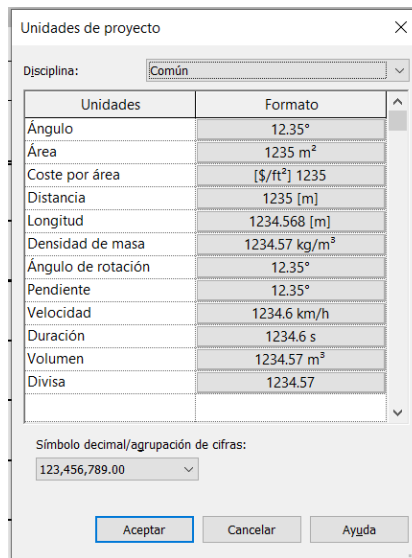
## Preparación planos 2D (Plantillas)

Inicialmente se utiliza la información de los planos estructurales correspondientes para identificar las vistas en planta de cada nivel, esta información se prepara en AutoCAD y se definen como plantillas. Estas plantillas nos ayudan a dibujar con precisión la ubicación de los elementos estructurales, debido a que contienen la información de los ejes y las medidas en escala 1:1.

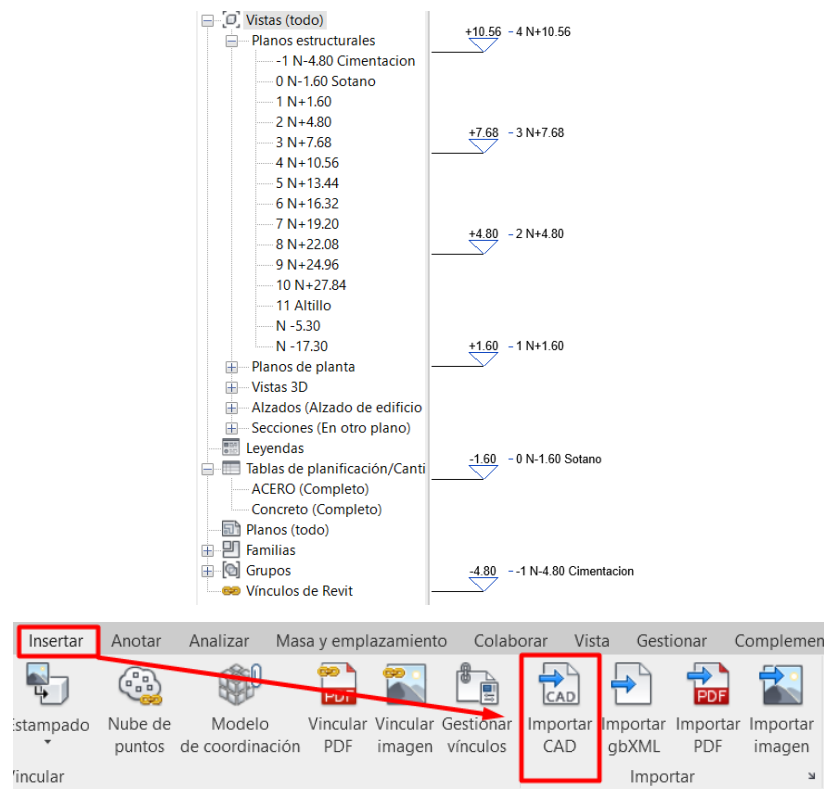


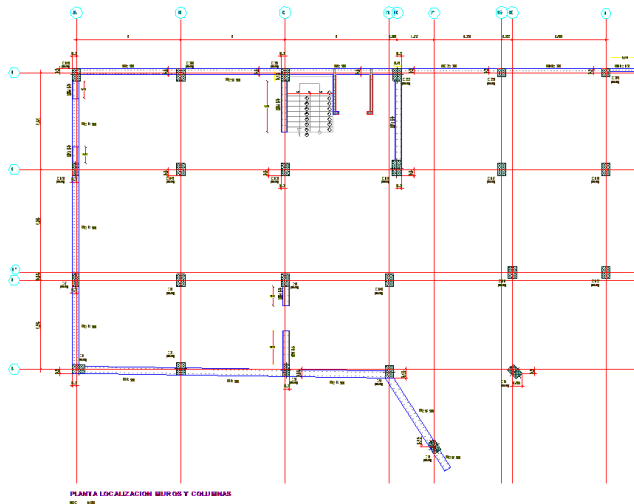
## Parámetros Iniciales y entrada de información

Una vez preparada la información en 2D, se procede a configurar las unidades de medida para trabajar en Revit, que en el caso de esta investigación y en función del país en el que se realizó, se utilizó el sistema internacional de unidades (SI).

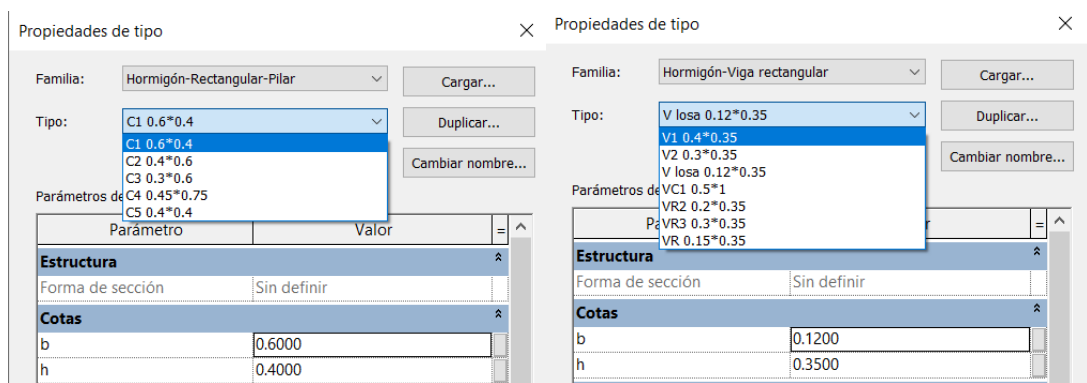
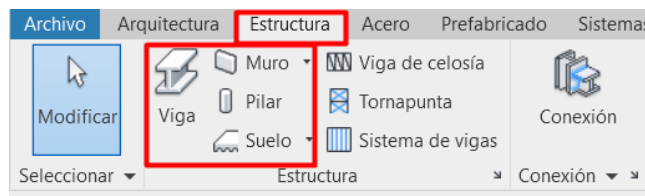


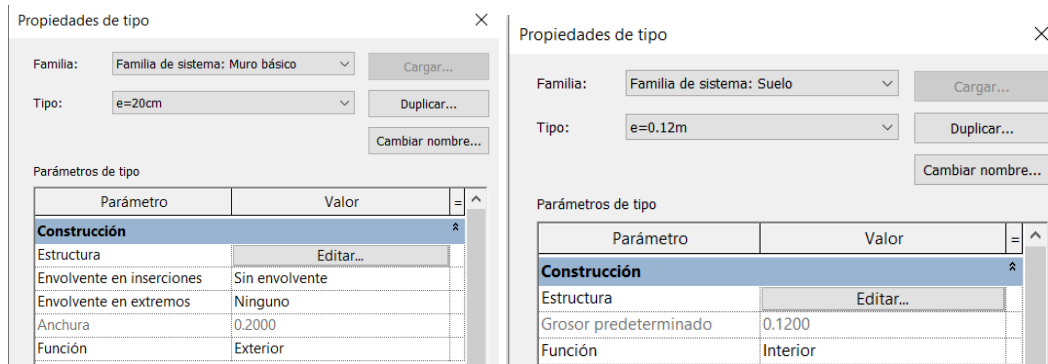
Una vez definidas las unidades de medida, se procede a definir en Revit cada uno de los niveles que existen en la estructura con el objetivo de importar las plantillas en su nivel correspondiente:





Con las plantillas listas, estudiamos los planos estructurales para definir las dimensiones de todos los elementos estructurales: Columnas, Vigas, Muros, losas, vigas de cimentación, zapatas y pilotes. Una vez identificado cada elemento y sus dimensiones se definen en Revit dichas dimensiones:





La estructura 6 cuenta con concreto de 21 MPa y las siguientes dimensiones en sus elementos:

Columnas: 0.45mx0.75m, 0.40mx0.40m, 0.30mx0.60m, 0.40mx0.60m

Vigas: 0.30mx0.35m, 0.35mx0.40m, 0.20mx0.35mm, 0.15mx0.35m

Muros: e=0.15m, e=0.2m, e=0.3m

Losas Aligerada: e=0.05 y Nervio=0.35, e=0.12 y Nervio=0.35

Losa Maciza: e=0.12

Cimentacion: Pilotes D=0.5m

### **Modelacion de elementos estructurales**

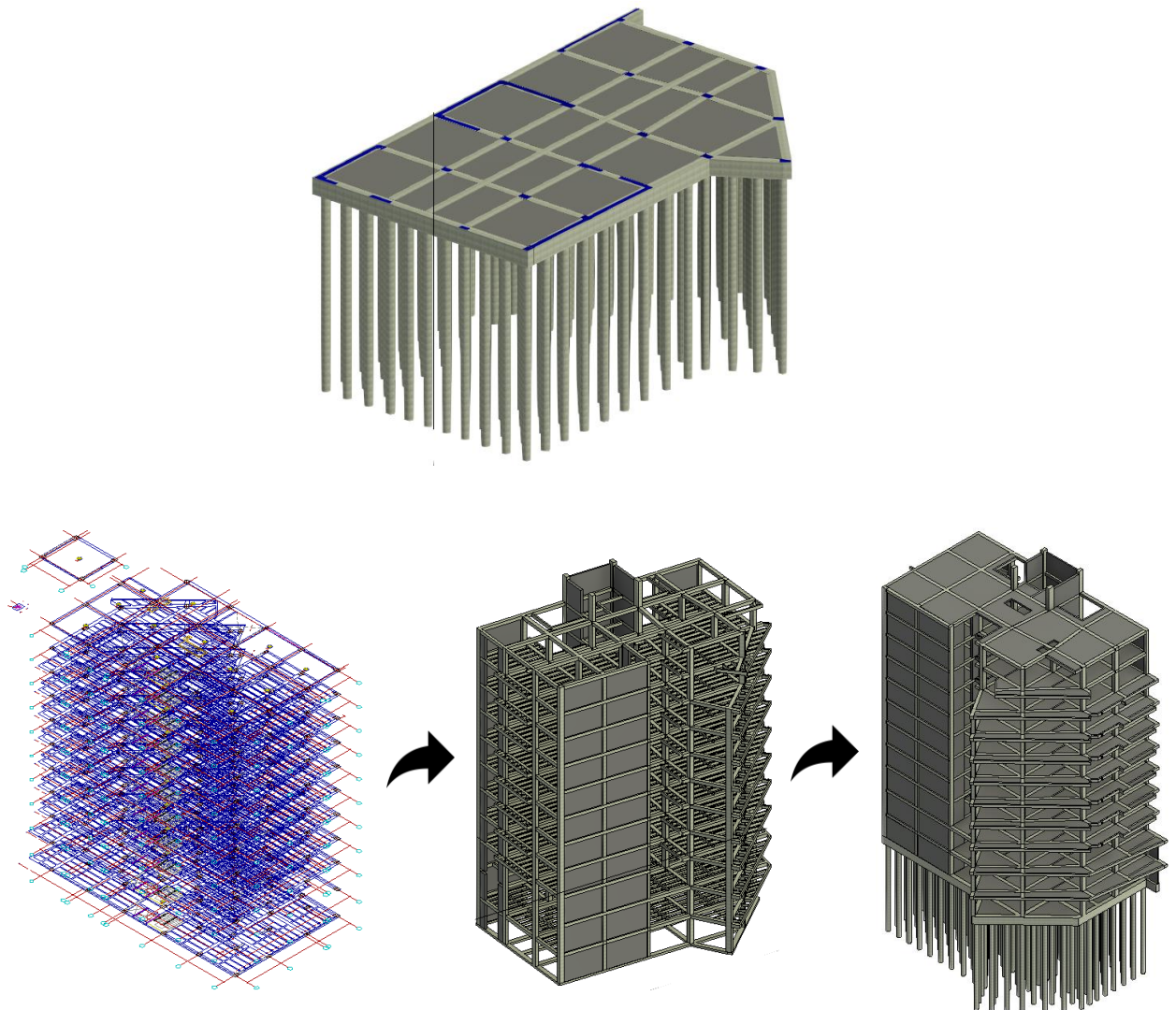
Con los Elementos de la estructura definidos, se procede a modelar, la estructura, seleccionando el elemento de interés a dibujar en la pestaña “estructura” y trazarlos con la ayuda de la plantilla de cada nivel.

En este proceso de modelado, por comodidad en el paso siguiente se realiza inicialmente la ubicación de las columnas. Seleccionamos la medida correspondiente de la columna y guiados por la plantilla se ubica donde corresponda, posteriormente configuramos el nivel de origen y el nivel de llegada de la columna. Con todas las columnas dibujadas, se continua con el modelado de





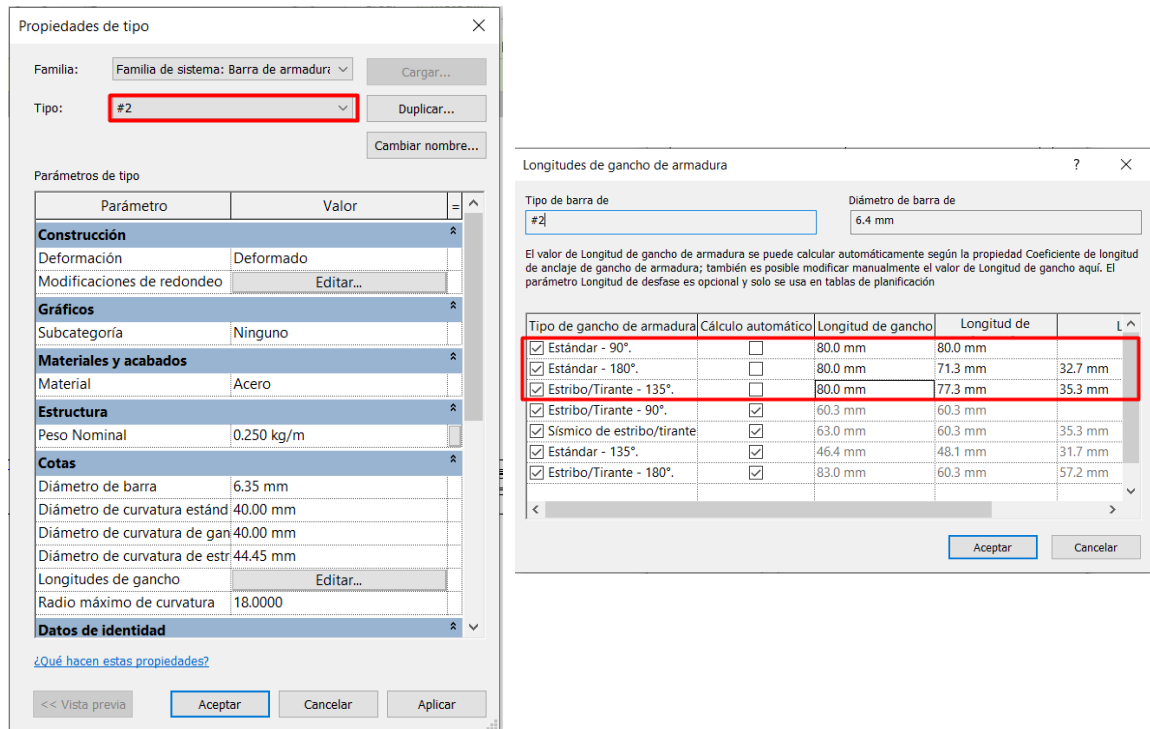
Después de finalizada la fase de la superestructura, se procede a realizar la modelación de la infraestructura (cimentación). Esta estructura cuenta con una cimentación profunda, vigas de cimentación y losa de cimentación, por lo tanto, el procedimiento de dibujo es el mismo que para la superestructura: pilas, vigas y losa.



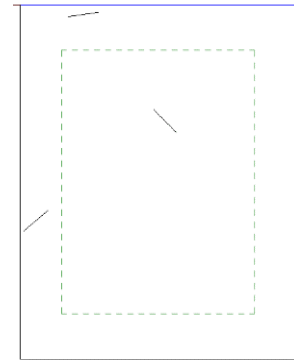
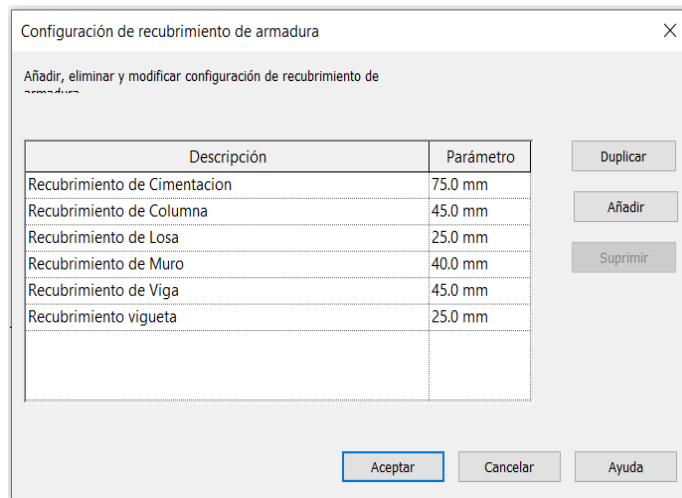
### **Reforzamiento con Acero de la Estructura**

Inicialmente para la etapa de reforzamiento debemos configurar las barras de acero en Revit, se deben configurar los siguientes parámetros para cada tipo de barra:

diámetro de la barra, longitud de gancho a 90°, longitud de gancho a 180°, longitud de gancho a 135° (si aplica), diámetro de doblado y peso específico. Estos parámetros se configuran con base a la información que se encuentra en los planos estructurales. algunos de los parámetros mencionados deben cumplir un valor mínimo, los cuales fueron chequeados en el análisis de la información de entrada.

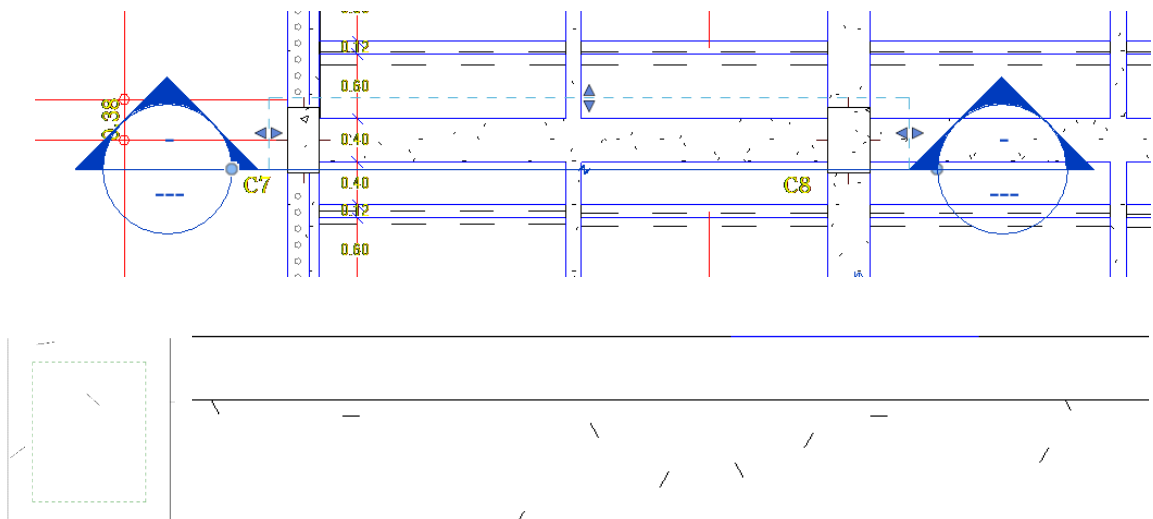


Otro parámetro importante por configurar en la modelación del reforzamiento es el recubrimiento, es importante configurar este parámetro para asegurarnos de que la modelación en 3D sea lo más fiel a la información en 2D. cada elemento estructural cuenta con un valor de recubrimiento, el cual depende de los lineamientos establecidos en la norma NSR 10. por lo tanto, con base a la información de entrada, la estructura 6 cuenta con los siguientes valores de recubrimiento:

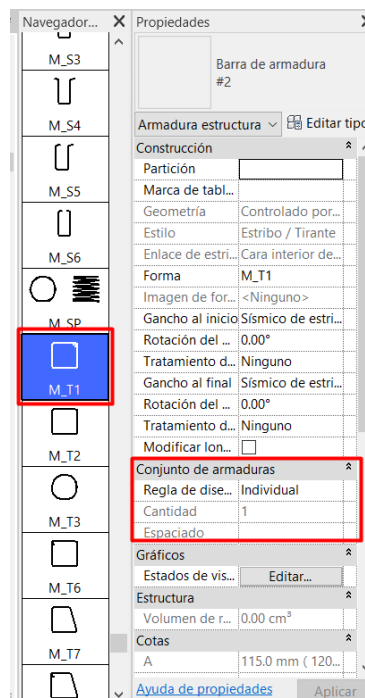


Con la configuración de los recubrimientos lista se procede a asignar a cada uno de los elementos estructurales el recubrimiento correspondiente según la información estipulada en los planos.

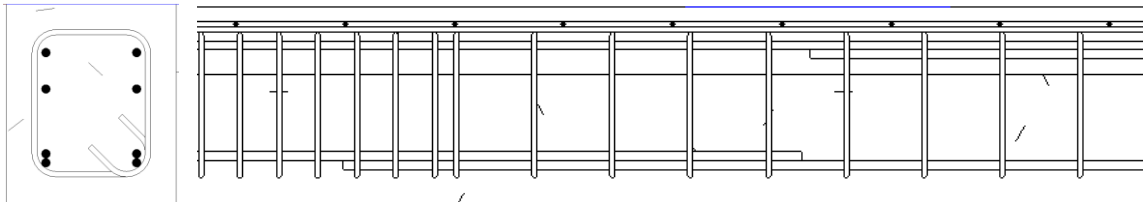
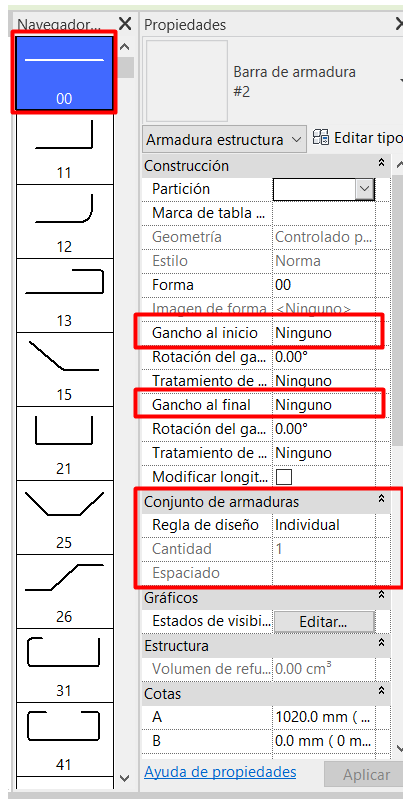
Una vez finalizada la configuración del recubrimiento para cada uno de los elementos estructurales y de las barras de acero, procedemos a crear secciones, esta herramienta nos permite visualizar el perfil o el corte de un elemento de interés, de esta manera resulta más práctico modelar las barras de acero:



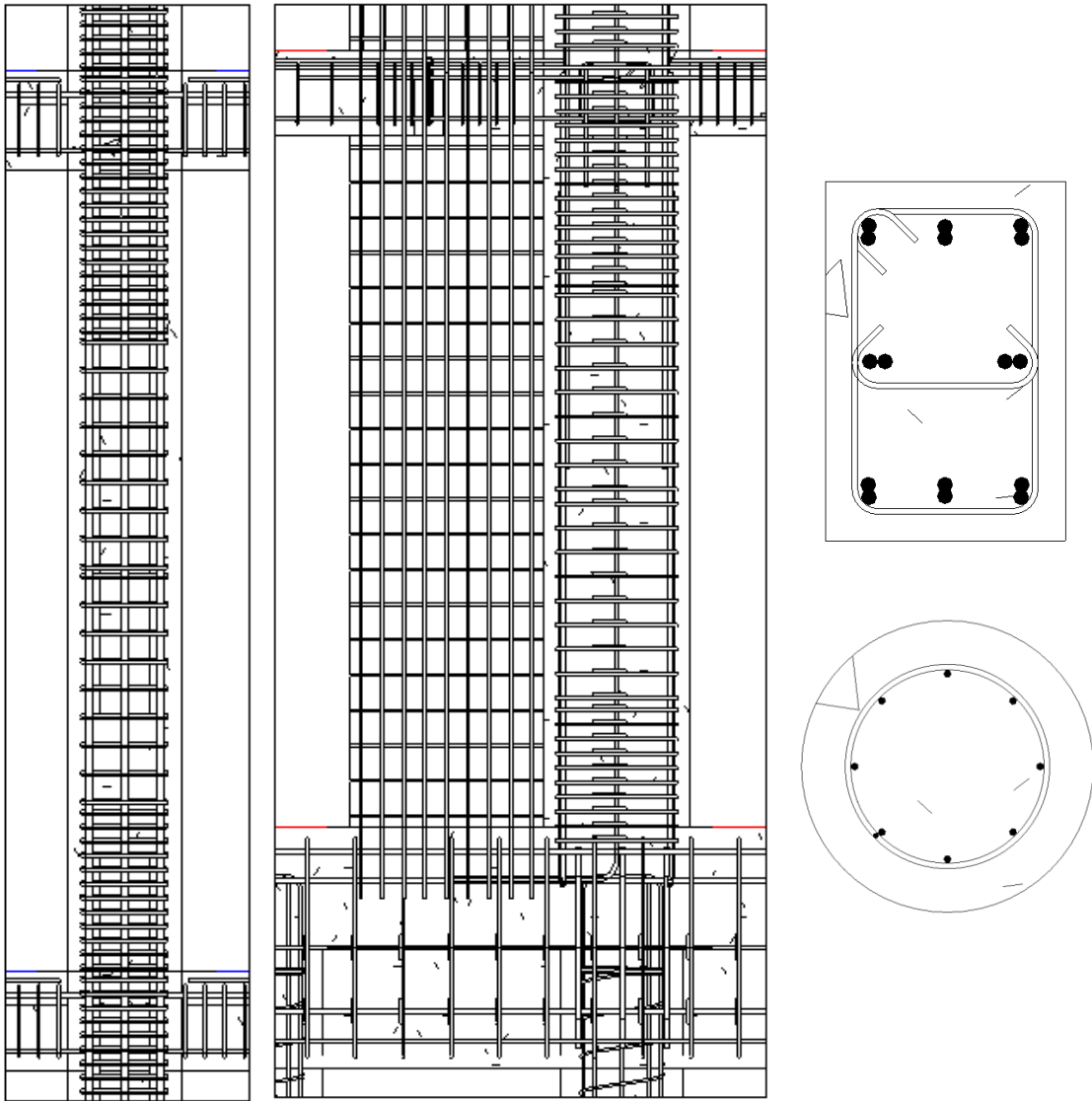
Con la sección lista, se hace uso de la herramienta “Armadura” para insertar las barras, inicialmente se introducen los estribos a la sección (Muros no), haciendo uso de la sección del corte transversal del elemento (viga o pilar) y seleccionando el tipo de estribo correspondiente en la barra lateral de selección, en esta misma barra podemos elegir el número de estribos y la separación entre ellos, información que se obtiene de los planos estructurales:



Con los estribos listos, continuamos con el acero longitudinal, al igual que con los estribos, en la barra lateral tenemos la posibilidad de configurar, el número de barras que necesitamos, la longitud de estas y el tipo de gancho (si tiene):



El proceso enunciado funciona para: columnas, vigas, vigas de cimentación y pilotes. Para muros el proceso es igual sin tener en cuenta los estribos.



Finalmente, en el reforzamiento de las losas tenemos que usar la herramienta “Área”, esta nos permite seleccionar el contorno de un área de losa existente y sobre la cual dibuja los aceros que se requieran. La configuración de los aceros se realiza en la barra lateral:

**Propiedades**

Refuerzo de área estructural  
Refuerzo de área estructural 1

Refuerzo de área estructural Editar tipo

**Construcción**

Partición	
Regla de diseño	Espaciado máximo
Desfase del recubrimiento ...	0.0 mm
Desfase del recubrimiento ...	0.0 mm

**Gráficos**

Estados de visibilidad en vi...	<span>Editar...</span>
---------------------------------	------------------------

**Estructura**

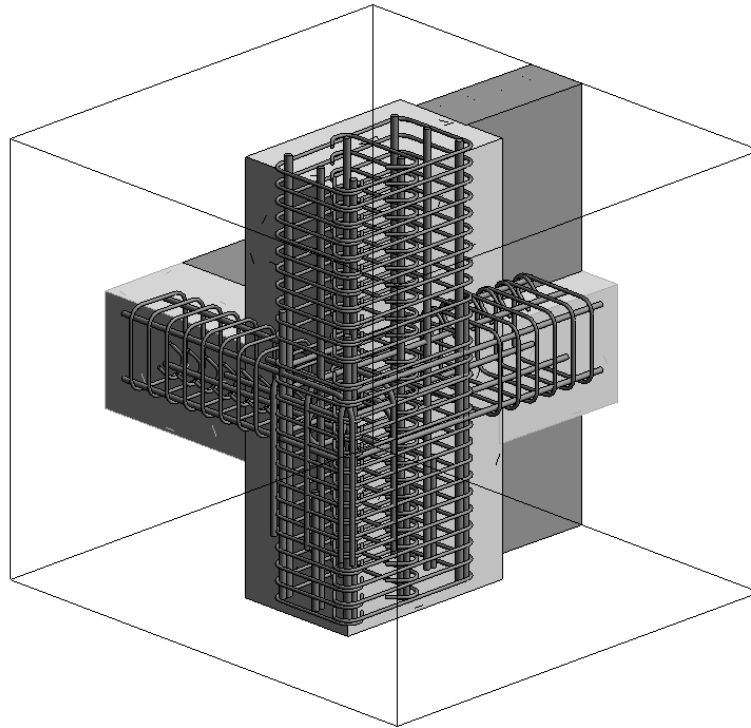
Volumen de refuerzo	7541.52 cm <sup>3</sup>
---------------------	-------------------------

**Capas**

Dirección principal superior	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de barra principal sup...	#3
Tipo de gancho principal s...	Ninguno
Orientación de gancho prin...	Abajo
Espaciado principal superior	200.0 mm
Número de líneas principal...	23
Dirección secundaria super...	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de barra secundaria s...	#3
Tipo de gancho secundario...	Ninguno
Orientación de gancho sec...	Abajo
Espaciado secundario supe...	200.0 mm
Número de líneas secundar...	13
Dirección principal inferior	<input type="checkbox"/>
Tipo de barra principal infe...	#4
Tipo de gancho principal i...	Ninguno

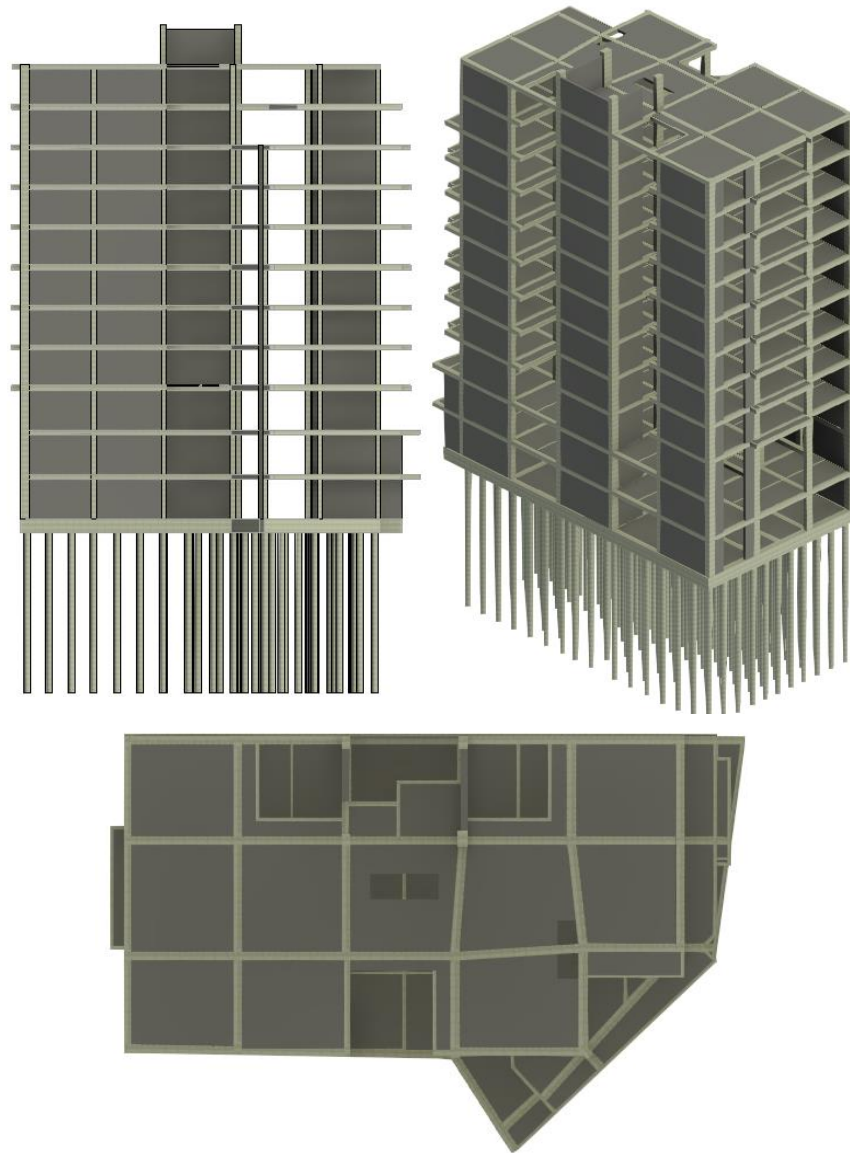
[Ayuda de propiedades](#) Aplicar





Como detalle extra, se realizó una verificación al refuerzo de cada elemento, con el fin de comprobar que las barras de un elemento estén asociadas a sí mismo y no a otros elementos. Esta verificación nos asegura que los resultados totales de cantidades por clasificación de elemento sean datos fiables.

Tras finalizar la modelación de la estructura, se presentan diferentes perspectivas de la estructura 6.



# ANEXO 4

Cálculos para la Obtención de  
Índices y Obtención de  
Herramientas Estadísticas

para este anexo se optó el estado de análisis 3 como el estado tipo para presentar los cálculos realizados con el área calculada y con los valores obtenidos de Revit, a continuación, se presentan los valores de consumo de materiales, área e índices calculado para cada una de las estructuras

ESTRUCTURA 1 COMPLETA				
Área Construida [m2]			2231.64	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	173.8	70388.55	0.078	31.54
VIGAS	224	43379.08	0.100	19.44
MUROS	168.18	20959.07	0.075	9.39
LOSA ENTREPISO	139.62	13287.78	0.063	5.95
CIMENTACIÓN	219.4	24763.92	0.098	11.10
<b>TOTAL</b>	<b>925</b>	<b>172778.4</b>	<b>0.414</b>	<b>77.42</b>

ESTRUCTURA 2 COMPLETA				
Área Construida [m2]			19960.93	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	703.69	107169.49	0.04	5.37
VIGAS	1791.02	248544.63	0.09	12.45
MUROS	2023.67	283002.12	0.10	14.18
LOSA ENTREPISO	1948.91	180734.13	0.10	9.05
CIMENTACIÓN	1055.04	166982.31	0.05	8.37
<b>TOTAL</b>	<b>7522.33</b>	<b>986432.68</b>	<b>0.377</b>	<b>49.42</b>

ESTRUCTURA 3 COMPLETA				
Área Construida [m2]			3002.91	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	188.46	30680.97	0.06	10.22
VIGAS	109.94	26991.46	0.04	8.99
MUROS	57.05	6459.29	0.02	2.15
LOSA ENTREPISO	210.36	20655.78	0.07	6.88
CIMENTACIÓN	149.52	16110.08	0.05	5.36
<b>TOTAL</b>	<b>715.33</b>	<b>100897.58</b>	<b>0.238</b>	<b>33.60</b>

ESTRUCTURA 4 COMPLETA				
Área Construida [m2]			2172.1	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	90.08	28820.4	0.041	13.27
VIGAS	140.39	20782.99	0.065	9.57
MUROS	34.52	9092.8	0.016	4.19
LOSA ENTREPISO	145.73	8492.25	0.067	3.91
CIMENTACIÓN	462.55	47285.39	0.213	21.77
<b>TOTAL</b>	<b>873.27</b>	<b>114473.83</b>	<b>0.402</b>	<b>52.70</b>

ESTRUCTURA 5 COMPLETA				
Área Construida [m2]			1084.14	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	27.9	6183.55	0.026	5.70
VIGAS	47.82	8969.59	0.044	8.27
MUROS	33.66	2772.58	0.031	2.56
LOSA ENTREPISO	132.31	10847.06	0.122	10.01
CIMENTACIÓN	60.3	6891.43	0.056	6.36
<b>TOTAL</b>	<b>301.99</b>	<b>35664.21</b>	<b>0.279</b>	<b>32.90</b>

ESTRUCTURA 6 COMPLETA				
Área Construida [m2]			4006.94	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	180.12	44477.33	0.045	11.49
VIGAS	307.01	49770.33	0.077	12.85
MUROS	219.03	37010.14	0.055	9.56
LOSA ENTREPISO	342.39	33508.5	0.085	8.65
CIMENTACIÓN	650.44	46416.7	0.162	11.99
<b>TOTAL</b>	<b>1698.99</b>	<b>211183</b>	<b>0.424</b>	<b>52.70</b>

ESTRUCTURA 7 COMPLETA				
Área Construida [m2]			4236.66	
Elementos Constructivos	Concreto [m3]	Acero [kg]	Ind Concreto [m3/m2]	Ind Acero [kg/m2]
COLUMNAS	502.39	88108.16	0.12	20.80
VIGAS	309.4	46539.49	0.07	10.98
MUROS	75.49	12321.39	0.02	2.91
LOSA ENTREPISO	393.12	37896.99	0.09	8.95
CIMENTACIÓN	180.75	36070.95	0.04	8.51
<b>TOTAL</b>	<b>1461.15</b>	<b>220936.98</b>	<b>0.345</b>	<b>52.15</b>

De los datos obtenidos se obtienen el promedio y la desviación estándar para concreto y acero

Estructura Completa				
ESTRUCTURA	Índice Concreto	Índice Acero	PROMEDIO Concreto	PROMEDIO Acero
Proyecto 1	0.414	77.422	0.354	50.127
Proyecto 2	0.377	49.418		
Proyecto 3	0.238	33.600		
Proyecto 4	0.402	52.702		
Proyecto 5	0.279	32.896		
Proyecto 6	0.424	52.704		
Proyecto 7	0.345	52.149		

CONCRETO	
Desviación Estándar Concreto	0.0661
Incertidumbre Concreto	0.186
Coficiente de variación Concreto	18.66%

ACERO	
Desviación Estándar Acero	13.80
Incertidumbre Acero	44.53
Coficiente de variación Acero	27.53%

	Concreto	Acero
Desviación estándar	0.066	13.80
Límite superior	0.420	63.927
Límite inferior	0.288	36.328

Para finalmente resumir los datos de los índices de concreto y acero y el porcentaje de participación de cada elemento

Índice de concreto de las estructuras							
Elementos	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Columnas	0.078	0.035	0.063	0.041	0.026	0.045	0.119
Vigas	0.100	0.090	0.037	0.065	0.044	0.077	0.073
Muros	0.075	0.101	0.019	0.016	0.031	0.055	0.018
Losas	0.063	0.098	0.070	0.067	0.122	0.085	0.093
Cimentación	0.098	0.053	0.050	0.213	0.056	0.162	0.043

Índice de acero de las estructuras							
Elementos	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Columnas	31.541	5.369	10.217	13.268	5.704	11.486	20.80
Vigas	19.438	12.452	8.988	9.568	8.273	12.853	10.98
Muros	9.392	14.178	2.151	4.186	2.557	9.558	2.91
Losas	5.954	9.054	6.879	3.910	10.005	8.654	8.95
Cimentación	11.097	8.365	5.365	21.769	6.357	11.987	8.51

Porcentaje de concreto de las estructuras							
Elementos	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Columnas	18.8%	9.4%	26.3%	10.3%	9.2%	10.6%	34.4%
Vigas	24.2%	23.8%	15.4%	16.1%	15.8%	18.1%	21.2%
Muros	18.2%	26.9%	8.0%	4.0%	11.1%	12.9%	5.2%
Losas	15.1%	25.9%	29.4%	16.7%	43.8%	20.2%	26.9%
Cimentación	23.7%	14.0%	20.9%	53.0%	20.0%	38.3%	12.4%

Porcentaje de acero de las estructuras							
Elementos	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Columnas	40.7%	10.9%	30.4%	25.2%	17.3%	21.1%	39.9%
Vigas	25.1%	25.2%	26.8%	18.2%	25.2%	23.6%	21.1%
Muros	12.1%	28.7%	6.4%	7.9%	7.8%	17.5%	5.6%
Losas	7.7%	18.3%	20.5%	7.4%	30.4%	15.9%	17.2%
Cimentación	14.3%	16.9%	16.0%	41.3%	19.3%	22.0%	16.3%

Y para obtener las conclusiones principales se realizan las siguientes tablas de datos que organizan los índices correspondientes al sistema de resistencia sísmica, losas de entrepiso y cimentación y los porcentajes de participación de cada uno.

GRÁFICA PARA ANÁLISIS FINAL CONCRETO							
	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Sistema sismorresistente	0.254	0.226	0.118	0.122	0.101	0.176	0.209
Losas	0.063	0.098	0.070	0.067	0.122	0.085	0.093
Cimentación	0.098	0.053	0.050	0.213	0.056	0.162	0.043

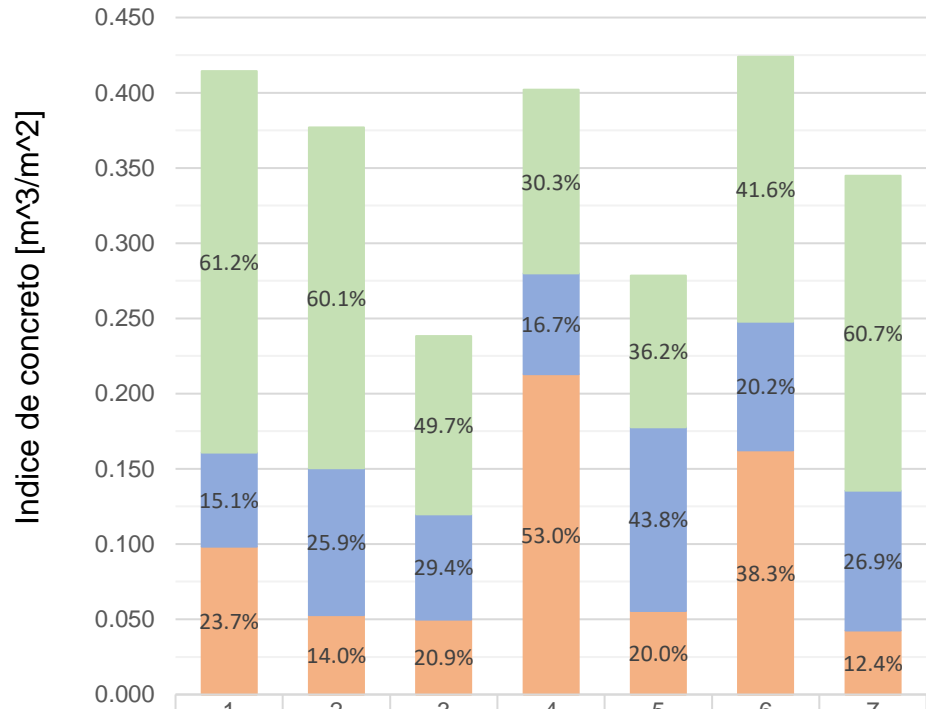


GRÁFICA PARA ANÁLISIS FINAL ACERO							
	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Sistema sismorresistente	60.37	32.00	21.36	27.02	16.53	33.90	34.69
Losas	5.95	9.05	6.88	3.91	10.01	8.65	8.95
Cimentación	11.10	8.37	5.36	21.77	6.36	11.99	8.51

GRÁFICA PARA ANÁLISIS FINAL CONCRETO							
	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Sistema sismorresistente	61.2%	60.1%	49.7%	30.3%	36.2%	41.6%	60.7%
Losas	15.1%	25.9%	29.4%	16.7%	43.8%	20.2%	26.9%
Cimentación	23.7%	14.0%	20.9%	53.0%	20.0%	38.3%	12.4%

GRÁFICA PARA RUTA DE ANÁLISIS FINAL ACERO							
	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 6	Proyecto 7
Sistema sismorresistente	78.0%	64.8%	63.6%	51.3%	50.3%	62.2%	66.5%
Losas	7.7%	18.3%	20.5%	7.4%	30.4%	15.9%	17.2%
Cimentación	14.3%	16.9%	16.0%	41.3%	19.3%	22.0%	16.3%

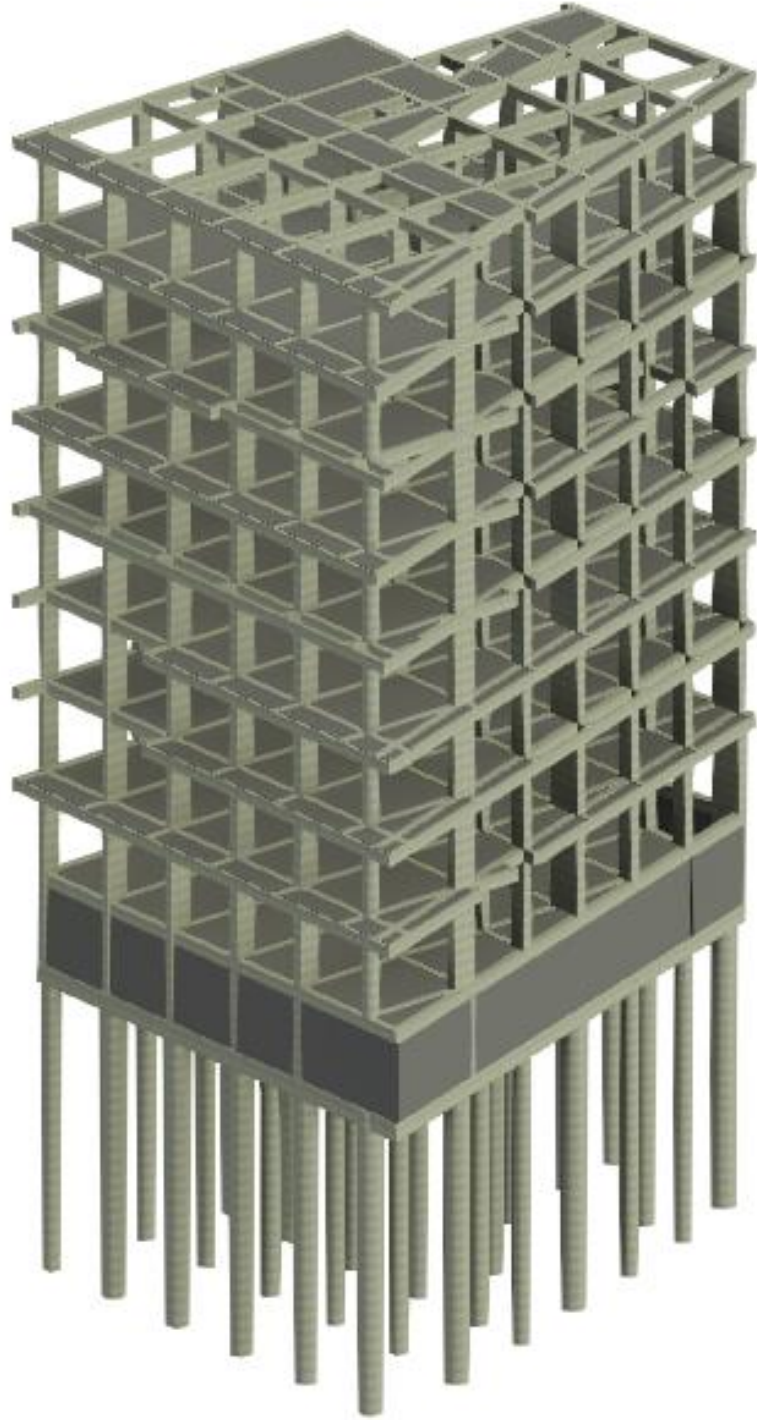
### Indices de concreto



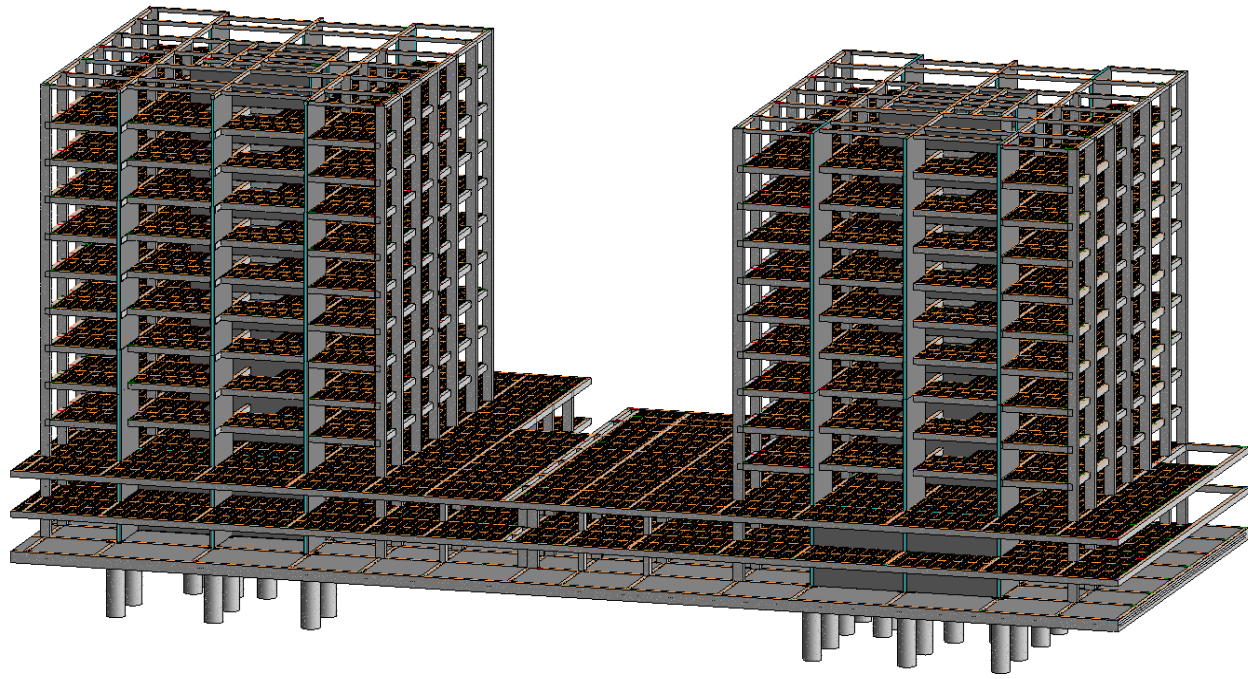
■ Sistema sismorresistente	0.254	0.226	0.118	0.122	0.101	0.176	0.209
■ Losas	0.063	0.098	0.070	0.067	0.122	0.085	0.093
■ Cimentacion	0.098	0.053	0.050	0.213	0.056	0.162	0.043

# ANEXO 5

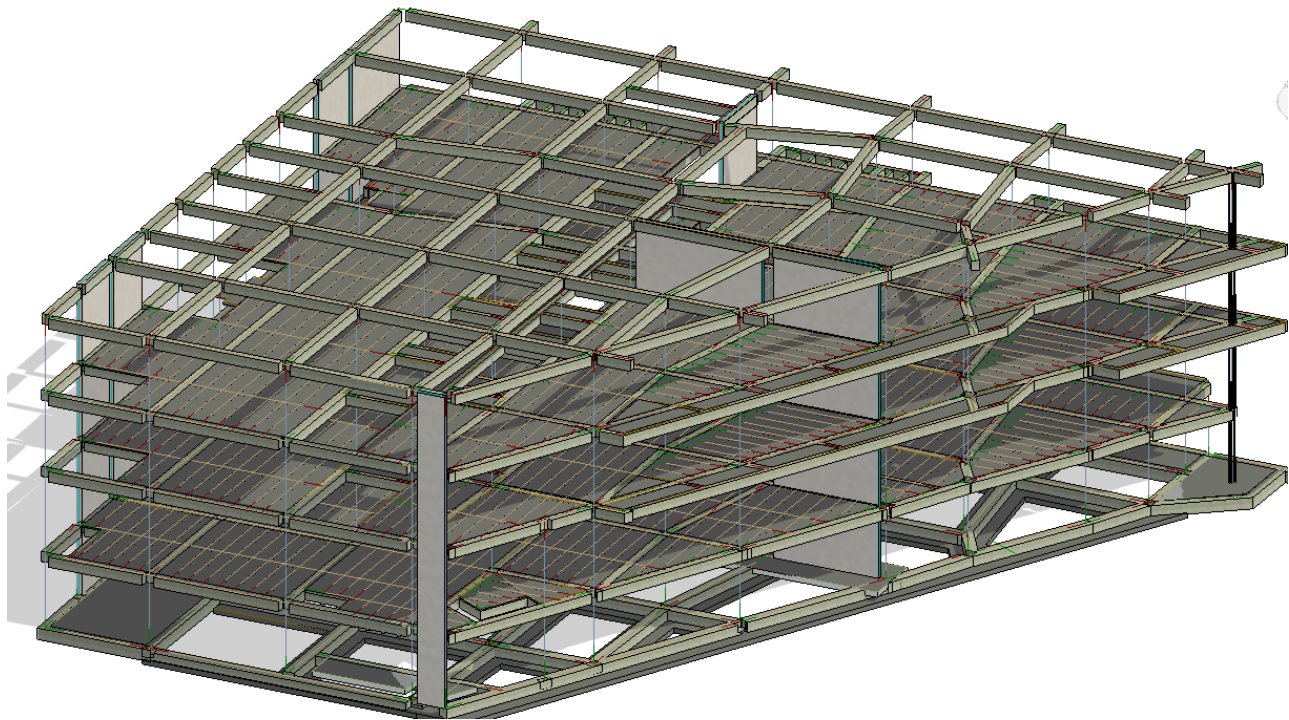
Imágenes de Estructuras  
Modeladas en Revit



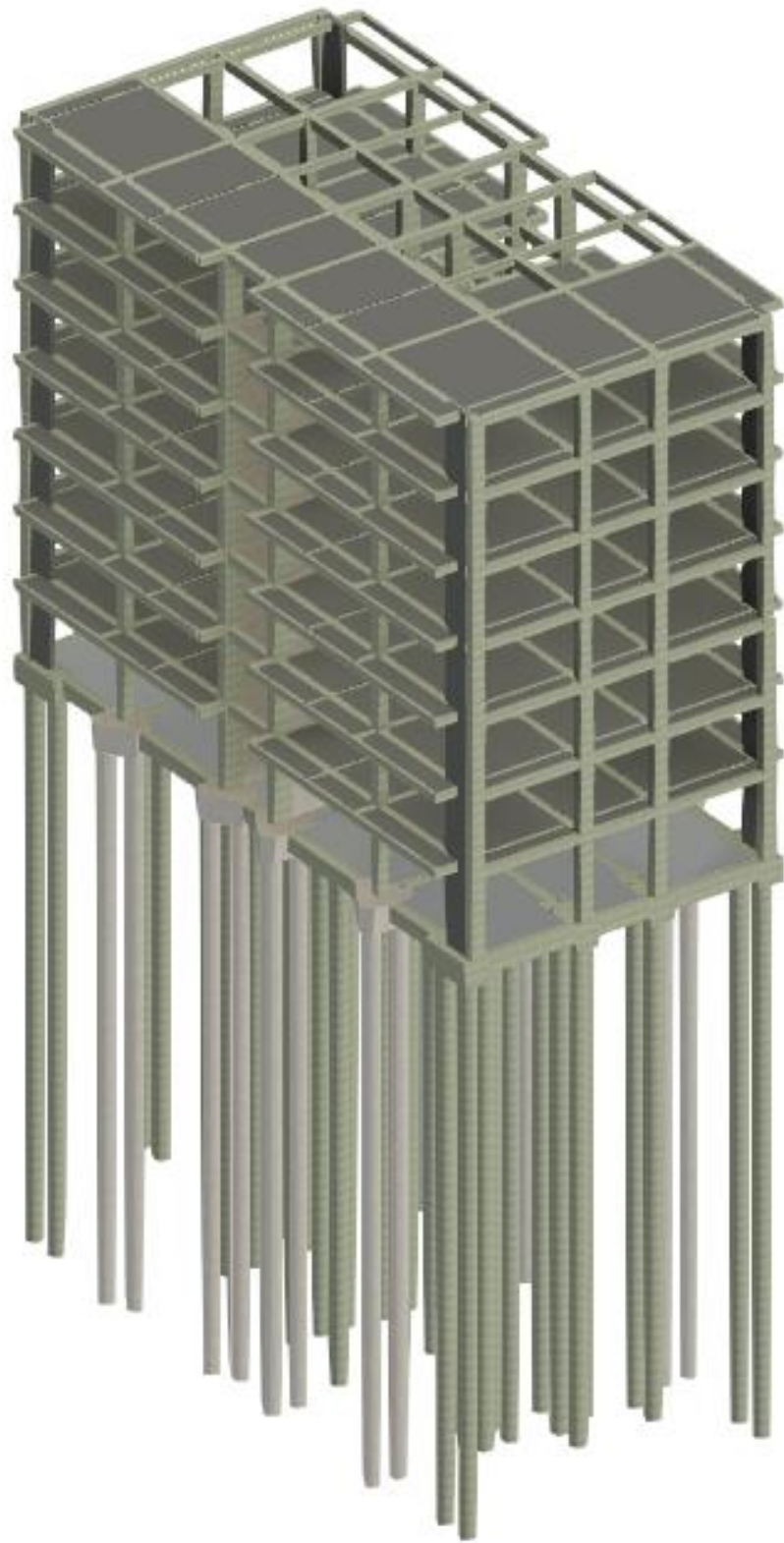
Proyecto 1



Proyecto 2

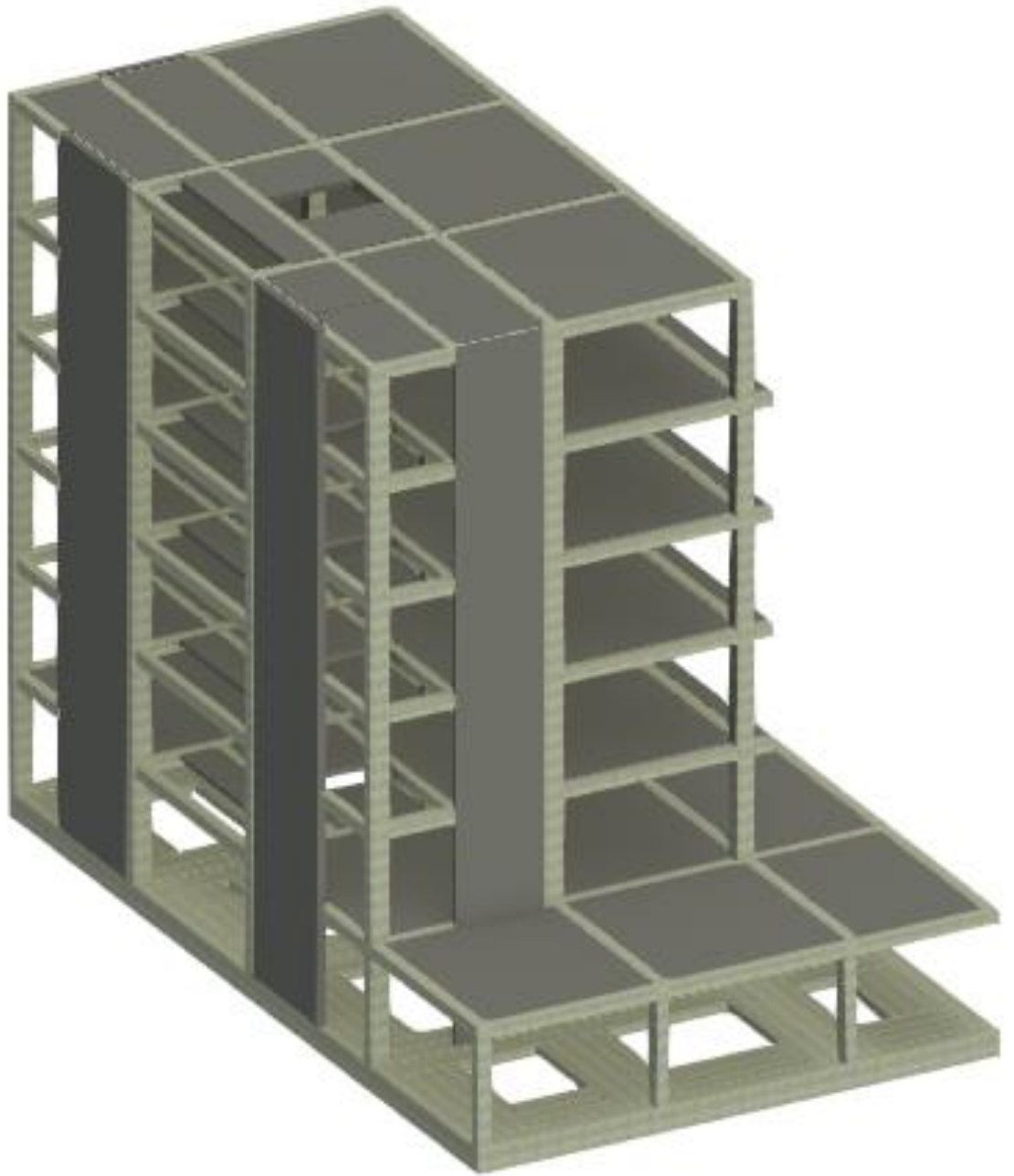


Proyecto 3

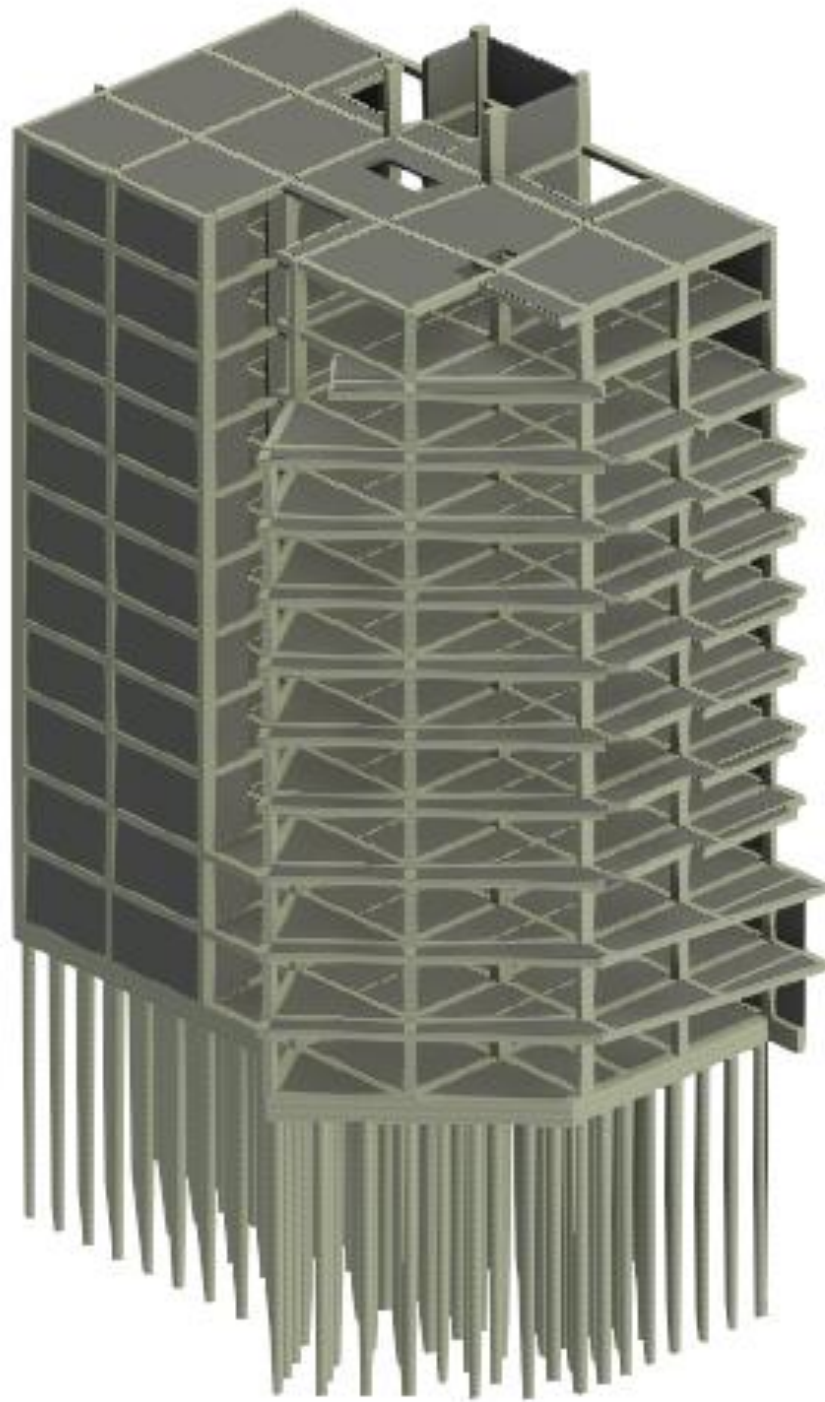


Proyecto 4



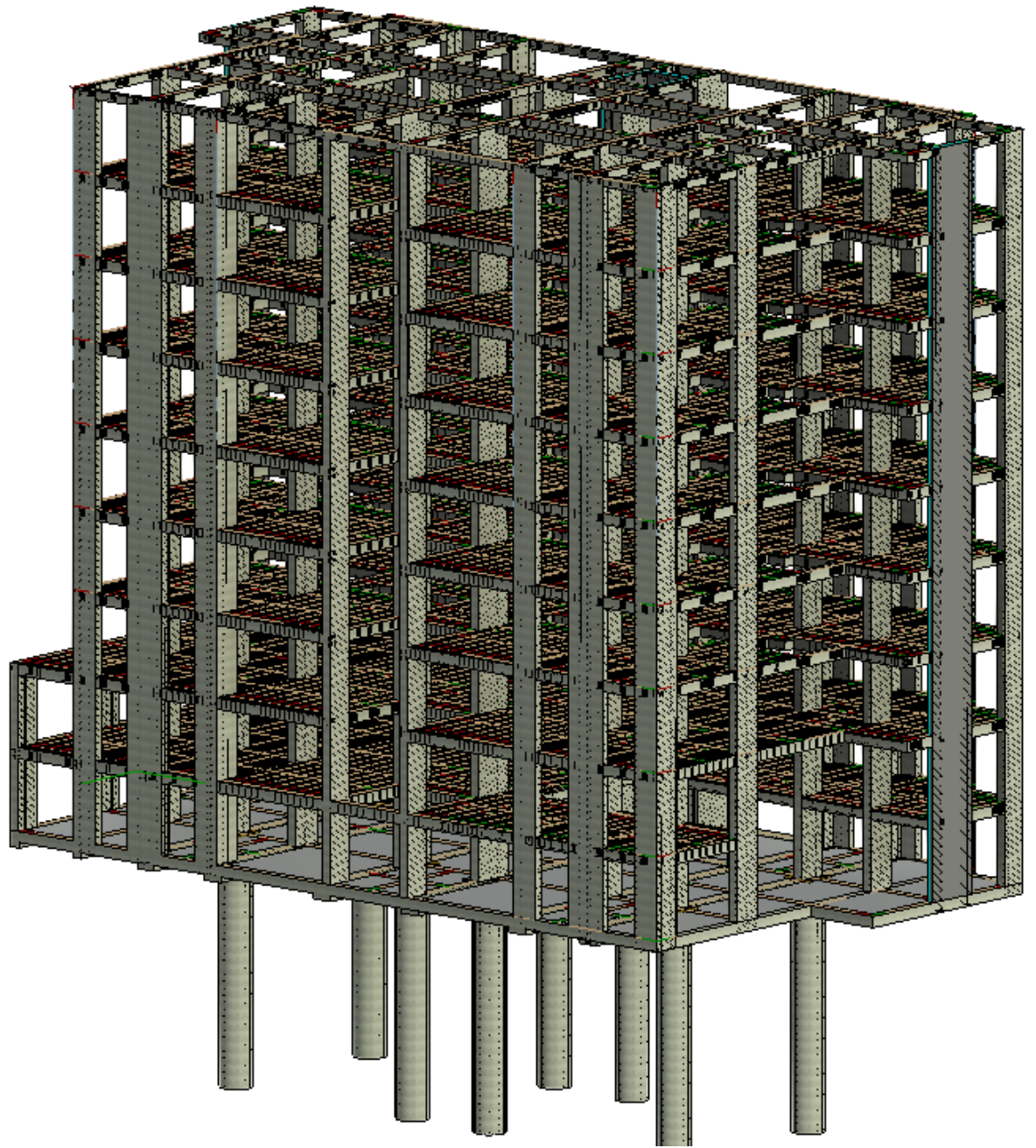


Proyecto 5



Proyecto 6





Proyecto 7