



**Optimización en el proceso de diseño de estructuras metálicas
aplicado en la empresa Abril & Asociados S.A.S**

Juan Felipe López Díaz

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniero Civil

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesora

Lina María Ramírez Hoyos, Magíster (MSc) en Planificación y Gestión del Territorio

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2025

Cita	(López Díaz, 2025)
Referencia	López Díaz. J. (2025). Optimización en el proceso de diseño de estructuras metálicas aplicado en la empresa Abril & Asociados S.A.S [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Con amor para mi madre Gregoria, y mi padre, Juan Carlos, por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Gracias a Dios por prestarle estos sueños a mi vida, a mis padres por el amor que me han dado, los sacrificios que han realizado y la motivación constante. Este logro es tan mío como de ustedes. A esos familiares que me regalaron parte de su tiempo. A la Universidad de Antioquia por ser mi segundo hogar durante este proceso de aprendizaje, a los profesores de la Facultad de Ingeniería por su compromiso en brindar conocimiento de calidad. Por último, gracias a la empresa Abril & Asociados y compañeros de trabajo por la paciencia y la confianza en estos últimos meses.

Tabla de contenido

Lista de figuras	7
Resumen	10
Abstract	11
1. Introducción	12
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo general	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. Marco teórico	15
1. Predimensionamiento	23
2. Determinación de parámetros del modelo estructural.....	24
2.1. Geometría.....	24
2.2. Materiales.....	24
2.3. Cargas de servicio	24
2.4. Cargas ambientales	25
3. Combinaciones de carga.....	26
4. Desplazamientos horizontales y verificación de derivas.....	28
5. Cálculo del coeficiente de capacidad de disipación de energía en la estructura (R).....	28
6. Diseño de los elementos estructurales.....	29
4. Metodología	30
5. Análisis de resultados.....	33
5.1 Elaboración y análisis de encuesta	33
5.2. Información consultada en catálogos, formatos de cálculo existentes y documentos teóricos y normativos	38

5.3. Formatos de cálculo para el diseño de los diferentes componentes de una estructura metálica	38
5.3.1 Formato de diseño de vigas.....	39
5.3.3 Formato de diseño de columnas.....	44
5.3.3 Formato de diseño de conexión precalificada.....	50
5.3.4 Formato de diseño de placas base para columnas de sección I.....	58
5.3.5 Plantilla de memoria de calculo	59
6. Conclusiones y recomendaciones.....	60
Referencias	61
ANEXOS.....	62

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de acero comunes. Fuente: Elaboración propia.....	16
Tabla 2. Combinaciones de cargas para diseño. Fuente: Elaboración propia.	26
Tabla 3. Respuesta a encuesta realizada al equipo de diseño estructural. Fuente: Elaboración propia.....	37

Lista de figuras

Figura 1. Curvas esfuerzo versus deformación en los tipos de acero	16
Figura 2. Perfiles de elementos de acero.....	17
Figura 3. Usos de acero laminado en frío	18
Figura 4. Uniones remachadas. a) Remache antes de instalación. b) Forjado de la segunda cabeza. c) Remache instalado.....	21
Figura 5 . Elementos del proceso de soldadura.....	22
Figura 6 . Unión pernada a cortante	22
Figura 7. Algunos tipos de conexiones entre vigas y columnas. a) Conexión simple soldada y pernada. b) Conexión a momento soldada y pernada.....	23
Figura 8 . Resultados de sondeo de preguntas cerradas	35
Figura 9. Sección adicionada a las hojas de diseño existentes para incluir datos del proyecto a diseñar	39
Figura 10 . Automatización de los parámetros geométricos y propiedades mecánicas del perfil seleccionado para diseño	40
Figura 11 . Clasificación por pandeo local para miembros sometidos a flexión	40
Figura 12. Verificación de la relación ancho-espesor para vigas en acero	41
Figura 13 . Chequeo de arriostamiento máximo permitido por NSR-10.....	41
Figura 14. Ingreso de solicitaciones de momento	42
Figura 15. Chequeo de pandeo torsional en vigas.....	43
Figura 16. Diseño a cortante	44
Figura 17. Automatización de los parámetros geométricos y propiedades mecánicas del perfil seleccionado para diseño de columnas.....	45
Figura 18. Clasificación por pandeo local para columnas solicitadas por compresión y flexión	46
Figura 19. Verificación de la relación ancho-espesor para elementos a compresión	47
Figura 20. Calculo de longitud efectiva en columnas	47
Figura 21. Diseño a compresión de columnas	48

Figura 22. Chequeo para miembros con simetría doble solicitados flexión y compresión.....	49
Figura 23 . Diseño a cortante para sección en I y diseño de rigidizadores en columnas	49
Figura 24. Conexión a momento de placas empernadas a las aletas.....	51
Figura 25 . Ingreso de parámetros de los perfiles conectados.....	51
Figura 26. Calculo del momento probable	52
Figura 27. Información de pernos y platina necesaria para diseño	52
Figura 28. Chequeo de la platina por el estado límite de ruptura por tensión.....	54
Figura 29. Chequeo de falla por desgarre en bloque.....	55
Figura 30. Chequeo de la platina para el estado límite de pandeo por compresión	55
Figura 31. Conexión a cortante complementaria a conexión a momento	56
Figura 32. Placas de continuidad en columnas	56
Figura 33. Diseño de placa de continuidad	57
Figura 34. Diseño de zona panel	58

Siglas, acrónimos y abreviaturas

NSR-10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente
AISC	American Institute of Steel Construction
ASTM	American Society for Testing and Material
UdeA	Universidad de Antioquia
PAC	Pórticos Arriostrados Concéntricamente
PAE	Pórticos Arriostrados Excéntricamente
PRM	Pórticos Resistentes a Momento

Resumen

Dentro del proceso de diseño estructural de edificaciones, el ingeniero estructural analiza diversos tipos de diseño, modificando de forma iterativa la geometría de los miembros, ubicación y material de estos, teniendo en cuenta para ello las solicitaciones que actúan sobre cada elemento, la armonía que tengan con la arquitectura y el uso eficiente de los materiales (Seguí, 2000).

En la empresa Abril & Asociados S.A.S dedicada al diseño de edificaciones, se desarrollan proyectos a nivel nacional, y en mayor proporción aquellos ubicados en el departamento de Antioquia. En el campo del diseño estructural, actualmente se realizan diseños para casas construidas en materiales como concreto reforzado, mampostería reforzada y estructuras en acero.

Para llevar acabo los procesos de diseño, se tiene establecido un procedimiento predeterminado que facilita y agiliza los cálculos realizados y documentos presentados a las curadurías, clientes y constructores. En el área de estructuras metálicas se ha observado la ausencia de integración de información externa, como catálogos de perfiles metálicos, con los cálculos realizados en la hoja de cálculo.

En el marco de práctica empresarial como ingeniero civil, se optimizaron los formatos existentes de diseño de estructuras metálicas, mediante la implementación de sondeos de valoración al grupo de diseño estructural, bases de datos que automaticen el ingreso de parámetros de entrada, y creando una memoria de cálculo que permita seguir el proceso de diseño, todo esto cumpliendo los requisitos de diseño de las normativas NSR-10 y AISC. Así mismo, de forma indirecta amplíé mis conocimientos sobre el comportamiento de las estructuras, los códigos normativos, y en general, fortalecí mis competencias en el diseño estructural de edificaciones.

Palabras clave: diseño estructural, estructuras metálicas, perfiles metálicos, optimización, memorias de cálculo.

Abstract

Within the process of structural design of buildings, the structural engineer analyzes various types of design, iteratively modifying the geometry of the members, their location and material, considering the stresses acting on each element, the harmony they have with the architecture and the efficient use of materials (Seguí, 2000).

Abril & Asociados S.A.S., a company dedicated to the design of buildings, develops projects at a national level, mainly those located in the department of Antioquia. In the field of structural design, designs are currently being made for houses built in materials such as reinforced concrete, reinforced masonry and steel structures.

To carry out the design processes, a predetermined procedure has been established to facilitate and speed up the calculations and documents submitted to the curatorial offices, clients and builders. In the design of metallic structures, it has been observed the absence of integration of external information, such as catalogs of metallic profiles, with the calculations made in the spreadsheet.

In the context of my internship as a civil engineer, I optimized the existing formats for the design of metallic structures, through the creation of valuation surveys for the structural design group, databases that automate the entry of input parameters, and creating a calculation report that allows following the design process, all of this complying with the design requirements of the NSR-10 and AISC regulations. Likewise, I indirectly broadened my knowledge about the behavior of structures, normative codes, and in general, I strengthened my skills in the structural design of buildings.

Keywords: structural design, metallic structures, steel profiles, optimization, calculations report.

1. Introducción

Las edificaciones cumplen un papel importante en el desarrollo económico y social de las ciudades, dado que brindan espacios habitables para las personas, ya sea para uso residencial, laboral o de esparcimiento. El concreto es uno de los materiales más utilizados en este tipo de construcciones, debido a su alta resistencia a la compresión, durabilidad, resistencia al intemperismo y fácil manejabilidad. Por otro lado, se encuentran también las estructuras metálicas en acero, material que presenta ventajas en su uso, tales como; altas resistencias, elasticidad, ductilidad, poco peso y rapidez constructiva (MacCormac & Csernak, 2012).

Los modelos de edificaciones y los diseños de los elementos realizados a partir de solicitudes obtenidas de estos deben cumplir con los lineamientos mínimos estipulados en los códigos de diseño, como lo es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, donde se estipulan métodos de diseño, cargas sísmicas y de servicio, geometrías permitidas de los elementos que hacen parte del sistema estructural, entre otros requerimientos mínimos.

Para los profesionales de la ingeniería, es fundamental que en los procesos de diseño se tenga un entendimiento del comportamiento de los elementos que hacen parte de la estructura y del sistema que conforman. Para lograrlo, se debe conocer acerca de las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar y se debe realizar un análisis estructural, el cual, con la ayuda de modelos realizados en softwares, se logra análisis más precisos y de esta manera lograr el correcto diseño estructural.

Ahora bien, en el desarrollo de práctica profesional, realizada en la empresa Abril y Asociados S.A.S, dedicada al diseño arquitectónico y estructural de edificaciones, estudios de suelos y consultoría para la construcción, se ha podido identificar qué en el área de diseño estructural se cuenta con formatos de cálculo para la gestión y análisis de estructuras metálicas, estos documentos contienen información insuficiente para desarrollar de manera óptima y ágil el proceso de diseño, ya que implican la exploración de gran cantidad de documentos externos para hacer uso de datos importantes en cuanto a parámetros de base, esto hace que el trabajo se vuelva

dispendioso y demorado, incluso que puedan cometerse errores en la escogencia de los parámetros adecuados.

En consecuencia, se optimizó el proceso de diseño de elementos metálicos y sus conexiones, a través de la automatización de formatos de cálculo e implementación de bases de datos de perfiles y materiales, teniendo en cuenta las actualizaciones de las normativas NSR-10 y (AISC). Así mismo, se desarrollará una memoria de cálculo, con el fin de actualizar la plantilla disponible en Abril & Asociados S.A.S para este tipo de estructuras.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Optimizar el proceso de diseño de estructuras metálicas en la empresa Abril & Asociados S.A.S, implementado bases de datos de parámetros de entrada, que complementen los formatos de diseño actuales, con el propósito de agilizar el desarrollo de los proyectos y mejorar la utilización de materiales, siempre en cumplimiento de los requisitos normativos.

2.2 Objetivos específicos

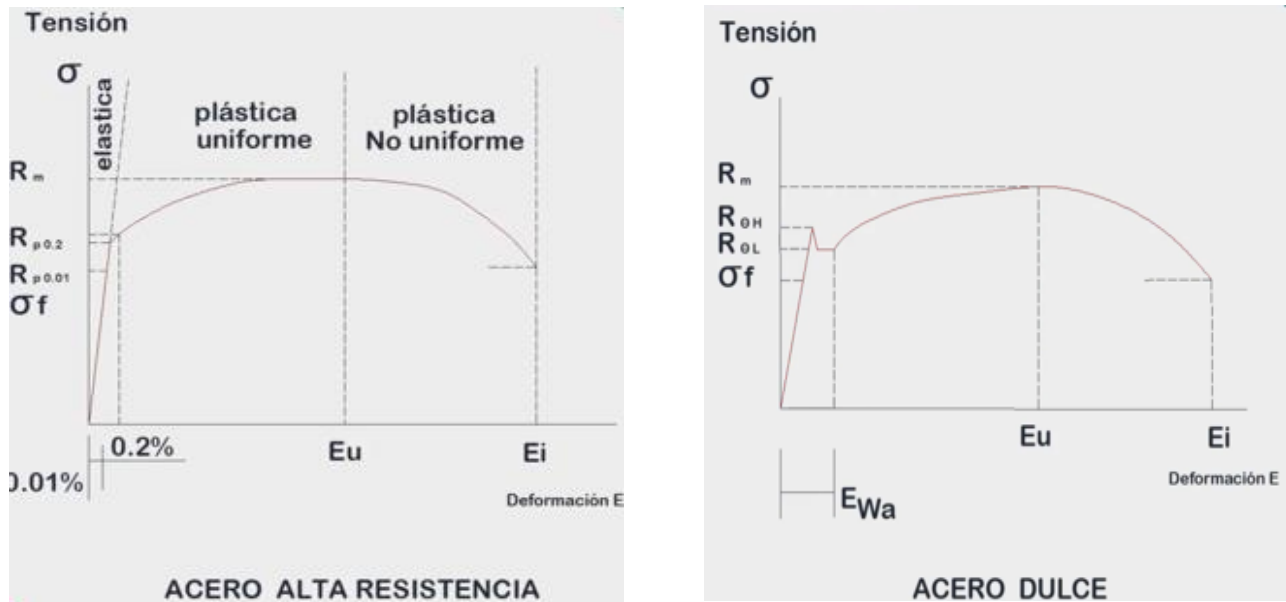
- Determinar la eficiencia del proceso de diseño actual de estructuras metálicas para uso residencial en la empresa Abril & Asociados, teniendo en cuenta la percepción que tiene el equipo de diseño estructural.
- Establecer los parámetros adecuados que debería contener un proceso o una plantilla de memoria de cálculo actualizada para el diseño de estructuras en acero, que contemple las exigencias estipuladas en el reglamento colombiano.
- Formular un proceso de diseño más eficiente, mediante la automatización del ingreso de parámetros iniciales relacionados al tipo de perfil, material del elemento y conexiones.

3. Marco teórico

La NSR-10 presenta requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras en Colombia, cuyo fin primordial es proteger las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo, donde la protección de la propiedad es consecuencia del objetivo ya planteado (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). En el título F de la NSR-10, se encuentran dispuestos los requisitos para el diseño y construcción de estructuras metálicas a nivel nacional, sección que será una guía para el presente proyecto.

El acero es una “aleación de hierro y carbono, a veces con pequeñas cantidades de otros elementos, que, según su tratamiento, se caracteriza por la elasticidad, la dureza o la resistencia” (Real Academia Española, s.f.). Generalmente las cantidades de carbono son menores al 1%, donde a más carbono, mayor resistencia, pero menor ductilidad. Las grandes producciones de acero iniciaron con la aparición del proceso Bessemer, donde una vez se limpiaban las impurezas del hierro fundido, se mezclaba con una aleación de hierro, carbono y manganeso. Gracias a este proceso, para el año 1870 ya se producían grandes cantidades de acero estructural (MacCormac & Csernak, 2012).

Dentro de las principales propiedades del acero, se encuentran: la *elasticidad*, propiedad que en las hipótesis de diseño se acercan mucho a su comportamiento real, lo que permite obtener resultados aún más precisos en la modelación. Por otro lado, la *ductilidad* es la característica que tiene el acero para deformarse en el rango plástico sin perder resistencia. Este comportamiento destaca en los *aceros dulces* o bajos en carbono (MacCormac & Csernak, 2012).

Figura 1. Curvas esfuerzo versus deformación en los tipos de acero

Nota. Fuente (Diseño de estructuras de acero con LRFD, 2000).

Antes de alcanzar el límite de fluencia F_y todas las deformaciones son elásticas; pero una vez se supera tenemos deformaciones plásticas. Hay que notar que una vez se empieza a deformar plásticamente el acero, no solo no pierde resistencia sino por el contrario se sigue endureciendo hasta llegar a una deformación última F_u ; a esta capacidad adicional se le conoce como sobre resistencia y es diferente para cada tipo de acero estructural (Segui, 2000).

Los diferentes tipos aceros estructurales están identificados de acuerdo con la designación de la ASTM, algunos tipos de aceros comunes en el uso de estructuras se muestra en la **Tabla 1**:

Tabla 1.

Tipos de acero comunes

Tipo	Resistencia (Mpa)
ASTM A – 36	250
ASTM A572 Grado 50	350
ASTM A992 Grado 50	350
ASTM A500 Grado C	322

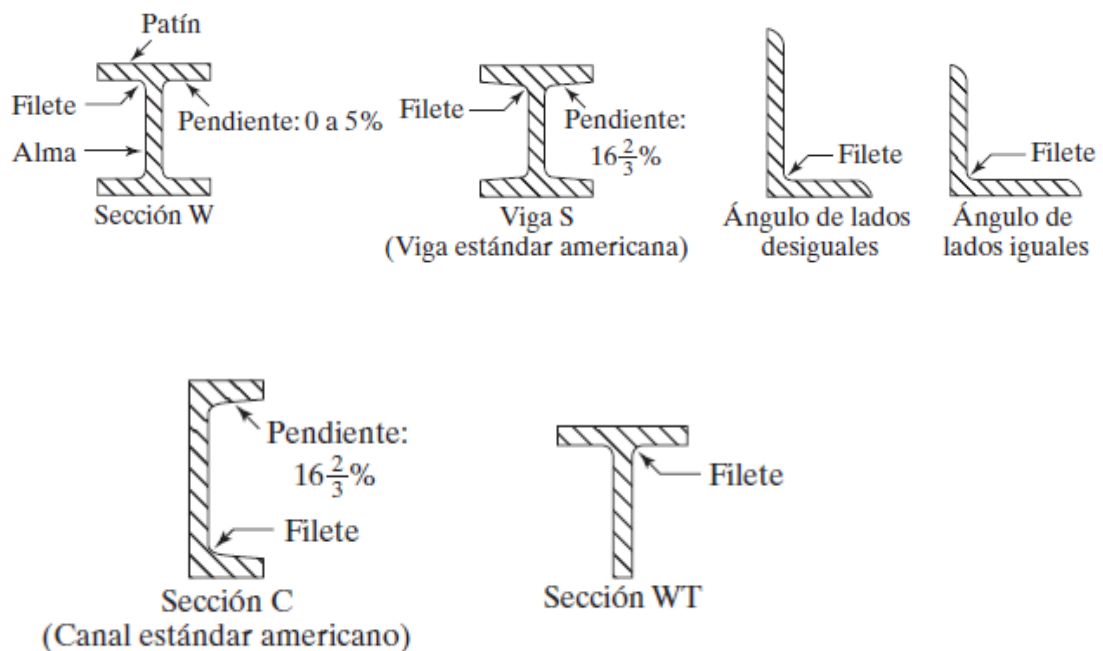
<i>ASTM A500 Grado B</i>	295
--------------------------	-----

Nota. Adaptado de NSR -10 (2010) .

El acero estructural empleado debe cumplir con los requisitos de F.2.1.5 de la NSR-10.

Ahora, los elementos metálicos generalmente se presentan en secciones transversales estándar, con geometrías tipo I, T y C, esto gracias a que estas permiten obtener grandes momentos de inercia en relación con su área. Estas geometrías de secciones a su vez se dividen en perfiles, los cuales varían según las dimensiones y los ángulos de unión de sus partes (MacCormac & Csernak, 2012). Algunos de los perfiles más comunes se muestran a continuación:

Figura 2. *Perfiles de elementos de acero*

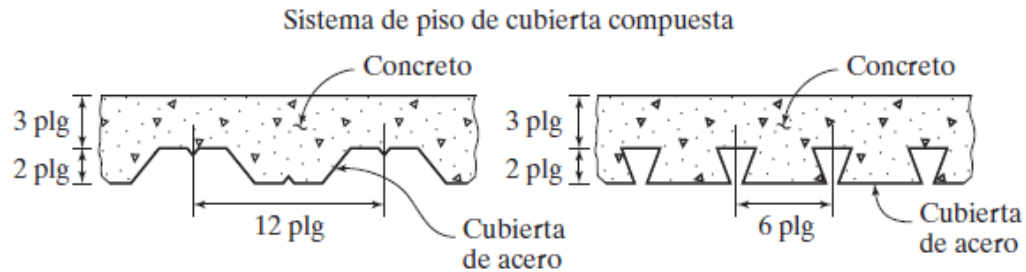


Nota. Fuente (Diseño de estructuras de acero, MacCormac, 2012).

A los perfiles mostrados también se les conoce como perfiles de acero laminados en caliente, a estos se les suman los perfiles tubulares de sección circular y rectangular. Así mismo,

existen perfiles de acero laminados en frío, los cuales tienen secciones delgadas que permiten la manipulación de su forma, un ejemplo de estos perfiles son los usados como cimbra para las losas de entrepisos en edificaciones (Segui, 2000).

Figura 3. Usos de acero laminado en frío



Nota. Fuente (Diseño de estructuras de acero con LRFD, 2000).

Con respecto a las propiedades elásticas del acero, se tienen a los módulos elásticos (S_x) como una medida de esta.

$$S_x = I/c$$

Ecuación 1

Donde,

S_x = Módulo de elasticidad

I = Momento de inercia del elemento

C = Distancia desde el eje de referencia hasta el eje centroidal.

Del módulo elástico se obtiene el momento de fluencia (M_y):

$$M_y = F_y \times S_x$$

Ecuación 2

Sin embargo, dado que los miembros dúctiles no fallan hasta alcanzar una gran plastificación después de alcanzar los esfuerzos de fluencia (MacCormac & Csernak, 2012), se tiene que el momento resistente, momento plástico o nominal es:

$$M_p = F_y \times Z_x$$

Ecuación 3

Donde,

Z_x = Modulo plástico

Ahora bien, la resistencia requerida de un elemento o de su conexión se determinará con el esfuerzo de fluencia esperado,

$$F_{ye} = R_y \times F_y$$

Ecuación 4

Donde,

R_y = es el factor del esfuerzo de fluencia esperado entre el mínimo especificado.

Así mismo, se tiene que el endurecimiento último esperado es:

$$F_{ue} = R_u \times F_y$$

Ecuación 5

Donde,

R_u = factor de resistencia última o endurecimiento.

Otro factor importante en el análisis y diseño de estructuras en acero es el comportamiento de la estructura frente a los efectos de segundo orden, que de acuerdo con la NSR-10 (2010) se define como: “*Efectos que producen las cargas al actuar sobre la estructura en su configuración deformada, tales como los efectos $P - \Delta$ y $P - \delta$* ”

Los efectos $P - \Delta$ (P-delta) son momentos adicionales producto de las cargas aplicadas sobre el desplazamiento previo de los nudos de un marco sujeto a ladeo, este momento es el

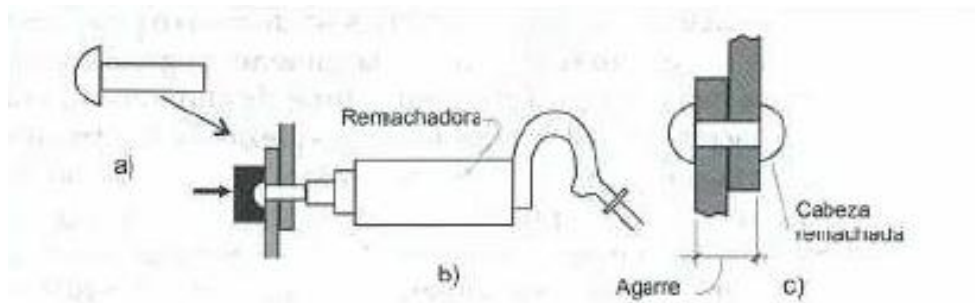
producto de la carga vertical (P) a la cual esta sometido el nudo por el desplazamiento horizontal que presenta (Δ). Así mismo, los efectos $P - \delta$ son momentos adicionales que se producen por las cargas (P) aplicadas a lo largo de un miembro con una geometría deformada o desplazada lateralmente (δ) en el plano de flexión, este es el producto de la carga por dicha excentricidad (MacCormac & Csernak, 2012).

Ahora bien, los elementos que hacen parte de una estructura metálica se unen mediante conexiones que permiten que estos trabajen en conjunto, las cuales presentan rigidez independiente del tipo de conexión, aunque esta puede ser despreciada dependiendo el grado de restricción (MacCormac & Csernak, 2012).

En general las conexiones se dividen en; conexiones simples, las cuales permiten una rotación relativa de los elementos conectados, es decir no transmite momento. Y conexiones a momento, estas a su vez se distinguen en dos tipos; conexiones a momento Totalmente Restringidas (TR), que transfieren momento con una rotación relativa despreciable entre los elementos conectados, y también están las conexiones a momento Parcialmente Restringidas (PR), donde se transmiten los momentos sin despreciar las rotaciones relativas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). Las conexiones se realizan por uno o por varios métodos, como son: mediante pernos, soldaduras, y remache (Valencia, 2010).

Los remaches son elementos de sección transversal circular que tienen una cabeza en cada extremo de los elementos unidos, donde una de ellas fabrica después de crear unir los miembros, esta cabeza se crea a partir grandes presiones en frío o en caliente por medio de un proceso de forja (Valencia, 2010).

Figura 4. Uniones remachadas. a) Remache antes de instalación. b) Forjado de la segunda cabeza. c) Remache instalado

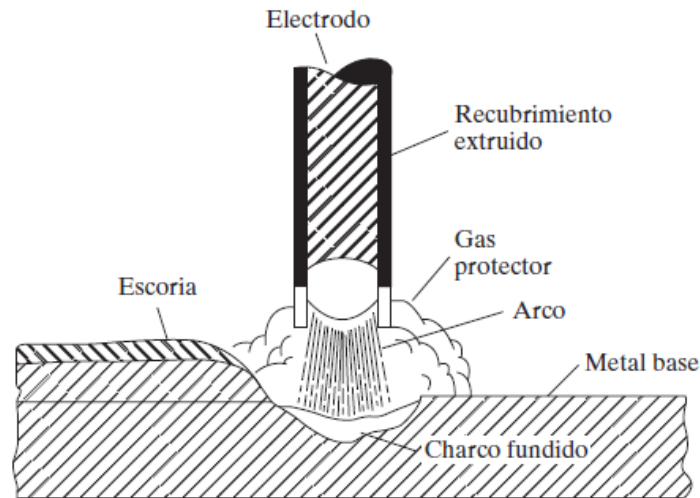


Nota. Fuente (Diseño básico de estructuras de acero de acuerdo con NSR-10, 2010).

Con respecto a las uniones soldadas, estas permiten unir los elementos metálicos mediante calor, ya sea con presión o sin ella. Generalmente las piezas se unen mediante metal fundido, método que consiste en fundir una barra, llamada metal de aporte y depositarla en el punto donde se desea hacer la conexión, esta a su vez se mezclan con el metal base fundido de los elementos a unir y formando una unión rígida al enfriarse (Valencia, 2010).

Dentro de los procedimientos para soldar, el más utilizado en estructuras metálicas es el de arco eléctrico, donde se funde la barra del metal aporte o electrodo, se genera una chispa continua conocida como arco entre el electrodo y los elementos que se requieren unir, y provocando así la fusión de las piezas (MacCormac & Csernak, 2012).

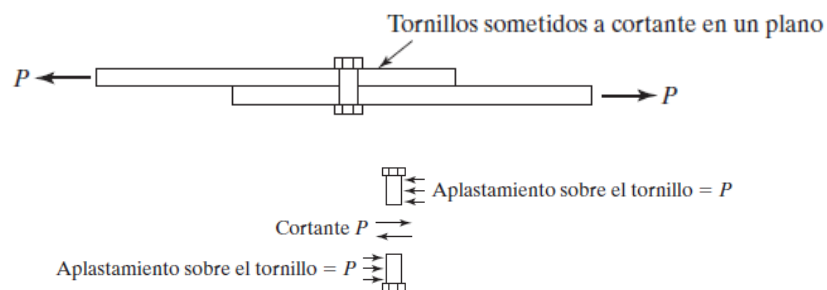
El acero fundido en estado líquido contiene gases en solución que debe protegerse para que no se contamine con oxígeno o nitrógeno, el cual causaría una unión frágil y quebradiza, la protección en cuestión se debe realizar recubriendo el electrodo con compuestos minerales, el cual creará una capa de gas que creará una atmósfera protectora. (MacCormac & Csernak, 2012).

Figura 5 . Elementos del proceso de soldadura

Nota. Fuente (Diseño de estructuras de acero, 2010).

En comparación con las conexiones soldadas, las conexiones pernadas es un proceso mucho más ágil y que requiere mano de obra menos calificada. Estas uniones pueden ser de dos tipos en relación con la transferencia cargas entre las barras; uniones por aplastamiento o uniones por deslizamiento crítico (Valencia, 2010).

A las uniones por aplastamiento también se le conoce como uniones a cortante. No se aprietan con torque especificado. Cuando actúan cargas en dirección del eje del perno no se genera fricción entre el perno y los elementos que une. Ahora, si la carga es transversal al perno se genera una fuerza de aplastamiento y de cortante sobre este (Valencia, 2010).

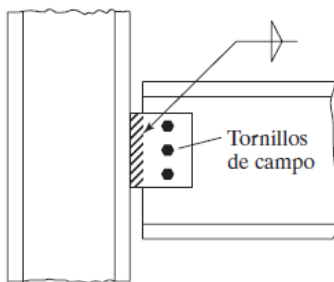
Figura 6 . Unión pernada a cortante

Nota. Fuente (Diseño de estructuras de acero, 2010).

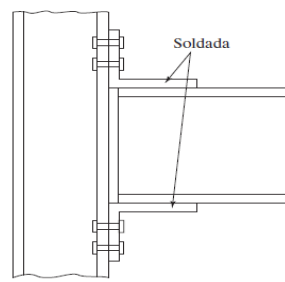
Por otra parte, se tiene que para las uniones pernadas por deslizamiento crítico, se presentan cuando pernos apretados con un toque especificado producen fricción entre la superficie de los elementos unidos y el perno, la fricción facilita la transferencia de carga de entre los elementos.

Como se mencionó anteriormente las conexiones pueden ser también la combinación de varios tipos, en las siguientes ilustraciones se muestran algunas conexiones de vigas a columnas:

Figura 7. Algunos tipos de conexiones entre vigas y columnas. a) Conexión simple soldada y pernada. b) Conexión a momento soldada y pernada



A) Conexión simple



B) Conexión a momento

Nota. Fuente (Diseño de estructuras de acero, 2010).

Ahora bien, para el diseño estructural de edificaciones nuevas o existentes se deben seguir ciertos pasos, de acuerdo con lo establecido en el capítulo A.1.3.4 de la NSR-10, en general los pasos a seguir se muestran a continuación:

1. Predimensionamiento

Se define el sistema estructural a emplear; la NSR-10 reconoce cuatro tipos generales de sistemas estructurales:

- Sistema de muro de cargas
- Sistema combinado
- Sistema de pórticos
- Sistema dual

Para el proyecto se desarrollarán diseños para los elementos estructurales de un sistema de pórticos resistente a momentos. Una vez definido el sistema estructural se procede al predimensionar los elementos que lo conforman.

2. Determinación de parámetros del modelo estructural

2.1. Geometría

En base a un predimensionamiento, se determinarán las dimensiones mínimas que deben cumplir los perfiles de acero de acuerdo con el grado de disipación de energía que debe tener la estructura, los cuales según la NSR-10 pueden ser: DMI (Capacidad de disipación de energía mínima), DMO (Capacidad de disipación de energía moderada) y DES (Capacidad de disipación de energía especial). Para esto se evalúan los índices de compacidad y ductilidad de los elementos metálicos en relación con lo estipulado en el título F de la NSR-10 y la AISC 360 y 341.

2.2. Materiales

Los materiales de los diferentes elementos, platinas y pernos se definen dependiendo de la resistencia que se requiera, esto puede ser parte de un proceso iterativo dentro del modelo que depende del perfil. Así mismo, el material debe cumplir con la calidad estandarizada según la normativa ASTM.

2.3. Cargas de servicio

Las cargas de servicio son aquellas a las que se encuentra sometida la estructura a diario, están se dividen en cargas muertas y vivas, las primeras son cargas a las cuales su magnitud es

constante y se mantienen fijas a un mismo lugar, así como el peso propio de la estructura, afinados de piso y muros divisorios. Por otro lado, las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud, entre ellas se encuentran los seres vivos y mobiliarios (MacCormac & Csernak, 2012). La estimación de estas cargas se realizará de acuerdo con requisitos del título B de NSR-10.

2.4.Cargas ambientales

En edificaciones, las cargas ambientales son causadas por la lluvia, el viento, la nieve, los cambios de temperatura y los sismos. Para estimar los valores este tipo de carga se debe tener en cuenta la ubicación de la estructura a diseñar, en este caso se seguirán los lineamientos e información del título A de la NSR-10

2.5. Efectos P-delta

En combinación a lo anterior y con el fin de garantizar la estabilidad de la estructura como un todo y de cada de uno de sus elementos, para el análisis y diseños estructural de los elementos, se aplica el diseño por estabilidad, el cual contempla los siguientes factores:

- las deformaciones por flexión, cortante y carga axial en los miembros, y cualesquier otras deformaciones que contribuyan a los desplazamientos de la estructura;
- los efectos de segundo orden (incluyendo los efectos $\mathbf{P} - \Delta$ y $\mathbf{P} - \delta$);
- las imperfecciones geométricas;
- la reducción de la rigidez de los elementos producto del comportamiento inelástico;
- incertidumbre en la rigidez y resistencias

El diseño de estructuras metálicas se realiza con el enfoque al método de análisis directo, de acuerdo con los requisitos del numeral F.2.3 de la NSR-10.

3. Combinaciones de carga

Antes de elegir las combinaciones de carga a utilizar es necesario definir el tipo de metodología de diseño, la AISC proporciona dos métodos para el diseño de los elementos de acero estructural y sus conexiones: metodología ASD (“Allowable Stress Design”) la cual corresponde a que los esfuerzos elásticos producidos por las combinaciones de cargas de servicio, no excedan esfuerzos admisibles específicos, y metodología LRFD (“Load and Resistance Factored Design”) la cual corresponde a que las fuerzas producidas por las combinaciones de cargas factorizadas no excedan la resistencia de diseño. En este caso se usará la metodología LRFD.

Una vez definida la metodología, se eligen combinaciones de carga para diseño, que se definen según lo estipulado en el numeral B.2.4 del reglamento NSR-10, y modificadas con el fin de considerar los efectos P-deltas y las imperfecciones iniciales relativas a la localización del punto de intersección de los miembros y a la reducción de la rigidez de los elementos, esto según lo estipulado en el numeral F.2.3.2.2 y F.2.3.2.3. Estas consideraciones fueron incluidas en el análisis a través del uso de cargas laterales ficticias según las condiciones de F.2.3.2.2.2, la cual se define como el 0.3% de las cargas gravitacionales aplicadas a cada nivel de piso. Para estas combinaciones de carga las fuerzas sísmicas son disminuidas en su magnitud dividiéndolas por el coeficiente de reducción de resistencia R . A continuación, se muestran las cargas que generalmente se utilizan en un diseño estructural.

Tabla 2.

Combinaciones de cargas para diseño.

Combinaciones para diseño
U01:1.4D + 1.4 NTDX
U01:1.4D - 1.4 NTDX
U01:1.4D + 1.4 NTDY
U01:1.4D + 1.4 NTDY
U02:1.2D+1.6L+1.6H+0.5G + 1.2 NTDX +1.6NTLX +0.5 NTGX
U02:1.2D+1.6L+1.6H+0.5G - 1.2 NTDX -1.6 NTLX -0.5 NTGX
U02:1.2D+1.6L+1.6H+0.5G + 1.2 NTDY+1.6NTLY +0.5 NTGY
U02:1.2D+1.6L+1.6H+0.5G -1.2 NTDY-1.6NTLY -0.5 NTGY
U03:1.2D+1.6G+0.8W +1.2NTDX + 1.6NTGX

U03:1.2D+1.6G+0.8W -1.2NTDX - 1.6NTGX
U03:1.2D+1.6G+0.8W +1.2NTDY + 1.6NTGY
U03:1.2D+1.6G+0.8W - 1.2NTDY -1.6NTGY
U03-2:1.2D+1.6G+L + 1.2NTDX + 1.6NTGX + NTLX
U03-2:1.2D+1.6G+L - 1.2NTDX - 1.6NTGX - NTLX
U03-2:1.2D+1.6G+L + 1.2NTDY + 1.6NTGY + NTLY
U03-2:1.2D+1.6G+L - 1.2NTDY - 1.6NTGY - NTLY
U04:1.2D+1.6W+L+0.5G + 1.2 NTDX + 0.5 NTGX
U04:1.2D+1.6W+L+0.5G - 1.2 NTDX - 0.5 NTGX
U04:1.2D+1.6W+L+0.5G +1.2 NTDY + 0.5 NTGY
U04:1.2D+1.6W+L+0.5G -1.2 NTDY - 0.5 NTGY
U07:0.9D+1.6W+1.6H +0.9 NTDX
U07:0.9D+1.6W+1.6H -0.9 NTDX
U07:0.9D+1.6W+1.6H +0.9 NTDY
U07:0.9D+1.6W+1.6H -0.9 NTDY
U05:1.2D+L+Ex
U06:1.2D+L+Ey
U08:0.9D+Ex+1.6H
U09:0.9D+Ey+1.6H

Nota. Fuente (elaboración propia).

D: Carga Muerta.

L: Carga Viva.

H: Carga de empuje.

Ex: Carga Sísmica en dirección del eje global X.

Ey: Carga Sísmica en dirección del eje global Y.

G: Carga de granizo.

W: Carga de viento.

NTDX: Carga ficticia lateral del 0.3% de carga muerta en dirección X.

NTDY: Carga ficticia lateral del 0.3% de carga muerta en dirección Y.

NTLX: Carga ficticia lateral del 0.3% de carga viva en dirección X.

NTLY: Carga ficticia lateral del 0.3% de carga viva en dirección Y.

NTGX: Carga ficticia lateral del 0.3% de carga de granizo en dirección X.

NTGY: Carga ficticia lateral del 0.3% de carga de granizo en dirección Y.

Nota: En las combinaciones de carga para servicio y para diseño $E_x=1.0E_x+0.3E_y$, $E_y=1.0E_y+0.3E_x$, para cumplir los efectos de ortogonalidad.

De acuerdo con el numeral F.2.3.2.2.2 (4) de la NSR-10, “En estructuras donde la relación entre la máxima deriva del análisis de segundo orden y la máxima deriva del análisis de primer orden (ambas obtenidas usando cargas mayoradas, con las rigideces ajustadas según se especifica en el numeral F.2.3.2.3) es igual o menor que 1.7 para todos los pisos, se permite aplicar las cargas ficticias, N_i , para las combinaciones de cargas gravitacionales únicamente, y no aplicarlas en combinación con otras cargas laterales.”

4. Desplazamientos horizontales y verificación de derivas

Se analizan los desplazamientos horizontales, efectos torsionales y se calculan los desplazamientos relativos entre niveles contiguos, llamados derivas, las cuales tienen un límite según establecido en el capítulo A.6 de la NSR-10.

5. Cálculo del coeficiente de capacidad de disipación de energía en la estructura (R)

De acuerdo con la NSR-10, R es función de:

- El sistema de resistencia sísmica.
- Del grado de irregularidad de la edificación.
- Del grado de redundancia o de ausencia de ella en el sistema estructural de resistencia sísmica.
- De los requisitos de diseño y detallado de cada material, para el grado de capacidad de disipación de energía correspondiente (DMI, DMO, o DES).

6. Diseño de los elementos estructurales

Para el diseño estructural de los elementos tipo, viga y columna, se siguen los lineamientos del Título F del Reglamento NSR-10, de la AISC 360-22, AISC 341-22 y la AISC 358-16. Para ello, se realiza el diseño a partir de las solicitaciones del modelo del software de análisis. En el procedimiento de diseño se realizan verificaciones a cortante, torsión y momento para vigas, nervios, flexo compresión para columnas y de carga axial para riostra diagonales. Así mismo, para el diseño de conexiones precalificadas se realizaron cálculos de acuerdo con el AISC 358-16.

Del mismo modo, se realiza la verificación de y relación columna fuerte-viga débil para las columnas dependiendo de la capacidad de disipación del sistema estructural. Por otra parte, las vigas auxiliares que reciben cargas como escaleras se diseñan para atender combinaciones sísmicas entendiendo que sostienen la ruta de evacuación ante un evento sísmico, sin embargo, no hacen parte del sistema de resistencia sísmica.

4. Metodología

Las metodologías de investigación permiten la recolección de datos de forma eficiente, los enfoques cualitativo, cuantitativo y mixto son ampliamente utilizados con tal fin, cada uno de ellos ofrece perspectivas y herramientas diferentes para recopilar información. Con respecto a la metodología cualitativa, se basa en la recolección de datos no numéricos como entrevistas, observaciones sobre el análisis de cierta situación y revisión de documentos. De acuerdo con Hernández et. al (2010), la investigación cualitativa permite afinar hipótesis en el proceso de interpretación de datos. Por otro lado, el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, se utiliza con el fin de acotar una idea, cuantificar variables y establecer relaciones a través de un análisis estadístico (Hurtado et. al, 2023). Por último, el método mixto combina elementos de los enfoques cualitativo y cuantitativo, con lo que se puede obtener una recopilación de los datos más completa.

Para la recolección y el análisis de la información de este proyecto se aplicó una metodología mixta, donde se diseñaron instrumentos cuantitativos, aplicados con el fin de conocer la existencia de formatos y calidad en el proceso de diseño a través de preguntas cerradas y análisis estadístico de las mismas. Adicionalmente, se aplicará una metodología cualitativa para identificar qué aspectos y parámetros se pueden mejorar y adicionar en el diseño de elementos en acero, a través de técnicas de recolección de datos como preguntas abiertas y un rastreo documental.

Para el caso del objetivo 1, se diseñó una encuesta aplicada a todos los miembros del equipo de diseño de la empresa Abril y Asociados S.A.S para determinar la eficiencia del proceso de diseño y las plantillas disponibles, se realizó un sondeo al grupo de diseño estructural, las actividades para llevar a cabo este objetivo son:

- Actividad 1: diseño de encuesta.
- Actividad 2: implementación de la encuesta.
- Actividad 3: análisis de la encuesta.
- Actividad 4: conclusiones de la encuesta.

Para el caso del objetivo 2, con el fin de establecer los parámetros base necesarios para el adecuado desarrollo de hojas y memorias de cálculo en el diseño de estructuras en acero, se realizó una consulta bibliográfica tanto teórica como normativa sobre el diseño, así como información sobre los catálogos de perfiles de acero. Información que permitió actualizar los formatos actuales que lo requieran. En particular, para la creación de la plantilla de memoria de cálculo se seguirá el orden dispuesto en el numeral A.1.3.4 de la NSR-10, con el objetivo de que el documento mencionado para estructuras metálicas se ajuste a dichos requisitos. Se siguieron las siguientes actividades:

- Actividad 5: recopilar información y formatos de cálculo disponibles en la empresa entorno al diseño de estructuras metálicas.
- Actividad 6: analizar los cálculos de diseños de estructuras metálicas realizados en la literatura.
- Actividad 7: definir las variables de entrada más importantes en proceso de diseño de estructuras de acero.
- Actividad 8: se diseñará una plantilla base y se pondrá a disposición de los colaboradores de la empresa, como prueba piloto.

Para el caso del objetivo 3, se realizó la modelación de una estructura metálica de varios niveles en el software Etabs, donde se aplicó la información consultada con la ayuda de formatos de cálculo complementarios, donde se automatizó el ingreso de parámetros de entrada, se implementó el uso de bases de datos como la disponible en los catálogos de perfilería, asociándolas a los requisitos de las actualizaciones de la NSR-10 y los códigos normativos del AISC, tanto para los elementos columna - viga, como para conexiones y riostras.

- Actividad 9: predimensionamiento de los elementos metálicos siguiendo los requisitos estipulados en el título F de la NSR-10 y la AISC.

- Actividad 10: modelación de la estructura en Etabs.
- Actividad 11: Diseños de los elementos de la estructura (sísmicos y no sísmicos).
- Actividad 12: por último, se realizará plantilla de memoria de cálculo de acuerdo con lo establecido en el capítulo A.1.3.4 de la NSR-10.

5. Análisis de resultados

En función de optimizar el proceso de diseño de estructuras metálicas en la empresa Abril & Asociados y con el fin de complementar los formatos de diseño actuales, se inició por determinar la eficiencia del proceso al equipo de diseño estructural.

5.1. Elaboración de la encuesta

Se realizó un sondeo de 15 preguntas abiertas a 4 personas del equipo de diseño estructural de la empresa Abril y Asociados S.A.S, donde el orden de las preguntas se realizó con el fin de identificar la existencia de protocolos de verificación en la modelación y formatos de cálculos, de conocer la calidad de las hojas de cálculo de chequeo de elementos estructurales en acero y aspectos por mejorar en el proceso de diseño de estructuras metálicas; las preguntas realizadas se muestran a continuación:

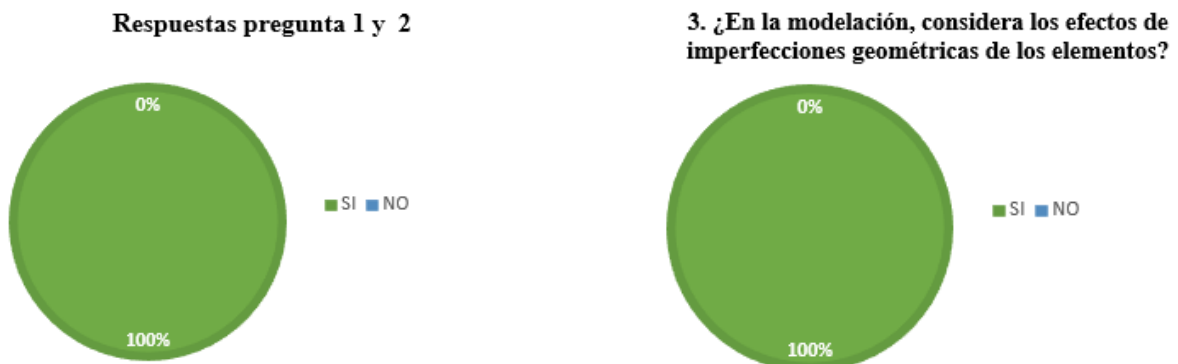
1. ¿Existen protocolos o estándares establecidos para verificar y validar la modelación de estructuras de acero en ETABS en cada paso?
 - a) SI
 - b) NO
2. ¿Existen formatos para el diseño de los elementos estructurales en acero?
 - a) SI
 - b) NO
3. ¿En la modelación, considera los efectos de imperfecciones geométricas de los elementos?
 - a) SI
 - b) NO
4. ¿En la modelación, considera un factor de rigidez en los nodos o unión entre elementos vigas, columnas y/o riostras?
 - a) SI
 - b) NO

-
5. ¿En la modelación, considera la zona panel en las uniones a momento entre vigas y columnas?
 - a) SI
 - b) NO
 6. ¿En el diseño realizado en los formatos se verifican todos los requerimientos normativos del título F de la NSR-10?
 - a) SI
 - b) NO
 7. ¿Se recibe retro alimentación por parte de clientes o constructores con respecto al diseño de estructuras metálicas?
 - a) SI
 - b) NO
 8. ¿Se recibe observaciones por parte de las curadores o revisores con respecto al diseño de estructuras metálicas?
 - a) SI
 - b) NO
 9. ¿Se realiza el diseño de elementos metálicos a través del programa ETABS?
 - a) SI
 - b) NO
 10. ¿Por qué no se realiza el diseño de elementos con ETABS?
 - a) No aplica
 - b) (Respuesta abierta)
 11. ¿Considera que los protocolos de la etapa de modelación necesitan ser complementados?
 - a) SI
 - b) NO
 12. ¿Considera que los formatos de diseño de los elementos estructurales en acero necesitan ser complementados?
 - a) SI

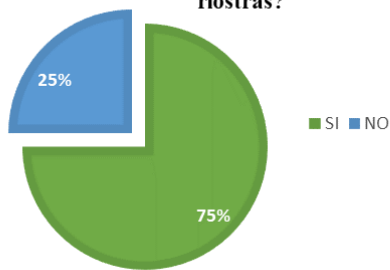
- b) NO
13. ¿Qué aspectos considera que son fundamentales hacer seguimiento en la etapa de modelación?
- a) No aplica
b) (Respuesta abierta)
14. ¿Qué cree que se puede mejorar o incluir en los formatos de diseño de elementos tipo viga, columna, riostras y conexiones de estas?
- c) No aplica
d) (Respuesta abierta)
15. ¿Qué tipo de retroalimentación se recibe por parte de los clientes, constructores o revisores cuando se realizan diseños estructurales en acero?
- a) No aplica
b) (Respuesta abierta)

Para las preguntas cerradas se obtuvieron las siguientes respuestas:

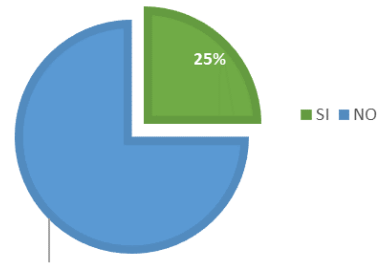
Figura 8 . Resultados de sondeo de preguntas cerradas



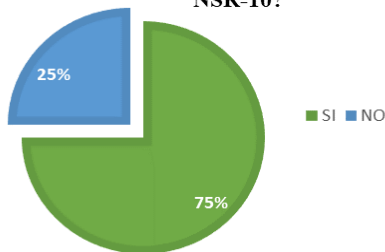
4. ¿En la modelación, considera un factor de rigidez en los nodos o unión entre elementos vigas, columnas y/o riostras?



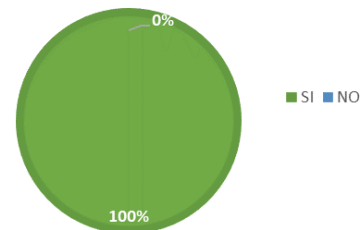
5. ¿En la modelación, considera la zona panel en las uniones a momento entre vigas y columnas?



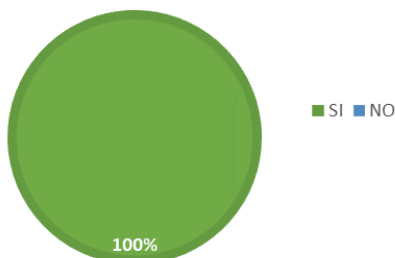
6. ¿En el diseño realizado en los formatos se verifican todos los requerimientos normativos del título F de la NSR-10?



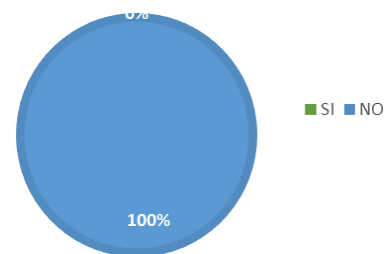
7. ¿Se recibe retro alimentación por parte de clientes o constructores con respecto al diseño de estructuras metálicas?



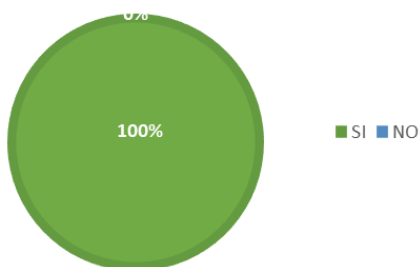
8. ¿Se recibe observaciones por parte de las curadores o revisores con respecto al diseño de estructuras metálicas?



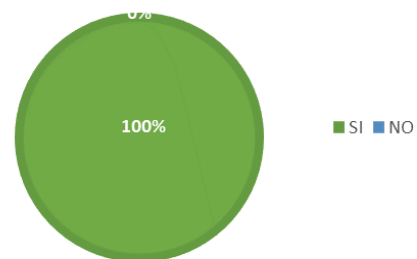
9. ¿Se realiza el diseño de elementos metálicos a través del programa ETABS?



11. ¿Considera que los protocolos de la etapa de modelación necesitan ser complementados?



12. ¿Considera que los formatos de diseño de los elementos estructurales en acero necesitan ser complementados?



Nota. Fuente (elaboración propia).

En resumen, para las preguntas abiertas se obtuvieron las siguientes respuestas:

Tabla 3.

Respuesta a preguntas abiertas realizada al equipo de diseño estructural.

Pregunta	Respuesta
10	Si se realiza, pero dado que ETABS no contiene la NSR-10, solo se utiliza para comparar con los formatos de calculo que los elementos cumplan con la norma más perezca, que es la AISC.
13	Para la etapa de modelación se recomienda verificar la correcta aplicación de los efectos P-deltas y cargas ficticias estipuladas en la NSR-10.
14	En el diseño se pueden mejorar aspectos como: <ol style="list-style-type: none"> 1. Orden del proceso de diseño 2. Automatización de parámetros de entrada 3. Incluir chequeos que están en el AISC y que no están en la NSR-10
15	La mayoría de las observaciones en cuanto al diseño estructural de estructuras en acero están relacionadas a las conexiones entre vigas y columnas.

Nota. Fuente (elaboración propia).

5.2. Análisis de la encuesta

De lo mostrado anteriormente se puede observar que las preguntas cerradas buscan determinar la existencia y calidad de los formatos, mientras los sondeos con respuesta abierta buscan diagnosticar la calidad y en especial obtener recomendaciones del grupo de diseño estructural con respecto al proceso de diseño en general.

Con el propósito de complementar la información de la encuesta se consultó información acerca del proceso de diseño de estructuras metálicas, así como verificación de los cálculos realizados en los formatos de cálculo en relación con los requerimientos normativos.

5.3. Información consultada en catálogos, formatos de cálculo existentes y documentos teóricos y normativos

Se estudiaron los diversos formatos de diseño de vigas, columnas, riostras, conexiones y placas base de elementos estructurales en acero, al compararlos con los requisitos del título F de la NSR-10, se encontró que se cumplía con la norma y se realizaban verificaciones de capacidad a momento, carga axial y cortante de acuerdo con lo estipulado en esta. Sin embargo, se encontró que los parámetros de entrada en relación con la geometría y propiedades mecánicas del perfil no contaban con una automatización en su entrada, además de que no existía una conexión en la presentación del cálculo de las platillas y las tablas utilizadas en la memoria de cálculo.

Por lo anterior, se construyó una base de datos (ANEXO 1) tomando como base las referencias ofrecidas en diversos catálogos de perfiles IPE, W, HEA y tubulares estructurales rectangulares, cuadrados y circulares. La información recopilada contiene las características geométricas del perfil y sus propiedades mecánicas como la inercia, modulo elásticos y plástico tanto para el eje fuerte y débil de la referencia en particular, parámetros fundamentales en el diseño de elementos de estructurales en acero.

Con la información recolectada de los catálogos se procedió a automatizar la entrada de datos la geométricos y propiedades mecánicas de las secciones, en las hojas de diseño de vigas, columnas, riostras, conexiones y placas base de estructuras metálicas.

5.4. Formatos de cálculo para el diseño de los diferentes componentes de una estructura metálica

Todas las hojas de cálculo de diseño tienen una sección al inicio, la cual permite incluir datos generales del proyecto para el cual se está realizando el diseño estructural, tales como:

Figura 9. Sección adicionada a las hojas de diseño existentes para incluir datos del proyecto a diseñar

LOGO	Diseño de (Vigas/Columnas/Conexión/Placa base)	
	OBRA:	
	LOCALIZACIÓN:	
	CLIENTE:	
	FECHA:	
PARA X EJE B		

Nota. Fuente (elaboración propia).

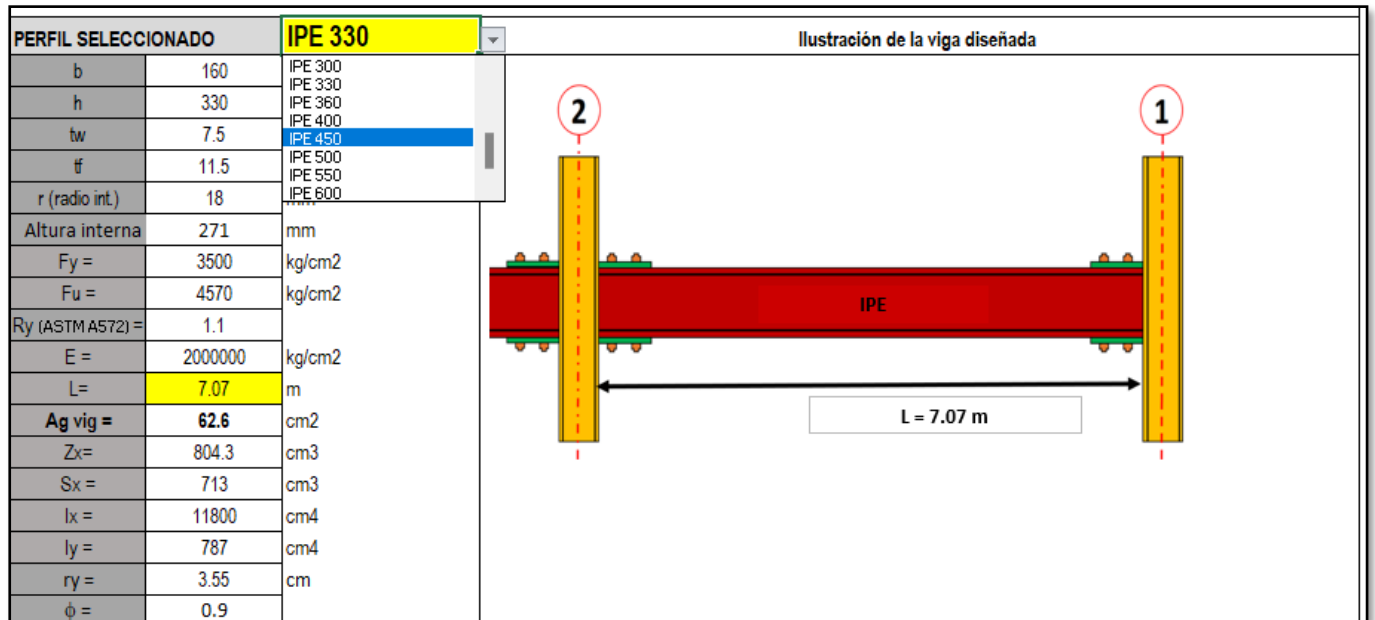
Una vez se ingresan los datos del proyecto para el cual se diseña se procede a verificar que los elementos estructurales cumplan con las solicitaciones de carga, como se muestra a continuación:

5.4.1. Formato de diseño de vigas

El diseño de vigas se consideró para miembros de sección I de perfil tipo IPE, W y HEA, así como para perfiles tubulares estructurales (PTE) cuadrados y rectangulares. Para efectos prácticos, en este documento se mostrará el procedimiento de diseño de una sección I para un perfil IPE.

El diseño de las vigas inicia con el ingreso de parámetros geométricos y mecánicos de las diferentes referencias de un perfil, el cual se encuentra conectado a la base de datos de perfiles como se muestra en la **Figura 10**, donde al seleccionar un perfil, la hoja de cálculo de forma automática ingresa los datos relacionados este en los campos correspondientes.

Figura 10 . Automatización de los parámetros geométricos y propiedades mecánicas del perfil seleccionado para diseño



Nota. Fuente (elaboración propia).

Luego, como primer paso de diseño se verifica la clasificación por pandeo local del perfil seleccionado, este valor dependerá de su geometría (h,b, tw y tf), resistencia a la fluencia (Fy) y módulo de elasticidad (E). Para miembros sometidos principalmente a flexión, esta verificación se realiza de acuerdo con la tabla F.2.2.4-1b de la NSR-10, donde se verifica si la relación altura sobre espesor del alma y ancho de aleta sobre espesor de aleta esta entre los límites de clasificación estipulados por el reglamento, así:

Figura 11 . Clasificación por pandeo local para miembros sometidos a flexión

Perfil	Elemento	Relación	λ_p (compacto/ no)	λ_r (no compacto/ esbelto)	CONDICIÓN
IPE 330	No atiesado (Aletas)	b/tr	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$	Alas
		6.96	9.08	23.90	Compactas
IPE 330	Atiesado (Alma)	h/tw	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	Alma
		36.13	89.88	136.26	Compacta

Nota. Adoptado de NSR-10 (2010).

Ahora se comprueba si el elemento es dúctil o no dúctil de acuerdo con los valores límites de la relación ancho-espesor de este, según el comentario (d) de la tabla F.3.4-1 de la NSR-10:

Figura 12. Verificación de la relación ancho-espesor para vigas en acero

Relación	Límite ductilidad moderada/ no	CONDICIÓN
h/t_w	$2.45\sqrt{E/F_y}$	Dúctil
36.13	58.57	

Nota. Adoptado de NSR-10 (2010).

Ahora se calcula la longitud de arriostramiento lateral de la viga, la cual es la distancia entre los elementos que conectan lateralmente a la viga, donde el límite máximo permitido entre arriostramientos lateral dependerá de si el perfil es dúctil o no.

Para perfiles dúctiles:

$$L_b \max = 0.086 \frac{r_y E}{F_y}$$

Ecuación 6

Para perfiles no dúctiles o de ductilidad moderada:

$$L_b \max = 0.17 \frac{r_y E}{F_y}$$

Ecuación 7

Donde;

r_y : radio de giro con respecto al eje Y.

E: módulo de elasticidad.

F_y : resistencia a la fluencia

Figura 13 . Chequeo de arriostramiento máximo permitido por NSR-10

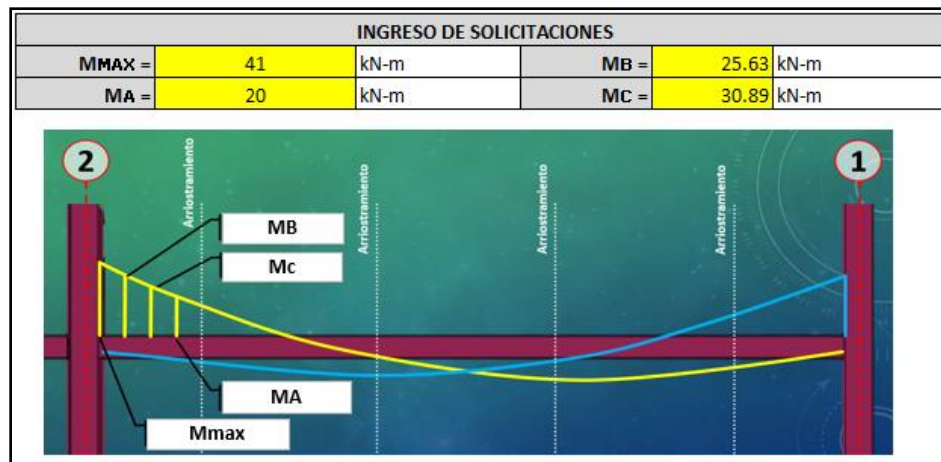
Condición	Lb (m)	Arriostramiento máximo (m)		Cumple
Dúctil	1.30	$0.086 * r_y * (E/F_y)$	1.74	

Nota. Adoptado de NSR-10 (2010).

Luego, se procede con el diseño a flexión, para este caso de secciones en I, se realiza con base al numeral F.2.6.2 (Para PTE se realiza con F.2.6.7) de la NSR-10, así:

1. El ingreso de solicitaciones de momento.

Figura 14. Ingreso de solicitaciones de momento



Nota. Fuente (elaboración propia).

2. Cálculo del coeficiente de modificación para pandeo lateral- torsional (C_b):

$$C_b = \frac{12.5M_{MAX}}{2.5M_{MAX} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Ecuación 8

3. Se verifica si aplica el pandeo lateral torsional, de ser así se realiza el chequeo para perfiles con aletas y almas compactas o con aletas y alma no compacta:

Figura 15. Chequeo de pandeo torsional en vigas

Chequeo de pandeo lateral torsional - PARA ALETAS Y ALMAS COMPACTAS						
Lp	rts	J	ho	c	Lr	
$1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{ht_w}{6b_f t_f}\right)}}$	$J = \frac{2b_f t_f^3 + ht_w^3}{3}$	318.50 mm	1.0	4.30 m	
1.49 m	41.75 mm	200336.04 mm ⁴	$L_r = 1.95r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$			
Fcr		Caso (b)			Caso (c)	
$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b/r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$		$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.70F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right) \right] \leq M_p$			$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$	
3012.10 Mpa						
		Caso		Mn [kN·m]		
		No aplica		No aplica		

Chequeo por pandeo local de la aleta a compresión - PARA ALETAS NO COMPACTAS Y ALMA COMPACTA						
λ	λ_{pf}	λ_{rf}	kc	Mn [kN·m]	ϕM_n [kN·m]	Verificacion
6.96	9.08	23.90	0.60	No aplica	No aplica	Cumple

Nota. Adaptado del numeral F.2.6.2.2 de la NSR-10 (2010).

- La resistencia nominal a flexión de la viga M_n , será el menor entre los valores M_n calculado por pandeo lateral torsional (atésados y no atésados) y el momento plástico (M_p), este caso la longitud de arriostamiento lateral de la viga (L_b) es menor que el límite de chequeo de pandeo lateral torsional (L_p), por lo que el perfil puede desarrollar su capacidad hasta el momento plástico.

Una vez realizado el diseño a flexión se procede a realizar el diseño por capacidad, donde se busca calcular el momento máximo que se puede producir en la cara de la columna (M_f), este valor será necesario para el diseño a cortante y de conexiones de acuerdo con el capítulo 2.4 de la AISC 358-16.

$$M_f = M_{pr} + V_{us} S_h$$

Ecuación 9

Donde:

- $M_{pr} = C_{pr}R_yF_yZ_x$
- $C_{pr} = \frac{F_y+F_u}{2F_y} \leq 1.20$
- $V_{us} = \frac{2M_{pr}}{L_h} + \frac{W_uL_h}{2}$
- Sh = longitud desde la cara de la columna hasta la cara hasta el último perno de la conexión.
- Wu = Carga distribuida sobre la viga.
- Lh= Longitud libre de la viga.

Por último, se realiza el diseño a cortante de acuerdo con los requisitos de F.2.7.2:

Figura 16. *Diseño a cortante*

Diseño a cortante													
d [mm]	Aw [mm ²]	Verificación											
		Relación	Límite A)	kv	1.10Raiz(kvE/fy)	1.37Raiz(kvE/fy)	Cv						
271	2032.50	h/tw	2.24√E/F _y	5	58.80	73.23	1.00						
		36.13	53.55										
Vn [kN]		φv	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Rigidizadores</th> </tr> <tr> <th>λr</th> <th>Verificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>58.81</td> <td>No requiere</td> </tr> </tbody> </table>					Rigidizadores		λr	Verificación	58.81	No requiere
Rigidizadores													
λr	Verificación												
58.81	No requiere												
V _n = 0.6F _y A _w C _v		0.9											
426.83													
φVn [kN]	Verificación												
384.14	Cumple												

Nota. Adaptado de: numeral F.2.7.2 de la NSR-10 (2010).

Una vez verificado que la viga resiste las solicitaciones máximas de diseño, se procede a realizar este mismo chequeo para columnas.

5.4.2. Formato de diseño de columnas

El diseño de columnas se consideró para miembros de sección I de perfil tipo IPE, W y HEA, así como para perfiles tubulares estructurales (PTE) cuadrados y rectangulares. Para efectos prácticos, en este documento se mostrará el procedimiento de diseño de una sección I para un perfil W.

El diseño de las columnas inicia con el ingreso de parámetros geométricos y propiedades mecánicas de las diferentes referencias de un perfil, el cual se encuentra conectado a la base de datos de perfiles como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. REF_Ref185280256 \h * MERGEFORMAT ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde al seleccionar un perfil, la hoja de cálculo de forma automática ingresa los datos relacionados este en los campos correspondientes.

Figura 17. Automatización de los parámetros geométricos y propiedades mecánicas del perfil seleccionado para diseño de columnas

Perfil		W 6 X 20	
GEOMETRIA Y PROPIED.		ILUSTRACIÓN DE LA COLUMNA DISEÑADA	
b =	153		
h =	157		
tw =	6.6	mm	
tf =	9.3	mm	
r (radio int.) =	6	mm	
Fy =	3500	kg/cm2	
E =	20000000	kg/cm2	
L =	3.5	m	
Ag col =	37.90	cm2	
Ix =	1714	cm4	
Iy =	556	cm4	
Kox =	1.0		
Koy =	1.0		
Koz =	1.0		
φ =	0.9		
Ry =	1.1		
rx =	6.7	cm	
ry =	3.83	cm	
Zx =	246	cm3	
Sx =	218		
G =	772000	kg/cm2	

Nota. Fuente (elaboración propia).

El diseño de columnas se dividió en 5 pasos:

Paso 1: el primer paso es ingresar las solicitaciones máximas, de carga axial, momento y cortante obtenidas del software de análisis, el ingreso se puede realizar directamente dado que las

combinaciones de donde se obtienen estas, incluye los efectos P-delta globales y locales, así como las cargas ficticias desde la modelación.

Paso 2: el segundo paso consiste en clasificar la sección por pandeo local considerando el miembro tanto a compresión como a flexión, este se realiza teniendo en cuenta el numeral F.2.2.4 de la NSR-10, donde se verifica si la relación altura sobre espesor del alma y ancho de aleta sobre espesor de aleta esta entre los límites de clasificación estipulados por el reglamento, así como se muestra en la siguiente ilustración:

Figura 18. Clasificación por pandeo local para columnas solicitadas por compresión y flexión

2. Clasificación por pandeo local					
NSR 10 - F.2.2.4-1a					
Clasificación por compresión					
Perfil	Elemento	Relación	λr (No esbelto/ Esbelto)		CONDICIÓN
W 6 X 20	No atiesado (Aletas)	b/tr	0.56√E/F _Y		Alas NO esbeltas
		8.226	13.39		
W 6 X 20	Atiesado (Alma)	h/tw	1.49√E/F _Y		Alma NO esbelta
		19.15	35.62		
NSR 10 - F.2.2.4-1b					
Clasificación por flexión					
Perfil	Elemento	Relación	λp (Compacto/No)	λr (No compacto/)	CONDICIÓN
W 6 X 20	No atiesado (Aletas)	b/tr	0.38√E/F _Y	1.0√E/F _Y	Alas Compactas
		8.226	9.08	23.90	
W 6 X 20	Atiesado (Alma)	h/tw	3.76√E/F _Y	5.70√E/F _Y	Alma Compacta
		19.15	89.88	136.26	

Nota. Adaptado de Tabla F.2.2.4 de la NSR-10 (2010).

Así mismo, se realiza la clasificación por ductilidad para los elementos atiesados (alma) y no atiesados (aletas) del miembro a compresión. Este análisis se realiza de acuerdo con el numeral F.3.4.1 de la NSR-10, a diferencia del diseño de vigas, la carga a compresión en columnas no es despreciable por lo tanto se debe calcular la relación entre la resistencia requerida y la resistencia de diseño Ca.

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_Y}$$

Ecuación 10

Donde:

P_u = solicitación máxima de carga axial

P_y = resistencia de diseño de la columna

Este valor define las ecuaciones límites para la clasificación del elemento, entre dúctil y no dúctil:

Figura 19. Verificación de la relación ancho-espesor para elementos a compresión

Clasificación por ductilidad				
Relación	Límite de ductilidad alta (λ_{da})	Límites de ductilidad moderada (λ_{dm})	CONDICIÓN	ALETA (NO ATIESADO)
8.23	$0.55\sqrt{E/F_Y}$	$0.64\sqrt{E/F_Y}$	Ductilidad Alta	ALETA (NO ATIESADO)
	13.15	15.30		
19.15	$2.45\sqrt{E/F_Y}(1 - 0.93C_a)$	$3.76\sqrt{E/F_Y}(1 - 2.75 * C_a)$	Ductilidad Alta	ALMA (ATIESADO)
	50.27	52.24		
	$0.75\sqrt{E/F_Y}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{E/F_Y}$	$1.12\sqrt{E/F_Y}(2.33 - C_a) \geq 1.49\sqrt{E/F_Y}$		
	49.80	35.62		

Nota. Adaptado de Tabla F.3.4-1 de la NSR-10 (2010).

Paso 3: se calcula la longitud efectiva de acuerdo con lo estipulado el numeral F.2.5.2 de la NSR-10, donde se verifica que dicha relación sea menor o igual a 200.

Figura 20. Calculo de longitud efectiva en columnas

Relación		
$\frac{KL_C}{r_x} \leq 200$	$\frac{KL_C}{r_y} \leq 200$	Verificación
52.239	91.38	Cumple

Nota. Adaptado de la NSR-10 (2010).

Paso 4: en este paso se realiza el diseño a flexo-compresión de la columna.

Inicialmente se realiza el diseño a compresión de acuerdo con el numeral F.2.5 de la NSR-10, este consiste en calcular la resistencia a compresión teniendo en cuenta el pandeo por flexión del miembro sin elementos esbeltos, siguiendo lo estipulado en el numeral F.2.5.3 – NSR-10, también se calcula la resistencia a la compresión teniendo en cuenta el pandeo por tracción y flexo-torsión del miembro sin elementos esbeltos, según F.2.5.4 – NSR-10. En caso de que el miembro tenga elementos esbeltos, dentro del formato de diseño se calcula la resistencia a compresión para perfiles con esta clasificación según los requisitos de F.2.5.7 - NSR-10. La resistencia a compresión será la mínima calculada.

Figura 21. Diseño a compresión de columnas

Chequeo de pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos - NSR 10-F.2.5.3						
Fe [kg/cm2]	Limite 1 [Adim]	Limite 2 [kg/cm2]	Fcr[kN/m2]	φ Pn [kN]		
$\pi^2 E / (KL/r)^2$	$4.71 \sqrt{E/F_y}$	$0.44 F_y$	$[0.658^{(F_y/Fe)}] F_y$	$\phi F_{cr} * A_g$		
2363.69	112.591	1540	188325.47	642.38		
Chequeo de pandeo por tracción y flexo-torsión de miembros sin elementos esbeltos - NSR-10-F.2.5.4						
Cw [cm^6]	J [cm^4]	Fe [kg/cm2]	Limite 1 [Adim]	Limite 2 [kg/cm2]	Fcr[kN/m2]	φ Pn [kN]
22279.36	9.71	3805.33	112.591	1540	$[0.658^{(F_y/Fe)}] F_y$	$\phi F_{cr} * A_g$
Ecuaciones					238165.48	812.38
$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$ $C_w = \frac{e d^2 B^3}{24}$ $J = \frac{2 b_f t_f^3 + h t_w^3}{3}$ <p> Cw = Constante de alabeo (mm6) J = Constante torsional (mm4) G = módulo de elasticidad a cortante del acero (77200 Mpa) </p> <p style="text-align: center;"> \longrightarrow Fcr \longrightarrow φPn </p>						
Chequeo a compresión en elementos esbeltos - NSR-10-F.2.5.7						
Qs	1	Cálculos necesarios para obtener Q				
be (mm)	153	Fe [kg/cm2]	Limite 1	Limite 2 [kg/cm2]	Fcr[kN/m2]	
Ae (mm^2)	3759.24	$\pi^2 E / (KL/r)^2$	$4.71 \sqrt{E/QF_y}$	$0.44 QF_y$	$[0.658^{(QF_y/Fe)}] F_y$	
Qa	0.99	2363.69	112.59	1540	188325.47	
Q	1	φ Pn [kN]				
No aplica						

Nota. Adaptado del título F.2.5 de la NSR-10 (2010).

Donde:

Fcr = Esfuerzo crítico de pandeo lateral torsional

Fe = esfuerzo de pandeo elástico

En caso de que la sección no tenga elementos esbeltos, en vez de realizar el cálculo de resistencia el formato indicara que “No aplica”. Una vez realizado el chequeo a compresión, se procede a realizar el chequeo a flexión del mismo modo como se realizado para vigas.

Luego, se realiza el chequeo para miembros con simetría doble solicitados flexión – compresión siguiendo el numeral F.2.8.1 de la NSR-10, se busca que el coeficiente resultante del cálculo sea menor a uno, en caso de no cumplir se debe cambiar el perfil.

Figura 22. Chequeo para miembros con simetría doble solicitados flexión y compresión

Para pandeo por flexión		
$\frac{P_u}{\Phi P_n} = \frac{200}{642.38} =$		0.311
$\frac{P_U}{\Phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_U}{\Phi M_n} \right) \leq 1.0 =$	0.713	Verificación Cumple

Para pandeo por tracción y flexo - torsión		
$\frac{P_u}{\Phi P_n} = \frac{200}{812.38} =$		0.246
$\frac{P_U}{\Phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_U}{\Phi M_n} \right) \leq 1.0 =$	0.648	Verificación Cumple

Nota. Adaptado del título de F.2.8.1 de la NSR-10 (2010).

Paso 5: por último, se realiza el chequeo a cortante de acuerdo con los requisitos de F.2.7.2 -NSR-10, en caso de necesitarse rigidizadores transversales, estos se diseñarán siguiendo el numeral F.2.7. -NSR-10.

Figura 23. Diseño a cortante para sección en I y diseño de rigidizadores en columnas

Diseño a cortante							
d [mm]	Aw [mm ²]	Verificación					
		Relación	Límite A)	kv	1.10Raiz(kvE/fy)	1.37Raiz(kvE/fy)	Cv
126	834.24	h/tw	2.24√E/Fy	5	58.80	73.23	1.00
		19.15	53.55				
Vn [kN]		φv					
Vn = 0.6FyAwCv		0.9					
175.19 kN							
φVn [kN]	Verificación						
157.67	Cumple						

Rigidizadores	
λr	Verificación
58.81	No requiere

DISEÑO DE RIGIDIZADOR TRANSVERSAL		
Espesor de alma	tw	1 mm
Dist. Libre entre aletas	h	126.4 mm
Dist. Libre entre rigidizadores	a	250 mm
Factor	j	0.5
b*tw ³ *j		63.2 mm ⁴
Momento de inercia	Ist	168290.6453 mm ⁴
¿Cumple?	Ist ≥ bt _w ³ j	No aplica

Nota. Adaptado del numeral F.2.7 de la NSR-10 (2010).

Ahora bien, las vigas y columnas metálicas deben conectarse por medio de conexiones las cuales pueden ser de varios tipos como se mencionó anteriormente, para este caso se implementará

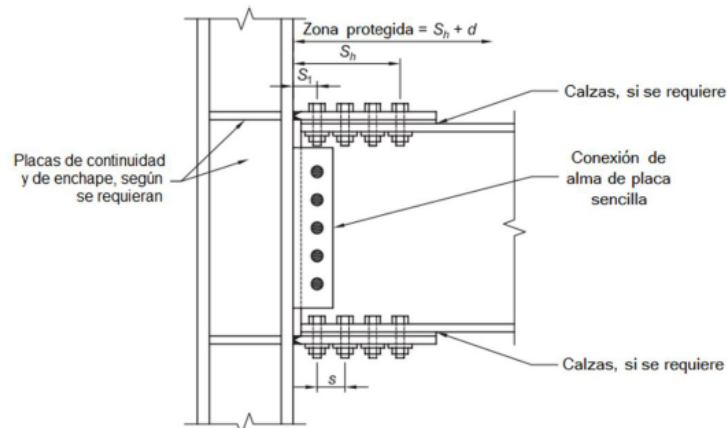
una conexión que se conforma de platinas, pernos y soldadura, a las cuales se le deben verificar la resistencia de esta a fuerzas axiales, cortantes y de momento, como se mostrara a continuación.

5.4.3. Formato de diseño de conexión precalificada

Las conexiones a momento entre vigas y columnas de pórticos resistentes con capacidad especial o moderada de disipación de energía deben ser precalificadas de acuerdo con lo estipulado en la norma AISC 358, es decir son conexiones probadas previamente en laboratorios que garantizan que la articulación plástica ocurra donde se calcula en el diseño. La normativa AISC 358 presenta cinco conexiones de uso libre, donde para cada una de ellas describe el proceso de diseño, estas son:

1. De sección de viga reducida (RBS*)
2. De placa de extremo no rigidizada (BUEEP*)
3. De placa de extremo rigidizada (BSEEP*)
4. De placas empernadas a las aletas (BFP*)
5. De aletas no reforzadas soldadas-alma soldada (WUF-W*)

En el caso de este proyecto se elaboró un formato de cálculo para la conexión BFP:

Figura 24. *Conexión a momento de placas emperradas a las aletas*

Nota. Fuente (AISC 358).

Previamente a iniciar el diseño de ingresan los datos geométricos y propiedades mecánicas de los perfiles que se unirán. En este caso se realizará para una viga IPE 300 y Columna IPE 300.

Figura 25. *Ingreso de parámetros de los perfiles conectados*

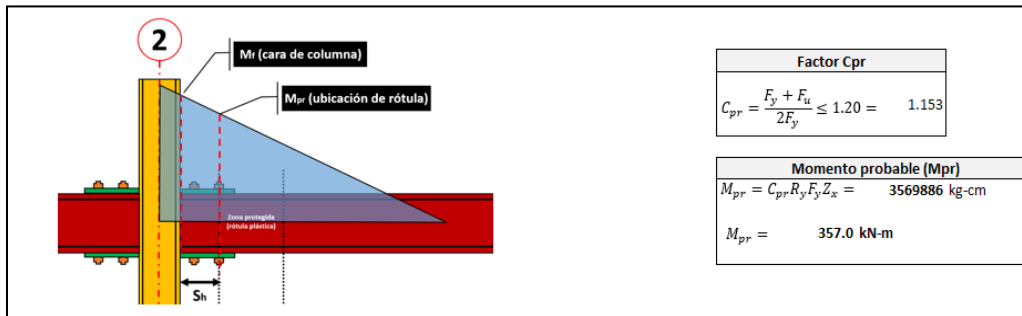
VIGA			COLUMNA		
PERFIL SELECCIONADO		IPe 330	PERFIL SELECCIONADO		IPe 330
b	160	mm	bc	160	mm
h	330	mm	hc	330	mm
tw	7.5	mm	twc	7.5	mm
tf	11.5	mm	tfc	11.5	mm
r (radio int.)	18	mm	r (radio int.)	18	mm
Fy =	3500	kg/cm ²	Fy =	3500	kg/cm ²
Fu =	4570	kg/cm ²	Fu =	4570	kg/cm ²
Ry (ASTMA572) =	1.1		Ry (ASTMA572) =	1.1	
Rt (ASTMA572) =	1.1		Rt (ASTMA572) =	1.1	
E =	2000000	kg/cm ²	E =	2000000	kg/cm ²
Lx =	4.66	m	Lx =	4.66	m
Ag vig =	62.6	cm ²	Ag col =	62.6	cm ²
Zx =	804.3	cm ³	Zx =	804.3	cm ³
Sx =	713	cm ³	Sx =	713	cm ³
Ix =	11800	cm ⁴	Ix =	11800	cm ⁴
Iy =	787	cm ⁴	Iy =	787	cm ⁴
ry =	13.7	cm	ry =	13.7	cm
φn =	0.9		φn =	0.9	
φd =	1		φd =	1	

Nota. Fuente (elaboración propia).

El proceso de diseño se dividió en 17 pasos de acuerdo con las normas AISC 358-16:

Paso 1: Se calcula el momento probable (M_{pr}) en la articulación plástica según el capítulo 2.4 de la AISC 358 -16.

Figura 26. *Calculo del momento probable*



Nota. Fuente (elaboración propia).

Paso 2: ahora se calcula el diámetro mínimo que debe tener el perno con la EC 7.6 - 2M de la AISC 358-16, con anterioridad al uso de la ecuación se necesitan la información de los pernos y platinas elegidas:

Figura 27. *Información de pernos y platina necesaria para diseño*

INFORMACIÓN DE PERNOS		
TIPO	A307	NSR- 10 -
Fnv (kg/cm ²)	4570	F.2.10.3-2
Diámetro (pulg)	3/4	
Diámetro (mm)	19.05	
Area (mm ²)	285.02	

PLATINA		
Fy =	3500	kg/cm ²
Fu =	4570	kg/cm ²
tp =	20	mm
bpf =	206	mm

Nota. Fuente (Elaboración propia).

$$d_b \leq \frac{b_f}{2} \left(1 - \frac{R_y F_y}{R_t F_u} \right) - 3mm$$

Ecuación 11

- tp = espesor de platina
- bpf = ancho de platina
- bf = ancho de aleta de la viga

La elección de los pernos debe cumplir con los permitidos del numeral NSR-10 F.2.10.3.

Paso 3: se determina la resistencia nominal al corte del perno con la ecuación EC 7.6-3 de AISC 358-16.

$$r_n = \min \begin{cases} 1.0F_{nv}A_b \\ 2.4F_{ub}d_b t_f \\ 2.4F_{up}d_b t_p \end{cases}$$

Ecuación 12

Paso 4: se calcula el numero mínimos de pernos necesarios con la ecuación EC 7.6-4 de AISC 356-18

$$n \geq \frac{1.25 * M_{pr}}{\phi_n r_n (d + t_p)}$$

Ecuación 13

Paso 5: se calcula la localización de la rótula plástica con la ecuación EC 7.6-5 de AISC 358-16.

$$S_h = S_1 + s \left(\frac{n}{2} - 1 \right)$$

Ecuación 14

Paso 6: se determina el cortante en la rótula de la viga según el capítulo 2.4 del AISC 358-16, este valor se calcula previamente para el diseño de vigas.

Paso 7: se calcula el momento probable en la cara de la columna (M_f), el cual se obtiene con la ecuación 9 de presente documento obtenida de la ecuación 7.6-6 de la AISC 358-16.

Paso 8: se calcula la fuerza F_{pr} debida al momento M_f en la platina del ala (fuerza en el ala), haciendo uso de la ecuación 7.6-7 de la AISC 358-16.

$$F_{pr} = \frac{M_f}{(d + t_p)}$$

Ecuación 15

Paso 9: se confirma que el número de pernos elegidos sea el correcto con la ecuación 7.6-8 de la AISC 358-16.

$$n \geq \frac{F_{pr}}{\phi_n r_n}$$

Ecuación 16

Paso 10: se confirma que el espesor de platina elegido sea el correcto con la ecuación 7.6-9 de la AISC 358-16.

Paso 11: se verifica el estado límite de la platina de ruptura por tensión de acuerdo con el numeral F.2.10.4 de la NSR-10.

Figura 28. Chequeo de la platina por el estado límite de ruptura por tensión

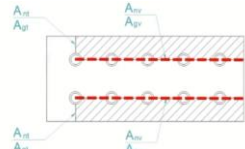
Limite (cm ²) =		Area neta (cm ²)	s (mm)	\bar{x} (cm)	ℓ (cm)	Factor U de rezago por cortante	Area efectiva	Rn (kN)
0.85*b _p *t _{pl} =		$A_n = t_p * (b_p - 2(d_b + 1.6mm))$	75	3.2	37.5	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{\ell}$	$A_e = A_n U$	$R_n = F_u A_e$
35.02								
NSR-10 - F.2.4.3		36.56				0.916	33.49	1530.445472
		NSR-10 - F.2.2.4.3				Tabla F.2.4.3 - 1 NSR	Cumple	
Verificación final	$F_{pr} \leq \phi_n R_n$	CUMPLE						

Nota. Adaptado del numeral F.2.10.4 de la NSR-10 (2010).

Paso 12: se verifican los estados límites de rotura por desgarramiento bloque para la aleta de la columna, esto con el fin definir si se requieren placas de continuidad que entre aletas de la columna que permitan soportar las solicitaciones. Para este chequeo se sigue lo estipulado en el numeral F.2.10.4.3 de la NSR-10.

Figura 29. Chequeo de falla por desgarre en bloque

Rn (kN)	$R_n = 0.60F_u A_{nt} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$	=	2266.09 kN
$\phi_n \cdot R_n$	1699.57 kN		
Verificación	$F_{pr} \leq \phi_n R_n$	CUMPLE	

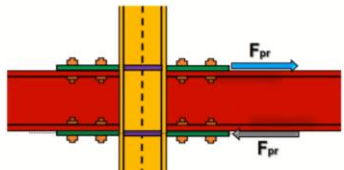


Nota. Adoptado de numeral F.2.10.4.3 de la NSR-10 (2010).

Paso 13: corresponde a un chequeo de la platina para el estado límite de pandeo por compresión de acuerdo con el numeral F.2.10.4.4 - NSR-10.

Figura 30. Chequeo de la platina para el estado límite de pandeo por compresión

$\phi_n =$	0.9	
KL/r	6.755	CUMPLE
Rn (kN)	1442.00 kN	
$\phi_n \cdot R_n$	1297.80 kN	
Verificación	$F_{pr} \leq \phi_n R_n$	CUMPLE



Nota. Adoptado del numeral F.2.10.4.4 - NSR-10 (2010).

Paso 14: se determina la resistencia requerida a cortante siguiendo la ecuación 7.6-13 de AISC 358-16.

$$V_u = V_{us} + w_u S_h$$

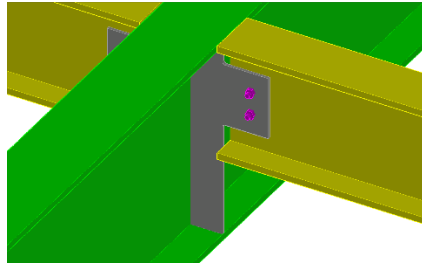
Ecuación 17

Paso 15: se diseña la conexión a cortante, donde se busca que la platina, pernos y soldadura resistan el cortante máximo generado por la viga soportada, en resumen, el diseño incluye las siguientes verificaciones:

- Resistencia del perno (Estado límite de rotura por corte) - F.2.10.3.6 - NSR 10.
- Resistencia al aplastamiento y desgarre platina (perforaciones con pernos) - F.2.10.3.10 - NSR 10.
- Resistencia al aplastamiento y desgarre alma de la viga.

- Espesor máximo de plancha (requisitos de ductilidad - manual de construcción de acero AISC).
- Resistencia al corte de la platina - F.2.10.4.2 - NSR-10.
- Espesor requerido de soldadura F.2.10.2-4 - NSR-10.

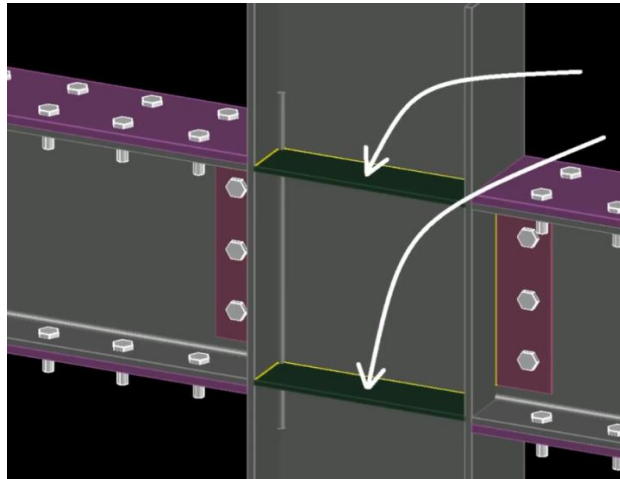
Figura 31. *Conexión a cortante complementaria a conexión a momento*



Nota. Fuente (Elaboración propia).

Paso 16: se verifica si la conexión necesita placas de continuidad, esto se determina calculando los estados límites de arrugamiento, a flexión y compresión del alma y aleta de la columna de acuerdo con el numeral F.2.10.10 de la NSR-10.

Figura 32. *Placas de continuidad en columnas*



Nota. Fuente (Elaboración propia).

En caso de necesitarse las placas de continuidad, el proceso para su diseño consiste en:

1. Ingresar valores geométricos de espesor de placa y longitud.
2. Determinar la fuerza que llega a la platina (F_{su}) la cual es la resta entre la fuerza axial probable (F_{fu}) en la cara de la columna menos la mínima resistencia de los estados límites ($\phi_{min}R_n$) de la columna (**Ecuación 18** - 6.8-25 de AISC 358 16).

$$F_{su} = 2 * (F_{fu} - \phi_{min}R_n)$$

Ecuación 18

Verificando que la resistencia a compresión de la platina sea mayor que F_{su} , se determinan los espesores requeridos de la platina, se revisa que la platina cumpla con los límites geométricos para que no genere pandeo local. Por último, se determina las especificaciones de la soldadura, como se muestra en la siguiente ilustración:

Figura 33. *Diseño de placa de continuidad*

16.2-C - Espesores mínimos F.2.10.10.8 - NSR-10			CHEQUEO PARA PANDEO LOCAL		
$\max\left(\frac{1}{2}tp, \frac{bs}{16}\right) =$	1.00 cm	Verificar	Relación	Límite	Verificación
		CUMPLE	$\frac{bs}{tsc}$	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yp}}}$	$\frac{bs}{tsc} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{yp}}}$
			3.05	4.2332	CUMPLE
16.2-C - Diseño de soldaduras para placas de continuidad					
ϕ	0.75		ϕF_w	Espesor de garganta requerido (D_w)	
Tipo de soldadura	Resistencia (F_{exx})		$0.75 * 0.6 * F_{exx}$	$D_w = \frac{0.6 * F_{yp} * t_{sc}}{2 * \phi F_w * \sqrt{2}}$	
E70XX	4920.00 kg/cm ²		2214 kg/cm ²	8.38 mm	

Nota. Adaptado del título F.2.10.10.8 de la NSR-10 (2010).

Paso 17: la última parte del diseño de conexión precalificada corresponde al diseño de las platinas adosadas al alma de la columna, conocidas como zona panel, para llevar acabo el diseño se necesitan valores previamente calculados del diseño de vigas y columnas, como los momentos probables en ambas caras de la columna, la carga axial que llega a esta y el cortante máximo resultante de los momentos probables. A partir, de los datos mencionados anteriormente se determina la carga que debe soportar la platina adosada. Luego, se calcula la fuerza cortante que resiste el alma de acuerdo con las ecuaciones de F.2.10.10.6 de la NSR-10 según sea el caso. Si la

fuerza resistente del alma es mayor que solicitación que debe resistir entonces no se necesita una zona panel, de lo contrario se procede a realizar el diseño de la placa adosada.

Figura 34. Diseño de zona panel

Relación	ϕR_n
$\frac{P_u}{P_y}$	$R_n = 0.60F_y d_s t_w \left(1 + \frac{3b_f t_f^2}{d_s d_s t_w} \right)$
0.161	464.51 kN
Verificar	
NO REQUIERE PLATINAS ADOSADAS AL ALMA	
17-C DISEÑO DE PLATINAS ADOSADAS	
tdp requerido	
$t_{dp} = t_{wc} \times \frac{R_u}{\phi R_n} - t_{wc} = 4.0 \text{ cm}$	
tdp minimo	
Wz (cm)	14.64 cm
dz (cm)	15.95 cm
Verificación	
$t \geq \frac{dz + Wz}{90}$	
CUMPLE	

Nota. Fuente (Elaboración propia).

El diseño de edificaciones metálicas incluye otros elementos importantes como son las placas bases, que se conforma de una platina y pernos que conecta la columna en su parte baja a la cimentación o pedestal.

5.3.4 Formato de diseño de placas base para columnas de sección I

El formato de diseño de placas base presentaban un buen orden y la automatización de parámetros de entrada, por lo que con el fin entender el proceso de diseño únicamente se verifico que las ecuaciones cumplieran con los requisitos normativos del AISC 360 y la NSR-10.

Los cálculos realizados en las hojas de cálculos serán imprimibles, ya que como se observó se muestran las ecuaciones utilizadas para cada paso del diseño y los requisitos normativos tenidos en cuenta de la NSR-10 y AISC, estas se presentarán anexos de las consideraciones tenidas en cuenta en la etapa de modelación, o memoria de cálculo principal, todo esto con el objetivo de agilizar el

proceso de diseño estructuras metálicas. Para este proyecto se elaboró una platilla de memoria de cálculo.

5.3.5 *Plantilla de memoria de calculo*

Se elaboro una platilla de memoria de cálculo para estructuras metálicas ([*Plantilla de memoria de calculo para estructuras metálicas.docx*](#)) de acuerdo con lo establecido en el capítulo A.1.3.4 de la NSR-10, en general incluye la descripción del proyecto, el predimensionamiento de elementos estructurales como vigas y columnas basados en la clasificación por pandeo local y ductilidad, las cargas y combinaciones tenidas en cuenta en el modelo, así como la descripción del método de diseño utilizado que este caso es un diseño por estabilidad, donde se tuvieron en cuenta efectos P-delta globales y locales, así como cargas ficticias para compensar los errores constructivos e imperfecciones geométricas desde el diseño. También incluye el análisis sísmico y de irregularidades de la estructura y la presentación de los cálculos de ajuste respectivo en el modelo.

6. Conclusiones y recomendaciones

Para lograr un proceso de diseño eficiente en edificaciones de acero es esencial conocer los requisitos mínimos que presenta la norma para los elementos que serán o no parte del sistema estructural (PRM, PAC, PAE), esto teniendo en cuenta la capacidad de disipación de energía (DMI, DMO o DES). Por lo que, es necesario que desde un principio se determine la clasificación por pandeo local del perfil seleccionado para viga o columna, así como la clasificación por ductilidad en caso de que si haga parte del sistema de resistencia sísmica.

Con el fin de ser eficaces durante la etapa de modelación es indispensable crear un formato exclusivo para el análisis de estructuras en acero, las cuales considere los efecto P-delta y cargas ficticias de forma predeterminada dentro de los casos de carga del modelo, así como las combinaciones mencionadas en la **Tabla 2** . Esta plantilla puede ser creada en base al modelo realizado para el desarrollo de los formatos de cálculo de este proyecto.

En cuanto a la etapa de diseño de los elementos, la automatización de entrada de los parámetros geométricos y de propiedades mecánicas de los perfiles permite crear un proceso más ágil y con menos posibilidades de errores. Así mismo, el orden detallado del diseño con las ecuaciones a utilizar en cada paso, pueden facilitar entender el desarrollo de los cálculos tanto para el equipo de diseño estructural como para los entes revisores y evitar así posibles correcciones innecesarias por parte de estos.

Para la etapa final del diseño, que corresponde al desarrollo de las memorias de cálculo es importante que estas plasmen las consideraciones realizadas en la modelación y a su vez esté integrada con el proceso de diseño de los elementos estructurales.

Lo mencionado y desarrollado a través de este trabajo, permitió la creación de formatos de diseño de estructuras metálicas más detallados, organizados e integrados a etapas posteriores como lo es la elaboración de memorias de cálculos, siendo así más ágil y efectivo las escogencias de parámetros base, así como la presentación de los cálculos.

Referencias

- American Institute of Steel Construction (AISC). (2022). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. AISC.
- American Institute of Steel Construction (AISC). (2022). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-22)*. AISC.
- American Institute of Steel Construction (AISC). (2022). *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-22)*. AISC.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2012). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- ASTM. (s.f.). *American Society for Testing and Materials*. Obtenido de <https://compass.astm.org/?proxycl=https%3A%2F%2Fsecure-astm.org.udea.lookproxy.com&fromLogin=true>
- Gerdau Corsa. (2018). *Fórmulas Técnicas Para la Construcción de Acero Según la NTC 2017*. Ciudad de Mexico: Gerdau Corsa.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & pilar, B. (2010). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de Mexico: MCGraw-Hill.
- MacCormac, J. C., & Csernak, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. Del Valle, Mexico : Alfaomega.
- Medina, M., Hurtado, D., Muñoz, O. D., & Izundegui, G. (2023). *Método mixto de investigación cualitativo y cuantitativo*. Lima: INUDI PERÚ.
- Real Academia española . (s.f.). *Diccionario del estudiante*. Obtenido de Definición de acero: <https://www.rae.es/diccionario-estudiante/acero>
- Segui, W. T. (2000). *Diseño de estructuras de acero Con LRFD*. Tennessee: University of Memphis.
- Valencia, G. (2010). *Diseño básico de Estructuras de acero. De acuerdo con NSR-10*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

ANEXOS

ANEXO 1: BASE DE DATOS DE PERFILES METALICOS

Sección	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	R	Area	Peso	Ix	Sx	Rx	Iy	Sy	Ry	Zx	Zy
	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	Kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³
IPE 80	80	46	3.8	5.2	5	7.64	6	80.1	20	3.24	8.48	3.69	1.05		
IPE 100	100	55	4.1	5.7	7	10.30	8.1	171	34.2	4.07	15.9	5.78	1.24	39.41	9.15
IPE 120	120	64	4.4	6.3	7	13.2	10.4	318	53.0	4.9	27.6	8.64	1.45	60.73	13.58
IPE 140	140	73	4.7	6.9	7	16.4	12.9	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65	88.34	19.25
IPE 160	160	82	5	7.4	9	20.1	15.8	869	109	6.58	68.2	16.6	1.84	123.9	26.1
IPE 180	180	91	5.3	8	9	23.9	18.8	1320	146	7.42	101	22.1	2.05	166.4	34.6
IPE 200	200	100	5.6	8.5	12	28.5	22.4	1940	194	8.26	142	28.4	2.23	220.6	44.61
IPE 220	220	110	5.9	9.2	12	33.4	26.2	2770	252	9.11	205	37.2	2.48	285.4	58.11
IPE 240	240	120	6.2	9.8	15	39.1	30.7	3890	324	9.97	283	47.2	2.69	366.6	73.92
IPE 270	270	135	6.6	10.2	15	45.9	36.1	5790	429	11.2	419	62.1	3.02	484	96.95
IPE 300	300	150	7.1	10.7	15	53.8	42.2	8360	557	12.5	603	80.4	3.35	628.4	125.2
IPE 330	330	160	7.5	11.5	18	62.6	49.1	11800	713	13.7	787	98.4	3.55	804.3	153.7
IPE 360	360	170	8	12.7	18	72.7	57.1	16300	904	15	1040	123	3.79	1019	191.1
IPE 400	400	180	8.6	13.5	21	84.5	66.3	23100	1160	16.5	1320	146	3.95	1307	229
IPE 450	450	190	9.4	14.6	21	98.8	77.6	33700	1500	18.5	1670	176	4.12	1702	276.4
IPE 500	500	200	10.2	16	21	116	90.7	48200	1930	20.4	2140	214	4.3	2194	335.9
IPE 550	550	210	11.1	17.2	24	134	106	67100	2440	22.3	2660	254	4.45	2787	400.5
IPE 600	600	220	12	19	24	156	122	92100	3070	24.3	3380	308	4.66	3512	485.6

Sección	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	R	Area	Peso	Ix	Sx	Rx	Iy	Sy	Ry	Zx	Zy
	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	Kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³
HEA 100	96	100	5	8	12	21.2	16.7	349	72.7	4.05	134	26.7	2.51	83.01	41.14
HEA 120	114	120	5	8	12	25.3	19.9	606	106	4.89	231	38.4	3.02	119.5	58.85
HEA140	133	140	5.5	8.5	12	31.4	27.7	1030	155	5.73	389	55.6	3.52	173.5	84.85
HEA 160	152	160	6	9	15	38.8	30.4	1670	220	6.57	615	76.9	3.98	245.1	117.6
HEA 180	171	180	6	9.5	15	45.3	35.5	2510	294	7.45	924	103	4.52	324.9	156.5
HEA 200	190	200	6.5	10	18	53.8	42.3	3690	389	8.28	1330	133	4.98	429.5	203.8
HEA 220	210	220	7	11	18	64.3	50.5	5410	515	9.17	1950	178	5.51	568.5	270.6
HEA 240	230	240	7.5	12	21	76.8	60.3	7760	675	10.1	2770	231	6	744.6	351.7
HEA 260	250	260	7.5	12.5	24	86.8	68.2	0500	836	11	3660	282	6.5	919.8	430.2
HEA 280	270	280	8	13	24	97.3	76.4	13700	1010	11.9	4760	340	7	1112	518.1
HEA 300	290	300	8.5	14	27	113	88.3	18300	1260	12.7	6310	420	7.49	1383	641.2
HEA 320	310	300	9	15.5	27	124	97.6	22900	1480	13.6	6980	465	7.49	1628	709.7
HEA 340	330	300	9.5	16.5	27	133	105	27700	1680	14.4	7430	495	7.46	1850	755.9
HEA 360	350	300	10	17.5	27	143	112	33100	1890	15.2	7880	525	7.43	2088	802.3
HEA 400	390	300	11	19	27	159	125	45100	2310	16.8	8560	571	7.34	2562	872.9
HEA 450	440	300	11.5	21	27	178	140	63700	2900	18.9	9460	631	7.29		
HEA 500	490	300	12	23	27	198	155	87000	3550	21	10400	691	7.24		
HEA 550	540	300	12.5	24	27	212	166	112000	4150	23	10800	721	7.15		
HEA 600	590	300	13	25	27	226	178	141000	4790	25	11300	751	7.05		
HEA 650	640	300	13.5	26	27	242	190	175000	5470	26.9	11700	781	6.96		
HEA 700	690	300	14.5	27	27	260	204	215000	6240	28.7	12200	812.0	6.84		
HEA 800	790	300	15	28	30	286	224	303000	7680.0	32.6	12600	842.0	6.65		
HEA 900	890	300	16	30	30	321	252	422000	9480.0	36.3	13500	903.0	6.50		
HEA 1000	990	300	16.5	31	30	347	272	554000	11200.0	40.00	14000	933.0	6.35		

DENOMINACIÓN		Altura Exterior		Alto Interior	Ancho Exterior	Espesor de alma	Espesor de ala	Area	Momento de Inercia		Modulo Resistente		Radio de Giro		Radio de acuerdo	Modulo Resistente	
		H		h	b	t	e	A	Ix	Iy	Wx	Wy	Ix	Iy	r	Wx	Wy
WF HxPeso/ pie	WF HxbxPeso/ m	[in]	[m m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm 2]	[cm4]	[cm4]	[cm 3]	[cm 3]	[m m]	[m m]	[mm]	[cm 3]	[cm 3]
WF 6 X 4 X 9	WF 150 X 100 X 13.40		150	139	100	4.3	5.5	17.29	685	92	91	18	6.3	2.30	6	102	28.2
WF 6 X 6 X 20	WF 150 X 150 X 29.80	6.2	157	138	153	6.6	9.3	37.90	1714	556	218	73	6.7	3.83	6	246	110
WF 8 X 4 X 10	WF 200 X 100 X 14.90	7.9	200	189	100	4.3	5.2	19.00	1270	86	127	17	8.2	2.14	8	145	27.2
WF 8 X 4 X 15	WF 200 X 100 X 22.30	8.1	206	190	102	6.2	8.0	28.55	2000	142	194	28	8.4	2.23	8	223	43.8
WF 8 X 8 X 31	WF 200 X 200 X 46.10	8.0	203	181	203	7.2	11.0	58.6	4543	1535	448	151	10.0	5.12	10	498	231
WF 8 X 8 X 40	WF 200 X 200 X 59.50	8.3	210	182	205	9.1	14.2	75.60	6111	2040	582	199	10.0	5.20	10	652	303
WF 10 X 4 X 12	WF 250 X 100 X 17.80	9.8	250	238	101	4.0	6.2	22.67	2388	107	191	21	10.26	2.17	8	206	28.5
WF 10 X 4 X 19	WF 250 X 100 X 28.30	10.2	260	240	102	6.4	10.0	36.05	3958	174	305	34	10.48	2.20	8	354	54.9
WF 10 X 5¼ X 22	WF 250 X 145 X 32.70	10.2	258	240	146	6.1	9.1	41.75	4895	473	379	65	10.83	3.36	8	426	100
WF 10 - 10 X 49	WF 250 - 250 X 73.00	10.0	253	225	254	8.6	14.2	92.90	11282	3880	892	306	11.02	6.46	13	990	464
WF 12 4 X 14	WF 310 X 100 X 21.00	11.9	303	292	101	5.1	5.7	26.93	3712	98	245	19	11.07	1.91	8	285	31.1
WF 12 4 X 16	WF 310 X 100 X 23.80	12.0	305	292	101	5.6	6.7	30.41	4282	116	281	23	11.09	1.95	8	329	37

WF 12 4 X 22	WF 310 X 100 X 32.70	12. 3	313	291	102	6.6	10.8	41. 81	6507	192	416	38	12. 5	2.1 4	8	480	60
	WF 310 165 X 38.70	12. 2	310	291	165	5.8	9.7	49. 41	8518	727	550	88	13. 1	3.8 4	8	610	134
WF 12 6½ X 30	WF 310 165 X 44.60	12. 3	313	291	166	6.6	11.2	56. 89	9928	855	634	103	13. 2	3.8 8	8	706	157
WF 12 12 X 65	WF 310 X 310 X 97.00	12. 1	308	277	305	9.9	15.4	123 .3	2223 6		144 4		13. 4	7.6 9	15	159 0	723
WF 12 12 X 72	WF 310 X 310 X 107.00	12. 2	311	277	306	10.9	17.0	136 .2	2479 1		159 4		13. 5	7.7 2	15	177 0	806
WF 14 5 X 22	WF 360 X 130 X 32.90	13. 7	349	332	127	5.8	8.5	41. 70	8258	291	473	46	14. 1	2.6 4	10	544	71.9
WF 14 6¾ X 34	WF 360 170 X 50.60	14. 0	355	332	171	7.2	11.6	64. 42	1412 2		968 796	113	14. 8	3.8 8	10	895	174
WF 14 10 X 74	WF 360 X 250 X 110.00	14. 2	360	320	256	11.4	19.9	140 .3	3309 0		183 8		15. 4	6.3 0	15	206 0	664
WF 14 X 90	WF 360 X 370 X 134.00	14. 0	356 .0	320.0	369.0	11.20	18.00	170 .61	41,5 09	15,0 78	2,33 2	817	15. 60	9.4 0	15	256 2	123 7
WF 14 X 99	WF 360 X 370 X 147.00	14. 2	360 .0	320.4	370.0	12.30	19.80	187 .86	46,2 89	16,7 22	2,57 2	904	15. 70	9.4 3	15	283 8	136 9
WF 16 5½ X 26	WF 410 X 140 X 38.80	15. 7	399	381	140	6.4	8.8	49. 91	1264 4		404 634	58	15. 9	2.8 4	10	724	89.9
WF 16 5½ X 31	WF 410 X 140 X 46.10	15. 9	403	381	140	7.0	11.2	58. 86	1555 8		514 772	73	16. 3	2.9 5	10	885	115
WF 16 7 X 40	WF 410 X 180 X 60.0	16. 0	407	381	178	7.7	12.8	75. 79	2157 4		106 0	135	16. 9	3.9 9	10	120 0	208
WF 16 10¼ X 77	WF 410 X 260 X 114.0	16. 5	420	381	261	11.6	19.3	145 .8	4613 9		219 7	439	17. 8	6.2 7	10	246 0	674

WF 18 6 X 35	WF 460 X 150 X 52.0	17. 7	450	428	152	7.6	10.8	66. 25	2120 1	634	942	83	17. 9	3.0 9	10	109 0	132
WF 18 6 X 46	WF 460 X 150 X 68.0	18. 1	459	428	154	9.1	15.4	87. 26	2968 3	941	129 3	122	18. 4	3.2 8	10	149 0	192
WF 18 7½ X 50	WF 460 X 190 X 74.0	18. 0	457	428	190	9.0	14.5	94. 48	3324 7	1661	145 5	175	18. 8	4.1 9	10	166 0	272
WF 21 6½ X 44	WF 530 X 165 X 66.0	20. 7	525	502	165	8.9	11.4	83. 77	3510 1	857	133 7	104	20. 5	3.2 0	13	156 0	167
WF 21 6½ X 57	WF 530 165 X 85.0	21. 1	535	502	166	10.3	16.5	108 .3	4871 3	1268	182 1	153	21. 2	3.4 2	13	211 0	243
WF 21 8¼ X 62	WF 530 210 X 92.0	21. 0	533	502	209	10.2	15.6	117 .8	5528 7	2379	207 5	228	21. 7	4.4 9	13	236 0	356
wf 21 8¼ X 68	WF 530 X 210 X 101.0	21. 1	537	502	210	10.9	17.4	129 .3	6174 3	2692	230 0	256	21. 9	4.5 6	13	262 0	400
WF 24 7 X 55	WF 610 X 180 X 82.0	23. 6	599	573	178	10.0	12.8	104 .4	5603 2	1209	187 1	136	23. 17	3.4 0	13	220 0	218
WF 24 9 X 68	WF 610 X 230 X 101.0	23. 7	603	573	228	10.5	14.9	129 .6	7640 7	2950	253 4	259	24. 28	4.7 7	13	290 0	401
WF 24 9 X 76	WF 610 X 230 X 113.1	23. 9	607	572	228	11.2	17.3	144 .4	8727 0	3425	287 5	300	24. 58	4.8 7	13	328 0	469

CARACTERISTICAS Y DENOMINACION								PROPIEDADES ELASTICAS								
								FLEXION						MODULO PLASTICO		TORSION
TAMANOS NOMINALES		REALES		ESPESOR DE PARED mm	PESO		AREA	EJE X - X			EJE Y - Y					
		PULGADAS	MILIMETROS		D mm	B mm		NEGRO Kg/m	GALVANIZADO Kg/m	MOMENTO INERCIA Ix cm4	MODULO SECCION Sx cm3	RADIO DE GIRO rx cm	MOMENTO INERCIA Iy cm4	MODULO SECCION Sy cm3	RADIO DE GIRO ry cm	Zx cm3
2 X 1/2	50 X 13 X 1.5	50.00	13.00	1.50	1.35	1.49	1.72	4.54	1.81	1.62	0.50	0.77	0.54	2.46	0.90	1.61
2 X 1-1/16	52 X 27 X 1.5	52.00	27.00	1.50	1.73	1.90	2.20	7.72	2.97	1.87	2.78	2.06	1.12	3.70	2.34	6.71
2 X 1-1/16	52 X 27 X 2.0	52.00	27.00	2.00	2.32	2.49	2.95	9.76	3.76	1.82	3.49	2.58	1.09	4.74	2.99	8.63
2 X 1-1/16	52 X 27 X 2.5	52.00	27.00	2.50	2.81	2.98	3.58	11.55	4.44	1.80	4.09	3.03	1.07	5.69	3.58	10.41
2 X 1-1/16	52 X 27 X 23.0	52.00	27.00	3.00	3.34	3.51	4.25	13.11	5.04	1.76	4.59	3.40	1.04	6.55	4.11	12.05
2-3/8 X 1-1/2	60 X 40 X 1.5	60.00	37.85	1.50	2.17	2.40	2.76	13.84	4.61	2.24	6.81	3.60	1.57	5.59	4.07	14.59
2-3/8 X 1-1/2	60 X 40 X 2.0	60.00	37.85	2.00	2.92	3.14	3.72	17.69	5.90	2.18	8.66	4.57	1.53	7.22	5.26	18.95
2-3/8 X 1-1/2	60 X 40 X 2.5	60.00	37.85	2.50	3.55	3.76	4.52	21.18	7.06	2.16	10.32	5.45	1.51	8.75	6.35	23.07
2-3/8 X 1-1/2	60 X 40 3.0	60.00	37.85	3.00	4.23	4.45	5.39	24.33	8.11	2.12	11.79	6.23	1.48	10.16	7.37	26.96
2-3/8 X 1-1/2	60 X 40 4.0	60.00	37.85	4.00	5.45	5.74	6.94	29.63	9.88	2.07	14.23	7.52	1.43	12.68	9.16	34.12
3 X 1-1/2	76 X 38 X 1.5	76.20	38.10	1.50	2.62	2.89	3.34	24.92	6.54	2.73	8.54	4.48	1.60	8.07	5.00	20.50

3 X 1- 1/2	76 X 38 X 2.0	76.2 0	38.1 0	2.00	3.52	3.79	4.48	32.06	8.42	2.67	10.90	5.72	1.56	10.48	6.47	26.65
3 X 1- 1/2	76 X 38 X 2.5	76.2 0	38.1 0	2.50	4.29	4.55	5.46	38.64	10.14	2.66	13.05	6.85	1.55	12.75	7.85	32.48
3 X 1- 1/2	76 X 38 X 3.0	76.2 0	38.1 0	3.00	5.13	5.37	6.54	44.67	11.73	2.61	14.98	7.86	1.51	14.89	9.14	38.00
3-3/16 X 1-1/2	80 X 40 X 2.0	80.0 0	40.0 0	2.00	3.56	3.83	4.54	37.36	9.34	2.87	12.72	6.36	1.67	11.61	7.17	30.99
3-3/16 X 1-1/2	80 X 40 X3.0	80.0 0	40.0 0	3.00	5.19	5.43	6.61	52.25	13.06	2.81	17.56	8.78	1.63	16.54	10.1 6	44.30
3-1/2 X 2	90 X 50 X 1.5	90.1 7	50.0 0	1.50	3.20	3.54	4.08	44.88	9.96	3.32	18.15	7.26	2.11	12.09	8.07	41.02
3-1/2 X 2	90 X 50 X 2.0	90.1 7	50.0 0	2.00	4.32	4.50	5.50	58.15	12.90	3.25	23.41	9.36	2.06	15.78	10.5 2	53.63
3-1/2 X 2	90 X 50 X 2.5	90.1 7	50.0 0	2.50	5.26	5.59	6.70	70.59	15.66	3.25	28.28	11.31	2.05	19.31	12.8 4	65.75
3-1/2 X 2	90 X 50 X 3.0	90.1 7	50.0 0	3.00	6.30	6.62	8.03	82.24	18.24	3.20	32.80	13.12	2.02	22.67	15.0 5	77.38
4 X 2	100 X 50 X 2.0	100. 00	50.0 0	2.00	4.95	5.33	5.74	74.98	15.00	3.62	25.67	10.27	2.12	18.50	11.4 6	61.72
4 X 2	100 X 50 X 2.5	100. 00	50.0 0	2.50	6.03	6.41	7.09	91.20	18.24	3.59	31.06	12.42	2.09	22.67	14.0 1	75.68
4 X 2	100 X 50 X 3.0	100. 00	50.0 0	3.00	7.23	7.60	8.41	106.46	21.29	3.56	36.06	14.42	2.07	26.66	16.4 4	89.09
4 X 2	100 X 50 X 4.0	100. 00	50.0 0	4.00	9.16		10.9 5	134.14	26.83	3.50	44.95	17.98	2.03	34.10	20.9 3	114.32
4 X 2	100 X 50 X 5.0	100. 00	50.0 0	5.00	11.0 8		13.3 6	158.19	31.64	3.44	52.45	20.98	1.98	40.84	24.9 5	137.53
4-3/4 X 2- 3/8	120 X 60 X 2.0	121. 78	59.9 0	2.00	5.58	6.01	7.11	136.64	22.44	4.38	45.76	15.28	2.54	27.60	16.9 2	109.88
4-3/4 X 2- 3/8	120 X 60 X 2.5	121. 78	59.9 0	2.50	6.81	7.23	8.67	167.03	27.43	4.39	55.68	18.59	2.53	33.94	20.7 7	135.18

4-3/4 X 2-3/8	120 X 60 X 3.0	121.78	59.90	3.00	8.16	8.58	10.39	195.96	32.18	4.34	65.03	21.71	2.50	40.05	24.46	159.64
6 X 2	150 X 50 X 3.0	150.00	50.00	3.00	9.01		11.41	298.55	39.81	5.12	52.65	21.06	2.15	51.43	23.49	150.80
6 X 2	150 X 50 X 4.0	150.00	50.00	4.00	11.73		14.95	381.39	50.85	5.05	66.16	26.47	2.10	66.47	30.13	193.62
6 X 2	150 X 50 X 5.0	150.00	50.00	5.00	14.97		18.36	456.29	60.84	4.99	77.87	31.15	2.06	80.48	36.20	233.01
6 X 4	150 X 100 X 6.0	150.00	100.00	6.00	21.69		27.63	834.69	111.29	5.50	444.19	88.84	4.01	136.68	103.30	957.04
	160 X 65 X 3.4	160.00	65.00	3.40	11.34		14.54	456.03	57.00	5.60	111.47	34.30	2.77	72.15	38.32	296.23
	180 X 65 X 4.0	180.00	65.00	4.00	14.45		18.55	709.17	78.80	6.18	142.35	43.80	2.77	101.25	49.11	398.32
8 X 2-3/4	200 X 70 X 4.0	200.00	70.00	4.00	16.13		20.55	969.18	96.92	6.87	185.51	53.00	3.00	124.52	59.08	521.89
8 X 2-3/4	200 X 70 X 6.0	200.00	70.00	6.00	23.58		30.03	1,364.48	136.45	6.74	255.38	72.97	2.92	178.35	83.75	741.83
8 X 4	200 X 100 X 4.0	200.00	100.00	4.00	18.01		22.95	1,199.71	119.97	7.23	410.78	82.16	4.23	148.04	91.70	988.08
10 X 6	250 X 150 X 5.0	250.00	150.00	5.00	30.11		38.36	3,304.18	264.33	9.28	1,507.95	201.06	6.27	319.76	225.48	3,292.28
	260 X 90 X 5.5	250.00	150.00	5.50	28.46		42.01	3,598.08	287.85	9.25	1,639.79	218.64	6.25	349.14	246.06	3,597.94
	300 X 100 X 5.5	300.00	100.00	5.50	32.77		42.01	4,425.12	295.01	10.26	783.54	156.71	4.32	380.05	173.89	2,233.88
	300 X 100 X 7.0	300.00	100.00	7.00	41.10		52.78	5,455.64	363.71	10.17	954.21	190.84	4.25	472.62	215.04	2,764.22
14 X 6	350 X 150 X 7.0	350.00	150.00	7.00	52.75		66.78	10,222.35	584.13	12.37	2,732.02	364.27	6.40	733.37	405.79	7,069.57
16 X 8	400 X 200 X 9.0	400.00	200.00	9.00	80.60		102.67	21,303.00	1,065.15	14.40	7,274.28	727.43	8.42	1,319.09	816.15	17,621.93

TAMANO PERFIL				ESPESOR PARED e mm	PESO			PROPIEDADES ESTATICAS									
TAMANO NOMINAL		REAL			P			FLEXION								TORSION	
PULGADAS	MILIMETROS	D mm	B mm		NEGRO Kg/m	GALVANIZADO Kg/m	AREA cm2	MOMENTO INERCIA Ix cm4	MODULO ELASTICO Sx cm3	RADIO DE GIRON rx cm	MOMENTO INERCIA Iy cm4	MODULO ELASTICO Sy cm3	RADIO DE GIRON ry cm	MODULO PLASTICO Zx cm3	MODULO PLASTICO Zy cm3	MOMENTO INERCIA J cm4	MODULO ELASTICO
1 X 1	25 X 25 X 1.5	25.0	25.0	1.50	1.12	1.23	1.43	1.22	0.97	0.92	1.22	0.97	0.92	1.17	1.17	2.03	1.48
1 X 1	25 X 25 X 2.0	25.0	25.0	2.00	1.49	1.60	1.90	1.48	1.19	0.88	1.48	1.19	0.88	1.47	1.47	2.58	1.82
1 X 1	25 X 25 X 2.5	25.0	25.0	2.50	1.78	1.90	2.27	1.69	1.35	0.86	1.69	1.35	0.86	1.71	1.71	3.07	2.11
1-1/2 X 1-1/2	40 X 40 X 1.5	40.0	40.0	1.50	1.73	1.90	2.20	5.49	2.75	1.58	5.49	2.75	1.58	3.22	3.22	8.77	4.13
1-1/2 X 1-1/2	40 X 40 X 2.0	40.0	40.0	2.00	2.32	2.49	2.96	6.94	3.47	1.53	6.94	3.47	1.53	4.13	4.13	11.36	5.25
1-1/2 X 1-1/2	40 X 40 X 2.5	40.0	40.0	2.50	2.81	2.96	3.58	8.22	4.11	1.51	8.22	4.11	1.51	4.97	4.97	13.79	6.25
2 X 2	50 X 50 X 1.5	50.0	50.0	1.50	2.28	2.52	2.90	11.07	4.43	1.95	11.07	4.43	1.95	5.15	5.15	17.45	6.66
2 X 2	50 X 50 X 2.0	50.0	50.0	2.00	3.07	3.30	3.91	14.15	5.66	1.90	14.15	5.66	1.90	6.66	6.66	22.73	8.53
2 X 2	50 X 50 X 2.5	50.0	50.0	2.50	3.73	3.96	4.75	16.94	6.78	1.89	16.94	6.78	1.89	8.07	8.07	27.75	10.26
2 X 2	50 X 50 X 3.0	50.0	50.0	3.00	4.45	4.68	5.67	19.47	7.79	1.85	19.47	7.79	1.85	9.39	9.39	32.53	11.84
2-3/4 X 2-3/4	70 X 70 X 1.5	70.0	70.0	1.50	3.20	3.54	4.06	31.46	8.99	2.78	31.46	8.99	2.78	10.36	10.36	48.89	13.50

2-3/4 X 2-3/4	70 X 70 X 2.0	70.0 0	70.0 0	2.00	4.32	4.65	5.50	40.73	11.64	2.72	40.73	11.64	2.72	13.52	13.52	64.10	17.50
2-3/4 X 2-3/4	70 X 70 X 2.5	70.0 0	70.0 0	2.50	5.26	5.59	6.70	49.41	14.12	2.72	49.41	14.12	2.72	16.54	16.54	78.79	21.27
2-3/4 X 2-3/4	70 X 70 X 3.0	70.0 0	70.0 0	3.00	6.30	6.62	8.02	57.53	16.44	2.68	57.53	16.44	2.68	19.42	19.42	92.96	24.82
3 X 3	75 X 75 X 3.0	75.0 0	75.0 0	3.00	6.35		8.41	71.62	19.10	2.92	71.62	19.10	2.92	22.49	22.49	115.14	28.81
3 X 3	75 X 75 X 4.0	75.0 0	75.0 0	4.00	8.35		10.9 5	90.19	24.05	2.87	90.19	24.05	2.87	28.76	28.76	148.83	36.48
3 X 3	75 X 75 X 5.0	75.0 0	75.0 0	5.00	10.3 0		13.3 6	106.33	28.35	2.82	106.33	28.35	2.82	34.46	34.46	180.41	43.33
3 X 3	75 X 75 X 6.0	75.0 0	75.0 0	6.00	12.2 5		15.6 3	120.16	32.04	2.77	120.16	32.04	2.77	39.58	39.58	209.99	49.43
4-1/2 X 3-1/2	90 X 90 X 2.0	90.0 0	90.0 0	2.00	5.58	6.01	7.11	88.86	19.75	3.54	88.86	19.75	3.54	22.78	22.78	138.32	29.66
4-1/2 X 3-1/2	90 X 90 X 2.5	90.0 0	90.0 0	2.50	6.81	7.23	8.68	108.55	24.12	3.54	108.55	24.12	3.54	28.00	28.00	170.65	36.27
4-1/2 X 3-1/2	90 X 90 X 3.0	90.0 0	90.0 0	3.00	8.16	8.58	10.3 9	127.28	28.29	3.50	127.28	28.29	3.50	33.04	33.04	202.14	42.59
4 X 4	100 X 100 X 3.0	100. 00	100. 00	3.00	8.96		11.4 1	177.05	35.41	3.94	177.05	35.41	3.94	41.21	41.21	279.48	53.27
4 X 4	100 X 100 X 4.0	100. 00	100. 00	4.00	12.0 9		14.9 5	226.35	45.27	3.89	226.35	45.27	3.89	53.30	53.30	364.04	68.31
4 X 4	100 X 100 X 5.0	100. 00	100. 00	5.00	14.9 7		18.3 6	271.10	54.22	3.84	271.10	54.22	3.84	64.59	64.59	444.62	82.14
4 X 4	100 X 100 X 6.0	100. 00	100. 00	6.00	17.8 8		21.6 3	311.47	62.29	3.79	311.47	62.29	3.79	75.10	75.10	521.39	94.85
	135 X 135 X 4.0	135. 00	135. 00	4.00	16.1 3		20.5 5	581.70	86.18	5.32	581.70	86.18	5.32	100.2 5	100.2 5	917.81	5
	135 X 135 X 5.0	135. 00	135. 00	5.00	19.9 0		25.3 6	704.91	104.4 3	5.27	704.91	104.4 3	5.27	122.5 3	122.5 3	1,127.6 5	157.4 4

	150 X 150 X 6.0	150. 00	150. 00	6.00	26.4 0		33.6 3	1,145.9 1	152.7 9	5.84	1,145.9 1	152.7 9	5.84	179.8 8	179.8 8	1,843.6 4	230.5 8
	175 X 175 X 5.0	175. 00	175. 00	5.00	27.5 6		33.3 6	1,590.8 6	181.8 1	6.91	1,590.8 6	181.8 1	6.91	211.2 4	211.2 4	2,505.5 8	273.4 7
8 X 8	200 X 200 X 5.0	200. 00	200. 00	5.00	30.1 1		38.3 6	2,410.0 9	241.0 1	7.93	2,410.0 9	241.0 1	7.93	278.8 7	278.8 7	3,771.5 9	362.2 4
	220 X 220 X 7.0	220. 00	220. 00	7.00	46.1 6		58.3 8	4,365.5 5	398.8 7	8.65	4,365.5 5	398.8 7	8.65	462.8 3	462.8 3	6,917.5 2	597.4 9
10 X 10	250 X 250 X 9.0	250. 00	250. 00	9.00	66.4 7		84.6 7	8,093.2 1	647.4 6	9.78	8,093.2 1	647.4 6	9.78	758.7 4	758.7 4	12,925. 82	975.9 5
12 X 12	300 X 300 X 10.0	300. 00	300. 00	10.00	89.0 4		113. 42	15,713. 90	1,047. 59	11.7 7	15,713. 90	1,047. 59	11.7 7	1,223. 86	1,223. 86	24,972. 90	1,577. 87

