

Estudio Comparativo de un Edificio de 10 Niveles para Uso de Oficinas en la Ciudad de Bucaramanga entre el Sistema Estructural de Acero y el Sistema de Concreto Reforzado

Ever Jesús Aguillón Jaimés

Jerson Ardila Villarreal

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

DIRECTOR

Miguel Antonio Peralta Hernández

Ingeniero Civil Msc.

Docente Catedra - Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico - Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2017

*Agradecimientos:*

*Especialmente a nuestros queridos padres y hermanos*

*a nuestros familiares,*

*a los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil,*

*a todos aquellos compañeros y amigos.*

*Un agradecimiento especial a Belkis Ximena Toloza*

*y a nuestro estimado Director de Proyecto: Miguel Antonio Peralta.*

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	21
1. Objetivos .....	23
1.1 Objetivo General .....	23
1.2 Objetivos Específicos.....	23
2. Metodología .....	25
3. Estado del Arte: Concreto Reforzado Vs Acero Estructural.....	26
3.1 ¿Qué es el Concreto Reforzado? .....	26
3.2 Características del Concreto Reforzado .....	26
3.3 ¿Qué es el Acero Estructural? .....	29
3.4 Características de las Estructuras en Acero.....	30
3.5 Desventajas del Acero Estructural .....	32
3.6 Acero v/s Concreto.....	34
4. Características, Ventajas y Desventajas de Estructuras de Concreto Reforzado y Acero Estructural para Edificaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga. ....	41
5. Análisis y Diseño Estructural de un Edificio de 10 Niveles Ubicado en la Ciudad de Bucaramanga, para Uso de Oficinas.....	45
5.1 Parámetros Generales del Proyecto.....	45
5.2 Ubicación .....	45
5.3 Uso de la Edificación .....	45

5.4	Parámetros Técnicos de la Edificación .....	45
5.5	Análisis Sísmico.....	47
5.5.1	Análisis de Cargas Sobre Impuestas (NSR-10 B).....	47
5.5.2	Cargas Muertas.....	47
5.5.3	Cargas Vivas. ....	48
5.6	Pre – Dimensionamiento .....	48
5.6.1	Dimensionamiento de la Placa. ....	48
5.6.2	Espesor Mínimo de Placa. ....	49
5.6.3	Ancho de Nervios.....	50
5.6.4	Riostras.....	50
5.6.5	Torta Superior. ....	51
5.6.6	Cargas Muertas.....	51
5.7	Aspectos Generales del Diseño Sismo Resistente NSR-10 .....	57
5.7.1	Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de Diseño.....	57
5.7.2	Coeficiente de Amplificación $F_a$ y $F_v$ . ....	57
5.7.3	Clasificación de Grupo de Uso. ....	59
5.7.4	Coeficiente de Importancia. ....	59
5.7.5	Espectro de Diseño.....	59
5.8	Software de Análisis y Diseño Estructural.....	62
5.9	Método del Análisis Dinámico (NSR 10 A.5) .....	63

5.9.1	Metodología del Análisis (NSR A.5.4.1).....	63
5.10	Método de la Fuerza Horizontal Equivalente.....	68
5.10.1	Período Fundamental de la Edificación. ....	68
5.10.2	Fuerzas Sísmicas Horizontales Equivalentes (NSR10 A.4.3).....	69
5.10.3	Evaluación de la Deriva Máxima (NSR10 a.6.3).....	72
5.11	Diseño de Elementos de Resistencia Sísmica .....	73
5.11.1	Combinaciones de Carga Utilizadas en el Diseño y Fuerzas Sísmicas.....	73
5.11.2	Combinaciones Básicas de Carga. ....	74
5.11.3	Uso del Coeficiente de Sobre Resistencia.....	75
5.12	Diseño de Vigas .....	76
5.12.1	Refuerzo Longitudinal.....	76
5.12.2	Refuerzo Transversal.....	78
5.12.3	Requisitos de Resistencia a Cortante. ....	79
5.13	Diseño de Columnas.....	80
5.13.1	Resistencia Mínima a Flexión de Columnas .....	80
5.13.2	Refuerzo Longitudinal.....	80
5.13.3	Refuerzo Transversal.....	80
5.13.4	Requisitos de Resistencia a Cortante .....	83
5.14	Diseño de Muros .....	84
5.14.1	Refuerzo. ....	84

5.14.2	Fuerzas de Diseño. ....	85
5.14.3	Resistencia al Cortante. ....	85
5.15	Diseño Elementos Acero. ....	86
5.16	Diseño de Zapatas. ....	86
5.16.1	Cargas y Reacciones. ....	86
5.16.2	Momentos en Zapatas. ....	87
5.16.3	Cortante en Zapatas. ....	88
5.16.4	Altura Mínima de las Zapatas. ....	89
5.16.5	Transmisión de Fuerzas en la Base de Columnas, Muros o Pedestales Reforzados. ....	89
6.	Comparación entre las Características de Comportamiento Estructural, Peso de la Estructura y Consumo de Material. ....	90
7.	Factibilidad de Construcción de una Edificación de 10 Pisos en Acero Estructural en la Ciudad de Bucaramanga. ....	98
7.1	Situación del Acero a Nivel Mundial. ....	98
7.2	Situación del Acero a Nivel Latinoamericano y la Participación de Colombia. ....	101
7.3	Situación del Acero a Nivel Nacional. ....	109
7.4	Situación del Acero a Nivel Local. ....	114
7.5	Costos de Materiales y Tiempo Aproximado de Construcción de una Edificación de 10 Pisos en Acero Estructural en la Ciudad de Bucaramanga. ....	121
8.	Conclusiones. ....	124

Referencias..... 126

### Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación de Características Técnicas - Concreto Reforzado Vs Acero Estructural	35
Tabla 2. Comparación de Aspectos Financieros - Concreto Reforzado o Hormigón Armado Vs Acero Estructural. ....	36
Tabla 3. Resumen Comparativo - Acero Vs Concreto. ....	39
Tabla 4. Valores Mínimos Alternativos de Carga Muerta de Elementos no Estructurales .....	47
Tabla 5. Cargas Vivas Mínimas Uniformemente Distribuidas.....	48
Tabla 6. Alturas o Espesores Mínimos Recomendados para Vigas no Pre-esforzadas o Losas Reforzadas.....	48
Tabla 7. Masas de Materiales.....	51
Tabla 8. Resumen Análisis de Cargas Sobreimpuestas. ....	53
Tabla 9. Requisitos Geométricos para las Columnas.....	55
Tabla 10. Coeficientes de Aceleración Pico Efectiva y Velocidad Pico Efectivo.....	57
Tabla 11. Valores del Coeficiente $F_a$ para la Zona de Periodos Cortos del Espectro. ....	57
Tabla 12. Valores del Coeficiente $F_v$ para la Zona de Periodos Cortos del Espectro. ....	58
Tabla 13. Factores de Amplificación Sísmica .....	58
Tabla 14. Coeficiente de Importancia $I$ .....	59
Tabla 15. Resumen de Parámetros del Espectro de Diseño para el Edificio de Diez Niveles.....	60
Tabla 16. Periodo $T_c$ y $T_L$ con su Respectiva Aceleración Espectral.....	61
Tabla 17. Numero de Modos de Vibración Utilizados en el Edificio de Diez Niveles. ....	64

Tabla 18. Cortante Basal Vs ETABS 2016 Ultimate 16.0.2.....	66
Tabla 19. Factores para el Cálculo de la Fuerza Sísmica Horizontal. ....	69
Tabla 20. Método de Cálculo Fuerzas Sísmicas por Entrepiso. ....	70
Tabla 21. Resumen Ajuste de Resultados para el Método de Análisis Modal del Edificio de Diez Niveles. ....	71
Tabla 22. Deriva Máxima como Porcentaje de hpi.....	72
Tabla 23. Cálculo de Derivas Ajustadas y Optimizadas por cada Entrepiso.....	73
Tabla 24. Sistema Estructural Combinado en Concreto Reforzado. ....	73
Tabla 25. Sistema Estructural Combinado en Acero Estructural. ....	74
Tabla 26. Factor de Disipación de Energía de acuerdo al Sistema Estructural Utilizado. ....	74
Tabla 27. Factor de Sobre Resistencia de Acuerdo al Sistema Estructural Utilizado. ....	75
Tabla 28. Resumen de Comparaciones entre Características de las Edificaciones. ....	90
Tabla 29. Presupuesto para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado.....	91
Tabla 30. Presupuesto para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Acero Estructural. ....	92
Tabla 31. Situación Económica Global – Producto Interno Bruto. ....	99
Tabla 32. Producción de Acero Laminado en Latinoamérica.....	102
Tabla 33. Consumo de Acero Laminado en Latinoamérica. ....	103
Tabla 34. Producción de Largos en Latinoamérica. ....	104

Tabla 35. Producción de Planos en Latinoamérica. ....	104
Tabla 36. Producción de Tubos sin Costura en Latinoamérica. ....	105
Tabla 37. Producción de Acero Crudo.....	106
Tabla 38. Producción de Hierro Primario en Latinoamérica. ....	107
Tabla 39. Distribuidoras de Acesco en Santander. ....	116
Tabla 40. Empresas de Construcción y Montaje de Edificaciones en Acero Estructural en la ciudad de Bucaramanga.....	120
Tabla 41. Empresas Diseñadoras de Edificaciones en Acero Estructural en la Ciudad de Bucaramanga.....	121

**Lista de Figuras**

Figura 1. Metodología Planteada en el Trabajo de Investigación.....	25
Figura 2. Tipo de Uso de los 100 Edificios más Altos del Mundo.....	39
Figura 3. Material Estructural Usado en los 100 Edificios más Altos del Mundo. ....	40
Figura 4. Perfil Lateral del Edificio de 10 Niveles. ....	46
Figura 5. Planta Entrepiso Tipo para el Edificio de Diez Niveles.....	46
Figura 6. Dimensiones de Losa Nervada en Una Dirección.....	53
Figura 7. Geometría de Vigas para Pórticos Dúctiles de Concreto Reforzado.....	55
Figura 8. Requisitos Geométricos para las Columnas. ....	56
Figura 9. Muros de Cortante.....	56
Figura 10. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como Fracción de g. ....	60
Figura 11. Espectro Elástico de Aceleraciones Edificio de 10 Niveles.....	61
Figura 12. Asignación del Espectro Elástico. ....	62
Figura 13. Patrones del Espectro Elástico.....	62
Figura 14. Datos de Entrada Número de Modos de Vibración.....	65
Figura 15. Datos de Entrada Número de Modos de Vibración.....	65
Figura 16. Comportamiento de una Estructura Aporticada ante Cargas Monotónicas.....	69
Figura 17. Derivas de Entrepiso.....	72
Figura 18. Recubrimiento y Separación del Refuerzo Longitudinal en Vigas. ....	77
Figura 19. Envoltorio de Momentos para Vigas - Pórticos Dúctiles de Concreto Reforzado.....	77

Figura 20. Zonas Confinadas y Traslapos en Vigas - Pórticos Resistentes a Momento DES. ....	78
Figura 21. Estribos de Confinamiento. ....	79
Figura 22. Zonas de Taslapos y Separación del Refuerzo Longitudinal en Columnas DES.....	80
Figura 23. Estribos de Confinamiento con Ganchos Sísmicos. ....	81
Figura 24. Ejemplo de Confinamiento Empleando Estribos. ....	82
Figura 25. Requisitos del Refuerzo Transversal para Columnas Rectangulares DES.....	84
Figura 26. Ejemplo de Distribución de Refuerzo Muro a Cortante. ....	85
Figura 27. Tipos de Zapatas.....	86
Figura 28. Deformación de la Zapata. ....	87
Figura 29. Diseño de Zapatas por Cortante. ....	89
Figura 30 Programación de Obra para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado. ....	94
Figura 31. Programación de Obra para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Acero Estructural. ....	95
Figura 32. Curva “S” – Construcción de un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado.....	96
Figura 33. Curva “S” – Construcción de un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Acero Estructural. ....	96
Figura 34. Curva “S” – Construcción de un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado y Acero Estructural.....	97
Figura 35. Situación Económica Global 2016. ....	98

Figura 36. Evolución Reciente de la Producción Mundial de Acero.....	99
Figura 37. Ranking mundial de las principales empresas de acero según volumen de ingresos 2015 .....	100
Figura 38. América Latina: Comportamiento de Comercio Siderúrgico – Abril 2016 a Abr 2017. .....	108
Figura 39. Distribución de Regionales para el Instituto Colombiano de la Construcción con Acero. .....	110
Figura 40. Conformación Actual de Socios del Instituto Colombiano de la Construcción con Acero. .....	111
Figura 41. Ubicación de las Cinco Siderúrgicas del País. ....	112
Figura 42. Principales Transformadores de Planos, Productores de Perfiles, Tubos y Fabricantes de Estructuras Metálicas. ....	113
Figura 43. Principales Comercializadores de Acero del País por Regiones. ....	114
Figura 44. Proyecciones y Estadísticas de Importaciones y Exportaciones de Acero para Colombia. .....	114
Figura 45. Ranking de Empresas Importadoras de Acero y Principales Puertos de Importaciones. .....	115
Figura 46. Ferrasa en Bucaramanga.....	116
Figura 47. Ubicación de Empresa Gerdau - Diaco en el Área Metropolitana de Bucaramanga.	117
Figura 48. Ubicación de Empresa G&J en el Área Metropolitana de Bucaramanga. ....	118
Figura 49. Sucursales en el País de la Empresa Colmena.....	118

Figura 50. Ubicación de Empresa Steckerl en el Área Metropolitana de Bucaramanga. .... 119

Figura 51. Ubicación de Empresa Agofer en el Área Metropolitana de Bucaramanga..... 119

### **Lista de Apéndices**

(Ver en la Carpeta Adjunto al CD)

Apéndice A. Análisis de Precios Unitarios.

Apéndice B. Análisis de Cargas.

Apéndice C. Análisis Fuerza Horizontal Equivalente.

Apéndice D. Ajuste Factor de Escala Análisis Modal.

Apéndice E. Ajuste de Derivas.

Apéndice F. Hojas de Cálculo de Diseño a Flexion de Viguetas y Vigas.

Apéndice G. Hojas de Cálculo de Diseño de Columnas.

Apéndice H. Hojas de Cálculo de Diseño de Muros.

Apéndice I. Hojas de Cálculo de Diseño de Zapatas.

Apéndice J. Cantidades Concreto Estructural.

Apéndice K. Cantidades Acero Longitudinal de Columnas.

Apéndice L. Cantidades Acero Transverzal de Columnas.

Apéndice M. Cantidades Acero Longitudinal de Vigas.

Apéndice N. Cantidades Acero Transverzal de Vigas.

Apéndice O. Modelo de Análisis y Diseño Concreto Reforzado.

Apéndice P. Modelo de Análisis y Diseño Acero Estructural.

Apéndice Q. Modelo para el Cálculo de Cantidades.

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO COMPARATIVO DE UN EDIFICIO DE 10 NIVELES PARA USO DE OFICINAS EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA ENTRE EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE ACERO Y EL SISTEMA DE CONCRETO REFORZADO \*

**AUTORES:** EVER JESÚS AGUILLÓN JAIMÉS \*\*  
JERSON ARDILA VILLARREAL \*\*

**PALABRAS CLAVE:** INGENIERÍA CIVIL, EDIFICACIONES, SISTEMAS CONSTRUCTIVOS, ESTUDIO COMPARATIVO, EFICIENCIA, ACERO ESTRUCTURAL, CONCRETO REFORZADO, CONSTRUCCIÓN EN BUCARAMANGA.

### DESCRIPCIÓN:

El fin de un proyecto de ingeniería es buscar la mayor eficiencia, en cuanto a suministro y distribución de materiales, mano de obra, costos, tiempo de construcción, entre otros, los cuales obligan a considerar los diferentes sistemas de construcción; para este caso de estudio un sistema estructural en concreto reforzado para un edificio de 10 niveles de uso de oficinas y su contraparte con un edificio en estructura en acero que cumpla con los mismos requerimientos de diseño y uso.

Este trabajo presenta un estudio comparativo a partir de un estado del arte, una consulta de opinión para identificar los conocimientos que se tiene a cerca de las ventajas y desventajas de construir edificaciones tanto en acero como en concreto reforzado, un análisis y comparación técnico - financiera entre estos dos sistemas mencionados, una descripción de la situación local respecto a la situación del acero dentro del área metropolitana de Bucaramanga y por último conclusiones del trabajo de investigación.

Lo anterior con el objetivo de establecer condiciones favorables o desfavorables en la construcción de edificios, especialmente en el área metropolitana de Bucaramanga e igualmente sirva como base para futuros proyectos de investigación que establezcan criterios más detallados sobre dichos sistemas.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández, Ingeniero Civil Msc.

**ABSTRACT**

**TITLE:** COMPARATIVE STUDY BETWEEN STRUCTURAL STEEL AND REINFORCED CONCRETE SYSTEMS IN A TEN LEVELS OFFICE BUILDING IN BUCARAMANGA CITY \*

**AUTORES:** EVER JESÚS AGUILLÓN JAIMÉS \*\*  
JERSON ARDILA VILLARREAL \*\*

**PALABRAS CLAVE:** CIVIL ENGINEERING, BUILDINGS, CONSTRUCTION SYSTEMS, COMPARATIVE STUDY, EFFICIENCY, STRUCTURAL STEEL, REINFORCED CONCRETE, CONSTRUCTION IN BUCARAMANGA.

**DESCRIPTION:**

The aim of an engineering project is to seek the highest efficiency, in terms of supply and distribution of materials, labor, costs, construction time, among others, which requires consideration of different construction systems; for this case study, a reinforced concrete structural system for a building of 10 levels of office use and its counterpart with a building in steel structure that meets the same requirements of design and use.

This work presents a comparative study based on a state of the art, an opinion consultation to identify the knowledge about the advantages and disadvantages of building buildings in both steel and reinforced concrete, a technical - financial analysis and comparison between these two systems, a description of the local situation regarding the steel state within the Bucaramanga metropolitan area and finally conclusions of the research work.

The above is made with the aim of establishing favorable or unfavorable conditions in the construction of buildings, especially in the metropolitan area of Bucaramanga, and also serve as a basis for future research projects that establish more detailed criteria on such systems.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández, Ingeniero Civil Msc.

## **Introducción**

De acuerdo con la ANDI, la construcción es una de las actividades con más auge e importancia económica para el país, por lo cual día a día se estudia el impacto de cada uno de sus procesos y la forma por la cual se aprovecharan de mejor manera los recursos, se economice tiempo y se disminuyan los costos. En respuesta a lo anterior, desde hace unas décadas en el mundo se ha venido utilizando distintos tipos de materiales destinados a la fabricación de edificaciones que sirven como vivienda, centros de trabajo, bodegas, centros de entretenimiento entre otros, entre los cuales se destacan el acero estructural y el concreto reforzado.

Particularmente, la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana y en concordancia con el POT de segunda generación (2013-2027), en la actualidad muestran un crecimiento de sus construcciones a un ritmo acelerado como respuesta a la creciente población y a la oferta laboral concentrada en la capital del departamento, siendo esta una de las razones que demanda la construcción de edificaciones enfocadas al uso de oficinas para promover el desarrollo de la región en términos de crecimiento económico para la zona y de tipo laboral.

Debido a ello y a la necesidad de estudiar alternativas de construcción para optimizar los recursos técnicos y financieros, se hace necesaria una búsqueda constante de metodologías y sistemas constructivos acordes con el avance tecnológico ya que además en nuestro país y específicamente en nuestra ciudad Bucaramanga prevalece el uso del concreto reforzado debido a la falta de conocimiento, investigación y disponibilidad del acero estructural; limitando su uso a cubiertas y estructuras especiales.

En este documento nos concentramos en un estudio comparativo de nivel técnico y financiero, que permita establecer criterios de selección de los materiales y sistemas de construcción: acero estructural y concreto reforzado. Dicho estudio particularizado a un edificio de 10 niveles para uso de oficinas teniendo en cuenta las condiciones y propiedades que presenta nuestra zona metropolitana.

En resumen, el presente trabajo se enfoca en resaltar las características más relevantes del concreto reforzado y del acero estructural, como diseño, costo de material, masa de la edificación, disponibilidad de material y mano de obra, así como la determinación del tiempo de ejecución de la obra, sentando así una base para posteriores estudios e investigaciones que establezcan de manera más específica, las ventajas y desventajas de dichos sistemas de construcción aportando de esta manera al desarrollo y a la optimización de procesos constructivos para edificaciones en nuestra región.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Comparar un edificio de 10 niveles para uso de oficinas en la ciudad de Bucaramanga entre el sistema estructural combinado de concreto reforzado y el sistema de pórticos de acero con diagonales concéntricas PAC-DES.

### 1.2 Objetivos Específicos

- ◆ Identificar dentro del gremio de los diseñadores estructurales y los constructores de edificaciones en el área metropolitana de Bucaramanga mediante una consulta de opinión, cuales son las características, ventajas y desventajas que se presentaría en el diseño y construcción de un edificio de 10 pisos teniendo en cuenta dos alternativas: estructura en concreto reforzado y estructura en acero.
  
- ◆ Analizar y diseñar la estructura de un edificio de 10 niveles ubicado en la ciudad de Bucaramanga, para uso de oficinas, siguiendo dos alternativas (sistema estructural combinado de concreto Vs sistema de pórticos de acero con diagonales concéntricas PAC-DES) cumpliendo con los requisitos citados en la NSR-10.
  
- ◆ Establecer una comparación entre las características de comportamiento estructural, peso de la estructura y consumo de material.

- ◆ Identificar la capacidad industrial y empresarial dentro del área metropolitana de Bucaramanga para el suministro, fabricación, distribución y montaje, costos de materiales y tiempo aproximado de construcción de una edificación de 10 pisos en acero estructural.
  
- ◆ Desvirtuar o confirmar cada una de las características, ventajas y desventajas detectadas en la consulta de opinión dirigida a personas y empresas con amplia experiencia en sector de diseño y construcción de edificaciones en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.

## 2. Metodología

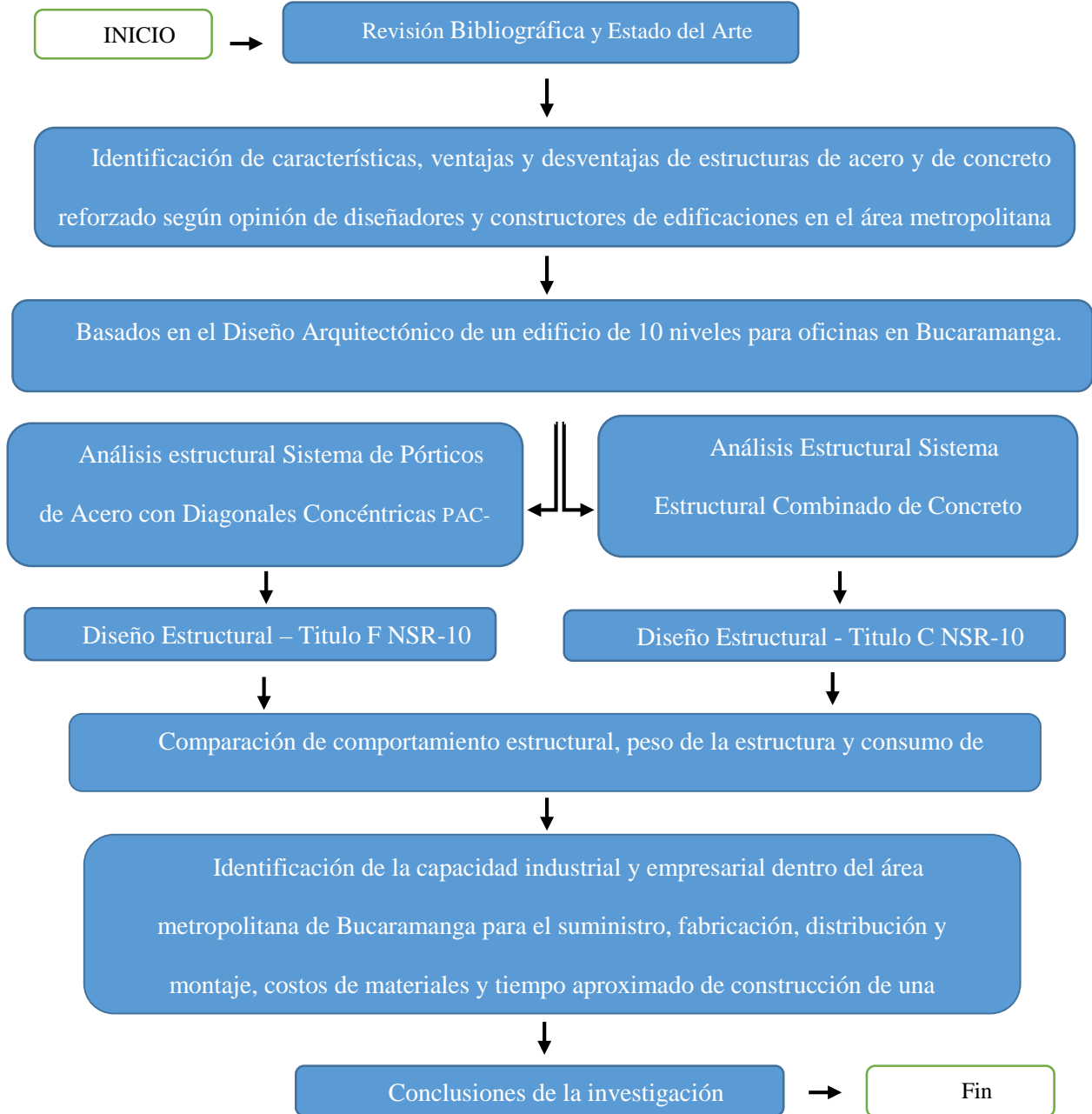


Figura 1. Metodología Planteada en el Trabajo de Investigación.

### 3. Estado del Arte: Concreto Reforzado Vs Acero Estructural

#### 3.1 ¿Qué es el Concreto Reforzado?

El concreto reforzado es la combinación de concreto simple y acero de refuerzo; lo también permite combinar muchas de las ventajas de cada uno: el costo relativamente bajo, la buena resistencia al clima y al fuego, la buena resistencia a la compresión y la excelente capacidad de moldeado del concreto con la alta resistencia a la tensión y la aún mayor ductilidad y tenacidad del acero. Es precisamente esta combinación la que permite el casi ilimitado rango de usos y posibilidades del concreto reforzado en la construcción de edificios, puentes, presas, tanques, depósitos y muchas otras estructuras. (Nilson, 1999)

#### 3.2 Características del Concreto Reforzado

Sin duda alguna el concreto reforzado es el material estructural más utilizado y tal como se puede apreciar en el *Manual de Diseño de Estructuras Para Arquitectura* esto se debe principalmente a:

- Alta resistencia a compresión aportada por el concreto
- Alta resistencia en tensión y ductilidad aportada por el acero de refuerzo
- Maleabilidad del concreto
- Durabilidad
- Resistencia al fuego
- Facilidad con que puede lograrse la continuidad en la estructura, con todas las ventajas que esto supone; el monolitismo es consecuencia natural de las características de construcción.

- Otra característica peculiar de las estructuras de concreto reforzado es el agrietamiento, que debe tenerse en cuenta al estudiar su comportamiento bajo condiciones de servicio. (González Cuevas, 2005)

Son muchas más las ventajas del concreto reforzado como material estructural, por ejemplo, a continuación se presentan algunas de ellas:

- Tiene una larga vida de servicio. Esto puede explicarse por el hecho de que la resistencia del concreto no disminuye con el tiempo, sino que en realidad aumenta con los años debido al largo proceso de solidificación de la pasta de cemento.
- La conservación del acero en el concreto. La corrosión o la oxidación representa un problema para el acero y el hierro en general. Los productos anticorrosivos, tienen una eficiencia muy relativa. Se sabe que el contacto de la pasta de cemento detiene la oxidación y es capaz de evitarla a futuro, mientras mantenga la debida aislación de las barras de la humedad - ambiente.
- El concreto reforzado tiene gran resistencia al fuego y al agua, y de hecho es el mejor material estructural que existe para los casos en que el agua se halle presente.
- Es prácticamente el único material económico disponible para zapatas, sótanos, muelles y construcciones similares.
- Se requiere mano de obra de baja calificación para su montaje, en comparación con otros materiales, como el acero estructural.
- Requiere de poco mantenimiento.
- Aprovecha para su elaboración la existencia de materiales locales baratos. (Características de los Materiales: Concreto Reforzado, 2008)

Como todo material de construcción, el concreto reforzado también tiene sus debilidades:

- Dimensiones y secciones robustas.
- Peso volumétrico relativamente alto.
- Elevados requerimientos para cimentaciones.
- Falla dúctil, cuando la falla está regida por estados límite como cortante, torsión, adherencia y carga axial de compresión.
- El concreto está sujeto a deformaciones importantes por contracción y flujo plástico que hacen que sus propiedades de rigidez varíen con el tiempo.
- Se deben tomar precauciones en la estructuración y el dimensionamiento para evitar que se presenten flechas excesivas o agrietamientos por cambios volumétricos. (Características de los Materiales: Concreto Reforzado, 2008).

Otras desventajas del concreto reforzado según el documento *Características de los Materiales:*

*Concreto Reforzado.*

- El concreto tiene una resistencia muy baja a la tensión, por lo que requiere la ayuda del acero de refuerzo.
- Se requieren formaletas para mantener el concreto en posición hasta que endurezca lo suficientemente.
- Su ejecución puede resultar lenta en comparación con el acero, que se arma con gran rapidez en terreno, debido a los tiempos de fraguado.
- Materiales no recuperables durante un desmontaje y/o demolición.
- La baja resistencia por unidad de peso de concreto conduce a miembros pesados. Esto se vuelve muy importante en estructuras de grandes luces, donde el peso muerto del concreto tiene un fuerte efecto en los momentos de flexión.

- Requiere de un permanente control de calidad, pues esta se ve afectada por las operaciones de mezcla, colocación, curado, etc.
- Las propiedades del concreto varían ampliamente debido a las variaciones en su dosificación y mezclado.
- El colado y el curado del concreto no son tan cuidadosamente controlados como la producción de otros materiales. (Manual de Diseño de Estructuras Para Arquitectura, 2009)

### 3.3 ¿Qué es el Acero Estructural?

El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado. (...). El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos, mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia.

Existen muchos tipos de acero según los elementos aleantes que estén presentes. Cada tipo de acero permitirá diferentes aplicaciones y usos, lo que lo hace un material versátil y muy difundido en la vida moderna, donde podemos encontrarlo ampliamente.

Los dos componentes principales del acero se encuentran en abundancia en la naturaleza. El acero se puede reciclar indefinidamente sin perder sus atributos, lo que favorece su producción a gran escala. Esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, aeronáutica, industria automotriz, instrumental médico, etc... contribuyendo al desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas, pues ningún material logra igualarlo cuando se trata de resistencia al impacto o la fatiga. (Alacero, 2016).

### 3.4 Características de las Estructuras en Acero

El acero es usado ampliamente en la construcción de obras complementarias a las obras civiles, más aun, el uso del acero estructural, cada día es usado en la construcción de edificaciones debido principalmente a las características o ventajas que menciona (Veléz, 2004) y la cuales se muestran a continuación:

- Menos carga muerta.
- Alternativas de construcción livianas.
- Se pueden producir edificios modulares horizontal y verticalmente.
- Compatible con formas y diversos materiales de construcción.
- Permite la construcción de edificaciones en terrenos con poca capacidad de soporte.
- Menor tiempo de construcción.
- Requiere poco espacio en patio de operaciones.
- Desarrollo de mano de obra calificada.
- Facilidades de construcción en zonas de alta congestión.
- Facilidades para reformar y ampliar, horizontal y verticalmente, inclusive para edificaciones que están en funcionamiento.
- Desde el punto de vista sísmico ofrece la mejor respuesta a este tipo de cargas ocasionales.
- Presenta una menor fisuración por el tráfico derivado del "Metal Deck".
- El clima no afecta severamente las condiciones de montaje.
- Construcción seca.
- Bajo nivel de ruido y polvo durante el proceso constructivo.
- Bajo nivel de escombros y desechos.
- Rapidez en el montaje de la estructura.

- Eliminación de la formaleta de contacto y reducción sustancial de la formaleta de soporte.
- Reducción de la cimentación.
- Disminución de trabajos de manipulación y transporte al interior de la obra.
- Gran flexibilidad como consecuencia de un número limitado de soportes.
- Excelente comportamiento en casos de sismo por la capacidad de absorber y disipar energía.
- Adaptabilidad a los cambios de uso y destinación.
- Fácil desmantelamiento o demolición.

Adicionalmente, en la literatura se pueden encontrar otras ventajas de las características del acero tal y como se aprecia en el *Manual de Diseño de Estructuras para Arquitectura*, las cuales se muestran en el siguiente listado:

- Debido a las características de alta resistencia y rigidez, el acero se utiliza como estructura en edificaciones con condiciones severas de carga y forma, grandes alturas o grandes luces.
- Se requieren pocos puntos de apoyo y se permiten grandes voladizos.
- Máximo aprovechamiento del área.
- Reducido peso de la estructura en relación con su capacidad de carga.
- Tiempo reducido de ejecución al utilizar elementos prefabricados.
- Generalmente las obras de acero son la mejor opción ante altas dificultades de ejecución.
- Facilidad de montaje.
- Su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace más fácilmente predecible la respuesta de las estructuras de este material.
- La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos. Las extraordinarias cualidades estructurales del acero, y especialmente su alta resistencia en tensión, han sido aprovechadas estructuralmente en una gran variedad de elementos y

materiales compuestos, primero entre ellos el concreto reforzado y el pre-esforzado; además en combinación con madera, plásticos, mampostería y otros.

- Puede fabricarse en secciones con la forma más adecuada para resistir la flexión, compresión u otro tipo de sollicitación.
- Las resistencias en compresión y tensión son prácticamente idénticas y pueden hacerse variar dentro de un intervalo bastante amplio modificando la composición química o mediante trabajo en frío.
- Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero tienen generalmente poca variabilidad. (Manual de Diseño de Estructuras Para Arquitectura, 2009)

Cuando los arquitectos, constructores e ingenieros desean construir sustentablemente, el acero es el material ideal.

Mucho del interés creciente por materiales reciclables en construcción derivan de las exigencias por erigir edificios que satisfagan el sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design); El acero como material constructivo es muy adecuado a la hora de satisfacer las demandas “verdes” de arquitectos, constructores e ingenieros. Los beneficios sustentables del acero incluyen su durabilidad y su reciclabilidad. (Alacero, 2016)

### **3.5 Desventajas del Acero Estructural**

Como todo material utilizado en la industria de la construcción, el acero también tiene sus debilidades, por ejemplo:

- La continuidad entre los distintos componentes de la estructura no es tan fácil de lograr como en el concreto reforzado, y el diseño de las juntas, soldadas o atornilladas en la

actualidad, requiere de especial cuidado para que sean capaces de transmitir las solicitaciones que implica su funcionamiento estructural.

- Hay que tomar en cuenta que a medida que se incrementa la resistencia del acero se reduce su ductilidad y que al aumentar la resistencia no varía el módulo de elasticidad, por lo que se vuelven más críticos los problemas de pandeo local de las secciones y global de los elementos.
- La posibilidad de ser atacado por la corrosión hace que el acero requiera protección y cierto mantenimiento en condiciones ambientales. El costo y los problemas que se originan por este aspecto son suficientemente importantes para que inclinen la balanza hacia el uso de concreto reforzado en algunas estructuras que deben quedar expuestas a la intemperie, como puentes y ciertas obras marítimas, aunque en acero podría lograrse una estructura más ligera y de menor costo inicial. (Manual de Diseño de Estructuras Para Arquitectura, 2009)

Otras desventajas atribuidas al acero estructural son:

- Alto costo inicial
- Alto costo para protección contra el fuego: Aunque algunos de los miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen significativamente durante los incendios.
- Susceptibilidad al pandeo: Entre los miembros a compresión sean más largos y esbeltos, mayor es la posibilidad de pandeo. Aunque el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, al utilizarse como columnas no resulta demasiado económico, porque debe usarse bastante material. (Montoya Bautista, 2014, pág. 33)
- Los ruidos en el edificio en funcionamiento se transmiten con facilidad de unos espacios a otros.
- Necesidad de mano de obra especializada

- Uso de equipo pesado y costoso para el montaje.
- Control de calidad bastante riguroso. (Manual de Diseño de Estructuras Para Arquitectura, 2009)

### **3.6 Acero v/s Concreto**

Como ya se han mencionado anteriormente las principales ventajas y desventajas de los dos materiales de construcción más utilizados en el mundo, es hora de plantear una comparación directa entre diferentes aspectos y características que se presentan en ellos. Esto es “un factor determinante al momento de tomar una decisión respecto a cuál tipo de estructura utilizar en un proyecto” (Montoya Bautista, 2014, pág. 33), adicionalmente hace parte del estudio previo para lograr optimizar recursos naturales y económicos teniendo en cuenta la funcionalidad, seguridad, estética y economía.

Siendo esta última la razón principal, ya que a medida que pasa el tiempo, se han requerido de menores tiempos de construcción, mayores facilidades de montaje, mejores materiales a precios razonables y menores costos en la mano de obra; debido a que las anteriores características pueden generar impacto financiero alto en el costo total de las obras. (Rojas López & Arenas Giraldo, 2008).

Tal y como se mencionó anteriormente, a continuación se muestra en las siguientes tablas la comparación de algunas características técnicas y financieras entre el concreto reforzado y el acero estructural porque “existen ocasiones en que un material permite soluciones que con el otro serían imposibles; La mayoría de las veces se debe evaluar alternativas para determinar la mejor solución”. (Lagos C., 2017).

Tabla 1. *Comparación de Características Técnicas - Concreto Reforzado Vs Acero Estructural*

CONCRETO REFORZADO	ACERO ESTRUCTURAL
◆ Material monolítico producido con material de cantera.	◆ Material producido industrialmente bajo explotación en minas.
◆ Se fabrica en obra.	◆ Se obtienen perfiles normalizados.
◆ El control de calidad se debe hacer en obra. Depende de la calidad del material y de la habilidad de los operarios. Se requiere ensayos para certificar calidad.	◆ El control de calidad de la materia prima se efectúa en taller. La certificación de origen satisface los requerimientos del interventor.
◆ El resultado es una construcción maciza. La simulación de la acción estructural es incierta.	◆ La forma es un esqueleto. La acción estructural se aproxima a las idealizaciones lineales.
◆ Las piezas son robustas.	◆ Las piezas son esbeltas.
◆ No hay limitaciones en cuanto a formas y tamaños que se pueden obtener.	◆ Las formas y tamaños (longitud) están sujetos a los medios de transporte.
◆ Al aumentar la exigencia se aumenta el tamaño o la calidad de los materiales.	◆ Al aumentar la exigencia se puede controlar la respuesta mediante variación en la proporción general.
◆ Los asentamientos diferenciales son perjudiciales.	◆ Es menos sensible a los asentamientos diferenciales.
◆ La acción sísmica es de cuidado debido a su rigidez y a la fragilidad del material.	◆ Tolera la acción sísmica en forma más adecuada debido a su flexibilidad.

Adaptada de: Análisis de una Edificación en Acero Estructural y Concreto Reforzado para Establecer una Comparación Técnica y Presupuestal con Base en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo-Resistente (NSR-10) (Montoya Bautista, 2014, págs. 33-34)

- |   |   |
|---|---|
| ◆ La conducta del comportamiento es más desconocida y su respuesta es aleatoria.            | ◆ Se conoce mejor la conducta y es más conocido el comportamiento.  |
| ◆ Una falla de estabilidad puede llevar al colapso.   | ◆ Una falla de estabilidad puede llevar a deformación permanente.   |
| ◆ La disponibilidad generalizada de materia prima lo hace fácil de usar en cualquier lugar. | ◆ El uso de algunos elementos puede tener algunas limitaciones.   |
| ◆ La conducta en tracción es deficiente. Debe usarse acero de refuerzo para mejorarla.      | ◆ La capacidad bruta en todos los estados de tensión es equivalente. Debe controlarse la esbeltez para la compresión. |
| ◆ El ajuste de la estructura en condición de falla es impredecible.                         | ◆ La estructura es propicia a redistribuir cargas en condición de falla.  |
| ◆ No influye por separado la resistencia en las uniones.                                    | ◆ La resistencia en las uniones afecta la capacidad general.  |
| ◆ La reducción de capacidad por esbeltez es moderada.                                       | ◆ La reducción de capacidad por esbeltez es apreciable.   |
| ◆ El límite de resistencia puede estar entre 200 y 400 MPa.                                 | ◆ El límite de resistencia puede estar entre 200 y 600 MPa.   |
| ◆ Presenta niveles de desperdicio altos.  | ◆ Sus niveles de desperdicio son relativamente bajos.   |

Tabla 2. *Comparación de Aspectos Financieros - Concreto Reforzado o Hormigón Armado Vs Acero Estructural.*

CONCRETO REFORZADO	ACERO ESTRUCTURAL
-----------------------	-------------------

- 
- ◆ El costo en la mano de obra no está relacionada con especialización, es decir, la mano de obra es no calificada.
  - ◆ La mano de obra calificada es ofrecida en el mercado laboral generalmente.
  - ◆ Con relación al efecto del ambiente, es casi invulnerable, solamente lo afectan algunos medios ácidos.
  - ◆ El mercado ofrece el comportamiento y el uso de los materiales con frecuencia, incluso asesoría gratuita para su uso.
  - ◆ El costo del material utilizado, es el resultado de la interacción de insumos ofrecidos en el mercado en abundancia.
  - ◆ Los costos de inversión al inicio de la ejecución son determinantes en la obra.
  - ◆ La disponibilidad de material no es limitante del uso.
  - ◆ El costo del transporte es negociable por ser de libre oferta.
  - ◆ El costo asociado con mano de obra está relacionado con la especialización, es decir, debe ser personal formado técnicamente.
  - ◆ La mano de obra por ser especializada es necesario buscarla.
  - ◆ El material utilizado es muy susceptible al efecto del ambiente.
  - ◆ Es escaso el ofrecimiento de materiales para su uso y las asesorías para la implementación son un poco costosas.
  - ◆ El costo del material es producto del mercado externo controlado por oferta y demanda ajena.
  - ◆ Los costos de inversión y los costos operacionales ayudan a tomar la decisión.
  - ◆ La disponibilidad de material limita la posibilidad de uso.
  - ◆ Es necesario transporte especializado por su carácter técnico de diseño.
-

- 
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ La tasa de interés de oportunidad es relativamente moderada por estar asociada a bajo riesgo.</li> <li>◆ En economías de escala es de fácil utilización para disminuir costos.</li> <li>◆ La calidad del material impone relaciones altas entre longitudes de las piezas y su sección transversal.</li> <li>◆ El tiempo es más largo en la construcción por ser futuro de varias etapas.</li> <li>◆ Aumenta costos en mano de obra por requerir más tiempo.</li> <li>◆ Los costos en el ahorro de diseño es muy común.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ La tasa de interés de oportunidad es relativamente alta por estar asociada al riesgo por su exclusividad.</li> <li>◆ No disminuye costos relativamente en economías de escala pero incrementa el rendimiento.</li> <li>◆ La mejor calidad permite obtener menores relaciones entre longitud y la sección.</li> <li>◆ El tiempo es menor por su fácil aplicación en la obra.</li> <li>◆ Los costos en mano de obra con relación al tiempo son menores.</li> <li>◆ No se pueden ahorrar costos en el diseño.</li> </ul> |
|--|--|

---

Adaptada del artículo: Comparación Técnico - Financiera del Acero Estructural y el Hormigón Armado. (Rojas López & Arenas Giraldo, 2008).

Aunque en ocasiones, solo necesitamos observar cual es el sistema estructural más aceptado entre los arquitectos, constructores e ingenieros, por tal motivo se muestra el siguiente resumen comparativo.

Tabla 3. Resumen Comparativo - Acero Vs Concreto.

Item	Acero	Conc.
• Peso / Resistencia	✓	
• Resistencia al fuego		✓
• Deform. largo plazo	✓	
• Masa y amortiguamiento		✓
• Provisión		✓
• Montaje		✓
• Sistemas de Piso: Habitac.		✓
• PI. Libre	✓	
• Sistemas Cargas Verticales	✓	
• Sistemas Cargas Laterales		✓
• Flexibilidad de transformación	✓	
• Sustentabilidad	✓	
• <b>Costo Total</b>	?	?

Adaptada de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero (Lagos C., 2017).

También, es interesante conocer las estadísticas actuales a nivel mundial del uso para el cual fueron diseñadas y construidas las edificaciones más altas del mundo, así como la tendencia en la utilización de los materiales de construcción, específicamente: el concreto reforzado y el acero estructural.



Figura 2. Tipo de Uso de los 100 Edificios más Altos del Mundo.

Adaptada de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero (Lagos C., 2017).

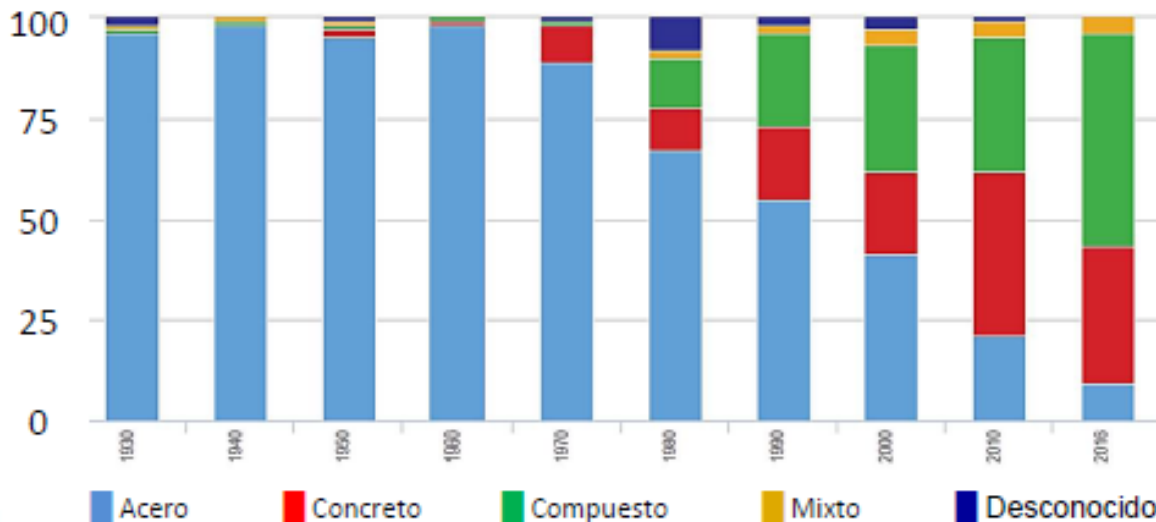


Figura 3. Material Estructural Usado en los 100 Edificios más Altos del Mundo.

Adaptada de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero (Lagos C., 2017).

Observando las anteriores figuras y en concordancia con lo encontrado en la literatura, en la actualidad es ampliamente aceptado por todo el sector de la construcción que: “Ningún material es intrínsecamente mejor que el otro y que cada material tiene sus fortalezas y sus debilidades, por eso la mejor estructura es aquella que aprovecha las fortalezas de cada material y minimiza los efectos de sus debilidades.” (Lagos C., 2017), es decir, que aunque en la actualidad la mayor optimización para la construcción de edificaciones son aquellas conocidas en el medio como: Edificaciones con Estructuras Compuestas, cabe aclarar que no es el objetivo de este trabajo de investigación el estudio de este tipo de estructuras, por ende, se podría decir simplemente que este trabajo de investigación está limitado a la comparación de una estructura de concreto reforzado y una estructura de acero para edificaciones.

#### **4. Características, Ventajas y Desventajas de Estructuras de Concreto Reforzado y Acero Estructural para Edificaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga.**

En coherencia con el objetivo planteado para conocer la opinión de diseñadores estructurales y consultores de edificaciones en el área metropolitana de Bucaramanga, se hace un sondeo de opinión dirigida a personal relacionado con el sector de la consultoría y la construcción de edificaciones, entre ellos algunos ingenieros vinculados con la Sociedad Santandereana de Ingenieros SSI, en el sondeo de opinión realizado se planteó la siguiente situación hipotética: “Un cliente quiere realizar un edificio de oficinas de 10 niveles y está contemplando la idea de construirlo utilizando una estructura en acero debido a las condiciones arquitectónicas”, acorde a esto, la consulta o sondeo de opinión se diseñó con los siguientes interrogantes:

- ◆ ¿Cuál cree que sería la razón por la cual en la ciudad de Bucaramanga, masivamente se construyen edificios con estructura en concreto reforzado y no con estructura de acero?
- ◆ ¿Considera que usted se encuentra técnicamente preparado para realizar el diseño estructural de un edificio en acero?
- ◆ ¿Considera que para una edificación en altura, diseñar una estructura en acero es más complicado que diseñar una de concreto reforzado o viceversa?
- ◆ A la hora de llevar a cabo un proyecto estructural en acero ¿Consideraría más complejo su diseño o construcción?
- ◆ ¿Podría enunciar usted algunas ventajas y desventajas entre las estructuras en acero y las estructuras en concreto reforzado?

Las principales ideas y comentarios de las respuestas obtenidas del sondeo de opinión se listan a continuación:

♦ **¿Cuál cree que sería la razón por la cual en la ciudad de Bucaramanga, masivamente se construyen edificios con estructura en concreto reforzado y no con estructura de acero?**

- La tradición de construir en concreto es fundamental, desde hace mucho tiempo se viene estudiando, diseñando y construyendo en concreto reforzado y la gente del común ha estado satisfecha con los resultados obtenidos.
- La construcción en concreto reforzado es el sistema más conocido y difundido en el medio.
- La facilidad de conseguir materiales y mano de obra con experiencia en la construcción de edificaciones en concreto reforzado.
- El cliente generalmente considera que la rigidez alcanzada con la estructura en concreto reforzado, le genera mayor confianza que las estructuras flexibles presentadas en las estructuras en acero.
- En general, se considera que las estructuras en acero son más costosas que las estructuras de concreto reforzado.

♦ **¿Considera que usted se encuentra técnicamente preparado para realizar el diseño estructural de un edificio en acero?**

- De acuerdo con las respuestas obtenidas, la mayoría de las personas consultadas No están capacitadas para diseñar una edificación con estructura en acero, sin embargo, aquellos que dijeron No, aseguran que si en alguna ocasión un cliente solicita que la construcción se debe hacer en acero estructural, entonces se subcontrataría el diseño a algún experto en el tema o se buscaría la manera de capacitar al personal para llevar a cabo los requerimientos del cliente.
- Algunas de las personas consultadas, manifestaron que aunque no han diseñado y construido edificaciones de altura para vivienda u oficinas, si han llevado a cabo proyectos relacionados

con centros comerciales, cubiertas, naves industriales, coliseos, almacenes, bodegas, puentes metálicos para peatones y cerchas metálicas usadas para cruzar tuberías de servicios públicos en luces de hasta 100 m.

◆ **¿Considera que para una edificación en altura, diseñar una estructura en acero es más complicado que diseñar una de concreto reforzado o viceversa?**

- Casi que por unanimidad, la mayoría considera que es más complicado diseñar una edificación con estructura en acero y una de las razones para que esto se presente es porque desde las mismas universidades que se encuentran en el área metropolitana de Bucaramanga, la enseñanza está dirigida para el diseño de edificaciones en concreto reforzado y poco se enseña el diseño de estructuras metálicas.

◆ **A la hora de llevar a cabo un proyecto estructural en acero ¿Consideraría más complejo su diseño o construcción?**

- En esta pregunta todos los consultados, respondieron que es más fácil llevar a cabo el proceso constructivo que el de diseño, sin embargo, cabe resaltar que además del diseño es necesario contar con todas las especificaciones técnicas, los planos detallados, procedimientos tanto de taller como de montaje, un listado maestro de cada tipo de material y elemento a usar, diseño de conexiones, diseño de juntas soldadas, orientación y ubicación de cada elemento, tipo de acabado, entre otros.

◆ **¿Podría enunciar usted algunas ventajas y desventajas entre las estructuras en acero y las estructuras en concreto reforzado?**

- Según la información recogida en el sondeo, estas son las opiniones más recurrentes:
  - ✓ Ventajas de las estructuras en concreto reforzado
    - Alta resistencia a la compresión

- No necesita mano de obra calificada
  - Facilidad en la consecución de insumos
  - Aporta rigidez a las estructuras
  - Es resistente al fuego y no requiere protección extra contra el fuego.
- ✓ Desventajas de las estructuras de concreto reforzado
- No posee una amplia resistencia a la tracción
  - Se necesita encofrar usando formaletas durante varios días después de la fundida.
  - Las estructuras en concreto pueden ser muy masivas y con mucho volumen.
  - Dificultad para trabajar con formas arquitectónicas “extravagantes”.
- ✓ Ventajas de las estructuras en acero
- La ductilidad
  - El bajo peso de la edificación
  - Menor requerimiento en la cimentación
  - Velocidad en la construcción
  - Se pueden hacer luces grandes
  - Uso en diseños arquitectónicos “extravagantes”.
- ✓ Desventajas de las estructuras en acero
- Se necesita mano de obra calificada
  - El precio del acero es más costoso comparado con el concreto
  - La protección contra el fuego es costosa
  - Se pueden presentar vibraciones en los entresijos
  - Hay escases en el suministro de acero

- Construir masivamente en acero podría generar un problema social porque disminuiría la cantidad de personas en obra y el sector de la construcción es un pilar fundamental en la economía del país.

## **5. Análisis y Diseño Estructural de un Edificio de 10 Niveles Ubicado en la Ciudad de Bucaramanga, para Uso de Oficinas**

### **5.1 Parámetros Generales del Proyecto**

Para el desarrollo del tema central de este documento el cual tiene como objetivo la comparación técnica y financiera se tomó como modelo de edificación un edificio de 10 niveles, con un uso de ocupación normal. A continuación se detallan cada uno de los parámetros generales necesarios para su diseño.

### **5.2 Ubicación**

Ubicado en el oriente colombiano, en el departamento de Santander, más específicamente en la zona metropolitana de Bucaramanga.

### **5.3 Uso de la Edificación**

La edificación se proyecta como una construcción que disponga de una serie de oficinas que permitan desarrollar un tipo de actividad económica. Por lo anterior la denominación correspondiente a este uso es el uso de oficinas; un tipo de ocupación normal.

### **5.4 Parámetros Técnicos de la Edificación**

Según la ubicación de la edificación el suelo común en esta zona corresponde a un Tipo de suelo C con un sismo admisible de 25 ton/ma<sup>2</sup> – 250 KPa, geométricamente el edificio dispone de una altura total de 35 m (sin profundidad de cimentación), un área en planta de 1160 m<sup>2</sup>, altura de

entrepiso 3.5 m y distancias entre apoyos 7.5 m (luz de viga). Cabe resaltar que según la geometría de la edificación; preliminarmente se clasifica como una edificación regular.

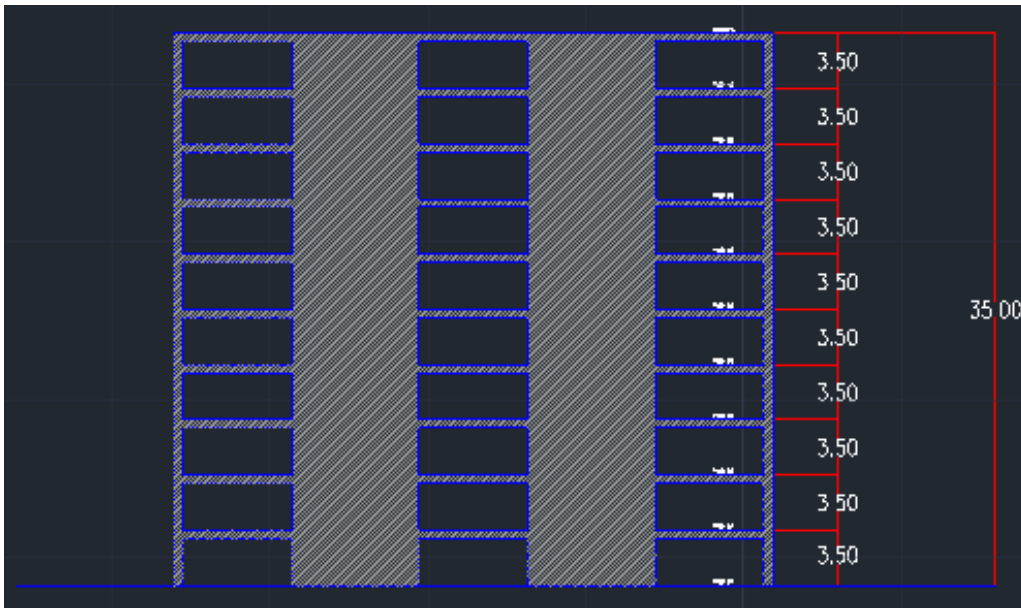


Figura 4. Perfil Lateral del Edificio de 10 Niveles.

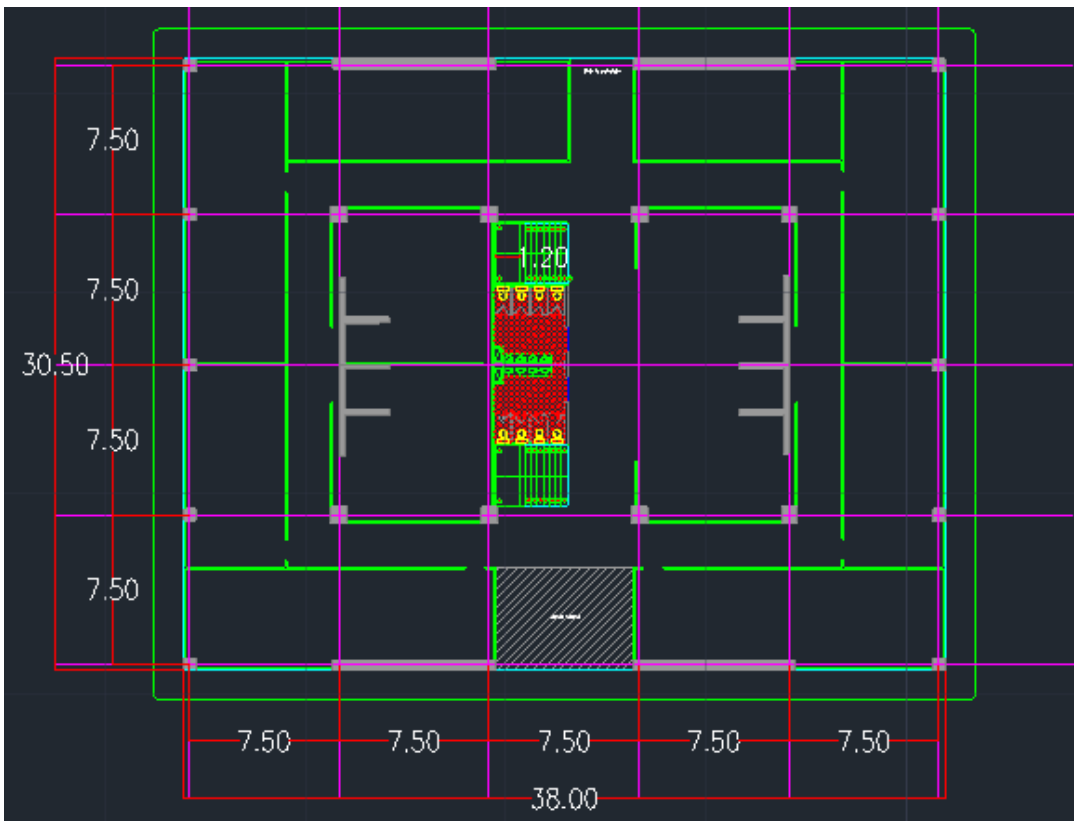


Figura 5. Planta Entrepiso Tipo para el Edificio de Diez Niveles.

**5.5 Análisis Sísmico**

**5.5.1 Análisis de Cargas Sobre Impuestas (NSR-10 B).** La (NSR-10 B) da los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a cargas que deben emplearse en su diseño, diferentes a las fuerzas o efectos que impone el sismo. Para que una estructura sismo resistente cumpla adecuadamente su objetivo, debe ser capaz de resistir además de los efectos sísmicos, los efectos de las cargas prescritas en el Título B.

**5.5.2 Cargas Muertas.** La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. (NSR10, 2010).

Tabla 4. Valores Mínimos Alternativos de Carga Muerta de Elementos no Estructurales Cuando no se Efectúe un Análisis más Detallado (NSR-10 B Tabla B.3.4.3-1).

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios	1.0	1.8	100	180
<b>Oficinas</b>	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
<b>Fábricas</b>	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
<b>Institucional</b>	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
<b>Comercio</b>	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
<b>Residencial</b>	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
<b>Almacenamiento</b>	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
<b>Garajes</b>	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Adaptado de. Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectúe un análisis más detallado (NSR-10 B, 2010, Tabla B.3.4.3-1).

Fachada y particiones  $\longrightarrow$   $2.0 \frac{KN}{m^2}$

Afinado de piso y cubierta  $\longrightarrow$   $1.8 \frac{KN}{m^2}$

**5.5.3 Cargas Vivas.** Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como viento y sismo.

Tabla 5. *Cargas Vivas Mínimas Uniformemente Distribuidas.*

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga uniforme (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<b>Oficinas</b>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500

Adaptado de: (NSR-10, 2010, Tabla B.4.2.1-1).

Carga viva escaleras.  $\longrightarrow$   $3.0 \frac{KN}{m^2}$

Carga viva oficinas.  $\longrightarrow$   $2.0 \frac{KN}{m^2}$

**5.6 Pre – Dimensionamiento**

**5.6.1 Dimensionamiento de la Placa.** Dentro de los lineamientos del proyecto se establece que se diseñara una placa aligerada que consta de casetones (funcionan como aligeraste en las losas de concreto) y nervios o viguetas. Las dimensiones correspondientes a: ancho de nervadura, el grosor de la placa superior, espaciamiento entre nervaduras, ancho del casetón, entre otros son dadas de acuerdo a las condiciones dispuestas por la norma NSR-10.

Tabla 6. *Alturas o Espesores Mínimos Recomendados para Vigas no Pre-esforzadas o Losas Reforzadas.*

	Espesor mínimo, <i>h</i>			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

La Notas son las mismas de la Tabla C.9.5(a) del Reglamento.:

Adaptado de: *NSR-10 TABLA CR.9.5* Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no pre esforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles a dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen deflexiones.

La tabla anterior se tiene en cuenta debido a que el tipo de diseño a desarrollar cuenta con la presencia de particiones susceptibles a agrietamiento por deflexiones en las vigas principales. En la tabla podemos ver que el espesor mínimo *h* está en función de (*L*) la cual la tomaremos como la mayor luz presente en planta.

**5.6.2 Espesor Mínimo de Placa.** Según la *NSR-10 TABLA CR.9.5* para elementos sobre la placa susceptibles al agrietamiento el espesor mínimo se determina mediante la ecuación (a). (NSR10, 2010).

$$\frac{l}{14} = \frac{7.50}{14} = 0.53 \cong 0.55m \quad (a)$$

Teniendo en cuenta los espesores mínimos calculados anteriormente; tomaremos 0.55m como el ancho de placa que garantice que cumplirá funcionalmente con toda la estructura.

Espesor de la placa = 55 cm

**5.6.3 Ancho de Nervios.** Según la NSR-10 C.8.13.2 el ancho de nervios no debe ser menor de 100mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser menor de 80mm. Igualmente debe tener una altura no mayor de 5 veces su ancho promedio.

$$\frac{55cm}{5} = 10cm$$

Separación máxima entre nervios

Según la NSR-10 C.8.13.2 Para losas nervadas en una dirección, la separación máxima entre nervios, medida de centro a centro no puede ser mayor a 2.5 veces el espesor total de la losa, sin exceder 1.20m.

Separación entre nervios  $< 2.5 * 500 = 1250mm > 1200mm$

Debido a que la separación máxima supera la permitida tomaremos 1 m dicha distancia.

Separación de nervios= 1m

Ancho promedio= 10 cm

**5.6.4 Riostras.** Según la NSR-10 C.8.13.3.1 Cuando se trate de losas nervadas en una dirección, deben colocarse vigas auxiliares, las cuales están orientadas en la dirección perpendicular a las viguetas que presentan una luz mayor a 10 veces el espesor de la losa, sin exceder los 4 metros.

$$10 * 500 = 5000 \text{ mm} > 4000\text{mm}$$

Según lo anterior, donde existan viguetas con una luz mayor a 4000 mm o 4 m se adicionara una viga auxiliar que estará sometida a una carga doble a la solicitada para las viguetas y sus dimensiones estarán en función del espesor mínimo de losa, para su altura y el doble del ancho de una vigueta, para su respectivo ancho.

**5.6.5 Torta Superior.** Según la NSR-10 C.8.13.5.2 La porción vaciada en sitio de losa superior debe tener el menos 45mm de espesor, pero esta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre los nervios.

$$\frac{1000}{20} = 50 \text{ mm} > 45\text{mm}$$

Para el espesor de la torta inferior no hay parámetros definidos en la norma, para este caso se pondrá un espesor de 30 mm satisfaciendo el diámetros del agregado.

Espesor de torta superior 50 mm

Espesor de torta inferior 30 mm

### 5.6.6 Cargas Muertas.

5.6.6.1 *Masas y Pesos de Materiales.* Según la NSR-10 C.8.13.5.2 Al calcular las cargas muertas deben utilizarse las densidades de masa reales (en kg/m<sup>3</sup>) de los materiales las cuales deben multiplicarse por la aceleración de la gravedad (9.8m/s<sup>2</sup>), para así obtener los valores respectivos de peso (N/m<sup>3</sup>).

Tabla 7. *Masas de Materiales.*

<b>Material</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Material</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Acero	7 800	Mortero de inyección para mampostería	2 250
Agua		Mortero de pega para mampostería	2 100
Dulce	1 000	Piedra	
Marina	1 030	Caliza, mármol, cuarzo	2 700
Aluminio	2 700	Basalto, granito, gneis	2 850
Arena		Arenisca	2 200
Limpia y seca	1 440	Pizarra	2 600
Seca de río	1 700	Plomo	11 400
Baldosa cerámica	2 400	Productos bituminosos	
Bronce	8 850	Asfalto y alquitrán	1 300
Cal		Gasolina	700
Hidratada suelta	500	Grafito	2 160
Hidratada compacta	730	Parafina	900
Carbón, apilado	800	Petróleo	850
Carbón vegetal	200	Relleno de ceniza	920

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento pórtland, a granel	1 440	Tableros de madera aglutinada	750
Cobre	9 000	Terracota	
Concreto simple	2 300	Poros saturados	1 950
Concreto reforzado	2 400	Poros no saturados	1 150
Corcho, comprimido	250	Tierra	
Estaño	7 360	Arcilla húmeda	1 750
Grava seca	1 660	Arcilla seca	1 100
Hielo	920	Arcilla y grava seca	1 600
Hierro		Arena y grava húmeda	1 900
Fundido	7 200	Arena y grava seca apisonada	1 750
Forjado	7 700	Arena y grava seca suelta	1 600
Latón	8 430	Limo húmedo consolidado	1 550
Madera laminada	600	Limo húmedo suelto	1 250
Madera seca	450-750	Vidrio	2 600
Mampostería de concreto	2 150	Yeso en tableros para muros	800
Mampostería de ladrillo macizo	1 850	Yeso suelto	1 150
Mampostería de piedra	2 200	Zinc en láminas enrolladas	7 200

Adaptado de: Masas de materiales (NSR-10, 2010, Tabla B.3.2.1.).

Carga muerta torta superior

$$\frac{24\text{KN}}{\text{m}^3} * 0.05\text{m} = 1.2 \text{ m}^2$$

Carga muerta torta inferior

$$\frac{24\text{KN}}{\text{m}^3} * 0.03\text{m} = 0.72 \text{ m}^2$$

Casetón

Densidad de la lona  $0.5 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \longrightarrow \frac{0.5\text{KN}}{\text{m}^3} * \frac{0.9\text{m} * 0.45\text{m}}{0.8\text{m}} = 0.2531 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$

Carga muerta de las viguetas

$$\frac{24\text{KN}}{\text{m}^3} * \frac{0.1\text{m} * 0.42\text{m}}{0.8} = 1.26 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

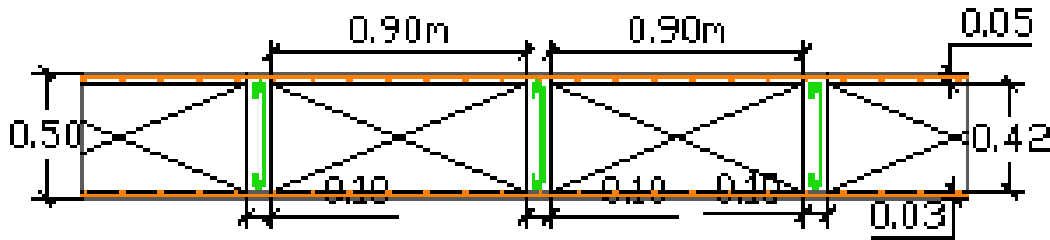


Figura 6. Dimensiones de Losa Nervada en Una Dirección.

A continuación se muestra un resumen de las cargas sobrepuestas totales presentes en la placa, las cuales se utilizarán en el análisis estructural. Los detalles de sus cálculos se presentarán en los anexos al final de este documento.

Tabla 8. Resumen Análisis de Cargas Sobrepuestas.

RESUMEN ANÁLISIS DE CARGAS - PROPIEDADES GEOMÉTRICAS			
PISO TIPO EDIFICIO OFICINAS		CUBIERTA EDIFICIO OFICINAS	
Área total en planta	1159.00 m <sup>2</sup>	Área total en planta	1159.00 m <sup>2</sup>
Área vacíos	16.46 m <sup>2</sup>	Área Vacíos	16.46 m <sup>2</sup>
Área escaleras	21.60 m <sup>2</sup>	Área escaleras	21.60 m <sup>2</sup>
Área total placa	1120.94 m <sup>2</sup>	Área total placa	1120.94 m <sup>2</sup>
Altura entrepiso	3.50 m	Altura entrepiso	3.50 m
CARGAS VIVAS			
Cargas oficinas	2.00 KN/m <sup>2</sup>	Cargas cubierta	1.80 KN/m <sup>2</sup>
Cargas escaleras	3.00 KN/m <sup>2</sup>	Cargas escaleras	3.00 KN/m <sup>2</sup>
CARGAS MUERTAS			
Acabados	1.80 KN/m <sup>2</sup>	Acabados	1.00 KN/m <sup>2</sup>
Muros divisorios	2.00 KN/m <sup>2</sup>	Muros divisorios	1.00 KN/m <sup>2</sup>
Carga sobre impuesta	3.80 KN/m <sup>2</sup>	Carga sobre impuesta	2.00 KN/m <sup>2</sup>
Losa nervada	3.08 KN/m <sup>2</sup>	Losa nervada	3.08 KN/m <sup>2</sup>
Área total placa	1120.94 m <sup>2</sup>	Área total placa	1120. m <sup>2</sup> 94
Carga total	7712.07 KN	Carga total	5694.38 KN
Carga por m <sup>2</sup>	6.88 KN/m <sup>2</sup>	Carga por m <sup>2</sup>	5.08 KN/m <sup>2</sup>

**5.6.6.2 Pre-dimensionamiento de Elementos de Resistencia Sísmica.** Materiales: C.21.1.4 Concreto en estructuras con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES). (NSR10, 2010).

La resistencia especificada a la compresión del concreto,  $f'_c$ , no debe ser menor que 21 MPa.

Todo el refuerzo corrugado debe resistir fuerzas axiales y de flexión inducidas por sismo en elementos de pórticos, muros estructurales y vigas de acople, debe cumplir con las disposiciones de NTC 2289 (ASTM A706M).

La resistencia real a la fluencia basada en ensayos realizados por la fábrica no sea mayor que  $f_y$  en más de 125 MPa;

La relación entre la resistencia real de tracción y la resistencia real de fluencia no sea menor de 1.25.

**5.6.6.3 Dimensionamiento de Vigas.** Elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES). (NSR10, 2010).

La luz libre del elemento,  $l_n$ , no debe ser menor que cuatro veces su altura útil.

$$\text{Altura util} = 550 \text{ mm} \qquad 4 * \text{Altura util} = 2200 \text{ mm} < 7500 \text{ mm Ok}$$

El ancho del elemento,  $b_w$ , no debe ser menor que el más pequeño de  $0.3h$  y 250 mm.

$$\text{Altura util } b_w = 400 \text{ mm} > 0.3 * 550 = 165 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

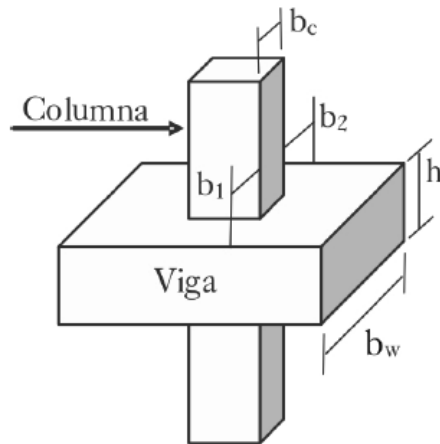


Figura 7. Geometría de Vigas para Pórticos Dúctiles de Concreto Reforzado.  
Adaptado de: (Rochel Awad, 2012)

5.6.6.4 **Dimensionamiento de Columnas.** Elementos sometidos a flexión y carga axial pertenecientes a pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES). (NSR10, 2010).

La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, no debe ser menor de 300mm.

La relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular no debe ser menor que 0.4.

$$\frac{\text{Dim min}}{\text{Dim may}} = 0,4 \qquad \frac{0,40}{0,55} = 0,73 > 0,4 \text{ Ok}$$

Tabla 9. *Requisitos Geométricos para las Columnas.*

DES:	b, h ≥ 30 cm	Columnas en forma de T, C, I (NSR-10, Sec.C.21.6.1.1)
	b / h ≥ 0.4	Menor dimensión ≥ 25 cm
		Área ≥ 900 cm <sup>2</sup>

Adaptado de: (NSR10, 2010).

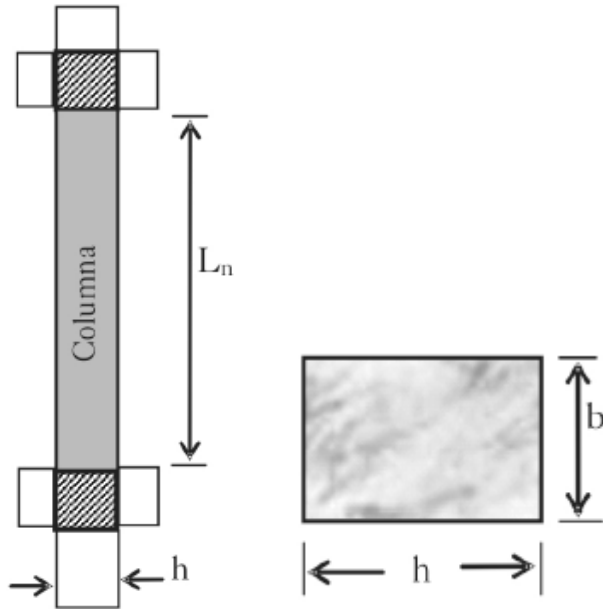


Figura 8. Requisitos Geométricos para las Columnas.  
Adaptado de: (Roche Awad, 2012).

5.6.6.5 **Dimensionamiento de Muros.** A menos que se demuestre lo contrario mediante un análisis, la longitud horizontal de un muro considerada como efectiva para cada carga concentrada, no debe exceder la menor distancia centro a centro de las cargas, ni el ancho de apoyo más cuatro veces el espesor del muro. (NSR10, 2010).

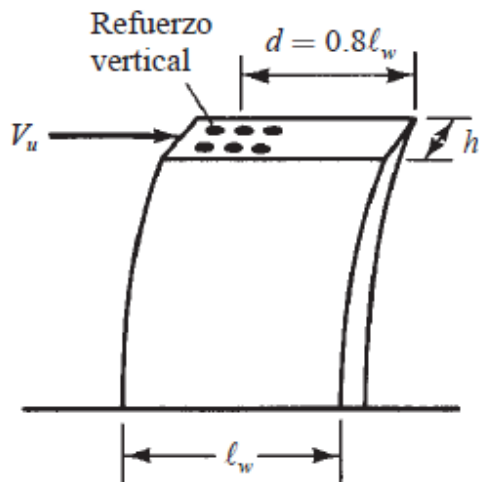


Figura 9. Muros de Cortante.  
Adaptado de: (Maccormac, 2011).

Los muros deben anclarse a los elementos que los intersectan, como pisos o cubiertas; o a columnas, pilastras, contrafuertes, de otros muros, y zapatas.

**5.7 Aspectos Generales del Diseño Sismo Resistente NSR-10**

**5.7.1 Zonas de Amenaza Sísmica y Movimientos Sísmicos de Diseño.** Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectivo, representada por el parámetro  $A_a$ , y de la velocidad pico efectivo, representada por el parámetro  $A_v$ , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años.

**5.7.1.1 Zonas de amenaza sísmica.**

Tabla 10. *Coefficientes de Aceleración Pico Efectiva y Velocidad Pico Efectivo.*

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de amenaza sísmica
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta

Adaptado de: (NSR10, 2010)

**5.7.2 Coeficiente de Amplificación  $F_a$  y  $F_v$ .** Según la NSR-10 A.2.4.5.6 en la TABLA A.2.4-3 Se dan los valores del coeficiente  $F_a$  que amplifica las ordenadas de espectro en roca para tener en cuenta los efectos de sitio en el rango de periodos cortos del orden de  $T_0$ .

Tabla 11. *Valores del Coeficiente  $F_a$  para la Zona de Periodos Cortos del Espectro.*

**Tabla A.2.4-3**  
**Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro**

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Adaptado de: (NSR10, 2010).

Según la NSR-10 A.2.4.5.6 en la TABLA A.2.4-3 Se dan los valores del coeficiente  $F_v$  que amplifica las ordenadas de espectro en roca para tener en cuenta los efectos de sitio en el rango de periodos cortos del orden de 1s.

Tabla 12. Valores del Coeficiente  $F_v$  para la Zona de Periodos Cortos del Espectro.

**Tabla A.2.4-4**  
**Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro**

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>E</b>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Adaptado de: (NSR10, 2010).

Según la NSR-10 para valores intermedios de  $A_a$  y  $A_v$  se permite interpolar linealmente entre valores del mismo tipo de perfil mediante la ecuación (b).

$$\frac{0.1}{X} = \frac{0.1}{0.05} \quad (b)$$

$$X = 0.05$$

$$F_a = 0.05 + 1.1$$

$$F_a = 1.15$$

$$F_v = 1.55$$

Tabla 13. Factores de Amplificación Sísmica

Tipo de perfil de suelo	$F_a$	$F_v$
C	1.15	1.55

Adaptado de: (NSR10, 2010).

**5.7.3 Clasificación de Grupo de Uso.** Según la NSR-10 A.2.5.1.4 grupo 1 estructuras de ocupación normal o habitacional se clasifica como grupo de uso 1.

**5.7.4 Coeficiente de Importancia.** Según la NSR-10 A.2.5.2, El coeficiente de importancia: I, modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el tipo de uso a que este asignado la edificación.

Tabla 14. *Coeficiente de Importancia I.*

**Tabla A.2.5-1**  
**Valores del coeficiente de importancia, I**

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Adaptado de: (NSR10, 2010).

**5.7.5 Espectro de Diseño.** Espectro de aceleraciones: La forma del espectro elástico de aceleraciones,  $S_a$  expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, y se define por medio de la ecuación (c), con las limitaciones dadas en (NSR10 A.2.6.1.1 a A.2.6.1.3).

$$S_a = \frac{1.2 A_v F_v I}{T} \quad (c)$$

Para períodos de vibración menores de  $T_c$ , calculado de acuerdo con la ecuación (d), el valor de  $S_a$  puede limitarse al obtenido de la ecuación (e).

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad (d)$$

$$S_a = 2.5 A_a F_a I \quad (e)$$

Para períodos de vibración mayores que  $T_L$ , calculado de acuerdo con la ecuación (f), el valor de  $S_a$  no puede ser menor que el dado por la ecuación (g). (NSR10, 2010).

$$T_L = 2.4F_v \quad (f)$$

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v T_L I}{T^2} \quad (g)$$

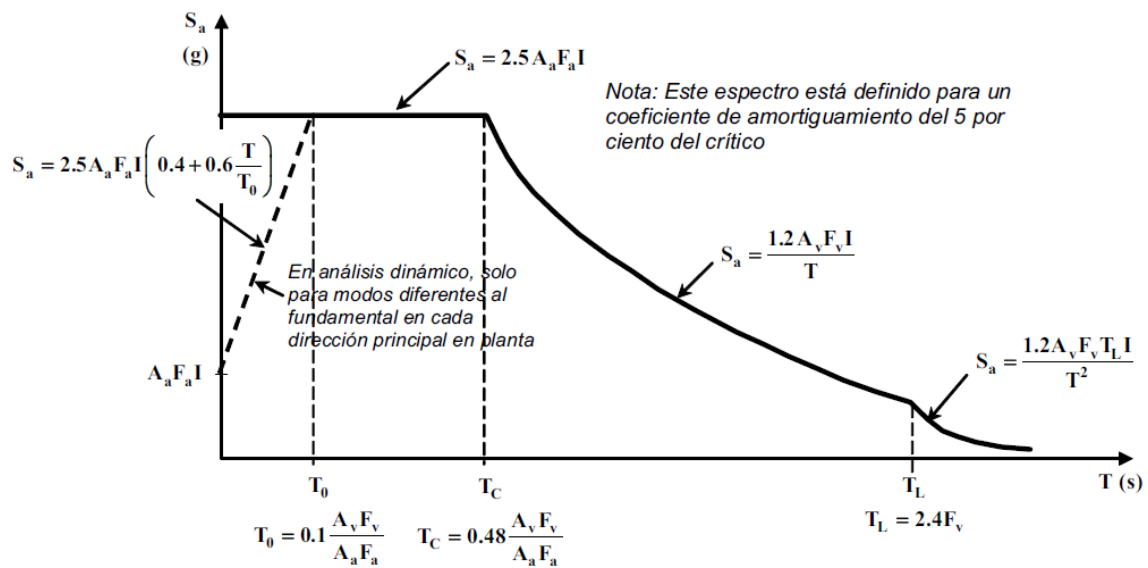


Figura 10. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como Fracción de g. Adaptado de: (NSR10, 2010).

Tabla 15. Resumen de Parámetros del Espectro de Diseño para el Edificio de Diez Niveles.

Ciudad	Bucaramanga
Aa	0.25
Av	0.25
Zona de amenaza sísmica	Alta
Tipo de perfil de suelo	C
Fa	1.15

Fv	1.55
Grupo de uso	I
Coefficiente de importancia	1.00

Adaptado de: (NSR10, 2010).

Tabla 16. *Periodo Tc y TL con su Respectiva Aceleración Espectral.*

TC [s]	0.65	TL [s]	3.72
Sa	0.72	Sa	0.125

Adaptado de: (NSR10, 2010).

Se desarrolló el espectro de diseño para intervalos de centésimas de segundo utilizando las ecuaciones expuestas anteriormente; en la siguiente figura se detalla gráficamente los resultados. La tabulación de cada uno de los intervalos se muestra en su totalidad en los anexos al final de este documento.

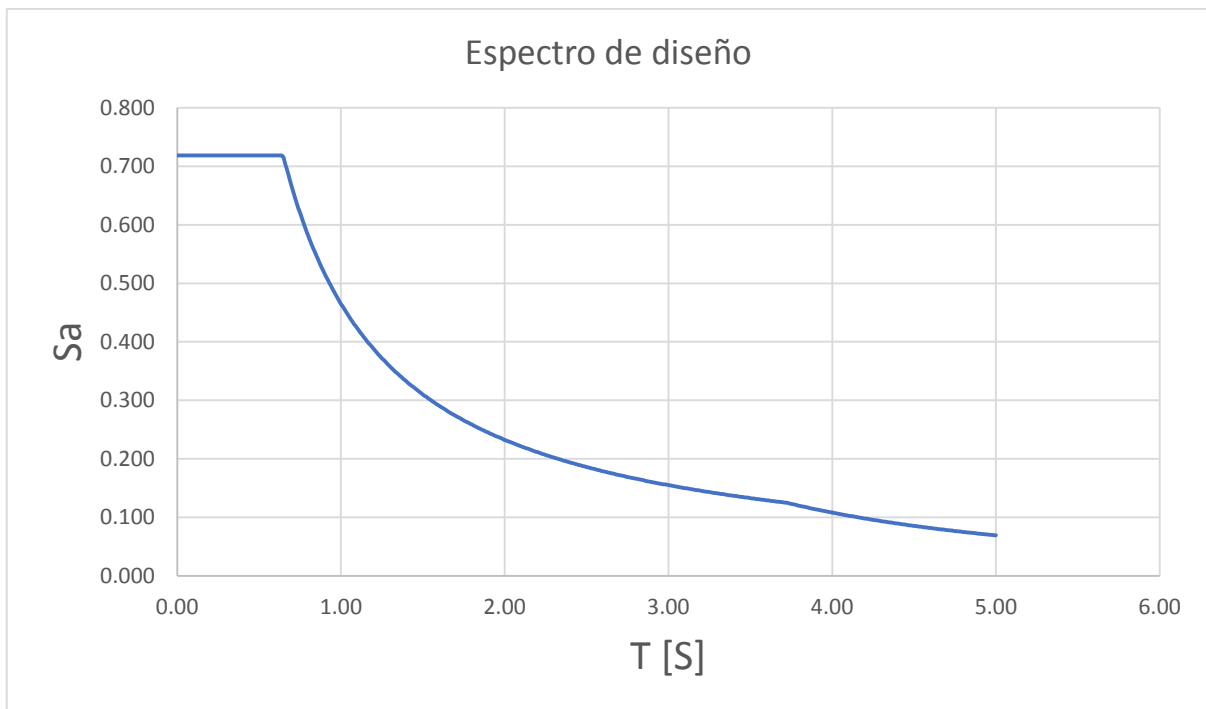


Figura 11. Espectro Elástico de Aceleraciones Edificio de 10 Niveles.

### 5.8 Software de Análisis y Diseño Estructural

Para el análisis y diseño de la edificación, se utilizó el software de diseño estructural ETABS-2016, mediante la licencia estudiantil gratuita que este permite.

- Asignación del espectro de diseño.
- Definir la función de espectro.

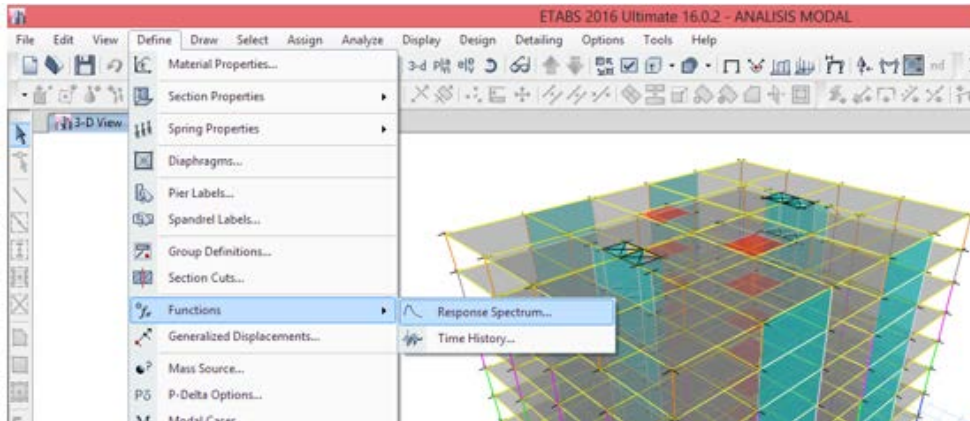


Figura 12. Asignación del Espectro Elástico. Utilizando el software ETABS 2016 Ultimate 16.0.2.

Asignación de los valores del espectro de diseño mediante un archivo txt

Define Response Spectrum Functions

Response Spectra

- Espectro de diseño
- UnifRS

Choose Function Type to Add

From File

Click to:

Add New Function...

Modify/Show Spectrum...

Delete Spectrum

OK Cancel

Response Spectrum Function Definition - User De...

Function Name: Espectro de diseño

Function Damping Ratio: 0.05

Period	Value
0	0.719
0.01	0.719
0.02	0.719
0.03	0.719
0.04	0.719
0.05	0.719
0.06	0.719

Function Graph

OK Cancel

Este espectro está definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5 por ciento del crítico.

Figura 13. Patrones del Espectro Elástico. Utilizando el software ETABS 2016 Ultimate 16.0.2.

## **5.9 Método del Análisis Dinámico (NSR 10 A.5)**

**5.9.1 Metodología del Análisis (NSR A.5.4.1).** Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos, cuando se utilice el método de análisis dinámico elástico espectral. (NSR10, 2010).

Obtención de los modos de vibración: Los modos de vibración deben obtenerse utilizando metodologías establecidas de dinámica estructural. Deben utilizarse todos los modos de vibración de la estructura que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la misma, cumpliendo los requisitos de A.5.4.2.

Respuesta espectral modal: La respuesta máxima de cada modo se obtiene utilizando las ordenadas del espectro de diseño definido en A.5.3.2, para el período de vibración propio del modo.

Respuesta total: Las respuestas máximas modales, incluyendo las de deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos, se combinan de una manera estadística para obtener la respuesta total de la estructura a los movimientos sísmicos de diseño. Deben cumplirse los requisitos de A.5.4.4 en la combinación estadística de las respuestas modales máximas.

Ajuste de los resultados: Si los resultados de la respuesta total son menores que los valores mínimo prescritos en A.5.4.5, los resultados totales del análisis dinámico deben ser ajustados como se indica allí. El ajuste debe cubrir todos los resultados del análisis dinámico, incluyendo las deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos.

Evaluación de las derivas: Se debe verificar que las derivas totales obtenidas, debidamente ajustadas de acuerdo con los requisitos de A.5.4.5, no excedan los límites establecidos en el Capítulo A.6.

Fuerzas de diseño en los elementos: Las fuerzas sísmicas internas totales de los elementos  $F_s$ , debidamente ajustadas de acuerdo con los requisitos de A.5.4.5, se dividen por el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , del sistema de resistencia sísmica, modificado de acuerdo con la irregularidad y la ausencia de redundancia según los requisitos de A.3.3.3, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , y se combinan con las otras cargas prescritas por este Reglamento, de acuerdo con el Título B.

Diseño de los elementos estructurales: Los elementos estructurales se diseñan y detallan siguiendo los requisitos propios del grado de capacidad de disipación de energía correspondiente del material, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3.

#### **5.9.1.1 Número de Modos de Vibración (NSR10 A.5.4.2).**

*Tabla 17. Numero de Modos de Vibración Utilizados en el Edificio de Diez Niveles.*

	3 en cada entrepiso considerando las dos
Número de modos por entrepiso	direcciones en el plano (X,Y) y la dirección vertical (Z)
Total	$3*10 = 30$ modos

Adaptado de: (NSR10, 2010)

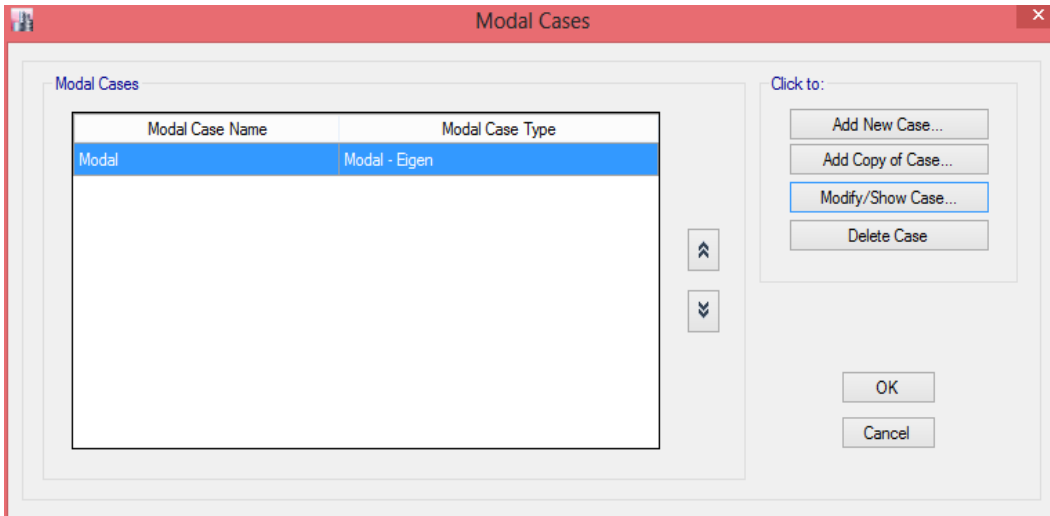


Figura 14. Datos de Entrada Número de Modos de Vibración. Utilizando el software ETABS 2016 Ultimate 16.0.2.

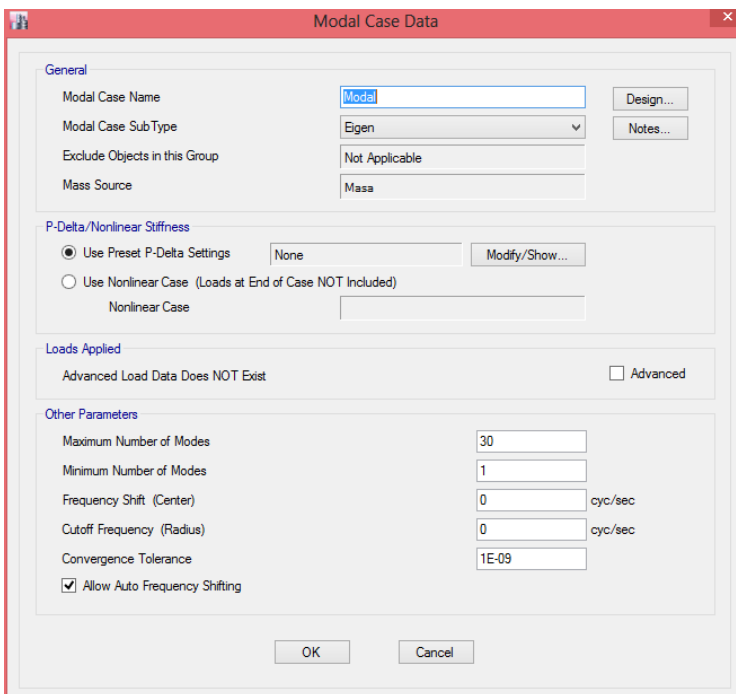


Figura 15. Datos de Entrada Número de Modos de Vibración. Utilizando el software ETABS 2016 Ultimate 16.0.2.

**5.9.1.2 Dirección de Aplicación de las Fuerzas Sísmicas.** En zonas de amenaza sísmica intermedia o alta deben considerarse los efectos ortogonales, salvo que la estructura tenga diafragmas flexibles o se trate de edificios de un piso (naves industriales o similares) en los cuales no haya irregularidades en planta del tipo 5P (NSR10 Tabla A.3-6 Irregularidades en planta). Los efectos ortogonales pueden tenerse en cuenta suponiendo la concurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular. Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento.

Se consideran en total 12 combinaciones teniendo en cuenta las diferentes direcciones y proporciones en las que actúan las fuerzas sísmicas. (NSR10, 2010).

100%FsX	100%FsY
-100%FsX	-100%FsY
100%FsX + 30%FsY	100%FsY + 30%FsX
-100%FsX + 30%FsY	-100%FsY + 30%FsX
100%FsX - 30%FsY	100%FsY - 30%FsX
-100%FsX - 30%FsY	-100%FsY - 30%FsX

**5.9.1.3 Cálculo del Cortante Modal en la Base.** Se evalúa la máxima respuesta, teniendo en cuenta la totalidad de los modos de vibración y su respectiva dirección de aplicación la ecuación (h).

$$V_{mj} = S_{am} g \bar{M}_{mj} \quad (h)$$

Tabla 18. Cortante Basal Vs ETABS 2016 Ultimate 16.0.2.

	Load Case/Combo	FX kN	FY kN	FZ kN
▶	Sismo X Max	41124.3505	4.0228	0
	Sismo Y Max	4.0229	34085.3293	0

**5.9.1.4 Ajuste de los Resultados.**

El valor del cortante dinámico total en la base,  $V_{tj}$ , obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis,  $j$ , no puede ser menor que el 80 por ciento para estructuras regulares, o que el 90 por ciento para estructuras irregulares, del cortante sísmico en la base,  $V_s$ , calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4. Además, se deben cumplir las siguientes condiciones. (NSR10, 2010).

Para efectos de calcular este valor de  $V_s$  el período fundamental de la estructura obtenido en el análisis dinámico,  $T$  en segundos no debe exceder  $C_u T_a$ , de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4, y cuando se utilicen los procedimientos de interacción suelo-estructura se permite utilizar el valor de  $V_s$  reducido por esta razón.

Cuando el valor del cortante dinámico total en la base  $V_{tj}$ , obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis,  $j$ , sea menor que el 80 por ciento para estructuras en nuestro caso estructura regulares, del cortante sísmico en la base,  $V_s$ , calculado como se indicó en (a), todos los parámetros de la respuesta dinámica, tales como deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos de la correspondiente dirección  $j$  deben multiplicarse por el siguiente factor de modificación:

$$\underline{V_{tj}} < 0.8 \cdot V_s \longrightarrow \text{Factor de ajuste para estructuras regulares} \longrightarrow 0.80 \frac{V_s}{V_{tj}}$$

**5.10 Método de la Fuerza Horizontal Equivalente**

**5.10.1 Período Fundamental de la Edificación.** El valor del período fundamental de la edificación, T, debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración.

El periodo fundamental T, También debe estar acorde con los principios de la dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Este requisito puede suplirse por medio del uso de la ecuación (i). (NSR10, 2010).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}} \tag{i}$$

El valor de T no puede exceder CuTa, donde Cu se calcula por medio de la ecuación (j). [1] y Ta se calcula de acuerdo con la ecuación (k). (NSR10, 2010), pero Cu no debe ser menor de 1.2.

$$C_u = 1.75 - 1.2A_v F_v \tag{j}$$

$$cCu = 1.75 - 1.2 * 0.25 * 1.55 \quad Cu = 1.28$$

Alternativamente el valor de T puede ser igual al período fundamental aproximado Ta, que se obtenga por medio de la ecuación (k). (NSR10, 2010)

$$T_a = C_t h^\alpha \tag{k}$$

$$h \text{ total} = 35m$$

$$C_t = 0.047 \quad \alpha = 0.9$$

$$T_a = 0,047 * 35^{0,9}$$

$$T_a = 0,153$$

Donde  $C_t$  y  $\alpha$  tienen los valores dados en la (NSR10 tabla A.4.2-1)

$$T < C_u * T_a$$

$$T < 1,482$$

**5.10.2 Fuerzas Sísmicas Horizontales Equivalentes (NSR10 A.4.3).** El cortante sísmico en la base,  $V_s$ , equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio, se obtiene por medio de la ecuación (l). (NSR10, 2010).

$$V_s = S_a g M \quad (l)$$

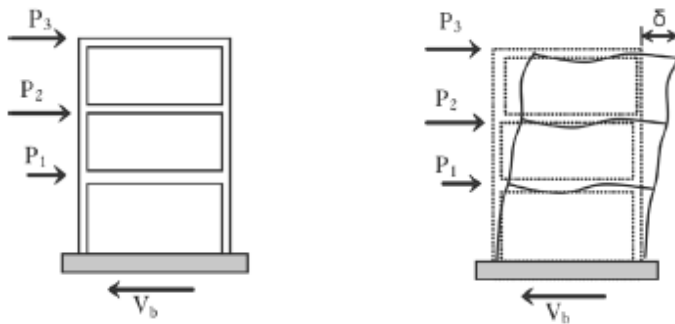


Figura 16. Comportamiento de una Estructura Aperticada ante Cargas Monotónicas. Adaptado de: (Rochel Awad, 2012).

La fuerza sísmica horizontal,  $F_x$ , en cualquier nivel  $x$ , para la dirección en estudio, debe determinarse usando la ecuación (m). (NSR10, 2010)

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (m)$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)}$$

Tabla 19. Factores para el Cálculo de la Fuerza Sísmica Horizontal.  
Factores para el Cálculo de la Fuerza Sísmica Horizontal

$T_a = C_t \cdot h \alpha$	1.153
k	1.192
h total [m]	35.00
T	0.884
Sa	0.526
$V_s$ [KN]	56.924.571
$0.8 \cdot V_s$ [KN]	4.553.965.667
$C_u \cdot T_a$	1.482

A continuación se presentan los datos tabulados del método de fuerza horizontal equivalente:

Tabla 20. *Método de Cálculo Fuerzas Sísmicas por Entrepiso.*

ENTREPISO	hi [m]	mi [Ton]	hi <sup>k</sup>	mi*hi <sup>k</sup>	C <sub>vx</sub>	F [KN]
1	3.50	1147.48	4.45	5109	0.014	781.38
2	7.00	1141.33	10.17	11609	0.031	1775.51
3	10.50	1135.18	16.49	18721	0.050	2863.24
4	14.00	1129.63	23.24	26250	0.071	4014.74
5	17.50	1124.08	30.32	34080	0.092	5212.28
6	21.00	1119.13	37.68	42167	0.113	6449.12
7	24.50	1114.18	45.28	50448	0.136	7715.64
8	28.00	1109.83	53.09	58921	0.158	9011.52
9	31.50	1101.73	61.09	67307	0.181	10294.10
Cubierta	35.00	831.33	69.27	57584	0.155	8807.04
			$\Sigma$	372196	1.000	56.924.571

Teniendo en cuenta las fuerzas sísmicas determinadas en la tabla anterior procedemos halla el periodo fundamental de la estructura por medio de la ecuación (i) el cual se compara con el periodo asumido anteriormente, y si este difiere en un 10% se procederá a una nueva iteración del cálculo de las fuerzas sísmicas con el último periodo encontrado hasta que este converja a una diferencia menor al 10%. Seguidamente se compara el 80% del cortante  $V_s$  ajustado con el cortante por el método de análisis dinámico; y si este último es menor se procede a ajustar el factor de multiplicación de la gravedad.

Tabla 21. *Resumen Ajuste de Resultados para el Método de Análisis Modal del Edificio de Diez Niveles.*

PERIODO FUNDAMENTAL DIR.X		
T [S] FHE	0.884	
T [S] MODAL	0.877	
Diferencia (T[S])	0.79%	OK
$V_s$ [KN]	56.924.571	
$0.8*V_s$ [KN]	45.539.657	<- Estructura regular.
$V_{tj}$ [KN]	40.838.522	
$0.8*(V_s/V_{tj})$ [KN]	1.12	
Scale Factor	10.94	

**5.10.3 Evaluación de la Deriva Máxima (NSR10 a.6.3).** En edificaciones que tengan irregularidades en planta de los tipos 1aP ó 1bP (véase la NSR10 tabla A.3-6) la deriva máxima en cualquier punto del piso *i*, se puede obtener como la diferencia entre los desplazamientos horizontales totales máximos, del punto en el piso *i* y los desplazamientos horizontales totales máximos de un punto localizado en el mismo eje vertical en el piso inmediatamente inferior (*i* – 1), por medio de la ecuación (n). (NSR10, 2010).

$$\Delta_{\max}^i = \sqrt{\sum_{j=1}^2 \left( \delta_{\text{tot},j}^i - \delta_{\text{tot},j}^{i-1} \right)^2} \tag{n}$$

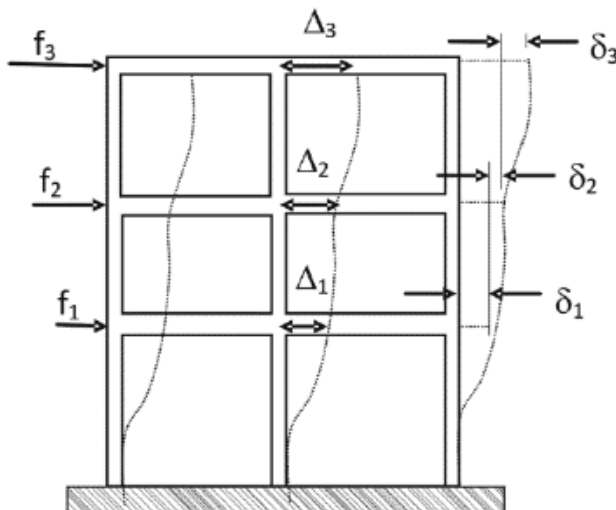


Figura 17. Derivas de Entrepiso.  
Adaptado de: (Rochel Awad, 2012)

$$\Delta i = \sqrt{(166 - 145)^2 + (209 - 1184)^2} \qquad \Delta i = 32$$

Tabla 22. Deriva Máxima como Porcentaje de  $h_{pi}$

Tabla A.6.4-1

Derivas máximas como porcentaje de  $h_{pi}$

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

Adaptado de: (NSR10, 2010).

$$\Delta_{maxi} = 1.0\% * 3500mm$$

$$\Delta_{maxi} = 35 mm$$

Tabla 23. *Cálculo de Derivas Ajustadas y Optimizadas por cada Entrepiso.*

Piso	Elevación	X-Dir	Y-Dir	$\Delta$ X-Dir	$\Delta$ Y-Dir	$\Delta$ Total	$\Delta$ max [mm]
	m	mm	mm	mm	mm	mm	35
10	35	165.874	208.545	20.672	23.672	314.276.179	OK
9	31.5	145.202	184.873	21.083	24.519	323.368.868	OK
8	28	124.119	160.354	21.207	25.018	32.796.908	OK
7	24.5	102.912	135.336	20.949	25.312	328.566.271	OK
6	21	81.963	110.024	20.072	24.925	320.022.001	OK
5	17.5	61.891	85.099	18.549	23.832	301.998.282	OK
Story4	14	43.342	61.267	16.259	21.602	270.370.391	OK
Story3	10.5	27.083	39.665	13.24	18.487	227.391.022	OK
Story2	7	13.843	21.178	9.403	13.915	167.941.548	OK
Story1	3.5	4.44	7.263	4.44	7.263	85.126.241	OK
Base	0	0	0	0	0	0	OK

### 5.11 Diseño de Elementos de Resistencia Sísmica

**5.11.1 Combinaciones de Carga Utilizadas en el Diseño y Fuerzas Sísmicas.** Las fuerzas sísmicas reducidas, E, utilizadas en las combinaciones (NSR10 B.2.4.2), corresponden al efecto, expresado en términos de fuerza, Fs, de los movimientos sísmicos de diseño prescritos en el Título A de la NSR10, divididos por R, el cual se muestra en la siguiente tabla de acuerdo a cada uno de sus sistemas de resistencia sísmica.

#### 5.11.1.1 Concreto Reforzado:

Tabla 24. *Sistema Estructural Combinado en Concreto Reforzado.*

B. SISTEMA COMBINADO		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		baja	
		uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.		
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	7.0	2.5	si	72 m	si	sin limite	si	Sin limite

Adaptado de: (NSR10, 2010)

**5.11.1.2 Acero Estructural:**

Tabla 25. *Sistema Estructural Combinado en Acero Estructural.*

B. SISTEMA COMBINADO		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		baja	
		uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.		
a. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero no resistentes a momentos	5.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	60 m

Adaptado de: (NSR10, 2010)

Reducción del valor de r para estructuras irregulares y con ausencia de Redundancia de acuerdo con la ecuación (o)

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0 \tag{o}$$

Teniendo en cuenta la configuración de la edificación propuesta en este estudio comparativo; su estructura se clasifica como un sistema regular de acuerdo con las condiciones del Título A NSR10. En las tablas se expresa el valor ajustado de R.

Tabla 26. *Factor de Disipación de Energía de acuerdo al Sistema Estructural Utilizado.*

Sistema Combinado Concreto:				Sistema Combinado PAC-DES:			
	COEFICIENTE R				COEFICIENTE R		
$\phi_a$	1			$\phi_a$	1		
$\phi_p$	1	R	7	$\phi_p$	1	R	5
$\phi_r$	1			$\phi_r$	1		
$R_0$	7			$R_0$	5		

**5.11.2 Combinaciones Básicas de Carga.** El diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las siguientes combinaciones:

- ◆ 1,4D
- ◆ 1,2D+1,6L

- ◆ 1,2D+1,0L+1,0EX+0,3EY
- ◆ 1,2D+1,0L+1,0EY+0,3EX
- ◆ 0,9D+1,0EX+0,3EY
- ◆ 0,9D+1,0EY+0,3EX

Este caso de estudio, ubicado en una zona de amenaza sísmica alta, por lo cual sus elementos se deben diseñar bajo condiciones especiales de disipación de energía. Teniendo en cuenta lo anterior las anteriores combinaciones básicas se tendrán en cuenta solo a la hora de diseñar los elementos por flexión.

**5.11.3 Uso del Coeficiente de Sobre Resistencia.** Cuando los requisitos para el material estructural y el grado de disipación de energía requieren que los elementos frágiles o las conexiones entre elementos se diseñen para fuerzas sísmicas, E, amplificadas por el coeficiente de sobre resistencia,  $\Omega_o$ , éste debe emplearse como lo indica la ecuación (p). (NSR10, 2010).

$$E = \frac{\Omega_o F_s}{R} \pm 0.5 A_a F_a D \quad (p)$$

Tabla 27. *Factor de Sobre Resistencia de Acuerdo al Sistema Estructural Utilizado.*

Sistema Combinado Concreto		Sistema Combinado PAC-DES	
COEFICIENTE $\Omega_o$	2.5	COEFICIENTE $\Omega_o$	2.5

- ◆ Fa=1,15
- ◆ Aa=0,25
- ◆ 0,5\*Aa\*Fa\*D=0,144D

Aplicando la ecuación (o) se define los siguientes combos que se utilizan en el diseño del cortante de elementos, diseño de columnas y de los nudos o conexiones de elementos.

- ◆  $1,2D+1,0L+1,0*(\Omega_0EX)+0,3*(\Omega_0EY)+0,5AaFaD$
- ◆  $1,2D+1,0L+0,144D+1,0*\Omega_0EX+0,3*\Omega_0EX$
- ◆  $1,344D+1,0L+2,5EX+0,75EY$
- ◆  $1,344D+1,0L+2,5EY+0,75EX$
- ◆  $0,9D-0,144D+1,0*\Omega_0EX+0,3*\Omega_0EX$
- ◆  $0,756D+2,5EY+0,75EX$
- ◆  $0,756D+2,5EX+0,75EY$

## 5.12 Diseño de Vigas

**5.12.1 Refuerzo Longitudinal.** En cualquier sección de un elemento a flexión, para el refuerzo tanto superior como inferior, el área de refuerzo no debe ser menor que la dada por la ecuación (q) ni menor que  $1.4b_wdf_y$  y la cuantía de refuerzo,  $\rho$ , no debe exceder 0.025. Al menos dos barras deben disponerse en forma continua tanto en la parte superior como inferior. (NSR10, 2010).

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

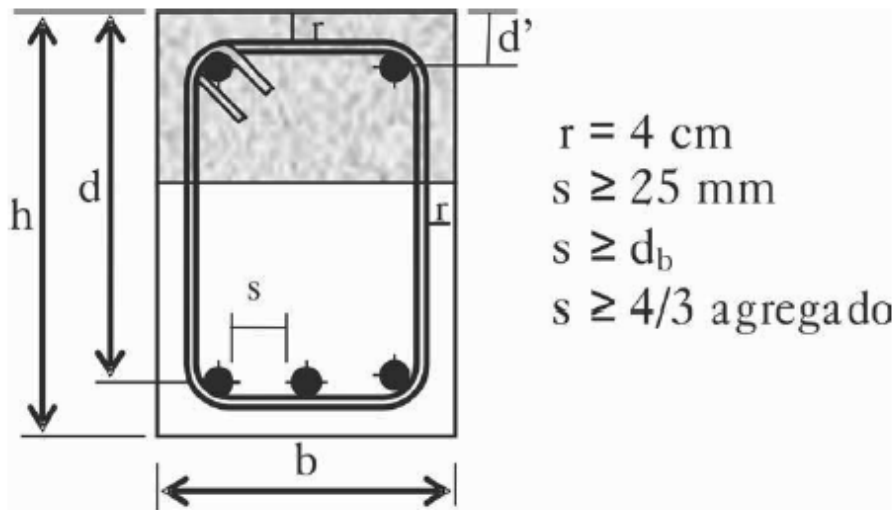
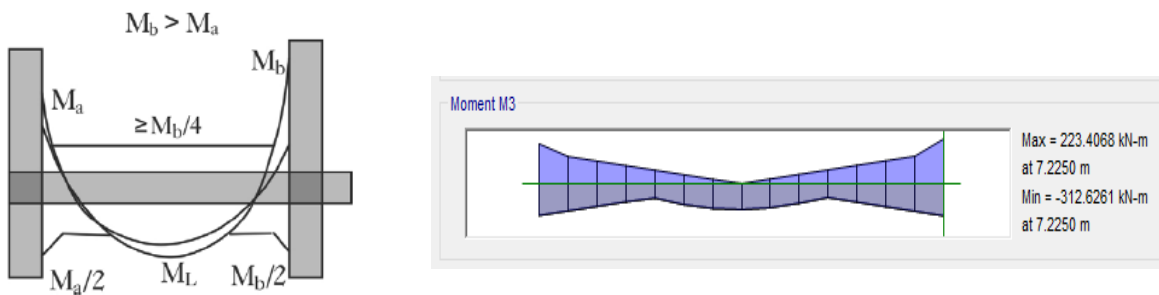


Figura 18. Recubrimiento y Separación del Refuerzo Longitudinal en Vigas.  
 Adaptado de: (Rochel Awad, 2012).

La resistencia a momento positivo en la cara del nudo no debe ser menor que la mitad de la resistencia a momento negativo proporcionada en esa misma cara. La resistencia a momento negativo o positivo, en cualquier sección a lo largo de la longitud del elemento, debe ser menor a un cuarto de la resistencia máxima a momento proporcionada en la cara de cualquiera de los nudos.



(c) Ductilidad especial

Figura 19. Envoltura de Momentos para Vigas - Pórticos Dúctiles de Concreto Reforzado.  
 Adaptado de: (Rochel Awad, 2012).

Sólo se permiten empalmes por traslape de refuerzo de flexión cuando se proporcionan estribos cerrados de confinamiento o espirales en la longitud de empalme por traslape. El espaciamiento

del refuerzo transversal que confina las barras traslapadas no debe exceder al menor entre  $d/4$  y 100 mm; No deben usarse empalmes por traslapo:

- ◆ Dentro de los nudos.
- ◆ En una distancia de dos veces la altura del elemento medida desde la cara del nudo, y
- ◆ Donde el análisis indique fluencia por flexión causada por desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.

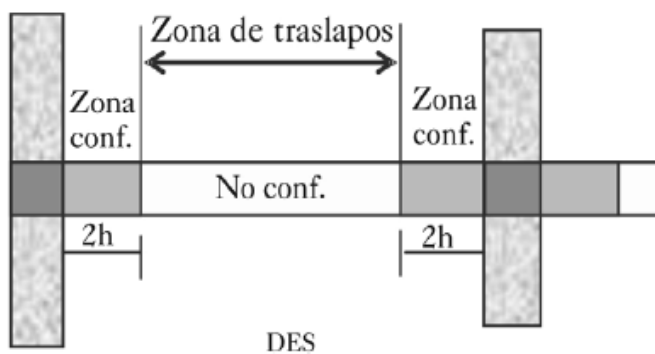


Figura 20. Zonas Confinadas y Traslapos en Vigas - Pórticos Resistentes a Momento DES.  
Adaptado de: (Rochel Awad, 2012).

**5.12.2 Refuerzo Transversal.** Deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en las siguientes regiones de los elementos pertenecientes a pórticos:

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.

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.

El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 50 mm de la cara del elemento de apoyo. (NSR10, 2010)

El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor de los valores encontrados en los siguientes casos: 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. (NSR10, 2010).

Cuando no se requieran estribos cerrados de confinamiento, deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de  $d/2$  en toda la longitud del elemento. (NSR10, 2010).

Figura 4.13 Estribos de confinamiento

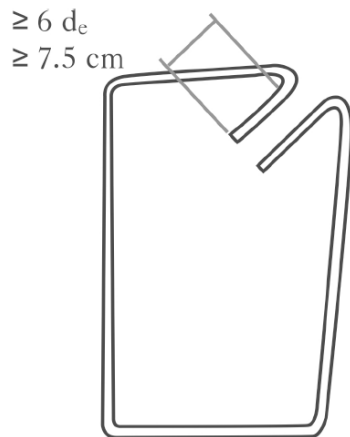


Figura 21. Estribos de Confinamiento.  
Adaptado de: (Rochel Awad, 2012).

### 5.12.3 Requisitos de Resistencia a Cortante.

**5.12.3.1 Fuerzas de Diseño.** La fuerza cortante de diseño,  $V_e$ , se debe determinar a partir de las fuerzas estáticas en la parte del elemento comprendida entre las caras del nudo. Se debe suponer que en las caras de los nudos localizados en los extremos del elemento actúan momentos de signo opuesto correspondientes a la resistencia probable,  $M_{pr}$ , y que el elemento está además cargado con cargas aferentes gravitacionales mayoradas a lo largo de la luz. (NSR10, 2010).

El refuerzo transversal en los lugares identificados en las zonas de confinamiento debe diseñarse para resistir cortante suponiendo  $V_c = 0$  cuando se produzcan simultáneamente (a):

- a. La fuerza cortante inducida por el sismo en la cara del nudo representa la mitad o más de la resistencia máxima a cortante requerida en esas zonas. (NSR10, 2010).

**5.13 Diseño de Columnas.**

**5.13.1 Resistencia Mínima a Flexión de Columnas.** Las resistencias a flexión de las columnas deben satisfacer la ecuación (s), la cual se repite acá por conveniencia. (NSR10, 2010).

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb} \quad (s)$$

**5.13.2 Refuerzo Longitudinal.** El área de refuerzo longitudinal, Ast, no debe ser menor que 0.01Ag ni mayor que 0.04Ag. (NSR10, 2010).

Figura 5.2 Localización de la zona de traslapos en columnas con DES

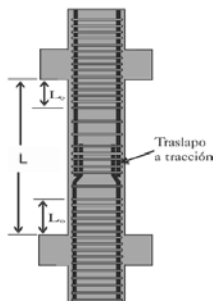


Figura 5.3 Separación y recubrimiento del refuerzo longitudinal en columnas

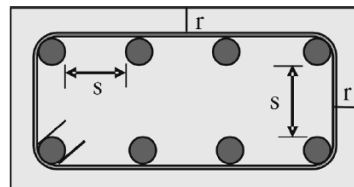


Figura 22. Zonas de Taslapos y Separación del Refuerzo Longitudinal en Columnas DES. Adaptado de: (Rochel Awad, 2012)

**5.13.3 Refuerzo Transversal.** El refuerzo transversal debe suministrarse en una longitud Lo medida desde cada cara del nudo y a ambos lados de cualquier sección donde pueda ocurrir fluencia por flexión como resultado de desplazamientos laterales inelásticos del pórtico. (NSR10, 2010).

La longitud Lo no debe ser menor que la mayor de (a), (b) y (c). (NSR10, 2010).

- 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.

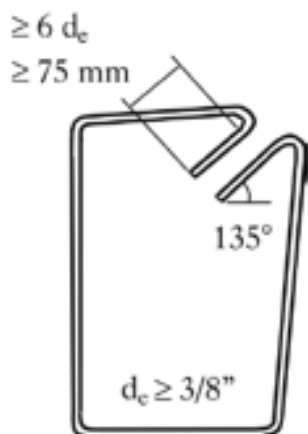


Figura 23. Estribos de Confinamiento con Ganchos Sísmicos.  
Adaptado de: (Rochel Awad, 2012)

La separación del refuerzo transversal a lo largo del eje longitudinal del elemento no debe exceder la menor de (a), (b), y (c):

- a. La cuarta parte de la dimensión mínima del elemento.
- b. Seis veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor, y
- c. So, según lo definido en la ecuación (r). (NSR10, 2010).

$$s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (r)$$

El valor de so no debe ser mayor a 150 mm y no es necesario tomarlo menor a 100 mm.

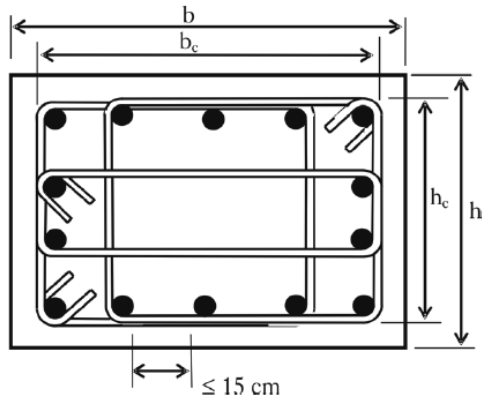


Figura 24. Ejemplo de Confinamiento Empleando Estribos.  
Adaptado de: (Roche Awad, 2012).

Debe proporcionarse refuerzo transversal en las cantidades que se especifican de (a) o (b), a menos que el diseño a cortante exija mayor cantidad.

- 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 (t). (NSR10, 2010).

$$\rho_s = 0.12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (t)$$

El área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento rectangulares,  $A_{sh}$ , no debe ser menor que la requerida por las ecuaciones (u) y (v). (NSR10, 2010).

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

$$A_{sh} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \quad (v)$$

Más allá de la longitud  $L_o$ , especificada anteriormente, el resto de la columna debe contener refuerzo en forma de espiral o de estribo cerrado de confinamiento, que cumpla con (NSR10 C.7.10), con un espaciamiento  $s$ , medido centro a centro que no exceda al menor de seis veces el

diámetro de las barras longitudinales de la columna o 150 mm a menos que el diseño a cortante requieran mayores cantidades de refuerzo transversal. (NSR10, 2010).

#### **5.13.4 Requisitos de Resistencia a Cortante**

**5.13.4.1 Fuerzas de Diseño.** La fuerza de cortante de diseño  $V_e$ , se debe determinar considerando las máximas fuerzas que se puedan generar en las caras de los nudos en cada extremo del elemento.

Estas fuerzas en el nudo se deben determinar usando las resistencias a flexión máximas probables  $M_{pr}$  en cada extremo del elemento, correspondientes al rango de cargas axiales mayoradas  $P_u$ , que actúan en él. No es necesario que las fuerzas cortantes en el elemento sean mayores que aquellas determinadas a partir de la resistencia de los nudos, basada en  $M_{pr}$  de los elementos transversales que llegan al nudo. En ningún caso  $V_e$  debe ser menor que el cortante mayorado determinado a partir del análisis de la estructura. (NSR10, 2010).

**5.13.4.2 Refuerzo Transversal.** El refuerzo transversal en la longitud  $L_o$ , debe diseñarse para resistir el cortante suponiendo  $V_c = 0$  cuando (a) y (b) ocurran simultáneamente. (NSR10, 2010).

El esfuerzo de cortante inducido por sismo, calculado de acuerdo con (NSR10 C.21.6.5.1), representa la mitad o más de la resistencia máxima al cortante requerida dentro de  $L_o$ .

La fuerza axial de compresión mayorada  $P_u$ , incluyendo el efecto sísmico es menor que  $A_g f_c / 20$

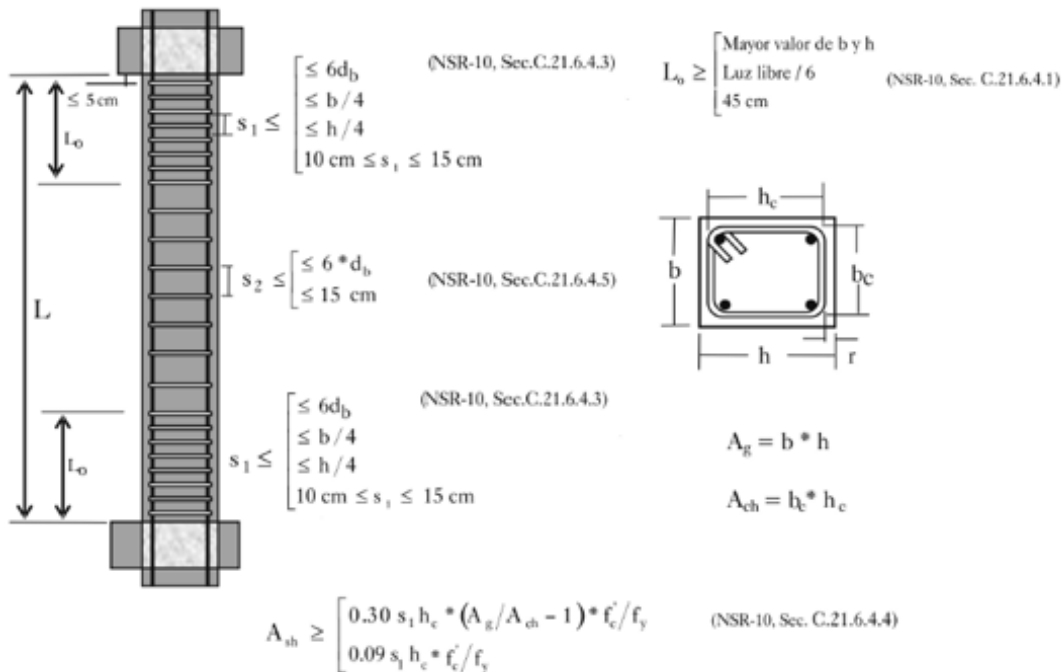


Figura 25. Requisitos del Refuerzo Transversal para Columnas Rectangulares DES. Adaptada de: (Rochel Awad, 2012).

### 5.14 Diseño de Muros

**5.14.1 Refuerzo.** Las cuantías de refuerzo distribuido en el alma,  $\rho_l$  y  $\rho_t$ , para muros estructurales no deben ser menores que 0.0025, excepto que si  $V_u$  no excede de  $0.083 A_c v \lambda \sqrt{f'_c}$ ,  $\rho_l$  y  $\rho_t$  se pueden reducir a los valores requeridos en C.14.3.

El espaciamiento del refuerzo en cada dirección en muros estructurales no debe exceder de 450 mm. El refuerzo que contribuye a  $V_n$  debe ser continuo y debe estar distribuido a través del plano de cortante.

Deben emplearse al menos dos capas de refuerzo cuando  $V_u$  exceda  $0.17 A_c v \lambda \sqrt{f'_c}$ .

El refuerzo en muros estructurales debe estar desarrollado o empalmado para fy en tracción, de acuerdo con el Capítulo (NSR10, 2010, C.12).

En lugares donde es probable que se produzca la fluencia del refuerzo longitudinal como resultado de los desplazamientos laterales, las longitudes de desarrollo del refuerzo longitudinal debe ser 1.25 veces los valores calculados para  $f_y$  en tracción.

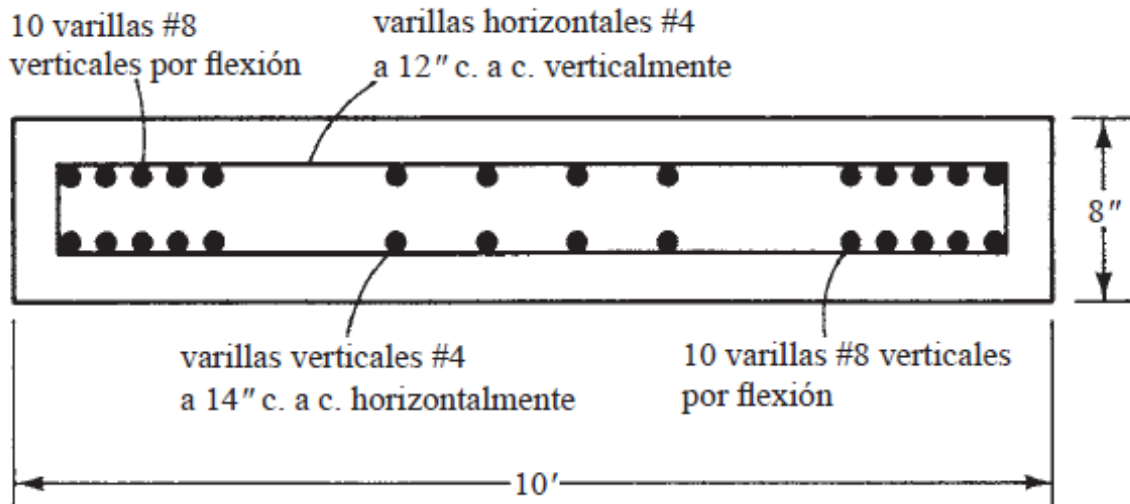


Figura 26. Ejemplo de Distribución de Refuerzo Muro a Cortante.  
Adaptado de: (Maccormac, 2011)

**5.14.2 Fuerzas de Diseño.**  $V_u$  debe obtenerse del análisis para carga lateral de acuerdo con las combinaciones de mayoración de carga. (NSR10, 2010).

**5.14.3 Resistencia al Cortante.**  $V_n$ , de muros estructurales no debe exceder el valor dado por la ecuación (w). (NSR10, 2010).

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (w)$$

Donde el coeficiente  $\alpha_c$  es 0.25 para  $h_w/L_w \leq 1.15$ , 0.17 para  $h_w/L_w = 2.0$ , y varía linealmente entre 0.25 y 0.17, para  $h_w/L_w$  entre 1.5 y 2.0.

El valor de la relación  $h_w/L_w$  empleada para determinar  $V_n$  para segmentos de un muro debe ser la mayor entre aquella para todo el muro y aquella para el segmento de muro considerado. (NSR10, 2010).

Los muros deben tener refuerzo por cortante distribuido que proporcione resistencia en dos direcciones ortogonales en el plano del muro. Si  $h_w/L_w$  no excede de 2.0, la cuantía de refuerzo  $\rho_l$  no debe ser menor que la cuantía de refuerzo  $\rho_t$ . (NSR10, 2010).

### 5.15 Diseño Elementos Acero

El diseño de cada uno de los elementos del edificio en acero estructural fue tomado con su previo permiso del proyecto de investigación de los estudiantes de ingeniería civil UIS Daniela Alejandra Acevedo Ortiz y Luigy Ferney Durán Medina desarrollado en su trabajo de grado: Implementación de una Guía Práctica para el Desarrollo del Análisis y Diseño por Estabilidad de Estructuras en Acero Aplicado a Edificios de Diez Pisos en la Ciudad de Bucaramanga, Santander (Colombia). (Dúran Medina & Acevedo Ortiz, 2017).

### 5.16 Diseño de Zapatas.

**5.16.1 Cargas y Reacciones.** Las zapatas deben diseñarse para resistir las cargas mayoradas y las reacciones inducidas, de acuerdo con los requisitos de diseño apropiados del Reglamento NSR10.

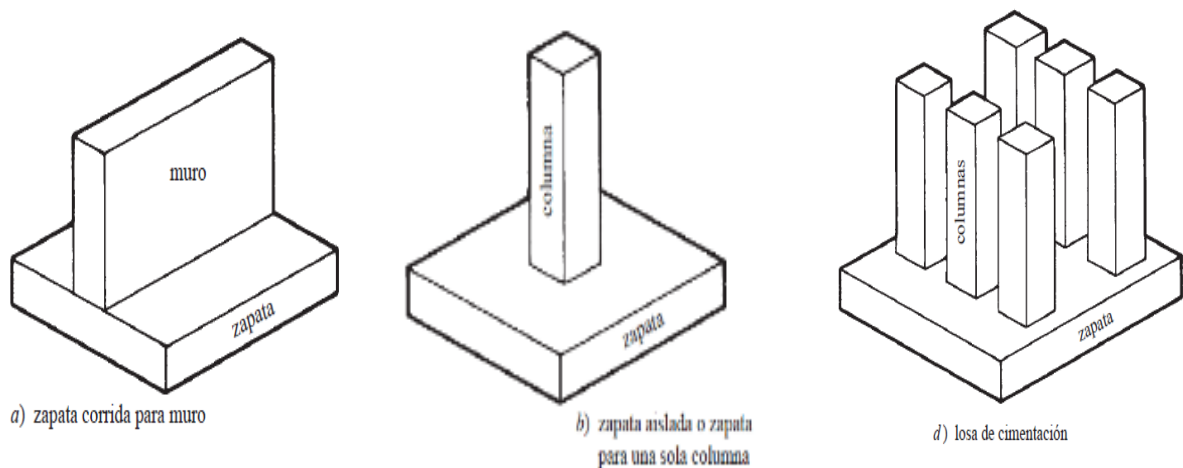


Figura 27. Tipos de Zapatas.  
Adaptado de: (Maccormac, 2011).

Para la localización de las secciones críticas para momentos, cortantes, y longitud de desarrollo del refuerzo en las zapatas, se permite considerar las columnas o pedestales de concreto de forma circular o de polígono regular como elementos cuadrados con la misma área. (NSR10, 2010).

**5.16.2 Momentos en Zapatas.** El momento externo en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano vertical a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical. (NSR10, 2010).

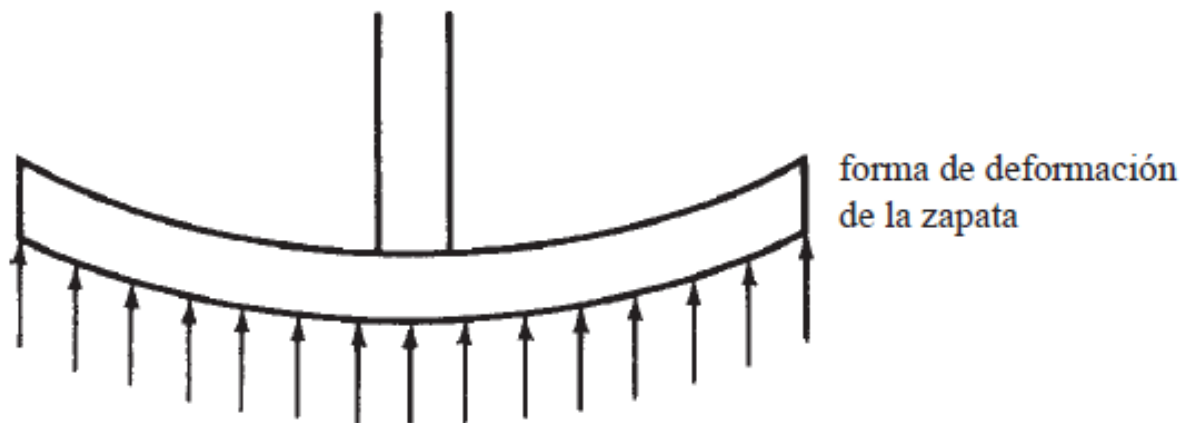


Figura 28. Deformación de la Zapata.  
Adaptado de: (Maccormac, 2011)

El momento máximo mayorado,  $M_u$ , para una zapata aislada debe calcularse en la forma prescrita en el párrafo anterior, para las secciones críticas localizadas como se indica a continuación (NSR10, 2010).

- En la cara de la columna, pedestal o muro, para zapatas que soporten una columna, pedestal o muro de concreto.
- En el punto medio entre el eje central y el borde del muro, para zapatas que soporten muros de albañilería.

- c. En el punto medio entre la cara de la columna y el borde de la platina de base de acero, para zapatas que soporten una columna con platina de acero de base.

En zapatas en una dirección y en zapatas cuadradas en dos direcciones, el refuerzo debe distribuirse uniformemente a lo largo del ancho total de la zapata. (NSR10, 2010).

En zapatas rectangulares en dos direcciones, el refuerzo debe distribuirse como se indica: (NSR10, 2010).

- a. El refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata.
- b. Para el refuerzo en la dirección corta, una porción del refuerzo total,  $\gamma_s A_s$ , debe distribuirse en forma uniforme sobre una franja (centrada con respecto al eje de la columna o pedestal) cuyo ancho sea igual a la longitud del lado corto de la zapata. El resto del refuerzo requerido en la dirección corta,  $(1 - \gamma_s) A_s$ , debe distribuirse uniformemente en las zonas que queden fuera de la franja central de la zapata.  $\gamma_s$  se calcula mediante la ecuación (x). (NSR10, 2010).

$$\gamma_s = \frac{2}{(\beta + 1)} \quad (x)$$

Donde  $\beta$  es la relación del lado largo al lado corto de la zapata.

**5.16.3 Cortante en Zapatas.** La resistencia al cortante de zapatas apoyadas en suelo o en roca, debe cumplir con lo estipulado en (NSR10 C.11.11).

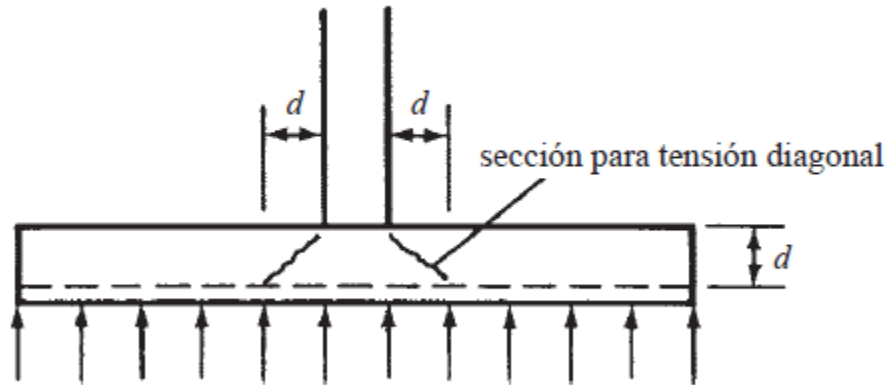


Figura 29. Diseño de Zapatas por Cortante.  
Adaptado de: (Maccormac, 2011)

La ubicación de la sección crítica para cortante de acuerdo con el Capítulo (NSR10 C.11) debe medirse desde la cara de la columna, pedestal o muro. Para zapatas que soporten una columna o un pedestal con platina de acero de base, la sección crítica debe medirse a partir del punto definido en (NSR10 C.15.4.2).

**5.16.4 Altura Mínima de las Zapatas.** La altura de las zapatas sobre el refuerzo inferior no debe ser menor de 150 mm para zapatas apoyadas sobre el suelo, ni menor de 300 mm en el caso de zapatas apoyadas sobre pilotes. (NSR10, 2010).

**5.16.5 Transmisión de Fuerzas en la Base de Columnas, Muros o Pedestales Reforzados.** Las fuerzas y los momentos en la base de columnas, muros o pedestales deben transmitirse al pedestal de apoyo o a la zapata a través del concreto por aplastamiento y mediante refuerzo, pasadores (dowels), y conectores mecánicos. (NSR10, 2010).

## 6. Comparación entre las Características de Comportamiento Estructural, Peso de la Estructura y Consumo de Material.

En esta sección se muestra una tabla comparativa con la características técnicas encontradas durante el análisis estructural entre la edificación de 10 niveles para uso de oficinas, la cual fue diseñada usando un sistema combinado de concreto reforzado y un sistema de pórticos de acero con diagonales concéntricas PAC-DES.

Tabla 28. *Resumen de Comparaciones entre Características de las Edificaciones.*

	CONCRETO REFORZADO	ACERO ESTRUCTURAL
Periodo	0,705 [s] eje x	0,877 1 [s] eje x
	1,238 [s] eje y	1,126 [s] eje y
Masa	7018 Ton	3530 Ton
Solicitaciones máximas en la base.	Fz = 323007[KN] Mx = 4845191[KN.m] My = 6057490[KN.m]	Fz = 156109 [KN] Mx = 2443009 [KN.m] My = 3110000 [KN.m]

De la anterior tabla, la información más relevante es la diferencia en masa del edificio, pues el edificio de acero pesa prácticamente la mitad de la estructura en concreto. Caso similar ocurre con las solicitaciones en la base, las cuales tienen relación directa con la masa del edificio y los efectos sísmicos.

Respecto al consumo de material, una posible forma de hacer esta comparación es a través de las cantidades de obra requeridas incluyendo los valores estimados para cada actividad a ejecutar.

A continuación se evidencia una comparación de los presupuestos requeridos para cada estructura:

Tabla 29. Presupuesto para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado.

DESCRIPCION	UND	CANT	Valor Unitario	Valor Parcial
<b>PRELIMINARES</b>				
Replanteo y localizacion para arquitectura, sobre terreno	m2	12300,86	\$ 5.114,00	\$ 62.906.598,04
Descapote manual con retiro	m2	60,00	\$ 8.251,00	\$ 495.060,00
Descapote a maquina, incluye transporte y disposicion final	m2	48,00	\$ 11.925,00	\$ 572.400,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>63.974.058,04</b>
<b>EXCAVACIONES Y RELLENOS</b>			\$ -	
Excavacion a mano en material comun.	m3	777,70	\$ 36.538,00	\$ 28.415.602,60
Excavacion mecanica con retiro de material	m3	240,00	\$ 17.888,00	\$ 4.293.120,00
Relleno compactado en material común	m3	20,00	\$ 51.252,00	\$ 1.025.040,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>33.733.762,60</b>
<b>CIMENTOS</b>			\$ -	
Zapata de cimentación de concreto armado, realizada con concreto f'c=21 MPa	m3	270,00	\$ 383.918,00	\$ 103.657.860,00
Zapata corrida de cimentación, de concreto armado, realizada con concreto f'c=21 MPa	m3	437,00	\$ 407.860,00	\$ 178.234.820,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>281.892.680,00</b>
<b>ESTRUCTURAS DE CONCRETO</b>			\$ -	
Muro de concreto armado f'c=28 Mpa	m3	524,10	\$ 1.051.920,00	\$ 551.311.272,00
Losa aligerada de concreto armado con caseton perdido f'c=21 Mpa	m2	11182,60	\$ 282.179,00	\$ 3.155.494.885,40
Escalera de concreto, con losa de escalera, e=15 cm, f'c=21 MPa	m2	76,20	\$ 1.851.039,00	\$ 141.049.171,80
Columna de concreto armado, cm f'c=28 Mpa	m3	254,80	\$ 986.707,00	\$ 251.412.943,60
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>4.099.268.272,80</b>
<b>Costo Directo del Proyecto con Concreto Reforzado</b>				\$ <b>4.478.868.773,44</b>

Tabla 30. Presupuesto para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Acero Estructural.

DESCRIPCION	UND	CANT	Valor Unitario	Valor Parcial
<b>PRELIMINARES</b>				
Replanteo y localización para arquitectura, sobre terreno	m2	12300,86	\$ 5.114,0	\$ 62.906.598
Descapote manual con retiro	m2	60,00	\$ 8.251,0	\$ 495.060
Descapote a maquina, incluye transporte y disposición final	m2	48,00	\$ 11.925,0	\$ 572.400
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>63.974.058</b>
<b>EXCAVACIONES Y RELLENOS</b>			\$ -	
Excavación a mano en material común.	m3	418,11	\$ 36.538,0	\$ 15.276.903
Excavación mecánica con retiro de material	m3	240,00	\$ 17.888,0	\$ 4.293.120
Relleno compactado en material común	m3	20,00	\$ 51.252,0	\$ 1.025.040
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>20.595.063</b>
<b>CIMIENOS</b>			\$ -	
Zapata de cimentación de concreto armado, realizada con concreto $f_c=21$ MPa	m3	117,90	\$ 383.918,0	\$ 45.263.932
Zapata corrida de cimentación, de concreto armado, realizada con concreto $f_c=21$ MPa	m3	262,20	\$ 407.860,0	\$ 106.940.892
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>152.204.824</b>
<b>ESTRUCTURAS DE ACERO</b>			\$ -	
Acero en columnas A36	kg	191308,76	\$ 5.763,0	\$ 1.102.512.355
Acero en vigas A36	kg	331301,57	\$ 5.763,0	\$ 1.909.290.936
Ariostramiento (Sistema Pac-Des)	kg	24728,76	\$ 5.763,0	\$ 142.511.844
Losa entrepisos en metaldeck con lamina colaborante	m2	11182,60	\$ 123.273,0	\$ 1.378.512.650
Muro de concreto armado $f_c=28$ Mpa	m3	296,40	\$ 898.507,0	\$ 266.317.475
Escalera metálica	und	10,00	\$ 11.318.872,0	\$ 113.188.720
Pletina de Acero A-36 (425x425)	und	10,00	\$ 124.995,0	\$ 1.249.950
Pletina de Acero A-36 (325x310)	und	10,00	\$ 100.995,0	\$ 1.009.950
Pletina de Acero A-36 (475x390)	und	8,00	\$ 134.100,0	\$ 1.072.800
<b>SUBTOTAL</b>			\$ -	\$ <b>4.915.666.680</b>
<b>Costo Directo del Proyecto con Estructura en Acero</b>				\$ <b>5.152.440.625</b>

Al comparar la tabla correspondiente al presupuesto para un proyecto en concreto, respecto a la tabla correspondiente a la estructura en acero, es evidente primero: que las cantidades de material y costos para la ejecución de la obra correspondientes al capítulo de preliminares tanto en una como en otra son iguales; segundo, en los capítulos de cimientos, excavaciones y rellenos, los ítems son iguales, las cantidades y los costos son mayores para el caso de la construcción con estructuras en concreto reforzado; por último, en el caso del capítulo de las estructuras, lo que se observa es que las actividades, son muy diferentes, por lo tanto no tiene sentido en comparar las cantidades, sin embargo, lo más relevante en este caso es que el valor de la estructura en concreto es más económica.

Por una parte, el valor inicial del edificio en concreto es el 87% del valor del edificio en Acero Estructural ( $4.48 / 5.15 = 87\%$ ).

Por otra parte, respecto al tiempo de ejecución de obra se puede observar a continuación que la construcción es más rápida en la estructura de acero ya que no hay retrasos en obra por razones de tipo constructivo, lo que no ocurre con el edificio en concreto ya que como es conocido, requiere tiempo de espera necesario para garantizar la estabilidad del edificio, por ejemplo los tiempos en fraguado y curado del concreto.

En conclusión, para este caso, el tiempo de construcción de la estructura en acero equivale al 57% del tiempo requerido para ejecutar la obra de construcción en concreto.

Ahora bien, en las siguientes graficas se puede apreciar las programaciones de obras para las dos estructuras analizadas en este proyecto de grado:

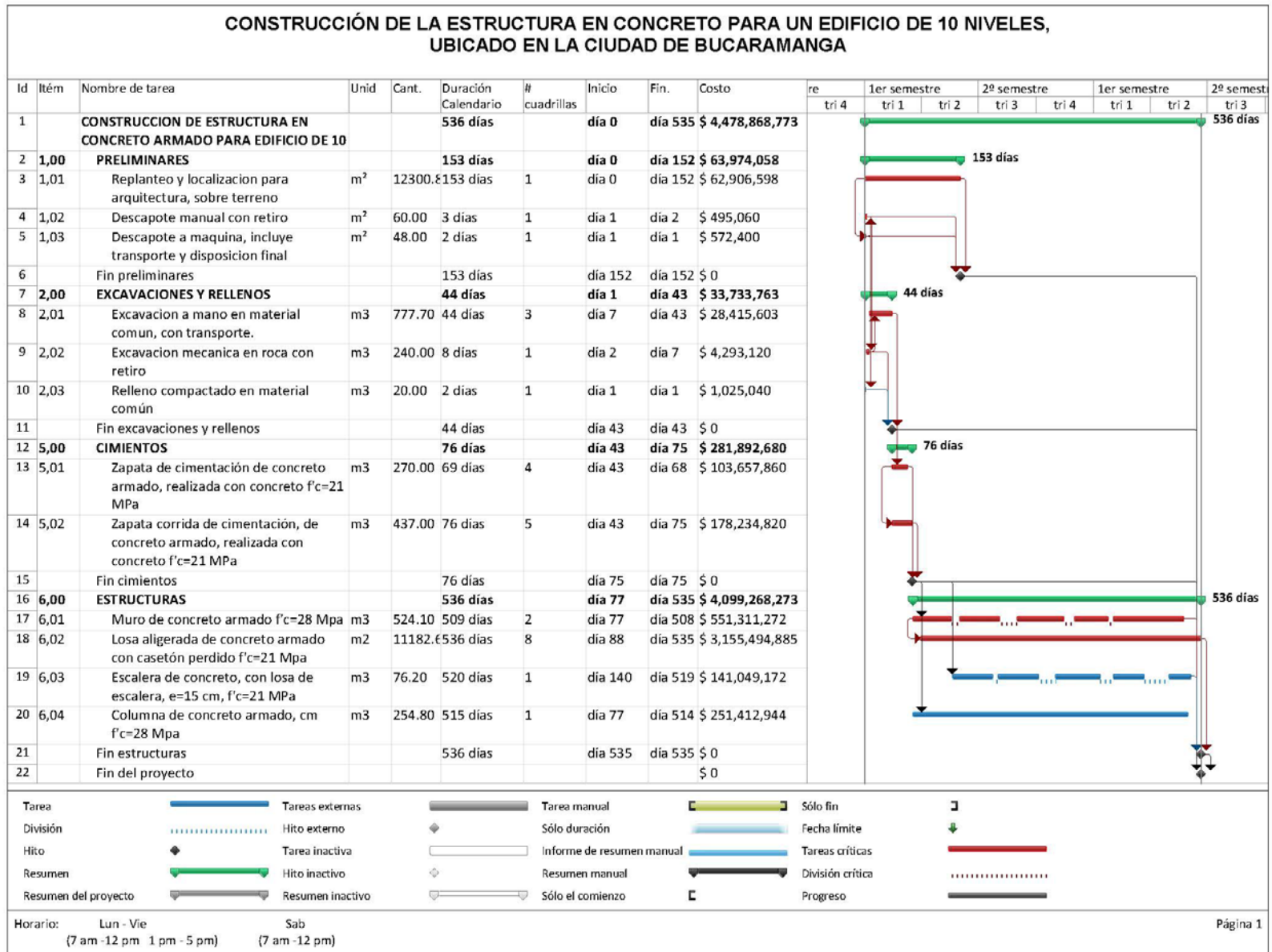


Figura 30 Programación de Obra para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado.

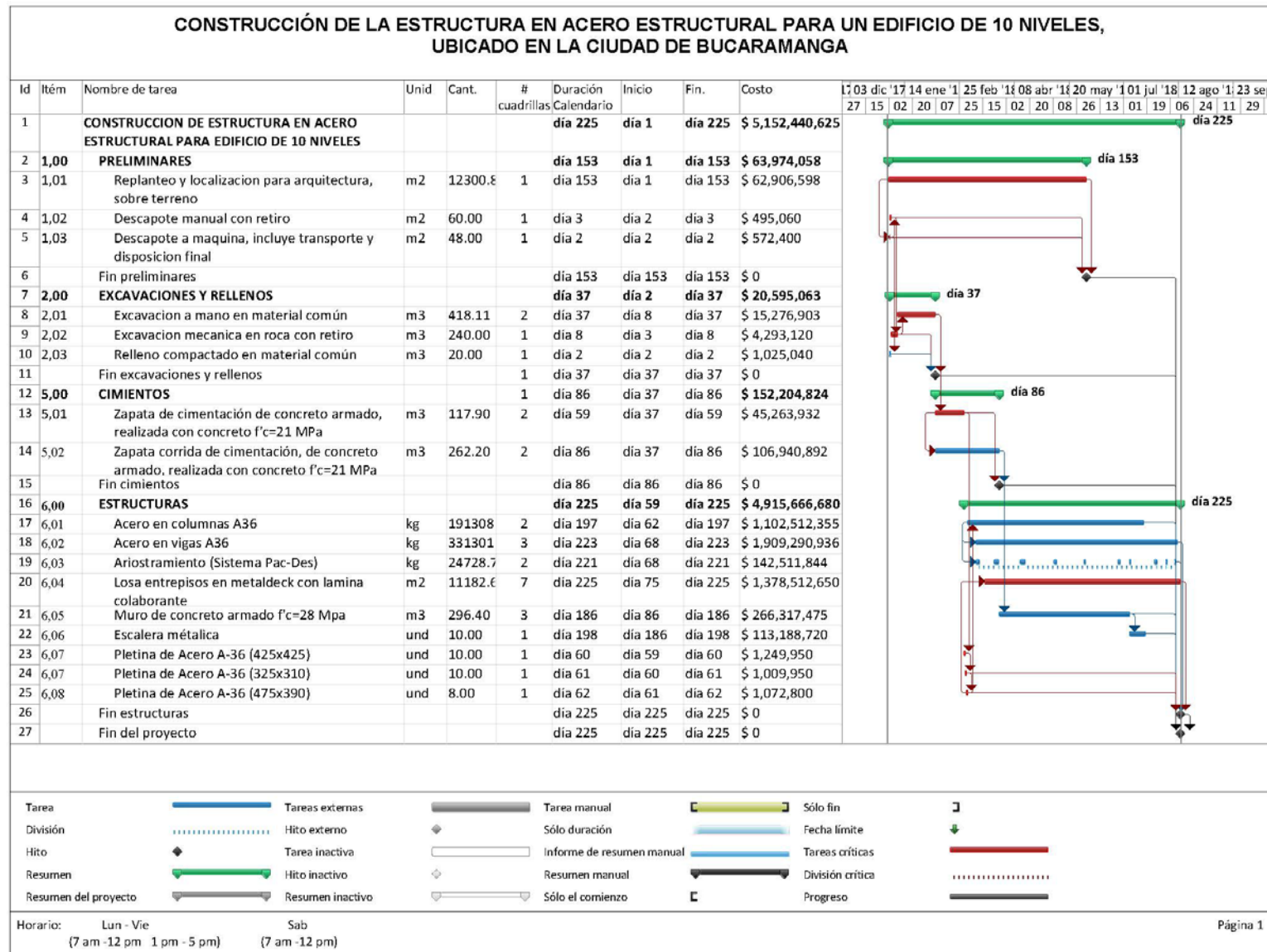


Figura 31. Programación de Obra para Construir un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Acero Estructural.

A partir de la programación de obra, se procede a proyectar el flujo de caja con la cual se crean las curvas “S” de cada una de las alternativas: Estructura en Concreto Reforzado y Estructura con Acero, tal y como se muestra a continuación:

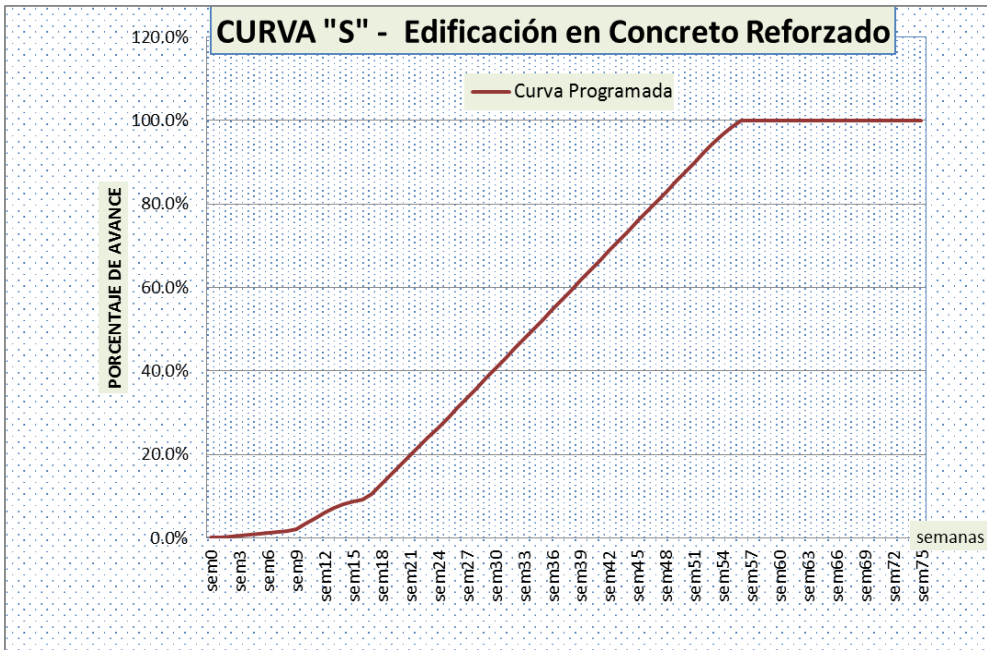


Figura 32. Curva “S” – Construcción de un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado.

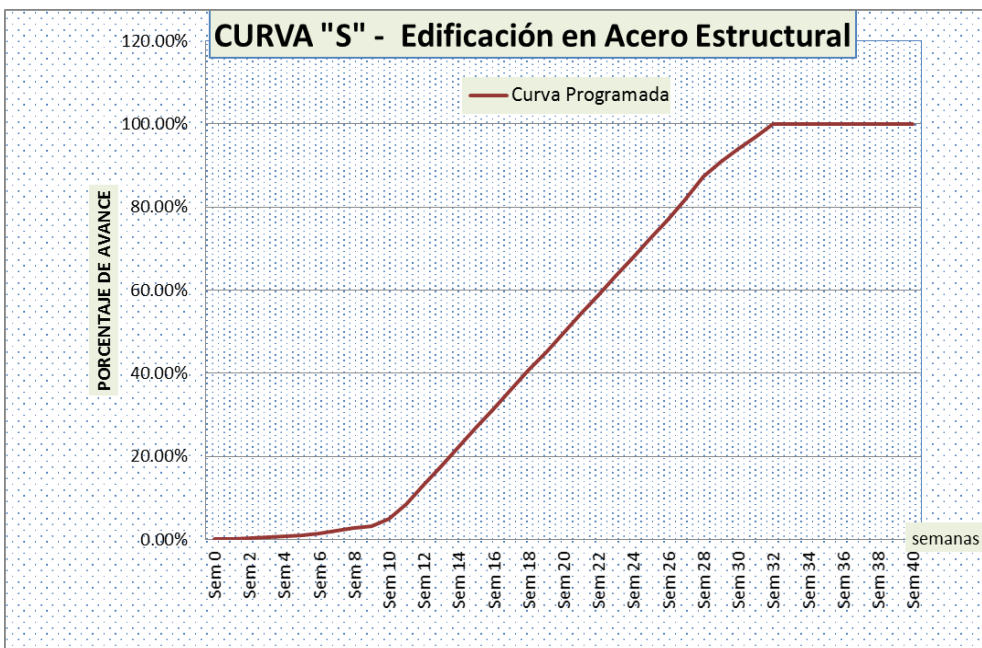


Figura 33. Curva “S” – Construcción de un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Acero Estructural.

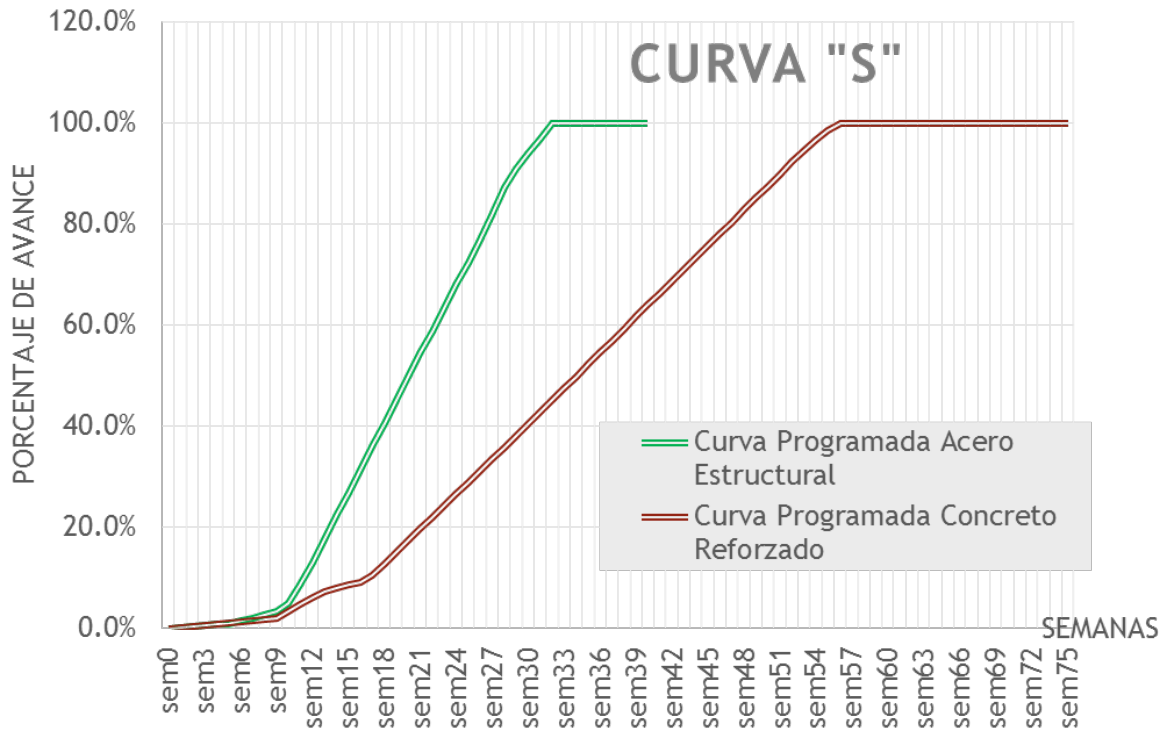


Figura 34. Curva “S” – Construcción de un Edificio de 10 Niveles Usando Estructura en Concreto Reforzado y Acero Estructural.

Finalmente y como se ha mencionado anteriormente, para la estrategia de manejo de la inversión o flujos de caja y la proyección del avance en cada proyecto, se procede a utilizar la curva “S”, encontrando lo siguiente: en las dos curvas el comportamiento es similar en su forma, mostrando que inicialmente la inversión de recursos es relativamente baja hasta la semana 6 en el caso del acero y la semana 9 para la construcción en concreto reforzado; posteriormente el avance de la obra y la inversión financiera es prácticamente lineal hasta alcanzar el 100% de la obra, semana 32 para el caso del acero estructural y la semana 56 para el concreto reforzado, es decir, 24 semanas después.

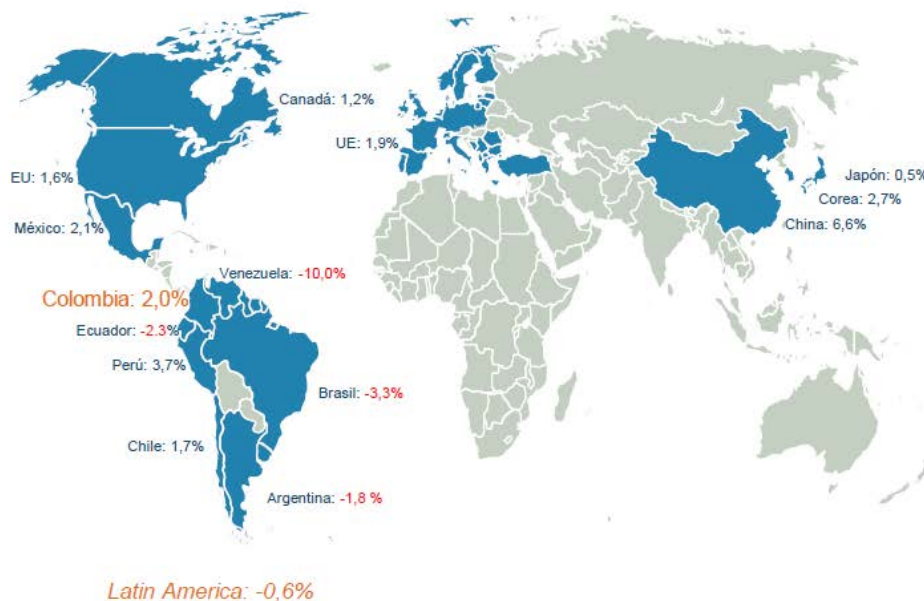
## 7. Factibilidad de Construcción de una Edificación de 10 Pisos en Acero Estructural en la Ciudad de Bucaramanga

Para realmente llegar a una conclusión acertada sobre la factibilidad y viabilidad de la construcción de edificaciones en acero estructural en la ciudad de Bucaramanga, primero es necesario conocer algunos datos históricos de la situación del acero a nivel mundial, nacional y local.

### 7.1 Situación del Acero a Nivel Mundial

Lo primero que se debe observar es la situación económica global, la cual se ilustra en la siguiente imagen.

PIB: 2016



Fuente: FMI Octubre 2016, Banco de la República

Figura 35. Situación Económica Global 2016.

Adaptada de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero, conferencia: ¿Hacia Dónde Va el Acero en el Mundo?

La anterior imagen, muestra la situación actual del crecimiento económico, observando que algunos países de Latinoamérica se encuentran con valores negativos, a pesar de esto, el valor del PIB correspondiente a Colombia es ligeramente positivo. También puede observarse en la siguiente tabla la variación de este indicador durante los tres años anteriores.

Tabla 31. *Situación Económica Global – Producto Interno Bruto.*

PIB (variación anual)	2014	2015	2016
Mundo	3,40%	3,50%	3,80%
Países Desarrollados	1,80%	2,40%	2,40%
Países Emergentes	4,60%	4,30%	4,70%
China	7,40%	6,80%	6,30%
América Latina	1,30%	0,90%	2,00%

Adaptado de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero, conferencia: ¿Hacia Dónde Va el Acero en el Mundo? (Lesmes, 2017).

Ahora bien, teniendo como preámbulo la situación económica mundial de los años anteriores, entonces se puede apreciar en contexto, como ha sido el comportamiento de la producción de acero a nivel mundial a través de la siguiente figura.



Figura 36. Evolución Reciente de la Producción Mundial de Acero.

Adaptado de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero, conferencia: ¿Hacia Dónde Va el Acero en el Mundo?

Como es de esperarse, ese comportamiento histórico de la producción de acero ha sido el producto y el esfuerzo mancomunado de muchas empresas privadas y gobiernos que han apoyado al sector del acero mediante políticas, recursos, desarrollo de obras de infraestructura, entre otras, jalonado fuertemente el sector de la construcción. Como es de esperarse algunas empresas multinacionales son las que lideran la producción y la distribución de este material de construcción, a continuación se muestra el ranking mundial de las principales empresas de acero según volumen de ingresos 2015.

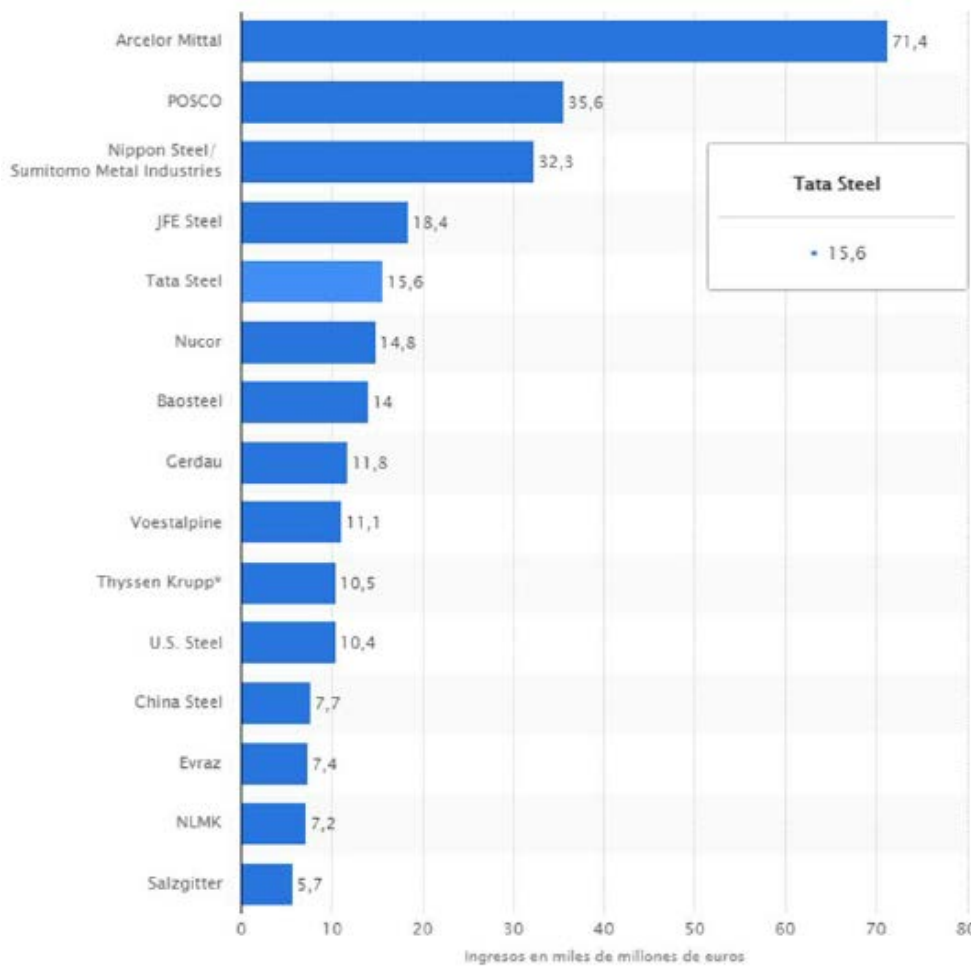


Figura 37. Ranking mundial de las principales empresas de acero según volumen de ingresos 2015  
 Adaptado de: VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero, conferencia: ¿Hacia Dónde Va el Acero en el Mundo?

Del anterior ranking, se puede apreciar que en la posición #8 se encuentra una empresa que tiene amplia cobertura en nuestro país.

Gerdau es líder en el segmento de aceros largos en las Américas y una de las principales proveedoras de aceros largos especiales del mundo. En Brasil, también produce aceros planos y mineral de hierro, actividades que están ampliando el mix de productos ofrecidos al mercado y la competitividad de las operaciones. Cuenta con más de 45 mil colaboradores y posee plantas industriales en 14 países en las Américas, Europa y Asia, que suman una capacidad instalada superior a 25 millones de toneladas de acero por año. Además, es la mayor recicladora de Latinoamérica y, en el mundo, transforma anualmente millones de toneladas de chatarra de acero, reforzando su compromiso con el desarrollo sostenible de las regiones en las que actúa. Con más de 120 mil accionistas, las acciones de las empresas Gerdau están listadas en las bolsas de valores de São Paulo, Nueva York y Madrid. (Gerdau, 2017).

## **7.2 Situación del Acero a Nivel Latinoamericano y la Participación de Colombia.**

Para revisar la situación actual del acero a nivel de Latinoamérica, se mostraran algunas tablas con datos recopilados en la revista *América Latina en cifras 2016*, la cual es publicada por la Asociación Latinoamericana del Acero (ALACERO).

La Asociación Latinoamericana del Acero es la entidad civil sin fines de lucro que reúne a la cadena de valor del acero de América Latina para fomentar los valores de integración regional, innovación tecnológica, excelencia en recursos humanos, responsabilidad empresarial y sustentabilidad socio - ambiental. Fundada en 1959, está integrada por 49 empresas de 12 países, cuya producción cercana a las 70 millones de toneladas anuales.

Alacero está reconocida como Organismo Consultor Especial por las Naciones Unidas, y como Organismo Internacional No Gubernamental por parte del Gobierno de la República de Chile, país sede de la Dirección General. (Alacero, 2017).

Tabla 32. *Producción de Acero Laminado en Latinoamérica.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
Argentina	298	397	382	1.391
Variación % 2017/2016	26%	6%	7%	6%
Brasil	1.700	1.940	1.884	7.301
Variación % 2017/2016	0%	11%	15%	9%
Chile	95	93	93	358
Variación % 2017/2016	5%	4%	4%	1%
Colombia	154	168	157	628
Variación % 2017/2016	-3%	5%	11%	6%
Costa Rica	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	124
Variación % 2017/2016	-13%	-6%	2%	-7%
Ecuador	<b>60</b>	<b>58</b>	<b>61</b>	241
Variación % 2017/2016	3%	-8%	6%	-1%
El Salvador	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	28
Variación % 2017/2016	-11%	-38%	-33%	-28%
Guatemala	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	148
Variación % 2017/2016	-8%	-14%	-15%	-8%
México	1.483	1.568	1.552	6.200
Variación % 2017/2016	-1%	3%	-1%	1%
Perú	104	124	<b>118</b>	470
Variación % 2017/2016	-13%	-1%	-9%	-4%
Rep. Dominicana	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	154
Variación % 2017/2016	-7%	-9%	-3%	-9%
Uruguay	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	16
Variación % 2017/2016	41%	-58%	-19%	-21%
Venezuela	47	44	37	175
Variación % 2017/2016	-19%	40%	52%	-8%
América Latina	4.067	4.518	4.415	17.275
Variación % 2017/2016	0%	6%	7%	4%

Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Total América Latina incluye países mencionados más Cuba y Paraguay. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 57).

De la anterior tabla, Colombia representa el 3,6% (628/17.275) de la producción de acero en Latinoamérica, adicionalmente presenta un incremento del 6,0% respecto al mismo periodo del año anterior.

Tabla 33. *Consumo de Acero Laminado en Latinoamérica.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
Argentina	294	372	365	1.344
Variación % 2017/2016	5%	-14%	-12%	-11%
Brasil*	1.399	1.720	1.359	5.928
Variación % 2017/2016	2%	4%	-9%	1%
Chile	186	283	216	908
Variación % 2017/2016	-11%	20%	24%	3%
Colombia	290	402	351	1.355
Variación % 2017/2016	-18%	30%	27%	7%
Costa Rica	560	78	<b>71</b>	810
Variación % 2017/2016	743%	-4%	45%	217%
Ecuador	58	146	94	397
Variación % 2017/2016	-58%	5%	-15%	-25%
El Salvador	74	42	88	304
Variación % 2017/2016	143%	95%	282%	193%
Guatemala	20	37	67	176
Variación % 2017/2016	-69%	-41%	1%	-43%
México	2.009	2.365	2.189	8.844
Variación % 2017/2016	3%	13%	-1%	6%
Perú	234	297	220	979
Variación % 2017/2016	-11%	26%	-21%	-7%
Rep. Dominicana	38	40	39	154
Variación % 2017/2016	2%	0%	7%	0%
Uruguay	12	19	15	61
Variación % 2017/2016	10%	3%	7%	4%
Venezuela	<b>54</b>	<b>60</b>	<b>48</b>	219
Variación % 2017/2016	-7%	43%	2%	-8%
América Latina	5.343	5.970	5.256	22.445
Variación % 2017/2016	8%	8%	-2%	7%

Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. \* Consumo de Brasil proporcionado por el Instituto Aço Brasil, según su metodología interna (Ventas internas + Importaciones). Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Total América Latina incluye países mencionados más Bolivia, Honduras y Panamá. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 57).

De la anterior tabla, Colombia representa el 6,0% (1.355/22.445) del consumo de acero en Latinoamérica, adicionalmente presenta un incremento del 7,0% respecto al mismo periodo del año anterior.

Tabla 34. *Producción de Largos en Latinoamérica.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
Argentina	110	135	133	480
Brasil	672	747	727	2.867
Chile	95	93	93	358
Colombia	111	121	116	452
Costa Rica	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	124
Cuba	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	33
Ecuador	<b>60</b>	<b>58</b>	<b>61</b>	241
El Salvador	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	28
Guatemala	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	148
México	729	796	709	2.955
Paraguay	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	8
Perú	99	121	<b>113</b>	452
Rep. Dominicana	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	138
Uruguay	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	16
Venezuela	23	21	11	66
América Latina	2.022	2.214	2.088	8.365
Variación % 2017/2016	-4%	4%	-3%	0%

Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 58).

De la anterior tabla, Colombia representa el 5,4% (452/8.365) de la producción de Largos en Latinoamérica. Entre los aceros denominados largos tenemos a los alambrones, alambres recocidos y galvanizados, mallas, barras de acero, perfiles, entre otros.

Tabla 35. *Producción de Planos en Latinoamérica.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
Argentina	174	218	197	770
Brasil	1.028	1.193	1.157	4.434
Colombia	43	46	41	177
México	676	678	768	2.911
Perú	5	3	5	19
Rep. Dominicana	3	4	5	16
Venezuela	24	23	26	109
América Latina	1.953	2.166	2.199	8.435
Variación % 2017/2016	3%	4%	15%	7%

Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 57).

De la anterior tabla, Colombia representa el 2,1% (177/8.435) de la producción de Planos en Latinoamérica. Los aceros denominados Planos son productos de sección transversal rectangular cuyo ancho es muy superior al espesor, por ejemplo las platinas o laminas y las hojas.

Tabla 36. *Producción de Tubos sin Costura en Latinoamérica.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
Argentina	13	44	52	141
Brasil*	-	-	-	-
México	79	95	75	334
América Latina	92	138	127	475
Variación % 2017/2016	40%	94%	51%	57%

Tomado de: Revista Acero Latinoamericano. \* Producción de tubos sin costura de Brasil está considerada en el cuadro Producción de largos. Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 58).

De la anterior tabla, Colombia representa el 0% (0/17.275) de la producción de Tubos sin Costura en Latinoamérica.

Tabla 37. *Producción de Acero Crudo.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
<b>Argentina</b>	<b>305</b>	<b>392</b>	<b>367</b>	<b>1.356</b>
Variación % 2017/2016	-10%	23%	15%	4%
<b>Brasil</b>	<b>2.572</b>	<b>2.848</b>	<b>2.895</b>	<b>11.143</b>
Variación % 2017/2016	6%	14%	26%	14%
<b>Chile</b>	<b>91</b>	<b>109</b>	<b>91</b>	<b>389</b>
Variación % 2017/2016	-9%	4%	-2%	-2%
<b>Colombia</b>	<b>109</b>	<b>117</b>	<b>105</b>	<b>424</b>
Variación % 2017/2016	-9%	2%	16%	0%
<b>Cuba</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>68</b>
Variación % 2017/2016	32%	-43%	-14%	-14%
<b>Ecuador</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>186</b>
Variación % 2017/2016	-1%	-8%	-7%	-4%
<b>El Salvador</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>31</b>
Variación % 2017/2016	-6%	-14%	-14%	-9%
<b>Guatemala</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>95</b>
Variación % 2017/2016	-13%	-22%	-3%	-11%
<b>México</b>	<b>1.652</b>	<b>1.701</b>	<b>1.578</b>	<b>6.610</b>
Variación % 2017/2016	16%	26%	3%	16%
<b>Paraguay</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
Variación % 2017/2016	-71%	-83%	-56%	-56%
<b>Perú</b>	<b>93</b>	<b>104</b>	<b>99</b>	<b>395</b>
Variación % 2017/2016	3%	4%	-4%	11%
<b>Uruguay</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>18</b>
Variación % 2017/2016	-57%	-46%	25%	-7%
<b>Venezuela</b>	<b>37</b>	<b>49</b>	<b>61</b>	<b>173</b>
Variación % 2017/2016	69%	384%	354%	73%
<b>América Latina</b>	<b>4.960</b>	<b>5.417</b>	<b>5.295</b>	<b>20.893</b>
Variación % 2017/2016	10%	20%	18%	16%

Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 58).

De la anterior tabla, Colombia representa el 2,0% (424/20.893) de la producción de acero en Latinoamérica, adicionalmente presenta un incremento del 0,0% respecto al mismo periodo del año anterior.

Tabla 38. *Producción de Hierro Primario en Latinoamérica.*

País	Feb 2017	Mar 2017	Abr 2017	Acumulado Ene/Abr 2017
Argentina	220	348	338	1.153
Variación % 2017/2016	-11%	30%	48%	11%
Brasil	2.060	2.353	2.401	9.092
Variación % 2017/2016	8%	14%	31%	15%
Chile	51	57	54	221
Variación % 2017/2016	-8%	1%	2%	-1%
Colombia	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	58
Variación % 2017/2016	780%	-59%	-40%	-17%
México	836	903	837	3.401
Variación % 2017/2016	12%	39%	5%	18%
Paraguay	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	10
Variación % 2017/2016	-62%	-73%	-36%	-44%
Perú	-	-	-	-
Variación % 2017/2016	-	-	-	-
Venezuela	34	66	56	209
Variación % 2017/2016	55%	436%	74%	70%
América Latina	3.217	3.741	3.704	14.144
Variación % 2017/2016	8%	21%	24%	15%

Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. Cifras en negrita son estimadas, cifras en miles de toneladas. Estadísticas al 20 de junio de 2017. (Alacero, 2017, pág. 58).

De la anterior tabla, Colombia representa el 0,4% (628/17.275) de la producción de Hierro Primario en Latinoamérica, adicionalmente presenta una disminución del 17,0% respecto al mismo periodo del año anterior.

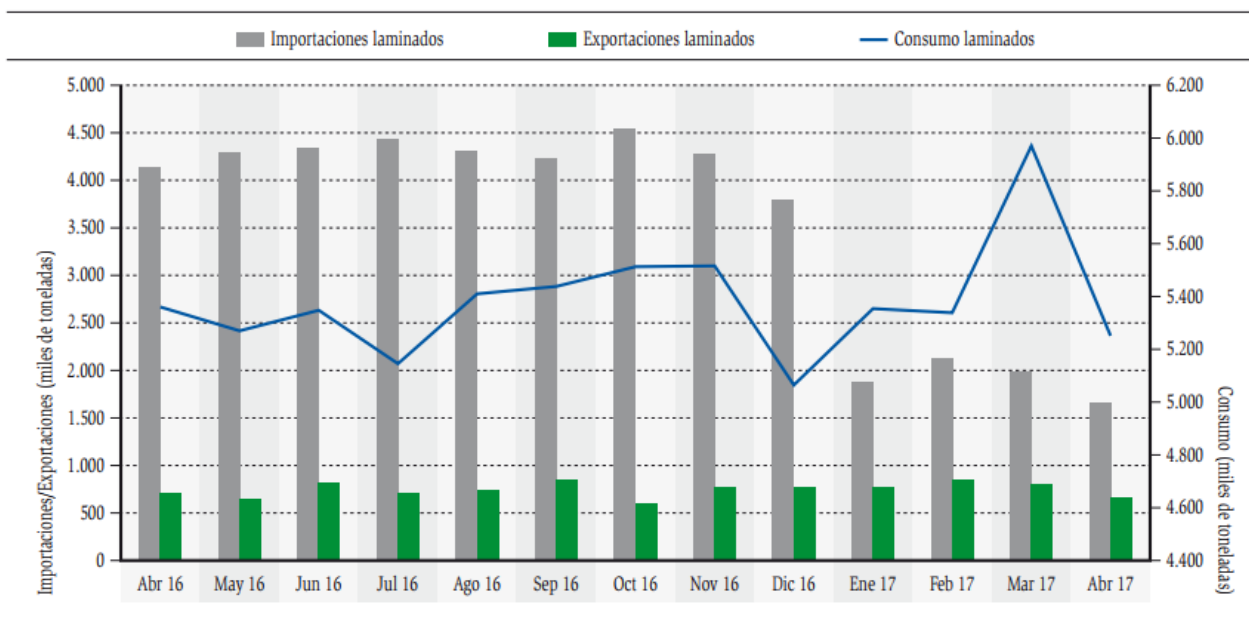


Figura 38. América Latina: Comportamiento de Comercio Siderúrgico – Abril 2016 a Abr 2017. Adaptado de: Revista Acero Latinoamericano. (Alacero, 2017, pág. 58)

De la figura anterior se pueden hacer varias observaciones relacionadas con el comportamiento mes a mes del mercado del acero laminado en Latinoamérica.

Respecto al consumo de laminados se aprecia que el mercado es bastante fluctuante, por ejemplo, en solo 4 meses (diciembre 2016 a mayo 2017), se alcanzan valores mínimos y máximos de la serie con un incremento superior al 100% durante este periodo y justo después de alcanzar el pico en el mes de mayo de 2017, para el siguiente mes, es decir, para el mes de abril de 2017 la curva del consumo de acero laminado, disminuye estrepitosamente.

Ahora bien, si se comparan las otras dos gráficas, es evidente notar que las importaciones de acero laminado superan con creces las exportaciones realizadas durante el periodo mostrado.

Para resaltar lo anterior y de acuerdo con la figura, se puede afirmar que las exportaciones del material de acero laminado siempre están por debajo de las 800.000 toneladas, mientras que las importaciones de acero laminado se encuentran en un rango de las 5.000.000 toneladas y 6.020.000 toneladas de material.

### **7.3 Situación del Acero a Nivel Nacional.**

Como se pudo apreciar en las estadísticas mostradas anteriormente con los datos de producción, consumo y mercado del acero a nivel latinoamericano, la participación de nuestro país es muy baja y por ende, a nivel mundial es insignificante, no obstante la expectativa a corto, mediano y largo plazo es incrementar sustancialmente la producción y el consumo de este material. (Alacero, 2017, pág. 58).

Con ese objetivo en el país se han creado gremios y asociaciones que buscan promocionar el uso y las aplicaciones del acero en el sector de la construcción, entre esas asociaciones tenemos como ejemplo las siguientes: La Cámara Fedemetal, el Instituto Colombiano de la Construcción con Acero [ICCA], La Cámara Colombiana del Acero [CAMACERO].

- La Cámara Fedemetal, como parte de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI], principal gremio del país, cumple los objetivos de dicha asociación y adicionalmente, busca ser el vocero principal de la cadena que representa, analizar la información estadística sub-sectorial, participar en las negociaciones internacionales, y en general, realizar todas aquellas actividades que beneficien a los sectores que componen la cadena productiva, buscando que sean más competitivos. (ANDI, 2014)
- El Instituto Colombiano de la Construcción con Acero, es una asociación sin ánimo de lucro, fundada en 2.014, que nace como resultado del trabajo emprendido por un grupo de

profesionales y empresarios, que por más de 20 años han aportado a la evolución, crecimiento y buen uso de las estructuras de acero en Colombia. El respeto a las normas nacionales e internacionales es la base de su labor académica, la cual divulga a través de acciones de formación, publicaciones, encuentros internacionales y proyectos específicos enfocados en el crecimiento y desarrollo del sector de la construcción con acero.

Reúne a los diferentes actores de la cadena de valor del acero como son fabricantes, montadores, proveedores, consultores, profesionales independientes, asociaciones técnicas, entidades educativas y estudiantes, todos ellos agrupados en 6 regionales que cubren todo el país. (ICCA, 2017)



Figura 39. Distribución de Regionales para el Instituto Colombiano de la Construcción con Acero. Adaptado de: <http://www.icca.com.co/quienes-somos/>. (ICCA, 2017)



Figura 40. Conformación Actual de Socios del Instituto Colombiano de la Construcción con Acero. Adaptado <http://www.icca.com.co/quienes-somos/>. (ICCA, 2017)

- La Cámara Colombiana del Acero, CamAcero, es un nuevo gremio que aglutina a las empresas que tienen relación con la importación, distribución, producción, transformación, construcción y uso del acero. (CAMACERO, 2017)

Cabe resaltar que la promoción y fomento del uso del acero por parte de estas agremiaciones se da con el fin de incrementar la demanda, aplicación y más allá de esto, la fabricación de este material como una opción viable que aporte al desarrollo del país, ya que a pesar de las ya conocidas ventajas de la construcción con acero, los gastos de importación de materiales incrementan a su vez la inversión financiera de los proyectos, por lo cual muchos empresarios y contratistas prefieren construir en concreto reforzado.

Según cifras de Camacero, Colombia importó en el año 2015: 2.490.952 toneladas de acero, 397.532 toneladas menos que en 2014. Desde 2014, China es el principal país que exporta acero a Colombia quitándole el primer lugar a México. La principal ciudad por donde entra el acero

al país es Barranquilla con el 69% de las importaciones, el principal puerto es Coremar Palermo y el principal importador, la organización G&J (CAMACERO, 2017).

Esto debido a que en el país solo existen cinco empresas siderúrgicas dedicadas exclusivamente a la producción de aceros largos con capacidad solo de 1.900.000 toneladas las cuales se comercializan básicamente en su zona de influencia, dejando desabastecido el sector de la construcción con un déficit que conduce a la necesidad de importar de países productores de acero a gran escala.

La producción de acero en Colombia tiene como insumo el proceso de chatarrización, la cual se procesa en horno eléctrico y permite la elaboración de aceros largos en su mayoría, proceso que reproduce Acerías paz del río que cada vez emplea menos mineral de hierro y mayor cantidad de chatarra y palanquilla importada.

La siguiente imagen expone un mapa que permite apreciar la ubicación y descripción de las siderúrgicas presentes en el país:



Figura 41. Ubicación de las Cinco Siderúrgicas del País.

Adaptado de: <http://www.camacero.org/info-economica/> (CAMACERO, 2017).

En cuanto a materiales de acero de menor tamaño como perfiles, tubos, planos, entre otros, necesarios para la construcción, son fabricados y distribuidos por un promedio de 40 empresas distribuidas estratégicamente en todo el territorio nacional como se observa a continuación:



Figura 42. Principales Transformadores de Planos, Productores de Perfiles, Tubos y Fabricantes de Estructuras Metálicas.

Adaptado de: <http://www.camacero.org/info-economica/> (CAMACERO, 2017).

Estas empresas en convenio con algunas ferreterías e industrias regionales, se encargan de abastecer a su vez los materiales en los departamentos más importantes del país en los cuales ha sido creciente el tema de construcción en acero como se observa a continuación.



Figura 43. Principales Comercializadores de Acero del País por Regiones.  
Adaptado de: <http://www.camacero.org/info-economica/> (CAMACERO, 2017).

#### 7.4 Situación del Acero a Nivel Local.

Como ya se ha mencionado anteriormente, cuando los empresarios y constructores optan por construir en acero, gran parte del acero consumido en Colombia y específicamente en el departamento de Santander es importado ya que la producción de acero para construcción en nuestro país no abastece la demanda y gran parte de esta producción es exportada a otros lugares del mundo.



Figura 44. Proyecciones y Estadísticas de Importaciones y Exportaciones de Acero para Colombia.  
Adaptado de: <http://www.camacero.org/info-economica/> (CAMACERO, 2017).

Respecto al gran volumen de importaciones, en nuestro país hay empresas tanto nacionales como multinacionales que se dedican a esta actividad. A continuación se muestra el ranking de las 10 principales empresas importadoras de acero y los principales puertos de Colombia por donde ingresa todo ese material.



Figura 45. Ranking de Empresas Importadoras de Acero y Principales Puertos de Importaciones. Adaptado de: <http://www.camacero.org/info-economica/> (CAMACERO, 2017).

En términos locales, específicamente en el departamento de Santander, vale la pena resaltar que siete de diez principales empresas importadoras de acero mencionadas en la tabla anterior, tienen distribuidoras dentro del departamento de Santander y más específicamente en el área metropolitana de Bucaramanga como se muestra a continuación:

- ◆ Ferrasa (ahora es Terreniun)

Locaciones Ternium en la Región Andina

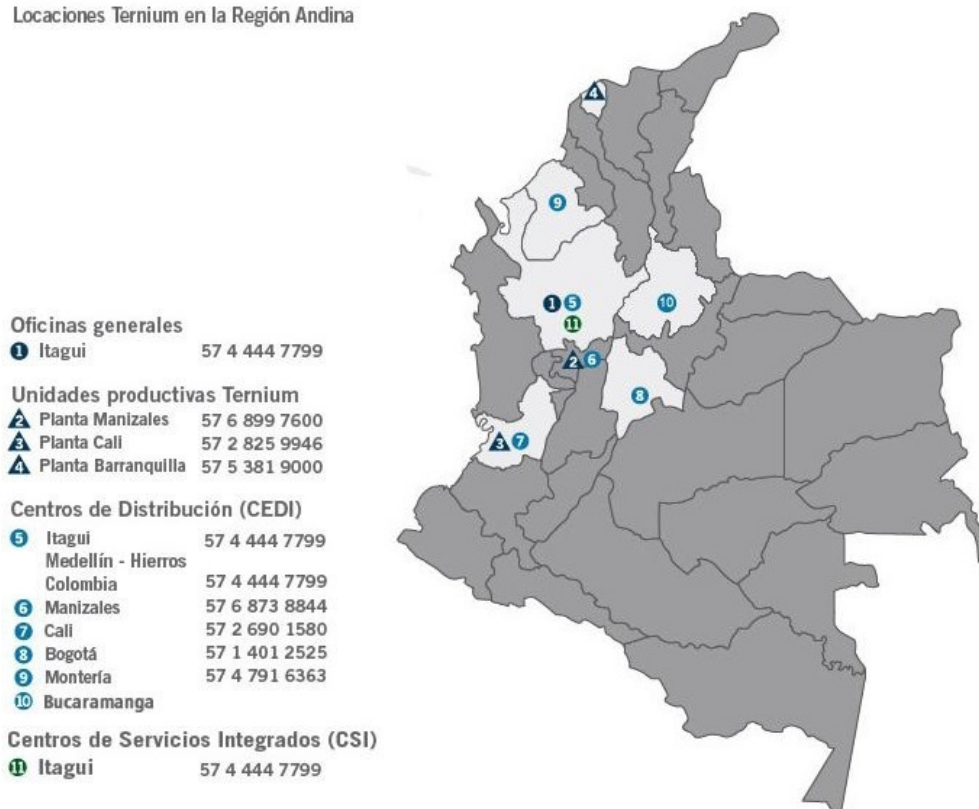


Figura 46. Ferrasa en Bucaramanga.

Adaptado de [http://ferrasa.com.co/wp-content/themes/plantilla\\_ferrasa/paginas/mapas.php](http://ferrasa.com.co/wp-content/themes/plantilla_ferrasa/paginas/mapas.php). (Ferrasa, 2017)

◆ Acesco

Tabla 39. Distribuidoras de Acesco en Santander.

Empresa	Ciudad	Dirección	Teléfono
• ALDIA S.A	GIRON	CR 15 # 42 - 37 BRR CENTRO	6305555
• ARDISA S.A	BUCARAMANGA	Carrera 17C #60- 30 Ricaurte	6301813
• COOPERATIVA MULTIACTIVA DE LOS TRABAJADORES DE SANTANDER LIMITADA	BUCARAMANGA	CALLE 56 #23-04	6434204

• CYRGO S.A.	BUCARAMANGA	CARRERA 11 No 25 - 36 Girardot	6302121
• DISTRIBUCIONES COLOMBIA LIMITADA	BUCARAMANGA	DIAGONAL 15 CON 59 14	6573000
• FERRETERIA AGROTOD0 - GALVIS ANAYA JUAN DE JESUS	GIRON	CRA 3 2 80 ZONA INDUSTRIAL	6762222
• FERRETERIA AGROTOD0 S.A.S	BUCARAMANGA	CR 14 20 16 centro	6713737
• FERRETERIA SANCHEZ - DUARTE DE SANCHEZ MARIA DE LOS ANGELES	BUCARAMANGA	CL 6 10 68 BRR SAN RAFAEL	6710660
• SODIMAC (B/MANGA) HOMECENTER	BUCARAMANGA	CR 21 45 02 BRR LA CONCORDIA	5460000
• STECKERL ACEROS S.A.S	BUCARAMANGA	CL 24 10 30	6331551

Adaptado de <https://www.gerdau.com.co/SOBREGERDAU/UnidadesenColombia.aspx>. (Gerdau, 2017).

◆ Gerdau – Diaco



Figura 47. Ubicación de Empresa Gerdau - Diaco en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Adaptado de: [http://www.gyjferreterias.com/index.php?id\\_cms=54&controller=cms](http://www.gyjferreterias.com/index.php?id_cms=54&controller=cms). (Gerdau, 2017).

◆ G&J



Figura 48. Ubicación de Empresa G&J en el Área Metropolitana de Bucaramanga.  
Adaptado de: [http://www.gyjferreterias.com/index.php?id\\_cms=54&controller=cms](http://www.gyjferreterias.com/index.php?id_cms=54&controller=cms). (G&F, 2017)

◆ Colmena

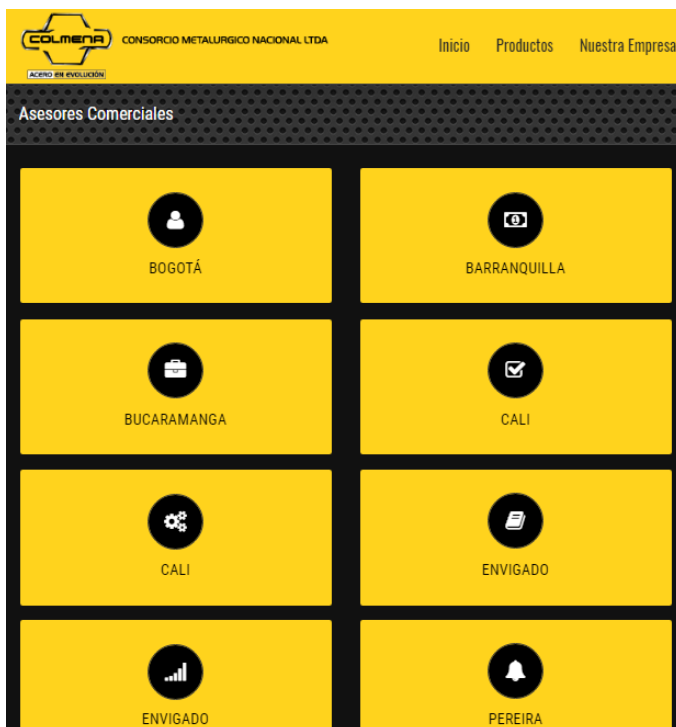


Figura 49. Sucursales en el País de la Empresa Colmena.  
Adaptado de: <http://tuboscolmena.com/colmena/asesores-comerciales/>. (COLMENA, 2017)

◆ Steckerl

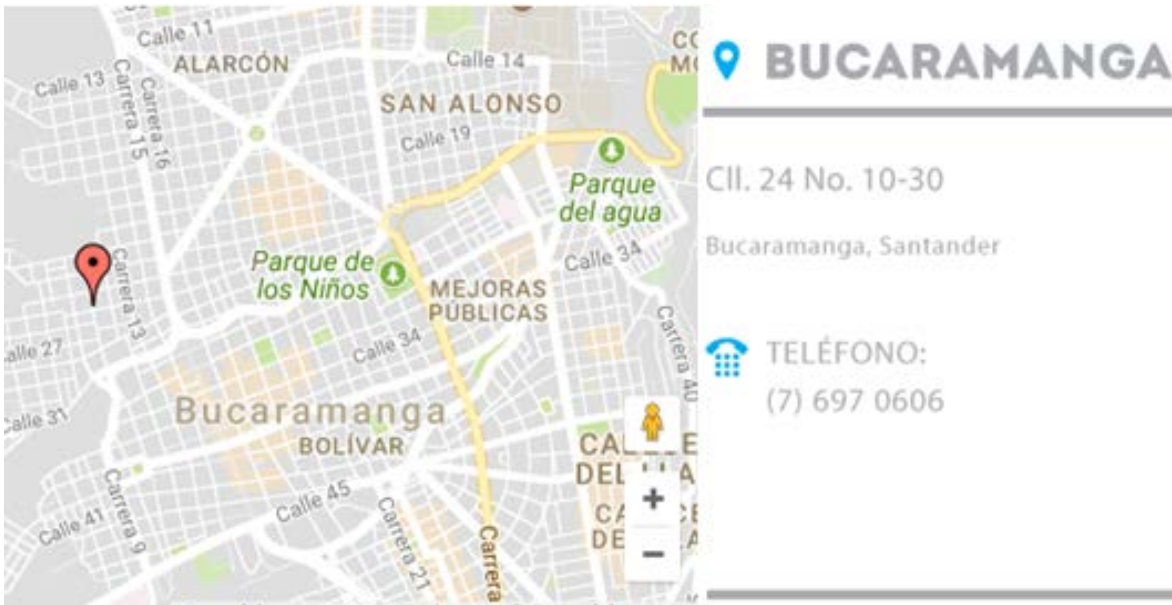


Figura 50. Ubicación de Empresa Steckerl en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Adaptado de: <http://steckerlaceros.com/bucaramanga/>. (Steckerl, 2017)

◆ Agofer

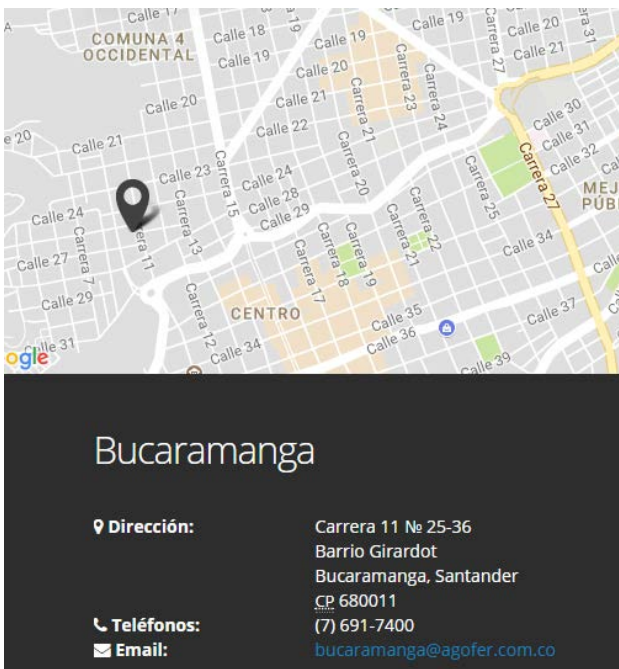


Figura 51. Ubicación de Empresa Agofer en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Adaptado de: <http://agofer.com.co/sucursales/bucaramanga/>. (AGOFER, 2017)

Adicionalmente, existen muchas otras empresas fuera del área metropolitana de Bucaramanga con suficiente capacidad para suministrar y distribuir acero a cualquier parte del país, como por ejemplo Acertek desde la zona franca de Turbaco - Bolívar, incluso hay muchas otras empresas con capacidad suficiente para prefabricar la estructura en taller desde otra ciudad, transportarla y realizar el montaje en obra, por ejemplo Inhierro, quien tiene la planta y oficina matriz en Bello – Antioquia o Estahl Ingeniería, quien tiene su planta de producción en Funza – Cundinamarca.

Ahora bien, por una parte, para el caso de Bucaramanga y su área metropolitana, durante este trabajo de investigación, solo se detectaron dos empresas con experiencia para la construcción de edificaciones en altura con estructura en acero, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 40. *Empresas de Construcción y Montaje de Edificaciones en Acero Estructural en la ciudad de Bucaramanga.*

Empresa	Datos de Contacto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Néstor Monsalve SAS</li> </ul> <p>Ingenieros Constructores Especializados en Estructura Metálica con experiencia en el diseño, construcción y montaje de estructura metálica para edificios de acero</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carrera 8 N. 15N-10.</li> </ul> <p>Parque industrial II. Vía Palenque, Café Madrid B/manga.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• García Vega SAS</li> </ul> <p>Soluciones Integrales en proyectos de Construcción Metálica: Diseño Estructural, Detallado, Fabricación y Montaje</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bucaramanga, Carrera.</li> </ul> <p>15 No. 23-15 Alarcón</p>

Por otra parte, en el caso de la consultoría y diseño se hallaron por lo menos cinco empresas dedicadas a prestar este servicio las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 41. *Empresas Diseñadoras de Edificaciones en Acero Estructural en la Ciudad de Bucaramanga.*

Empresa	Datos de Contacto
NÉSTOR MONSALVE SAS	Parque Industrial II. Vía Palenque, Café Madrid Bucaramanga.
DALMO S.A INGENIERÍA	Barrio San Alonso, Bucaramanga.
GARCÍA VEGA SAS	Bucaramanga, Carrera. 15 No. 23-15 Alarcón.
PERALTA INGENIERIA S.A.S.	Barrio Centro, Bucaramanga.
INGENIERÍA CÁCERES S.A.S	Barrio Los Pinos, Bucaramanga.

### **7.5 Costos de Materiales y Tiempo Aproximado de Construcción de una Edificación de 10 Pisos en Acero Estructural en la Ciudad de Bucaramanga.**

Cuando se hace un proyecto de estructura metálica, el sector de la construcción mide el costo de la estructura teniendo como punto de referencia el precio por kilogramo de acero instalado en obra, razón por la cual, la mayor parte de los materiales, los servicios y demás actividades adicionales para llevar a cabo el proyecto, deben ser tenidos en cuenta en los análisis de precios unitarios (APU), de esta forma, se puede decir que pasan a un segundo plano, es decir, finalmente todos los costos de la construcción de la edificación debe estar contemplada por unidad de kg de acero instalado, de esta forma el costo total de la edificación se calcula multiplicando el valor del kg instalado de acero por el peso en kg de los elementos estructurales de acero.

Entonces, el material más relevante para tener en cuenta en el cálculo del presupuesto para el proyecto, es sin duda alguna, el valor del kilogramo de acero.

Teniendo en cuenta lo anterior y con base en la información recopilada durante el trabajo de investigación, se crea una base de datos de posibles proveedores de materiales de acero para la construcción de la edificación analizada en este trabajo, luego se hace la solicitud de cotizaciones a través de varios medios por ejemplo: visita a algunas de las distribuidoras de acero, contacto telefónico con asesores comerciales de las empresas y solicitudes vía correo electrónico.

Luego de recopilar todas las cotizaciones y comparar los resultados se determinó que el valor de material puede oscilar actualmente entre \$3,800 y \$4.280, sin embargo, cabe resaltar que en el momento en que se desee materializar el proyecto estructural planteado en este trabajo de investigación o cualquier otra edificación en acero estructural se debe volver a realizar las cotizaciones para el suministro del acero porque estos precios dependen mucho de la cantidad a comprar, los mercados internacionales y por supuesto del valor del dólar, entre otros.

En cuanto a la estimación del tiempo de ejecución de este tipo de estructuras y de acuerdo con la información recopilada en el sondeo de opinión y lo encontrado en la literatura, se puede concluir que la duración de la construcción de estructura metálica es bastante veloz respecto a otros sistemas constructivos. Así mismo, la duración de la obra es muy relativo porque se debe tener en cuenta muchas consideraciones, por ejemplo:

- ◆ El tiempo de construcción de este tipo de obras puede reducirse significativamente al realizar una buena planeación de logística sobre todo para procesar la mayor cantidad de obra en la factoría basados en los planos de taller bien detallados y con cada elemento estructural identificado y marcado, transportar las piezas en forma ordenada para ensamblarlas y

montarlas de acuerdo con unos excelentes procedimientos constructivos y siguiendo las recomendaciones de seguridad industrial pertinentes para cada labor.

- ◆ Contar con una buena capacidad financiera para mantener en obra el equipo necesario y personal idóneo en cada momento en que la obra requiera estos recursos y así lograr una ejecución acorde con lo programado previamente, todo eso, vale la pena recalcarlo: cumpliendo con los requisitos de la normatividad vigente.

Claro ejemplo de lo anterior, tenemos algunas edificaciones que se han construido durante los últimos años en china, entre ellas:

- ◆ La constructora china Broad Sustainable Building fue capaz de construir en tan sólo 46 horas un novedoso edificio de 15 pisos y 100 habitaciones con piscina, 2 restaurantes y un gimnasio (...) y tomó 4 días más en recubrir su fachada. (Construyored, 2017)
- ◆ La constructora china BSB acaba de completar el edificio prefabricado más alto del mundo. Se trata de una torre Flatpack de 57 plantas de altura, levantada en la ciudad de Changshá en tan solo 2 semanas y media, a un ritmo sorprendente de 3 pisos por día. Esta hazaña ha sido posible gracias a que todos sus elementos estructurales han sido previamente fabricados en taller, y luego transportados al sitio en camiones. (Dazne, 2015)

Ahora bien, para el caso local de Bucaramanga y específicamente para el diseño arquitectónico analizado estructuralmente en este trabajo de investigación, se planteó una programación de obra en concordancia con los rendimientos estimados en los análisis de precios unitarios para empresas de la región y se calculó que la construcción de la estructura en acero se realizaría con una duración de 24 Semanas, debido a que no se cuenta con grandes plantas procesadoras de acero en la zona, ni mucho menos con tecnología de punta para lograr una optimización de los procesos de prefabricado.

## 8. Conclusiones

- ◆ A partir del estado del arte se puede concluir que Colombia, es un país con ciudades en crecimiento constante que demanda estrategias y tecnología en el ámbito de la construcción, lo cual a su vez promueve la implementación de diseños que optimicen las construcciones en términos, de materiales, mano de obra, diseño y ensamble de estructuras.
- ◆ A nivel mundial, la participación del país en términos de construcción en acero es insignificante comparada con otras ciudades y países del mundo como China; esto se puede deber a dos situaciones principalmente: por un lado, en el país tradicionalmente se han desarrollado proyectos enfocados a la construcción en concreto reforzado debido a la disponibilidad de materia prima y al sin número de cementeras que abastecen al 100% las necesidades de construcción de obras civiles.
- ◆ La utilización del acero en construcción es una tecnología que incursiona hace relativamente poco tiempo en el país, lo cual genera desconocimiento de la forma de utilización y baja producción de materiales idóneos para crear estructuras en acero, lo cual incrementa el costo de materiales ya que existen pocas siderúrgicas dedicadas a su producción y se debe recurrir a la importación de este material.
- ◆ En términos de ventajas de un material respecto a otro, se observa que el tiempo de construcción de un edificio en acero es mucho más corto que el de un edificio en concreto reforzado, ya que el acero tiene la ventaja de que las piezas se ensamblan directamente en taller, lo cual reduce el tiempo de armado, diferente a las construcciones en concreto las cuales prueban los materiales y su calidad directamente en la obra, lo cual puede retrasar el avance de las misma. Otra ventaja es la esbeltez de los acabados respecto a los del concreto que vienen a ser más rústicos. Debido

al peso liviano del acero, se da mejor sismo resistencia en una construcción de este tipo, en la de concreto es necesario utilizar acero de refuerzo para soportar este tipo de cargas debido al peso de los materiales.

- ◆ Una ventaja de la utilización de concreto reforzado en las construcciones, es que requiere de mano de obra no calificada, diferente a la construcción de una estructura de acero la cual demanda personal preparado y calificado para el desarrollo y ensamble de piezas en las estructuras.
- ◆ Estas situaciones colocan a Colombia actualmente en una posición de ventaja evolutiva en términos de aplicabilidad tecnológica a la construcción ya que es un país que demanda el desarrollo de ciudades por su creciente población, por lo cual se puede convertir en un mercado estratégico por sus capacidad de crecimiento en términos de construcción especialmente con materiales como el acero.
- ◆ Respecto a costos la inversión es similar ya que el concreto demanda mano de obra no calificada pero las estructuras se construyen en tiempos extensos, lo cual amplía los costos, lo contrario ocurre con el acero ya que una estructura en este material requiere importación de materiales y mano de obra calificada aunque la inversión en tiempo de armado y montaje es muy corta respecto al concreto.

### Referencias

- ACESCO. (2017). *Acerías de Colombia*. Obtenido de <http://www.acesco.com/distribuidores.php>.
- ACI318. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318SUS-14) y Comentario (ACI 318SUSR-14)*. Farmington Hills, EEUU: American Concrete Institute.
- AGOFER. (2017). *Duferco International*. Obtenido de <http://agofer.com.co/sucursales/bucaramanga/>.
- Aguillón Jaimes, E. J., & Ardila Villarreal, J. (2017). *Estudio Comparativo de un Edificio de 10 Niveles para Uso de Oficinas en la Ciudad de Bucaramanga Entre el Sistema Estructural de Acero y el Sistema de Concreto Reforzado*.
- Alacero. (2016). *Asociación Latinoamericana del Acero*. Obtenido de <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/construccion-civil>.
- Alacero. (2016). *Asociación Latinoamericana del Acero*. Obtenido de <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero>.
- Alacero. (2017). *América Latina en Cifras 2016*.
- Alacero. (2017). *Asociación Latinoamericana del Acero*. Obtenido de <http://www.construccionenacero.com/noticias/maximo-desempeno-del-acero>.
- Alacero. (2017). Estadísticas. *Acero Latinoamericano*.
- ANDI. (2014). *Asociación Nacional de Empresarios de Colombia*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/cf/Paginas/default.aspx>.
- CAMACERO. (2017). *Camara Colombiana del Acero*. Obtenido de <http://www.camacero.org/>.
- Características de los Materiales: Concreto Reforzado. (2008). México.

- COLMENA. (2017). *Consorcio Metalúrgico Nacional*. Obtenido de <http://tuboscolmena.com/colmena/asesores-comerciales/>.
- Construyored. (2017). Obtenido de <http://www.construyored.com/noticias/1392>.
- Dazne, A. (2015). *Aquitectura Prefab*. Obtenido de <http://blog.is-arquitectura.es/2015/03/12/mini-sky-city-el-edificio-prefabricado-mas-alto-de-mundo/>.
- Dúran Medina, L. F., & Acevedo Ortiz, D. A. (2017). Trabajo de Grado. *Implementación de una Guía Práctica para el Desarrollo del Análisis y Diseño por Estabilidad de Estructuras en acero Aplicado a Edificios de 10 Pisos en la Ciudad de Bucaramanga Santander*. . Bucaramanga, Colombia.
- Ferrasa. (2017). *Aceros Ferrasa*. Obtenido de [http://ferrasa.com.co/wp-content/themes/plantilla\\_ferrasa/paginas/mapas.php](http://ferrasa.com.co/wp-content/themes/plantilla_ferrasa/paginas/mapas.php).
- G&F. (2017). *G&J Empresas de Acero*. Obtenido de [http://www.gyfferreterias.com/index.php?id\\_cms=54&controller=cms](http://www.gyfferreterias.com/index.php?id_cms=54&controller=cms).
- Gerdau. (2017). *Gerdau - Diaco*. Obtenido de <https://www.gerdau.com.co/SOBREGERDAU/Perfildelaempresa.aspx>.
- González Cuevas, Ó. (2005). *Aspectos Fundamentales de Concreto Reforzado*.
- Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis Estructural*. México.
- ICCA. (2017). *El Instituto Colombiano de la Construcción con Acero*. Obtenido de <http://www.icca.com.co/quienes-somos/>.
- Kassimali, A. (2001). *Análisis Estructural*.
- Lagos C., R. (2017). Edificios de Altura, Acero v/s Concreto. *VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero*. Bogotá.
- Laible, J. P. (2008). *Análisis estructural*.

Lesmes, J. P. (2017). VI Congreso Internacional de la Construcción con Acero, conferencia: .

*¿Hacia Dónde Va el Acero en el Mundo?*

Maccormac, J. C. (2011). *Diseño de concreto reforzado*.

*Manual de Diseño de Estructuras Para Arquitectura*. (2009).

McCormac, J., & Csernak, S. (2013). *Diseño de Estructura de Acero*.

Montoya Bautista, S. P. (2014). Análisis de una Edificación en Acero Estructural y Concreto Reforzado para Establecer una Comparación Técnica y Presupuestal con Base en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo-Resistente (NSR-10). (*Trabajo de Grado*), *Universidad Industrial de Santander*. Bucaramanga, Colombia.

Nilson, A. (1999). *Diseño de Estructuras De Concreto*.

NSR10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, creada por el Artículo 39 de la Ley 400 de 1997*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá.

Peralta Hernández, M. A. (2017). Didáctica de Conexiones. *Día de la Estructura de Acero*. Bucaramanga.

Peurifoy, R. L., & Oberlender, G. D. (2014). *Estimating Construction Costs*. New York: Mc Graw Hill.

Rochel Awad, R. (2012). *Análisis y Diseño Sísmico de Edificios*. Medellín.

Rojas López, M. D., & Arenas Giraldo, J. J. (2008). Comparación Técnico - Financiera del Acero Estructural y el Hormigón Armado. *DYNA, [S.l.]*, v. 75, n. 155, 47-56.

Steckerl. (2017). *Steckerl Aceros*. Obtenido de <http://steckerlacers.com/bucaramanga/>.

Veléz, C. (2004). Ejecución de Edificios en Acero Estructural. *Universidad Nacional de Colombia*. Medellín, Colombia.