



**ELABORACIÓN DE SOFTWARE
COMPUTACIONAL
PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE
ACERO A CORTE.**

Autor:
María J. D'león G.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ELABORACIÓN DE SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA EL
DISEÑO DE CONEXIONES DE ACERO A CORTE.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autor: María D'león
C.I.: 20.427.492
Tutor: Ing. Ramón Mata

San Diego, Enero de 2017



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ramón Mata portador de la cédula de identidad N° 22.728.474, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la ciudadana María D'león, portadora de la cédula de identidad N° 20.427.492, titulado **ELABORACIÓN DE SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE ACERO A CORTE.**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 14 días del mes de Junio del año 2017.

Ing. Ramón Mata.
C.I.: 22.728.474



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-TG-2017-1CR-042

Valencia, 13 de Enero de 2017.

Ciudadana:
D^a León María
C.I. 20.427.492
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2017 de fecha 13/01/2017 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado "**ELABORACIÓN DE SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE ACERO A CORTE.**" Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Ramón Mata, C.I. 22.728.474 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutotes Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,


Prof. Marlene Zambrano
Decana (Encargada) de la Facultad de Ingeniería
(CU.502 de fecha 11/10/2016)



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).
Archivo.

MEZ:jp

ÍNDICE

ÍNDICE DE GRÁFICAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi

CAPÍTULO 3

I EL PROBLEMA 3

1.1 Planteamiento del problema.	3
1.2 Formulación del problema.....	5
1.3 Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1 Objetivo general. 5	
1.3.2 Objetivos específicos.5	
1.4 Justificación de la investigación.....	6
1.5 Alcance y delimitaciones de la investigación.....	6

II MARCO TEÓRICO 7

2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	8
2.2.1. Acero estructural 8	
2.2.1.1. Propiedades y comportamiento del acero 9	
2.2.2. Perfiles de acero.....	12
2.2.2.1. Perfiles Laminados 12	
2.2.2.2. Perfiles Fabricados 13	

2.2.3.	Pernos, golillas y tuercas	13
2.2.4.	Soldadura	19
2.2.5.	Conexiones de acero a corte	24
2.2.6.	Tipos de falla	30
2.3.	Software computacional	35
2.4.	Definición de términos básicos	35
III MARCO METODOLÓGICO		37
3.1.	Tipo de investigación	37
3.2.	Diseño de la investigación.....	38
3.3.	Nivel de la investigación	39
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.5.	Fases Metodológicas	40
IV RECURSOS		43
4.1.	Recursos Humanos	43
4.2.	Recursos Materiales.....	43
4.3.	Recursos institucionales	44
4.4.	Tiempo.....	44
V RESULTADOS		47
5.1.	Describir el comportamiento de las conexiones a corte	47
5.2.	Desarrollar la metodología para el cálculo de las conexiones a corte.	48

5.2.1.	Conexiones de ángulo simple	48
5.2.2.	Conexiones de ángulo doble	49
5.2.3.	Conexión de plancha extrema	50
5.2.4.	Conexiones con plancha simple	51
5.3.	Desarrollar un software para computadoras y dispositivos móviles que genere el diseño de conexiones a corte dependiendo de los tipos de perfiles viga-columna a unir y la carga a soportar.	59
5.4.	Comparación entre el método instantáneo de rotación y el método elástico.....	61
5.5.	Realizar análisis comparativo en cuestión de seguridad entre los tipos de conexión....	67
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

ÍNDICE DE GRÁFICAS CONTENIDO

GRÁFICA

1 TENSION DEFORMACION. FUENTE: DÍAZ, H (2010).....	9
2 GRÁFICA ESFUERZO DEFORMACION. FUENTE: DÍAZ, H (2010).....	18
3 CARGA-DEFORMACION. FUENTE: DÍAZ, H (2010).....	23
4 MOMENTO DEFORMACION. FUENTE: DÍAZ, H (2010).....	.25
5 LÍNEA DE VIGA. FUENTE: DÍAZ, H (2010).....	26
6 CANTIDAD DE PERNOS REQUERIDOS SEGÚN LA CARGA APLICADA.....	..64
7 VARIACION DE LA RESISTENCIA CONTRA LA CARGA ÚLTIMA A CORTE.....	65
8 GROSOR DE SOLDADURA REQUERIDO SEGUN LA CARGA ÚLTIMA.....	66
9 VARIACION DE LA RESISTENCIA REQUERIDA DE LA SOLDADURA SEGÚN CARGA ÚLTIMA A CORTE....	67
10 COMPARACION DE LAS RESISTENCIA Y MÉTODOS DE CÁLCULO.....	.68
11 RESISTENCIA DE APLASTAMIENTO SEGÚN EL GROSOR DEL ALMA DEL PERFIL.....	.69

ÍNDICE DE TABLAS CONTENIDO

TABLA

1 VALORES DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL ACERO.....	11
2 TENSIÓN NOMINAL DE CONECTORES Y PARTES ROSCADAS.....	15
3 DIMENSIONES DE AGUJERO NOMINAL EN MM.....	.15
4 DISTANCIA MÍNIMA DEL CENTRO DEL AGUJERO AL BORDE DE LA PLANCHA EN MM.....	16
5 FACTOR DE MINORACIÓN DE LA RESISTENCIA.....	33
7 TABLA 7-8 PARA EL FACTOR C.....	54
6 TABLA 8-8 PARA EL FACTOR C.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS CONTENIDO

FIGURA

1 método elástico para el diseño de pernos.....	17
2 método del centro instantáneo de rotación para diseño de pernos.....	19
3 método elástico para diseño de soldaduras.....	22
4 método del centro instantáneo de rotación para soldaduras.....	24
5 método del centro instantáneo de rotación para soldaduras.....	24
6 conexión de plancha simple.....	26
7 conexión de plancha extrema.....	27
8 conexión de ángulo simple.....	28
9 conexión de ángulo doble.....	29
10 vistas de interfaces de la aplicación desde un dispositivo móvil.....	60

APÉNDICE

APÉNDICE A EJEMPLO CONEXIÓN DOBLE ÁNGULO. 76



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORACIÓN DE SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE ACERO A CORTE.

Autor: María José D'león.

Tutor: Ing. Ramón Mata.

Fecha: Noviembre, 2016

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad la realización de un software computacional para el diseño de conexiones a cortes, consiguiendo categorizar las conexiones a corte determinando a su vez cual es la más óptima según el método de unión y las solicitudes que esta requiera soportar. Todos los lineamientos teóricos para la creación de dicho protocolo serán consignados en bibliografía como normas, lineamientos, especificaciones y demás que sean lo más acertada posible con el fin de abarcar todos los puntos principales a analizar en un puente que necesite una inspección rutinaria y preventiva siendo esto primordial para el buen funcionamiento de la aplicación. La cual además va a permitir la comparación entre los métodos de diseño de pernos y soldaduras para las conexiones garantizando así que el ingeniero calculista tenga la mejor alternativa para el análisis estructural. Este trabajo de investigación persigue además fomentar una expansión en las herramientas educacionales de los estudiantes de ingeniería civil de manera que se generen otras alternativas que promuevan la agilización de cálculos.

INTRODUCCIÓN

Las conexiones en una estructura vienen a ser de los elementos más importantes de las mismas pues deben garantizar el sostén entre los elementos principales como son las vigas y las columnas, de manera que su diseño debe ser el más preciso mediante los métodos que proporcionen a la estructura tanto seguridad como economía. En la actualidad se manejan el método elástico y el método instantáneo de rotación para el cálculo y diseño de las maneras de unión entre las conexiones, por pernos o soldaduras, sin embargo no se cuenta con una herramienta capaz de dar resultados veraces de los mismos a manera de compararlos y elegir el que más convenga dependiendo de cada caso. Es por ello que se hace precisa la creación de una herramienta computacional que pueda ser ejecutada desde incluso dispositivos móviles, de manera que el profesional tenga en cualquier momento la posibilidad de consultar cuando una conexión a corte es mejor que otra en cada caso que lo requiera, proporcionando seguridad en lo que a precisión se refiere sin dejar de lado en ningún momento si criterio profesional para la elección de la conexión a utilizar, puesto que aunque todas pueden presentar la misma resistencia de soporte, dependiendo de cada caso su método de unión puede ser o no beneficioso para la estructura en la cual va a ser utilizada, es por ello que se elaborara la comparación entre cada método a manera de dar las herramientas necesaria al momento de la toma de decisión. Cabe destacar además que en Venezuela en la actualidad por problemas de varia índole se requiere al ahorro máximo de material para la realización de cualquier obra, de manera que la capacidad de tener en cuenta este tipo de comparación tiene bastante peso al momento del diseño de cada conexión a corte. El siguiente trabajo de investigación se desarrollará en 4 capítulos los cuales son:

El Capítulo I, El problema: Planteamiento del problema, Formulación del problema, Objetivos Generales y específicos de la investigación, e Importancia, Justificación y Alcance del mismo.

En el Capítulo II, se plantea el marco teórico que sirve de base documental para la realización del trabajo; en este capítulo se incluyen los antecedentes relacionados con la temática, objeto de estudio, las bases teóricas y bases legales.

En el Capítulo III se encuentra el Marco Metodológico, el cual comprende el nivel, diseño y método de la investigación; técnicas e instrumentos de recolección de información y el procedimiento empleado para analizar la información.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

El hombre a lo largo de su historia ha utilizado diferentes materiales para el desarrollo de la tecnología en el plano constructivo, uno de ellos es el acero. Durante los últimos tiempos el acero ha logrado, a nivel mundial, incrementar su consumo y cantidad de usos, esto puesto a que sus características son definitivamente ventajosas en comparación con el resto de materiales, entre estas características resaltan las altas capacidades de transmitir calor y corriente, excelente ductilidad, su bajo peso, y las capacidades resistentes ante la aplicación de esfuerzos de tensión (tracción), compresión y cortante. Además de esto el acero resalta entre sus ventajas que la mayoría de propiedades se mantienen constantes con los años siempre y cuando se le brinde los cuidados adecuados, figurándose así como un elemento constructivo importante, utilizado en estructuras de pequeña y gran envergadura, desde pequeños galpones industriales hasta grandes puentes como el El Golden Gate de San Francisco o mega construcciones como la torre Burj Khalifa en Dubai.

El acero estructural puede laminarse en una gran variedad de formas y tamaños sin un cambio apreciable de sus propiedades físicas. Normalmente los miembros más ventajosos son aquellos que tienen grandes módulos de sección en proporción con sus áreas de sus secciones transversales, es por esto que las formas I o W, T, y canal, son comúnmente utilizadas para la construcción de elementos estructurales, como son las vigas, las cuales transportan todas las fuerzas a las columnas y estas a su vez a las fundaciones. Los esfuerzos que pueden soportar las estructuras están delimitados por el tipo de apoyo que los elementos presenten en sus extremos, pueden ser fuerzas cortantes, axiales y momentos flectores. Estos elementos deben garantizar la estabilidad de la edificación y es por eso que debe asegurarse que las dimensiones de los perfiles a utilizar tengan por lo mínimo el área

de sección requerida, de manera que entre más área tenga el perfil más rigidez tendrá el elemento y por consiguiente la estructura, esto por supuesto sin llegar a niveles de sobredimensión. Cabe destacar que las estructuras de acero no solo están conformadas por vigas y columnas sino por todos los elementos que hacen el papel de unión entre ellas, a través de varios tipos de conectores como soldaduras, tornillos y remaches, estos conectores juegan un papel fundamental en la rigidez de la conexión y por ello tienen un espacio para su respectivo cálculo.

Entre las conexiones de acero, existen tres tipos para unir elementos viga-columna, el primer tipo abarca las conexiones en las cuales la resistencia al momento es muy pequeña y es razonable despreciarla, asumiendo el elemento articulado por ambos extremos llegando así a considerar únicamente el cortante, este es el tipo de conexiones es el más común en las edificaciones y al cual se le dedica mayor tiempo de cálculo, es por ello que será tomado como tipo de conexión para la investigación a continuación. Entre las conexiones de tipo I o conexiones a corte, se distinguen varios ejemplares dependiendo del sitio al cual se unen a la viga que va a ser soportada y la cantidad de ángulos o zonas de unión requeridas, estas son: Plancha extrema en cortante (shear end-plate), de doble ángulo (double angles), de ángulo simple (single angle), de plancha simple (single plate), tipo "T" (Tee) y de asiento rigidizadas (StiffenedSeatedConnections) y no rigidizadas (UnstiffenedSeatedConnections).

En términos constructivos y de seguridad, el proyectista no es totalmente libre a la hora de elegir cuál tipo de conexión es la correcta para la estructura, este siempre debe asegurar que la unión pueda transmitir el nivel de carga requerido bajo un código de diseño establecido, debido a esto, en esta investigación se hará uso de la norma AISC (American Institute of Steel Construction) para el cálculo de las distintas conexiones a corte, puesto que aunque en Venezuela existe la norma COVENIN 1618-98, la misma se encuentra en desuso por muchos calculistas por tener mucho tiempo sin renovar. En el campo económico, aunque en el resto del mundo los precios de la mano de obra han aumentado más que los del acero en

Venezuela esto no es un caso común, puesto que varios problemas de producción han llevado a que las grandes siderúrgicas del país produzcan solo una cuarta parte de esta materia prima, haciendo que el acero tenga una gran demanda y por ende altos costos, es por ello que el ahorro del mismo para la fabricación de todos los elementos constructivos, incluyendo las conexiones, se hace imperioso dejando a un lado la sobredimensión para garantizar estabilidad.

En base a lo mencionado, queda decidir cuál tipo de conexión es la más óptima en cuanto a seguridad, decisión que va de la mano con el aspecto económico y que en muchas ocasiones debe ser tomada en momentos en los cuales realizar un cálculo meticuloso podría tomar tiempo importante y acarrear inexactitudes en los resultados, lo cual queda al criterio del proyectista, además que en la actualidad no se cuenta con una herramienta tecnológica, como un software computarizado, que permita agilizar estas actividades.

1.2 Formulación del problema.

Al no existir una herramienta tecnológica que diseñe las conexiones de acero a corte de manera rápida y veraz, el calculista incurre en gastos de tiempo durante la comparación y selección de la misma de acuerdo a su criterio, lo que conlleva comúnmente a la sobredimensión de conexiones para garantizar seguridad generando gastos económicos importantes. Cabe destacar que los gastos no solo son de tiempo de diseño y material sino en montaje, el cual presenta una relación directa con el cálculo, debido a que cada conexión tiene una manera distinta de instalación.

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Elaborar un Software computacional para el diseño de las conexiones de acero a corte.

1.3.2 Objetivos específicos.

- 1) Describir el comportamiento de las conexiones a corte.
- 2) Desarrollar la metodología para el cálculo de las conexiones a corte.

- 3) Desarrollar un software para computadoras y dispositivos móviles que genere el diseño de conexiones a corte dependiendo de los tipos de perfiles viga-columna a unir y la carga a soportar.
- 4) Realizar análisis comparativo en cuestión de seguridad entre los tipos de conexiones a corte.
- 5) Realizar análisis comparativo en cuestión de economía entre los tipos de conexiones a corte.

1.4 Justificación de la investigación.

En el campo profesional, el producto del trabajo investigativo sustituirá de manera rápida y veraz los cálculos manuales, monótonos y repetitivos que requiere el diseño de las conexiones de acero a corte utilizadas en cualquier estructura, disminuyendo el posible riesgo de error humano en los resultados, generando el diseño de estructuras seguras en un plazo menor de tiempo.

Enfocado en el tema económico, una estructura además de ser segura debe ser garantizar de que el presupuesto destinado a ella debe ser el menor posible, de manera que esta herramienta va a ayudar al calculista a tomar la decisión de cual conexión genera menos gastos de material y montaje aunado a la comodidad de disponer de la mencionada herramienta en la computadora de trabajo o incluso en el dispositivo móvil personal.

1.5 Alcance y delimitaciones de la investigación.

En el campo profesional de la ingeniería civil, servirá como herramienta fundamental para el ingeniero calculista e inspector en sus labores de diseño y supervisión respectivamente, de igual manera en el campo educativo, la siguiente investigación ayudará a los estudiantes de las carreras afines a la construcción a comprobar si los cálculos realizados de manera manual están en lo correcto y en el campo investigativo, servirá como base para futuros proyectos relacionados con la automatización de cálculos ingenieriles.

El software para el diseño de conexiones de acero a corte estará delimitado solamente para el uso de perfiles tipo I o Wide Flange, y el tipo de conexiones serán las tipo de plancha extrema, doble ángulo, plancha simple y de ángulo simple.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Faundes P; (2002) en su trabajo titulado **“Diseño y detallado de conexiones para edificaciones de acero estructural”**, realizado en la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. En el cual se expusieron los criterios para el diseño y detallado de conexiones en acero según documentos de la Agencia Federal para la Gerencia de Emergencias (FEMA) y el Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC) tomando como referencia la estructura didáctica instalada en el edificio de laboratorios de la facultad de ingeniería de esta casa de estudios. Para el desarrollo de esta investigación se hizo uso de los programas EXCEL y AutoCAD. En los resultados se obtuvo que los requisitos expuestos por la norma venezolana COVENIN 1618-98 están basados en las extensas investigaciones analíticas y experimentales que fundamentan los cambios de las normas de la AISC. Otro resultado importante es el señalamiento al hecho de que un ingeniero debe verificar que la conexión satisface los requisitos exigidos para la misma.

Así mismo, Reinoza, H; Rivero, J (2004) en su trabajo de grado titulado **“Diseño de conexiones viga-columna sometidas a corte y flexión para pórticos de acero”**, realizado en la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. En el cual se determinó un procedimiento para el diseño de conexiones viga-columna sometidas a corte y flexión bajo solicitaciones sísmicas y no sísmicas, para pórticos de acero, rigiéndose por las especificaciones de la norma venezolana COVENIN 1618-98. En los resultados se obtuvo que es de suma importancia verificar la resistencia de los distintos elementos que pueden comprender la conexión, ya sean pernos, soldaduras, planchas, entre otros además de establecer que los resultados obtenidos con la norma antes mencionada aún se encontraban vigentes para ese año.

De igual manera, Acuña, J; Sotelo, H (2014) en su trabajo de grado titulado **“Software libre para el diseño de conexiones metálicas de acuerdo con la NSR-10”**, realizado en la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. En el cual desarrolló un software libre para el diseño de conexiones metálicas de acuerdo a la NSR-10. El diseño de conexiones pernadas y soldadas se realizó utilizando el lenguaje Python 2.7, con la ayuda del módulo Math, mientras que el resultado de la programación y el informe de resultados se realizaron utilizando la biblioteca Reportlab, encargada de la creación de un archivo PDF. El resultado principal de este trabajo de grado fue que implementación de software libre como herramienta de aprendizaje es ideal para que la comunidad estudiantil tenga un medio para corroborar lo aprendido en cátedra.

Finalmente, Astorga, J (2009) en su trabajo de grado titulado **“Diseño sísmico de un edificio de marcos de acero con conexiones viga columna sma”**, realizado en la Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. En el cual se presenta el diseño sísmico de un edificio de marcos de acero simétrico de 3 pisos, planta 20x20m con disipadores en la conexión viga-columna y la verificación de su comportamiento bajo la acción de un registro sísmico. El diseño se realizó según la norma sísmica NCh 433 of. 96, usando el método estático. El análisis sísmico se realizó con el software DRAIN-2DX, aprovechando condiciones de simetría para usar un modelo plano. El resultado principal de este trabajo de grado fue que Para diseñar la conexión se utilizaron dos criterios importantes: uno de ellos es considerar sólo la carga gravitacional para determinar la cantidad de barras de SMA y así en cuanto comienza el sismo, estas barras se plastifican y disipan energía, y consideran que la conexión rotacional rota entorno al centro de masa de las barras, generando un brazo de palanca igual a la altura de separación de barras superiores e inferiores.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Acero estructural

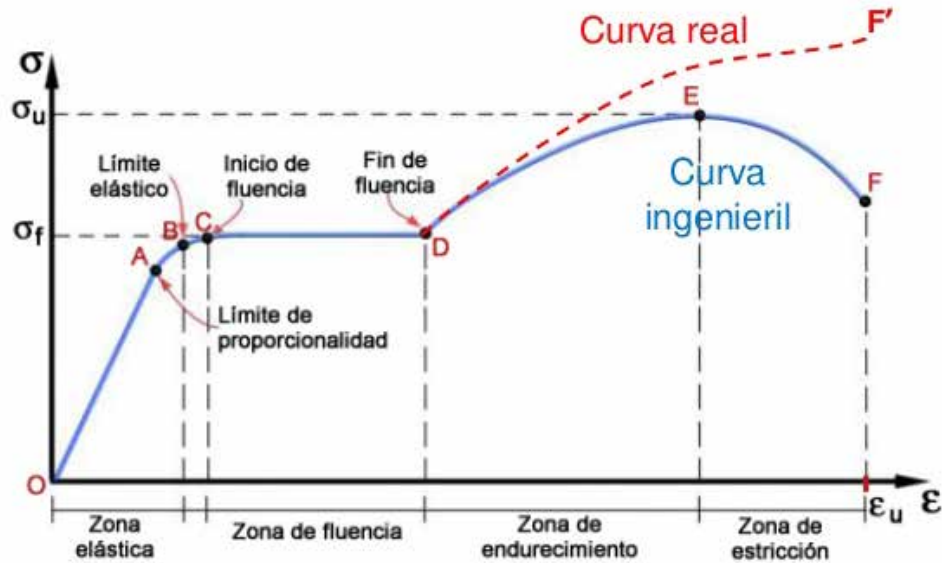
Según Gómez, A (2012), el acero estructural se define como lo que se obtiene al combinar el hierro, carbono y pequeñas proporciones de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le contribuyen un conjunto de propiedades determinadas. La norma AISC 360-10 establece que los informes de ensayos de materiales realizados por el fabricante o por un laboratorio de ensayos serán considerados evidencia suficiente mientras se realicen de acuerdo con los estándares de la norma ASTM. En el caso de perfiles laminados en caliente, planchas y barras, los ensayos deberán realizarse de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM A6/A6M; para láminas, los ensayos deberán realizarse de acuerdo con lo especificado en la norma A568/A568M; para tubos y cañerías, los ensayos deberán realizarse de acuerdo con el estándar ASTM de la lista anterior que sea aplicable.

2.2.1.1. Propiedades y comportamiento del acero

Según la norma UNE-EN 10020:2001 las propiedades del acero estructural se derivan de la siguiente manera:

- **Tensión-Deformación**

El diagrama tensión-deformación resulta de la representación gráfica del ensayo de tracción, normalizado en UNE-EN 10020:2001, y que consiste en someter a una probeta de acero normalizada a un esfuerzo creciente de tracción según su eje hasta la rotura de la misma. El ensayo de tracción permite el cálculo de diversas propiedades mecánicas del acero como indica la gráfica 1:



Gráfica 1 Tensión deformación. Fuente: Díaz, H (2010)

Hasta llegar al punto A se conserva una proporcionalidad entre la tensión alcanzada y el alargamiento unitario producido en la pieza; pasado el punto A y hasta llegar al punto B, los alargamientos producidos incluso crecen de manera más rápida con la tensión, y se cumple que al cesar la carga, la pieza recupera de nuevo su geometría inicial, es decir, se sigue comportando elásticamente.

Tras pasado el punto B el material pasa a comportarse de manera plástica, es decir, que no recupera su longitud inicial, quedando una deformación remanente al cesar la carga. De esta manera, el proceso de descarga se realiza siguiendo la trayectoria según la línea punteada mostrada del diagrama tensión-deformación, que

Si se sigue aplicando carga se llega al punto identificado en la gráfica como C, donde a partir de aquí y hasta el punto D, las deformaciones crecen de manera rápida mientras que la carga fluctúa entre dos valores, llamados límites de cedencia, superior e inferior. Este nuevo estadio, denominado de cedencia, es característico exclusivamente de los aceros dúctiles, no apareciendo en los aceros endurecidos.

Más allá del punto de cedencia D es necesario seguir aplicando un aumento de la carga para conseguir un pronunciado aumento del alargamiento. Entramos ya en la zona de las grandes deformaciones plásticas hasta alcanzar el punto F, donde la carga alcanza su valor máximo, lo que dividida por el área inicial de la probeta proporciona la tensión máxima de rotura o resistencia a la tracción.

A partir del punto E tiene lugar el fenómeno de estricción de la probeta, consistente en una reducción de la sección en la zona de la rotura, y el responsable del periodo de bajada del diagrama, dado que al reducirse el valor de la sección real, el valor de la carga aplicado a partir del punto E también se va reduciendo hasta alcanzar el punto F de rotura.

- **Límite elástico y Resistencia a la tracción**

La determinación de las propiedades mecánicas en el acero, como el límite elástico (f_y), la resistencia a tracción (f_u), así como de otras características mecánicas del acero como el Módulo de Elasticidad (E), o el alargamiento máximo que se produce en la rotura, se efectuará mediante el anteriormente definido ensayo de tracción normalizado en la UNE-EN 10002-1.

El valor de la tensión última o resistencia a la tracción se calcula a partir de este ensayo, y se define como el cociente entre la carga máxima que ha provocado el fallo a rotura del material por tracción y la superficie de la sección transversal inicial de la probeta, mientras que el límite elástico marca el umbral que, una vez se ha superado, el material trabaja bajo un comportamiento plástico y deformaciones remanente.

Se adjunta la Tabla 1 con los valores de la resistencia a la tracción, así como del límite elástico y dureza, según la norma americana AISI:

Tabla 1 Valores de la resistencia a la tracción del acero

Características Mecánicas				
AISI	Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Dureza	
	Kg/mm²	Kg/mm²	H R_b Máx.	Brinell Máx.
201	70-80	30	95	201
301	52-75	21	88	185
302	52-70	21	88	183
302 B	55-75	21	88	183
303	52-70	21	90	180
304	50-70	21	88	183
304 L	50-65	18	88	183
304 H	75	30	92	183
304 LN	75	30	92	202
305	50-70	20	88	183
308	50-70	21	88	183
309	50-75	25	95	217
309 S	50-75	25	95	217
310	50-75	25	95	217
310 S	50-75	25	95	217
314	50-75	25	95	217
316	50-75	21	95	217
316 L	50-70	18	95	217
316 N	80	35	95	217
316 LN	75	30	95	217

Fuente: AISC 2010

· **Módulo de elasticidad longitudinal o Módulo de Young**

Para comprender el concepto de Módulo de Elasticidad longitudinal del material, se debe partir del ensayo de tracción ya descrito en el apartado 2 de este tutorial. De esta manera se vio que si sobre una probeta cilíndrica de acero de sección transversal A_0 y longitud inicial L_0 se le someta a una tracción F que actúa a lo largo de su eje, ésta sufrirá, por efecto de la sollicitación, un alargamiento de magnitud ΔL .

El Módulo de Elasticidad o Módulo de Young, para el cálculo y diseño de estructuras de acero en el rango elástico, toma convencionalmente el siguiente valor:

$$E= 210.000 \text{ N/mm}^2$$

- **Módulo de cortante**

El módulo de elasticidad transversal, módulo de cortante o módulo de cizalla, para la mayoría de los materiales, y en concreto para los materiales isótropos, guarda una relación fija con el módulo de elasticidad longitudinal y el coeficiente de Poisson, para el acero constructivo se utiliza un valor de 81.000 MPa siempre y cuando se encuentre trabajando sobre su comportamiento elástico.

2.2.2. Perfiles de acero

Según la AISC 360-10 los perfiles de acero estructural se clasifican en los siguientes:

2.2.2.1. Perfiles Laminados

Los perfiles laminados en caliente de acero calidad ASTM A6/A6M, con espesores de ala mayores de 2" (50 mm.) son considerados perfiles laminados pesados. Los perfiles laminados pesados usados como miembros sujetos a fuerzas primarias (calculadas) de tracción, debido a solicitaciones de tracción o flexión, empalmados o conectados mediante soldadura de tope de penetración completa, fundida a través del ala, o del ala y el alma deberán ser especificados como se explica a continuación. Los documentos de diseño estructural requerirán que tales perfiles sean entregados previamente ensayados al impacto mediante el ensayo de muesca en V de Charpy (CVN), de acuerdo con el estándar ASTM A6/A6M, Supplementary Requirements S30, Charpy V Notch Impact Tests for Structural Shapes – Alternate Core Location. El ensayo de impacto deberá satisfacer un promedio mínimo de 20 libras-pie (27J) de energía absorbida a una temperatura máxima de +70°F (21°C). Los requisitos anteriores no se aplican a empalmes y conexiones apernadas. Donde una sección laminada en caliente es soldada a la superficie de otra sección mediante soldaduras de tope, los requisitos anteriores se aplican solo a la sección que presenta soldadura a través de su sección transversal completa.

Nota: Requisitos adicionales para uniones de perfiles laminados pesados se dan en las Secciones J1.5, J1.6, J2.7, y M2.2.

2.2.2.2. Perfiles Fabricados

Las secciones fabricadas con planchas gruesas de espesores superiores a 2” (50 mm.) son considerados perfiles fabricados pesados. Los perfiles fabricados pesados usados como miembros sujetos a fuerzas primarias (calculadas) de tracción, debido a solicitaciones de tracción o flexión, empalmados o conectados mediante soldadura a tope de penetración completa, fundida en todo el espesor del miembro, deberán ser especificados como se explica a continuación. Los documentos de diseño estructural requerirán que tales perfiles sean entregados previamente ensayados al impacto mediante el ensayo de muesca en V de Charpy (CVN), de acuerdo con el estándar ASTM A6/A6M, Supplementary Requirements S5, Charpy V Notch Impact Tests. El ensayo de impacto deberá realizarse de acuerdo con el estándar ASTM A673/A673M, frecuencia P, y deberán satisfacer un promedio mínimo de 20 libras-pie (27J) de energía absorbida a una temperatura máxima de +70°F (21°C). Los requisitos anteriores se aplican también a secciones fabricadas de planchas de espesor mayor de 2” (50 mm.), que estén soldadas mediante soldadura a tope de penetración completa a la cara de otras secciones.

Nota: Requisitos adicionales para uniones de perfiles fabricados pesados se dan en las Secciones J1.5, J1.6, J2.6, y M2.2.

2.2.3. Pernos, golillas y tuercas

De igual manera la norma AISC 360-10 establece que el material de pernos, golillas y tuercas sujeto a las siguientes especificaciones ASTM es aceptable de ser usados de acuerdo con esta especificación:

- Pernos: ASTM A307 ASTM A325 ASTM A325M ASTM A354
ASTM A449 ASTM A490 ASTM A490M ASTM F1852
- Tuercas: ASTM A194/A194M ASTM A563 ASTM A563M
- Golillas: ASTM F436 ASTM F436M ASTM F844.

2.2.3.1. Resistencia para los pernos:

Cuando se utilizan perno o barras roscadas de material ASTM A354 Gr. BC, A354 Gr. BD, o A449 en conexiones de deslizamiento crítico, la geometría del perno incluyendo la cabeza y la(s) tuerca(s) debe ser igual o proporcional (si son mayores en diámetro) a las entregadas por los pernos ASTM A325 o A490. La instalación debe cumplir con los requisitos aplicables por la Especificación RCSC con modificaciones según lo requiera para el diámetro aumentado y/o la longitud para proveer la pretensión de diseño. En términos generales que la resistencia de un perno viene dada por las siguientes expresiones:

- Al corte:

$$\phi rn = \phi F_{nv} A_b$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

F_{nv} = Tensión tracción nominal

A_b = Área bruta del perno

- Al desgarre/ aplastamiento:

$$\phi rn = \phi 1.2 L_c t F_u \leq \phi 2.4 d_b t F_u$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

L_c = Distancia libre en la dirección de la carga.

t = Espesor del material conectado.

F_u = Resistencia última del material conectado.

d_b = diámetro del perno.

A continuación se presentan las Tabla 2 y Tabla 3 con los valores de tensión nominal y dimensiones de los agujeros.

Tabla 2 Tensión nominal de conectores y partes roscadas

Tensión Nominal de Conectores y Partes Roscadas, kgf/cm ² (MPa)		
Descripción del Conector	Tensión de Tracción Nominal, F_{nt} , kgf/cm ² (MPa) ^(a)	Tensión de Corte Nominal en Conexiones de Tipo Aplastamiento, F_{nt} , kgf/cm ² (MPa)
Pernos A307	3.160 (310) ^(b)	1.900 (188) ^{(b)-(d)}
Grupo A (ej. Pernos A325), cuando la rosca no esta excluida en el plano de corte	6.320 (620)	3.800 (372) ^(b)
Grupo A (ej. Pernos A325), cuando la rosca esta excluida en el plano de corte	6.320 (620)	4.780 (469) ^(b)
Grupo B (ej. Pernos A490), cuando la rosca no esta excluida en el plano de corte	7.950 (780)	4.780 (469) ^(b)
Grupo B (ej. Pernos A490), cuando la rosca esta excluida en el plano de corte	7.950 (780)	5.900 (579) ^(b)
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4, cuando la rosca no esta excluida en el plano de corte	$0,75F_u$	$0,450F_u$ ^(b)
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4, cuando la rosca esta excluida en el plano de corte	$0,75F_u$	$0,563F_u$ ^(b)

Fuente: AISC 2010

Tabla 3 Dimensiones de Agujero nominal en mm

Dimensiones de Agujero Nominal, mm				
Diámetro Perno	Dimensiones Agujero			
	Estándar (Dia.)	Sobretamaño (Dia.)	Ranura Corta (Ancho x Largo)	Ranura Larga (Ancho x Largo)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27 ^[a]	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75

Fuente: AISC 2010

La distancia entre centros de perforaciones estándar, sobremedidas, o ranuradas, no debe ser menor que 2-2/3 veces el diámetro nominal, d , del conector; se prefiere una distancia de $3d$. Con respecto al espaciamiento mínimo de la perforación al borde del elemento se presenta la Tabla 4 con los valores correspondientes.

Tabla 4 Distancia mínima del centro del agujero al borde de la plancha en mm

Distancia Mínima al Borde ^[a] , mm, desde el Centro del Agujero Estándar ^[b] hasta el Borde de la Parte Conectada	
Diámetro Perno (mm)	En bordes laminados de Planchas, Perfiles o Barras, o en bordes por corte térmico ^[c]
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Sobre 36	1,25d

Fuente: AISC 2010

La distancia máxima desde el centro de cualquier perno o remache hasta el borde más cercano de partes en contacto debe ser 12 veces el espesor de la parte conectada bajo consideración, pero no debe exceder de 150 mm. El espaciamiento longitudinal de los conectores entre elementos en contacto continuo consistentes de un perfil o dos planchas debe ser la siguiente:

- Para miembros pintados o sin pintar no sujetos a corrosión, el espaciamiento no debe exceder de 24 veces el espesor de la plancha más delgada o 305 mm.
- Para miembros sin pintar de acero de alta resistencia a la corrosión atmosférica, el espaciamiento no debe exceder de 14 veces el espesor de la plancha más delgada o 180 mm.

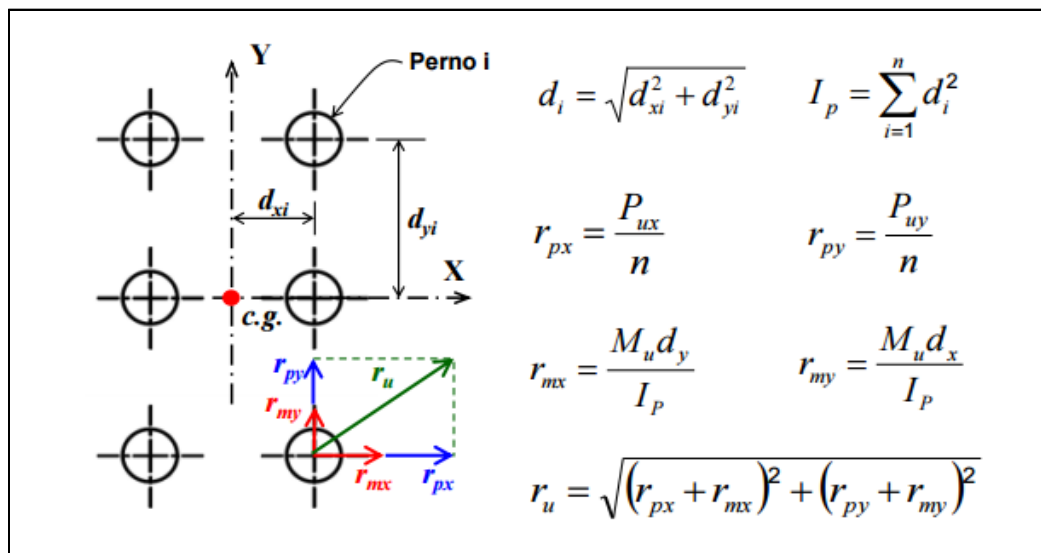
2.2.3.2. Diseño del conjunto de pernos

Arias, H (2010), para el diseño del conjunto de pernos existen el método del centro instantáneo de rotación y el método elástico, los cuales deben ser comparados en cada caso para verificar cual proporciona la combinación más óptima.

- Método elástico:

Emplea principios de mecánica de los materiales, permite obtener fuerzas y su orientación cualquier perno dentro del grupo.

Para su desarrollo se asume que la conexión rota respecto al centro de gravedad del grupo de pernos, que las fuerzas que actúan excéntricamente se resuelven mediante cortantes y momentos actuando en el centro de gravedad del grupo de pernos, que las fuerzas internas son directamente proporcionales a la distancia entre el perno y el centro de gravedad para finalmente realizar el análisis sobre el perno mas alejado del centro de gravedad por considerarlo el mas vulnerable.

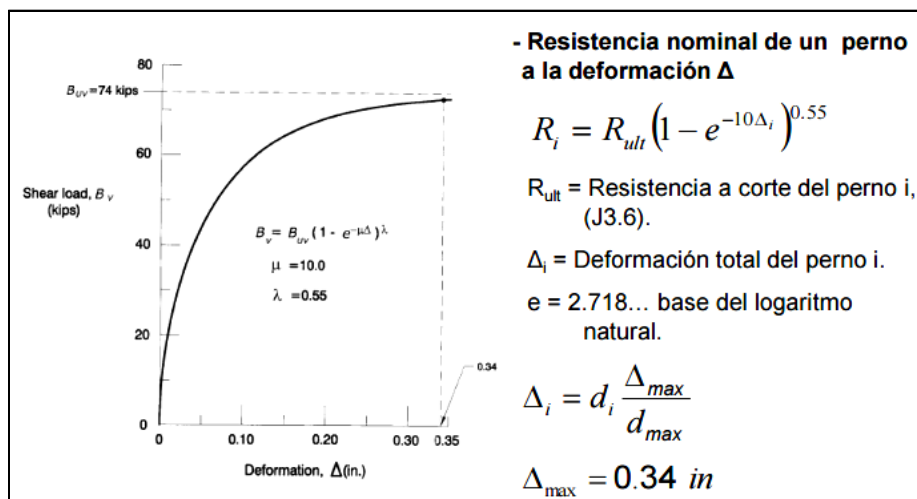


Figural Método elástico para el diseño de pernos. Fuente: Díaz, H (2010)

- Método del centro instantáneo de rotación:

Es un método de iteración no lineal el cual esta tabulado en la norma de la AISC actual, por ende se considera más preciso sin embargo no es fácil de verificar.

Su desarrollo está basado en la teoría de rotura, tomando en cuenta la capacidad de deformación de los pernos y su ductilidad, tomando en cuenta además una excentricidad que produce una rotación y traslación relativa, cuyo efecto combinado es equivalente a una rotación respecto a un centro a un centro instantáneo de rotación “IC”, el cual dependerá de la geometría de los pernos, su excentricidad y la dirección de las cargas. Cabe resaltar que la deformación máxima aceptada para este método es de 0.34 pulgadas.



Gráfica 2 Gráfica esfuerzo deformación. Fuente: Díaz, H (2010)

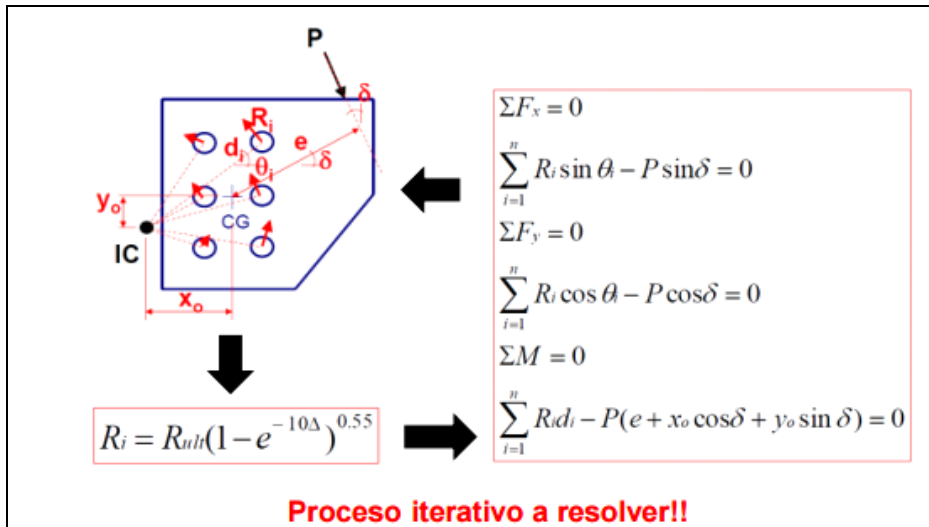


Figura2 Método del centro instantáneo de rotación para diseño de pernos.

Fuente: Díaz, H (2010)

2.2.4. Soldadura

2.2.4.1. Soldaduras de Filete

Según Maria Fratelli (2003) las soldaduras de filete son las de sección transversal triangular, que unen las caras o los bordes de los miembros colocados usualmente en ángulo recto, o bien las planchas solapadas. Sus dimensiones quedan definidas por la resistencia requerida, la calidad de los electrodos y el tamaño de las piezas a conectar.

El espesor efectivo de la garganta t_s es la perpendicular trazada desde la raíz de la soldadura a la hipotenusa que uno los extremos de los lados, que pueden ser iguales o desiguales. En este análisis se tomarán en consideración únicamente los cordones de lados iguales D , los cuales definen el tamaño o espesor nominal de la soldadura.

Los procesos de ejecución de este tipo de cordones pueden ser:

- De arco metálico protegido:

$$ts = \frac{D\sqrt{2}}{2} = 0.707D$$

- De arco metálico sumergido.

$$ts = D \text{ para } D \leq 10mm$$

o

$$ts = \left(\frac{D\sqrt{2}}{2} \right) + 3mm \text{ para } D > 10mm$$

La norma AICS actual establece que el área efectiva de una soldadura de filete será la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva. La garganta efectiva de una soldadura de filete debe ser la menor distancia desde la raíz hasta la superficie de la soldadura. Se permite un aumento en la garganta efectiva si se demuestra una penetración consistente más allá de la raíz de la soldadura mediante ensayos consistentes al proceso de producción y las variables de procedimiento. Para soldadura de filete en perforaciones y ranuras, la longitud efectiva debe ser la longitud del eje central de la soldadura a lo largo del plano que pasa a través de la garganta. En el caso de filetes traslapados, el área efectiva no debe exceder el área nominal de la perforación o ranura, en el plano de la superficie de contacto.

El tamaño máximo de soldadura de filete para partes conectadas debe ser: (a) A lo largo de los bordes del material con espesor menor a 6 mm, no mayor que el espesor del material. (b) A lo largo de los bordes del material con espesor igual o mayor a 6 mm, no mayor que el espesor del material menos 2 mm, a no ser que la soldadura sea designada especialmente en los planos para ser ejecutada de manera de obtener el espesor de la garganta completa. En la condición de soldado, se permite que la distancia entre el borde del metal base y el talón de la soldadura sea menor que 2 mm siempre que sea posible verificar el tamaño de la soldadura.

2.2.4.2. Soldaduras de Tapón

Como explica Maria Fratelli (2003), las soldaduras de tapón son las que rellenen los huecos circulares en las planchas a conectar. La penetración del metal de aporte puede ser total o parcial en una altura D .

Este tipo de soldadura cumplen las siguientes funciones estructurales:

- Rellenar los huecos dejados por los pernos provisionales que se colocan en las planchas o miembros a unir, para mantenerlos firmemente en su lugar mientras se ejecutan las soldaduras, de modo de no disminuir la sección transversal de los mismos en régimen de servicio.
- Rellenar las perforaciones realizadas intencionalmente en una de las planchas o miembros conectados, cuando los cordones perimetrales son insuficientes por razones de espacio o solape limitado, de modo de completar la longitud de soldadura exigida en el diseño. también cumplen la función de evitar el pandeo local de los miembros mediante puntos o de cordones adicionales en secciones intermedias de la luz.

Según la norma AISC, el área de corte efectivo de soldaduras de tapón debe ser considerada como el área nominal de la perforación o ranura en el plano de la superficie de contacto. El espesor de las soldaduras de tapón o de ranura en un material de espesor 16 mm o menor debe ser igual al espesor del material. En materiales con espesores mayores a 16 mm, el espesor de la soldadura debe ser por lo menos un medio del espesor del material pero no menor que 16 mm.

2.2.4.3. Resistencia para las soldaduras

La resistencia de diseño según la normal AISC 360-

resistencia del material base determinada de acuerdo con los estados límites de ruptura en tracción y ruptura en corte y la resistencia del metal de soldadura

determinada de acuerdo con el estado límite de cedencia, como se menciona a continuación:

- Para el metal base:

$$R_n = F_{nMB} \cdot A_{BM}$$

- Para el metal de soldadura:

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Donde:

F_{nMB} = tensión nominal del metal base, kgf/cm² (MPa)

F_{nw} = tensión nominal del metal de soldadura, kgf/cm² (MPa)

A_{BM} = área de la sección transversal del metal base, cm² (mm²)

A_{we} = área efectiva de la soldadura, cm² (mm²)

En términos generales que la resistencia de un perno viene dada por la siguiente expresión:

- Al corte:

$$\phi r_n = 0.6 \phi F_y A_w C_v \geq V_u$$

Donde:

$$\phi = 1$$

$$C_v = 1$$

2.2.4.4. Diseño de las soldaduras

Al igual que para los pernos, según Arias, H (2010), se presentan de nuevo el método elástico y el método del centro instantáneo de rotación para el diseño de soldaduras.

- Análisis elástico

Este método utiliza principios de mecánica de los materiales permitiendo obtener las fuerzas y su orientación desde cualquier punto del grupo de soldadura.

Para su desarrollo se asume la conexión rota respecto al centro de gravedad del grupo de soldaduras, las fuerzas que actúan excéntricamente se resuelven mediante cortantes y momentos actuando en el centro de gravedad del grupo de soldaduras, las fuerzas internas son directamente proporcionales a la distancia entre cada punto y el centro de gravedad teniendo en cuenta que el análisis se realiza sobre el punto más alejado al centro de gravedad.

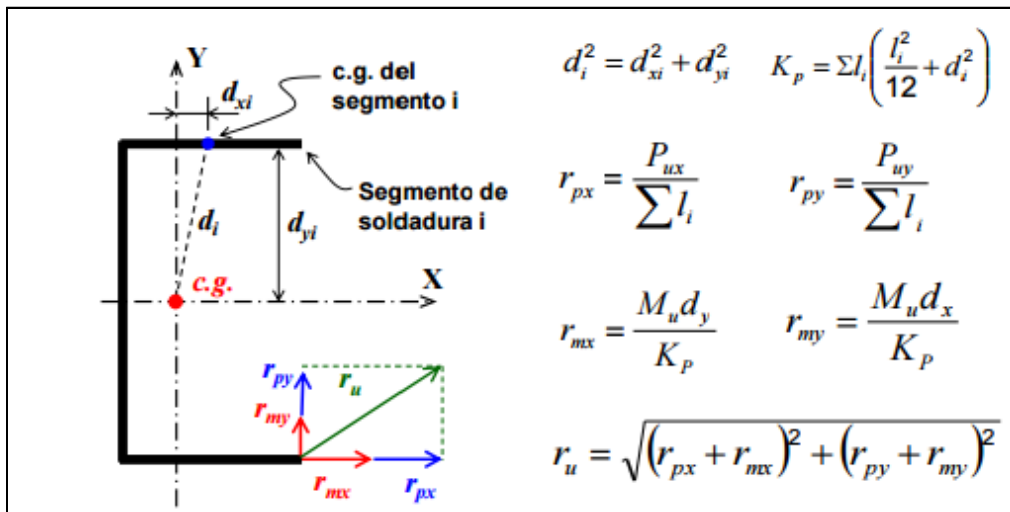
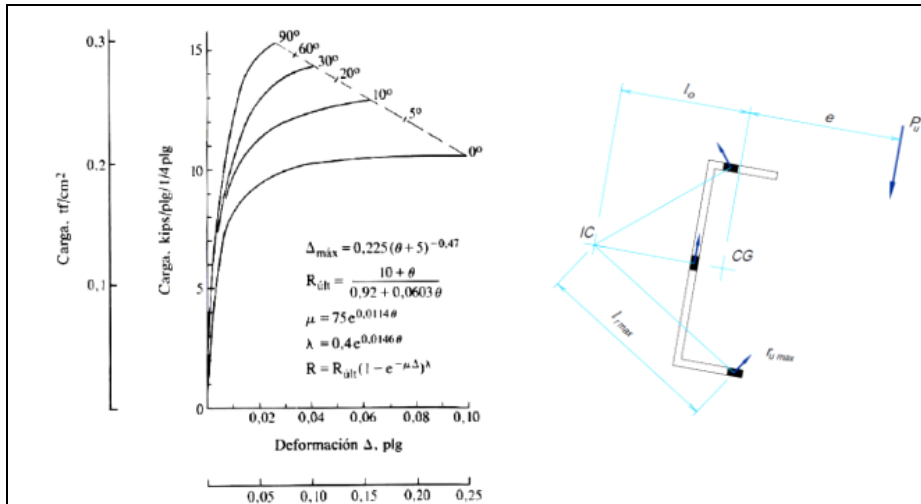


Figura3 Método elástico para diseño de soldaduras. Fuente: Díaz, H (2010).

- Análisis del centro instantáneo de rotación:

Al igual que el utilizado para los pernos, este método se encuentra tabulado en la AISC, aunque es muy preciso no es fácil de verificar puesto que es un método iterativo.

Este método está basado en la teoría de rotura, tomando en cuenta el incremento de resistencia por la orientación en la soldadura respecto a la fuerza aplicada. Se toma en cuenta la ductilidad y la excentricidad produce una rotación y una translación relativa, cuyo efecto combinado es equivalente a una rotación respecto a un centro instantáneo de rotación "IC". Finalmente el grupo de soldaduras debe dividirse en elementos finitos de longitud unitaria. Se recomienda dividir la línea de soldadura más larga en el menos 20 elementos.



Gráfica 3 Carga-Deformación. Fuente: Díaz, H (2010)

La capacidad de un elemento del grupo de soldaduras esta basada en el producto de 3 funciones.

- o Resistencia nominal.
- o Orientación angular respecto a la fuerza aplicada.
- o Compatibilidad de deformaciones.

$$R_{nj} = r_w \times g \times h$$

$$r_w = 0.6 F_{EXX} A_w$$

$$g = 1.0 + 0.5(\sin \theta)^{1.5}$$

$$h = [p(1.9 - 0.9p)]^{0.3}$$

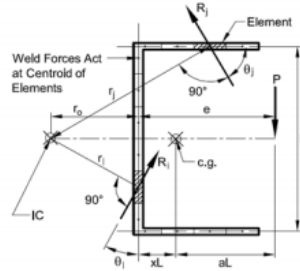


Figura4 Método del centro instantáneo de rotación para soldaduras. Fuente: Díaz, H (2010)

$$p = \Delta_j / \Delta_m$$

- o Δ_j = Deformación del elemento de soldadura j. $\Delta_j = r_j \Delta_u / r_{crit}$
- o Δ_m = Deformación del elemento de soldadura en su tensión máxima.

$$\Delta_m = 0.209(\theta + 2)^{-0.32} w$$

- o Δ_u = Deformación del elemento de soldadura en su tensión última.

$$\Delta_u = 1.087(\theta + 6)^{-0.65} w \leq 0.17w$$

Cuando se selecciona la posición correcta del centro instantáneo de rotación, se satisfacen las tres ecuaciones de equilibrio:

$$\Sigma M_{IC} = 0 \longrightarrow \sum_{j=1}^{N^{\text{elementos}}} R_{nj} r_j - P(e + r_0) = 0$$

$$P = \frac{\sum_{j=1}^{N^{\text{pernos}}} R_{nj} r_j}{(e + r_0)}$$

$$\Sigma F_x = 0 \longrightarrow \sum_{j=1}^{N^{\text{pernos}}} R_{njx} - P_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow \sum_{j=1}^{N^{\text{elementos}}} R_{njy} - P_y = 0$$

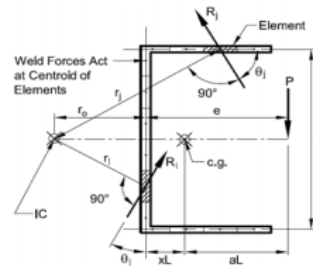
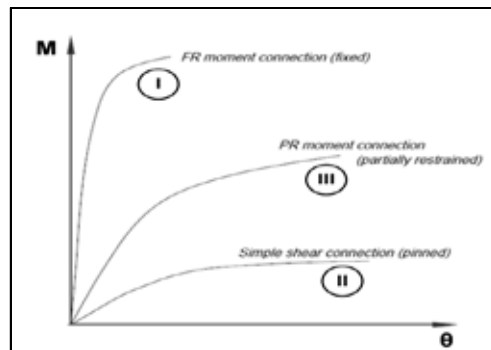


Figura5 Método del centro instantáneo de rotación para soldaduras. Fuente: Díaz, H (2010)

2.2.5. Conexiones de acero a corte

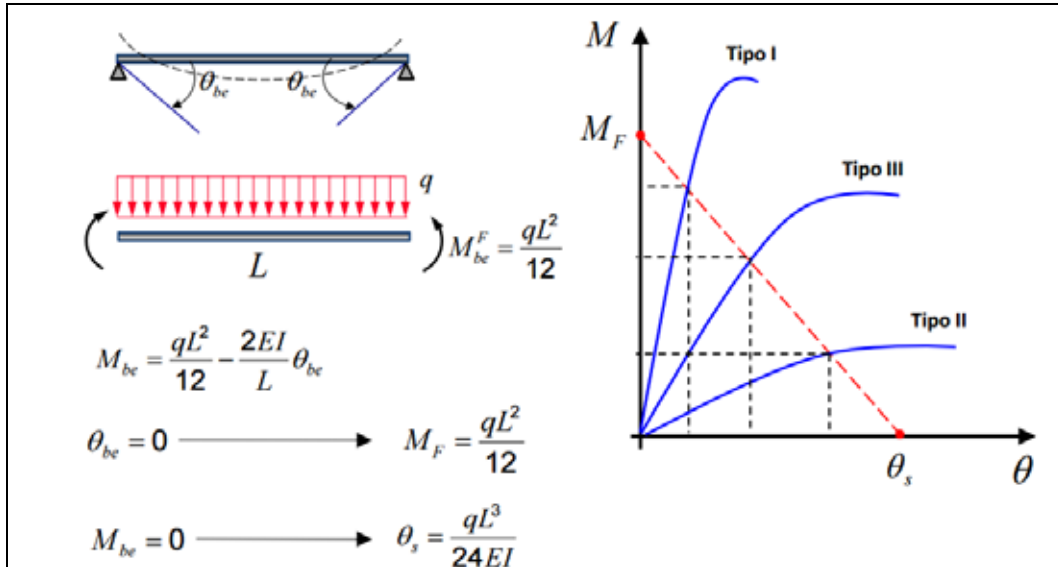
2.2.5.1. Comportamiento

Como establece Díaz, H (2010), todas las conexiones contemplan resistencia a momento, la rigidez rotacional y la ductilidad así como lo representa el siguiente diagrama momento-rotación.



Gráfica 4 Momento deformación. Fuente: Díaz, H (2010).

El detallado de la conexión debe garantizar la flexibilidad rotacional supuesta en el análisis de la estructura. Cuando no se pueda garantizar la flexibilidad, el diseño debe estar orientado a promover la ductilidad rotacional de la conexión. Se espera que ocurra cedencia en los elementos de conexión (planchas y ángulos), antes de la rotura en corte de los medios de unión (pernos y soldadura). Se debe suponer que la viga está simplemente apoyada y que el extremo articulado es precisamente aquel donde está la unión y donde se puede dar una posible deformación, toda viga soporta un momento máximo que dé lugar a una deformación máxima, para las conexiones a corte, el momento se hace tan insignificante que permite un giro prudencial de 0.03 rad, el cual da pie a los cálculos necesarios para este tipo de conexiones.



Gráfica 5 Línea de viga. Fuente: Díaz, H (2010)

Según González, W (2014) en su publicación Construcciones II de la [Universidad Técnica Particular de Loja](http://www.utpl.edu.ec), Ecuador. Los tipos de conexiones de acero a corte se derivan en las siguientes:

2.2.5.2. Plancha Simple:

Está es soldada en el taller a la columna y apernada en obra a la viga, resulta ser una conexión muy económica en primera instancia por su simpleza. Ejemplo en la figura 6.



Figura6 Conexión de plancha simple. Fuente: Díaz, H (2010)

2.2.5.3. Plancha extrema

Está constituida por una plancha de pequeña longitud unida al alma de la viga. La plancha extrema de corte es siempre soldada en el taller al alma de la viga con una soldadura de filete a cada lado. Pero puede ser empernada o soldada en el campo a la columna. Cuando la plancha es soldada al apoyo, se debe proveer de una adecuada flexibilidad en la conexión. La soldadura completa a través de la parte superior de la plancha debe evitarse porque puede inhibir la flexibilidad. Ejemplo en la figura 7.



Figura7 Conexión de plancha extrema. Fuente: Díaz, H (2010)

2.2.5.4. Angulo simple

Está constituida por un ángulo a un lado del alma de la viga soportada. Este ángulo puede estar empernado o soldado a la viga soportada o bien a los apoyos. Cuando los ángulos están soldados a los apoyos se debe proveer de una adecuada flexibilidad en la conexión. La soldadura completa a través de la parte superior de los ángulos debe evitarse porque puede inhibir la flexibilidad. Ejemplo en la figura 8.

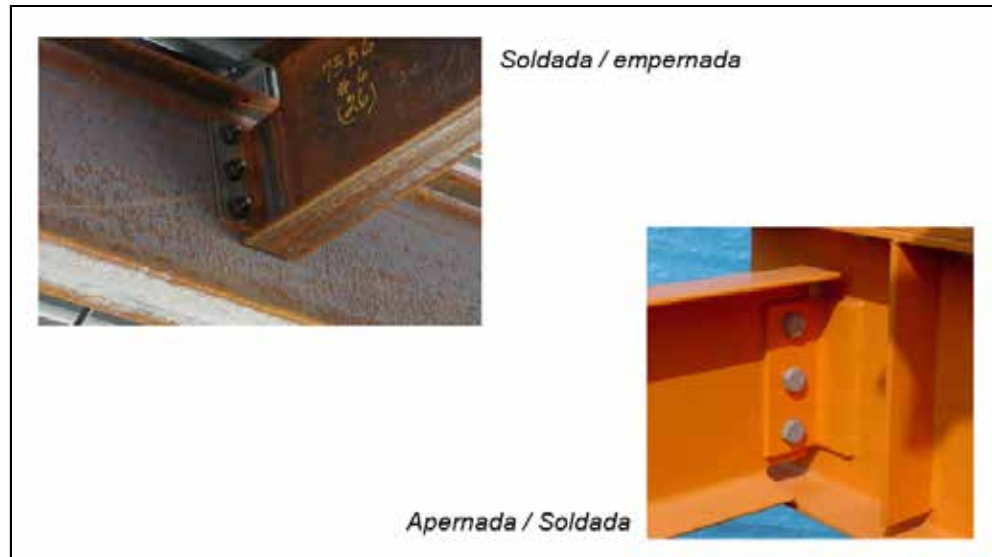


Figura8 Conexión de ángulo simple. Fuente: Díaz, H (2010)

2.2.5.5. Doble ángulo

Está constituida por dos ángulos, uno a cada lado del alma de la viga soportada. Estos ángulos pueden estar empernados o soldados a la viga soportada o bien a los apoyos. Cuando los ángulos están soldados a los apoyos se debe proveer de una adecuada flexibilidad en la conexión. La soldadura completa a través de la parte superior de los ángulos debe evitarse porque puede inhibir la flexibilidad. Ejemplo en la figura 9.

Nota: en caso de ser los ángulos apernados, estos se unen al alma de la viga en el taller y posteriormente en obra se apernan a la columna.

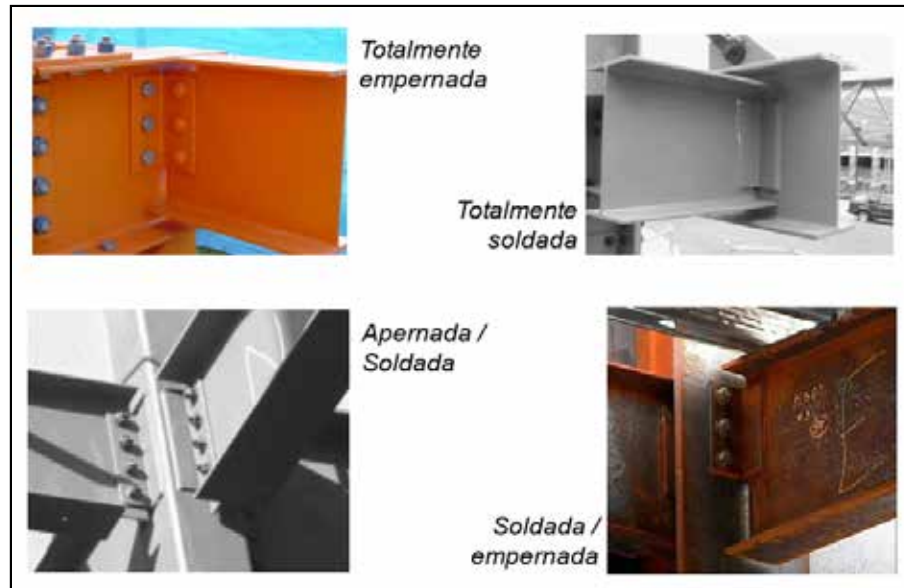


Figura9 Conexión de ángulo doble. Fuente: Díaz, H (2010)

2.2.5.6. Criterio para el diseño de las conexiones a corte

El diseño se realizará de acuerdo con las disposiciones de la norma AISC 360-10, puesto que estos son los más actualizados dentro de las normas constructivas de la actualidad.

- **Resistencia al corte de elementos conectados**

La resistencia de d involucrados y elementos conectores en corte debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de cedencia en corte y ruptura en corte, además del chequeo al bloque de corte:

- **Para cedencia en corte del elemento**

Donde:

A_{gv} = área bruta solicitada a corte, cm^2 (mm^2)

V = Corte último

- **Para ruptura en corte del elemento**

$$R_n = 0,6F_u A_{nv} \left(\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad = 2,00 \text{ (ASD)} \right)$$

Donde:

A_{nv} = área neta solicitada a corte, cm² (mm²)

- **Resistencia de Bloque de Corte**

La resistencia disponible para el estado límite de bloque de corte a lo largo de la trayectoria(s) de falla por corte y una trayectoria perpendicular de falla por tracción debe tomarse como

Donde:

A_{nt} = área neta solicitada a tracción, cm² (mm²)

Cuando la tensión de tracción es uniforme, $U_{bs} = 1$; si la tensión de tracción es no uniforme, $U_{bs} = 0,5$

2.2.6. Tipos de falla

Según Rivero, J (2004) las posibles fallas en las conexiones se derivan en las siguientes:

2.2.6.1. Falla en los pernos

- **Falla por corte**

Una conexión empernada que falla por cortante puede fallar por los siguientes modos:

- Cortante simple: ocurre cuando las cargas en las planchas tienden a degollar a los conectores en un plano entre las planchas. La resistencia de diseño es igual al esfuerzo cortante permisible del perno multiplicado por el área de su sección transversal.
- Cortante doble y múltiple: ocurre cuando las cargas en las planchas tienden a degollar a los conectores en dos o más planos entre las planchas. La resistencia

de diseño es igual al esfuerzo cortante permisible del perno multiplicado por el área de la sección transversal y el número de planos de contacto.

- **Falla por aplastamiento**

Ocurre cuando se tiene una conexión con plancha de gran espesor respecto al diámetro del perno y esta se encuentra bajo la acción de una fuerza que tiende a deslizar las planchas, ocurriendo de esta forma el apartamiento del perno contra la plancha sin llegar a cortarlo.

- **Falla por tracción**

Ocurre cuando la fuerza actúa en la dirección del eje longitudinal del perno, estando este sometido únicamente a una fuerza de tracción.

- **Falla en las planchas**

Cuando las cargas aplicadas superan la fuerza de fricción de la junta, esta tiende a deslizarse ocasionando fallas en los miembros conectados, las cuales se clasifican en:

- **Falla por aplastamiento**

Ocurre cuando se tiene una conexión con pernos de gran diámetro respecto al espesor de la plancha y esta se encuentra bajo la acción de una fuerza que tiende a deslizar las planchas, ocasionando de esta forma el aplastamiento de las mismas contra el perno.

- **Falla por tracción**

Este tipo de falla ocasiona desgarramiento de la plancha por la línea media del diámetro del agujero del perno.

- **Tensión diagonal**

Este tipo de falla ocasiona desgarramiento en el sentido de la circunferencia del agujero del perno de manera angular hasta el borde de la plancha.

2.2.7. Criterio para las cargas

Según Fratelli, M (2003), el criterio de diseño estructural consiste en seleccionar las secciones óptimas de los miembros con sus correspondientes uniones y conexiones entre un conjunto de alternativas para cada caso en particular. Para ello se pueden emplear métodos que tomen en consideración el comportamiento de la estructura en rango puramente elástico o métodos que permitan la incursión en el rango inelástico, para este caso utilizaremos el diseño para estados límites.

Por lo tanto, el objetivo del análisis y diseño según esta teoría es mantener la estructura alejada de la probabilidad de superar la frontera de utilidad, asegurando, tanto en forma local como global la estabilidad, la resistencia y la rigidez de sus miembros, para cualquier combinación prevista de las solicitaciones que se puedan presentar durante la vida útil de la edificación.

A demás la estructura debe tener suficiente capacidad de absorción y de disipación de energía para asegurar un comportamiento dúctil del sistema durante la más desfavorable posibilidad de acción de las cargas externas actuantes, en un tiempo aleatorio. Ello exige no solo el fiel cumplimiento de las exigencias de las mencionadas normas, sino también la óptima calidad de los materiales empleados, una correcta fabricación y ensamblaje de los miembros y una adecuada inspección y mantenimiento preventivo, para lograr los resultados deseados. Para ello se consideran básicamente el estado límite de agotamiento resistente, el cual está relacionado con la seguridad y la capacidad resistente de cada miembro, sus uniones y conexiones, para lo cual deben tener una resistencia de diseño mayor o igual a la resistencia requerida que se obtiene al mayorar cargas nominales.

La capacidad resistente se define por el producto φR_t , siendo R_t la resistencia teórica nominal o de diseño y φ un factor de minoración de la resistencia, que varía según el tipo de solicitación actuante, que se da en la Tabla 5.

La resistencia requerida o demanda resulta del producto de $\gamma_t Q_t$ y su magnitud se selecciona para la más desfavorable combinación. Q_t son las acciones nominales y γ_t es el factor de mayoración correspondiente, los factores γ_t y ϕ toman en cuenta la imprecisión de la teoría, de las dimensiones de los miembros, de las características de los materiales de la incertidumbre en la determinación de las cargas, de la calidad de la mano de obra, etc.

Para todos los casos : ϕ

El principio fundamental para aplicar el criterio del estado límite de agotamiento resistente está dado por la relación:

$$\sum \gamma_t Q_t \leq \phi R$$

←
→

Cargas Factorizadas
Resistencia Factorizada

Tabla 5 Factor de minoración de la resistencia.

ϕ	CASOS
11.00	Corte en conexiones a deslizamiento crítico para agujeros estándar
00.9	Tracción en miembros conectados mediante pernos o soldadura. Tracción o compresión paralelas al eje de las soldaduras de filete. Resistencia teórica a flexión. Corte en el alma de las vigas flexadas.
00.85	Resistencia a compresión axial en el límite del agotamiento resistente por pandeo
00.8	Tracción normal al área efectiva en soldaduras encanaladas de penetración parcial. Corte sobre el área efectiva de soldaduras acanaladas de penetración completa

00.75	Corte en conexiones tipo aplastamiento. Tracción en área neta efectiva de miembros. Pernos trabajando a tracción. Corte en conexiones soldadas. Corte paralelo a las superficies de contacto en soldaduras de tapón o ranura.
00.7	Resistencia a corte en agotamiento resistente a deslizamiento crítico para agujeros de ranura larga transversales a la dirección de la carga.
00.6	Resistencia a corte en agotamiento resistente a desplazamiento crítico en agujeros de ranura larga paralela a la dirección de la carga.

Fuente: Díaz, H (2010)

Donde:

- $\sum \gamma_t Q_t$ es la demanda sobre la estructura, sus miembros, conexiones o componentes.
- φR_t es la capacidad resistente o resistencia de diseño de los miembros, conexiones o componentes.

2.2.7.1. Combinación de cargas factorizadas

Los diferentes tipos de cargas y acciones que se toman en cuenta en el diseño son:

CP: Acciones permanentes, debidas al peso propio de la estructura de acero, losas, placas, paredes, cerramientos, sobrepisos, cielorrasos, aislaciones, y todas las partes del edificio adheridas a ellos en forma permanente y con carácter invariable en el tiempo.

CV: Acciones variables gravitacionales, por uso ocupacional de las personas, objetos móviles, equipamiento desplazables, vehículos, incluyendo impactos por choques o colisiones.

CVt: Acciones variable sobre techos y cubiertas.

H: Acciones debidas a empujes laterales de tierra, granos o aguas subterráneas.

F: Acciones debidas a fluidos donde se conoce su variación en la altura, peso unitario y la presión que ejercen.

T: acciones reológicas o térmicas, asentamientos diferenciales o sus combinaciones.

P: Cargas debidas al empozamiento de aguas pluviales.

W: Acción del viento.

S: Acción del sismo.

La demanda sobre los miembros estructurales, sus conexiones y sus juntas, se definirá por la más desfavorable combinación de las cargas factorizadas según se indica a continuación. El signo \pm indica que las cargas pueden actuar independientemente en uno u otro sentido en forma aleatoria. El efecto más desfavorable puede corresponder a una combinación donde no actúe la totalidad de las acciones consideradas.

Las combinaciones utilizadas para definir la más desfavorable son:

- 1.4 CP
- $1.2CP + 1.6CV + (0.5CV_t)$
- $1.2CP + 1.6CV + (0.5CV \text{ o } 0.8W)$
- $1.2CP + 1.6CV + (0.5CV \text{ o } 0.8W)$
- $1.2CP + 1.3W + 0.5CV + (0.5CV_t)$
- $0.9CP \pm 1.3W$
- $1.2CP + CV \pm S$
- $0.9CP \pm S$

2.3. Software computacional

El software computacional será desarrollado bajo el sistema operativo Android en su versión 2.2.2.0, entre las descripciones técnicas especificadas en la su página web (<https://developer.android.com/studio/index.html?hl=es-419>), destaca que la misma cuenta con la edición de códigos de primer nivel, la depuración, las herramientas de rendimiento, un sistema de compilación flexible y un sistema instantáneo de compilación e implementación te permiten la creación de aplicaciones únicas y de alta calidad, aunado a esto cuenta con el gran beneficio de que la aplicación creada va a poder ser utilizada en dispositivos de distinto uso como computadoras, teléfonos, tablets Android, y dispositivos Android Wear y Android TV.

En el mismo portal electrónico aclaran que las versiones de Android reciben, en inglés, el nombre de diferentes postres o dulces. En cada versión el postre o dulce elegido empieza por una letra distinta en este caso se utilizará la versión Marshmallow 6.0 en el cual las aplicaciones se desarrollan habitualmente en el lenguaje Java con Android Software Development Kit (Android SDK).

2.4. Definición de términos básicos

Ala: extremos del perfil, unidos ambos por las atas del mismo.

Alma: parte central del perfil, comúnmente define la altura del mismo.

Anclaje: Anclaje es una pieza metálica utilizada comúnmente en pisos de [hormigón](#) u otro elemento, para la fijación o sujeción de maquinarias o estructuras ([estanterías](#), torres de altura, galpones, etc.)

Ángulo: elementos constructivos en forma de L, utilizados para unir otros elementos.

AutoCAD: AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D

Conexión: combinación de elementos estructurales y elementos de unión para transmitir fuerzas entre dos o más miembros.

Corte: esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar

Excel: Microsoft Excel es una aplicación distribuida por la suite de oficina Microsoft Office, que se caracteriza por ser un software de hojas de cálculo

Flexión: movimiento que consiste en doblar el cuerpo o uno de sus miembros.

Golilla: Una arandela es un disco delgado con un agujero, por lo común en el centro. Normalmente se utilizan para soportar una carga de apriete.

Junta: área donde se unen dos o más extremos, superficies o bordes, y que incluye las planchas, angulares, pernos, remaches y soldaduras empleados.

Momento flector: momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

Perfil: Los perfiles metálicos son aquellos [productos laminados](#), fabricados usualmente para su empleo en estructuras de edificación, o de obra civil que mantienen sus características físicas y mecánicas a lo largo de toda su longitud.

Perno: Pieza metálica cilíndrica, larga y de cabeza redonda que se asegura por el extremo opuesto con una tuerca, una chaveta o un remache, para afirmar piezas de gran volumen.

Pórticos: Un pórtico es un espacio arquitectónico cubierto conformado por una galería de columnas adosada a un edificio

Resistencia: capacidad de los materiales para soportar tensiones sin alterarse

Rotación: Giro o vuelta de un elemento alrededor de su propio eje.

Soldadura: [proceso de fijación](#) en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material a través de la fundición de las dos partes.

Tuerca: Pieza generalmente metálica, de cuatro o seis lados, con un agujero circular en el centro labrado en forma helicoidal que se ajusta a la rosca de un tornillo o perno para fijarlo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO Tipo de investigación

Para Sabino (1978) “Hacer ciencia es tratar de aportar nuevos conocimientos sobre algún aspecto de la realidad, por lo que toda investigación puede definirse como el intento de conocer algo, de averiguar algo, de saber algo” partiendo de ese punto, siempre que se quiere conocer algo se persigue un propósito o razón (objetivos) y desde este punto de vista Acuña (1997) clasifica la investigación en “básica cuyo propósito consiste en la búsqueda de información para desarrollar un modelo o una teoría sobre un determinado problema, y aplicada cuando se buscan conocimientos con fines de aplicación inmediata a la realidad, para modificarla. En base a estas definiciones esta investigación se puede clasificar como “Básica”, ya que su objeto es obtener información para diseñar un modelo que permita describir y mejorar el proceso para el diseño de conexiones a corte.

Ahora bien, los fines de una investigación debe también especificar el tipo de conocimiento que el investigador desea obtener (objetivos internos de la investigación) y para Sabino (1977): “los tipos de investigación desde el punto de vista de los objetivos internos son: exploratorios, descriptivos y explicativos”.

Para Acuña (1997) “entendemos por investigación exploratoria, aquella que está dirigida a buscar un conocimiento general o aproximado a la realidad... la investigación descriptiva está dirigida a dar una visión de cómo el fenómeno o proceso y cuáles son sus características... y la investigación explicativa se preocupa más en buscar las causas o los por qué de la ocurrencia del fenómeno”.

A lo expuesto anteriormente y de acuerdo al tipo de conocimiento que el investigador espera obtener, se puede afirmar que esta es una investigación descriptiva que permite determinar las características de los procesos para el diseño de conexiones a corte para determinar cual resulta óptimo al mismo tiempo que pretende desarrollar una alternativa para el ahorro de tiempo del proceso como lo es la creación de un software computacional.

3.2. Diseño de la investigación

Para Sampieri (2000) “El diseño de la investigación es el plan o estrategia concebidas para responder a las preguntas de investigación”. Sintetizando la clasificación a este respecto el mencionado autor detalla: “Los diseños de investigación se clasifican en experimentales y no-experimentales. En los experimentales se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (supuestas causas), para analizar las consecuencias que la manejo tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos), dentro de una situación de control para el investigador; las no-experimentales, son aquellas aplicables a investigaciones en las que no se manipulan deliberadamente las variables, es decir, lo que hacemos en esta investigación es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. A continuación se conceptualizan tipos de diseño no experimentales de acuerdo con el número de momentos o puntos en el tiempo en los cuales se recolectan los datos (dimensión temporal)”.

Tipo de diseño no experimental:

1. Diseños transeccionales: recolectan datos en un solo momento, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, es como tomar una fotografía de algo que sucede. Estos se clasifican en descriptivo, los cuales tienen como objetivo indagar la incidencia que se manifiesta en una o más variables, nos presentan un panorama del estado de un grupo de persona, objetos o indicadores en determinado momento; y correlacionales, los cuales describen las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado, se trata de descripciones, pero no de variables individuales sino de sus relaciones, sean estas puramente correlaciones o relaciones casuales.
2. Longitudinales: son los que recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos especificados, para hacer inferencias respecto al cambio de sus determinantes y consecuencias.

La clasificación anterior permite señalar que esta investigación es de tipo no experimental puesto que uno de los objetivos es realizar una comparación entre dos métodos ya establecidos por ende se denomina transeccional y a su vez descriptivo.

3.3. Nivel de la investigación

Según Arias (2006): “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. Según Tamayo y Tamayo, (2003) el nivel de investigación descriptivo comprende “descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”, de igual forma Sabino (1978) expresa que: “Para una investigación de nivel descriptivo su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos. Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes”. En relación a esto, la actual investigación pretende profundizar en la descripción de los métodos de análisis

para el diseño de conexiones de corte. De ésta manera, el manejo de información vigente para la fundamentación teórica y práctica de este trabajo investigativo le adjudica la validez y confiabilidad necesarias para representar un aporte académico relevante en materia de análisis estructural.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para Méndez (1999): “Las técnicas son los medios empleados para recolectar la información... Siendo los datos primarios aquellos que se recogen directamente de la realidad y las técnicas empleadas para recogerlos tendrán que reflejar, toda la variedad y diversidad compleja de situaciones que se presentan en la realidad objeto de estudio. Las técnicas se derivan de acuerdo a los datos que se quieren recolectar:

Datos primarios: información oral o escrita que es recopilada directamente por el investigador a través de relatos o escritos transmitidos por los participantes de un acontecimiento... entre ellos para esta investigación destaca la observación, la cual se define como el uso sistemático de nuestros sentidos en la búsqueda de los datos que necesitamos para resolver un problema de investigación... La misma puede ser participante donde el investigador forma parte activa del grupo observador y asume sus comportamientos o simple, donde el investigador no pertenece al grupo y solo se hace presente con el propósito de obtener información...

Datos secundarios: son la información escrita que ha sido recopilada y transcrita por personas que han recibido tal información a través de otras fuentes escritas o por un participante en un suceso o acontecimiento, estos datos derivan de textos, revistas, documentos, prensa entre otros”

Como para esta investigación el investigador forma parte directa del grupo observador se considerara que la técnica a utilizar es de observación directa para datos primarios sin embargo utilizará normas y textos para la recopilación de datos secundarios.

3.5. Fases Metodológicas

Con el fin de llevar a cabo una correcta metodología en la investigación, que permita al lector entender de manera secuencial y ordenada los pasos necesarios a seguir para la ejecución y consumación del objetivo principal del presente trabajo, se señalan a continuación, las fases en las que se desarrollara el tema en estudio: Describir el comportamiento de las conexiones a corte.

FASE I: Desarrollar la metodología para el cálculo de las conexiones a corte.

Es indispensable el conocimiento del proceso para el cálculo de conexiones a corte, describiendo detalladamente las características de las metodologías que se utilizan para el mismo. Para ello se recopiló información de normas y textos vigentes comenzando por el concepto básico que los elementos que conforman una conexión de acero, el método de unión (Pernos y soldaduras) y los métodos de análisis de los mismos (Método elástico y del centro instantáneo de rotación). Siguiendo a ello se recopiló toda la información necesaria para sobre las fallas posibles que podrían tener los tipos de conexiones y sus elementos de unión para finalmente garantizar el funcionamiento óptimo de la misma.

Cada caso de conexión, soldada o empernada, se desarrollará bajo los dos métodos de análisis de resistencia de soldadura y perno: método elástico y método del centro instantáneo de rotación, sumamente necesarios ambos para tener una futura comparación entre las resistencias que ambos aportan.

FASE II: Desarrollar un software para computadoras y dispositivos móviles que genere el diseño de conexiones a corte dependiendo de los tipos de perfiles viga-columna a unir y la carga a soportar.

Este paso garantiza agilizar el proceso de cálculo, para el ahorro de tiempo y la necesidad de obtener exactitud en los resultados. El mismo se realizó bajo el sistema operativo Android en su versión 2.2.2.0, en el cual se introducirán como valores de cargas el tipo de perfilería a utilizar y las solicitudes requeridas para dar

como resultado el diseño óptimo para pernos o soldaduras según sea la preferencia del usuario. La aplicación tendrá uso en dispositivos móviles así como en computadoras para garantizar que la herramienta esté disponible en cualquier momento de ser necesitada.

Para lograr este objetivo, en principio se realizarán los cálculos necesarios en hojas de cálculo de Excel para luego ser transcritos al lenguaje Android y así la obtención de la aplicación móvil.

FASE III: Realizar análisis comparativo en cuestión de seguridad entre los tipos de conexiones a corte.

Teniendo en cuenta que todas las conexiones a corte tienen un margen de seguridad distinto y que algunas resultan más prácticas que otras en su producción y transporte. Es sumamente necesario este análisis, en general el arrojado por los resultados entre usar el método elástico o el método del centro instantáneo de rotación, ya que al conocer que método de cálculo es más seguro y por cuanto diferencia al otro, el ingeniero puede considerar pro cual método realizar el diseño de su conexión, cabe resaltar que para arrojar estos resultados se va a aplicar toda la metodología a un ejemplo práctico, variando los aspectos que afectan las resistencias de la conexión, como la cantidad de perno, el grosor de la soldadura y el grosor del alma de las vigas.

Al mismo tiempo se compararan cuan resistentes son las conexiones soldadas respecto a las empernadas para concluir a ciencia cierta cuales son las más beneficiosas al momento de diseñar una conexión.

FASE IV: Realizar análisis comparativo en cuestión de economía entre los tipos de conexiones a corte.

Considerando que cada conexión a corte genera gastos distintos en su producción, transporte y ensamble en la estructura, este análisis si bien es consecuencia del análisis anterior, debe ser detallado de igual manera, puesto que los

costos de una estructura conforma un aspecto importante a la hora de decidir que método se va a utilizar teniendo en cuenta que entre más segura es una estructura, mas material deberá utilizar.

CAPÍTULO IV

RECURSOS

Para cualquier investigación que se desee realizar, es importante entender que los recursos a utilizar de tipo humano, material, institucional e incluso de tiempo, forman parte de los factores que le adjudican al trabajo la validez necesaria para poder calificarse como un aporte real a nivel social, institucional, académico e incluso profesional. En este mismo orden de ideas, la manera en que sean utilizados dichos recursos procura gestar un grado de confiabilidad en el lector en cuanto a la realidad de los resultados obtenidos en la investigación, avalando así el éxito de la misma. Por consiguiente, el presente CAPÍTULO explica todos los recursos utilizados según su tipo y utilidad en la investigación. **Recursos Humanos**

El aporte humano en cualquier investigación se considera indispensable para su ejecución, a lo largo del desarrollo de la misma, su utilización contribuye en la ampliación del material teórico referente al tema. Es por esto que los autores de las investigaciones tomadas como antecedentes para este trabajo, representan parte del recurso humano utilizado, así como también todos aquellos autores de los materiales teóricos complementarios en cuanto a la definición, caracterización y comportamientos de los puentes.

4.2. Recursos Materiales

En este sentido, la materialización física de un documento investigativo parte de la utilización de recursos materiales que permitan facilitar al investigador el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación. De tal forma, el presente trabajo a través del uso de computadoras, cámaras fotográficas, libretas de anotación, vehículos que faciliten el transporte, elementos de seguridad y protección personal, entre otros, a ser utilizados para poder cumplir con las metas propuestas dentro de esta investigación. Recursos Institucionales

Los fundamentos utilizados al investigar un tema, deben proporcionar soporte teórico. Es por ello que, esta investigación utilizo como basamentos teóricos una serie de libros, manuales e investigaciones realizadas por distintas instituciones tanto nacionales como internacionales. 4.4 Tiempo Siendo el tiempo considerado como un recurso no renovable e importante a nivel académico, la correcta planificación de las actividades a realizar en una investigación y el tiempo de su ejecución se vuelven datos relevantes. En relación a esto se presenta un cuadro representativo del cronograma de actividades a realizar para el desarrollo y la finalización del trabajo investigativo.

4.3. Recursos institucionales

Los fundamentos utilizados al investigar un tema, deben proporcionar soporte teórico. Es por ello que, esta investigación utilizo como basamentos teóricos una serie de libros, manuales e investigaciones realizadas por distintas instituciones tanto nacionales como internacionales.

4.4. Tiempo

Siendo el tiempo considerado como un recurso no renovable e importante a nivel académico, la correcta planificación de las actividades a realizar en una investigación y el tiempo de su ejecución se vuelven datos relevantes. En relación a esto se presenta un cuadro representativo del cronograma de actividades a realizar para el desarrollo y la finalización del trabajo investigativo.

ACTIVIDADES	Oct 16	Nov 16	Dic 16	Ene 17	Feb 17	Mar 17	Abr 17	May 17	Total de meses
Describir el comportamiento de las conexiones a corte.	X								1
Desarrollar la metodología para el cálculo de las conexiones a corte.		X							1
Desarrollar un software para computadoras y dispositivos móviles que genere el diseño de conexiones a corte dependiendo de los tipos de perfiles viga-columna a unir y la carga a soportar.			X	X					2
Realizar análisis comparativo en cuestión de seguridad entre los tipos de conexiones a corte.					X	X			2
Realizar análisis comparativo en cuestión de economía entre los tipos de conexiones a corte.							X	X	2
									8

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Luego de haber planteado el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo, haber realizado la investigación teórica y metodológica del mismo, es pertinente presentar el registro de los resultados obtenidos producto del desarrollo de cada fase definida durante el análisis metodológico del trabajo especial de grado. **Describir el comportamiento de las conexiones a corte**

La condición estructural básica de una conexión es que sea capaz de transmitir carga de los elementos soportados al de soporte de forma segura, esta condición implica tener en cuenta tres propiedades de la unión: resistencia, rigidez y capacidad de deformación. El cálculo de las uniones implica la hipótesis de una distribución interna de esfuerzos realistas que están en equilibrio con las fuerzas externas y donde cada elemento es capaz de transferir el esfuerzo supuesto, y las deformaciones están dentro de la capacidad de deformación de los elementos.

Las conexiones a cortante se utilizan para conectar vigas simplemente apoyadas a otras o al patín o alma de una columna. En este tipo de conexiones se requiere que los ángulos sean lo más flexible posible. Se asume que las conexiones de corte no transfieren momentos flectores, permitiendo la rotación en el extremo del miembro. Las conexiones simples se pueden materializar conectando el alma del elemento soportado mientras las alas quedan desconectadas. Las conexiones simples en vigas o enrejados deben ser diseñadas como flexibles y se permite dimensionarlas solamente para reacciones de corte, excepto que se indique lo contrario en los documentos de diseño. Las conexiones flexibles de vigas deben ser capaces de acomodar las rotaciones de los extremos de las vigas calculadas como simplemente apoyados.

Las conexiones atornilladas presentan las siguientes ventajas: proceso en frío, rapidez en el atornillado, menos mano de obra especializada, facilitan la inspección visual y la sustitución de los tornillos que se hayan dañado o la reposición de estos.

Las conexiones soldadas son sencillas y económicas, debido a que se eliminan elementos de unión, se obtienen estructuras más rígidas o continuas y requieren menos trabajo en el taller. Sus desventajas principales son: mayor supervisión en obra, aplicación de calor durante el proceso de soldadura, requieren mano de obra calificada y dificultan la inspección visual.

De lo anterior se deduce que para reducir el tiempo de construcción de las estructuras de acero se prefiera el empleo de soldadura en el taller y atornillado en el campo. Por otro lado para que una conexión viga columna sea confiable debe demostrarse por otro lado para que una conexión viga columna sea confiable debe demostrarse experimentalmente que:

- Debe ser capaz de desarrollar la capacidad a flexión de la trabe aun cuando esta desarrolle un importante endurecimiento por deformación.
- Debe ser capaz de desarrollar rotaciones plásticas de 0.03 radianes al ser sometidas a varios ciclos de cargas.
- La mayor parte de la rotación plástica ocurre en el extremo de la trabe y no en la conexión o en el alma de la columna, por lo que es deseable que la conexión viga-columna sea lo más rígida posible.

5.2. Desarrollar la metodología para el cálculo de las conexiones a corte.

5.2.1. Conexiones de ángulo simple

En todos los casos la resistencia de diseño debe ser igual o mayor que la resistencia requerida. El efecto de la excentricidad debe ser siempre considerado en la unión del ángulo al apoyo. Adicionalmente, la excentricidad debe ser siempre considerada en el caso de una doble fila vertical de pernos por el alma de la viga

soportada o si la separación entre los pernos excede de 75mm. La excentricidad debe ser siempre considerada en el diseño de las soldaduras para conexiones con ángulo simple.

- **Conexiones con ángulo simple totalmente empernado**

Se pueden utilizar pernos A325 y A490 de ¾", 7/8" y 1" de diámetro. La separación entre los centros de los agujeros (s) y las distancias al borde (Lev y Leh) deberían cumplir con los requisitos de la norma AISC.

La resistencia de diseño del perno y del ángulo considera los estados límites de corte del perno, aplastamiento del perno en el ángulo, Fluencia por corte en el ángulo, rotura por corte en el ángulo, rotura por bloque de corte en el ángulo, Fluencia por flexión del lado de soporte del ángulo y rotura por flexión.

La resistencia de diseño del alma de la viga, considera los estados límites de aplastamiento del perno en el alma de la viga. Para vigas con destaje solamente en el ala superior, el estado límite de rotura en el bloque de corte es también considerado. Adicionalmente, para vigas con destaje en ambas alas, se consideran los estados límites de Fluencia por corte y rotura por corte del alma de la viga. En los miembros con destaje, se debe verificar independientemente los estados límites de Fluencia por flexión y pandeo lateral.

- **Conexiones con ángulo simple empernado/soldado**

Se pueden utilizar pernos A325 y A490 de ¾", 7/8" y 1" de diámetro. La separación entre los centros de los agujeros (s) y las distancias al borde (Lev y Leh) deberían cumplir con los requisitos de la AISC. La resistencia de diseño del perno y del ángulo considera los estados límites de corte del perno, aplastamiento del perno en el ángulo, Fluencia por corte en el ángulo, rotura por corte en el ángulo y rotura por bloque de corte en el ángulo.

La resistencia de diseño de la soldadura es determinada por el método del centro instantáneo de rotación, el espesor mínimo del ala o del alma del apoyo es

determinado al igualar la resistencia del material del apoyo con la resistencia del material de la soldadura. El espesor mínimo del material en cm.

5.2.2. Conexiones de ángulo doble

· Conexiones de ángulo doble totalmente empernados

La resistencia de diseño del perno y del ángulo considera los estados límites de corte del perno, deslizamiento crítico del perno, aplastamiento del perno en los ángulos, fluencia por corte en los ángulos, rotura por corte de los ángulos y rotura por bloque de corte de los ángulos.

La resistencia de diseño del alma de la viga, considera los estados límites de aplastamiento del perno en el alma de la viga. Para vigas con desgaste solamente en el ala superior, el estado límite de rotura en el bloque de corte es también considerado. Adicionalmente, para vigas con destaje en ambas alas, se consideran los estados límites de fluencia por corte y rotura por corte del alma de la viga. En los miembros con destaje, se debe verificar independientemente los estados límites de la fluencia por flexión y pandeo lateral.

· Conexiones de ángulo doble totalmente soldadas

La resistencia de diseño de la soldadura considera el estado límite de corte de la soldadura. El espesor mínimo del alma de la viga soportada por la soldadura “A” y del apoyo para la soldadura “B” se obtiene igualando la resistencia por fluencia por corte de estos elementos con la resistencia del metal de la soldadura.

Cuando hay líneas de soldadura opuestas a las de los lados al apoyo, el espesor mínimo es la suma de los espesores requeridos por cada soldadura. Cuando el espesor mínimo del material es menor que el presente, la resistencia de diseño de la soldadura debe ser reducida por la relación entre el espesor mínimo y el espesor provisto.

El espesor mínimo del ángulo debe ser igual al tamaño de la soldadura más 1.6mm.

5.2.3. Conexión de plancha extrema

La resistencia de diseño de los pernos, soldaduras y de los elementos conectados debe ser determinada de acuerdo a la norma AISC. El estado límite de Fluencia por corte del alma de la viga deberá ser verificado a lo largo de la longitud de la soldadura de conexión con plancha extrema al alma de la viga. En todos los casos la resistencia de diseño debe ser mayor o igual a la resistencia requerida.

· Conexiones con plancha extrema de corte empernada/soldada

Solo es aplicable una fila vertical de pernos a cada lado de la plancha. Se puede utilizar pernos A325 y A490 de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ " y 1" de diámetro. La separación entre los centros de los agujeros (s) y las distancias al borde (Lev y Leh) deberían cumplir con los requisitos de la norma. Todos los valores son para comparación con las solicitaciones mayoradas.

La resistencia de diseño del perno y de la plancha extrema de corte considera los estados límites de corte del perno, deslizamiento crítico del perno, aplastamiento del perno en la plancha extrema, Fluencia por corte en la plancha extrema, rotura por corte de la plancha extrema y rotura por bloque de corte de la plancha extrema.

La resistencia de diseño de la soldadura y del alma de la viga considera el estado límite de corte de la soldadura asumiendo una longitud efectiva de soldadura igual a la longitud de la plancha menos dos veces el tamaño de la soldadura. El espesor mínimo del alma de la viga en cm. Se obtiene igualando la resistencia por Fluencia por corte del alma del material con la resistencia del metal de la soldadura.

Cuando el espesor mínimo del material es menor que el presente, la resistencia del diseño de la soldadura debe ser reducida por la relación entre el espesor mínimo y el espesor provisto.

La resistencia de diseño del apoyo, considera el estado límite de aplastamiento del perno en el apoyo.

5.2.4. Conexiones con plancha simple

La resistencia de diseño de los pernos, soldaduras y de los elementos conectados debe ser determinada de acuerdo a la norma AISC. En todos los casos la resistencia de diseño debe ser mayor o igual a la resistencia requerida. La excentricidad debe ser siempre considerada en el diseño de la conexión de plancha simple, los pernos deben ser diseñador para el corte R_u y un momento por excentricidad $R_u e$. La excentricidad sobre los pernos depende de las condiciones del apoyo presentes y de los agujeros que se estén usando en la plancha, ya sea estándar o de ranura corta.

Un apoyo flexible posee baja rigidez relativa rotacional y permite la rotación en el extremo de la viga simplemente apoyada facilitado principalmente por la rotación del apoyo. Tal condición extrema puede existir en una conexión de una viga con otra viga a un solo lado del alma o con vigas bajas conectadas a columnas de luz relativa. Un apoyo rígido posee alta rigidez relativa rotacional la cual reprime la rotación en el extremo de la viga simplemente apoyada que ocurre principalmente en el extremo de la conexión, tal como una conexión de una viga al ala de una columna o conexiones de dos vigas concurrentes al alma de la otra viga.

Cuando la condición del apoyo es inmediata entre flexible y rígido o no puede ser fácilmente clasificado como flexible o rígido.

Para cualquier combinación de condiciones de apoyo y tipo de agujeros, el tamaño de la soldadura con electrodo 70 ksi debe ser igual a $\frac{3}{4}$ del espesor de la plancha para un material de plancha con $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$. Esto garantiza que no sea el elemento crítico de la conexión. Este procedimiento es válido para conexiones con plancha simple con $62.5 \text{ mm} \leq a \leq 87.5 \text{ mm}$

Solo es aplicable a una fila vertical de pernos. Se puede utilizar pernos A325 y A490 de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ " y 1" de diámetro. La separación entre los centros de los agujeros (s) y las distancias al borde (Lev y Leh) deberán cumplir con la norma AISC.

La resistencia de diseño del perno y de la plancha considera los estados límites de corte del perno, aplastamiento del perno en la plancha, Fluencia por corte en la plancha, rotura por corte en la plancha, rotura por bloque de corte en la plancha y corte de la soldadura. La resistencia de diseño en el alma de la viga, considera los estados límites de aplastamiento del perno en el alma de la viga. Para vigas con destaje solamente en el ala superior, el estado límite de rotura en el bloque de corte es también considerado. Adicionalmente, para vigas con destaje en ambas alas, se consideran los estados límites de fluencia por corte y rotura por corte del alma de la viga. En los miembros con destaje, se debe verificar independientemente los estados límites de Fluencia por flexión y pandeo lateral.

En los apéndices se encuentra el modelo de cálculo ejemplo para cada conexión empernada/soldada.

Para el procedimiento de diseño para conexiones empernadas es necesario conocer los siguientes datos:

- Carga a soportar (V_u)
- Tipo de acero de la conexión y su resistencia (F_u)
- Dimensiones de la conexión (Alto h, ancho a, grosor t)
- Tipo de acero y perfil de la viga (F_u y F_y)
- Tipo de pernos (Resistencia: F_{nv} . Diámetro: db)
- Cantidad de pernos (n)
- Separación entre pernos (s)

- Conocimiento del centro de gravedad entre los pernos (Distancia máxima de algún perno por el eje x d_x , y por el eje y d_y)
- Excentricidad (e)

El procedimiento para la verificación de la resistencia de los pernos por el método elástico es el siguiente:

1. Conocer el área perimetral del perno :

$$A_b = \frac{d_b^2 \pi}{4}$$

Dónde, d_b es el diámetro del perno.

2. Calcular la resistencia del perno mediante:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi F_{nv} A_b \\ &= 0.75 \end{aligned}$$

3. Calcular el momento actuante:

$$M_u = V e$$

4. Se calcula la resistencia requerida del perno por el método elástico:

$$r_u = \sqrt{(r_{pux} + r_{mx})^2 + (r_{puy} + r_{my})^2}$$

Dónde:

$$r_{pux} = 0 = 0$$

$$r_{puy} = \frac{v_u}{n}$$

$$r_{mx} = \frac{M_u d_y}{I_p}$$

$$r_{my} = \frac{M_u d_x}{I_p}$$

$$d_i = \sqrt{d_{xi}^2 + d_{yi}^2}$$

$$I_p = 2 * d_i^2$$

5. Se debe cumplir que: $\phi R_n > r_u$

De no cumplir se debe elegir mayor cantidad de pernos o un perno con mayor resistencia.

Por el método del centro instantáneo de rotación es el procedimiento es el siguiente:

1. Conocer el cociente entre la excentricidad y la separación entre los pernos, con este dato y el número de pernos verticales ir a la tabla 7-8:

Tabla 6 Tabla 7-8 para el factor C

ex in	NUMERO DE PERNOS			
	1	2	3	4
2	0,84	2,54	4,48	6,59
3	0,65	2,03	3,68	5,67
4	0,54	1,67	3,06	4,86
5	0,45	1,42	2,59	4,21
6	0,39	1,22	2,25	3,69
7	0,35	1,08	1,99	3,27
8	0,31	0,96	1,78	2,93
9	0,28	0,86	1,6	2,65
10	0,26	0,78	1,46	2,42
12	0,22	0,66	1,24	2,06

14	0,19	0,57	1,08	1,78
16	0,17	0,51	0,95	1,57
18	0,15	0,45	0,85	1,41
20	0,14	0,41	0,77	0,127
24	0,12	0,34	0,65	1,07
28	0,1	0,29	0,56	0,92
32	0,09	0,26	0,49	0,8
36	0,08	0,23	0,43	0,72

Fuente: Manual AISC 2010

2. Calcular el valor de la resistencia ofrecida por el grupo de pernos:

$$\phi R_n = C \phi r_n$$

3. Se debe cumplir que: $\phi R_n > V_u$

De no cumplir se debe elegir mayor cantidad de pernos o disminuir la separación entre ellos.

Posterior a la verificación de resistencia de los pernos, se procede a chequear:

- Resistencia de aplastamiento de la plancha:

$$\phi R_n = \phi 2,4 d_b t F_u$$

$$\phi = 0,75$$

- Resistencia de desgarre:

$$\phi R_n = \phi 1,2 s t F_u$$

$$\phi = 0,75$$

- Resistencia al corte de los ángulos:

$$\phi R_n = \phi 0,6 F_y A_{gv} \geq V_u$$

$$\phi Rn = \phi 0,6 F_u A_{nv} \geq V_u$$

$$\phi = 0.75$$

En todos los casos se debe cumplir que:

$$\phi Rn > V_u$$

Para elementos soldados, es necesario conocer los siguientes datos para el diseño y chequeo de las conexiones:

- Carga a soportar (V_u)
- Dimensiones de la plancha.
- Tipo de material de soldadura (F_{sxx})

Para calcular el grosor necesario de los ángulos soldados para soportar la carga requerida por el método elástico se siguen los siguientes pasos:

1. Conocer el centro de gravedad de la soldadura y así la distancia que hay entre cada punto referencial (d_{yi} d_{xi}), las distancias del extremo de la plancha a los puntos referenciales (l_i), la excentricidad de diseño (e) a utilizar para así calcular el momento de manera:

$$M_u = V_u e_w$$

2. Calcular los factores:

$$\cdot K_p = \sum l_i \left(\frac{l_i^2}{12} + d_i^2 \right)$$

$$\cdot r_p = \frac{V_u}{2 \sum l_i}$$

$$r_{mx} = \frac{M_u d_y}{2K_p}$$

$$r_{my} = \frac{M_u d_x}{2K_p}$$

3. Calcular la resistencia de la soldadura, mediante:

$$r_u = \sqrt{(r_{mx})^2 + (r_p + r_{my})^2}$$

4. Calcular la resistencia del material de soldadura:

$$\phi F_u = \phi 0,60 F_{EXX}$$

5. Calcular el grosor mínimo de la soldadura:

$$w \geq \frac{r_u}{\phi F_u 0,07}$$

Para conocer el grosor de la soldadura necesario para soportar la carga requerida según el método del centro instantáneo de rotación:

1. Conocer las dimensiones de la plancha junto con la excentricidad y k (de la misma manera que para el método elástico) para conocer el parámetro:

$$a = \frac{e}{l}$$

Y así entrar a la tabla 8-8, para encontrar el valor C:

Tabla 7 Tabla 8-8 para el Factor C

		K															
a	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	
0,0	1,53	2,09	2,64	3,20	3,76	4,32	4,87	5,43	5,99	6,54	7,10	8,21	9,33	10,40	11,60	12,70	
0,1	1,86	2,28	2,78	3,30	3,84	4,37	4,92	5,46	6,01	6,56	7,11	8,21	9,32	10,40	11,50	12,60	
0,2	1,83	2,25	2,73	3,23	3,75	4,27	4,80	5,33	5,87	6,40	6,94	8,02	9,12	10,20	11,30	12,40	
0,2	1,76	2,18	2,63	3,11	3,60	4,10	4,61	5,13	5,64	6,16	6,68	7,73	8,78	9,83	10,90	12,00	
0,3	1,66	2,07	2,51	2,96	3,42	3,90	4,38	4,87	5,37	5,86	6,36	7,37	8,39	9,42	10,50	11,50	
0,3	1,55	1,95	2,36	2,79	3,23	3,68	4,14	4,60	5,07	5,55	6,03	7,01	8,00	9,00	10,00	11,00	
0,4	1,33	1,69	2,07	2,45	2,84	3,24	3,65	4,07	4,50	4,94	5,39	6,30	7,24	8,19	9,16	10,10	
0,5	1,15	1,46	1,79	2,14	2,49	2,85	3,22	3,60	4,00	4,40	4,81	5,67	6,56	7,47	8,40	9,35	
0,6	1,00	1,27	1,57	1,88	2,19	2,52	2,85	3,20	3,56	3,94	4,32	5,13	5,97	6,84	7,73	8,65	
0,7	0,88	1,12	1,38	1,66	1,95	2,24	2,55	2,87	3,20	3,55	3,91	4,66	5,46	6,29	7,15	8,04	
0,8	0,78	1,00	1,23	1,48	1,75	2,02	2,30	2,59	2,90	3,22	3,56	4,27	5,02	5,51	6,64	7,50	
0,9	0,70	0,90	1,11	1,33	1,58	1,83	2,09	2,36	2,64	2,94	3,26	3,93	4,64	5,40	6,18	7,00	
1,0	0,64	0,81	1,00	1,21	1,44	1,37	1,91	2,16	2,43	2,71	3,01	3,63	4,31	5,02	5,77	6,56	
1,2	0,54	0,68	0,84	1,02	1,21	1,42	1,63	1,85	2,08	2,33	2,59	3,15	3,75	4,39	5,07	5,78	
1,4	0,46	0,59	0,73	0,88	1,05	1,23	1,41	1,61	1,82	2,04	2,27	2,77	3,31	3,89	4,50	5,15	
1,6	0,41	0,52	0,64	0,78	0,92	1,08	1,25	1,43	1,61	1,81	2,02	2,46	2,95	3,47	4,40	4,63	
1,8	0,36	0,46	0,57	0,69	0,82	0,97	1,12	1,28	1,45	1,62	1,81	2,22	2,66	3,14	3,65	4,20	
2,0	0,33	0,42	0,51	0,62	0,74	0,88	1,01	1,16	1,31	1,47	1,94	2,01	2,42	2,86	3,33	3,85	
2,2	0,30	0,38	0,47	0,57	0,68	0,80	0,93	1,06	1,20	1,35	1,50	1,84	2,21	2,62	3,07	3,54	
2,4	0,27	0,35	0,43	0,52	0,62	0,74	0,85	0,97	1,10	1,24	1,38	1,70	2,04	2,42	2,83	3,27	
2,6	0,25	0,32	0,40	0,48	0,58	0,68	0,79	0,90	1,02	1,15	1,28	1,57	1,90	2,25	2,63	3,05	
2,8	0,24	0,30	0,37	0,45	0,54	0,63	0,73	0,84	0,95	1,07	1,19	1,47	1,77	2,10	2,46	2,85	

Fuente: Manual AISC 2010

2. Se asume C1 como uno y se calcula el grosor mínimo de la soldadura (La carga V_u debe estar en Kips y las dimensiones en pulgadas):

$$d_{min} = \frac{V_u}{2\phi C C_1 l}$$

De ser menos a 5mm se debe asumir 5mm.

Luego de calcular los grosores necesarios de soldaduras, se procede a chequear:

- Afluencia por corte de la viga:

$$A_w = (d - d')t_w$$

$$\phi Rn = \phi 0,6 F_y A_w C_v \geq V_u$$

$$\phi = 1, C_v = 1$$

- Rotura por bloque de corte de la viga:

$$A_{gv} = (L + 1)t_w$$

$$A_{nt} = A_{gt} = klt_w$$

$$\phi Rn = 1,0\phi A_{nt}F_u + \phi 0,6A_{gv}F_y \geq V_u$$

Para ambos casos se debe cumplir que:

$$\phi Rn > V_u$$

De no cumplir se debe seleccionar un perfil que proporcione más grosor en el alma.

En los apéndices se encuentra el ejemplo de conexión de doble ángulo para una carga de 20.000 KgF, soldada/apernada.

5.3. Desarrollar un software para computadoras y dispositivos móviles que genere el diseño de conexiones a corte dependiendo de los tipos de perfiles viga-columna a unir y la carga a soportar.

En primera instancia se realizaron hojas de Excel en funciones sencillas para el chequeo de todas las resistencias necesarias para el diseño de conexiones a corte, para ello fue necesario vaciar información estática, como fueron:

- Datos de perfilería.
- Datos de acero.
- Datos de pernos.
- Factor C para el método del centro instantáneo de rotación.

Una vez obtenida la data estática requerida, se procedió a realizar los procedimientos para la solicitud de datos de entrada, donde el usuario debe ingresar cada uno de los datos para los cuales se desea verificar los chequeos de la conexión. Estos datos son:

- Carga cortante ultima.
- Dimensión de la conexión.
- Cantidad de pernos totales, externos e internos.
- Distancias entre perno y bordes de la plancha.
- Distancias más lejanas entre perno y centroide en X y Y.

Una vez obtenidas las entradas de datos faltantes, se procedió a formular cada ecuación para el chequeo de cada resistencia. Haciendo a su vez las comparaciones necesarias y mostrando avisos que indiquen al usuario si los datos ingresados dan pie para que la conexión funcione sin falla.

Finalizadas las hojas de cálculo en Excel, fueron interpretadas por el ingeniero informático desarrollador, quien desarrolló la aplicación en bajo la plataforma

AndroidStudio, la cual es usada para desarrollar aplicaciones en Android, para ello se utilizó la metodología modelo-vista-controlador en el cual se llevan las funciones principales, este se divide en tres partes: en el modelo se utiliza el esquema de datos, en el controlador la ejecución de cálculos y en las vistas es donde se muestran los resultados, es decir, bajo el esquema en el que se utilizan los modelos se llenan todos los datos necesarios para que las operaciones sean realizadas, en el controlador se llevan a cabo todos los cálculos, funciones y formulas; y en las vistas se publica todo y es donde el usuario hace uso de la aplicación.

En esta función hay características particulares como el uso de datos estáticos, extraídos de datas separadas a la aplicación, en formatos separados por coma, los cuales pueden ser editables en Excel, permitiendo así agregar más datos a la data de la aplicación. Estos datos son, por ejemplo, características de resistencias de los aceros, las características geométricas de los perfiles, las resistencias de los pernos, entre otros.

En general el programa se lleva a cabo mediante ciclos en especial para buscar los datos de las tablas estáticas y el resto de cálculos viene dado por las instrucciones dadas por las hojas de cálculo en Excel, donde se realizan las mismas operaciones que en la aplicación pero con una presentación más básica y menos cómoda para el usuario.

A continuación la imagen muestra interfaces de la aplicación a través de un dispositivo móvil:

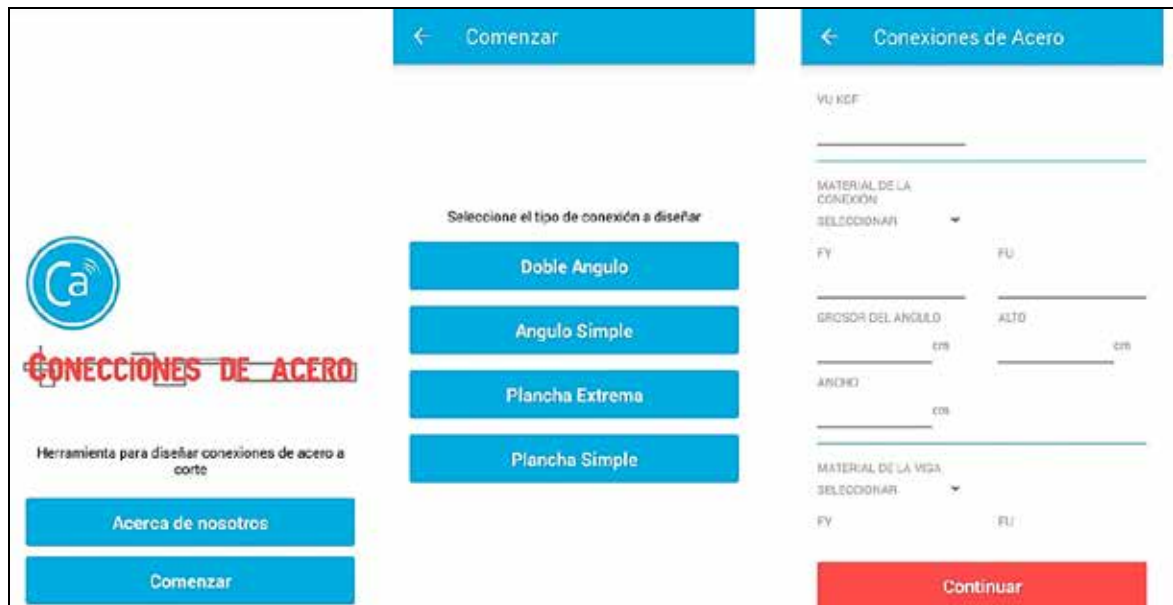


Figura 10 Vistas de interfaces de la aplicación desde un dispositivo móvil.

Fuente: María D'león (2017)

5.4. Comparación entre el método instantáneo de rotación y el método elástico

Para comparar ambos métodos se utilizara el mismo ejemplo mencionado en la sección anterior, de una conexión de doble ángulo para soportar una carga de 20.000 KgF con los siguientes datos:

Vu kgf	20000
Material de la conexión	A53B
Fy	2460 kg/cm ²
Fu	4220 kg/cm ²
Grosor del ángulo	0,7 cm
Alto	14,5 cm
Ancho	18 cm
Material de la viga	A992
Fy	3520 kg/cm ²
Fu	4570 kg/cm ²

Tipo de pernos	A325. M rosca fuera del corte
F _{nv}	4213 kg/cm ²
Datos de una sola plancha	
Total de pernos	2
Pernos internos	2
Pernos externos	2
Diámetro del perno	0,75 pu
Distancia del centro al extremo vertical	3,5 cm
Distancia del centro al extremo horizontal	3,5 cm
Distancia entre pernos	7,5 cm
Tipo de electrodos	E60XX
F _{exx}	4218 kg/cm ²
Excentricidad de diseño	5,5 cm
Perfil de la viga soportada	d
IPE-240	240
Perfil de la viga de soporte	d
HEA-120	114
Distancia en x del perno más lejano al eje	0 cm
Distancia en y del perno más lejano al eje	3,75 cm

Para el supuesto empernado

Mientras el también conocido como el método de resistencia de agotamiento, el método del centro instantáneo de rotación, considera la relación carga-deformación no lineal que fue determinada experimentalmente para pernos individuales y, predice más exactamente la resistencia de agotamiento de la conexión con cargas excéntricas. La excentricidad produce una rotación alrededor del centroide del grupo de pernos y una traslación de un elemento conectado con respecto a otro. La combinación de ambos efectos es equivalente a una rotación alrededor de un punto definido como

centro instantáneo de rotación. La localización del CI depende de la geometría del grupo de pernos y de la dirección del punto de aplicación de la carga, la resistencia de un perno en KgF.

La resistencia de agotamiento de la conexión se basa en los siguientes supuestos:

1. En la falla, el grupo de pernos gira alrededor de un CI.
2. La deformación de cada perno es proporcional a su distancia al CI y actúa perpendicularmente al radio de rotación.
3. La capacidad de la conexión se alcanza cuando se obtiene la resistencia última del perno más alejado del CI.
4. Las partes conectadas permanecen rígidas.

En el instante de la falla, el equilibrio estático debe mantenerse tanto fuerzas verticales y horizontales como momentos deben ser nulos. El procedimiento general es suponer la posición del centro instantáneo de rotación luego determinar si el valor correspondiente a la carga satisface las ecuaciones de equilibrio estático. Si es así, esa posición es correcta y la carga es la capacidad de la conexión.

Para cada arreglo de pernos considerados, se da un valor de “C”, que es la razón de carga de falla de la conexión a la resistencia de agotamiento de un perno y se obtiene dividiendo la fuerza excéntrica factorizadas por R_u . Para obtener una carga segura en la conexión, esta constante debe ser multiplicada por la resistencia de diseño del perno en particular empleado.

En este caso esa resistencia del grupo de pernos es de **33.125,33 KgF**.

Mientras que el método elástico ofrece una simplificación, pero esta aproximación conservadora no da un factor consistente de seguridad y en algunos casos, provee de resultados excesivamente conservadores. Además, el método elástico ignora la ductilidad de grupo de pernos y redistribución de cargas. Para una

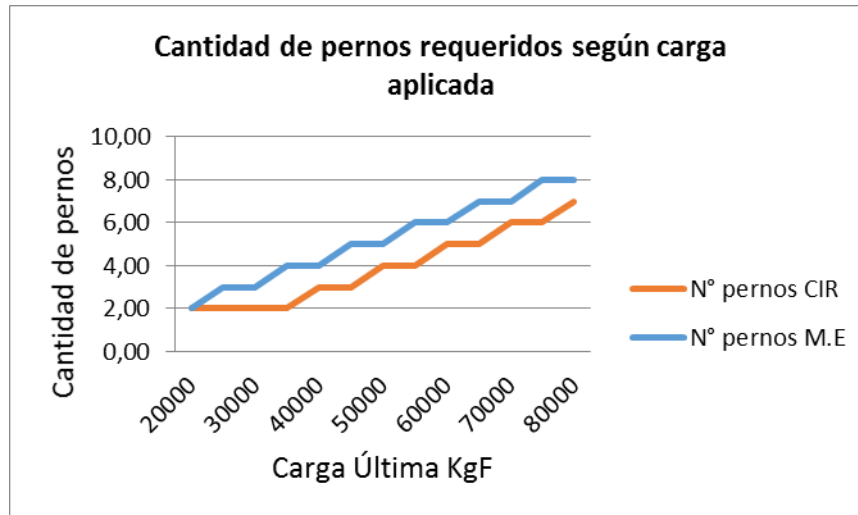
carga aplicada paralela al eje principal Y del grupo de pernos, la fuerza excéntrica P_u puede ser reemplazada por la misma carga aplicada en el centro de gravedad del grupo de pernos y un momento $P_u e$ donde “e” es la excentricidad. Si se hace este reemplazo, la carga será concéntrica y se puede suponer que cada perno resiste una porción igual de la carga y una porción del momento excéntrico $P_u e$ que es proporcional a la distancia CG.

El perno más alejado del CG, es el que tiene el esfuerzo mayor. La resultante de la suma vectorial de estas fuerzas R_u es la resistencia requerida por el perno.

La resistencia ofrecida por este método para este caso es de **5.053,49 KgF** por perno, al ser cuatro pernos considerando las dos planchas en total la resistencia es de **20.213,96 KgF**.

Demostrando en este caso que en efecto el método elástico es más conservador.

A continuación se presenta un gráfico que refleja la diferencia en la cantidad de pernos A325. M rosca fuera del corte, necesarios según el método utilizado considerando las mismas características del ejemplo pero aumentando progresivamente la carga ultima:



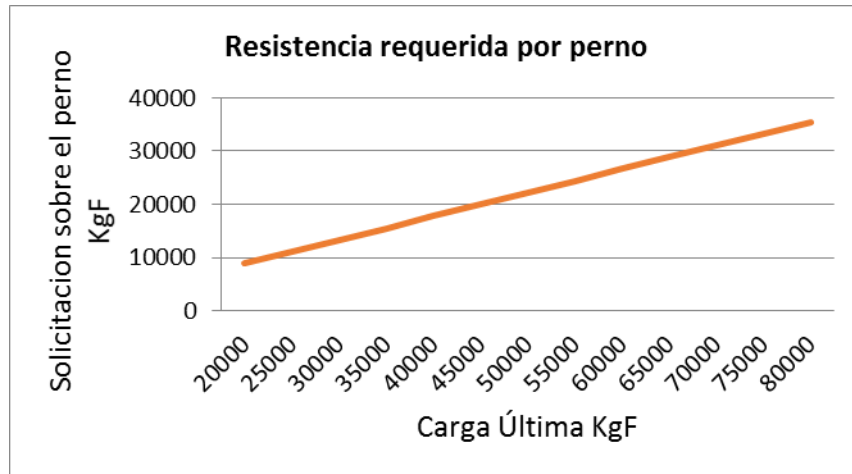
Gráfica 6 Cantidad de pernos requeridos según la carga aplicada.

En el grafico se muestra como el método elástico y el método del centro instantáneo de rotación coinciden en la misma cantidad de pernos necesarios en la conexión hasta que la carga es de 20.000 KgF, luego el método del centro instantáneo de rotación refleja la necesidad de la conexión por tener un perno más cuando la carga aumenta a 40.000KgF, aumentando una unidad cada 10.000 KgF, mientras que el método elástico tiene ese comportamiento de necesidad cada 10.000 KgF desde los 20.000 KgF, trayendo como consecuencia que luego de los 35.000 KgF necesite un perno más que los que sugiere el método del centro instantáneo de rotación.

La gráfica 7 muestra además la variación de la resistencia requerida por cada perno contra la carga última a corte de la conexión.

Por supuesto, entre mayor sea el corte último, mayor será la solicitud directa al perno.

Cabe recordar que este ensayo se realizó para pernos tipo A325. M rosca fuera del corte con una F_{nv} de 4213 kg/cm².



Gráfica 7 Variación de la resistencia contra la carga última a corte.

Para el supuesto soldado

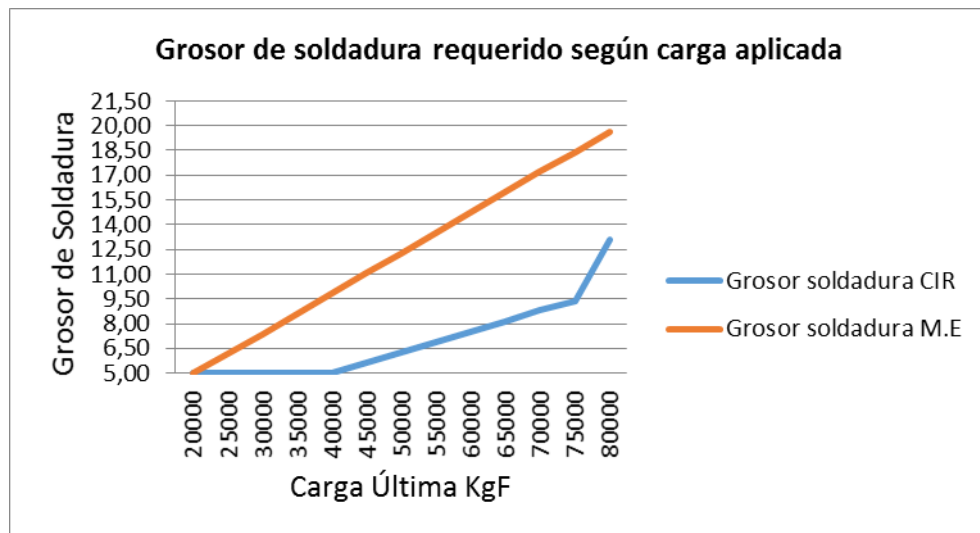
El método del centro instantáneo de rotación, en vez de considerar pernos individuales, trata la soldadura continua como conjunto de segmentos discretos. En la falla, la carga aplicada a la conexión es resistida por fuerzas en cada elemento, con cada fuerza actuando perpendicularmente al radio trazado del centro instantáneo de rotación al centroide del segmento. La determinación de qué elemento tiene la deformación máxima y calcular la fuerza en cada elemento de falla es mucho más difícil.

El elemento con la menor razón es el que alcanza primero su capacidad última. Los cálculos se basan en la localización supuesta del centro instantáneo de rotación. Si ella es la posición correcta, las ecuaciones de equilibrio serán satisfechas para luego obtener el grosor mínimo necesario de la soldadura de conexión que en este caso es **6.53mm**.

Alternativamente, el método elástico puede ser utilizado para analizar las cargas excéntricas en grupos de soldaduras. Eso ofrece una simplificación, pero esta aproximación conservadora no da un factor consistente de seguridad y, en algunos casos, provee de resultados excesivamente conservadores. Además, el método

elástico ignora la ductilidad del grupo de soldaduras y la redistribución de cargas que ocurre. En el método elástico para una carga aplicada paralela el eje principal Y del grupo de soldaduras, la fuerza excéntrica P_u puede ser reemplazada por la misma carga aplicada en el centro de gravedad CG del grupo de soldaduras y un momento $P_u e$ donde “ e ” es la excentricidad. Si se hace este reemplazo, la carga será concéntrica y se puede suponer que cada elemento excéntrico $P_u e$ es proporcional a la distancia CG, pasa así luego calcular el grosor de las soldaduras, los resultados para este caso arrojaron que el grosor mínimo es 4.91 mm asumiendo **5mm**. En este caso resulto más conservador el método del centro instantáneo de rotación.

A continuación se muestra una gráfica que expone los grosores de soldaduras requeridos según el método utilizado:

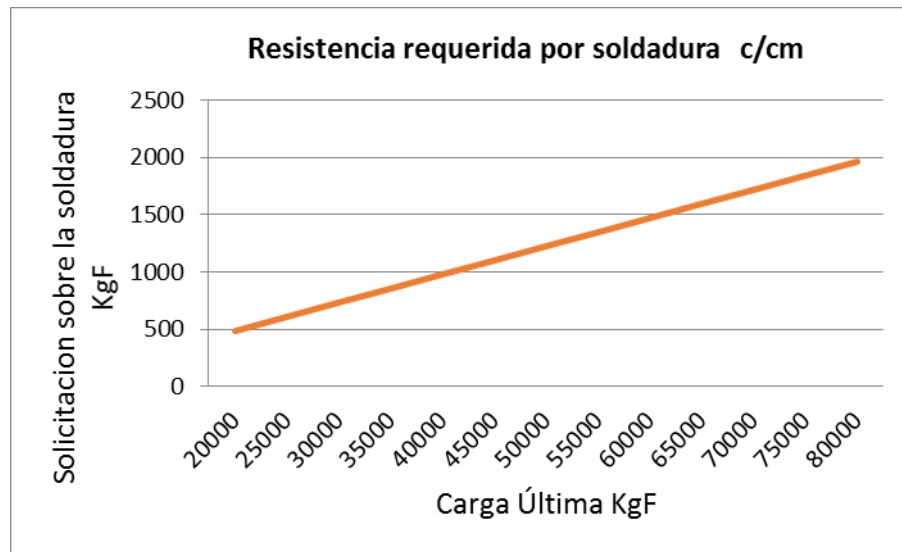


Gráfica 8 Grosor de soldadura requerido según la carga última.

En la gráfica se muestra como el método elástico amerita un grosor de soldadura considerablemente mayor que el que sugiere el método del centro instantáneo de rotación, en la diferencia mayor entre ambos es de casi el 200%, 194.7% para ser exactos, de manera que el cálculo de soldaduras por el método

elástico amerita casi el doble de grosor de soldadura que por el método del centro instantáneo de rotaciones.

A continuación, se muestra una gráfica para relacionar el cortante último con la sollicitación de la soldadura por cada cm de la misma:



Gráfica 9 Variación de la resistencia requerida de la soldadura según carga última a corte.

Por supuesto, entre mayor sea el corte último, mayor será la sollicitación directa sobre la soldadura.

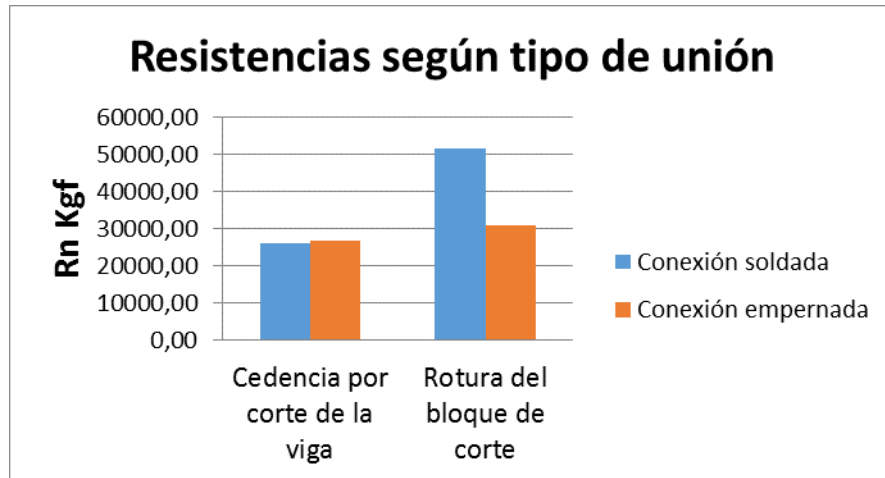
En términos de cálculo, sin duda alguna el método del centro instantáneo de rotación es mucho más sencillo puesto que no requiere muchos cálculos, una vez encontrado el factor C, al multiplicar la resistencia inicial del perno por el nos da directamente la resistencia requerida. Mientras que el método elástico, tiene muchos más pasos y más cálculos por realizar y teniendo en cuenta que entre más pasos hay más riesgo a error, se determina que sin duda alguna el método más práctico es el método del centro instantáneo de rotaciones.

5.5. Realizar análisis comparativo en cuestión de seguridad entre los tipos de conexión.

Para detallar mejor la seguridad que ambos análisis aportan a las conexiones dependiendo de su tipo, se presenta en los apéndices un ejemplo detallado para conexiones de doble ángulo soldadas/apernadas utilizando ambos métodos obteniendo como primer resultado que los elementos empernados tienen más resistencia a la afluencia de la viga mientras que la soldadura resiste más la rotura por bloque de corte a su vez el método del centro instantáneo de rotaciones es proporcionar una seguridad aceptable mientras que el método elástico, por ser muy conservador, arroja resistencias muy bajas para las mismas dimensiones, no cumpliendo así con la resistencia requerida y en las soldaduras, según el método elástico se requiere un grosor de viga menor al que arroja el método CIR.

Por otra parte a la hora de ensamblar, la soldadura presenta un par de desventajas que el empernado no, como el requerimiento de personal profesional en el área y al momento de desmontar, esta deja secuelas en los materiales de unión, mientras que los pernos pueden ser perfectamente removidos ayudando así a la nueva era de desarrollo sustentable en la reutilización de material.

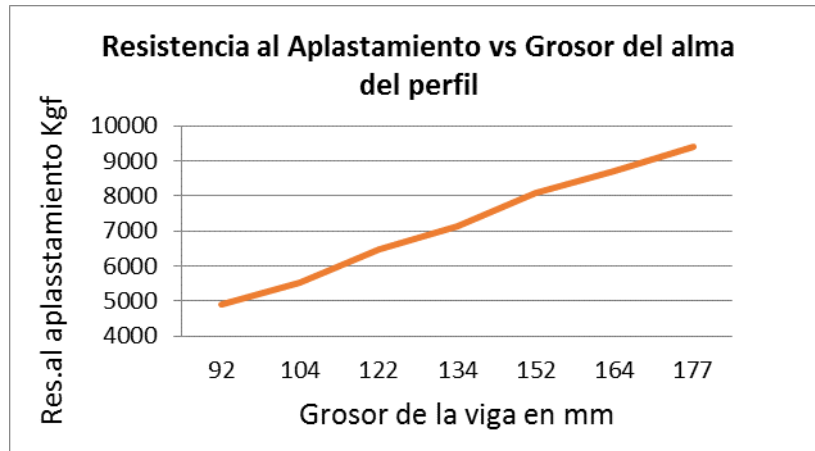
A continuación se muestra en términos generales las resistencias entre los elementos soldados y empernados para el ejemplo utilizado:



Gráfica 10 Comparación de las resistencia y métodos de cálculo.

De la relación anterior se denota como para la afluencia de la viga son prácticamente las mismas cuando la conexión es soldada o apernada sin embargo como el área de corta neto y gruesa para las soldaduras es la misma, la resistencia a la rotura por bloque de corte es muchísimo mayor, alcanzando el 166.7% más de resistencia.

Al mismo tiempo, los perfiles de viga soportada y a soportar fueron de tipo I y H, de manera que la variación del perfil solo modificara el grosor del alma, ya que en esa zona es donde se produce la conexión, al variar dicho ángulo se vieron los siguientes resultados en las resistencias, tomando en cuenta el mismo ejemplo utilizado. En el siguiente gráfico se muestra la variación de la resistencia al aplastamiento mientras se aumenta el grosor del alma del perfil.



Gráfica 11 Resistencia de aplastamiento según el grosor del alma del perfil.

En el cual se evidencia y se verifica que a mayor grosor de alma mayor resistencia al aplastamiento se tendrá.

Es por ello que el programa a realizar se va a efectuar considerando el método del centro instantáneo de rotaciones y el método elástico para elementos empernados de conexiones a corte, sin embargo, como para cada combinación de pernos existe un cálculo diferente y para ello el uso de elementos finitos el cual amerita mucho más tiempo de investigación y de programación que el otorgado para esta investigación, las conexiones a diseñar en el programa serán de doble ángulo de una columna de pernos, ángulo simple de una columna de pernos, plancha simple de una fila de pernos y plancha extrema de dos columnas de tres filas de pernos, de las cuales se podrá configurar el tipo de material y dimensión de la conexión, perfiles de viga de soporte y soportada, tipo y cantidad de pernos.

CONCLUSIONES

- Las conexiones de acero a corte entre vigas soportadas y columnas o vigas de soporte, se consideran flexibles, permitiendo una mínima rotación de 0.003 rad, además la forma más sencilla de unión es el empernamiento puesto que se puede realizar directamente en el sitio.
- Cada tipo de conexión a corte tiene su propia metodología de diseño, dependiendo de la cantidad de carga a soportar, el tipo de material de conexión de material de la viga, de tipos de pernos y de las dimensiones de la misma, además, dependiendo del método para la verificación de la resistencia del perno, este puede necesitar más o menos pernos, teniendo en cuenta que el método elástico estudia el perno más alejado tomando como el que general un esfuerzo mayor, mientras que el método del centro instantáneo de rotaciones asume que el conjunto de pernos puede rotar alrededor de un centroide de ese grupo de pernos.
- La aplicación para dispositivos móviles se completó con éxito, promoviendo la agilización en los cálculos de diseño de las conexiones a corte, el cual dando de entrada datos como: dimensiones, material de la unión, tipos de perfiles de viga de soporte y soportada; arrojando como resultados los chequeos necesarios que cada conexión requiere. En este caso las características de las conexiones son limitadas puesto que para hacer combinaciones cualesquiera de pernos es necesario el uso de elementos finitos lo cual también requiere mucho más tiempo de análisis y programación.
- De acuerdo a la seguridad, el método elástico para la verificación de la resistencia del perno es más conservador que el método del centro instantáneo de rotación, evidenciado primeramente en la cantidad de pernos requeridos según cada método, el método elástico siempre va a requerir al menos un método más que el método del centro instantáneo de rotación, de igual manera el grosor de soldadura que requiere el método elástico es casi el doble al requerido por el método del centro instantáneo de rotaciones. Por ende se considera más seguro y a su vez más

costoso, debido a que al requerir más pernos, más grosor de soldadura, es más material y por ende más dinero que debe ser tomado en cuenta a la hora del análisis.

- Cabe resaltar, además, que la soldadura aporta mayor resistencia, sobre todo al bloque de cortante con un 166% más que la aportada por el empernamiento, debido a que, por su condición, esta tiene un área gruesa igual al área neta de corte y de tracción. Otro análisis a concluir es que refleja el cambio de grosor del alma de las vigas, tanto de soporte como las soportadas, y tal cual como evidenciaron los tanteos, entre más grosor de viga haya más resistencia tendrá la conexión.

RECOMENDACIONES

- Mostrar en el software un esquema de cada tipo de conexión para saber exactamente qué medidas son las solicitadas.
- Establecer la separación entre los pernos según la norma además de solo por la separación geométrica de la plancha.
- Hacer el programa más automático, calculando datos a partir de otros datos de entrada, como por ejemplo la cantidad de pernos internos y externos.
- Hacer referencia a cada ecuación que se esté utilizando según la norma.
- Realizar los estudios pertinentes para que el programa utilice perfiles tubulares.
- Que el programa tenga graficas de comparación entre el método elástico y el método del centro instantáneo de rotaciones.
- Realizar el estudio mediante elementos finitos para obtener resultados con infinitas combinaciones de pernos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J; Sotelo, H (2014) Software libre para el diseño de conexiones metálicas de acuerdo con la NSR-10. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Acuña, M (1997). Como se elabora el proyecto de investigación. Caracas. Venezuela: Servicio Editorial.
- AISC, instituto americano de construcciones de acero (2010) Nueva York.
- Android Studio (2016), Especificaciones de Android en su versión 2.2.2.0. Revisado el 20 de diciembre de 2016. <https://developer.android.com/studio/index.html?hl=es-419>.
- Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación introducción a la metodología científica. Caracas: EPISTEME C.A.
- Astorga, J (2009) Diseño sísmico de un edificio de marcos de acero con conexiones viga columna sma. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Díaz, H (2010) Curso de análisis y diseño de conexiones en estructuras de acero bajo la normativa de la AISC 2010. Venezuela.
- Faundes, P (2002) Diseño y detallado de conexiones para edificaciones de acero estructural. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. Venezuela.
- Fratelli, M (2003) Diseño de estructuras metálicas estados límites de la LRFD. Venezuela.
- Gomez, A (2012). ¿Qué es el acero estructural? .ARQHYS. Revisado el 12 de Diciembre de 2016. [http:// www.arqhys.com/contenidos/estructurales-aceros.html](http://www.arqhys.com/contenidos/estructurales-aceros.html).
- González, W (2014) Construcciones II. [Universidad Técnica Particular de Loja](#).
- Mendez, C (1999). Metodología. Bogota, Colombia: INTERAMERICANA S.A.
- Reinoza, H; Rivero, J (2004) Diseño de conexiones viga-columna sometidas a corte y flexión para pórticos de acero. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. Venezuela
- Sabino, C (1978). El proceso de investigación. Buenos Aires, Argentina.

Sampieri, R (2000). Metodología de la investigación. México: ULTRA S.A.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación científica. Mexico DF:
LIMUSA. S.A.

UNE-EN 10020:2001. Norma española de aceros. España

APÉNDICES

CONEXIÓN DE DOBLE ANGULO SOLDADA/APERNADA UNA FILA DE 2 PERNOS

DATOS INGRESADOS POR EL USUARIO

Vu kgf	25000
Material de la conexión	A53B
Fy	2460 kg/cm ²
Fu	4220 kg/cm ²
Grosor del angulo	0,7 cm
Alto	14,5 cm
Ancho	18 cm
Material de la viga	A992
Fy	3520 kg/cm ²
Fu	4570 kg/cm ²
Tipo de pernos	A325. M rosca fuera del corte
Fnv	4213 kg/cm ²
Datos de una sola plancha	
Total de pernos	2
Pernos internos	2
Pernos externos	2
Diametro del perno	0,75 pu
Distancia del centro al extremo vertical	3,5 cm
Distancia del centro al extremo horizontal	3,5 cm
Distancia entre pernos	7,5 cm
Tipo de electrodos	E60XX
Fexx	4218 kg/cm ²
Excentricidad de diseño	5,5 cm

Perfil de la viga soportada	d	tw	tf	k det	T
IPE-240	240	6,2	9,8	25	190
Perfil de la viga de soporte	d	tw	tf	k det	T
HEA-120	114	5	8	20	74

Distancia en x del perno mas lejano al eje	0 cm
Distancia en y del perno mas lejano al eje	3,75 cm

Apéndice Ejemplo conexión doble ángulo.
Fuente: María D'león (2017)

$A = \frac{d_o^2 \cdot \pi}{4}$	2,85 cm ²				
$M_u = V \phi$	137500,00 Kg cm				
$\phi F_n = \phi F_{nv} A b$	9001,45 kgf				
$\phi = 0,75$					
RESISTENCIA AL CORTE DEL PERNO METODO ELASTICO					
$d_i = \sqrt{d_{xi}^2 + d_{yi}^2}$	3,75 cm				
$I_p = 2 * d_i^2$	56,25 cm ²				
$r_{pux} = 0$					
$r_{puy} = \frac{V_u}{n}$	6250,00 kgf				
$r_{mx} = \frac{M_u d_y}{I_p}$	9166,67 kgf				
$r_{my} = \frac{M_u d_x}{I_p}$	0,00 kgf				
$r_u = \sqrt{(r_{pux} + r_{mx})^2 + (r_{puy} + r_{my})^2}$	11094,61 kgf	≤	9001,45 kgf	NO CUMPLE	81,13%
RESISTENCIA AL CORTE DEL PERNO CIR					
e/s	0,73				
$e_x = e/s * 3$	3				
numero de pernos verticales	2				
C (de la tabla 7-8)	2,03				
$\phi R_n = C \phi r_n$	18272,34 kgf	≥	12500,00 kgf	CUMPLE	146,18%
RESISTENCIA DE APLASTAMIENTO / DESGARRE					
APLASTAMIENTO					
$\phi R_n = \phi 2,4 d_b t F_u$	39347,28 kgf				

DE NO CUMPLIR, AUMENTAR LA CANTIDAD DE PERNOS O GROSOR DE

El metodo del CIR es más seguro y es más rápido de aplicar.

DESGARRE

$$\phi Rn = \phi 1,2 L_c t F_u$$

$$\phi = 0,75$$

Pernos internos

$$\phi Rni = 19939,50 \text{ kgf} < 39347,28 \text{ kgf} \rightarrow 19939,50 \text{ kgf}$$

Pernos externos

$$\phi Rne = 9305,10 \text{ kgf} < 39347,28 \text{ kgf} \rightarrow 9305,10 \text{ kgf}$$

$$\phi Rn = n_i \phi r_{ni} + n_o \phi r_{ne} \geq V_u \quad 58489,20 \text{ kgf} \geq 25000,00 \text{ kgf} \quad \text{CUMPLE}$$

RESISTENCIA A CORTE DE LOS ANGULOS

area gruesa
agv= **20,30 cm²** Ant

CEDENCIA POR CORTE 1-1

$\phi = 1$

$$\phi Rn = \phi 0,6 F_y A_{gv} \geq V_u \quad 29962,80 \text{ kgf} > 25000,00 \text{ kgf} \quad \text{CUMPLE}$$

CEDENCIA POR CORTE 2-2

anv= **14,08 cm²**

$\phi = 0,75$

$$\phi Rn = \phi 0,6 F_u A_{nv} \geq V_u \quad 26732,22 \text{ kgf} > 25000,00 \text{ kgf} \quad \text{CUMPLE}$$

ROTURA POR BLOQUE DE CORTANTE

Agt **4,90 cm²** ant **3,34 cm²** agv **15,40 cm²** anv **10,73 cm²**

$$\phi Rn = 1,0 \phi A_{nt} F_u + \phi 0,6 A_{nv} F_u \geq V_u$$

30966,04 kgf

$$30966,04 \text{ kgf} \geq 25000,00 \text{ kgf} \quad \text{CUMPLE}$$

$$\phi Rn = 1,0 \phi A_{nt} F_u + \phi 0,6 A_{gv} F_y \geq V_u$$

35414,74 kgf

SOLDADURA

METODO ELASTICO

Ubicación del centro de gravedad

L= **145**

kl=

159 cm

Pos	Xo	Yo	Li	Lxo	Lyo
1	79,5	145	159	12640,5	23055
2	159	72,5	145	23055	10512,5
3	79,5	0	159 cm	12640,5	0
		suma	463	48336	33567,5

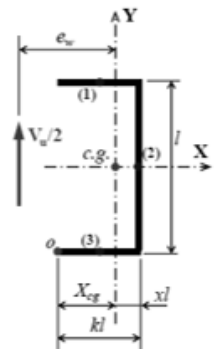
Xcg=	104,3974082 cm
Xl=	54,60259179 cm
ew=	12,5 cm
Ycg=	72,5 cm

$$d_i = d^2_{xi} + d^2_{yi}$$

$$K_p = \sum l_i \left(\frac{l_i^2}{12} + d_i^2 \right)$$

Pos	Xi mm	Yimm	dimm	Limm	kp cm ³
1	24,90	72,50	76,66	159,00	1269,28
2	-54,60	0,00	54,60	145,00	686,36
3	24,90	-72,50	76,66	159,00	1269,28
		Suma	207,91	463,00	3224,92

KP **3224,92**



$$M_u = V_u e_w$$

312500

kg*cm

$$r_p = \frac{V_u}{2 \sum l_i}$$

$$r_{mx} = \frac{M_u d_y}{2K_p}$$

$$r_{my} = \frac{M_u d_x}{2K_p}$$

$$r_u = \sqrt{(r_{mx})^2 + (r_p + r_{my})^2}$$

Pos	dx mm	dy mm	rp	rmx	rmy	ru
A	-47,60	-72,50	269,98	351,27	230,64	611,56
B	17,90	72,50	269,98	-351,27	-230,64	353,46

ru= 611,56 kgf

$\phi F_u = \phi 0,60 F_{EXX}$	1898,10 kgf
--------------------------------	--------------------

$w \geq \frac{r_u}{\phi F_u 0,07}$	6,14 mm
------------------------------------	----------------

METODO CIR

L	145,00 mm
KL	159,00 mm
K	1,10 mm
a=ew/L	0,9

ENTRAR CON A Y K A LA TABLA 8-8

C	3,26
C1	1
L	5,71 pu
Vu	55,12 kips

$d_{min} = \frac{V_u}{2\phi C C_1 l}$	0,12 pu
	3,13 mm

Si el dmin es menor a 5mm se asuman 5mm

Se asume como W=	5,00 mm
------------------	---------

$F_w = 0,6F_{ext}$	2530,80 kgf
--------------------	-------------

$t_{wmin} = \frac{2,36F_w W}{F_u}$	6,53 mm
------------------------------------	---------

Parte mas delgada de la union entre angulo y viga soporte	5,00 mm
---	---------

6,53 mm	≥	6,20 mm	Se asume	6,53 mm
---------	---	---------	----------	---------

CEDENCIA POR CORTE DE LA VIGA

$C_v=1$

$\phi=1$

$d'=5$

$A_w = (d - d')t_w$	12,42 cm ²
---------------------	-----------------------

$\phi R_n = \phi 0,6F_y A_w C_v \geq V_u$	26222,32 kgf	≥	25000,00 kgf
---	--------------	---	--------------

CUMPLE

ROTURA POR BLOQUE DE CORTE DE LA VIGA

$\phi=0,75$

$A_{gv} = (L+1)t_w$	10,13 cm ²
---------------------	-----------------------

$A_{nt} = A_{gt} = k'l't_w$	10,39 cm ²
-----------------------------	-----------------------

$\phi R_n = 1,0\phi A_{nt}F_u + \phi 0,6A_{gv}F_y \geq V_u$	51656,07 kgf	≥	25000,00 kgf
---	--------------	---	--------------

CUMPLE

