



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PRACTICA ACADEMICA EN LOS PROCESOS DE
DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES
DE CONCRETO Y ACERO**

Autor
Daniel Mecías Carvajal

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.
Medellín, Colombia
2020



PRACTICA ACADEMICA EN LOS PROCESOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE
EDIFICACIONES DE CONCRETO Y ACERO

Daniel Mecías Carvajal

Informe de práctica empresarial como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil.

Asesor interno.

John Faber Dávila Illesca

Ingeniero Civil y Profesor Catedrático

Asesor externo.

Fabio Eduardo Fonnegra Tobón

Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.
Medellín, Colombia
2020.

Agradecimientos

Quiero dar mis mas sinceros agradecimientos al profesor John Faber Dávila Illesca por su labor como asesor interno en este proceso de aprendizaje como practicante. Por su disposición y buena voluntad para brindarme sus conocimientos y guiarme en este punto tan importante donde comienza mi carrera profesional. Quiero agradecer a la empresa Aldafe S.A.S. por creer en mis capacidades y brindarme la oportunidad de vivir tantas experiencias y disponer grandes retos que me permitieron superarme como profesional y como persona. También quiero agradecer en general a la Facultad de Ingeniería y sus docentes por brindarme infinidad de conocimientos y permitirme vivir una experiencia tan valiosa como la de estudiar en la Universidad de Antioquia. Finalmente quiero dar mi mayor agradecimiento a mi familia, quienes han sido pilares importantes y mi más grande motivación para afrontar todos los retos superados en este proceso educativo.

Experiencia personal en la empresa Aldafe S.A.S.

Aldafe S.A.S. es una constructora dedicada principalmente a la legalización de proyectos civiles, y con el proyecto de incursionar en el sector ingenieril implementando el área de diseño de estructuras, en donde tuve la oportunidad de trabajar en la modalidad de prácticas empresariales. Siendo el primer practicante de Ingeniería Civil de la empresa, el reto consistió en la elaboración de las plantillas de memorias de calculo dando cumplimiento con los requisitos del Título A, NSR-10.

Durante el proceso, tuve la oportunidad de afianzar mis conocimientos en el manejo de softwares de análisis estructural como ETABS, SAP 2000, y softwares de dibujo estructural como AutoCAD y Revit.

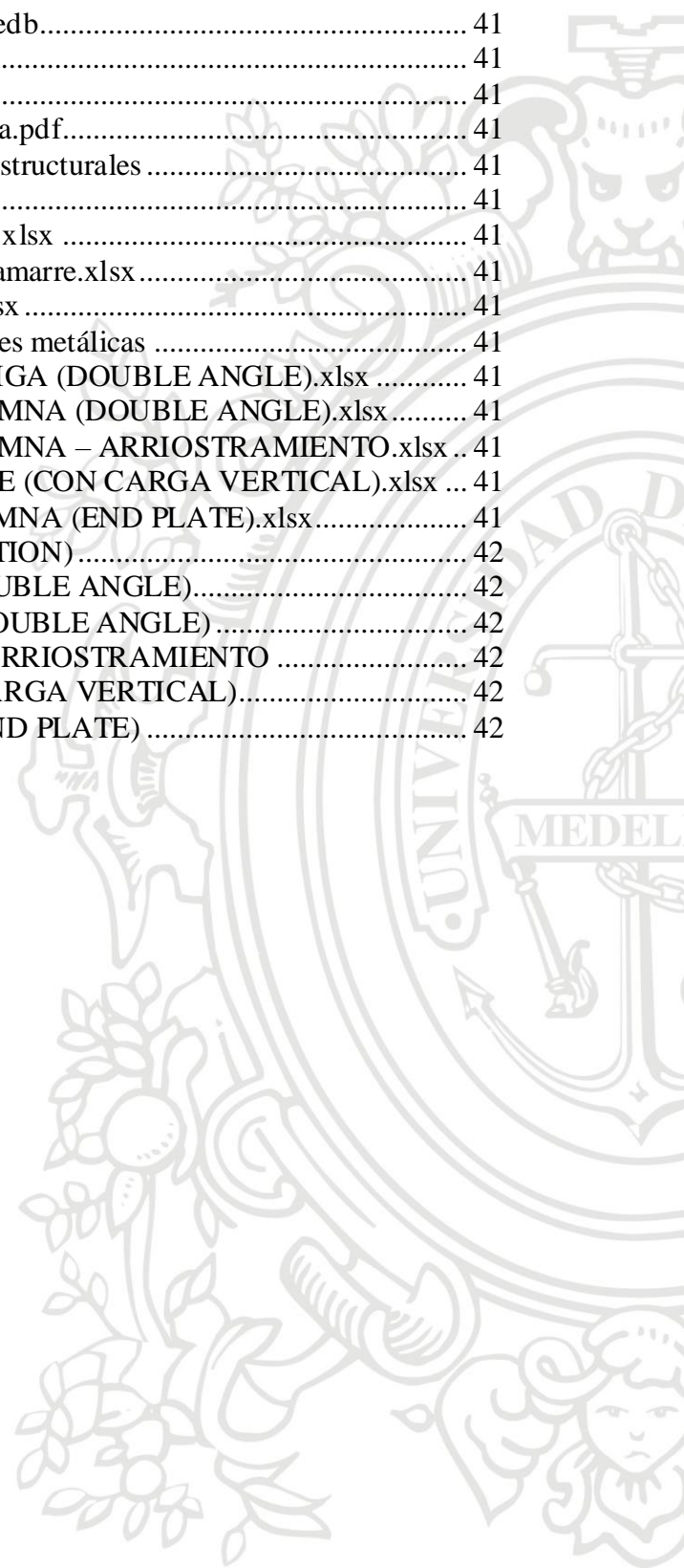
Una de las experiencias mas enriquecedoras para mi carrera profesional fue la elaboración de hojas de calculo donde fue necesario el estudio a detalle de todos los conocimientos relacionados con análisis y diseño de estructuras.

También tuve la oportunidad de conocer profesionales del medio de la construcción que siempre me ayudaron con todas las inquietudes y dedicaron su tiempo para enseñarme y ayudarme a ser un mejor profesional.

Tabla de contenido:

1	Resumen	8
2	Introducción	9
3	Objetivos	11
3.1	General:	11
3.2	Específicos:.....	11
4	Marco Teórico	12
4.1	Tipos de sistemas estructurales para edificaciones (A.3.2.1, NSR-10):.....	12
4.2	Combinaciones de carga para diseño y servicio.....	13
4.3	Requisitos y criterios para el diseño de edificaciones de concreto reforzado de acuerdo con el Título C, NSR-10:.....	13
4.4	Requisitos y criterios para el diseño de edificaciones de acero estructural de acuerdo con el Título F, NSR-10:	14
4.5	Tipos de conexiones:	16
5	Metodología	21
6	Resultados y análisis	22
6.1	Implementación de la guía de diseño	22
6.1.1	DESCRIPCION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	22
6.1.2	RESISTENCIA DE LOS MATERIALES	22
6.1.3	DESCRIPCION DEL SOFTWARE E INFORMACION DE LA MODELACION.....	22
6.1.4	DATOS DE ENTRADA	22
6.1.5	CONFIGURACION ESTRUCTURAL	23
6.1.6	CALCULO DE LA FUERZA SISMICA.....	23
6.1.7	CÁLCULO DEL CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE DERIVAS	23
6.1.8	MODOS DE VIBRACIÓN.....	23
6.1.9	COMBINACIONES DE CARGA	24
6.1.10	DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, CIMENTACIONES Y ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	24
6.1.11	VERIFICACIÓN DEL CRITERIO DE RESISTENCIA (6/5) COLUMNA FUERTE – VIGA DÉBIL DE LA SECCIÓN C.21.3.6 – RESISTENCIA MÍNIMA A FLEXIÓN DE LAS COLUMNAS DE PÓRTICOS CON CAPACIDAD MODERADA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA (DMO), NSR-10:.....	25
6.1.12	VERIFICACIÓN DEL CRITERIO DE RESISTENCIA POR CORTANTE PLÁSTICO DE LA SECCIÓN C.21.3. – PÓRTICOS INTERMEDIOS RESISTENTES A MOMENTOS CON CAPACIDAD MODERADA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA (DMO), NSR-10:.....	25
6.1.13	PARAMETROS Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE RESISTENCIA CONTRA EL FUEGO	25
6.2	Especificaciones del proyecto para el tema específico de estudio	25
6.3	Análisis estructural	27
6.4	Cargas de diseño.....	31
6.5	Diseño de conexiones.....	34
7	Conclusiones	38
8	Referencias Bibliográficas	40

9	Anexos.....	41
9.1	Modelos elaborados en ETABS	41
9.1.1	Modelo pórtico arriostrado.edb.....	41
9.1.2	Modelo pórtico resistente a momentos.edb.....	41
9.2	Documentos de elaboración propia	41
9.2.1	Plantilla de memorias de calculo.pdf	41
9.2.2	Memorias de cálculo estructura metálica.pdf.....	41
9.3	Hojas de cálculo para diseño de elementos estructurales	41
9.3.1	Diseño de estructuras de concreto.xlsx	41
9.3.2	Diseño de Vigas y Columnas metálicas.xlsx	41
9.3.3	Diseño de pilas, pedestales, y vigas de amarre.xlsx	41
9.3.4	Diseño de zapatas y vigas de amarre.xlsx	41
9.4	Hojas de cálculo para el diseño de conexiones metálicas	41
9.4.1	DISEÑO CONEXIÓN VIGUETA – VIGA (DOUBLE ANGLE).xlsx	41
9.4.2	DISEÑO CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (DOUBLE ANGLE).xlsx.....	41
9.4.3	DISEÑO CONEXIÓN VIGA – COLUMNA – ARRIOSTRAMIENTO.xlsx ..	41
9.4.4	DISEÑO CONEXIÓN PLACA – BASE (CON CARGA VERTICAL).xlsx ...	41
9.4.5	DISEÑO CONEXION VIGA - COLUMNA (END PLATE).xlsx.....	41
9.5	Esquemas de conexiones (RAM CONNECTION).....	42
9.5.1	CONEXIÓN VIGUETA – VIGA (DOUBLE ANGLE).....	42
9.5.2	CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (DOUBLE ANGLE)	42
9.5.3	CONEXIÓN VIGA – COLUMNA – ARRIOSTRAMIENTO	42
9.5.4	CONEXIÓN PLACA BASE (CON CARGA VERTICAL).....	42
9.5.5	CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (END PLATE)	42



Ilustraciones:

Ilustración 1- Conexiones tipo ángulo a cortante. (McCormac & Csernak, 2012).....	16
Ilustración 2- Flexión de una conexión reticular para viga. (McCormac & Csernak, 2012)...	17
Ilustración 3- Conexión simple de doble ángulo reticular. (McCormac & Csernak, 2012)	18
Ilustración 4- Tipos de conexiones de placa de borde. (American Institute of Steel Construction, 2005).....	19
Ilustración 5 - Conexión de placa de borde. (Thomas M. Murray, Ph.D., P.E.; Emmett A. Sumner, Ph.D., 2003).....	20
Ilustración 6 - Sistema de pórticos arriostrados. Tomado de ETABS.....	26
Ilustración 7 -Sistema de pórticos resistente a momentos. Tomado de ETABS.....	26
Ilustración 8 - Evaluación de derivas de piso en dirección X. Tomado de ETABS.....	27
Ilustración 9 - Evaluación de derivas de piso en dirección Y. Tomado de ETABS.....	28
Ilustración 10 - Evaluación de derivas de piso en dirección X. Tomado de ETABS.....	28
Ilustración 11 - Evaluación de derivas de piso en dirección Y. Tomado de ETABS.....	28
Ilustración 12 - Diagrama de cargas axiales (modelo a cortante). Tomado de ETABS.....	29
Ilustración 13 - Diagrama de cargas axiales (modelo a momento). Tomado de ETABS.....	29
Ilustración 14 - Diagrama 1 de cargas cortantes (modelo a cortante). Tomado de ETABS....	30
Ilustración 15 - Diagrama 1 de cargas cortantes (modelo a momento). Tomado de ETABS..	30
Ilustración 16 - Diagrama de momentos (modelo a cortante). Tomado de ETABS.....	31
Ilustración 17 - Diagrama de momentos (modelo a momento). Tomado de ETABS.....	31
Ilustración 18 - Sección angular L3”X3”X1/4” A36, 2 pernos de 3/4” A325N, Tipo de hueco (conector vigueta): Standard (STD), Tipo de hueco (conector viga): Standard (STD). Tomada de Anexo 9.5.1.	34
Ilustración 19 - Sección angular L3”X3”X1/2” A36, 3 pernos de 3/4” A325N, Tipo de hueco (conector viga): Standard (STD), Tipo de hueco (conector columna): Standard (STD). Tomada de Anexo 9.5.2.	35
Ilustración 20 - Cartera de espesor 1/2” A36. Soldadura E70XX de espesor 5/16”. Directamente soldada en conexión Viga-Cartera, Columna-Cartera, Riostra-Cartera. Tomada de Anexo 9.5.3.....	36
Ilustración 21 - Sección de placa PL17”X31”X1.75” A36. 4 pernos de 3/4” A325N. Tipo de hueco (conector viga): Standard (STD). Tomada de Anexo 9.5.4.....	36
Ilustración 22 - Sección de placa PL1”X91/2”X35” A36. 16 pernos de 7/8” A325N. Tipo de hueco (conector columna): Standard (STD). Tomada del Anexo 9.5.5.....	37

Tablas:

Tabla 1 – Carga máxima y mínima viga W12x190. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 2 - Carga máxima y mínima viga W12x72. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 3 - Carga máxima y mínima viga W12x96. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 4 - Carga máxima y mínima vigueta W10x100. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 5 - Carga máxima y mínima columna W24x94. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 6 - Carga máxima y mínima columna W24x62. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 7 - Carga máxima y mínima columna W16x50. Datos tomados de ETABS.....	32
Tabla 8 - Carga máxima y mínima riostra HSS5.500x0.258. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 9 - Carga máxima y mínima viga W21x68. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 10 - Carga máxima y mínima viga W12x45. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 11 - Carga máxima y mínima viga W12x40. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 12 - Carga máxima y mínima vigueta W10x60. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 13 - Carga máxima y mínima columna W18x97. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 14 - Carga máxima y mínima columna W16x67. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 15 - Carga máxima y mínima columna W10x49. Datos tomados de ETABS.....	33
Tabla 16 – Peso propio de la estructura arriostrada. Datos tomados de ETABS y Hojas de cálculo de conexiones.....	37
Tabla 17 – Peso propio de la estructura resistente a momentos. Datos tomados de ETABS y Hojas de cálculo de conexiones	37

1 Resumen

Uno de los problemas principales que se encuentran comúnmente en las oficinas de diseño estructural consiste en la baja eficiencia para la gestión de proyectos en la etapa de desarrollo, exigiendo en muchos casos la contratación de terceros para elaborar los diseños definitivos. El objetivo principal de esta práctica consistió en optimizar dicha gestión mediante el desarrollo de guías de diseño que incorporan procedimientos detallados para la modelación, análisis y diseño computacional de estructuras usando específicamente el software ETABS. Adicionalmente, para complementar estas guías, este trabajo incluyó la elaboración de hojas de cálculo generalizadas para el diseño de diferentes tipos de sistemas estructurales; Estas constituyen herramientas que optimizan la velocidad de los cálculos y aporta más confiabilidad en los resultados obtenidos. Específicamente se desarrollaron hojas de cálculo para el análisis sísmico, la verificación de derivas, el diseño de elementos estructurales, el diseño de cimentaciones, y el diseño de elementos no estructurales.

El trabajo durante esta práctica académica se acompañó con un tema específico de estudio, el cual consistió en un análisis comparativo de dos sistemas de edificación proyectados en acero estructural. El primero de ellos definido como un sistema de pórticos arriostrados y el otro como un sistema de pórticos resistentes a momentos. La comparación se realizó para estudiar la diferencia en el comportamiento estructural que se origina al utilizar diferentes tipos de conexiones. Para el diseño de estas conexiones se implementaron hojas de cálculo elaboradas para conexiones del tipo cortante simple usando ángulos dobles y momento usando la configuración de placa de borde.

Las principales variables comparativas para entender las diferencias entre los dos sistemas estructurales descritos fueron: 1) El peso propio de la estructura (incluyendo el peso de los elementos estructurales, las cargas super impuestas y sus conexiones) que se relaciona de manera directamente proporcional al nivel de demanda esperadas sobre el suelo de fundación y a los costos de materiales; 2) Las derivas relativas de piso tomadas a partir del modelo elaborado en ETABS para revisar el diseño más seguro y eficiente ante cargas laterales de viento y 3) las fuerzas internas en los elementos para entender el comportamiento de los mismos y sus conexiones.

2 Introducción

ALDAFE S.A.S. es una empresa que actualmente se dedica a la elaboración de diseños arquitectónicos, estructurales y asesorías jurídicas. En esta empresa se plantea desarrollar la práctica académica mediante actividades como el apoyo en la elaboración de diseños estructurales que actualmente se encuentren en procesos de legalización para otorgar licencias de construcción, o legalizar edificaciones existentes mediante la elaboración del diseño estructural junto con otros requisitos.

Estos proyectos son diseñados principalmente con sistema de pórticos, muros de carga, sistema combinado y cerchas, bajo la norma NSR-10 (Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Las funciones específicas desarrolladas en la empresa durante esta práctica consistieron en el apoyo para la elaboración de modelaciones de estructuras metálicas y de concreto en el software ETABS, la elaboración de memorias de cálculo bajo la norma NSR-10 y la elaboración de planos estructurales en el software AutoCAD; esto involucro el aprendizaje y la aplicación de conceptos ingenieriles tales como análisis sísmico, modelación de cargas involucradas, diseño de elementos estructurales y no estructurales, y verificaciones de diseño requeridas por la NSR-10 y el P.O.T.

La componente de este proyecto consiste en el análisis comparativo de dos sistemas estructurales: Pórticos arriostrados y pórticos resistentes a momentos.

Crisafulli, (2018), define estos sistemas estructurales así:

- Pórticos arriostrados

Los pórticos arriostrados surgieron a comienzos del siglo XX como una alternativa estructural para edificios de mediana y baja altura. La presencia de las barras diagonales o riostras modifica significativamente el comportamiento del pórtico, dado que se forma una estructura reticulada (con triangulaciones). Las acciones laterales de viento y sismo inducen en la estructura principalmente esfuerzos axiales de tracción y compresión. Este tipo estructural se caracteriza por una elevada rigidez lateral, lo que permite un adecuado control de los desplazamientos.

- Pórticos resistentes a momentos:

Los pórticos no arriostrados o pórticos resistentes a momento son ensambles rectilíneos de vigas y columnas conectadas entre sí mediante soldaduras, pernos o ambos. Los elementos componentes de estos pórticos quedan sometidos principalmente a momentos flectores y esfuerzos de corte, que controlan su diseño, razón por la cual también se los denomina “pórticos a momentos”. Este tipo estructural se caracteriza por su elevada capacidad de disipación de energía, cuando se diseña y construye para tal fin. Las especificaciones AISC 341-05, consideran tres niveles de desempeño sísmico, esto es: pórticos especiales,

intermedios u ordinarios. Los pórticos especiales requieren verificaciones y detalles constructivos más estrictos, lo cual permite utilizar un factor de modificación de respuesta R mayor (y por ende la acción sísmica es menor). En contraposición, los pórticos ordinarios se diseñan con acciones sísmicas mayores y menor nivel de detalle.

Resulta difícil indicar a priori cuál de las dos alternativas resulta más económica. El diseñador deberá evaluar las características y condicionantes de cada caso para encontrar la solución óptima, considerando aspectos estructurales, constructivos y de costo. Un aspecto fundamental en el diseño de los pórticos no arriostrados son las conexiones viga-columna, las cuales son necesarias desde el punto de vista constructivo y deben asegurar que las vigas pueden desarrollar su capacidad a flexión.



3 Objetivos

3.1 General:

- Apoyar en los procesos de modelación estructural y elaboración de memorias de cálculo para el diseño de edificaciones de concreto reforzado y acero estructural.

3.2 Específicos:

Implementar una guía para la elaboración de memorias de cálculo para el diseño estructuras metálicas y de concreto que abarque el análisis dinámico, diseño de elementos estructurales y no estructurales, y verificaciones de diseño.

Diseñar una edificación bajo dos conceptos de sistemas estructurales a modo comparativo con un pórtico resistente a momentos y el mismo pórtico con sistema arriostrado resistente a cargas laterales de viento. En el primer caso se usarán conexiones a momento y en el segundo conexiones simples a cortante, para evaluar las diferencias entre el uso de estas tipologías de unión en el diseño de la edificación.

Comparar los resultados obtenidos del análisis y diseño de estos sistemas estructurales para identificar ventajas y desventajas en el uso de conexiones a simples a cortante y conexiones a momento.

4 Marco Teórico

La NSR-10 establece diferentes métodos para el análisis y diseño estructural de una edificación; el ingeniero estructural deberá seleccionar cuál de los diferentes sistemas constructivos será el más indicado dependiendo de las necesidades y especificaciones de cada proyecto. Actualmente se contemplan 4 tipos comunes de sistemas estructurales para edificaciones:

4.1 Tipos de sistemas estructurales para edificaciones (A.3.2.1, NSR-10):

Se reconocen cuatro tipos comunes de sistemas estructurales de resistencia sísmica, los cuales se definen en esta sección. Cada uno de ellos se subdividen según los tipos de elementos utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. Los sistemas estructurales de resistencia sísmica que reconoce este Reglamento son los siguientes:

- **Sistema de muros de carga:** Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.
- **Sistema combinado:** El sistema combinado es un sistema estructural en el cual:
Las cargas horizontales y verticales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumplen con los requisitos de un sistema dual.
- **Sistema estructural de pórtico resistente a momentos:** el sistema de pórtico es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales.
- **Sistema dual:** Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema se pueda calificar como sistema dual se deben cumplir lo siguientes requisitos:
 - a. El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
 - b. Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que en conjunto sean capaces de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base.
 - c. Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales o los pórticos con diagonales puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base.

4.2 Combinaciones de carga para diseño y servicio.

Para todo tipo de edificaciones encerradas dentro de los sistemas estructurales definidos en la NSR-10, se especifican las combinaciones de carga para obtener la respuesta de la edificación bajo condiciones de servicio y cargas de diseño, así:

Combinaciones de carga dispuestas en la Sección B.2.3.1 de la NSR-10, y en la Sección B.2.4.2 y B.2.4.2.1 del Decreto 092 del 17 de enero del 2011 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (corrección de la NSR-10).

Derivas y Diseño – B.2.4.2:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L$
- $1.2D+0.5L+0.5W$
- $1.2D+W+0.5L$
- $1.2D+0.5L$
- $0.9D+W$
- $0.9D$

Servicio – B.2.3.1:

- D
- $D+L$
- $D+0.75L$
- $D+W$
- $D+0.75L+0.75W$
- $0.6D+W$

Donde:

D: Carga muerta, la cual incluye el peso propio de los elementos

L: Carga viva

W: Carga de viento

4.3 Requisitos y criterios para el diseño de edificaciones de concreto reforzado de acuerdo con el Título C, NSR-10:

C.1.1 – Alcance

C.1.1.1 – El Título C proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos del NSR-10 del cual el Título C forma parte.

CR1.1 – Alcance

El Título C de la NSR-10 está basado en el documento “Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08)” preparado por el Comité ACI 318 del

American Concrete Institute, al cual se le han introducido modificaciones para adaptarlo al medio colombiano.

C.1.1.2 – El Título C complementa el Reglamento NSR-10, y rige todos los aspectos relativos al diseño y a la construcción de concreto estructural.

C.1.1.3 – El Título C rige en todo lo concerniente al diseño, construcción y propiedades de los materiales en todos los casos en que entre en conflicto con los requisitos contenidos en otras normas a las que se haga referencia en él.

C.1.1.4 – Los requisitos del Título C deben emplearse en el diseño de elementos de concreto estructural que sean parte de estructuras diseñadas en otro material estructural distinto del concreto estructural cubierto por otros Títulos de la NSR-10. Cuando en el Título de la NSR-10 correspondiente al material diferente de concreto estructural se requiera algo diferente a lo contenido en el Título C, regirá para esas estructuras lo requerido allí.

C.1.1.6 – El Título C controla el diseño estructural e instalación de las porciones de pilotes de concreto, pilas excavadas y cajones de cimentación que quedan enterrados en el suelo en el Capítulo C.15.

C.1.1.10 – Disposiciones para resistencia sísmica

C.1.1.10.1 – La asignación de la capacidad de disipación de energía empleada en el diseño sísmico de una estructura está regulada por el Título A de la NSR-10.

Las principales disposiciones para el diseño de estructuras sismorresistentes se encuentran consignados en el capítulo C.21 – REQUISITOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE de la NSR-10:

C.21.1.1.1 – El capítulo C.21 contiene disposiciones para el diseño y la construcción de los elementos de concreto reforzado de una estructura en la cual las fuerzas de diseño, se han determinado con base en la disipación de energía en el rango no lineal de respuesta.

C.21.1.1.2 – El Título A del Reglamento NSR-10 designa la capacidad de disipación de energía de cada sistema estructural de resistencia sísmica como se indica en C.1.1.9.1 para estructuras de concreto estructural.

4.4 Requisitos y criterios para el diseño de edificaciones de acero estructural de acuerdo con el Título F, NSR-10:

F.1.0.1 – Alcance – Las normas contenidas en el Título F de este Reglamento son aplicables al diseño de estructuras conformadas por elementos de acero o de aluminio, soldados, atornillados, o remachados.

F.1.0.2 – Zonas sísmicas – Los requisitos para estructuras metálicas que se dan en el presente Título de este Reglamento deben aplicarse a cada una de las Zonas de Amenaza Sísmica que se definen en A.2.3 del Título A de este Reglamento.

F.1.1 – Límites de aplicabilidad

F.1.1.1 – Estructuras de acero – El término acero estructural empleado en la presente norma se refiere a los elementos de acero estructural esenciales para resistir las cargas de diseño.

El diseño de estructuras de acero con miembros hechos con perfiles laminados está cubierto por los Capítulos F.1 a F.3. Tales miembros se enumeran en forma general en 2.1 del “Código de Práctica Estándar para Estructuras Metálicas” del Instituto Americano para Construcción de Acero (AISC).

El diseño de estructuras metálicas con miembros formados en frío se trata en el Capítulo F.4.

F.2.2 – Requisitos de diseño

Este numeral contiene requisitos generales para el análisis y diseño de estructuras de acero, aplicables a todos los numerales del Capítulo F.2.

Se incluyen las siguientes secciones:

F.2.2.1 – Provisiones generales

F.2.2.2 – Cargas y combinaciones de carga

F.2.2.3 – Bases para el diseño

F.2.2.4 – Propiedades de los miembros

F.2.2.5 – Fabricación, montaje y control de calidad.

F.2.2.6 – Evaluación de estructuras existentes.

F.2.2.3.5 – Diseño de conexiones – Los elementos de conexión deben diseñarse de acuerdo con los requisitos de los numerales F.2.10 y F.2.11. Las fuerzas y deformaciones usadas en el diseño deben ser consistentes con el funcionamiento esperado de la conexión y con las suposiciones formuladas en el análisis estructural. Se admiten deformaciones autolimitadas en las conexiones. En sus puntos de apoyo, las vigas y armaduras deberán estar restringidas contra la rotación alrededor de su eje longitudinal, excepto cuando mediante análisis se puede demostrar que dicha restricción no es necesaria.

F.2.2.3.5.1 – Conexiones simples a cortante– Una conexión se considera simple cuando el momento que se transmite a través de ella es despreciable. En el análisis de la estructura puede suponerse que las conexiones simples permiten la rotación relativa sin restricción entre los elementos conectados. Una conexión simple deberá tener suficiente capacidad de rotación para permitir el giro requerido según el análisis estructural.

4.5 Tipos de conexiones:

McCormac & Csernak, (2012) define las conexiones estándar de vigas atornilladas así:

En la Ilustración 1 se muestran dos tipos de conexiones atornilladas estándar. Estas conexiones por lo general están diseñadas para resistir sólo al corte, y las pruebas han demostrado que esta práctica es absolutamente satisfactoria. La parte (a) de la Ilustración 1 muestra una conexión entre vigas conocida como conexión reticular. Este tipo de conexión consta de un par de ángulos flexibles para el alma, posiblemente conectados en el taller al alma de la viga soportada, y conectados en la obra a la viga o columna de apoyo. Muchas veces cuando se conectan dos vigas es necesario que las caras superiores de los patines de las vigas estén al mismo nivel, siendo entonces necesario recortar uno de los patines (llamado despatinado) como se muestra en la parte (b) de la Ilustración 1. En tales conexiones se debe revisar el bloque de cortante. El despatinado es un proceso caro que deberá evitarse cuando sea posible.

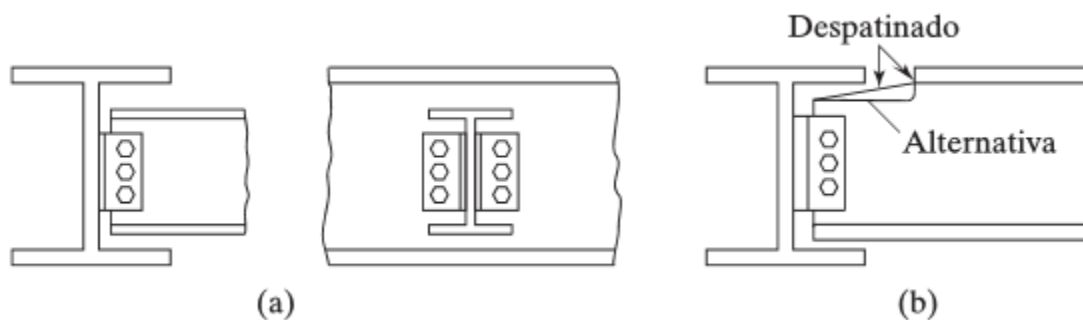


Ilustración 1- Conexiones tipo ángulo a cortante. (McCormac & Csernak, 2012)

Conexiones simples de ángulo doble

Las conexiones de doble ángulo tienen ciertas ventajas sobre las conexiones de ángulo simple. Las conexiones de doble ángulo pueden resistir reacciones finales más grandes porque los pernos del miembro soportado están en doble cizallamiento y la excentricidad perpendicular al eje de la viga no necesita ser considerada. El pasador en una conexión de doble ángulo estándar se encuentra en el alma de la viga conectada.

Los siguientes estados límite se consideran en el diseño de una conexión de doble ángulo:

1. Fluencia por cortante
2. Ruptura por cortante
3. Fluencia por flexión
4. Ruptura por flexión
5. Ruptura por bloque de cortante
6. Aplastamiento producido por el perno
7. Ruptura por desgarre generado por el perno
7. Deslizamiento de perno (Para conexiones de deslizamiento crítico)
8. Cortante del perno

Los estados límite del perno incluyen efectos de la excentricidad de la carga.

Con el objetivo de hacer que estas conexiones estándar tengan un momento resistente tan pequeño como sea posible, los ángulos utilizados en la fabricación de las conexiones, por lo general son livianos y flexibles. Para ser calificados como apoyos simples, los extremos de las vigas deben estar en libertad de girar hacia abajo. La Ilustración 2 muestra la forma en que los ángulos, ya sean adosados al alma o de asiento, se deformarán teóricamente a medida que los extremos de las vigas giran hacia abajo. El proyectista no deberá hacer nada que estorbe estas deformaciones si busca apoyos simples.

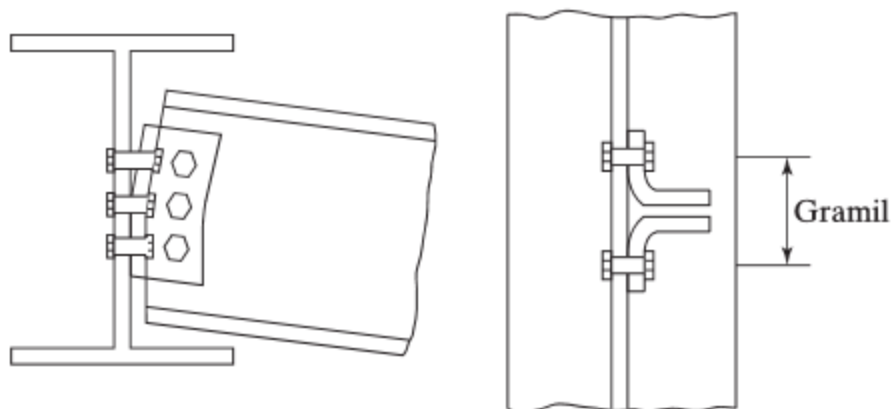


Ilustración 2- Flexión de una conexión reticular para viga. (McCormac & Csemak, 2012)

Para que ocurran las rotaciones mostradas en la Ilustración 2, debe haber cierta deformación en los ángulos. Es un hecho que, si los extremos se inclinan según la pendiente calculada para extremos simples, los ángulos realmente se flexionarán lo suficiente para tener esfuerzos mayores a los correspondientes al punto de límite de fluencia. Si ocurre esta situación, quedarán deformados permanentemente y las conexiones se aproximarán realmente a la forma de apoyo simple. Es conveniente usar

ángulos delgados y gramiles grandes para el espaciamiento de los tornillos, si es que el objetivo del calculista son conexiones que trabajen como apoyos simples.

Estas conexiones tienen cierta resistencia a momentos. Cuando los extremos de la viga empiezan a girar hacia abajo, la rotación sin duda es resistida en cierta medida por la tensión en los tornillos superiores, aunque los ángulos sean muy delgados y flexibles. Ignorar el momento resistente de estas conexiones ocasionará vigas de dimensiones conservadoras. Si se van a resistir momentos de cualquier magnitud, es necesario proporcionar más juntas tipo rígido que las conexiones con ángulos unidos al alma o ángulos de asiento con que se cuente.

Tipo de conexión particular a usar:

Conexión de ángulo doble pernada para la unión vigueta–viga y viga–columna a cortante (Ilustración 3). Se usa para conexiones a cortante Vigueta – Viga, Viga - Viga, y Viga - Columna:

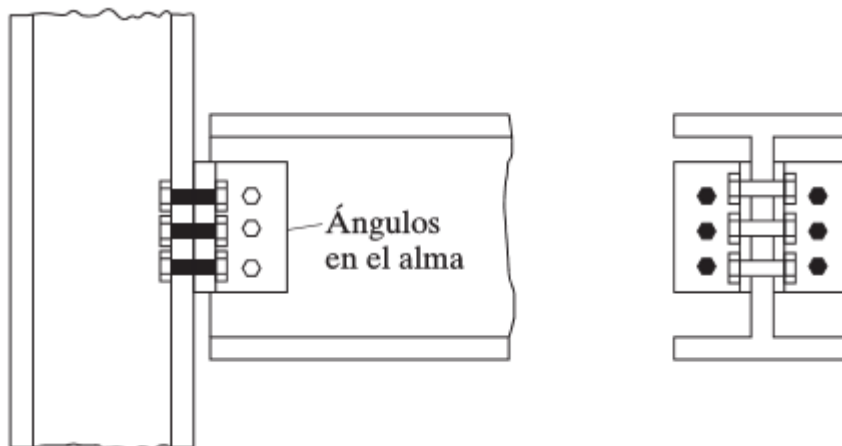


Ilustración 3- Conexión simple de doble ángulo reticular. (McCormac & Csernak, 2012)

El Título F de la NSR-10 define las conexiones a momento así:

F.2.2.3.5.2 – Conexiones a momento – Se permiten dos tipos de conexiones a momento, TR y PR, definidos a continuación:

F.2.2.3.5.2.1- Conexiones a Momento Totalmente Restringidas (TR) – Transfiere momento con una rotación relativa despreciable entre los miembros conectados. En el análisis de la estructura, esta conexión se puede idealizar considerando que la rotación relativa es nula.

F.2.2.3.5.2.2 – Conexiones a Momento Parcialmente Restringidas – Transfieren momento, sin que se pueda despreciar la rotación entre los elementos conectados.

Al analizar la estructura se deben introducir las características de fuerza-deformación de este tipo de conexiones

La guía de diseño (American Institute of Steel Construction, 2005) define las conexiones de placa de borde así:

Las conexiones de la placa de borde atornilladas se realizan uniendo la viga a placa mediante soldadura y la columna mediante pernos atornillados. Las tres configuraciones de placa de borde que se muestran en la Ilustración 4 están cubiertas en esta sección y están precalificadas bajo las disposiciones sísmicas AISC dentro de las limitaciones de esta Norma.

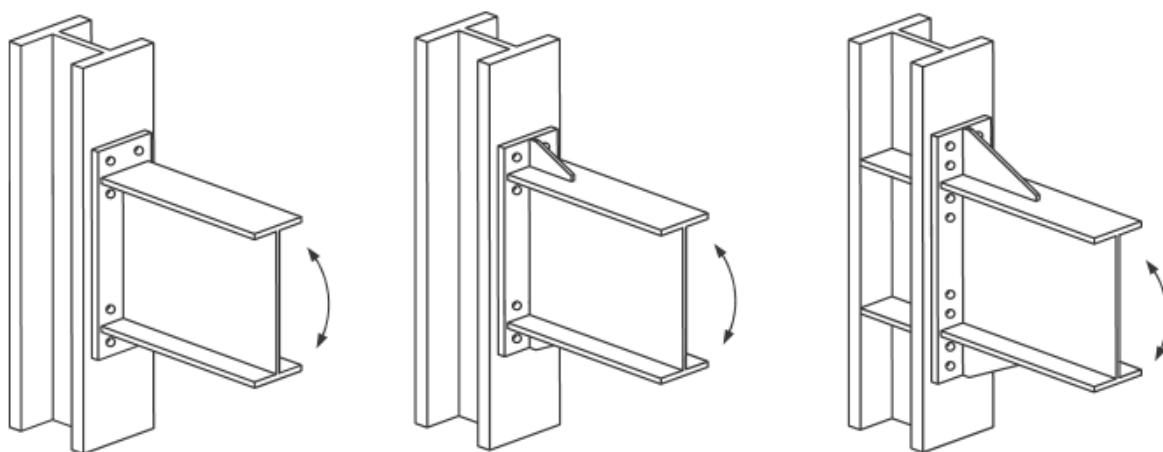


Ilustración 4- Tipos de conexiones de placa de borde. (American Institute of Steel Construction, 2005)

Este tipo de conexiones puede unir dos vigas como una conexión de placa de empalme, o una conexión viga columna. Su clasificación se basa en el número de pernos en la aleta del elemento adyacente y si se requieren o no rigidizadores. Las principales ventajas de esta conexión es que todas las soldaduras se realizan en taller evitando cualquier inconveniente con soldaduras en campo, optimizando el proceso constructivo en términos de costo y tiempo; ante el fenómeno climático de invierno la conexión es adecuada para el levantamiento ya que solo requiere ser pernada al elemento adyacente. Sin embargo, este tipo de conexiones tienen algunas desventajas dentro de las cuales se destaca la constante deformación de la placa de borde a causa del calor de la soldadura; las técnicas de fabricación son muy estrictas respecto a los procesos y la mano de obra calificada; la placa de borde está sujeta a un desgarramiento laminar en la región superior de la soldadura en la altea a tensión del elemento adyacente.

El comportamiento de esta conexión puede controlarse mediante la evaluación de una serie de estados límites de falla:

1. Flexión de la viga.
2. Flexión de la placa
3. Flexión en la aleta de la columna
4. Tensión en los pernos
5. Cortante en los pernos
6. Rotura en algún punto de soldadura.

Tipo de conexión particular a usar:

Conexión de placa de borde para la unión viga-columna a momento (Ilustración 5):

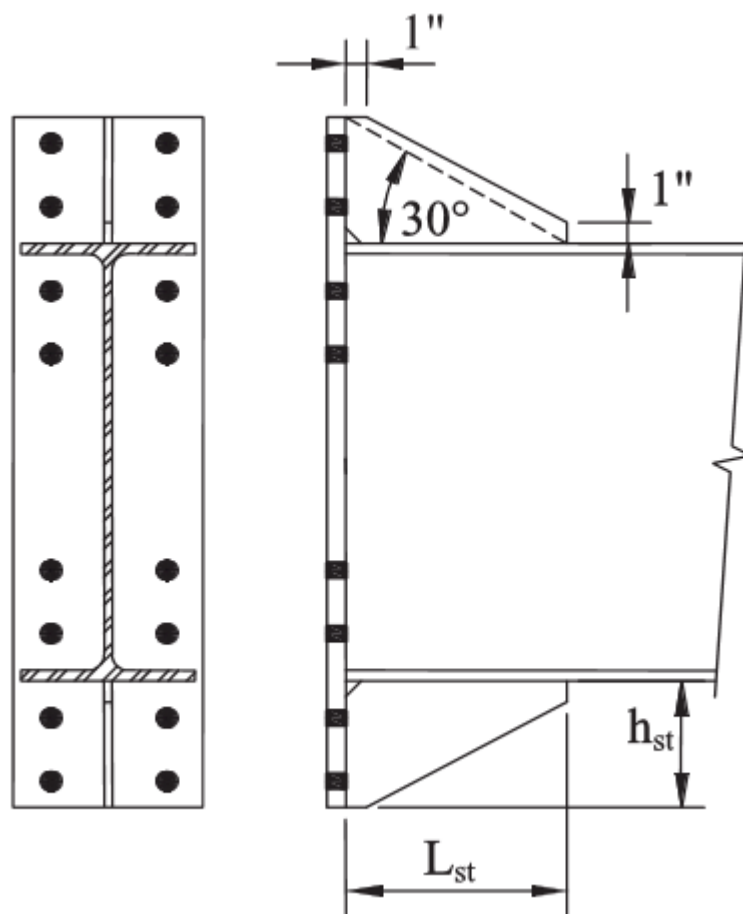
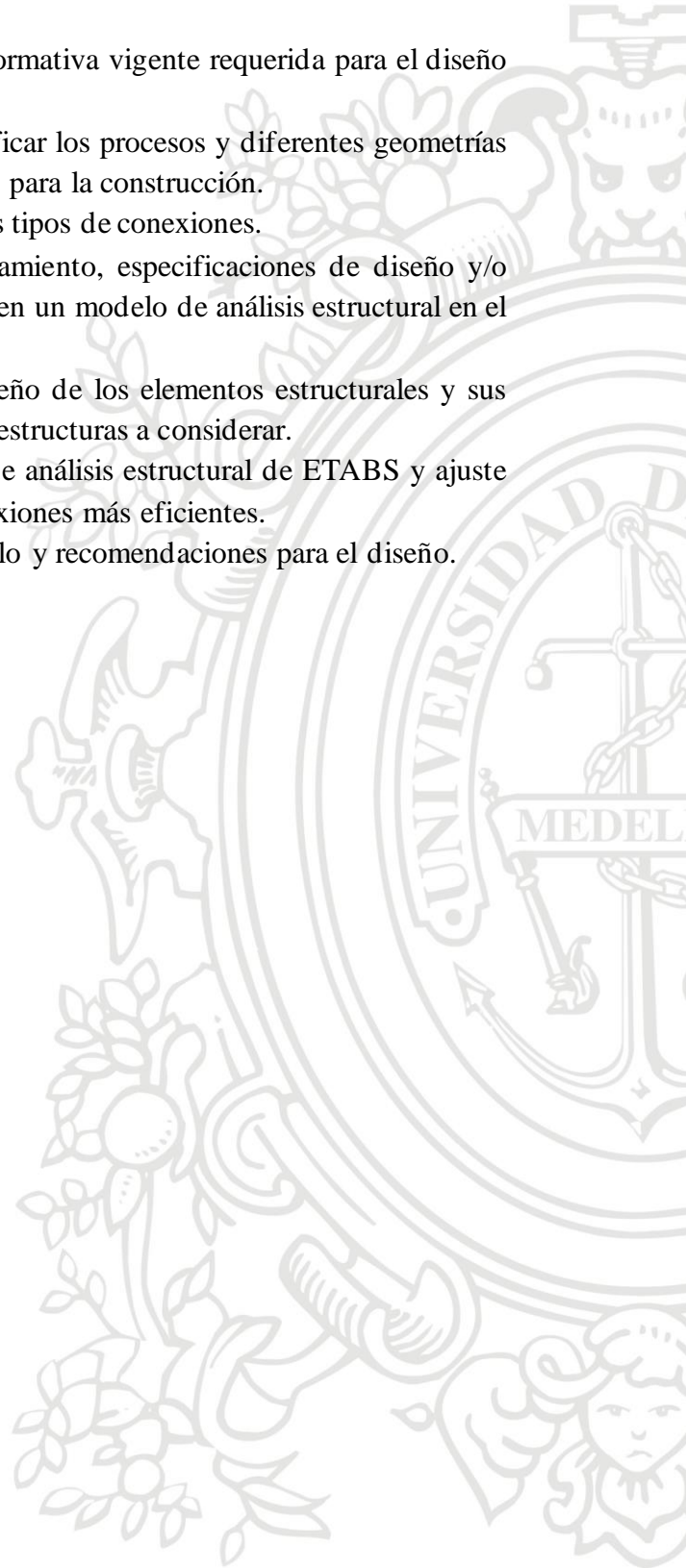


Ilustración 5 - Conexión de placa de borde. (Thomas M. Murray, Ph.D., P.E.; Emmett A. Sumner, Ph.D., 2003)

5 Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en este documento es necesario llevar a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de información técnica y normativa vigente requerida para el diseño de estructuras en acero.
- Investigación de bibliografía para identificar los procesos y diferentes geometrías de las secciones y conexiones disponibles para la construcción.
- Capacitación en estructuras de acero y los tipos de conexiones.
- Planteamiento de escenarios de funcionamiento, especificaciones de diseño y/o combinaciones de carga de la estructura en un modelo de análisis estructural en el software ETABS.
- Generación de hojas de cálculo del diseño de los elementos estructurales y sus conexiones según el diseño global de las estructuras a considerar.
- Verificaciones de diseño en el modelo de análisis estructural de ETABS y ajuste de resultados para la elección de las conexiones más eficientes.
- Documentación de las memorias de cálculo y recomendaciones para el diseño.



6 Resultados y análisis

6.1 Implementación de la guía de diseño

Se implementó una guía de diseño estructural, teniendo en cuenta los procedimientos y parámetros de diseño establecidos por la NSR-10 para su aplicación en los proyectos típicos dentro de la empresa ADALFE S.A.S.

A continuación, se presenta el contenido de esta guía de diseño estructural (Anexo 9.2.1), la cual constituye una propuesta sobre el contenido temático que deben tener las memorias de cálculo para cualquier proyecto.

6.1.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

- Se describe características del proyecto tales como número de pisos y ubicación del proyecto
- Se describe el sistema estructural a diseñar, así como la zona de amenaza sísmica de acuerdo con la Sección A3, NSR-10
- Se describe de forma detallada las cargas gravitacionales que debe recibir la edificación. Esta información se obtiene a partir de los datos de salida del modelo elaborado en ETABS

6.1.2 RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

- Se describen los materiales utilizados para los elementos que conforman el sistema estructural, tales como concreto, acero, mampostería de arcilla, y materiales de acabados.

6.1.3 DESCRIPCION DEL SOFTWARE E INFORMACION DE LA MODELACION

Se describe el software a utilizar para la elaboración del modelo estructural, en este caso ETABS.

6.1.4 DATOS DE ENTRADA

- Iniciando el modelo se entra la geometría de la edificación en un espacio 3D (definido por los ejes principales X, Y, Z).
- Se definen:
 - Los materiales a utilizar como los tipos de concreto, mampostería, acero de refuerzo, entre otros.
 - Los diferentes tipos de secciones de columnas, vigas, nervios, losas, muros, pisos, etc.
 - Se define una función de espectro de respuesta de acuerdo al código sismo resistente colombiano NSR-10
 - Se definen las direcciones de aplicación del espectro de respuesta

- Se definen los casos de carga estática y dinámica o sísmica.
- Se definen las combinaciones de carga de acuerdo al código sismo resistente.
- Se define la fuente de masa.
- Se carga la edificación con carga muerta y con carga viva
- Se asignan las restricciones del caso
- Si la edificación tiene muros estructurales se asignan los tipos de muros a diseñar
- Se definen los diafragmas en las losas
- Se define el tipo de análisis que se va a realizar y cuantas iteraciones debe realizar el programa

6.1.5 CONFIGURACION ESTRUCTURAL

- Se define el sistema estructural según la Tabla A.3., NSR-10.
- Se evalúan las irregularidades en planta, en altura y por ausencia de redundancia según sea el caso.
- Se define el coeficiente de disipación de energía R para las cargas sísmicas de diseño a las cuales será sometida la estructura.

6.1.6 CALCULO DE LA FUERZA SISMICA

- Se calcula el coeficiente de aceleración sísmica por el método de análisis dinámico, de acuerdo con el capítulo A.4 del Título A, NSR-10.

6.1.7 CÁLCULO DEL CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE DERIVAS

- Se presenta el ajuste por cortante Basal, en base a los parámetros de aceleración sísmica y la masa de la edificación.
- Después de corregir la carga sísmica a cortante aplicada a la edificación, se verifican derivas en el modelo, dando así cumplimiento a los límites de derivas establecidos por la separación sísmica de acuerdo con A.6.5.2.3 – Requisitos de separación sísmica con respecto al parámetro del lote para edificaciones nuevas, A.6.4 – LIMITES DE LA DERIVA.

6.1.8 MODOS DE VIBRACIÓN

- A.5.4.2 – Deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados, se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las

direcciones horizontales de análisis, por lo menos el 90 por ciento de la masa participante de la estructura.

6.1.9 COMBINACIONES DE CARGA

- Se deben presentar las combinaciones de carga usadas en el análisis estructural elaborado en el software de diseño ETABS. Dichas combinaciones de carga deben ser tomadas y descritas de acuerdo con B.2.4.2 – Derivas y diseño, y B.2.3.1 – Servicio.

6.1.10 DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, CIMENTACIONES Y ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Se debe presentar la descripción de los cálculos obtenidos a partir de los datos de salida del modelo de ETABS, y mediante las hojas de cálculo elaboradas durante el desarrollo del proyecto de prácticas.

Las hojas de cálculo comprenden la resolución de los siguientes procedimientos

- Pre dimensionamiento de losa
- Cálculo de cargas muertas super impuestas. (En caso de no presentar cálculo de cargas super impuestas, se debe usar las cargas mínimas dadas en el Capítulo B.3 del Título B, NSR-10)
- Cálculo del espectro de respuesta sísmica
- Corrección del cortante basal y verificación de derivas
- Evaluación de irregularidades en planta, irregularidades en altura y ausencia de redundancia.
- Cálculo del índice de estabilidad Q para la aplicación de efectos P-Delta en el modelo estructural (si aplica).
- Diseño de elementos estructurales tipo viga, columna,
Se elaboraron hojas de cálculo para el diseño de elementos estructurales de concreto y de acero aplicadas en el desarrollo de los proyectos trabajados en ALDAFE S.A.S., así como en el proyecto de investigación de una estructura metálica descrito en el presente informe.
- Diseño de conexiones a cortante y a momento (solo para estructuras diseñadas con elementos estructurales de acero)
- Diseño de elementos no estructurales, tales como escaleras, muros de mampostería y losa de entrepiso (maciza, aligerada, metal deck).
- Diseño de cimentaciones
Se elaboraron hojas de cálculo para diferentes tipos de cimentaciones según sea el caso:

- Diseño de zapatas (aisladas, medianeras, esquineras), diseño de pedestal y vigas de fundación.
- Diseño de pilas, dados de transición y vigas de fundación
- Diseño de conexión tipo placa base (para estructuras con columnas de acero)

6.1.11 VERIFICACIÓN DEL CRITERIO DE RESISTENCIA (6/5) COLUMNA FUERTE – VIGA DÉBIL DE LA SECCIÓN C.21.3.6 – RESISTENCIA MÍNIMA A FLEXIÓN DE LAS COLUMNAS DE PÓRTICOS CON CAPACIDAD MODERADA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA (DMO), NSR-10:

- Se deben chequear los elementos diseñados en el modelo de ETABS
- Se debe adjuntar los resultados de la verificación Columna fuerte – Viga débil tomados del diseño generado por el software ETABS

6.1.12 VERIFICACIÓN DEL CRITERIO DE RESISTENCIA POR CORTANTE PLÁSTICO DE LA SECCIÓN C.21.3. – PÓRTICOS INTERMEDIOS RESISTENTES A MOMENTOS CON CAPACIDAD MODERADA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA (DMO), NSR-10:

- Se debe adjuntar los resultados de la verificación del cortante plástico tomados del diseño generado por el software ETABS

6.1.13 PARAMETROS Y PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE RESISTENCIA CONTRA EL FUEGO

- Se adjuntan los parámetros de diseño y constructivos como recomendaciones para dar cumplimiento a los requisitos dados en el Título J y el Título K de la NSR-10.

6.2 Especificaciones del proyecto para el tema específico de estudio ●

- Localización: Área Urbana de Medellín
- Acabados: Baldosa de granito + Cielo en Drywall
- Muros y divisiones: Ladrillo tolete y pañete.
- Tipo de placa: Armada en una dirección usando Steel Deck y Concreto.
- Vigas y Columnas: Acero A992-Gr50.
- Cimentación: Zapatas y Vigas de amarre en Concreto a - 1.50 m de desplante.
- Capacidad portante: 200 KPa. (Capacidad del suelo se soporte).
- Concreto: f'_c para placas y cimentación a elegir por el diseñador.

- Acero de refuerzo: Acero A615-Gr 60

El proyecto desarrollado para el tema específico de estudio consta de la elaboración de dos diseños estructurales para la misma edificación propuesta (Ilustración 6 y 7), cuyos objetivos a desarrollar se basan en un análisis comparativo de respuesta a cargas laterales para un sistema de pórticos arriostrados y un sistema de pórticos resistentes a momentos bajo las mismas condiciones de carga.

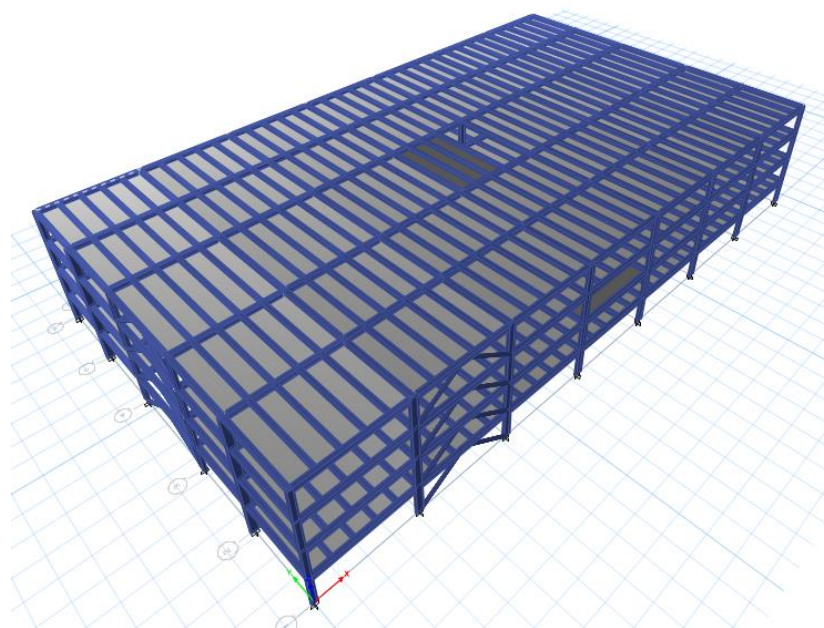


Ilustración 6 - Sistema de pórticos arriostrados. Tomado de ETABS

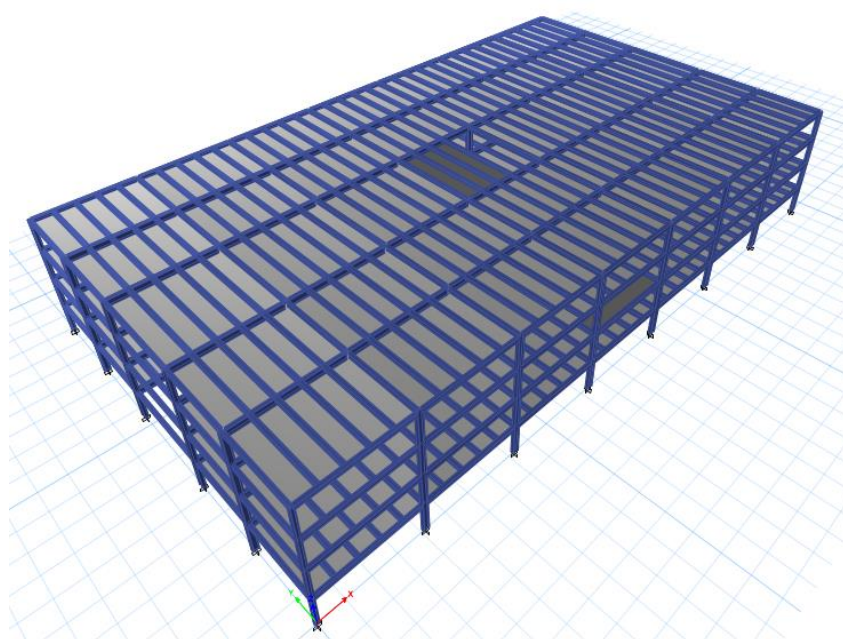


Ilustración 7 -Sistema de pórticos resistente a momentos. Tomado de ETABS.

6.3 Análisis estructural

Para el desarrollo del análisis estructural se tienen en cuenta los criterios del Título A y el Título B, NSR-10 para la evaluación de cargas gravitacionales y cargas laterales de viento, así como las combinaciones de carga a evaluar.

Para el diseño automatizado realizado por ETABS se tuvo en cuenta el uso del método de análisis directo por estabilidad de acuerdo con F.2.3 – DISEÑO POR ESTABILIDAD, NSR-10, donde se consideran los efectos sobre la estabilidad de la estructura tales como:

- 1- Las deformaciones por flexión, cortante y carga axial en los miembros
- 2- Los efectos de segundo orden (incluyendo los efectos P-Delta)
- 3- Las imperfecciones geométricas
- 4- La reducción de la rigidez de los miembros por efectos de comportamiento inelástico
- 5- Las incertidumbres en la rigidez y la resistencia

El diseño por estabilidad considera las cargas nomencladas de acuerdo con F.2.3.2.2.2, que representan los efectos de las imperfecciones iniciales. También se considera la reducción de rigidez de la estructura de acuerdo con F.2.3.2.3, donde se aplica un factor de reducción α que afecta a la rigidez flexional de todos los miembros cuyas rigideces flexionales se considere contribuyan a la estabilidad de la estructura.

Los resultados más relevantes del análisis para la propuesta comparativa de los sistemas estructurales se presentan a continuación.

- Derivas de piso en las direcciones X y Y para los dos sistemas de pórticos modelados en ETABS:

Para el sistema de pórticos arriostrados, derivas de piso en X y Y de 0.041% y 0.044% respectivamente:

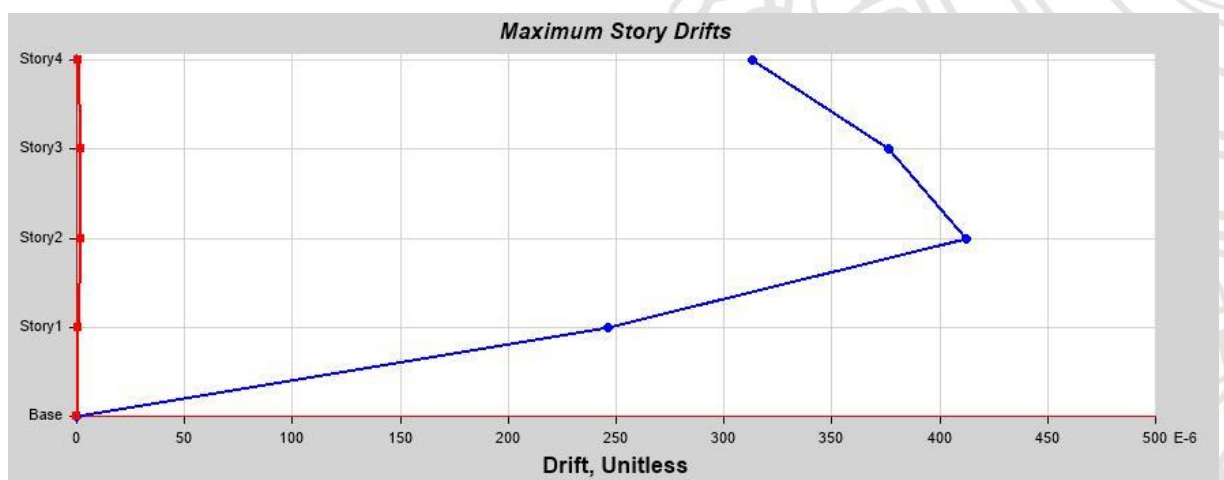


Ilustración 8 - Evaluación de derivas de piso en dirección X. Tomado de ETABS

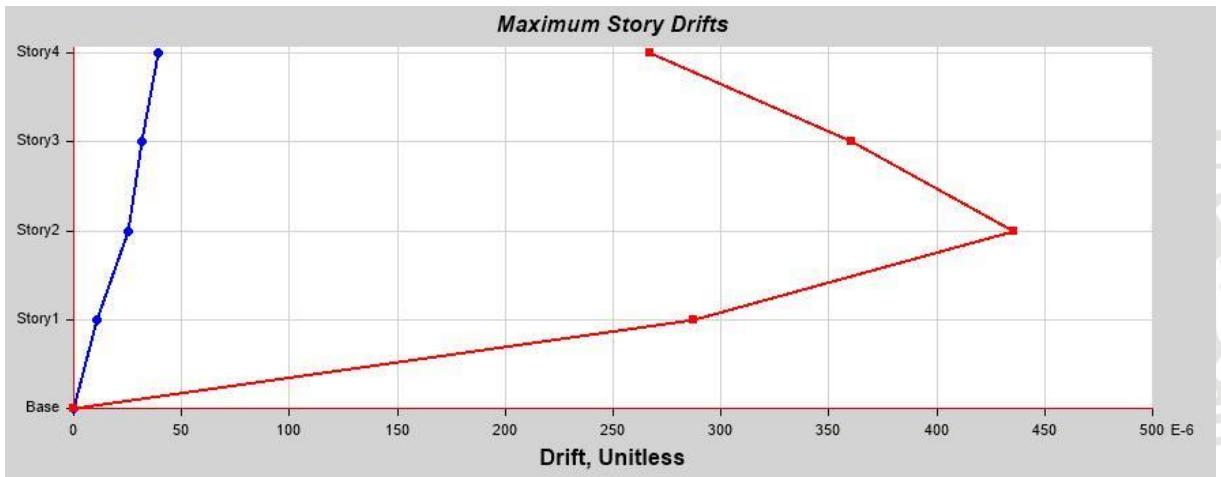


Ilustración 9 - Evaluación de derivas de piso en dirección Y. Tomado de ETABS

Para el sistema de pórticos resistentes a momentos, derivas en X y Y de 0,042% y 0,078% respectivamente:

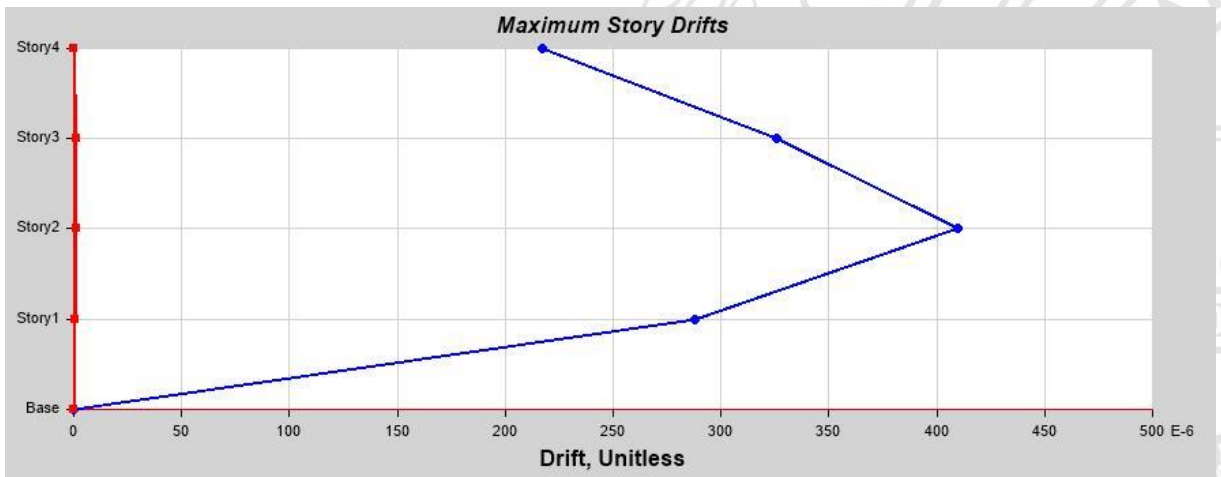


Ilustración 10 - Evaluación de derivas de piso en dirección X. Tomado de ETABS

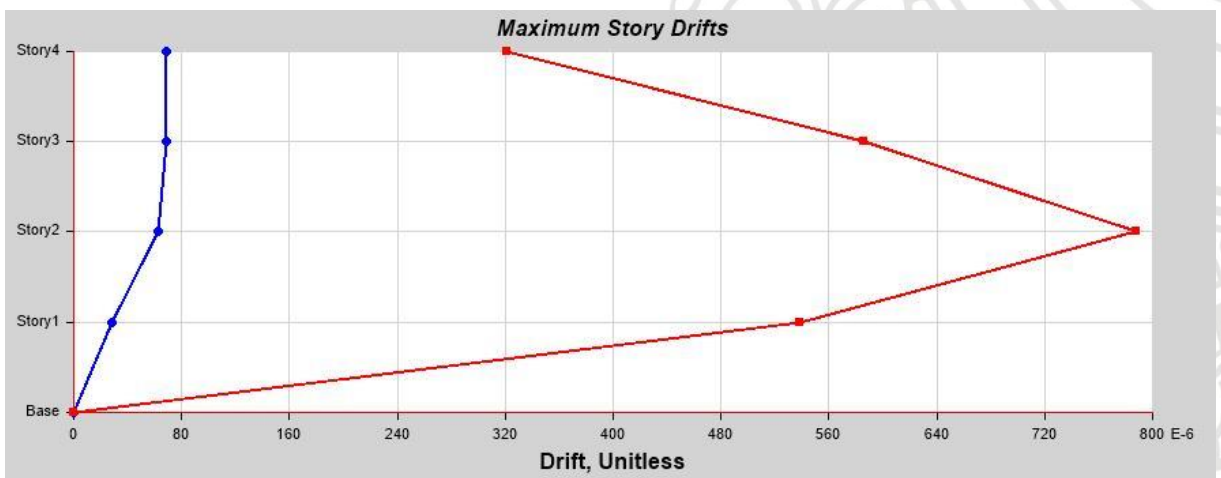


Ilustración 11 - Evaluación de derivas de piso en dirección Y. Tomado de ETABS

Se presentan los diagramas de fuerzas internas de los elementos en los dos modelos estructurales para verificar que los sistemas estructurales trabajen adecuadamente

- Diagramas de cargas axiales:

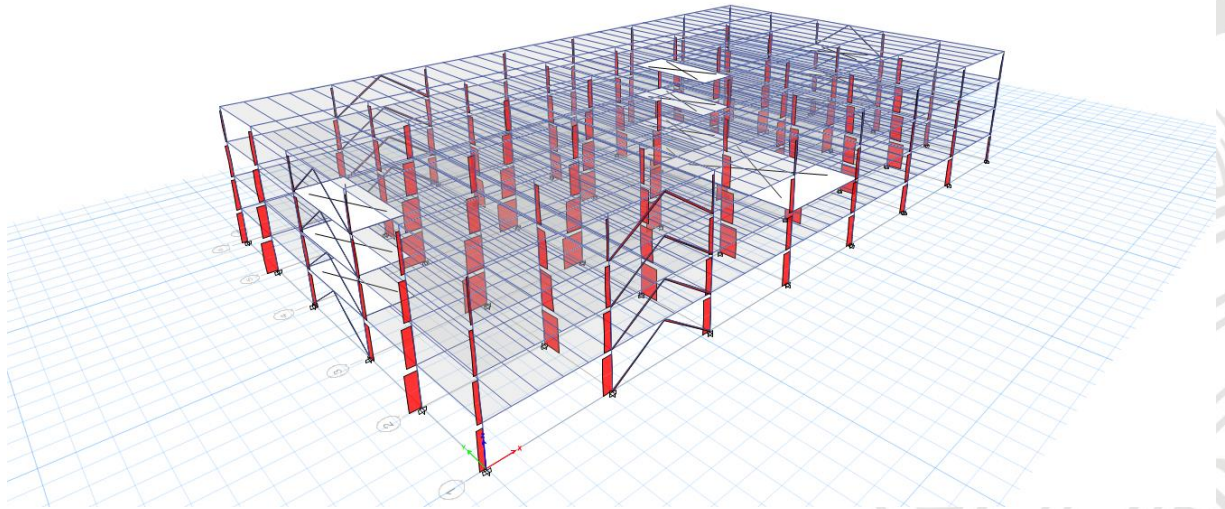


Ilustración 12 - Diagrama de cargas axiales (modelo a cortante). Tomado de ETABS

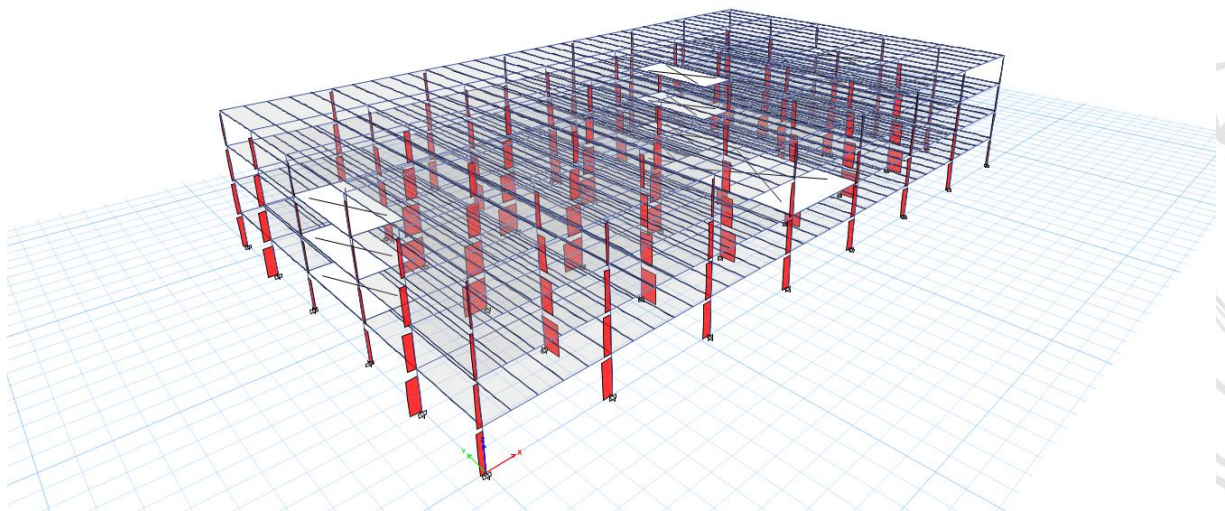


Ilustración 13 - Diagrama de cargas axiales (modelo a momento). Tomado de ETABS

- Diagramas de cargas a cortante:

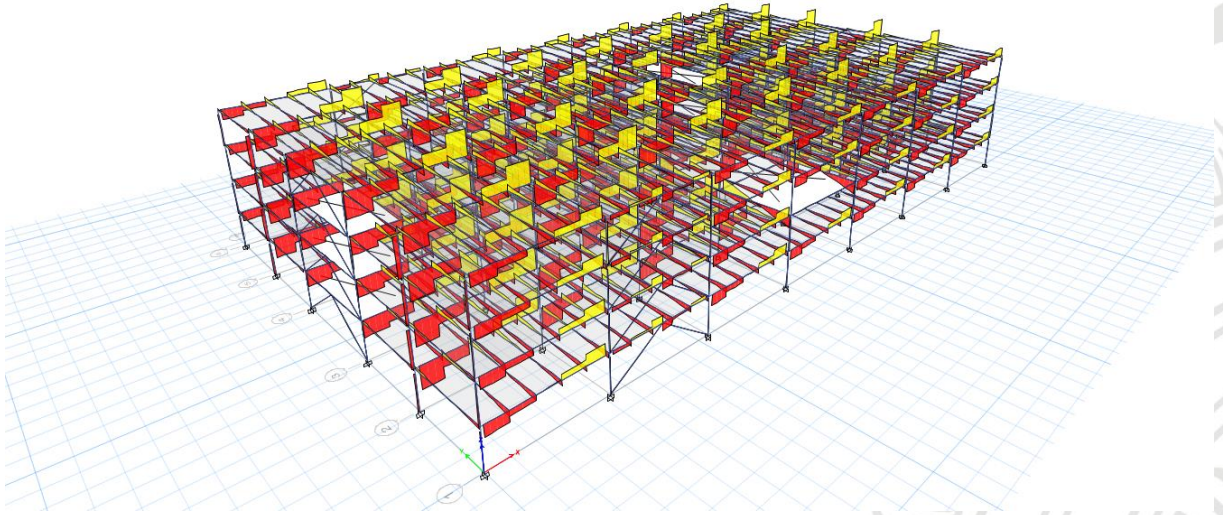


Ilustración 14 - Diagrama 1 de cargas cortantes (modelo a cortante). Tomado de ETABS

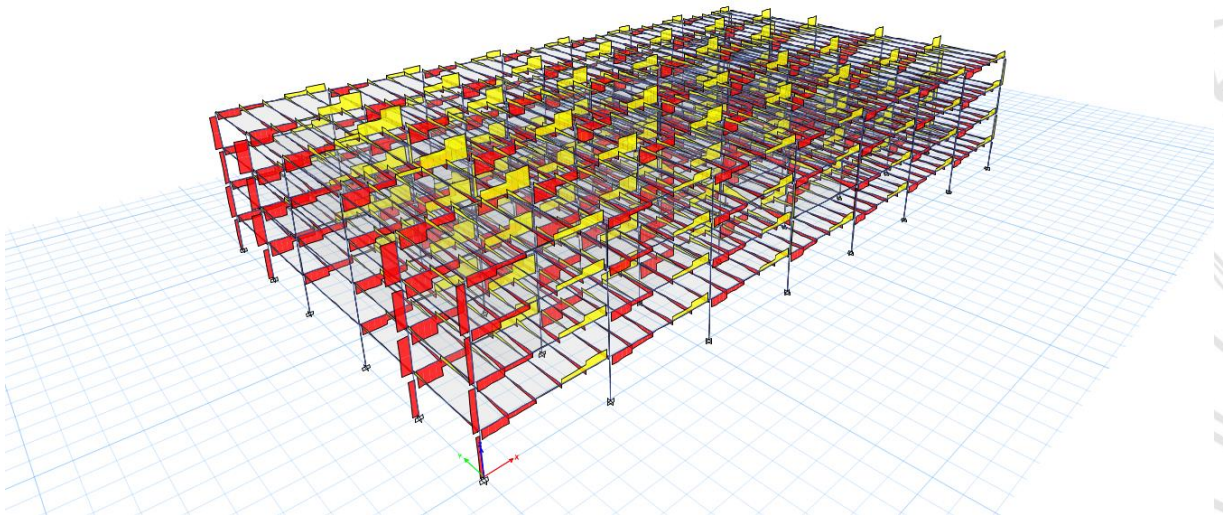


Ilustración 15 - Diagrama 1 de cargas cortantes (modelo a momento). Tomado de ETABS

- Diagramas de momentos:

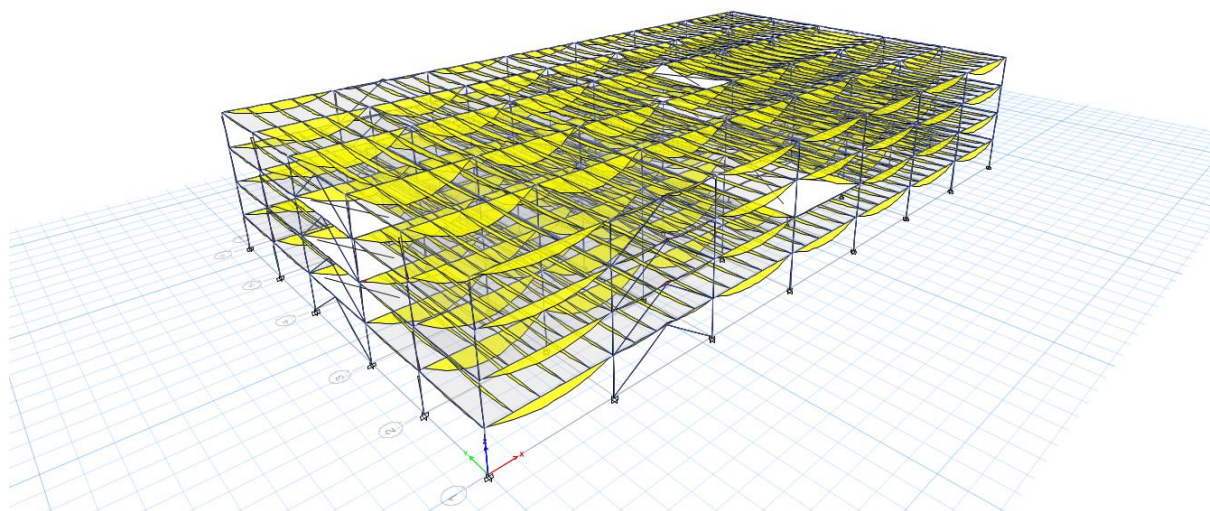


Ilustración 16 - Diagrama de momentos (modelo a cortante). Tomado de ETABS

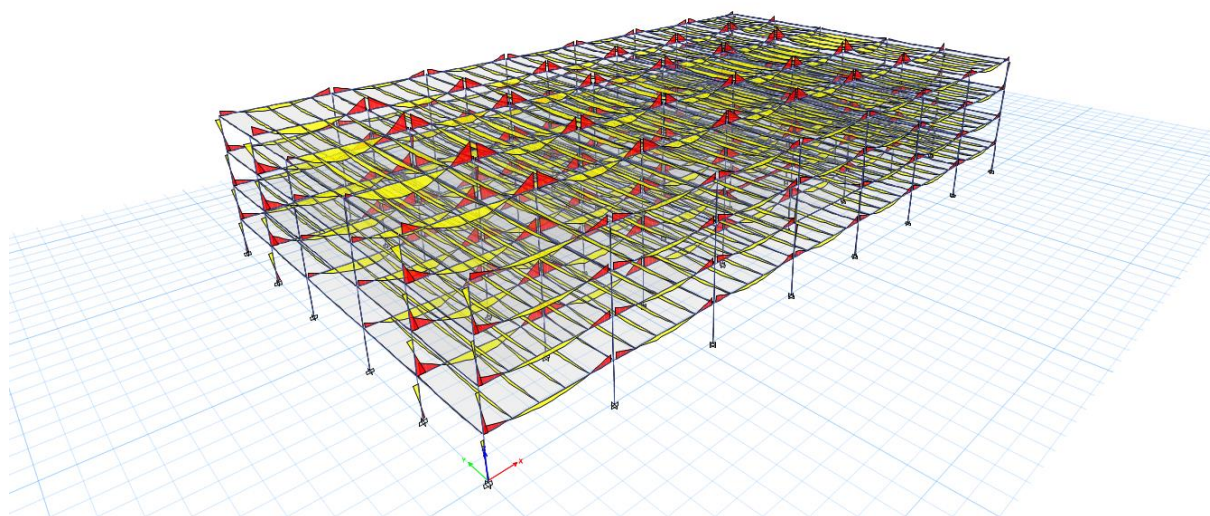


Ilustración 17 - Diagrama de momentos (modelo a momento). Tomado de ETABS

Para el diseño estructural se tuvieron en cuenta los requerimientos de acuerdo con el Título C de la NSR-10 para el diseño de elementos de concreto como pedestales, zapatas y vigas de fundación, y el Título F de la NSR-10 para el diseño de los elementos estructurales metálicos.

6.4 Cargas de diseño

A continuación, se presentan las cargas máximas y mínimas de diseño obtenidas de los modelos elaborados en ETABS, las cuales se usan para el diseño de los elementos

estructurales principales y críticos en la estructura, así como de sus respectivas conexiones según sea el caso:

MODELO SISTEMA DE PÓRTICOS ARRIOSTRADOS

Viga carguera interna W12x190

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	86,291	691,9873
CARGA MINIMA	-86,291	0

Tabla 1 – Carga máxima y mínima viga W12x190. Datos tomados de ETABS

Viga carguera perimetral W12x96

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	37,144	293,8965
CARGA MINIMA	-37,144	-58,2514

Tabla 3 - Carga máxima y mínima viga W12x96. Datos tomados de ETABS

Viga de amarre W12x72

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	46,776	247,9797
CARGA MINIMA	-46,776	-15,5521

Tabla 2 - Carga máxima y mínima viga W12x72. Datos tomados de ETABS

Vigueta W10x100

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	22,925	169,2275
CARGA MINIMA	-22,925	0

Tabla 4 - Carga máxima y mínima vigueta W10x100. Datos tomados de ETABS

Columna interna W24x94

	P	V2	V3	M2	M3
	kip	kip	kip	kip-ft	kip-ft
CARGA MAXIMA	0	3,654	1,994	13,576	33,0718
CARGA MINIMA	-833,932	-5,55	-1,97	-13,5842	-33,1029

Tabla 5 - Carga máxima y mínima columna W24x94. Datos tomados de ETABS

Columna perimetral W24x62

	P	V2	V3	M2	M3
	kip	kip	kip	kip-ft	kip-ft
CARGA MAXIMA	7,91	12,382	3,812	20,5922	59,9241
CARGA MINIMA	-374,47	-12,341	-3,806	-20,5938	-59,866

Tabla 6 - Carga máxima y mínima columna W24x62. Datos tomados de ETABS

Columna esquinera W16x50

	P	V2	V3	M2	M3
	kip	kip	kip	kip-ft	kip-ft
CARGA MAXIMA	0	4,176	0,46	2,2186	20,5366
CARGA MINIMA	-184,072	-4,159	-0,46	-2,2184	-20,5144

Tabla 7 - Carga máxima y mínima columna W16x50. Datos tomados de ETABS

Riostra HSS5.500x0.258

	P	V2
	kip	kip
CARGA MAXIMA	14,644	0,17
CARGA MINIMA	0	-61,19

Tabla 8 - Carga máxima y mínima riostra HSS5.500x0.258. Datos tomados de ETABS

MODELO SISTEMA DE PORTICOS RESISTENTES A MOMENTOS

Viga carguera interna W21x68

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	97,268	395,9014
CARGA MINIMA	-97,065	-535,259

Tabla 9 - Carga máxima y mínima viga W21x68. Datos tomados de ETABS

Viga carguera perimetral W12x40

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	29,788	97,977
CARGA MINIMA	-29,689	-161,5411

Tabla 11 - Carga máxima y mínima viga W12x40. Datos tomados de ETABS

Viga de amarre W12x45

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	50,692	112,6951
CARGA MINIMA	-1,348	-0,7667

Tabla 10 - Carga máxima y mínima viga W12x45. Datos tomados de ETABS

Vigueta W10x60

	V2	M3
	kip	kip-ft
CARGA MAXIMA	22,225	164,0652
CARGA MINIMA	-22,225	0

Tabla 12 - Carga máxima y mínima vigueta W10x60. Datos tomados de ETABS

Columna interna W18x97

	P	V2	V3	M2	M3
	kip	kip	kip	kip-ft	kip-ft
CARGA MAXIMA	0,375	21,897	10,881	74,7818	134,5426
CARGA MINIMA	-832,235	-26,731	-11,551	-77,9535	-150,65

Tabla 13 - Carga máxima y mínima columna W18x97. Datos tomados de ETABS

Columna perimetral W16x67

	P	V2	V3	M2	M3
	kip	kip	kip	kip-ft	kip-ft
CARGA MAXIMA	1,702	50,556	21,823	956,092	2,061,841
CARGA MINIMA	-351,493	-49,994	-21,115	-970,602	-2,037,585

Tabla 14 - Carga máxima y mínima columna W16x67. Datos tomados de ETABS

Columna esquinera W10x49

	P	V2	V3	M2	M3
	kip	kip	kip	kip-ft	kip-ft
CARGA MAXIMA	0,426	21,25	3,595	16,0534	101,0466
CARGA MINIMA	-140,059	-21,056	-3,597	-16,0436	-101,9743

Tabla 15 - Carga máxima y mínima columna W10x49. Datos tomados de ETABS

6.5 Diseño de conexiones.

Para los dos sistemas estructurales se diseñan las conexiones de los elementos. En el modelo de pórticos arriostrados se diseñan conexiones viga-columna simples a cortante tipo doble ángulo completamente atornilladas (Ilustración 19), siendo uno de los tipos de conexiones más utilizadas actualmente en este sistema estructural en particular. Este tipo de conexión presenta ventajas constructivas puesto que no se requiere de mano especializada como en el caso de conexiones soldadas en campo, y son de rápida instalación.

Para las uniones vigueta-viga y viga-columna-riostra se usan conexiones a cortante simples para los dos modelos (Ilustración 18, 20), así como para las conexiones de columna-cimentación se usa conexiones de placa base para los dos sistemas estructurales (Ilustración 21).

Las conexiones utilizadas en el sistema de pórticos arriostrados son:

- 1- Conexión Vigueta – Viga tipo doble ángulo completamente atornillada.

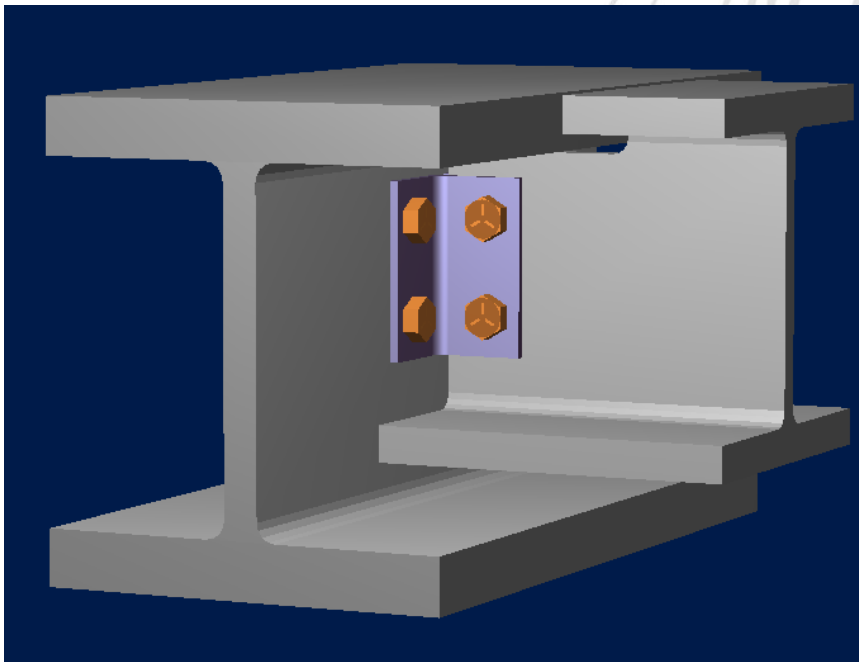


Ilustración 18 - Sección angular L3"X3"X1/4" A36, 2 pernos de 3/4" A325N, Tipo de hueco (conector vigueta): Standard (STD), Tipo de hueco (conector viga): Standard (STD). Tomada de Anexo 9.5.1.

2- Conexión Viga – Columna tipo doble ángulo completamente atornillada.

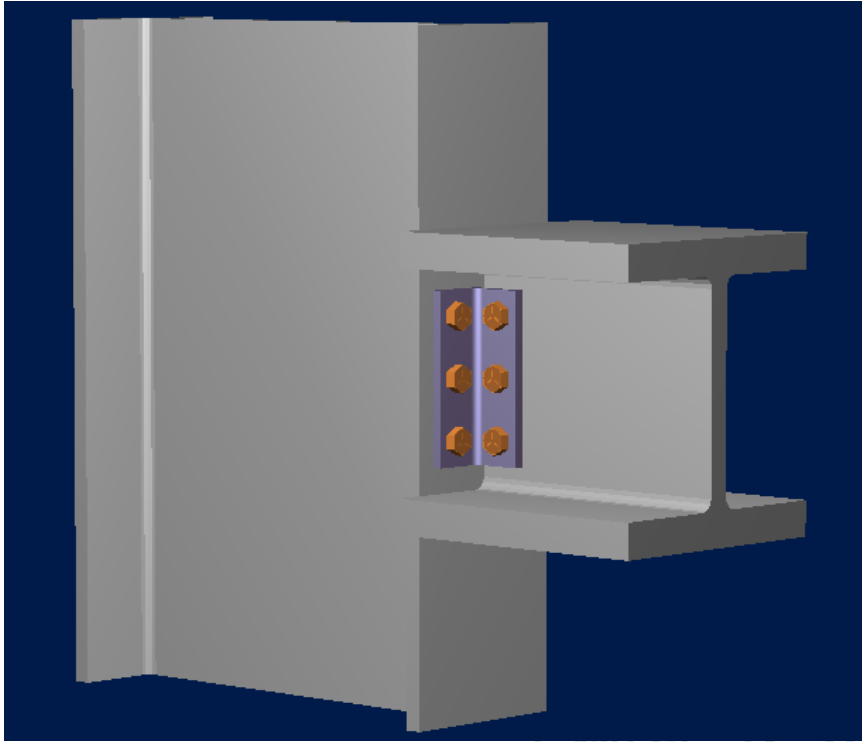


Ilustración 19 - Sección angular L3”X3”X1/2” A36, 3 pernos de 3/4” A325N, Tipo de hueco (conector viga): Standard (STD), Tipo de hueco (conector columna): Standard (STD). Tomada de Anexo 9.5.2.

3- Conexión Viga-Columna-Riostra

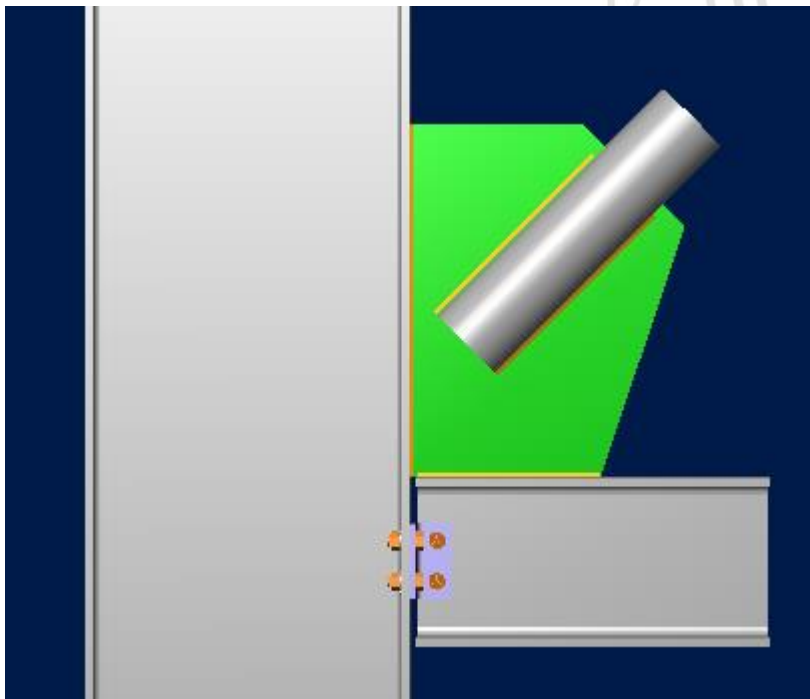


Ilustración 20 - Cartera de espesor 1/2" A36. Soldadura E70XX de espesor 5/16". Directamente soldada en conexión Viga-Cartera, Columna-Cartera, Riostra-Cartera. Tomada de Anexo 9.5.3.

4- Conexión Placa Base.

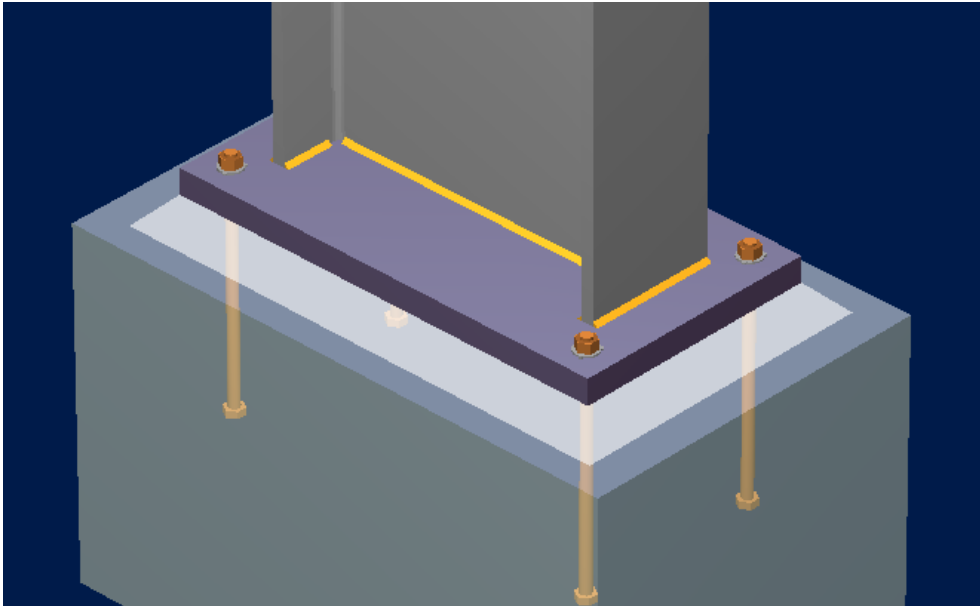


Ilustración 21 - Sección de placa PL17"X31"X1.75" A36. 4 pernos de 3/4" A325N. Tipo de hueco (conector viga): Standard (STD). Tomada de Anexo 9.5.4.

Para el modelo de pórticos resistentes a momentos, solo cambian las conexiones Viga-Columna simples de doble ángulo por conexiones de placa de borde resistentes a momentos (Ilustración 22). El uso de este tipo de conexiones tiene ventajas constructivas en cuanto a la velocidad de unión de los elementos estructurales, puesto que la soldadura viene lista de planta y solo se requiere mano de obra capacitada para el montaje de los elementos estructurales con pernos y herramienta de ajuste.

5- Conexión de placa de borde a momento:

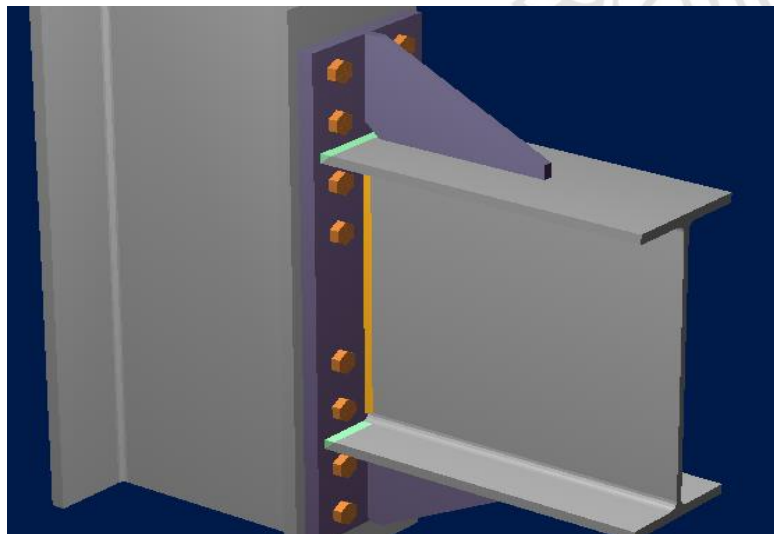


Ilustración 22 - Sección de placa PL1”X91/2”X35” A36. 16 pernos de 7/8” A325N. Tipo de hueco (conector columna): Standard (STD). Tomada del Anexo 9.5.5.

A partir de los resultados obtenidos del análisis y diseño estructural de los modelos elaborados en ETABS y el diseño de conexiones elaborado en Excel (Anexo 9.3 y 9.4), se puede conocer el peso propio de la estructura conformada por los elementos tipo vigas, viguetas, columnas, riostras (en el caso del sistema de pórticos arriostrados), y conexiones.

Peso propio de la estructura arriostrada

	Cantidad	Peso	Unidades
Elementos estructurales y no estructurales		17028,26	kip
Conexiones Vigueta-Viga	1120	4,25	kip
Conexiones Viga-Columna de doble ángulo estándar	752	6,87	kip
Conexión Viga-Columna-Riostra	32	4,93	kip
Conexión Riostra-Viga-Riostra	16	4,93	kip
Conexión Placa Base	48	12,53	kip
PESO TOTAL		17061,77	kip

Tabla 16 – Peso propio de la estructura arriostrada. Datos tomados de ETABS y Hojas de cálculo de conexiones

Peso propio de la estructura resistente a momentos

	Cantidad	Peso	Unidades
Elementos estructurales y no estructurales		15945,27	kip
Conexiones Vigueta-Viga	1120	4,25	kip
Conexiones Viga-Columna placa de borde estándar	352	151,71	kip
Conexiones Viga-Columna placa de borde extendida	400	224,12	kip
Conexión Placa Base	48	12,53	kip
PESO TOTAL		16337,88	kip

Tabla 17 – Peso propio de la estructura resistente a momentos. Datos tomados de ETABS y Hojas de cálculo de conexiones

Nota: Para algunas conexiones Viga-Columna es necesario diseñar conexiones de placa de borde extendida, puesto que algunas vigas deben ser conectadas por el lado del alma de las columnas; por lo tanto, para el análisis de peso propio de la estructura la conexión Viga-Columna con placa de borde extendida de la Tabla 17 se considera con un peso igual al 130% del peso de la conexión Viga-Columna placa de borde estándar como estimación aproximada a tener en cuenta en el peso de la estructura.

7 Conclusiones

Se presenta una guía de diseño completa para la elaboración de los cálculos y parámetros geométricos necesarios en la presentación de memorias de cálculo de acuerdo con la Sección A.1.5.3.1 – Memorias Estructurales, NSR-10.

La guía de diseño incluye una metodología y su referenciación a los parámetros normativos para la elaboración de un modelo estructural en ETABS. También incluye hojas de cálculo para el diseño de todos los elementos (Anexo 9.3) que componen las estructuras de concreto y las estructuras de acero a nivel general, cuyo propósito es optimizar el diseño de los proyectos futuros, obteniendo un diseño eficiente y normativamente satisfactorio.

Los datos obtenidos se presentan de manera sintetizada y ordenada a través de una plantilla de memorias de cálculo (Anexo 9.2.1 y 9.2.2) que contiene todos los requisitos de diseño requeridos por las oficinas de curaduría asignadas para la revisión de los proyectos.

Se presenta el diseño de una edificación bajo dos conceptos de sistemas estructurales a modo comparativo con pórticos arriostrados resistentes a cargas laterales (

Ilustración 6) y pórticos resistentes a momentos. En este caso se diseña para resistir cargas de viento de acuerdo con las especificaciones del proyecto.

A partir de las Ilustraciones 8, 9, 10, y 11, se concluye que un sistema de pórticos arriostrados aporta una mayor rigidez al sufrir menos porcentaje de derivas; en especial en la dirección horizontal Y se evidencia una diferencia de 0.034%, lo que indica claramente que un sistema de pórticos resistentes a momentos es más flexible lateralmente que un sistema de pórticos arriostrados.

Los porcentajes de derivas son muy bajos con respecto a los límites mínimos requeridos en el Título A, NSR-10; esto debido a que la estructura es muy ancha y larga respecto a su altura, y el número de nodos que posee cada pórtico es capaz de disipar la energía que transmiten las cargas laterales de manera muy eficiente.

Los diagramas de fuerzas internas presentados en las Ilustraciones 12, 13, 14, 15, 16 y 17 demuestran que los modelos analíticos elaborados en ETABS trabajan adecuadamente para cada sistema estructural.

A partir de las Ilustraciones 12 y 13, y los resultados obtenidos de las Tablas 5, 6, 7, 13, 14, y 15, se concluye que las columnas del pórtico arriostrado están sometidas a mayores cargas axiales debido a que la estructura es más pesada. Esta diferencia es más evidente en

las columnas perimetrales que hacen parte del pórtico que soporta el sistema arriostrado. Dicha condición es comprobable en las Tablas 16 y 17, donde se puede observar que el peso del sistema de pórticos arriostrados es mas pesado que el sistema de pórticos resistentes a momentos.

A partir de las Ilustraciones 14 y 15, se concluye que las columnas perimetrales deben resistir mas fuerza a cortante en el modelo resistente a momentos, puesto que hacen parte del sistema principal resistente a cargas laterales. También es evidente que las vigas del pórtico arriostrado están sometidas a mayores cortantes, debido a que no están sometidas a momentos positivos que ayuden a disminuir parte del cortante como sucede en el pórtico resistente a momentos.

A partir de los diagramas de momentos de las Ilustraciones 16 y 17, se concluye las columnas internas del sistema de pórticos resistentes a momentos soportan la mayor cantidad de momentos generados por las cargas de viento, esto debido a que soportan mayor masa participante en el movimiento oscilatorio de la estructura.

Las vigas internas sufren menos momento en el pórtico resistente a momentos, puesto que las conexiones aportan más resistencia a la flexión. Sin embargo, las conexiones transmiten los momentos a las columnas, generando mayor demanda a cortante y a momento en estos elementos como se evidencia en los resultados obtenidos (Tablas 1, 5, 9, 13).

Las Ilustraciones 8, 9, 10, y 11 muestran un comportamiento más rígido de la estructura al obtener derivas menores en comparación al pórtico resistente a momentos. Las cargas axiales recibidas por las riostras se deben principalmente a las cargas laterales, sin embargo, generan un aumento en la demanda de carga axial en las columnas donde se conectan. Esto genera variaciones de los perfiles usados en las columnas, el diseño de placa base y las dimensiones de las cimentaciones calculadas.

8 Referencias Bibliográficas

American Institute of Steel Construction. (2005). *Steel Construction Manual 13th Edition* (p. 2181).

Crisafulli, F. J. (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero* (Asociación Latinoamericana del Acero (ed.); Quinta). Asociación Latinoamericana del Acero. www.alacero.org

McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero-Quinta Edición* (S. A. de C. V. Alfaomega Grupo Editor (ed.); Quinta).

Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Norma Sismo Resistente de Colombia. *NSR 10*, 1625.

Thomas M. Murray, Ph.D., P.E.; Emmett A. Sumner, Ph.D., P. E. (2003). Extended End-Plate Moment Connections. In AISC (American Institute of Steel Construction) (Ed.), *American Institute of Steel Construction Inc Chicago IL* (Second Edi).



9 Anexos

9.1 Modelos elaborados en ETABS

9.1.1 Modelo pórtico arriostrado.edb

9.1.2 Modelo pórtico resistente a momentos.edb

9.2 Documentos de elaboración propia

9.2.1 Plantilla de memorias de calculo.pdf

9.2.2 Memorias de cálculo estructura metálica.pdf

9.3 Hojas de cálculo para diseño de elementos estructurales

9.3.1 Diseño de estructuras de concreto.xlsx

9.3.2 Diseño de Vigas y Columnas metálicas.xlsx

9.3.3 Diseño de pilas, pedestales, y vigas de amarre.xlsx

9.3.4 Diseño de zapatas y vigas de amarre.xlsx

9.4 Hojas de cálculo para el diseño de conexiones metálicas

9.4.1 DISEÑO CONEXIÓN VIGUETA – VIGA (DOUBLE ANGLE).xlsx

9.4.2 DISEÑO CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (DOUBLE ANGLE).xlsx

9.4.3 DISEÑO CONEXIÓN VIGA – COLUMNA – ARRIOSTRAMIENTO.xlsx

9.4.4 DISEÑO CONEXIÓN PLACA – BASE (CON CARGA VERTICAL).xlsx

9.4.5 DISEÑO CONEXION VIGA - COLUMNA (END PLATE).xlsx

9.5 Esquemas de conexiones (RAM CONNECTION)

- 9.5.1 CONEXIÓN VIGUETA – VIGA (DOUBLE ANGLE)
- 9.5.2 CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (DOUBLE ANGLE)
- 9.5.3 CONEXIÓN VIGA – COLUMNA – ARRIOSTRAMIENTO
- 9.5.4 CONEXIÓN PLACA BASE (CON CARGA VERTICAL)
- 9.5.5 CONEXIÓN VIGA – COLUMNA (END PLATE)

