

Práctica Empresarial en Peralta Ingeniería S.A.S como Auxiliar de Ingeniería en el Área de Diseño de Estructuras en Acero para Edificios, Cubiertas y Puentes.

Andrés Felipe Suárez Lozano

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Miguel Antonio Peralta Hernández

Magister en Ingeniería Estructural

Tutor

Javier Hernando Martínez Ayala

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

*Dedicatoria*

*A Dios por brindarme la sabiduría, los conocimientos y la fortaleza para poder culminar esta gran etapa de mi formación profesional.*

*A mis padres, Efraín y Amparo, quienes han sido el pilar fundamental durante este camino, porque me han educado con paciencia, constancia, disciplina, amor, y siempre han estado ahí para apoyarme en cada una de las metas que me propongo.*

*A mis hermanos Esteban y Ana María, por acompañarme y ser siempre fuente de inspiración y motivación para seguir adelante.*

### *Agradecimientos*

*A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Civil por su valiosa formación como profesional.*

*A mis padres, hermanos y familia, por creer siempre en mí, por la educación que me han otorgado y los valores con los que he sido formado a lo largo de mi vida.*

*A Rossanna Rey Caballero, por su inmenso amor, su cariño, paciencia y el apoyo que siempre me brindó durante todo mi pregrado.*

*A cada uno de los docentes que estuvieron presentes durante el desarrollo de mi carrera, al profesor Homer Buelvas, por despertar y afianzar mi gusto por la rama de las estructuras, a mi director de proyecto, el Ingeniero Miguel Peralta por compartir su gusto y conocimiento por las estructuras metálicas, al Ingeniero Javier Martínez y demás ingenieros de Peralta Ingeniería por acogerme y permitirme desarrollar mis conocimientos en el área de diseño, mediante esta práctica empresarial.*

*A todos mis compañeros y amigos, por cada una de las experiencias vividas en este camino.*

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. La Empresa .....	17
3. Antecedentes Del Diseño Estructural .....	17
4. Contextualización del Diseño Estructural.....	18
4.1 Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) .....	19
4.1.1 Estados Límite .....	20
4.2 Diseño estructural de edificaciones en Acero.....	21
4.2.1. Normas de diseño.....	22
4.2.2. Metodología de diseño estructural en acero en Peralta Ingeniería .....	22
5. Participación en proyectos de diseño .....	30
5.1. Conexiones en cubiertas de nave industrial .....	30
5.1.1 Conexión PTE a perfil I tipo End-Plate .....	30
5.1.2 Conexión PTE con pasador.....	32
5.2 Diseño estructural de vivienda multifamiliar.....	34

5.2.1 Planos Arquitectónicos y estudio de suelos .....	34
5.2.2 Sistema estructural .....	35
5.2.3 Análisis de cargas .....	37
5.2.4 Análisis y Modelado estructural .....	38
5.2.4.1 Modelo para el control de derivas.....	39
5.2.4.2 Modelo de diseño.....	39
5.2.5 Diseño de miembros estructurales .....	41
5.2.5.1 Diseño de columnas compuestas rectangulares en PTE o Armado.....	41
5.2.5.2 Diseño de viguetas del sistema de piso con lámina colaborante.....	41
5.2.6 Diseño de sistema de entrepiso .....	43
5.2.7 Diseño de conexiones .....	44
5.2.7.1 Conexiones de Placas base.....	44
5.2.7.2.1 Placa extendida.....	47
5.2.7.2.2 Pernos de conexión.....	47
5.2.7.2.3 Soldadura de conexión.....	47
5.2.7.3 Conexión a cortante viga-columna con placa simple convencional.....	48
5.2.7.3.1 Placa de cortante.....	48
5.2.7.3.2 Pernos.....	49
5.2.7.4 Conexión a cortante de vigueta a viga con placa simple extendida.....	50
5.3 Apoyo en el diseño de puentes modulares en acero .....	51
5.3.1 Diseño de vigas armadas.....	54
5.3.1.1 Diseño a tracción y compresión.....	55
5.3.1.2 Diseño a flexión y cortante.....	55

5.3.2 Diseño de conexiones de empalme entre módulos de vigas .....	56
5.3.2.1 Predimensionamiento y distribución de la conexión. ....	57
5.3.2.2 Conexión en el alma.....	57
5.3.2.2.1 Pernos de conexión. ....	57
5.3.2.2.2 Platina de unión.....	57
5.3.2.3 Conexión en las aletas.....	57
5.3.2.3.1 Pernos de conexión .....	58
5.3.2.4 Aleta de la viga. ....	58
5.3.2.5 Platinas de unión. ....	58
5.3.3 Diseño de apoyos mecánicos .....	58
6. Conclusiones .....	62
Referencias Bibliográficas .....	64

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Diagrama de flujo de la metodología de diseño estructural.</i> .....	27
Figura 2. <i>Ventana de presentación del buscador.</i> .....	28
Figura 3. <i>Ejemplo de búsqueda de hojas de cálculo para el diseño de conexiones.</i> .....	29
Figura 4. <i>Conexión de PTE a viga inclinada.</i> .....	31
Figura 5. <i>End plate de la conexión.</i> .....	31
Figura 6. <i>Conexión con pasador en PTE rectangular.</i> .....	32
Figura 7. <i>Conexión con pasador del cordón inferior de la cercha.</i> .....	33
Figura 8. <i>Alzado arquitectónico de la vivienda.</i> .....	35
Figura 9. <i>Muros a cortante (MAC) en las dos direcciones principales.</i> .....	36
Figura 10. <i>Espectro de aceleraciones de diseño como fracción de la gravedad.</i> .....	38
Figura 11. <i>Sección transversal compuesta de vigas y viguetas.</i> .....	42
Figura 12. <i>Losa de entrepiso con lámina colaborante.</i> .....	44
Figura 13. <i>Hoja NI. Para el diseño de entrepisos.</i> .....	46
Figura 14. <i>Conexión a momento de viga a columna compuesta.</i> .....	48
Figura 15. <i>Conexión viga – columna.</i> .....	49
Figura 16. <i>Conexión de vigueta – viga.</i> .....	50
Figura 17. <i>Modelo tridimensional de la estructura de la vivienda.</i> .....	51

Figura 18. <i>Sección transversal típica de los puentes.</i> .....	53
Figura 19. <i>Viga principal de peralte variable para el puente de 36 m.</i> .....	53
Figura 20. <i>Detalle de conexión a momento entre viga.</i> .....	56
Figura 21. <i>Vista frontal del pasador.</i> .....	59
Figura 22. <i>Vista lateral de apoyo.</i> .....	60
Figura 23. <i>Hoja N1. del cálculo de apoyos mecánicos en puentes.</i> .....	61

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Derivas máximas como porcentaje de <math>h_{pi}</math>.</i> .....	25
Tabla 2. <i>Requisitos de aplicación del sistema combinado de muros mixtos.</i> .....	36
Tabla 3. <i>Valores de <math>R_o</math> y <math>\Omega_o</math> para el sistema estructural en cada dirección.</i> .....	37
Tabla 4. <i>Parámetros sísmicos.</i> .....	38
Tabla 5. <i>Factores de resistencia según CCP-14.</i> .....	54

### **Lista de Apéndices**

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice A. Buscador de Hojas de Cálculo.

Apéndice B. Procedimiento de Diseño para la Superestructura de Puentes

## Resumen

**Título:** Práctica Empresarial en Peralta Ingeniería S.A.S como Auxiliar de Ingeniería en el Área de Diseño de Estructuras en Acero para Edificios, Cubiertas y Puentes\*

**Autor:** Andrés Felipe Suárez Lozano\*\*

**Palabras Clave:** Metodología, Diseño estructural, Modelamiento, Acero, Edificaciones, Puentes, Conexiones.

### Descripción:

El documento presenta la metodología del diseño estructural en acero manejada dentro del departamento de diseño en PERALTA INGENIERÍA S.A.S, empresa que en convenio con la Universidad Industrial de Santander permitió mediante la práctica empresarial, apoyar el proceso de análisis y diseño de estructuras en acero en edificios con base a la metodología empleada por el equipo ingenieril en el área de diseño, contrastando la utilidad de herramientas tecnológicas, como lo son software de elementos finitos para el modelado estructural con la teoría descrita en las reglamentaciones vigentes y en literatura complementaria como manuales y guías de diseño. Dentro de las herramientas se desarrolló un motor de búsqueda de hojas de cálculo para diseño de entresijos, conexiones parcial y totalmente restringidas, miembros estructurales (viguetas, vigas, columnas, riostras), que hacen parte del sistema estructural de edificaciones y naves industriales, también se apoyó en el proceso de creación de características principales de la fase de modelado estructural, como lo son definición de casos y combinaciones de cargas, creación de materiales, importación de perfilera, creación de rejillas para ejes estructurales, facilitando la tarea del ingeniero diseñador en el proceso de modelado final; de igual forma las hojas de cálculo presentes en el buscador, fueron creadas y actualizadas con motivo de ayudar en el desempeño de la metodología presentada en la ejecución de proyectos. Además, también se apoyó el diseño de puentes en acero que permitió crear un documento con lineamientos base para el pre-dimensionamiento y análisis de superestructuras de puentes con este material, una línea de diseño que se empieza a explorar en la compañía y que pretende cimentarse en herramientas actualizadas que permitan un amplio despliegue teórico-práctico en este ámbito.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández. Magister en Ingeniería Estructural. Tutor: Javier Hernando Martínez Ayala. Ingeniero Civil

### Abstract

**Title:** Business Practice at Peralta Ingeniería S.A.S as Engineering Assistant in the Area of Design of Steel Structures for Buildings, Roofs and Bridges\*

**Author:** Andrés Felipe Suárez Lozano\*\*

**Key Words:** Methodology, Structural Design, Modeling, Steel, Buildings, Bridges, Connections.

### Description:

The document presents the methodology of structural design in steel managed within the design department of PERALTA INGENIERÍA S.A.S, company that in agreement with Universidad Industrial de Santander, allowed through the business practice, support the process of analysis and design of steel structures in buildings based on the methodology used by the engineering team in the design area, contrasting the usefulness of technological tools, such as finite element software for structural modeling with the theory that describe in current regulations and complementary literature such as manuals and design guides. Within the tools, a search engine for spreadsheets are developed for the design of mezzanines, partial or totally restricted connections, structural members (joists, beams, columns, braces) that are part of structural system of buildings and industrial warehouses, also supported the process of creating the main characteristics of the structural modeling phase, such as definition of cases and load combinations, creation of materials, import of profiles, creation of grids for structural axles, facilitating the task of the designer engineer in the process final modeling; likewise, the spreadsheets present in the search engine were created and updated in order to help in the performance of the methodology presented in the execution of projects. In addition, the design of bridges in steel was also supported, which allowed the creation of a document with basic guidelines for the pre-sizing and analysis of bridge superstructures with this material, a design line that is beginning to be explored in the company and which aims to be based on updates tools that allow a broad theoretical-practical deployment in this field.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández. Magister en Ingeniería Estructural. Tutor: Javier Hernando Martínez Ayala. Ingeniero Civil

## **Introducción**

En la industria de la construcción, el análisis y diseño de estructuras es una de las etapas clave en el desarrollo de proyectos de obra civil horizontal y vertical, ya que es una de las etapas donde se debe garantizar un adecuado comportamiento de la estructura en cuanto a su seguridad, funcionalidad, estética, factibilidad y economía (Awad, 2014), sumado a la etapa del proceso constructivo, que al igual que el diseño, es un factor importante para lograr las características del comportamiento estructural para las cuales fue orientado y desarrollado el diseño. Dentro de estos factores, la seguridad contra la falla es quizá uno de los objetivos principales del diseño, sin dejar de lado la consideración de los demás factores.

El ejercicio del diseño no solo se limita a la aplicación de teorías, conceptos y procedimientos llevados en conjunto a un sistema estructural en particular (Colina Martínez & Ramírez de Alba, 2000) sino que lleva consigo variables que suelen ser particulares de cada proyecto, tales como la clasificación del perfil de suelo, la zona de amenaza sísmica, distribución arquitectónica, requerimientos por cargas especiales, entre otros, y que en diversas ocasiones requieren la experticia de quien diseña, haciendo uso de su propio criterio. Es por ello, que en muchos casos los reglamentos y códigos de diseño establecen tan solo los requisitos mínimos a cumplir, basados en los desarrollos teóricos, prácticos y la experiencia de la ingeniería, con el fin de que los diseñadores tengan las suficientes referencias para elaborar sus propios criterios y así puedan realizar el análisis y diseño de estructuras que serán usadas en la construcción de edificaciones, naves industriales o puentes.

Las estructuras de edificaciones, naves industriales y puentes deberán satisfacer los factores denotados anteriormente, siendo consecuente con las especificaciones dadas en el reglamento correspondiente a cada una de estas e incluyendo las nuevas tendencias desde el desarrollo investigativo y práctico.

Por lo tanto, el diseño estructural no es un entorno estático, ya que está sujeto a avances y actualizaciones de las normativas, que claramente repercuten en el diseño y construcción de las estructuras, y es allí donde la industria debe estar a la vanguardia de los cambios que se presenten y centrar sus esfuerzos en cooperar con la academia para el desarrollo investigativo en busca de mejorar las técnicas de diseño y construcción de las estructuras.

La posibilidad de llevar a la práctica los conocimientos teóricos y técnicos adquiridos en la academia, le dan al estudiante una visión más amplia de los diferentes problemas de la ingeniería, las alternativas y posibles soluciones aplicando los conocimientos básicos, permitiéndole conocer las variables intrínsecas dadas en los diseños, y ver desde el entorno aplicable el problema, interactuando con los proyectos reales.

Es así como el objetivo de la práctica ha sido encaminado al diseño y análisis de estructuras en acero, siendo este el servicio que más se destaca en la compañía y que mediante el estudio de este campo, pretende acercar más al ingeniero civil hacia el análisis y diseño de edificaciones y puentes con este importante material, dotándolo de herramientas que permitan despertar el interés y estudio del acero. Con ello, la tarea formativa de la universidad rinde sus frutos en la realización de la práctica, en la cual se desarrollan hojas de cálculo para el uso manual en el diseño de miembros y conexiones pertenecientes a estructuras de edificaciones, cubiertas y el documento guía para el diseño de la superestructura de puentes en acero, que se redactan en el presente artículo producto del desempeño como auxiliar de diseño estructural en PERALTA INGENIERIA S.A.S.

En el desarrollo de la práctica empresarial el estudiante se contextualiza y hace parte del equipo ingenieril en el área de diseño estructural en acero, complementando el desarrollo de los procesos y proyectos que allí se llevan a cabo.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Apoyar al departamento de diseño estructural de la empresa Peralta Ingeniería S.A.S en el análisis y diseño de estructuras en acero de los proyectos llevados a cabo por la compañía, con base en normativas vigentes.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Actualizar las herramientas ofimáticas usadas en el análisis y diseño de los proyectos de estructuras en acero.

Apoyar al modelado y diseño de miembros estructurales en acero, que cumplan con los requisitos normativos y con los criterios internos del departamento de ingeniería.

Desarrollar un procedimiento guía para el análisis y diseño de la superestructura de puentes en acero y mixtos para luces cortas.

## **2. La Empresa**

PERALTA INGENIERIA S.A.S es una empresa dedicada a la consultoría, supervisión técnica e interventoría de proyectos de infraestructura, que además desde del año 2017 ha prestado los servicios de construcción con acero tanto en el departamento de Santander como en otras regiones del país, ofreciendo soluciones a las necesidades de los habitantes e industrias, haciendo uso de las ventajas del acero estructural.

Desde su creación la empresa se ha fortalecido en el área de diseño de estructuras en acero, brindando alternativas al diseño en concreto reforzado, buscando así, soluciones eficaces y eficientes para la generación de desarrollo sostenible con altos estándares de calidad en los servicios que presta a la región; dentro de los servicios ofrecidos por la empresa se encuentran: patologías estructurales, supervisión técnica, diseño de estructuras en acero estructural y concreto reforzado, además de contar con su propia planta de fabricación de estructuras en acero.

## **3. Antecedentes Del Diseño Estructural**

Antes de la aparición de tecnologías informáticas el análisis y cálculo de las fuerzas internas de los elementos estructurales para el diseño de las estructuras se realizaba basado en

ciertas hipótesis de carga, con el uso de métodos desarrollados empíricamente que en principio hacían de la tarea de diseño un proceso bastante largo.

Algunos de esos métodos, aparecieron con la mecánica analítica de Lagrange y posteriormente con métodos de flexibilidad, rigidez, elásticos y de energía, con trabajos destacados como los de Mohr con el principio de trabajos virtuales y el conocido círculo de Mohr usado para calcular esfuerzos en 3 dimensiones, los métodos energéticos propuestos por Alberto Castigliano, y estudios sobre la distribución de momentos por Hardy Cross (Eaton, 2001), Collar y Duncan, fueron quienes realizaron las primeras formulaciones matriciales en problemas Aero elásticos (Felippa, 2001); posteriormente Argyris presentó un enfoque matricial unificado de métodos de fuerzas y desplazamientos basado en teoremas energéticos (Massa, Giró, & Guidici, 2017).

Pues bien, estas herramientas desarrolladas por nuestros antepasados han permitido entender en la mayoría de las situaciones el comportamiento estático y dinámico de las estructuras, mediante procesos desarrollados matemáticamente que fueron usados para el diseño de edificaciones antiguamente.

#### **4. Contextualización del Diseño Estructural**

En la fase de contextualización el equipo ingenieril, se encargó de orientar el proceso de diseño, haciendo énfasis en las actividades a realizar, diseño de miembros en acero de forma manual y creación preliminar de modelos para el análisis, esto permitió definir una metodología clara que se estableció y siguió durante el desarrollo de la práctica.

El desempeño de las actividades realizadas en la práctica empresarial se basa en los procedimientos de diseño siguiendo el reglamento de construcción sismo-resistente del 2010 (NSR-10) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) y el código colombiano de diseño de puentes del 2014 (CCP-14) (Ministerio de Transporte , 2014), siendo complementada por bibliografía internacional de las fuentes y referencias de dichos documentos, la cual será debidamente citada en el desarrollo del contenido del documento.

Dentro de las consideraciones para el diseño de estructuras metálicas según el reglamento en su título F, se aplica la metodología para no exceder el límite de resistencia o de servicio cuando la estructura este sometida a cada una de las combinaciones de carga, dicha metodología es conocida como (LRFD) por sus siglas en inglés (Load and Resistance Factor Design).

#### **4.1 Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD)**

El reglamento NSR-10 y el código colombiano de puentes CCP-14 están basados en esta metodología de diseño para cumplir con los requerimientos mínimos de resistencia en los miembros estructurales pertenecientes a las edificaciones y puentes; como su nombre lo especifica Load and Resistance Factor, es un método de diseño basado en el uso de coeficientes de amplificación de cargas y de reducción de las resistencias de los elementos, teniendo en cuenta los eventos y escenarios de carga presentes en la estructura durante su vida útil, y que se basan en teorías de probabilidad de falla, descritas por (Allin Cornell, 1969).

La determinación de estos factores ha atravesado por diversos estudios probabilísticos y estadísticos con el fin de definir los valores que serán usados para la aplicación de este método

(LRFD), que, a criterio personal del autor en (Clement, 2004), es una aproximación más apropiada a la realidad en el diseño de estructuras en acero que el diseño por esfuerzos admisibles (ASD).

#### ***4.1.1 Estados Límite***

Los estados límites condicionan las exigencias máximas de una estructura en cuanto utilidad y seguridad, ya sea por el uso u ocupación o por la resistencia de los miembros que conforman dicha estructura; el diseñador debe evitar en la medida de lo posible la generación de mecanismos inestables en los sistemas estructurales que conlleven a la falla de los elementos, o en caso fatídico, el colapso; y también las deflexiones excesivas provocadas por el uso, debido a que se pueden generar daños en elementos no estructurales, falsa sensación de inseguridad en los usuarios de la estructuras y aumento de las vibraciones de los entresijos.

Comúnmente se contemplan dos estados límites para el análisis y diseño; el de resistencia o último (E.L.U), y el de servicio (E.L.S), siendo este un poco más dependiente del criterio ingenieril, ya que en los límites establecidos por las normativas para criterios de servicio no siempre se está sujeto a cumplir estrictamente dichas especificaciones, sino que se presentan a modo de recomendación. Para el diseño por estado límite último, se requiere que cada componente estructural satisfaga la demanda de resistencia determinada mediante un análisis estructural objetivo, por lo que se debe cumplir la siguiente formulación:

$$\sum_{i=1}^i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (1)$$

Donde:

$\Sigma$  = Sumatoria para los diferentes tipos de carga.

$i$  = Tipo de carga.

$Q_i$  = Efecto nominal de la carga.

$\gamma_i$  = Factor de carga correspondiente a  $Q_i$

$\Sigma\gamma_i Q_i$  = Resistencia requerida

$R_n$  = Resistencia nominal

$\phi$  = Factor de resistencia correspondiente a  $R_n$

$\phi R_n$  = Resistencia de diseño.

En las edificaciones los estados límite por resistencia dependen del miembro estructural y el material con el cual se esté diseñando, dentro de los más comunes se encuentran: la iniciación de la fluencia, formación de articulaciones plásticas, formación de un mecanismo plástico, inestabilidad del elemento o del pórtico, pandeo lateral o torsional, pandeo local, fractura por tensión, fisuras por fatiga, inestabilidad por deflexión, inestabilidad por deformación plástica y deformación excesiva; y dentro de los estados límites por servicio están las deflexiones elásticas excesivas, vibraciones inaceptables y deformaciones permanentes. (Clement, 2004).

En contraste, el código colombiano de diseño de puentes (CCP-14) considera la evaluación de los estados límite de servicio, resistencia, eventos extremos, fatiga y fractura, para los miembros que hacen parte de la estructura del puente. En las edificaciones las consideraciones por fatiga, fractura y evento extremo (fuerza sísmica principalmente), se encuentran evaluados dentro del estado límite de resistencia o último, mientras que, en los puentes, esos efectos se estudian en un estado límite en específico.

## 4.2 Diseño estructural de edificaciones en Acero

#### ***4.2.1. Normas de diseño***

El alcance aplicable de la normativa colombiana en su título F se da para elementos y miembros de acero estructural y aluminio que cumplan con las especificaciones ((ASTM A36/A36M-00a) Acero estructural al carbono), ((ASTM A572/A572M-06) Aceros de calidad estructural de alta resistencia baja aleación Niobio (Columbio)-Vanadio), ((ASTM A500-03a) Tubería estructural de acero al carbono formada en frío con y sin costura, redonda y de otras formas.) entre otras, para la perfilería y elementos fabricados con dicho material, el título se divide en varios capítulos como lo son el F.2. que describe el diseño de los elementos estructurales en perfilería laminada, armada o PTE, sus conexiones y diseño por estabilidad. El capítulo F.3, incluye las provisiones sísmicas para el diseño de las estructuras en acero con capacidad de disipación de energía mínima (DMI), moderada (DMO), o especial (DES). Y, por último, el capítulo F.4 presenta el diseño de elementos de lámina delgada y el F.5 el diseño para estructuras hechas en aluminio, aclarando que este último apartado no fue consultado para la realización del documento.

#### ***4.2.2. Metodología de diseño estructural en acero en Peralta Ingeniería***

Desde la concepción del proyecto, al área de diseño de la compañía, llegan los requerimientos arquitectónicos del proyecto que se desea estructurar, junto con tentativos parámetros dimensionales en algunos elementos estructurales, además del diseño arquitectónico también se obtiene el estudio de suelos, que, en caso de no recibirse, se le solicita al dueño del

proyecto la contratación del estudio de suelos con un ingeniero de geotecnia para conocer las propiedades del suelo donde se implantará la estructura.

Se realiza una revisión de la distribución arquitectónica planteada y demás datos suministrados, con el fin de evaluar y establecer el sistema estructural más adecuado con el cual se va diseñar, sin afectar en demasía la estética y funcionalidad de la edificación; una vez definido el sistema estructural, se ubica en planta el sistema de resistencia a cargas laterales (SRCL), que soportará las fuerzas producidas por el sismo o por el viento, según sea la demanda estructural, además se ubican los miembros del sistema encargado de resistir las sollicitaciones producidas por cargas gravitacionales.

Con base en el capítulo A.3.2. y F.3. el sistema de resistencia sísmico deberá estar conformado por uno o varios de los siguientes sistemas.

Pórticos Resistentes a Momento (PRM)

- (PRM - DMI)
- (PRM - DMO)
- (PRM - DES)

Pórticos de arriostramiento concéntrico (PAC)

- (PAC- DMI)
- (PAC- DES)

Pórticos arriostrados excéntricamente (PAE)

Pórticos arriostrados de pandeo restringido (PAPR)

Muros de cortante de acero (MCA-DES)

Ya definido el sistema estructural más apropiado, se realiza un análisis y evaluación de las cargas a las cuales estará sometida la edificación durante su uso, dentro de las cargas se contemplan.

- Cargas vivas de acuerdo con el uso u ocupación.
- Cargas muertas debido al peso propio de los miembros de la estructura.
- Cargas muertas sobreimpuestas.
- Cargas vivas y muertas por construcción.
- Cargas Sísmicas.
- Cargas de viento.

Para el cálculo de las cargas sísmicas, se tiene en cuenta la zona de amenaza sísmica, según el apéndice 4 del título A de la NSR-10, aplicable a edificaciones que cumplan las especificaciones de A.3.4.2.1, donde se definen los parámetros de aceleración y velocidad pico efectiva de diseño  $A_a$ ,  $A_v$ , respectivamente, y los coeficientes de amplificación  $F_a$ ,  $F_v$  de acuerdo con el tipo de suelo donde se cimentará la estructura; con estos factores se define el espectro elástico de aceleraciones de diseño planteado en capítulo A.2.6.

En caso de requerirse, se realiza el análisis para el sistema principal de cargas de viento y los revestimientos o fachadas, siguiendo el método aplicable a la estructura, dentro de los cuales se encuentran:

- Método 1 (Procedimiento simplificado)
- Método 2 (Procedimiento analítico)

Estos métodos se encuentran definidos en el capítulo B.6 de la NSR-10.

Luego del análisis de cargas, se predimensionan los elementos que conformarán el sistema estructural, los cuales se detallarán en el modelado, con su sección transversal definida. El predimensionamiento de los miembros estructurales se basa en el criterio del diseñador, donde se tiene en cuenta la perfilería comercial y de fácil acceso para la construcción en el país.

Con las cargas definidas y la estructura predimensionada, se da inicio al modelamiento estructural mediante el software de análisis y modelado, ETABS 2017, licencia con la cual cuenta la empresa. Se realizan diferentes modelos para el tipo de estado que se requiere revisar, como las derivas, la resistencia y los requisitos especiales para el sistema de resistencia a carga lateral.

Un primer modelo de análisis lineal elástico se usa para revisar que las derivas (deflexiones horizontales) de la estructura se encuentren por debajo del límite establecido en la Tabla 1, para la acción de las fuerzas sísmicas de diseño aplicadas simultáneamente 100% en una dirección y el 30% en la dirección perpendicular según A.3.6.3, junto con las combinaciones de carga para el estado límite de servicio como se especifica en B.2.3.2.1.

**Tabla 1.**

*Derivas máximas como porcentaje de  $h_{pi}$ .*

<b>Estructuras de:</b>	<b>Deriva máxima</b>
Concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen con los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ( $\Delta_{\max}^i \leq 0.010 h_{pi}$ )
De mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ( $\Delta_{\max}^i \leq 0.005 h_{pi}$ )

Nota: Tomado de NSR-10 A.6.4.1

Donde:

$\Delta_{\max}^i$  = Deriva máxima evaluada en el piso i

$h_{pi}$  = Altura del piso i, medida desde la superficie del diafragma de piso i hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior i-1.

Si las derivas obtenidas del análisis estructural no superan el límite establecido por el reglamento, se procede a evaluar las fuerzas de diseño con las combinaciones de carga para el estado límite de resistencia última. Si los límites de derivas fueron superados o a juicio del ingeniero las derivas tienen magnitudes muy bajas, se ajusta la rigidez del sistema de resistencia a carga lateral, hasta que se logren los resultados deseados, y continuar con el diseño por resistencia.

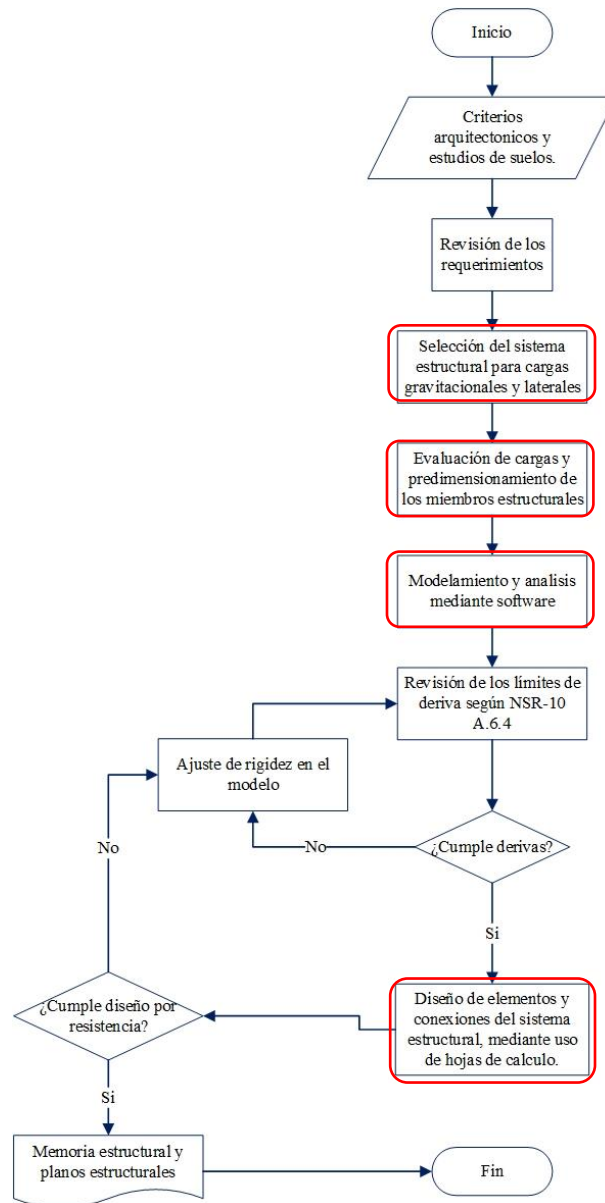
Aunque los softwares, permiten evaluar la capacidad de los miembros estructurales modelados, algunos parámetros y condiciones especiales pueden no ser considerados al momento de realizar el diseño de los miembros y/o conexiones, por tal razón el uso del programa en el departamento de diseño se limita al análisis de la estructura, y pocas veces define el diseño final de la estructura modelada.

Con las fuerzas internas obtenidas de la fase de modelado, se diseñan los miembros estructurales en acero, los cuales deberán satisfacer el principio de diseño por factores de carga y resistencia presentado en la ecuación (1), luego con los miembros ya definidos, se diseñan las conexiones entre estos, teniendo en cuenta los requisitos aplicables para cada una de ellas y finalmente habiendo diseñado los miembros se elabora la memoria de cálculo y se procede al detallado y elaboración de los planos estructurales.

Las actividades aquí presentadas se sintetizan de una mejor forma en el diagrama de flujo de la Figura 1, para lograr un diseño eficaz, pues se tiene un manejo claro de las fases de diseño a fin de alcanzar los objetivos planteados para cada uno de los proyectos.

**Figura 1.**

*Diagrama de flujo de la metodología de diseño estructural.*



Los procesos señalados en rojo de la Figura 1, fueron apoyados durante el desarrollo de la práctica. Para el diseño de los miembros y conexiones estructurales en acero, se desarrolló la programación de un buscador mediante la herramienta visual Basic de Excel (Anexo A) que permite el acceso fácil y rápido a la base datos que contienen hojas de cálculo usadas en el

departamento de diseño, presentando de manera organizada y con codificación las herramientas disponibles para el cálculo estructural, como se ve en la Figura 2 y Figura 3.

La creación de este directorio de datos se reformó y actualizó antes y durante la ejecución de los proyectos en los que se tuvo participación. Para Las hojas de cálculo utilizadas existentes se justaron al formato de la empresa y se agregaron las consideraciones pertinentes, y de otro lado las herramientas nuevas fueron llevadas a cabo mediante el siguiente proceso.

Creación, en caso de que un miembro, sistema o conexión requiriese diseño y no se obtuviese forma manual de hacerlo, se crea la hoja de cálculo con base en la normativa aplicable.

Revisión, la hoja de cálculo luego de ser programada, es revisada por el ingeniero de diseño de área de estructuras de acero de la empresa, quien realiza las correcciones u observaciones pertinentes, hasta lograr el objetivo planteado y dar el visto bueno de la programación.

Aprobación, con la programación revisada, se realiza la aprobación por parte del jefe de diseño, quien hace un último filtro de chequeo para que la hoja pase a ser aprobada y posteriormente usada en el diseño de los proyectos de la empresa.

## Figura 2.

*Ventana de presentación del buscador.*



**Figura 3.**

*Ejemplo de búsqueda de hojas de cálculo para el diseño de conexiones.*

DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO
×



## DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN ACERO

¿QUÉ DESEA DISEÑAR? CONEXIONES




¿QUÉ TIPO DE CONEXIÓN? CONEXIONES EN RIOSTRAS

¿DE CUALES ELEMENTOS O MIEMBROS? RIOSTRA A PLACA BASE DE COLUMNA I

HOJAS DE CÁLCULO DISPONIBLES	ID	
C-RB1-EJE DEBIL PERNADA-BASE ART	C-RB1	ABRIR HOJA

**APLICACIÓN**

RIOSTRA A PLACA BASE DE COLUMNA I POR EL LADO, PERNADA Y BASE ARTICULADA

**REVISADA POR:** JAVIER MARTINEZ AYALA      **EL** 04/04/2020

**RUTA:** D:\DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO\CONEXIONES\CONEXIONES EN RIOSTRAS\RIOSTRA A PLACA BASE DE COLUMNA I\C-RB1-EJE DEBIL PERNADA-BASE ART.xlsx

CERRAR EL BUSCADOR

PERALTA INGENIERIA S.A.S.  
Calle 35 No. 17-7 Oficina 303  
Celular: 3175318996  
Tel fijo: (7) 6707987  
Bucaramanga - Santander



INSTITUTO COLOMBIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO



AISC Professional Member



www.peraltaingenieria.com

## **5. Participación en proyectos de diseño**

Hecha la fase de contextualización en el entorno metodológico del diseño estructural en acero presentada anteriormente, se realizaron actividades complementarias para el diseño, específicamente en la elaboración de hojas de cálculo para las conexiones de una cubierta perteneciente a una bodega tipo nave industrial, el apoyo en el desarrollo de un diseño completo de una casa multifamiliar, para la cual se realizó el análisis de cargas, se sintetizó las hojas de cálculo para el diseño de entresijos, la revisión y complemento de las conexiones a momento y a cortante del sistema, y el diseño de algunos miembros y conexiones de puentes modulares en acero estructural.

### **5.1. Conexiones en cubiertas de nave industrial**

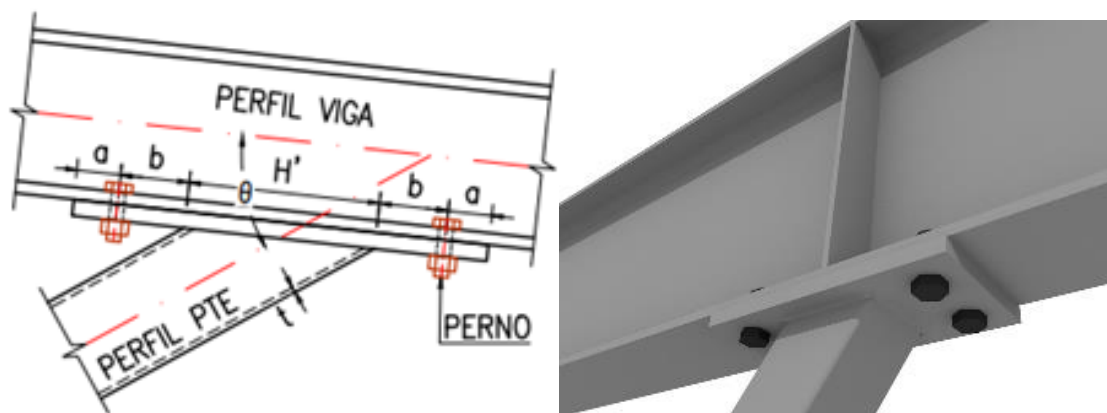
Se desarrollaron hojas de cálculo para dos tipos de conexiones entre miembros de una cercha de cubierta formada por perfiles tubulares estructurales rectangulares, y una viga en perfil I que sirve de cordón superior. Las conexiones consideradas en el diseño fueron:

#### ***5.1.1 Conexión PTE a perfil I tipo End-Plate***

Se revisa el caso particular de la conexión para un tubo rectangular que llega inclinado al miembro de perfil I (viga), mostrado en la Figura 4 basado en las especificaciones de conexiones en tubería estructural de la guía de diseño 24 del AISC.

**Figura 4.**

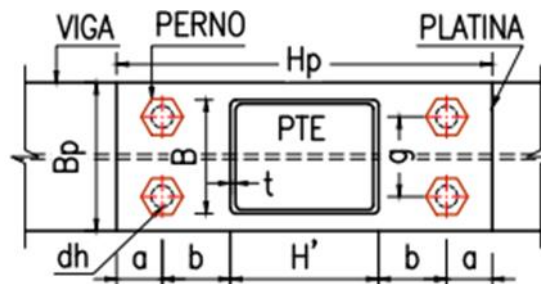
*Conexión de PTE a viga inclinada.*



Se realizó un chequeo de las dimensiones generales definidas en la conexión como se ve en la Figura 5, cumpliendo con los requisitos dimensionales de la guía de diseño.

**Figura 5.**

*End plate de la conexión.*



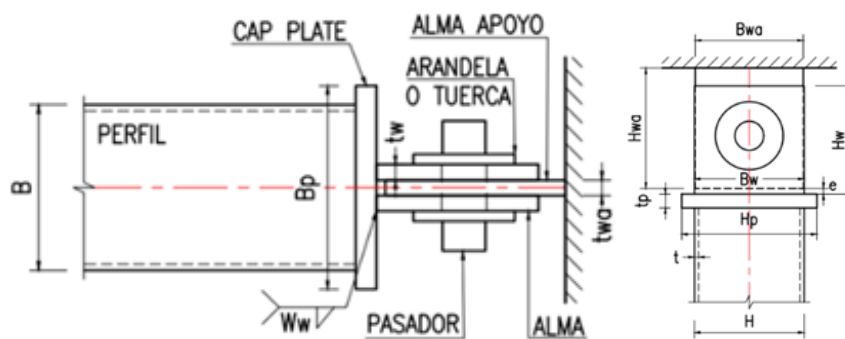
Con las dimensiones definidas se revisaron los siguientes componentes y estados límites: resistencia de la soldadura del tubo a la placa de extremo “end plate”, fluencia por tensión en las paredes del tubo; fluencia por cortante en la platina (end plate) y la resistencia de los pernos para los efectos combinados de tensión y cortante. Además, como la conexión se realiza a un perfil I, fue necesario revisar los efectos de fuerzas concentradas que se transmiten a través de la placa de extremo, como lo son la fluencia local y arrugamiento del alma de la viga.

### 5.1.2 Conexión PTE con pasador

Para conectar los perfiles tubulares de las diagonales de la cercha y los tubos del cordón inferior, se desarrolla la hoja de cálculo para la revisión de los estados límites de la conexión con pasador.

**Figura 6.**

*Conexión con pasador en PTE rectangular.*

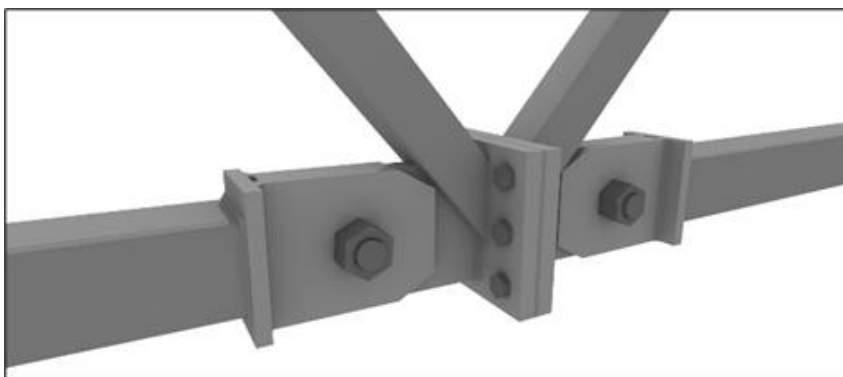


En esta conexión la platina que va soldada al tubo se define en la guía 24 del AISC, como “cap plate”, y al igual que en la conexión anterior se revisa la soldadura de la platina al tubo, la

fluencia por tensión en las paredes del tubo, fluencia y rotura por cortante en la cap plate y adicionalmente se revisan los estados límites aplicables en el capítulo D de la especificación 360-16 del AISC para el diseño de las platinas a tensión, las especificaciones del capítulo E, para el diseño a compresión y la resistencia a cortante del pasador que conecta las platinas como se ve en la Figura 6 y Figura 7.

**Figura 7.**

*Conexión con pasador del cordón inferior de la cercha.*



En las conexiones descritas anteriormente, se condicionó para que los límites de distancias al borde de los pernos en la platina fuesen mayores a la especificada por norma, además la lista de espesores y diámetros de pernos fue adaptada para seleccionar solamente medidas comerciales y de fácil consecución en el país, siendo pensando hacia el proceso de fabricación de la estructura dentro de la compañía. Las propiedades de los materiales fueron convertidas directamente del sistema ingles de las especificaciones técnicas al sistema internacional.

El desarrollo para cada tipo de conexión se realizó en un tiempo estimado de 1 semana laboral para cada conexión, distribuido de la siguiente manera:

- Creación elaboración de la hoja de cálculo con formatos especificados (2.5 días).
- Revisión: 1.5 días.
- Aprobación: 1 día.

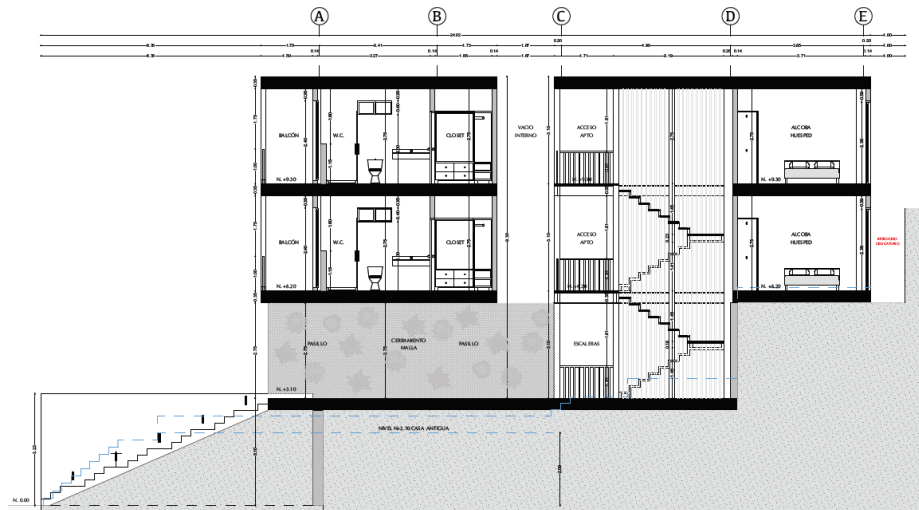
El desarrollo para cada tipo de conexión se realizó en un tiempo estimado de 1 semana laboral para cada conexión, distribuido de la siguiente manera:

## **5.2 Diseño estructural de vivienda multifamiliar**

Para el desarrollo de dicho proyecto se aplicó el procedimiento de diseño en acero presentado en la Figura 1, realizado en el proceso de contextualización.

### ***5.2.1 Planos Arquitectónicos y estudio de suelos***

Con base a los requerimientos arquitectónicos recibidos, se evidencia una estructura que consta de 4 niveles incluyendo un semisótano como se muestra en la Figura 8, donde en cada uno de ellos se ubica una unidad residencial, complementario a esto, el estudio de suelos suministró un perfil de suelo tipo D en el lote donde se construirá la estructura.

**Figura 8.***Alzado arquitectónico de la vivienda.*

Nota: tomado de proyecto arquitectónico suministrado.

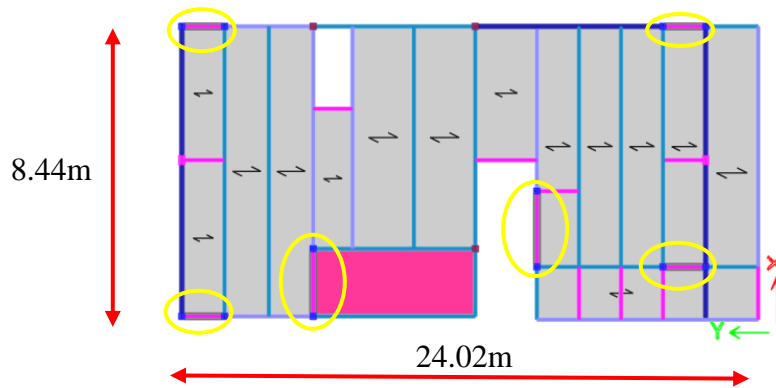
### 5.2.2 Sistema estructural

Evaluando las opciones y requerimientos arquitectónicos junto con el jefe de diseño de la compañía, se definen muros de cortante compuestos, para el sistema de resistencia a cargas laterales (SRCL), que distribuidos en las dos direcciones principales como se ve en la *Figura 9*, los cuales aportan rigidez a la estructura; los miembros estructurales son perfiles en acero en los cuales, las columnas son miembros de tipo compuesto (perfil tubular de acero, relleno de concreto reforzado), las vigas son perfiles en I y para los entrepisos se tiene un sistema con lámina colaborante tipo (Steel - deck), elemento que sirve de formaleta para el proceso de fundido de las placas en cada nivel.

Definido el sistema se realiza la revisión de aplicabilidad de este según lo definido en el apartado A.3, que se encuentra en el reglamento NSR-10.

**Figura 9.**

*Muros a cortante (MAC) en las dos direcciones principales.*



La capacidad de disipación de energía de la estructura es especial (DES), ya que se encuentra en zona amenaza sísmica alta y su altura total es de 12.4 m con altura de entrepisos de 3.10 m, para lo cual cumple con los parámetros definidos en la Tabla 2, y el sistema estructural es adecuado para la edificación presentada en los planos arquitectónicos. Además, se presenta en la Tabla 3 el coeficiente de disipación del sistema resistente a cargas laterales (SRCL) usado para el diseño.

**Tabla 2.**

*Requisitos de aplicación del sistema combinado de muros mixtos.*

Zona de amenaza sísmica	
Alta	
Uso permitido	Altura máxima
Sí	50 m

**Tabla 3.**

*Valores de  $R_o$  y  $\Omega_o$  para el sistema estructural en cada dirección.*

<b>Sistema Combinado</b>		<b>Valor <math>R_o</math></b>	<b>Valor <math>\Omega_o</math></b>
<b>SRS (Fuerzas Horizontales)</b>	<b>SRCV</b>		
Muros de concreto reforzado (DES) mixtos con elementos de acero	Pórticos de acero resistente o no a momentos	6.0	2.5

### **5.2.3 Análisis de cargas**

En la evaluación de cargas se realizó teniendo en cuenta el peso propio tanto de los miembros estructurales y de los elementos no estructurales, la carga sobre impuesta de la edificación es de 3.2 kN/m<sup>2</sup>, obtenida de un análisis detallado de cargas, teniendo como referencias las cargas mínimas para cada componente definidas en el título B del reglamento NSR-10.

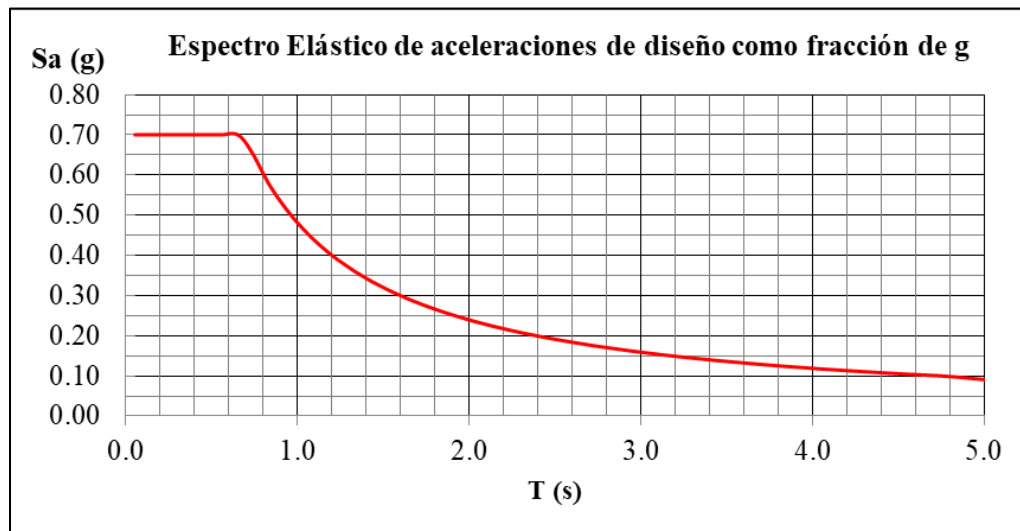
La magnitud de la carga viva dependerá del nivel de ocupación de la estructura, la cual, en este caso particular es del grupo I (residencial), por lo tanto, se establece carga viva para balcones de 5.0 kN/m<sup>2</sup>, cuartos privados 1.8 kN/m<sup>2</sup> y escaleras 3.0 kN/m<sup>2</sup>.

Para las cargas sísmicas se definieron los siguientes parámetros con base en el perfil del terreno dado en el estudio de suelos del proyecto.

**Tabla 4.***Parámetros sísmicos.*

Zona de amenaza sísmica	Aa	Av	Fa	Fv	I
Alta	0.2	0.2	1.4	2.0	1.0

Con estos parámetros se ensambla el espectro elástico de aceleraciones como fracción de la gravedad para el diseño de la estructura.

**Figura 10.***Espectro de aceleraciones de diseño como fracción de la gravedad.*

#### 5.2.4 Análisis y Modelado estructural

En compañía del ingeniero diseñador, se realizaron dos modelos, uno para el control de las derivas de la edificación y otro para el diseño por resistencia última que incluye el análisis por

estabilidad. Para cada modelo se apoyó el proceso de creación de este dentro del software, donde se definía el tamaño y distribución de rejillas de ejes estructurales con base a la arquitectura suministrada, definición de materiales, particularmente los aceros utilizados para cada perfilera, importación de perfiles comerciales, dibujo de secciones armadas y/o variables en longitud, definición de patrones, casos y combinaciones de cargas para el análisis lineal elástico.

**5.2.4.1 Modelo para el control de derivas.** En este modelo se calcularon los desplazamientos máximos de las columnas en cada nivel, producto de la acción del sismo ( $F_s$  sin reducir) en cada una de las direcciones principales de la edificación, para la cual se obtuvieron derivas de 0.60% para la dirección X y 0.97% en dirección Y, las cuales son menores a la máxima permitida según la Tabla 1 . Una vez verificado el cumplimiento del límite de deriva se procede a realizar el diseño de la estructura.

**5.2.4.2 Modelo de diseño.** En este modelo se realizó el análisis para el diseño por estabilidad, que se puede ejecutar aplicando uno de los siguientes métodos: el método de análisis directo, método de longitud efectiva, análisis de los efectos de primer o segundo orden, sin embargo, tanto en NSR-10 como en AISC 360-16, se recomienda el uso del método de análisis directo (MAD) siempre y cuando sea aplicable, dejando los demás métodos mencionados, como procesos alternativos para el análisis por estabilidad. El método de análisis directo (MAD) requiere revisar los efectos  $P-\Delta$  y  $P-\delta$  en los miembros que dan estabilidad a la estructura, y considerar las imperfecciones iniciales de las columnas por efectos de desplomes, que en el modelo se incluyen por medio de una carga ficticia lateral con un factor multiplicador de la carga gravitacional obtenido con base en el desplome máximo permitido ( $L/500$ ).

Adicionalmente, el método requiere hacer una reducción de la rigidez de los miembros que aportan estabilidad en la estructura con el fin de determinar las solicitaciones de diseño de estos. Se aplica una reducción de rigidez del 0.80 en todos los miembros de la estructura, ya sea en el módulo de elasticidad de los materiales o en las áreas e inercias de las secciones transversales, luego la rigidez a flexión modificada es  $EI^* = 0.8EI$ . Además, de la reducción general se requiere incluir un factor de modificación de la rigidez a flexión  $\tau_b$  para los miembros con altas cargas de compresión, luego la rigidez a flexión para dichos miembros será  $EI^* = 0.8\tau_bEI$ .

Al aplicar el método de análisis directo ya no es necesario hacer ajustes al factor de longitud efectiva  $K$  de cada miembro de la estructura y este pueda tomar el valor de 1.0 como multiplicador de las longitudes de diseño.

Con las condiciones del método de análisis por estabilidad definidas en el modelo por parte del ingeniero tutor, se realizó la verificación del diseño de los miembros estructurales en acero por medio del software y se controla que los índices de demanda/capacidad no sobrepasen la unidad o el límite establecido para el diseño, luego se realizó una revisión en la cual se exportaron las tablas de datos para las fuerzas internas, obteniendo de allí los datos de diseño, que fueron ingresados a las hojas de cálculo revisadas y aprobadas para el uso, y se contrastó con los índices obtenidos del modelo.

Para los casos en los cuales se obtuvieran índices mayores a 1.0 obtenidos de la comprobación manual se le informaba al calculista para que realizara los ajustes de rigidez y secciones de los miembros que fuesen pertinentes.

Al corroborar los índices de demanda capacidad, tanto en el modelo como en las herramientas de cálculo se extrajeron del modelo de análisis las fuerzas internas de diseño en los miembros finales de la estructura y se realizó el diseño de miembros y conexiones del sistema con

las herramientas de diseño programadas y actualizadas durante el desarrollo de la práctica en la empresa, las cuales se presentan a continuación.

### ***5.2.5 Diseño de miembros estructurales***

Para el diseño de los miembros se usaron las siguientes herramientas de cálculo desarrolladas:

**5.2.5.1 Diseño de columnas compuestas rectangulares en PTE o Armado.** Se evalúa la resistencia a flexión, cortante y fuerza axial de las secciones compuestas usadas en las columnas, con base a las fuerzas internas obtenidas del modelo de diseño, para el caso de la vivienda se usaron perfiles PTE 200x200x5.0 mm y 200x200x7.0 mm.

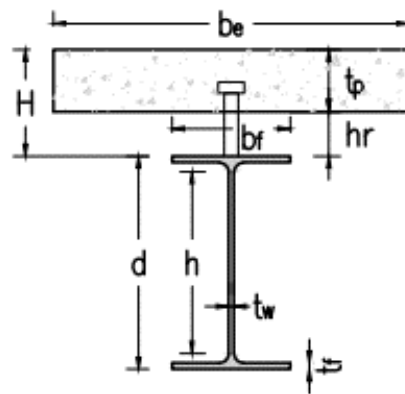
**5.2.5.2 Diseño de viguetas del sistema de piso con lámina colaborante.** Para el diseño de viguetas se consideraron los perfiles WF 6x9, WF 10x12 y WF 12x14 y su diseño se realizó de manera conjunta con los demás miembros y elementos del entrepiso (vigas y losa); se calculan la capacidad a flexión y cortante del perfil y se revisa que sean mayores a las solicitaciones producto de las cargas durante el proceso de construcción de la losa y las cargas de uso de la estructura.

**5.2.5.3 Diseño de vigas del sistema de piso con lámina colaborante.** A los miembros tipo viga del proyecto se le asignaron las secciones WF 10x12, WF 12X14, WF14X22 e IPE 270 y al igual que las viguetas se diseñaron como sección compuesta con la losa, con el objetivo de que el sistema de piso sea más eficiente para resistir las cargas impuestas por el uso.

Tanto las vigas como las viguetas se diseñan con acción compuesta, que se garantiza con la transferencia de carga que proveen los conectores de cortante; el título F.2 del reglamento NSR-10, el cual presenta 2 tipos de conectores: tipo espigo con cabeza y tipo canal, para este caso solo se permite usar los conectores tipo espigo, instalados sobre cada uno de los perfiles de acero estructural como se evidencia en la Figura 11.

**Figura 11.**

*Sección transversal compuesta de vigas y viguetas.*



Además del diseño por resistencia se realizó el diseño por vibraciones siguiendo los lineamientos y especificaciones de la guía 11 del AISC, en la cual se calculan las frecuencias y aceleraciones de los diferentes modos de panel presentes en la estructura, con el fin de comparar las aceleraciones permitidas del panel, que para el caso residencial en la tabla 4.1 de AISC 360-16 se establece un límite de  $a_o/g = 0.5 \%$ . En el diseño del sistema de piso se obtuvo un factor de interacción de 0.83 para el panel más crítico, lo cual indica que el entrepiso se encuentra por debajo de aceleraciones permitidas para el uso residencial. Este chequeo se realiza con el fin de evitar

vibraciones excesivas en el entrepiso que puedan ser muy perceptibles y causar molestias en los habitantes de la vivienda.

La hoja de diseño para entrepisos fue adaptada y actualizada en un tiempo de una semana (5 días), su revisión constó de 3.5 días y la aprobación final de 1.5 días. Por otro lado, el diseño de miembros se desarrolló en 4 días y su revisión y aprobación se realizó en conjunto con una duración de 3 días. Los datos de selección programados en la hoja de cálculo como tipo de lámina, perfiles y diámetro de conectores de cortante, fueron restringidos al mercado comercial, permitiéndole al diseñador usar elementos de fácil acceso para los procesos de fabricación y construcción.

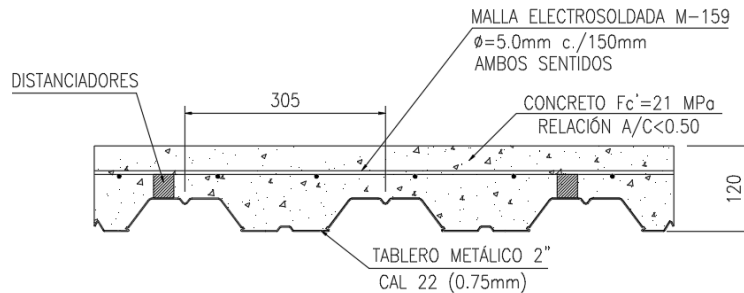
#### ***5.2.6 Diseño de sistema de entrepiso***

En el diseño de la losa de piso con lámina colaborante se evalúa la resistencia de la losa ante las cargas de uso de la estructura y la lámina ante las cargas del concreto fresco y las labores de construcción. Para este diseño se usó una lámina Steel-deck de 2" calibre 22 de 120 mm para formar una losa de 120 mm de espesor; el diseño de la lámina se rige por el título F.4 del NSR-10, debido a que estos elementos son formados por procesos en frío; en el diseño de la losa y el tablero metálico se consideran las deflexiones máximas permitidas, la resistencia a cortante, flexión y el acero de refuerzo por retracción y temperatura en el caso de la losa.

En la Figura 12 se muestra la sección de un tramo de la losa con lámina colaborante usada para el entrepiso de la vivienda.

**Figura 12.**

Losa de entrepiso con lámina colaborante.



### 5.2.7 Diseño de conexiones

Una vez definido el diseño de los miembros y el sistema de piso, se calculan las conexiones, teniendo en cuenta las condiciones de apoyo y las restricciones que se definieron en la etapa de modelado estructural.

En este apartado se consideran dos tipos de conexiones, las que son totalmente restringidas, es decir que transfieren momentos con bajas rotaciones y las conexiones simples que solo transmiten la fuerza cortante entre los miembros conectados. En el diseño de la vivienda multifamiliar se calcularon las conexiones descritas a continuación.

**5.2.7.1 Conexiones de Placas base.** En el diseño de la conexión de las columnas compuestas al pedestal, se calcula la excentricidad de la carga axial debida al momento flector requerido en la base de la columna, y teniendo en cuenta la geometría de la placa base y la resistencia del pedestal se determina la excentricidad crítica, la cual indica el límite máximo para el cual los anclajes aun no toman cargas de tensión para resistir el momento de la conexión, si se supera dicha excentricidad, la conexión se debe diseñar para criterios de placas base con grandes


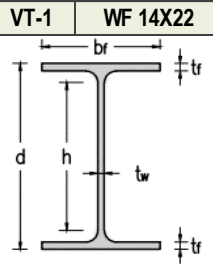
momentos donde se tienen anclajes en tracción, de lo contrario se diseña bajo los criterios de momentos de mediana magnitud.

En el proyecto se tienen los dos casos, y para cada conexión se definieron las dimensiones de la placa base, la cantidad de barras roscadas de anclaje ASTM A193 Gr B7 necesarias para resistir los efectos combinados de tensión y cortante, la longitud de los anclajes según el diseño por resistencia del concreto del pedestal al arrancamiento y deslizamiento.

La herramienta para el diseño de placas base, ya existía dentro de la compañía, sin embargo, se reestructuró la forma de presentación y desarrollo y se ajustó a los formatos internos, en 2 días aproximadamente.

Figura 13.

Hoja N1. Para el diseño de entrepisos.

DISEÑO DE VIGUETAS DEL SISTEMA DE PISO CON LÁMINA COLABORANTE											
PROYECTO:	PRÁCTICA EMPRESARIAL	ELABORÓ	A.F.S.L								
ARCHIVO:	PRÁCTICA EMPRESARIAL	REVISÓ	J.H.M.A								
FECHA:	JUNIO DE 2020	APROBÓ	M.A.P.H								
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PERFIL-VIGUETA											
	VT-1	WF 14X22	d=	349	mm	rx=	140.7	mm	Es=	200000	MPa
			tw=	5.8	mm	ry=	26.4	mm	Fy=	345	MPa
			bf=	127	mm	Sx=	473200	mm <sup>3</sup>	Long. Vigueta:	8000	mm
			tf=	8.5	mm	Sy=	45820	mm <sup>3</sup>	Ancho izquierda:	0	mm
			h=	312	mm	Zx=	541500	mm <sup>3</sup>	Ancho derecha:	875	mm
			A=	4190	mm <sup>2</sup>	Zy=	71800	mm <sup>3</sup>	Ancho aferente:	875	mm
			lx=	82580000	mm <sup>4</sup>	J=	74141	mm <sup>4</sup>	Apuntalamiento:	L/3	
			ly=	2910000	mm <sup>4</sup>	w=	32.9	kg/m	Long. Apuntalada:	2667	mm
	PROPIEDADES DEL CONCRETO Y DE LÁMINA COLABORANTE										
	2" CAL 22 de 120 mm										
Altura de la lámina:	2"	50.8	mm	Resistencia del concreto f <sub>c</sub> :		21	MPa				
Calibre de la lámina:	22	0.75	mm	Módulo de elasticidad E <sub>c</sub> :		17872	MPa				
Espeor Total de la Losa H:	120	mm		Densidad del concreto reforzado:		24	kN/m <sup>3</sup>				
Esfuerzo de Fluencia GR40:	280	MPa		Espeor equivalente de concreto:		92.2	mm				
DISEÑO POR FLEXIÓN PARA CARGAS DE CONSTRUCCIÓN-APUNTALADO											
Longitud arriostrada (L <sub>b</sub> ):	8000	mm	Esbellez aleta (b/t)=	7.5	< 0.38 √E/F <sub>y</sub> =	9.1	Compacta				
Peso del concreto y lámina:	2.29	kN/m <sup>2</sup>	Esbellez alma (h/s)=	53.8	< 3.76 √E/F <sub>y</sub> =	90.5	Compacta				
Peso propio de la vigueta:	0.33	kN/m	<b>Plastificación de la sección (F)</b>		<b>Pandeo local de la aleta (PLA)</b>						
Carga viva de construcción:	1.0	kN/m <sup>2</sup>	Momento plástico=	186.8	kN·m	Momento (PLA)=	No Aplica				
Comb.1 (1.2D+1.6L)=	4.20	kN/m	<b>Pandeo Lateral torsional (PLT)</b>		<b>Momento resistente</b>						
Comb.2. (1.4D)=	2.81	kN/m	cb=	1.00	L <sub>p</sub> =	1119	mm				
Cortante Último (V <sub>u</sub> )=	6.7	kN	rt=	32	mm	L <sub>r</sub> =	3150				
Momento Último (M <sub>u</sub> )=	3.0	kN·m	Momento (PLT)=		27.3	kN·m	φM <sub>n</sub> =	24.6			
							M <sub>u</sub> < φM <sub>n</sub>	<b>Cumple</b>			
							F.I.=	0.121			
DISEÑO POR CORTANTE PARA CARGAS DE CONSTRUCCIÓN											
Esbellez del alma (h/s):	53.8	<	2.24√E/F <sub>y</sub> =	53.9	Cumple	K <sub>v</sub> =	5.0				
1.10√k <sub>v</sub> E/F <sub>y</sub> =	59.2		1.37√k <sub>v</sub> E/F <sub>y</sub> =	73.8		C <sub>v</sub> =	1.0				
Área resistente A <sub>v</sub> =	2024	mm <sup>2</sup>	Res. a cortante V <sub>n</sub> =	419.0	kN	V <sub>u</sub> < φV <sub>n</sub>	<b>Cumple</b>				
			φV <sub>n</sub> =	419.0	kN	F.I.=	0.016				
DISEÑO COMO SECCIÓN COMPUESTA											
Carga muerta adicional=	0.0	kN/m	b <sub>ei</sub> =	875	mm	Ancho efectivo inicial					
Carga sobreimpuesta=	3.1	kN/m <sup>2</sup>	b <sub>e</sub> =	775	mm	Ancho efectivo					
Carga viva por uso=	2.0	kN/m <sup>2</sup>	h <sub>r</sub> =	50.8	mm	Altura lámina					
Comb.1. (1.2D+1.6L)=	8.9	kN/m	t <sub>p</sub> =	69.2	mm	Esp. de concreto					
Comb.2. (1.4D)=	7.1	kN/m									
Cortante Último (V <sub>u</sub> )=	35.4	kN									
Momento Último (M <sub>u</sub> )=	71	kN·m									
Esbellez del alma (h/s):	53.8	<	3.76√E/F <sub>y</sub> =	90.5	La sección Plastifica						
Eje neutro de la sección:	125.6	mm	Momento resistente φM <sub>n</sub> =	299	kN·m	> M <sub>u</sub>	F.I.=	0.24 <b>Cumple</b>			
Ubicación del eje neutro:	Aleta Viga		Cortante resistente φV <sub>n</sub> =	419.0	kN	> V <sub>u</sub>	F.I.=	0.08 <b>Cumple</b>			

**5.2.7.2 Conexión a momento con placa extremo-extendida sin rigidizar (4ES).** La conexión se configuró con base a las dimensiones de los miembros conectados, en este caso se conectó la viga IPE 270 a la columna PTE 200x200x7.0 con el uso de una placa de extremo con 4 pernos pasantes en cada aleta de la viga como se ve en la Figura 14; como esta conexión no hace parte del sistema de resistencia sísmica, su diseño no debe cumplir con todo lo demandado para las conexiones precalificadas descritas en las provisiones sísmicas 341-16 del AISC y la guía 4 de diseño de conexiones, a pesar de que su distribución sea similar.

La conexión se diseña para los momentos y cortantes obtenidos del modelo de análisis y las fuerzas de dichas solicitaciones son comparados con los estados límites de resistencias de cada uno de los elementos de la conexión, que en este caso son:

**5.2.7.2.1 Placa extendida.** Chequeo por fluencia y fractura por cortante, y espesor para evitar el efecto palanca en los pernos.

**5.2.7.2.2 Pernos de conexión.** Resistencia a tracción de los pernos, chequeo por cortante, aplastamiento y desgarramiento tanto en la placa extremo como en la pared de la columna.

**5.2.7.2.3 Soldadura de conexión.** Chequeo de la soldadura de entre el alma y aletas de la viga a la placa extremo.

**Figura 14.**

*Conexión a momento de viga a columna compuesta.*



Para esta conexión fue necesario reestructurar la presentación, y omitir los criterios de demanda sísmica para la conexión precalificada, en base a eso se obtuvo la herramienta para diseñar una conexión sin requerimientos sísmicos, como la presentada.

**5.2.7.3 Conexión a cortante viga-columna con placa simple convencional.** La conexión se desarrolla para las vigas conectadas a cortante a las columnas compuestas, para lo cual se chequean los siguientes elementos:

**5.2.7.3.1 Placa de cortante.** Se revisa el dimensionamiento de la placa con base a la altura disponible del miembro conectado, ya que la placa no puede ser más alta que la dimensión libre entre los radios de curva de la transición entre las aletas y el alma. Los estados límites evaluados en la placa son: la fluencia y rotura por cortante y tensión, bloque de cortante y fluencia a flexión,

y al evaluar dichos estados se determina el valor de espesor mínimo que deberá tener la platina de la conexión, dicho valor será el máximo espesor obtenido de los estados límites.

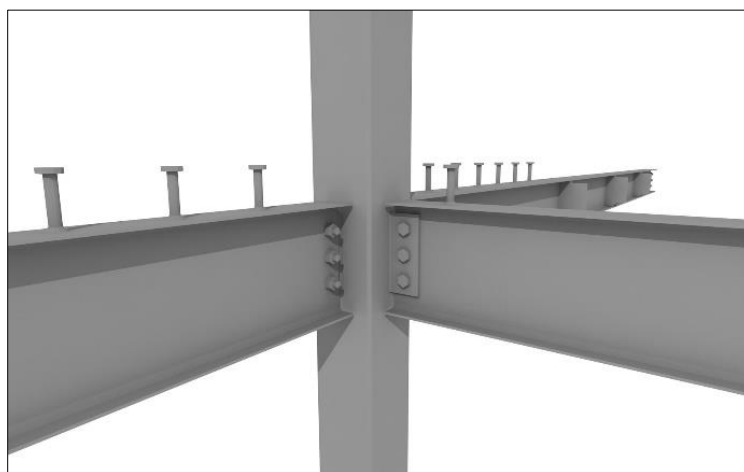
**5.2.7.3.2 Pernos.** Los pernos se evaluaron ante la acción de la carga de cortante excéntrico mediante el método del centro instantáneo de rotación (CIR), el cual por medio de iteraciones se calcula el factor  $c'$  que modifica la resistencia a cortante básica de diseño de los pernos para incluir los efectos de la excentricidad de la carga.

**5.2.7.3.3 Soldadura.** Se diseñó la soldadura para que el tamaño del filete sea al menos  $5/8$  del espesor de la platina ( $t_p$ ), y la resistencia que pueda desarrollar sea mayor al máximo cortante que pueda soportar la placa de cortante.

La Figura 15 muestra 2 vigas conectadas a cortante mediante una placa simple, a las caras de la columna rectangular compuesta.

**Figura 15.**

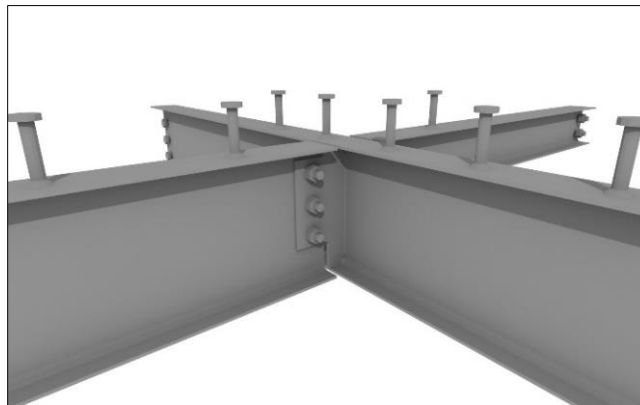
*Conexión viga – columna.*



**5.2.7.4 Conexión a cortante de vigueta a viga con placa simple extendida.** Con el fin de no realizar destijeres de aletas de las viguetas que se conectan a la viga, se desarrolla la conexión por medio de una placa simple extendida, que a diferencia de la placa convencional los pernos están a una excentricidad superior al límite permitido en la placa simple, debido al requerimiento constructivo que la conexión sobresalga del borde de las aletas de la viga, lo que permite que la vigueta se conecte fácilmente sin tener que realizar ningún tipo de modificación como se muestra en la Figura 16.

**Figura 16.**

*Conexión de vigueta – viga.*



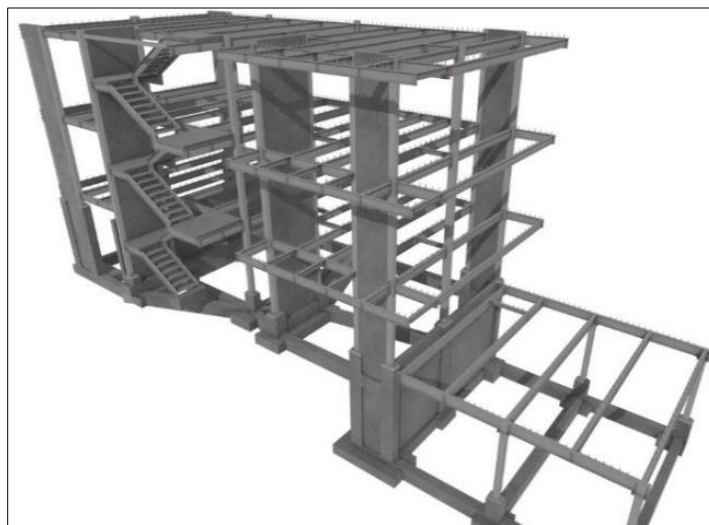
Para los dos tipos de conexiones fue necesario, revisar las hojas programadas existentes para el método elástico y el centro instantáneo de rotación y enlazarlo con la hoja de diseño, pues los datos obtenidos de la programación existente eran necesarios para el análisis del grupo de pernos dentro de la conexión, además se especificaron los materiales para las platinas, pernos, perfiles y electrodos de soldadura; este proceso se desarrolló durante un tiempo de 2 semanas,

haciendo uso de macros en Excel. El proceso de Revisión y aprobación conllevó una duración de 1.5 semanas.

Una vez concluido el proceso de diseño de los miembros de la estructura en acero y sus conexiones, se organizaron los documentos y se sustentaron los cálculos por medio de la elaboración de la memoria estructural de diseño. Se evidencia en la Figura 17 el resultado de la vivienda multifamiliar diseñada.

### **Figura 17.**

*Modelo tridimensional de la estructura de la vivienda.*



### **5.3 Apoyo en el diseño de puentes modulares en acero**

En este proyecto se realizó el apoyo al diseño de la 6 puentes modulares en acero de 6, 12, 18, 24, 30 y 36 metros de luz, con la particularidad de cada uno de sus miembros y elementos podrán ser ensambladas en obra por medio de pernos y sin usar soldadura, permitiendo el desmonte luego de finalizado su uso, y futura instalación en otro sitio; dichos puentes tienen la característica

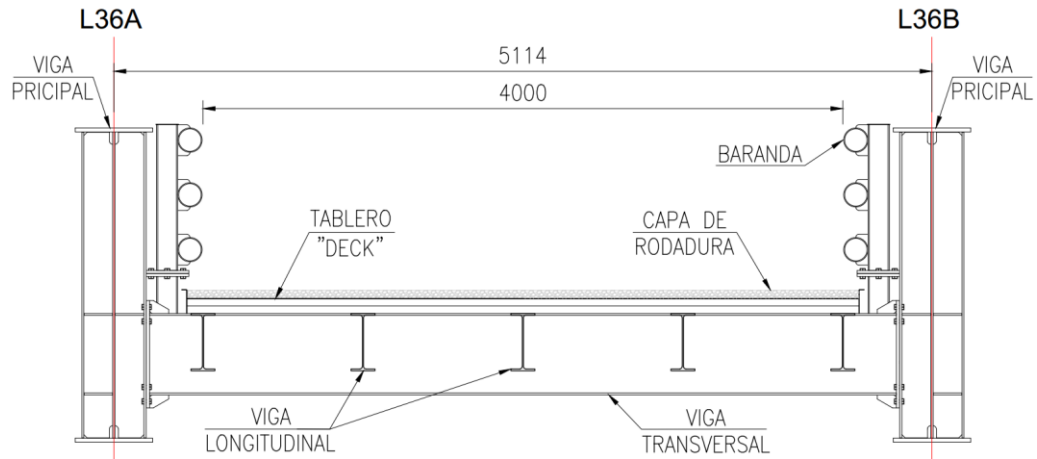
de estar ubicados sobre unos puentes existentes que no pueden soportar las cargas de los equipos especiales que se requieren pasar por estas estructuras, por lo que el alcance del diseño abarca simplemente la superestructura y no contempla el diseño de la cimentación profunda.

Las labores iniciaron en conjunto con el ingeniero de diseño en acero y el ingeniero de fabricación, con el fin de considerar aspectos técnicos y facilidades de fabricación de las estructuras, debido a las longitudes de los puentes y a la altura requerida por sus secciones transversales. El diseño se realiza con secciones armadas a partir de láminas de acero ASTM A709 Grado 50, ya que no se comercializan perfiles laminados con las dimensiones requeridas; el uso de esta especificación de material se justifica debido a que es resistente a la corrosión y no requiere el uso de sistemas de protección contra la corrosión que se dañan durante la manipulación de la estructura en el almacenamiento, transporte, montaje y desmonte. El material contemplado en el diseño se permite en lo especificado en la sección 6 del código colombiano de puentes del 2014.

La sección transversal del puente está compuesta por dos vigas principales, con el tablero intermedio, esto con el fin de que el acceso al sobre puente no se elevara demasiado respecto al nivel de la vía debido al peralte de las secciones; las vigas principales son arriostradas por una viga transversal distribuida a intervalos definidos en toda la longitud del puente, dichas vigas transversales se apoyan en las vigas del tablero como se muestra en la Figura 18.

**Figura 18.**

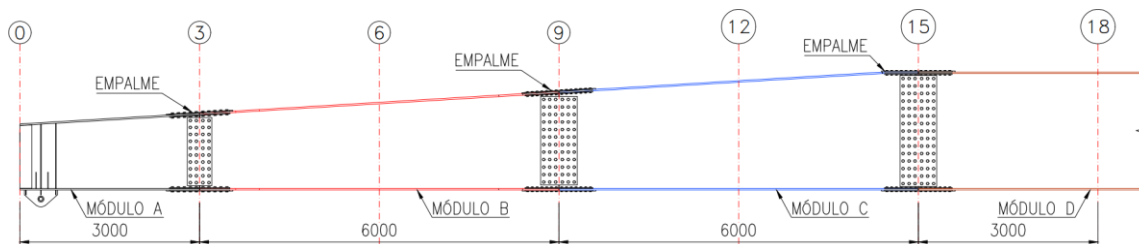
*Sección transversal típica de los puentes.*



Las vigas principales de los puentes se forman a partir de módulos de longitudes 3.0 m y 6.0 m que se ensamblan mediante conexiones tipo junta emperrada que une el alma y las aletas de los miembros. Para disminuir el consumo de material se diseñaron las vigas principales con alturas, anchos y espesores variables (ver Figura 19), cuidando de que los módulos se puedan usar en diferentes puentes, cumpliendo con la resistencia y las deflexiones máximas de servicio para carga viva y muerta.

**Figura 19.**

*Viga principal de peralte variable para el puente de 36 m.*



El análisis de la influencia de carga requerida para el puente y modelado estructural se realizó en software de cómputo, y para el diseño se realizó la adaptación de las herramientas de cálculo para vigas de acero y conexiones, pues las existentes, solo son válidas para perfiles laminados comerciales y los requerimientos de NSR-10 y no para el diseño de puentes como se plantea en el CCP-14. El proceso de adaptación y ajuste al código de puentes requirió de 3 semanas y la revisión por parte del calculista requirió de 2 semanas. Las hojas adaptadas a las especificaciones normativa de puentes fueron las que se presentan a continuación:

### 5.3.1 Diseño de vigas armadas

Para el diseño de las vigas armadas, se creó la hoja de diseño en la cual se realizó el cálculo de la resistencia a flexión, cortante y fuerza axial (tensión y compresión), como miembros de sección no compuesta como se presenta en el código de puentes. Los factores de resistencia que se evidencian tanto en las especificaciones de AASHTO 2017, como en el código colombiano de 2014 para cada estado límite son ligeramente diferentes a los aplicables en edificaciones. (Ver Tabla 5).

**Tabla 5.**

*Factores de resistencia según CCP-14.*

<b>Factores de Resistencia</b>	
Para flexión	$\phi_f = 1.00$
Para corte	$\phi_v = 1.00$
Para compresión axial, miembros de acero	$\phi_c = 0.95$
Para compresión axial, miembros compuestos	$\phi_c = 0.90$

Para tensión, fractura en la sección neta	$\phi_u = 0.80$
Para tensión, fluencia en la sección bruta	$\phi_y = 0.95$

Como en el diseño se tienen secciones armadas, se calcularon las propiedades geométricas del mismo y se chequearon las relaciones de esbeltez para el alma, aleta en compresión y aleta en tensión, además se realizó el chequeo de las proporciones mínimas del perfil de acuerdo con la sección 6 del código de puentes.

**5.3.1.1 Diseño a tracción y compresión.** La resistencia a tracción del perfil está dada por la fluencia del área bruta, mientras que en compresión se calcula un área efectiva con el factor de reducción  $Q$ , que es menor a 1.0 en secciones con elementos (alma o aletas) esbeltos; área efectiva se utiliza en el cálculo de los estados límites de pandeo elástico por flexión, torsión y flexo torsión.

**5.3.1.2 Diseño a flexión y cortante.** En el diseño a flexión se calculan las relaciones de esbeltez de los elementos de la sección y se clasifica de acuerdo con el rango donde se encuentre (compacto, no compacto o esbelto), luego de ser clasificado se calcula el momento resistente evaluando los estados límites aplicables según su clasificación. En general, la resistencia de diseño a flexión se toma como la menor de:

Momento de fluencia, momento basado en el pandeo de la aleta en compresión y momento basado en la fluencia de la aleta en tensión.

En el diseño por cortante se tiene en cuenta si el alma de la sección está rigidizada o no, ya que los rigidizadores modifican la resistencia a cortante de la sección al controlar los pandeos del

alma y también desarrollan la acción del campo tensionado, si se dan las condiciones. En el diseño de las vigas principales se incluyeron rigidizadores transversales para proveer arriostramiento lateral a la sección mediante la viga transversal, los cuales se incluyen en el cálculo de la resistencia a cortante en la conexión.

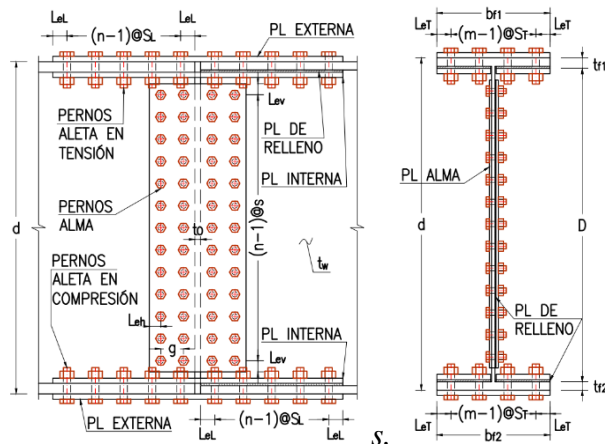
### 5.3.2 Diseño de conexiones de empalme entre módulos de vigas

Para garantizar la continuidad de las vigas principales se realiza el diseño de la conexión de junta empernada, en la cual, el alma y los patines del perfil se conectan mediante placas empernadas como se muestra en la Figura 20.

Teniendo en cuenta la variabilidad del ancho, peralte y espesores de las secciones, el ingeniero de fabricación recomendó realizar transiciones graduales para que en la zona de la conexión de los patines superior e inferior de las secciones no se generaran esfuerzos. En caso de que exista diferencia en el espesor de las aletas se permite usar platinas de relleno.

**Figura 20.**

*Detalle de conexión a momento entre viga.*



El diseño de la conexión se debe revisar para las solicitaciones del estado límite de resistencia I y servicio II como lo indica el código CCP-14. El estado de servicio se revisa para controlar el deslizamiento de las conexiones con pernos pretensionados ante las cargas de uso. El chequeo de cada uno de los componentes de la conexión se realizó de acuerdo con el procedimiento de diseño consultado en (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2015) de la siguiente manera:

**5.3.2.1 Predimensionamiento y distribución de la conexión.** Se revisan los límites geométricos para la cantidad de filas y columnas de pernos distribuidos en el alma y en las aletas, así como el ancho y longitud de las platinas de conexión.

**5.3.2.2 Conexión en el alma.** La conexión en el alma consta de:

**5.3.2.2.1 Pernos de conexión.** Se calculó la capacidad por los siguientes estados límite de resistencia a cortante, resistencia al aplastamiento y desgarramiento y el grupo de pernos a cortante excéntrico por el método elástico.

**5.3.2.2.2 Platina de unión.** Se revisaron los estados límites de fluencia por cortante, rotura por cortante, bloque de cortante, fluencia por flexión, aplastamiento y desgarramiento.

**5.3.2.3 Conexión en las aletas.** La conexión en el alma consta de:

**5.3.2.3.1 Pernos de conexión.** Se calcularon la resistencia por los siguientes estados límite de resistencia al deslizamiento, resistencia a cortante, aplastamiento y desgarramiento.

**5.3.2.4 Aleta de la viga.** Se revisaron los estados límites de fluencia de la sección bruta, fractura de la sección neta, aplastamiento y desgarramiento y bloque de cortante.

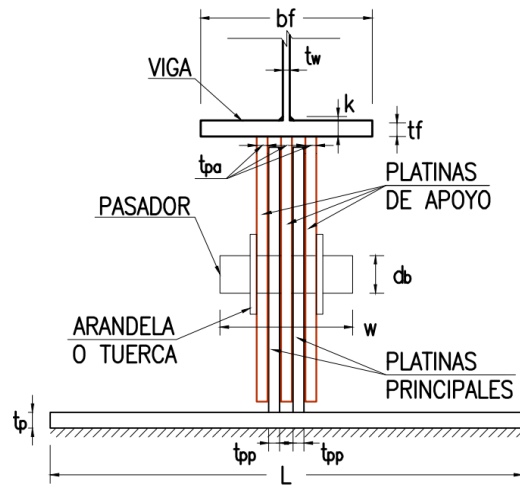
**5.3.2.5 Platinas de unión.** Se revisaron los estados límites de fluencia por tensión, rotura por tensión y bloque de cortante.

La resistencia nominal de cada elemento para cada estado límite aplicable, es reducida por los factores de la Tabla 5; esta resistencia deberá ser mayor a las solicitaciones producidas por las combinaciones de carga de resistencia I y servicio II de acuerdo con la sección 3 de CCP-14, según sea aplicable.

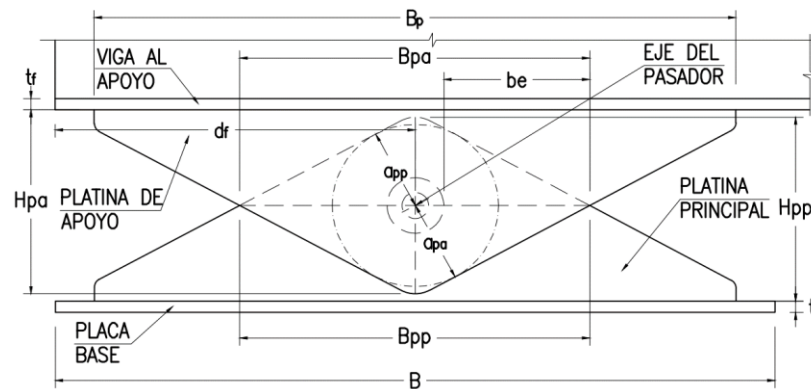
### ***5.3.3 Diseño de apoyos mecánicos***

Los puentes son de una luz y se consideran simplemente apoyados, por tanto, se diseñaron los apoyos con pasador, en cada extremo de las vigas principales conectados al patín de las vigas, garantizando así el comportamiento de articulación en los apoyos.

El apoyo está formado por dos platinas principales unidas a la base de la cimentación y tres platinas de apoyo unidas a la viga, las cuales se conectan entre sí mediante un pasador como se muestra en la Figura 21.

**Figura 21.***Vista frontal del pasador.*

Los estados límites que se aplican para el diseño incluyen las solicitaciones por resistencia, evento extremo I y servicio I. Se revisan los requisitos geométricos, dimensiones y áreas mínimas (ver Figura 22) para las platinas de apoyo y principales según las especificaciones de la sección 14 de CCP-14, en este caso se aplican los siguientes estados límite: fluencia del área bruta, rotura del área neta, fluencia y rotura por cortante; además se revisa el efecto de las fuerzas concentradas en el alma de la viga armada, tal cual como se chequeo en la conexión de las cerchas de cubierta mencionadas anteriormente.


**Figura 22.***Vista lateral de apoyo.*

El diseño de la placa base donde descansa el apoyo se dimensiona con base a las longitudes de este y su espesor se calcula a partir del estado límite de fluencia; y por último el pasador se chequea por aplastamiento y cortante en la unión de las platinas. En la Figura 23 se muestra una parte del ahoja de cálculo desarrollada para este diseño.

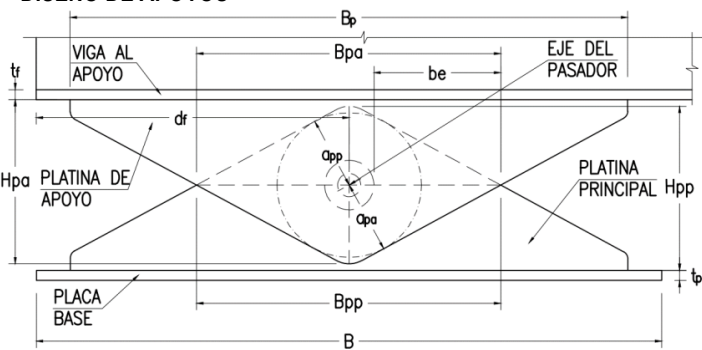
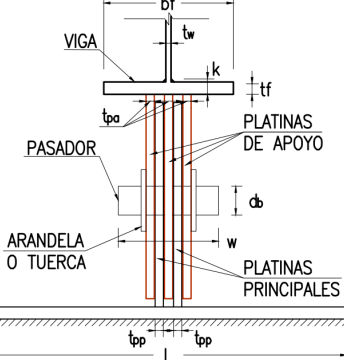
Figura 23.

Hoja N1. del cálculo de apoyos mecánicos en puentes.

DISEÑO DE APOYO CON PASADOR PARA VIGAS DE SUPERESTRUCTURA DE PUENTE EN ACERO-CÓDIGO DE DISEÑO CCP-14			
<b>PROYECTO:</b>	PRACTICA EMPRESARIAL	<b>ELABORÓ</b>	A.F.S.L
<b>ARCHIVO:</b>	PRACTICA EMPRESARIAL	<b>REVISÓ</b>	J.H.M.A
<b>FECHA:</b>	MAYO DE 2020	<b>APROBÓ</b>	M.A.P.H



### DISEÑO DE APOYOS

MATERIAL PLATINAS	MATERIAL PASADOR	MATERIAL PLACA BASE
ASTM <b>A588</b>	ASTM <b>A668-Clase C</b>	ASTM <b>A588</b>
Fy= 345 [MPa]	Fy= 228 [MPa]	Fy= 345 [MPa]
Fu= 485 [MPa]	Fu= 455 [MPa]	Fu= 485 [MPa]

### FUERZAS DE DISEÑO

	Resistencia	Evento Extremo I	Servicio I	
R. vertical=	1080 [kN]	487 [kN]	620 [kN]	Resultante vertical (+ hacia abajo)
R. horizontal=	0 [kN]	380 [kN]	42 [kN]	Resultante horizontal

DATOS DE LA VIGA	MATERIAL VIGA	PASADOR
d = 1100 [mm] Peralte	ASTM <b>A588</b>	d <sub>b</sub> = 2 1/2" [in] Diametro
t <sub>w</sub> = 12.0 [mm] Espesor del alma	Fy= 345 [MPa]	d <sub>b</sub> = 63.5 [mm] Diametro
b <sub>f</sub> = 300 [mm] Ancho de la aleta inferior	Fu= 485 [MPa]	d <sub>h</sub> = 64.3 [mm] Perforación
t <sub>f</sub> = 25.0 [mm] Espesor de la aleta inferior		

### DIMENSIONAMIENTO DEL APOYO (6.8.7.3)

B <sub>pp</sub> = 359 [mm] Ancho de platina principal sobre el eje del pasador	$B_{pp} < 8t_{pp}$ <b>Ajustar</b>
H <sub>pp</sub> = 280 [mm] Altura de platina principal sobre el eje del pasador	
t <sub>pp</sub> = 25.0 [mm] Espesor de platina (s) principal (es)	
B <sub>pa</sub> = 359 [mm] Ancho de platina de apoyo sobre el eje del pasador	$B_{pa} < 8t_{pa}$ <b>Ajustar</b>
H <sub>pa</sub> = 280 [mm] Altura de platina de apoyo sobre el eje del pasador	
t <sub>pa</sub> = 19.0 [mm] Espesor de platina (s) de apoyo	
a <sub>pp</sub> = 130 [mm] Mínima distancia al borde de la (s) platina (s) principal (es) [al centro]	
a <sub>pa</sub> = 130 [mm] Mínima distancia al borde de la (s) platina (s) de apoyo [al centro]	

## 6. Conclusiones

Durante el desarrollo de la práctica se implementó el uso de un motor de búsqueda programado en Excel el cual es amigable con el usuario, y permite encontrar fácil y ordenadamente las herramientas disponibles para el cálculo estructural de miembros, conexiones y sistemas en acero (Anexo A). Las herramientas existentes fueron complementadas acorde a los requerimientos del reglamento de construcción sismo-resistente (NSR-10) y las especificaciones del AISC 360-16, adicionalmente algunas herramientas requirieron ser adaptadas para el uso en el diseño de puentes, con base en el código (CCP-14) y las especificaciones de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017) para puentes.

En el diseño con acero en Peralta Ingeniería es común el uso de las guías de diseño del AISC, ya que son un apoyo complementario a los capítulos F.2 y F.3 de la NSR-10, reglamento que rige el cálculo estructural en acero en Colombia.

Al colacionarse el reglamento NSR-10 con el manual y especificaciones del AISC 360-16, se evidencian ligeras diferencias, ya que el reglamento colombiano tiene por referencia la especificación del AISC 360-10, en lo que respecta a las estructuras metálicas, por tanto, se espera que las diferencias sean atendidas en próximas actualizaciones del reglamento.

Con el desarrollo de las herramientas del cálculo manual, se comprendió el comportamiento asociado a los diferentes estados límite en los elementos y miembros estructurales en acero, así como el funcionamiento de las conexiones parcial y totalmente restringidas al giro.

Además, la participación en el diseño de puentes modulares en acero permitió contrastar la presentación de los requerimientos del título F.2 de la NSR-10 con la sección 6 del código de puentes (CCP-14) en cuanto al diseño por resistencia y servicio de miembros y conexiones pertenecientes a estructuras de edificaciones y puentes respectivamente, la cual se evidencia en el documento (Anexo B) que contiene un procedimiento general para el diseño de la superestructura de puentes en acero dentro de la compañía.

En relación con lo antes expuesto, se culminó satisfactoriamente la práctica empresarial en el apoyo de las labores de diseño estructural de edificaciones en acero, con base en la metodología de desarrollo de proyectos en esta área de la compañía presentado en la Figura 1, así mismo se realizaron aportes como herramientas ofimáticas para el cálculo de miembros, conexiones, y un documento guía para el diseño de puentes, que servirán de apoyo en el área de diseño de Peralta Ingeniería.

### Referencias Bibliográficas

(s.f.). (ASTM A36/A36M-00a) *Acero estructural al carbono.*

(s.f.). (ASTM A500-03a) *Tubería estructural de acero al carbono formada en frío con y sin costura, redonda y de otras formas.*

(s.f.). (ASTM A572/A572M-06) *Aceros de calidad estructural de alta resistencia baja aleación Niobio (Columbio)-Vanadio.*

Allin Cornell, C. (1969). *A Probability Based Structural Code.* (12).

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.* Washington, D.C.

American Institute of Steel Construction. (2015). *Steel Design Guide 24, Hollow Structural Section Connections.*

American Institute of Steel Construction. (2015). *Steel Design Guide 4, Extended End-Plate Moment Connections, Seismic and Wind Applications.*

American Institute of Steel Construction. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings 341-16.* Chicago, Illinois.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings 360-16.* Chicago, Illinois.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Steel Design Guide 11, Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity.*

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*. Bogotá D.C.

Awad, R. R. (2014). *Análisis y diseño sísmico de edificios*. Medellín: Universidad EAFIT.

Clement, G. V. (2004). *Estructuras de acero Diseño con factores de carga y resistencia*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Colina Martínez, J. d., & Ramírez de Alba, H. (2000). La ingeniería estructural. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*.

Eaton, L. (2001). Hardy cross and the "Moment Distribution Method". *Nexus Network Journal*, 3(2).

Felippa, C. (2001). A historical outline of matrix structural analysis: A play in three acts.

Massa, J., Giró, J., & Guidici, A. (2017). *Compendio Cálculo Estructural II*.

Ministerio de Transporte . (2014). *Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14)*. Bogotá D.C.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2015). *Steel Bridge Design Handbook: Splice Design, Volume 14*. Washington, D.C.