

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA MECANICA



TESIS PARA OBTAR EL TITULO DE INGENIERO MECANICO

**“ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METALICAS DE
ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES UTILIZANDO EL
SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION”**

AUTOR

Bach. ROMERO CASTILLO JHONATAN ALBERTO

ASESOR

M.Sc. ARQUIMEDES IPARRAGUIRRE LOZANO

Febrero 2021

Lima – Perú



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis “ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METÁLICAS DE ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES, UTILIZANDO EL SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION”, elaborado por el bachiller **Jhonatan Romero Castillo**, con código de matrícula N^o 0201016035, de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica.

Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.

M.Sc. Arquímedes Iparraguirre Lozano

ASESOR



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente informe de tesis titulado: "ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METÁLICAS DE ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES, UTILIZANDO EL SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION", elaborado por el bachiller ROMERO CASTILLO JHONATAN ALBERTO para optar el Título Profesional de Ingeniería Mecánica.

Fue revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Ing. RUSBER ALBERTO RISCO OJEDA
PRESIDENTE

Ms. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA
SECRETARIO

M.Sc. ARQUIMEDES IPARRAGUIRRE LOZANO
INTEGRANTE



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las 17:00 horas del 22 de febrero del año dos mil veintiuno, el Jurado Evaluador integrado por los docentes:

Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda – Presidente

Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza – Secretario

M. Sc. Arquímedes Iparraguirre Lozano – Integrante

En cumplimiento a las Resoluciones N° 192-2020-UNS-CFI y Resolución de Expedito N° 069-2021-UNS-FI, mediante la plataforma virtual ZOOM <https://uns-edu-pe.zoom.us/j/83556684263?pwd=bERmVzAwMFRJZ1hwcFQwMzJDZ09lQT09>. En cumplimiento a la Directiva N° 003-2020-UNSVRAC, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada:

“ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METÁLICAS DE ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES, UTILIZANDO EL SOFTWARE IDEA STÁTICA CONNECTION”

Bachiller: ROMERO CASTILLO JHONATAN ALBERTO, código N° 0201016035, Asesor: M. Sc. ARQUÍMEDES IPARRAGUIRRE LOZANO.

El Jurado Evaluador, después de deliberar los actos de la sustentación virtual, según los instrumentos de evaluación emitidos por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica y en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:


APROBAR LA SUSTENTACION CON LA NOTA DE:

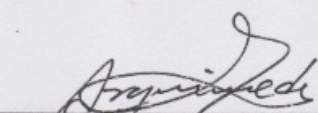
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ROMERO CASTILLO JHONATAN ALBERTO	17	MUY BUENO

Siendo las 18:15 horas del mismo día, se dio por terminado el Acto de Sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 22 de Febrero del 2021.


Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza
Secretario


Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda
Presidente


M. Sc. Arquímedes Iparraguirre Lozano
Integrante

DEDICATORIA

Con mucho cariño y respeto a mis preciados padres, a ustedes quienes me dieron la vida y siempre me han brindado su comprensión y amor desinteresado. Gracias por su guía, sus sabios consejos, por la formación que me han dado, por fomentar en mí el deseo de saber, de conocer y de siempre seguir adelante, tengan presente que el orgullo más grande que tengo, es ser su hijo.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE SIMBOLOS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 DENOMINACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	3
1.4 HIPOTESIS	3
1.5 VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES	3
1.6 OBJETIVOS.....	4
1.7 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.8 LIMITACIONES.....	5
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	6
2.1 Uniones empernadas.....	7
2.1.1 Tipos de pernos.....	7
2.1.2 Propiedades mecánicas de los pernos.....	8
2.1.3 Apretados de pernos	8
2.1.4 Resistencia nominal de pernos	8
2.1.5 Comportamiento de uniones empernadas con fuerza cortante	10
2.1.6 Modos de falla y estados limites en uniones empernadas	10
2.1.7 Resistencia de diseño en uniones empernadas tipo aplastamiento (LRFD).....	11
2.1.8 Resistencia de diseño en uniones empernadas tipo fricción (LRFD).....	13
2.2 Uniones soldadas	15
2.2.1 Tipo de soldadura	15
2.2.2 Resistencia de diseño en uniones soldadas (LRFD).....	21
2.3 Disponibilidad de las uniones.....	25

2.3.1 Tipos de uniones.....	26
2.4 Curva momento – rotación ($M-\phi$).....	32
2.5 Clasificación de las uniones	33
2.6 Modelización de la unión - método de análisis global	38
2.7 Modelización simplificada de la unión.....	42
2.8 Modelos para predecir la curva momento-rotación ($M-\phi$)	45
2.9 Modelo Numérico: Método de elementos finitos (MEF).....	45
2.10 IDEA StatiCa Connection	49
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODO.....	54
3.1 Materiales	55
3.2 Metodología.....	55
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	57
4.1 Unión tipo viga – columna con chapa de testa extendida (CBFEM)	58
4.2 Unión tipo viga – trabe con ángulo doble (CBFEM)	67
4.3 Unión tipo viga – columna con chapa de testa irregular (CBFEM)	75
4.4 Discusiones.....	85
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
5.1 Conclusiones.....	88
5.2 Recomendaciones	89
CAPITULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
6.1 Bibliografía.....	91
ANEXO A.....	93
ANEXO B.....	106
ANEXO C.....	117
ANEXO D.....	122
ANEXO E.....	135
ANEXO F	142

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Dimensiones de pernos y tuercas	7
Tabla 2. 2 Pretensión mínima en el perno, KIb^*	8
Tabla 2. 3 Resistencia nominal de pernos y partes roscadas	9
Tabla 2. 4 Tamaños mínimos para las soldaduras de filete, W_{min}	15
Tabla 2. 5 Espesor mínimo de garganta efectiva en soldaduras de penetración parcial PJP.	20
Tabla 2. 6 Coeficiente de modificación de la rigidez η	40
Tabla 2. 7 Valor de coeficiente Ψ	42
Tabla 2. 8 Modelización simplificada.....	43
Tabla 2. 9 Modelización de los tipos de uniones	44
Tabla 2. 10 Modelización de las uniones y análisis de la estructura.....	44
Tabla 4.1. 1 Cargas factorizadas de diseño, LE1	58
Tabla 4.1. 2 Propiedades mecánicas, LE1	59
Tabla 4.1. 3 Tensión - deformación de los miembros como placas individuales, LE1	59
Tabla 4.1. 4 Resistencia de diseño a aplastamiento de los pernos, LE1	61
Tabla 4.1. 5 Resistencia de diseño a tracción y cortante de los pernos, LE1	61
Tabla 4.1. 6 Resistencia de diseño de la soldadura de filete, LE1	62
Tabla 4.1. 7 Capacidad máxima de resistencia de la unión, LE1	64
Tabla 4.1. 8 Rigidez rotacional, LE1	64
Tabla 4.1. 9 Rigidez rotacional secante. LE1	65
Tabla 4.1. 10 Estabilidad de la unión por pandeo, LE1	65
Tabla 4.1. 11 Capacidad de rendimiento de la unión, LE1	66
Tabla 4.2. 1 Cargas factorizadas de diseño, LE2	67
Tabla 4.2. 2 Propiedades mecánicas, LE2	68
Tabla 4.2. 3 Tensión - deformación de los miembros como placas individuales, LE2.....	68
Tabla 4.2. 4 Resistencia de diseño a aplastamiento de los pernos, LE2	70
Tabla 4.2. 5 Resistencia de diseño a tracción y cortante de los pernos, LE2	70
Tabla 4.2. 6 Capacidad máxima de resistencia de la unión, LE2.....	71
Tabla 4.2. 7 Rigidez rotacional, LE2	72
Tabla 4.2. 8 Rigidez rotacional secante, LE2	72
Tabla 4.2. 9 Estabilidad de la unión por pandeo, LE2	73
Tabla 4.2. 10 Capacidad de rendimiento de la unión, LE2	74

Tabla 4.3. 1 Cargas factorizadas de diseño, LE3	75
Tabla 4.3. 2 Propiedades mecánicas, LE3	76
Tabla 4.3. 3 Tensión - deformación de los miembros como placas individuales, LE3	76
Tabla 4.3. 4 Resistencia de diseño a aplastamiento de los pernos, LE3	78
Tabla 4.3. 5 Resistencia de diseño a tracción y cortante de los pernos, LE3	78
Tabla 4.3. 6 Resistencia de diseño de la soldadura de filete, LE3	79
Tabla 4.3. 7 Capacidad máxima de resistencia de la unión, LE3	81
Tabla 4.3. 8 Rigidez rotacional, LE3	82
Tabla 4.3. 9 Rigidez rotacional secante, LE3	82
Tabla 4.3. 10 Estabilidad de la unión por pandeo, LE3	83
Tabla 4.3. 11 Capacidad de rendimiento de la unión, LE3	84
Tabla A. 1 Cargas gravitacionales	94
Tabla A. 2 Cargas factorizadas requeridas para el diseño de los miembros	95
Tabla B. 1 Propiedades geométricas de los miembros.....	106
Tabla B. 2 Propiedades mecánicas	107
Tabla B. 3 Cargas factorizadas de diseño requeridas.....	107
Tabla C. 1 Propiedades geométricas de los miembros.....	118
Tabla C. 2 Propiedades mecánicas	118
Tabla C. 3 Cargas factorizadas de diseño requerida	118

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Ubicación relativa del plano de corte	9
Figura 2. 2 Comportamiento esquemático de una unión empernada sometido a fuerza cortante	10
Figura 2. 3 Estado límite de falla por aplastamiento y desgarramiento	12
Figura 2. 4 Tipos de soldaduras estructurales	15
Figura 2. 5 Terminología de la soldadura de filete	16
Figura 2. 6 Longitud efectiva y área efectiva en soldadura de filete	17
Figura 2. 7 Soldaduras de ranura de penetración completa en la junta CJP.	18
Figura 2. 8 Terminología de soldadura	19
Figura 2. 9 Soldaduras de ranura de penetración parcial en la junta, dimensiones "E" y "S"	20
Figura 2. 10 Centro de gravedad de la soldadura de filete	21
Figura 2. 11 Soldadura de filete longitudinal y transversal	22
Figura 2. 12 Diferentes tipos de uniones en un pórtico de varias plantas	25
Figura 2. 13 Modos de falla en una unión viga-columna no reforzada.....	26
Figura 2. 14 Unión típica de columna a columna	27
Figura 2. 15 Unión típica de placa base a columna	27
Figura 2. 16 Unión típica simple de viga a columna	28
Figura 2. 17 Unión típica rígida de viga a columna.....	29
Figura 2. 18 Unión típica simple de viga a viga	29
Figura 2. 19 Unión típica rígida de viga a viga.....	30
Figura 2. 20 Unión típica horizontal de arriostramiento	31
Figura 2. 21 Unión típica vertical de arriostramiento	31
Figura 2. 22 Comportamiento real de una unión viga-columna:	32
Figura 2. 23 Curva momento – rotación de algunas uniones tipo viga – columna	33
Figura 2. 24 Clasificación de la unión en función de su rigidez rotacional	34
Figura 2. 25 Grafica de la clasificación de una unión en función de la rigidez.	34
Figura 2. 26 clasificación de una unión en función de la resistencia	37
Figura 2. 27 Diferentes tipos de clasificación de uniones viga – columna	38
Figura 2. 28 Curva $M_j - \phi$ para un análisis global elástico: rígida, articulada y semi-rígida	38
Figura 2. 29 Curva $M_j - \phi$ para un análisis global elástico	39
Figura 2. 30 Curva $M_j - \phi$ para análisis rígido plástico	40
Figura 2. 31 Curva $M_j - \phi$ para análisis elasto – plástico	41
Figura 2. 32 Curva $M_j - \phi$ para análisis elasto – plástico con diferentes representaciones.....	42
Figura 2. 33 (a) Elemento de línea simple de dos nodos	45
Figura 2. 34 (b) Elementos bidimensionales simples con nodos de esquina	46
Figura 2. 35 (c) Elementos tridimensionales simples	46

Figura 2. 36 (d) Elementos triangulares y cuadriláteros axisimétricos simples	46
Figura 2. 37 Discretización de malla, de una superficie (dominio o región) usando elementos triangulares.	47
Figura 2. 38 Proceso de Análisis por Elementos Finitos en Software	48
Figura 2. 39 Modelos MEF en uniones metálicas utilizando software	49
Figura 2. 40 Unión soldada rígida	50
Figura 2. 41 Unión empernada semi-rígida	51
Figura 2. 42 Factor de pandeo crítico para una placa de refuerzo como alargamiento de una armadura	52
Figura 2. 43 Ejemplos de formas de pandeo	53
Figura 4.1. 1 Unión a momento con chapa de testa extendida, LE1	58
Figura 4.1. 2 Deformación de los miembros de la unión, LE1	60
Figura 4.1. 3 Tensión de los miembros de la unión, LE1	60
Figura 4.1. 4 Posición de los pernos, LE1	62
Figura 4.1. 5 Resistencia de diseño de la unión, LE1	64
Figura 4.1. 6 Diagrama momento - rotación ($M_y - \phi_y$), LE1	65
Figura 4.1. 7 Pandeo local en el alma de la columna de unión (deformación sobredimensionada a escala 100:1)	66
Figura 4.2. 1 Unión a cortante con ángulo doble, LE2	67
Figura 4.2. 2 Deformación de los miembros de la unión, LE2	69
Figura 4.2. 3 Tensión de los miembros de la unión, LE2	69
Figura 4.2. 4 Posición de los pernos, LE2	71
Figura 4.2. 5 Resistencia de diseño de la unión, LE2	72
Figura 4.2. 6 Diagrama momento - rotación ($M_y - \phi_y$), LE2	73
Figura 4.2. 7 Pandeo local en el alma de la viga de unión (deformación sobredimensionada a escala 100:1)	74
Figura 4.3. 1 Unión a momento con chapa de testa irregular, LE3	75
Figura 4.3. 2 Deformación de los miembros de la unión, LE3	77
Figura 4.3. 3 Tensión de los miembros de la unión, LE3	77
Figura 4.3. 4 Posición de los pernos, LE3	79
Figura 4.3. 5 Resistencia de diseño de la unión, LE3	82
Figura 4.3. 6 Diagrama momento - rotación ($M_y - \phi_y$), LE3	83
Figura 4.3. 7 Pandeo local en el alma del trabe de unión (deformación sobredimensionada a escala 100:1)	84
Figura A. 1 Marco estructural empotrado en sus bases	93
Figura A. 2 Diagrama – momento flector y esfuerzo cortante del marco eje A y B	94
Figura A. 3 Diagrama – momento flector y esfuerzo cortante del marco eje 1 y 2	95
Figura A. 4 Diagrama – momento flector y esfuerzo cortante de la viga	95

Figura B. 1 Geometría de la unión – Ocho pernos con rigidizador extendido.....	106
Figura B. 2 Momento flector y Esfuerzo cortante requeridos para el diseño.....	107
Figura B. 3 Rigidizador de chapa de testa ext.	111
Figura C. 1 Parámetros geométricos de la unión a cortante.....	117

LISTA DE SIMBOLOS

F_{ub}	Esfuerzo de tensión ultimo mínimo especificado para el material del perno, Ksi
R_n	Resistencia nominal a cortante o tensión, Kips (klb)
F_n	Tensión nominal, F_{nt} , o tensión de corte nominal, F_{nv} , Ksi (klb/plg ²)
A_b	Área bruta del perno, plg ²
R_n	Resistencia nominal a cortante y tensión combinados, Kips
F'_{nt}	Esfuerzo de tensión nominal modificado para incluir los efectos del esfuerzo cortante, Ksi
F_{nt}	Esfuerzo de tensión nominal, Ksi
F_{nv}	Esfuerzo de corte nominal, Ksi
f_{rv}	Esfuerzo cortante requerido usando combinaciones de carga LRFD, Ksi
d	Diámetro nominal del perno, plg.
F_u	Resistencia ultima mínima especificada del material conectado, Ksi
L_c	Distancia libre en la dirección de la carga, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material, plg.
t	Espesor del material conectado, plg.
μ	Coefficiente de deslizamiento promedio para superficies Clase A o B
D_u	Multiplicador que refleja la razón entre la pretensión media del perno instalado y la pretensión mínima especificada del perno.
h_f	Factor para rellenos.
T_b	Tensión mínima en el perno, Ksi
n_s	Numero de planos de deslizamiento.
n_b	Numero de pernos que soportan la tensión aplicada.
L_g	Longitud total de una soldadura de filete, pulg.
L_w	Longitud efectiva, pulg.
β	Factor de reducción.
L	Longitud existente de soldadura en los extremos cargados, pulg.
w	Longitud de pie (cateto) de la soldadura, pulg.
E	Garganta efectiva de una soldadura PJP.
S	Profundidad requerida para la preparación de la junta.

F_{nBM}	Esfuerzo nominal del metal base, ksi (klb/plg ²).
F_{nw}	Esfuerzo nominal del metal de la soldadura, ksi (klb/plg ²)
A_{BM}	Área efectiva del metal base, plg ²
A_{we}	Área efectiva de la soldadura, plg ²
θ	Angulo entre líneas de acción de la carga y el eje longitudinal de la soldadura.
S_j	Rigidez rotacional, relación entre el momento transmitido y el giro relativo, entendido como la diferencia entre los giros absolutos de los elementos conectados.
$M_{j,Rd}$	Momento resistente de cálculo, valor máximo del momento.
ϕ_{Cd}	Capacidad rotacional de cálculo, giro máximo producido por el momento resistente de cálculo de la unión.
$S_{j,ini}$	rigidez inicial de la unión.
E	Módulo de elasticidad longitudinal.
$M_{pl,b,Rd}$	Momento resistente plástico de la viga.
$M_{pl,c,Rd}$	Momento resistente plástico de la columna.
$M_{j,Ed}$	Momento aplicado.
Ψ	Coefficiente que depende de la tipología de la unión.
S_{js}	Valor de la rigidez secante.
$S_{j,R}$	Valor límite, unión rígida.
$S_{j,P}$	Valor límite, unión articulada.
ϕ	Deformación rotacional.
ϕ_c	Capacidad rotacional.

RESUMEN

La presente tesis se centra en la simulación numérica del comportamiento rotacional y de los estados límites o modos de falla que presentan las uniones tipo viga – columna y viga – trabe en miembros de un marco estructural no traslacional, bajo la combinación de cargas factorizadas establecidas por el ASCE (*American Society of Civil Engineers*).

El diseño de las uniones empernadas y soldadas se calculó en base a las especificaciones del AISC (*American Institute of Steel Construction*) para posteriormente definir el comportamiento estructural de las uniones tomando como principal referencia las especificaciones del Eurocódigo 3 parte 1 – 8: 2005 mediante el paquete de software IDEA StatiCa Connection que nos permite realizar distintos análisis de verificación de esfuerzo, deformación, resistencia de los tornillos, resistencia de la soldadura, estabilidad (pandeo global o local) y modelar el comportamiento real de rigidez rotacional del componente de las uniones metálicas a partir del diagrama momento-rotación, y clasificarlas en función de su resistencia, rigidez o rotación; aplicando el método de elementos finitos basado en los componentes (CBFEM).

El estudio de los tipos de uniones, estuvo sometido a esfuerzos cortantes y momentos flectores, con el objetivo de poder realizar una simulación real, determinar las diferentes fallas y mejorar el comportamiento de las uniones con ayuda de modelos tridimensionales el cual nos dio una visión general y real de la geometría de la unión y el análisis por medio del modelo numérico MEF en los que se tiene en cuenta el comportamiento lineal y/o no lineal del material y de la superficie de contacto entre piezas atornilladas.

Palabras clave: comportamiento rigidez rotacional, estados límite, normas internacionales, modelo numérico MEF.

ABSTRACT

The present thesis is focused on the numerical simulation of the rotational behavior and the limit states or failure modes presented by the beam - column and beam - joints in members of a non-translational structural frame, under the combination of factored loads established by the ASCE (American Society of Civil Engineers).

The design of the bolted and welded joints was calculated based on the specifications of the AISC (American Institute of Steel Construction) to later define the structural behavior of the joints taking as a main reference the specifications of Eurocode 3 part 1 - 8: 2005 by means of the IDEA StatiCa Connection software package which allows us to carry out different analyses to verify stress, deformation, bolt strength, weld resistance, stability (global or local buckling) and model the real rotational stiffness behavior of the component of the metal joints from the moment to rotation diagram, and classify them according to their strength, stiffness or rotation; applying the component based finite element method (CBFEM).

The study of the types of joints was subjected to shear forces and bending moments, with the aim of being able to carry out a real simulation, determine the different failures and improve the behavior of the joints with the help of three-dimensional models which gave us a general and real vision of the geometry of the joint and the analysis by means of the FEM numerical model in which the linear and/or non-linear behavior of the material and the contact surface between bolted parts is taken into account.

Keywords: rotational stiffness behavior, limit states, international standards, numerical FEM model.

INTRODUCCION

Históricamente la mayoría de las fallas estructurales en acero han sido debido a problemas en las uniones, por lo tanto, son elementos esenciales en el transcurso de diseño y edificación de estructuras metálicas ya que representan hasta un 25% del peso de la estructura y tienen una incidencia importante en el costo final de la estructura metálica (30% aprox.).

Estas estructuras tienen la obligación de asegurar un comportamiento dúctil, generado mediante el análisis de columna – viga, donde la unión tiene la capacidad de soportar y transferir a la columna los momentos flectores que se originan en la viga debido a las cargas factorizadas, desarrollándose en ésta una rótula plástica permitiendo disipar la energía y proporcionando seguridad a las columnas. Es allí donde radica la importancia en el análisis y diseño de las uniones ya que, si esto es deficiente, se puede ver comprometida la integridad estructural de la edificación.

Efectuar el análisis y diseño de éstas uniones genera un complicado proceso matemático que de forma manual origina retrasos debido a la cantidad de iteraciones imprescindibles para conseguir un resultado óptimo, por lo tanto, el comportamiento de una unión de acero suele ser tan compleja que resulta prácticamente imposible analizar la mayor parte de las uniones con un procedimiento matemático riguroso y exacto (método mecánico convencional).

Los procedimientos de cálculo en uniones de acero que proporcionan las normas internacionales como el AISC y Eurocódigo 3 parten de forma global de simplificaciones, que pueden ser inconvenientes con formas geométricas más complejas (esfuerzos en distintos ejes, disposición de accesorios como cartelas, rigidizadores o chapas frontales, etc.). Tampoco las normas de diseño reúnen la extensa tipología que puede presentarse. Esta problemática, se puede resolver haciendo investigaciones a través de modelos experimentales, pero existe un inconveniente, el llevar a cabo este tipo de ensayos implica costo y tiempo debido a que elaborar un modelo a escala real no es nada sencillo.

Sin embargo, existen otros instrumentos tecnológicos, que permiten simplificar los cálculos matemáticos que se efectúa en el diseño de cada uno de los elementos, así como, las uniones y además de reducir la cantidad de errores que se puedan cometer al calcular, y sobre todo lograr simular de manera confiable el comportamiento que se puede generar en un modelo experimental, y se denomina método numérica o simulación por computadora, la cual puede ser mediante análisis de elemento finito (FEA). La simulación por elementos finitos, ha demostrado que proporciona datos sumamente confiables y similares a los ensayos experimentales siempre que se cuente con los conocimientos adecuadas.

Esto se ha comprobado mediante varias pruebas de uniones de acero viga - columna que se ensayan en laboratorios y también se reproducen en modelos de elemento finito para tratar de obtener resultados similares.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Guardiola Vllora (2006), en su tesis, “Comportamiento de los nudos semi-rígidos en estructuras metálicas de edificación”. Universidad Politécnica de Valencia, España. Realiza un estudio completo de las uniones metálicas siguiendo el método de los componentes recogido en el Eurocódigo 3. con el objetivo de valorar su interés, y establecer pautas que permitan seleccionar el tipo de unión más adecuado, tomando en consideración criterios de resistencia, deformabilidad y economía global (costo de materiales y de ejecución).

Díaz Gómez (2010), en su tesis, “Diseño óptimo de uniones semirrígidas mediante simulación numérica y modelos kriging”. Universidad Politécnica de Cartagena, España.

presenta un modelo numérico de detalle, basado en el método de los elementos finitos, para modelar uniones semirrígidas tipo viga-columna atornilladas con chapa de testa extendida. Validado mediante ensayos experimentales demostrando que reproduce correctamente el comportamiento real de la unión.

Santiago Peralta (2011), en su tesis, “comparación del comportamiento de conexiones atornilladas en los patines (bfp) de distintas configuraciones, mediante análisis no lineales de elemento finito”, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Describe el comportamiento de siete conexiones metálicas atornilladas de tipo “bfp” (bolted flange plate) y tipo “árbol” analizadas mediante carga monótona y cíclica modeladas con elemento finito con el programa ANSYS. Definiendo el comportamiento con curvas de carga-desplazamiento y momento-rotación para los dos tipos de análisis.

Castañeda Alvarado (2014), en su tesis, “Estudio de las conexiones empernadas para el análisis de pórticos utilizando el Power Model 3D” Universidad de Piura, Perú. Realiza un estudio del comportamiento no lineal de las uniones empernadas más comunes: a) ángulo simple en el alma, b) doble ángulo en el alma, c) ángulo superior e inferior y d) ángulo superior e inferior con doble ángulo en el alma; empleando el Método Power Model 3D propuesto por Kishi et al. y que permite obtener la curva momento-rotación de las uniones.

1.2 DENOMINACION DEL PROBLEMA

“ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METÁLICAS DE ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES UTILIZANDO EL SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION.”

1.3 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Muchos problemas en el diseño de las estructuras metálicas son debido al diseño erróneo de las uniones ya que pueden presentar una geometría complicada e irregular al igual que sus condiciones límites, lo cual hace imposible resolverlos con métodos matemáticos convencionales y dar con las soluciones óptimas. Por lo tanto:

¿Resultara beneficioso realizar el análisis de elementos finitos en uniones metálicas utilizando el software IDEA STATICA CONNECTION, con la finalidad de poder simular los estados límites y el comportamiento de rigidez rotacional reales de los miembros que componen la unión?

1.4 HIPOTESIS

Al poder realizar el análisis de elementos finitos en uniones de acero con ayuda del software IDEASTATICA CONNECTION y siguiendo las normas internacionales establecidas se podrá simular los estados límites y el comportamiento rotacional sin importar la geometría de los miembros que la componen.

1.5 VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

1.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

- Estados límites y comportamiento rotacional de las uniones metálicas

1.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

- Análisis de elementos finitos
- Normas internacionales

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Simular y evaluar mediante el modelo numérico de análisis de elementos finitos el comportamiento lineal y/o no lineal de las uniones en un marco estructural y clasificarlas acorde a su grado de rigidez según criterios del Eurocódigo-3, con ayuda del software Idea StatiCa connection.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Analizar la capacidad de resistencia nominal de diseño de los pernos y de la soldadura siguiendo las especificaciones del AISC 360 – 10.
- b) Analizar la capacidad de esfuerzo y deformación plástica de los miembros que componen la unión.
- c) Analizar la capacidad máxima de rendimiento de diseño de la unión.
- d) Analizar la estabilidad según el pandeo de los miembros que componen la unión.

1.7 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

El modelo numérico MEF, ha facilitado la solución de los problemas en uniones metálicas en la industria de la construcción de edificaciones metálicas, ya que uno de los problemas más complicados al ser estudiados es el comportamiento de las uniones, que puede ser convenientemente representado por su comportamiento a la flexión que es principalmente mostrado por la relación momento-rotación ($M-\phi$).

Este comportamiento no es lineal incluso a bajos niveles de carga. De hecho, las curvas momento-rotación ($M-\phi$) representan el resultado de una interacción muy compleja entre las partes de los elementos que constituyen la unión.

Dado que los tipos de uniones son altamente indeterminados, los enfoques de diseño y las normas actuales no pueden calcular sistemas tridimensionales (3D) que se rigen por material combinado complejo y no linealidades geométricas, fricción, deslizamiento, contacto, interacciones de placa (chapa) de tornillos y eventualmente fracturas en donde la estructura puede llegar al colapso total

poniendo en riesgo las vidas humanas. Por lo tanto, la técnica de elementos finitos ha sido adoptada como un suplemento racional para la calibración de modelos de diseño de este tipo y prevenir las fallas futuras.

En tal medida es de gran importancia utilizar el programa computacional IDEA StatiCa Connection para el diseño avanzado de uniones metálicas con geometrías irregulares de cualquier tipo, mediante el método de elementos finitos basado en componentes o Component Based Finite Element Method (CBFEM – por sus siglas en inglés), el cual nos proporcionara una reducción en los costos que implica realizar ensayos de laboratorio de este tipo a escala real y también reducir los cálculos matemáticos cuando se trata de uniones complicadas.

1.8 LIMITACIONES

Debido a que actualmente existe una amplia gama de uniones metálicas, esta tesis de investigación solo se centrara en el análisis de las uniones empernadas y las uniones soldadas debido a que son ampliamente utilizadas en el sector de las edificaciones de estructuras metálicas y también porque las normas internacionales, tanto la AISC 360 y el Eurocódigo 3 llevan un registro completo de las uniones de este tipo para su diseño.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Uniones empernadas

2.1.1 Tipos de pernos

a) Pernos ordinarios o comunes

ASTM A307: fabricados con aceros al carbono, con esfuerzo y deformación similares al acero A36. Utilizados en estructuras livianas sometidos a esfuerzos estáticos y elementos secundarios (largueros, correas, riostras, plataformas, armaduras pequeñas, etc.). Los diámetros nominales van de 1/2 pulg. a 1-1/2 pulg.

b) Pernos de alta resistencia

ASTM A325: fabricados con acero al carbono tratado térmicamente, y resistencia mínima a la tensión de 120/105 Ksi, Se usan principalmente en las estructuras de edificios. Los diámetros más utilizados son de 3/4 pulg. a 7/8 pulg.

ASTM A490: fabricados con acero al carbono térmicamente y con aleaciones, su resistencia mínima a la tracción es de 150 ksi, para aplicaciones de carga más grandes. Se usan principalmente en el diseño de estructuras de puentes. Los diámetros más utilizados son de 7/8 pulg a 1 pulg.

Tabla 2. 1
Dimensiones de pernos y tuercas

Diámetro nominal del perno (pulg.)	Dimensiones para pernos con cabeza hexagonal. Pesada (pulg.)			Dimensiones de las tuercas hexagonales pesadas (pulg.)	
	Ancho entre lados, F.	Altura, H	Longitud de rosca, Lt	Ancho lados opuestos, Fn	Altura, Hn
1/2	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	1-1/16	25/64	1-1/4	1-1/16	39/64
3/4	1-1/4	15/32	1-3/8	1-1/4	47/64
7/8	1-7/16	35/64	1-1/2	1-7/16	55/64
1	1-5/8	39/64	1-3/4	1-5/8	63/64
1-1/8	1-13/16	11/16	2	1-13/16	1-7/64
1-1/4	2	25/32	2	2	1-7/32
1-3/8	2-3/16	27/32	2-1/4	2-3/16	1-7/32
1-1/2	2-3/8	15/16	2-1/4	2-3/8	1-7/32

Fuente: RCSC. (Agosto 1, 2014). *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*. Chicago, Illinois, pp 16.2-11

2.1.2 Propiedades mecánicas de los pernos

A la máxima tensión alcanzada, mediante la aplicación de carga adicional, se le conoce como **resistencia ultima** o **resistencia a la tensión** del perno.

$F_{ub} = 120$ ksi para pernos A325 de 1/2 pulg a 1 pulg de diámetro

$F_{ub} = 105$ ksi para pernos A325 de 1-1/8 pulg a 1-1/2 pulg de diámetro

$F_{ub} = 150$ ksi para pernos A490 de todos los diámetros

Donde:

F_{ub} : Esfuerzo de tensión ultimo mínimo especificado para el material del perno.

2.1.3 Apretados de pernos

Tabla 2. 2
*Pretensión mínima en el perno, Klb**

Tamaño del perno (pulg.)	Pernos A325	Pernos A490
1/2	12	15
5/8	19	24
3/4	28	35
7/8	39	49
1	51	64
1-1/8	56	80
1-1/4	71	102
1-3/8	85	121
1-1/2	103	148

* Igual a 0.70 veces la resistencia ultima de los pernos, redondeada al valor más entero más cercano, tal como lo especifican la ASTM para los pernos A325 y A490 con hilo UNC.

Fuente: AISC. (Marzo, 2011, 14^o edición). *American Institute of Steel Construction. Chicago.* Tabla J3.1 pp 16.1-119

2.1.4 Resistencia nominal de pernos

Las resistencias nominales a cortante y a tensión en pernos se proporcionan en la Tabla 2.3, donde cabe destacar que la mayor resistencia al corte se obtiene cuando el área total del perno se encuentra en el plano de corte, por lo tanto, cuando un plano de cortante pasa a través de la parte roscada (véase figura 2.1), la capacidad de corte del perno puede reducirse en teoría hasta un 70%

de la resistencia total de la espiga. La carga aplicada se transmite por el aplastamiento de las placas sobre el perno y por el cortante en estos últimos.

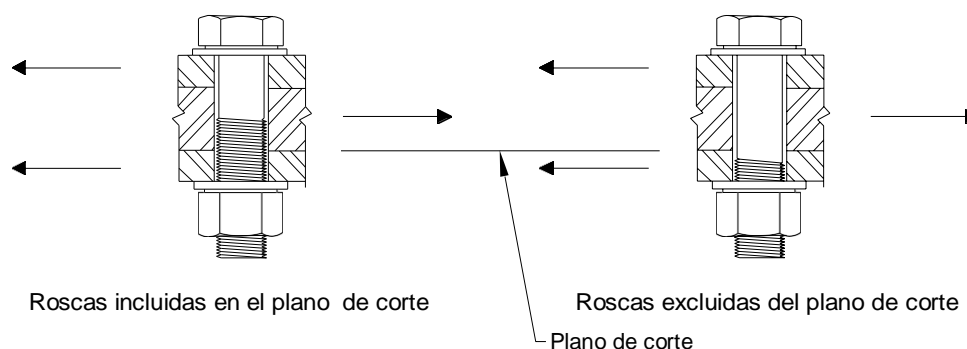


Figura 2. 1 Ubicación relativa del plano de corte

Fuente: Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana. pp 202

Tabla 2. 3
Resistencia nominal de pernos y partes roscadas

Descripción del Sujetador	Resistencia nominal a la tensión, F_{nt}	Resistencia nominal al cortante tipo aplastamiento, F_{nv}
	Klb/plg ² (MPa)	Klb/plg ² (MPa)
“Pernos A307	45 (310)	27 (188)
Pernos A325, cuando las roscas no están excluidas de los planos de corte	90 (620)	54 (372)
Pernos A325, cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	90 (620)	68 (457)
Pernos A490, cuando las roscas no están excluidas de los planos de corte	113 (780)	68 (457)
Pernos A490, cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	113 (780)	84 (579)
Partes roscadas que cumplan con los requisitos de la sección A3.4(Especificaciones del AISC), cuando las cuerdas no están excluidas de los planos de corte.	$0.75 F_u$	$0.450 F_u$
Partes roscadas que cumplan con los requisitos de la sección A3.4 (Especificaciones del AISC), cuando las cuerdas están excluidas de los planos de corte”.	$0.75 F_u$	$0.563 F_u$

Fuente: AISC. (Marzo, 2011, 14° edición). *American Institute of Steel Construction*. Chicago.Tabla J3.2pp 16.1-

2.1.5 Comportamiento de uniones emperradas con fuerza cortante

Existen tres etapas características de carga como se muestra en la curva carga – deformación en la figura 2.2

- Etapa 1:** Debido a la compresión existe resistencia al deslizamiento (fricción) a cualquier movimiento entre las piezas de contacto y carga aplicada.
- Etapa 2:** La carga iguala y después excede la resistencia al deslizamiento de la unión, esto hace que las piezas se apoyen contra los costados de los pernos.
- Etapa 3:** Los pernos y las piezas en contacto se deforman de manera elástica y como consecuencia la relación de carga – deformación permanece lineal. Sin embargo, conforme aumenta la carga, las piezas o los pernos disminuyen su rigidez. La relación carga – deformación se vuelve no lineal se produce la falla como resultado de cortante en el perno o fractura de la pieza en contacto.

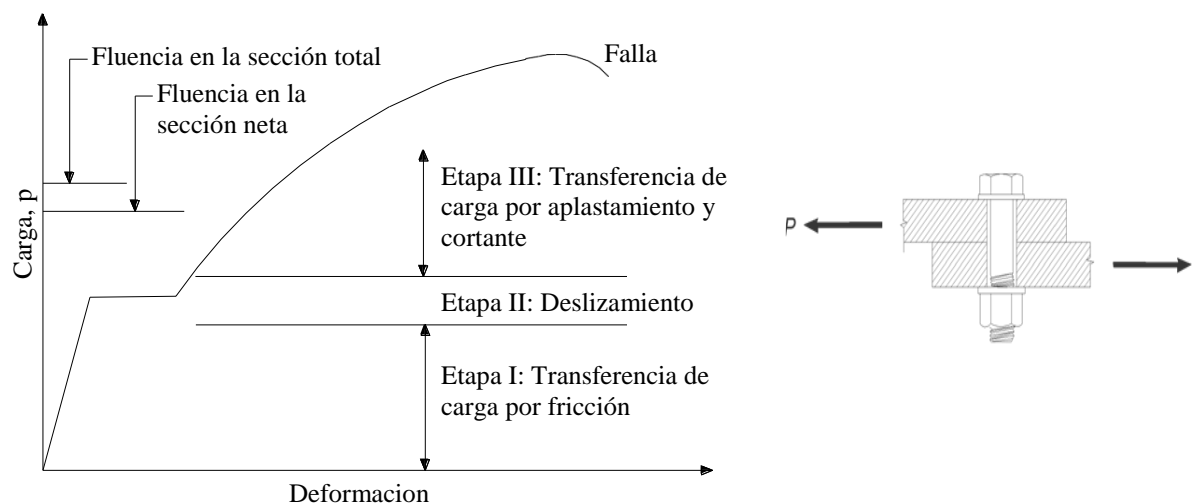


Figura 2. 2 Comportamiento esquemático de una unión emperrada sometido a fuerza cortante

Fuente: Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana.pp

194

2.1.6 Modos de falla y estados limites en uniones emperradas

Existen dos grupos de fallas en las uniones emperradas: la falla de los miembros unidos y la falla del perno. Algunos de los posibles estados limites o modos de falla que pueden controlar la resistencia de una conexión emperrada son:

- Fractura por tensión de los elementos placa unidos
- Fluencia por tensión de los elementos placa unidos

- Falla por cortante del perno
- Falla por aplastamiento de los elementos:
 - Ovalamiento del agujero del perno
 - Desgarramiento por cortante de los elementos placa unidos
- Falla por aplastamiento del perno
- Alisamiento de la rosca del perno o de la tuerca
- Falla por tensión del perno
- Falla por flexión del perno
- Deslizamiento de los elementos placa unidos

2.1.7 Resistencia de diseño en uniones empernadas tipo aplastamiento (LRFD)

2.1.7.1 Resistencia al cortante o tensión

“La resistencia de diseño de tracción o de corte, ϕR_n , de un perno de alta resistencia con apriete ajustado o pretensionado o de una parte roscada debe ser determinadas de acuerdo con los estados límites de fractura en tensión y fractura en corte como se indica a continuación.”: (AISC 360, 2011, secc. J3.6, p16.1-125).

$$\phi R_n = \phi F_n A_b \quad \phi = 0.75 \quad (LRFD) \quad (2.1)$$

Donde:

R_n Resistencia nominal a cortante o tensión, Kips (klb)

F_n Tensión nominal, F_{nt} , o tensión de corte nominal, F_{nv} , según Tabla 2.3 (Tabla J3.2 de las especificaciones del AISC), Ksi (klb/plg²)

A_b Área bruta del perno, plg²

2.1.7.2 Resistencia a cortante y tensión combinada

“La resistencia disponible de tensión de un perno solicitado por una combinación de tensión y corte debe ser determinada de acuerdo a los estados límite de rotura en tensión y en corte de acuerdo con lo siguiente.”: (AISC 360, 2011, secc. J3.7, p16.1-125).

$$\phi R_n = \phi F'_{nt} A_b \quad \phi = 0.75 \quad (LRFD) \quad (2.2)$$

Donde:

R_n Resistencia nominal a cortante y tensión combinados, Kips

F'_{nt} Esfuerzo de tensión nominal modificado para incluir los efectos del esfuerzo cortante, Ksi

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (2.3)$$

F_{nt} Esfuerzo de tensión nominal de la Tabla 2.3, (Tabla J3.2 Especificaciones AISC), Ksi

F_{nv} Esfuerzo de corte nominal de la Tabla 2.3, (Tabla J3.2 Especificaciones AISC), Ksi

f_{rv} Esfuerzo cortante requerido usando combinaciones de carga LRFD, Ksi

El esfuerzo cortante disponible del sujetador debe ser igual o superior al esfuerzo cortante requerido, f_{rv}

$$\phi F_{nv} \geq f_{rv} \quad (2.4)$$

NOTA: (AISC 360, 2011, secc. J3.7, p16.1-126). Establece que: “El esfuerzo requerido, f_v ya sea en cortante o a tensión, es igual o menor del 30% del esfuerzo disponible correspondiente, no es necesario investigar el efecto del esfuerzo combinado”.

2.1.7.3 Resistencia de Aplastamiento en agujeros de Pernos

La resistencia al aplastamiento de un perno es en realidad la resistencia al aplastamiento de la placa conectada, ya que el material de la placa siempre es crítico, comparado con el del perno.

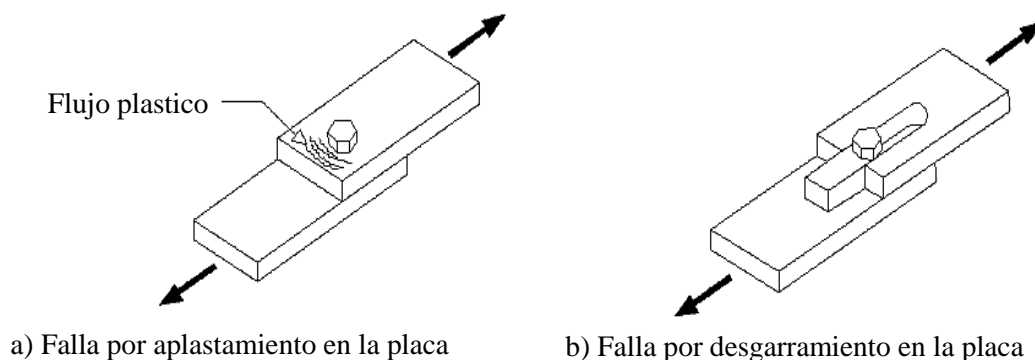


Figura 2. 3 Estado límite de falla por aplastamiento y desgarramiento

Fuente: Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana. pp 200

“La resistencia nominal de aplastamiento disponible, ϕR_n , en los agujeros de los pernos para el estado límite de aplastamiento es como se muestra a continuación.”: (AISC 360, 2011, secc. J3.10, p16.1-127).

- a) Pernos unidos con agujeros estándar, sobremedidas y de ranura corta, sin importar la dirección de carga, o en perforaciones de ranura larga con la ranura paralela a la dirección de la fuerza de aplastamiento.

- Cuando la deformación en el agujero del perno bajo cargas de servicio se considera en el diseño

$$\phi R_n = 1.2\phi L_c t F_u \leq 2.4dt F_u \quad \phi = 0.75 \quad (LRFD) \quad (2.5)$$

- Cuando la deformación en el agujero del perno bajo cargas de servicio no se considera en el diseño.

$$\phi R_n = 1.5\phi L_c t F_u \leq 3.0dt F_u \quad \phi = 0.75 \quad (LRFD) \quad (2.6)$$

- b) Para un perno en una unión con agujeros de ranura larga con la ranura perpendicular a la dirección de la fuerza

$$\phi R_n = 1.0\phi L_c t F_u \leq 2.0dt F_u \quad \phi = 0.75 \quad (LRFD) \quad (2.7)$$

Donde:

d . Diámetro nominal del perno, plg.

F_u Resistencia ultima mínima especificada del material conectado, Ksi

L_c Distancia libre en la dirección de la carga, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material, plg.

t . Espesor del material conectado, plg.

2.1.8 Resistencia de diseño en uniones empernadas tipo fricción (LRFD)

“La resistencia nominal de deslizamiento disponible, ϕR_n , serán determinadas para el estado límite de deslizamiento de la siguiente forma.”: (AISC 360, 2011, secc. J3.8, p16.1-126).

$$\phi R_n = \phi \mu D_u h_f T_b n_s \quad (2.8)$$

- a) para agujeros estándar o de ranura corta perpendicular a la dirección de la carga.

$$\phi = 1.00 \quad (LRFD)$$

- b) Para agujeros holgados y de ranura corta paralelos a la dirección de la carga

$$\phi = 0.85 \quad (LRFD)$$

- c) Para agujeros de ranura larga paralelos a la dirección de la carga

$$\phi = 0.70 \quad (LRFD)$$

Donde:

- μ Coeficiente de deslizamiento promedio para superficies Clase A o B, cuando sea aplicable, determinado mediante ensayos.
 0.30; para superficies Clase A (superficies de acero sin pintar, limpias, con escamas de fábrica o superficies con baño Clase A en acero limpiado a chorro de arena y galvanizada en caliente y superficies rugosas)
 0.50; para superficies Clase B (superficies de acero sin pintar, limpiadas mediante chorro de arena o superficies con baño Clase B en acero limpiado mediante chorro de arena).
- D_u 1.13; multiplicador que refleja la razón entre la pretensión media del perno instalado y la pretensión mínima especificada del perno (ver tabla 2.2)
- h_f Factor para rellenos, que se determina como sigue:
 $h_f = 1.0$, donde se han añadido pernos para distribuir las cargas en el relleno
 Donde no se han añadido pernos para distribuir la carga en el relleno:
 $h_f = 1.0$, para un relleno entre las partes conectadas
 $h_f = 0.85$, para dos o más rellenos entre las partes conectadas
- T_b Tensión mínima en el perno (ver Tabla 2.2), Ksi
- n_s Numero de planos de deslizamiento

2.1.8.1 Resistencia a cortante y tensión combinada

“Cuando se aplica una fuerza axial de tensión a una unión tipo fricción, la fuerza de agarre se reducirá y la resistencia de diseño por cortante debe disminuir en proporción a la pérdida de agarre. Por lo tanto, se debe multiplicar la resistencia disponible de los pernos al deslizamiento (ecu. 2.8) por un factor K_{SC} .” (AISC 360, 2011, secc. J3.9, p16.1-410).

$$k_{SC} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \quad (LRFD) \quad (2.9)$$

Donde:

- T_u Fuerza de tensión debida a la combinación de cargas Kips
- D_u 1.13 multiplicador (visto anteriormente sección 2.1.8)
- T_b Tensión mínima en el perno (ver tabla 2.2) Kips
- n_b Numero de pernos que soportan la tensión aplicada.

2.2 Uniones soldadas

2.2.1 Tipo de soldadura

Los principales tipos son las de filete y de ranura. Existe también las soldaduras de tapón y de muesca, que son poco comunes en las edificaciones de acero.

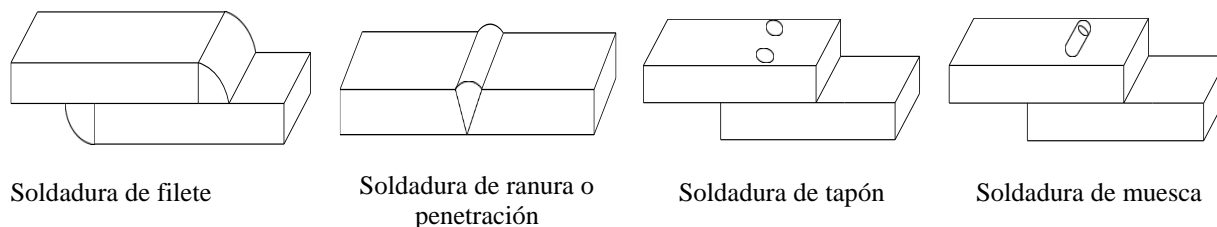


Figura 2. 4 Tipos de soldaduras estructurales

Fuente: AISC Steel Design Guide. (2006). *Welded Connections - A Primer For Engineers*. Cleveland, Ohio. pp19

a) Soldadura de filete

Es económico, debido a que no necesita mucha preparación de los elementos que se van a unir y la mayor parte de las uniones estructurales se efectúan con soldadura del tipo filete (aprox. 80%), pero son más débiles que las soldaduras de ranura.

- **Tamaño mínimo de la soldadura de filete**

(AISC 360, 2011, secc. J2. 2a, p.16.1-111). Establece un tamaño mínimo de soldadura, w_{min} , para evitar la formación de grietas debido a los efectos del calor y enfriamiento.

Tabla 2. 4
Tamaños mínimos para las soldaduras de filete, w_{min}

Espesor de la parte unida más delgada, plg.	Tamaño mínimo de soldadura de filete, plg
Hasta 1/4	1/8
Entre 1/4 a 1/2	3/16
Entre 1/2 a 3/4	1/4
Mayor a 3/4	5/16

Fuente: AISC. (Marzo, 2011, 14° edición). *American Institute of Steel Construction*. Chicago. Tabla J2.4 pp 16.1-111.

- **Tamaño máximo de la soldadura de filete**

“El w_{max} , está determinado por el espesor del borde del miembro que la componen a lo largo del cual se deposita la soldadura, para asegurar esto, es necesario terminar la soldadura al menos 1/16 de pulgada desde la esquina del elem.”. (AISC 360, 2011, secc. J2. 2b, p.16.1-111).

$$w_{max} = t_p \quad \text{para } t_p < 1/4 \text{ pulg.} \quad (2.10)$$

$$w_{max} \leq t_p - 1/16 \quad \text{para } t_p \geq 1/4 \text{ pulg.} \quad (2.11)$$

- **Tamaño de la garganta de la soldadura de filete**

“La raíz de una soldadura de filete es el punto en el cual las caras originales de las piezas metálicas se intersecan (véase figura 2.5). A la parte de la soldadura que se supone es la que efectivamente transfiere el esfuerzo se denomina garganta.” (LRFD, secc. J2. 2a).

$$t_e = w \text{sen } 45^\circ = 0.707w \quad \text{proceso SMAW} \quad (2.12)$$

Dónde: w Tamaño de la pierna (cateto) de una soldadura de filete, pulg.

t_e Espesor efectivo de la garganta, pulg.

$$t_e = w \quad \text{para } w \leq 3/8 \text{ pulg.} \quad \text{proceso SAW} \quad (2.13)$$

$$t_e = w + 0.11 \quad \text{para } w > 3/8 \text{ pulg.} \quad \text{proceso SAW} \quad (2.14)$$

Pruebas han mostrado que la soldadura de filete falla a través de su garganta efectiva antes que falle el material a lo largo de la pierna (cateto) de la soldadura.

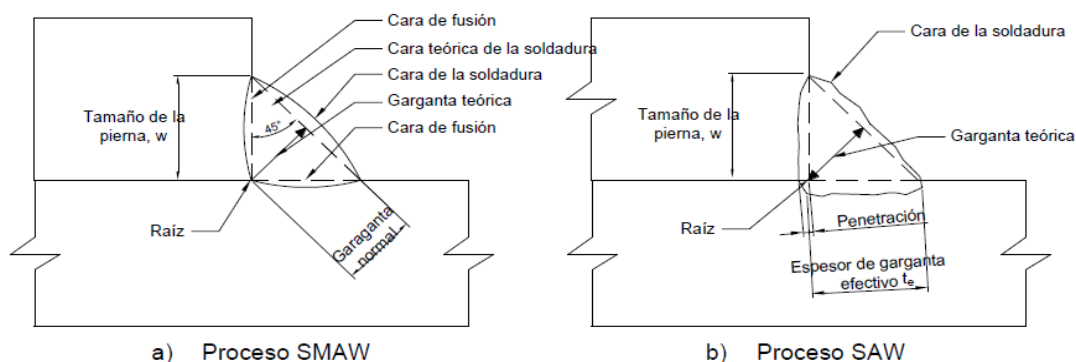


Figura 2. 5 Terminología de la soldadura de filete

Fuente: Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana. pp 239

- **Área efectiva de la soldadura de filete**

Técnicamente el área efectiva de soldaduras de filete, A_{we} , será la longitud efectiva multiplicada por el espesor efectivo, t_e (véase figura 2.6)

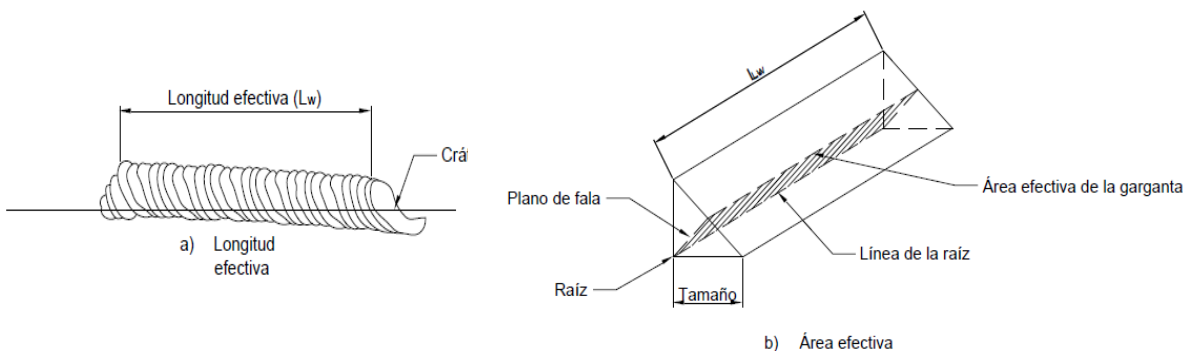


Figura 2. 6 Longitud efectiva y área efectiva en soldadura de filete

Fuente: Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana. pp 239

$$L_w = L_g - 2w \quad (2.15)$$

Donde:

L_g Longitud total de una soldadura de filete, pulg.

L_w Longitud efectiva, pulg.

“Cuando la longitud de la soldadura del tipo filete de extremos cargados excede de 100 veces el tamaño de la soldadura, la longitud efectiva debe ser determinada multiplicando la longitud real por el factor de reducción, β , determinado a continuación.”: (AISC 360, 2011, secc. J2. 2b, p.16.1-112).

$$\beta = 1.2 - 0.002 \left(\frac{L}{w} \right) \leq 1.0 \quad (2.16)$$

Donde:

β Factor de reducción.

L Longitud existente de soldadura en los extremos cargados, pulg.

w Longitud de pie (cateto) de la soldadura, pulg.

Si la longitud de la soldadura excede de 300 veces el tamaño de la soldadura, el valor de, β , se debe tomar igual a 0.60.

Para soldaduras de filete en extremos cargados con una longitud hasta de 100 veces el tamaño de la soldadura, se permite tomar la longitud efectiva igual a la longitud real.

El área efectiva de una soldadura de filete, A_{we} , es el producto de la longitud efectiva de la soldadura por el espesor efectivo de la garganta, por lo tanto:

$$A_{we} = L_w t_e \quad (2.17)$$

b) Soldadura de ranura

“Son bastantes comunes en muchas uniones y constituyen alrededor del 15% de las soldaduras estructurales. Las soldaduras de ranura son generalmente más caras que las soldaduras de filete debido a los costos de preparación. De hecho, pueden costar entre 50% a 100% más que las soldaduras de filete.” (McCormac & Csernak, 2013, p. 479).

Existen dos subcategorías, penetración completa en la junta (CJP, *Complete Joint Penetration*) y penetración parcial en la junta (PJP, *Partial Joint Penetration*).

- **Soldadura de ranura con penetración completa en la junta (CJP)**

Esta soldadura desarrolla la resistencia total en los materiales, por ello es que no se requiere de cálculos de diseño cuando éste tipo de soldadura es utilizada en estructuras cargadas estáticamente. Las especificaciones AWS establecen que una soldadura CJP requiere del uso de una placa de respaldo (puede ser de cobre de 1/4 pulg. de espesor, ya que el metal de aportación no se adhiere al cobre o de acero que se dejan para que formen parte de la unión) cuando sólo se solde de un solo lado, y de soldadura en doble V (back gouging) cuando se suelda por los dos lados. Esto es para asegurar una fusión completa a través del espesor del material que está siendo unido.

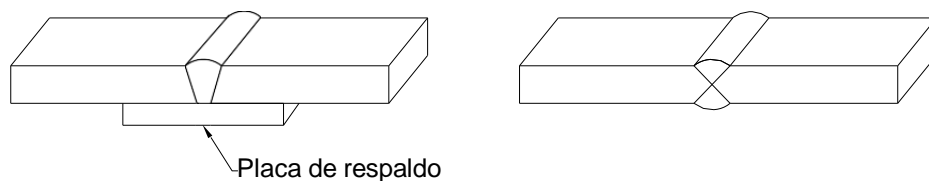


Figura 2. 7 Soldaduras de ranura de penetración completa en la junta CJP.

Fuente: AISC Steel Design Guide. (2006). *Welded Connections - A Primer For Engineers*. Cleveland, Ohio. pp32

“A medida que el material es más grueso (mayor a 1/4 pulg.), es necesario usar soldaduras de ranura en V y soldaduras de ranura doble V. El refuerzo origina resistencia extra cuando están sujetas a cargas estáticas, sin embargo, cuando la unión está sujeta a cargas vibratorias, el refuerzo

no resulta tan satisfactorio, para tales casos se proporciona refuerzo y luego se rebaja enrasándolo con el material conectado.” (sección 10.34.2.1 de la AASHTO).

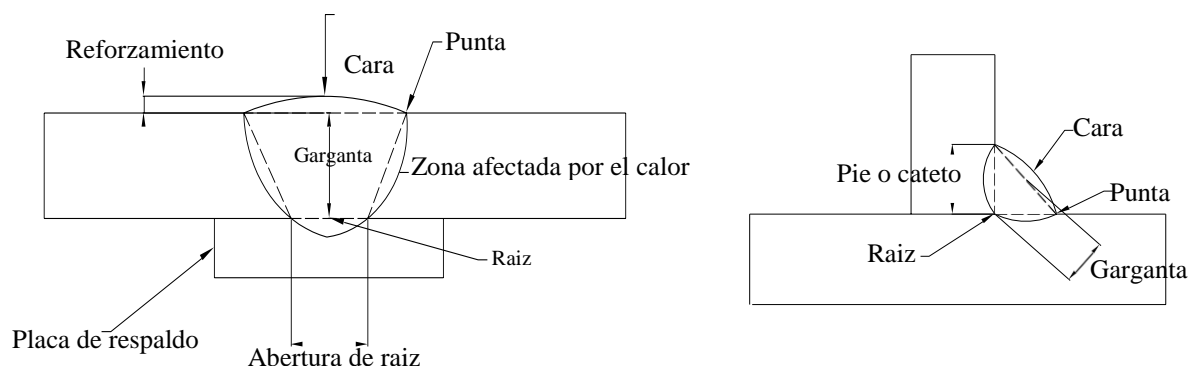


Figura 2. 8 Terminología de soldadura

Fuente: AISC Steel Design Guide. (2006). *Welded Connections - A Primer For Engineers*. Cleveland, Ohio.pp32

- **Soldaduras de Ranura de Penetración Parcial en la Junta (PJP)**

Comúnmente son utilizadas para empalmes de columnas donde la junta a tope es usualmente cargada a compresión o con sólo una mínima tensión, también son comunes en las juntas en esquina de secciones armadas en cajón.

Por esta razón en algunas especificaciones (AISC) se asume que 1/8 pulg. de la ranura no será fusionada. Para tales condiciones la garganta efectiva se asume 1/8 pulg. menor que la profundidad de preparación. Esto significa que, para un ángulo dado, la profundidad de la preparación en la junta debe ser incrementada para compensar la pérdida de penetración.

Donde:

E Garganta efectiva de una soldadura PJP (ver Tabla 2.5)

S Profundidad requerida para la preparación de la junta

El dibujo de diseño solo necesita indicar la garganta efectiva (E), a partir de esto, el fabricante escoge el proceso de fabricación, la posición de soldar, el ángulo de la ranura, y selecciona la dimensión apropiada “S”, que será mostrada en los planos de taller. (figura 2.9)

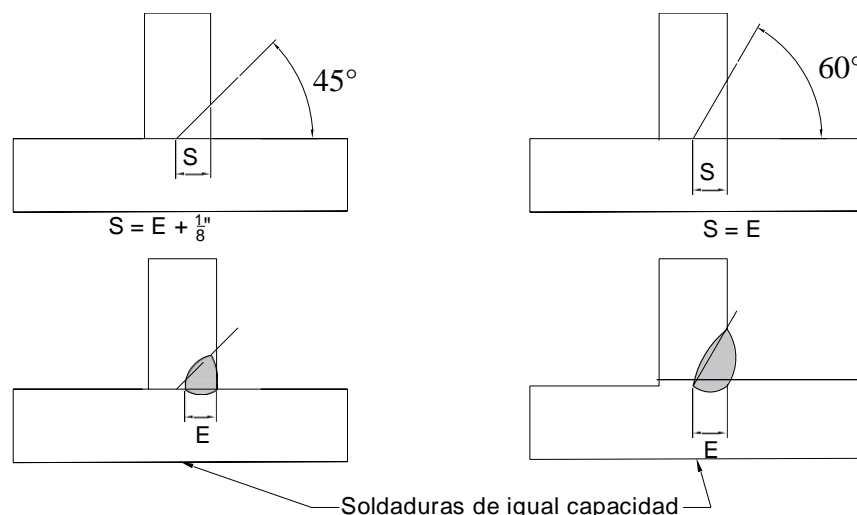


Figura 2. 9 Soldaduras de ranura de penetración parcial en la junta, dimensiones "E" y "S".
 Fuente: AISC Steel Design Guide. (2006). *Welded Connections - A Primer For Engineers*. Cleveland, Ohio.pp35

Tabla 2. 5
Espesor mínimo de garganta efectiva en soldaduras de penetración parcial PJP.

Espesor de material de parte unidas más delgada (pulg.)	Espesor mínimo de garganta efectiva (pulg.)
Hasta 1/4 inclusive	1/8
Entre 1/4 y 1/2	3/16
Entre 1/2 y 3/4	1/4
Entre 3/4 y 1-1/2	5/16
Entre 1-1/2 y 2-1/4	3/8
Entre 2-1/4 y 6	1/2
Mayor que 6	5/8

Fuente: AISC. (Marzo, 2011, 14° edición). *American Institute of Steel Construction*. Chicago.Tabla J2.3 pp 16.1-110

c) Soldadura de tapón y muesca

“Este tipo de soldadura no se considera adecuada para transmitir fuerzas de tensión y cortantes. La penetración de las soldaduras de muesca o tapón en los otros miembros es dudosa; y además puede haber poros críticos en las soldaduras que no se detectan con los procedimientos comunes de inspección.” (McCormac & Csernak, 2013, p. 479).

2.2.2 Resistencia de diseño en uniones soldadas (LRFD)

“La resistencia de diseño (ϕR_n) de las juntas soldadas se toma como el menor de los valores de la resistencia del material base determinada de acuerdo con los estados límites de la fractura a la tensión y de la fractura al cortante, y la resistencia del metal de la soldadura determinada de acuerdo con el estado límite de la fractura mediante las siguientes expresiones.”:(AISC 360, 2011, secc. J2. 4, p.16.1-113).

Para el metal base, la resistencia nominal es:

$$R_n = F_{nBM}A_{BM} \quad (2.18)$$

Para el metal de la soldadura, la resistencia nominal es:

$$R_n = F_{nw}A_{we} \quad (2.19)$$

Donde

F_{nBM} Esfuerzo nominal del metal base, ksi (klb/plg²)

F_{nw} Esfuerzo nominal del metal de la soldadura, ksi (klb/plg²)

A_{BM} Área efectiva del metal base, plg²

A_{we} Área efectiva de la soldadura, plg²

2.2.2.1 Resistencia de la soldadura de filete

“La Resistencia de diseño (ϕR_n) de uniones soldadas con filetes se utilizan las ecuaciones (2.18) y (2.19) descritas anteriormente. Usualmente se especifican los electrodos para E70XX, que son utilizados para aceros con F_y entre 36 a 60 *ksi*, mientras que los E80XX, se usan $F_y = 65$ *ksi*.”

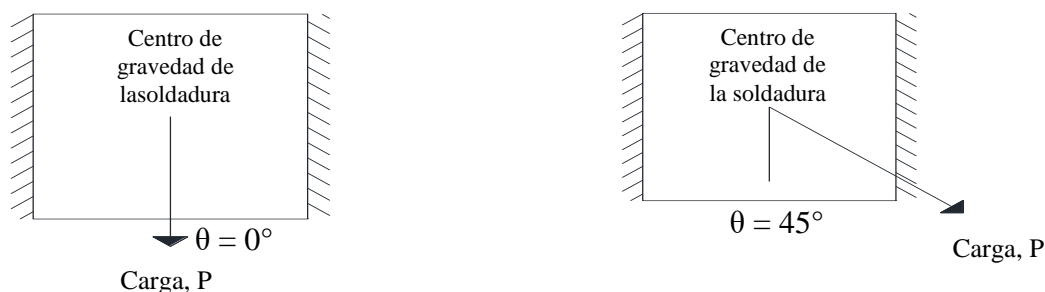


Figura 2. 10 Centro de gravedad de la soldadura de filete

Fuente: McCormac, J., & Csernak, S. (2013, 5° edición). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega. pp496

“La resistencia de filete cargada transversalmente en un plano que pase por sus centros de gravedad (ver figura 2.10) se pueden determinar con la siguiente ecuación.”: (AISC 360, 2011, secc. J2. 4, p.16.1-115).

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

$$F_{nw} = (0.6F_{Exx})(1.0 + 0.5 \text{sen}^{1.5} \theta) \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad (2.20)$$

Donde

θ Angulo entre líneas de acción de la carga y el eje longitudinal de la soldadura

La resistencia crece conforme aumenta el ángulo θ . Si la carga es perpendicular al eje longitudinal de la soldadura, se tendrá un incremento del 50% en la resistencia calculada de la soldadura.

2.2.2.2 Resistencia de soldadura de filete longitudinal y transversal

“Las soldaduras de filete (ver figura 2.11) transversales menos dúctiles alcanzan su capacidad de deformación ultima antes de que las soldaduras laterales o longitudinales alcancen su resistencia máxima. Como resultado de este hecho, el AISC establece que la resistencia nominal total de una unión con soldaduras laterales y transversales debe ser igual al mayor de los valores obtenidos con las dos siguientes ecuaciones.”: (AISC 360, 2011, secc. J2. 4c, p.16.1-116).

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (2.21)$$

$$R_n = 0.85R_{nwl} + 1.5R_{nwt} \quad (2.22)$$

Donde

R_{nwl}, R_{nwt} Resistencia nominal total de las soldaduras de filete longitudinal y transversal, también se calculan con $R_n = F_{nw}A_{we}$

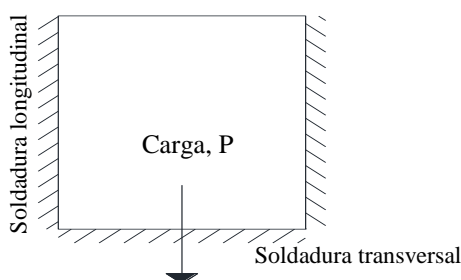


Figura 2. 11 Soldadura de filete longitudinal y transversal

Fuente: McCormac, J., & Csernak, S. (2013, 5ª edición). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega. pp497

2.2.2.3 Resistencia de la soldadura de ranura

a) Soldadura de ranura de penetración completa (CJP)

Las soldaduras de penetración completa se basan en la resistencia a la falla del metal base antes que falle la soldadura, son el mejor tipo de soldadura para resistir fallas de fatiga

- **Resistencia a la compresión**

Cuando las uniones no están diseñadas para el aplastamiento, la resistencia de diseño, ϕR_n , a la compresión disponible es controlada por la resistencia del metal base y se obtiene con la siguiente expresión:

$$R_{nBM} = F_y A_{BM} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal base} \quad (2.23)$$

- **Resistencia a la tensión normal al eje de la soldadura**

La resistencia de diseño, ϕR_n , disponible en tensión en dirección normal al eje de la soldadura es controlada por la resistencia del metal base y se obtiene de la siguiente expresión:

$$R_{nBM} = F_y A_{BM} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal base} \quad (2.24)$$

- **Resistencia a cortante**

La resistencia de diseño, ϕR_n , disponible a cortante de la soldadura para el metal soldado se obtiene de las siguientes expresiones:

$$R_{nBM} = F_y A_{BM} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal base} \quad (2.25)$$

b) Soldadura de ranura de penetración parcial (PJP)

- **Resistencia a la compresión por aplastamiento**

La resistencia de diseño, ϕR_n , se obtiene de la menor de las resistencias a la compresión por aplastamiento del metal soldado o del metal base, mediante las siguientes expresiones:

$$R_{nw} = 0.60 F_{EXX} A_{we} \quad \phi = 0.80 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal soldado} \quad (2.26)$$

$$R_{nBM} = F_y A_{BM} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal base} \quad (2.27)$$

- **Resistencia a la compresión**

Cuando las uniones no están diseñadas para el aplastamiento, la resistencia diseño, ϕR_n , se obtiene de la menor de las resistencias a la compresión del metal soldado o del metal base, mediante las siguientes expresiones:

$$R_{nw} = 0.90F_{EXX}A_{we} \quad \phi = 0.80 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal soldado} \quad (2.28)$$

$$R_{nBM} = F_y A_{BM} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal base} \quad (2.29)$$

- **Resistencia a la tensión normal al eje de la soldadura**

La resistencia diseño, ϕR_n , se obtiene de la menor de las resistencias en tensión normal al eje de la soldadura del metal soldado o del metal base, mediante las siguientes expresiones:

$$R_{nw} = 0.60F_{EXX}A_{we} \quad \phi = 0.80 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal soldado} \quad (2.30)$$

$$R_{nBM} = F_y A_{BM} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal base} \quad (2.31)$$

- **Resistencia a cortante**

La resistencia de diseño ϕR_n , disponible a cortante de la soldadura para el metal soldado se obtiene de la siguiente expresión:

$$R_{nw} = 0.60F_{EXX}A_{we} \quad \phi = 0.80 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal soldado} \quad (2.32)$$

2.2.2.4 Resistencia de la soldadura de tapón y muesca.

- **Resistencia a cortante**

La resistencia de diseño, ϕR_n , disponible a cortante de la soldadura para el metal soldado se obtiene de las siguientes expresiones:

$$R_{nw} = 0.60F_{EXX}A_{we} \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \text{para el metal soldado} \quad (33)$$

2.3 Disponibilidad de las uniones

Las edificaciones de estructuras metálicas están constituidas por diversos tipos de miembros, y estos miembros deben estar adecuadamente unidos a las piezas contiguas de la estructura. Esto involucra el uso de gran variedad de tipos de uniones. Los principales tipos son:

- Cuando se efectúan cambios de direcciones, como sucede en las uniones viga – columna (pilar), viga - viga y uniones entre barras en las cerchas.
- Cuando se precisa asegurar tamaños manipulables de la edificación para realizar el transporte y montaje; las columnas (pilares), son muy comunes cuando se empalman cada dos o tres pisos.
- Cuando se produce una sustitución de elementos, incorporando la unión de la estructura de acero a otros elementos de la edificación, como las bases de columnas, uniones a un elemento de hormigón y uniones con paredes, forjados y cubiertas.

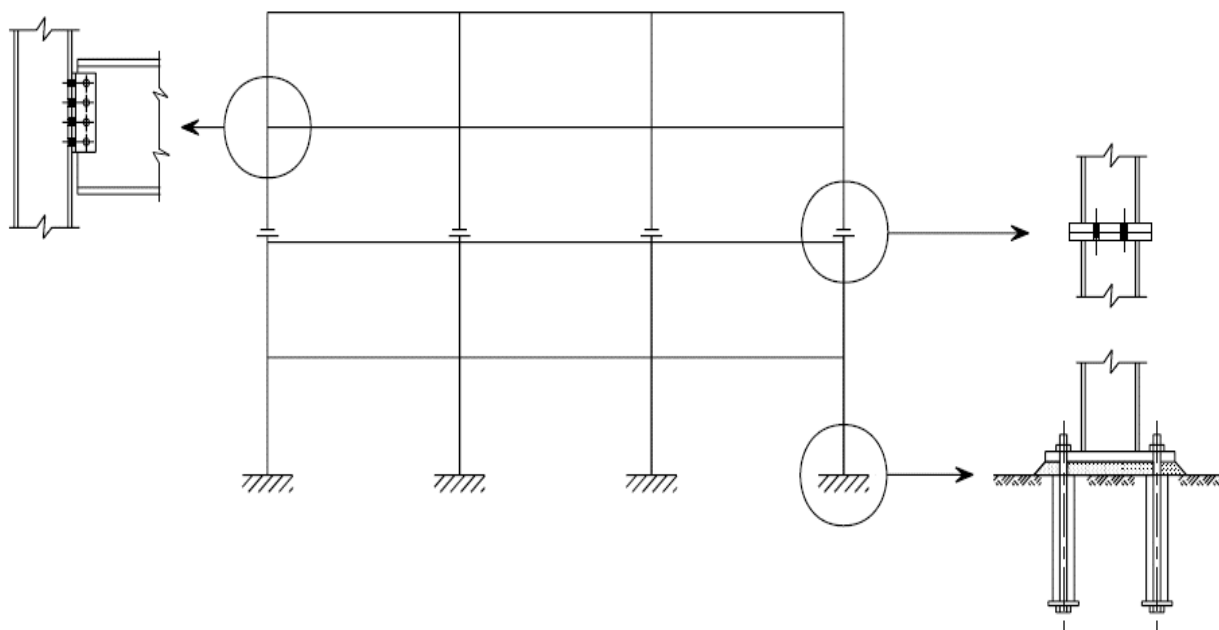
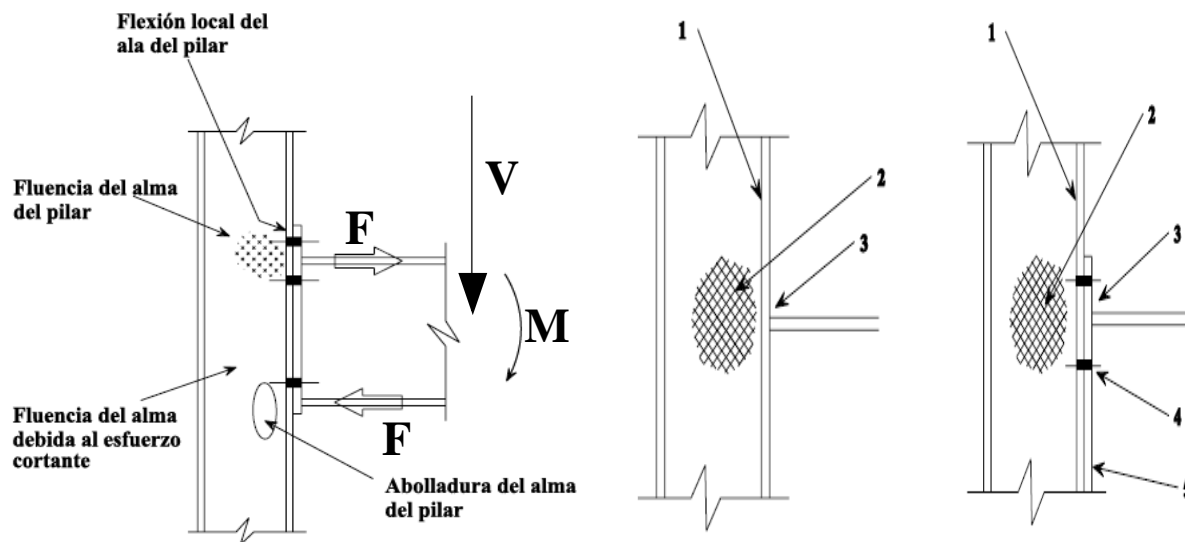


Figura 2. 12 Diferentes tipos de uniones en un pórtico de varias plantas

Fuente: Instituto Técnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13 . pp 4*

En las uniones se generan ciertas zonas críticas dañando los elementos adyacentes (ver figura 2.13). La transmisión en la columna metálica de esfuerzos axiales o excéntricos puede ser causa de fluencia y abolladura locales.



1. Deformación excesiva del ala de la columna
2. Fluencia / rotura del alma de la columna
3. Rotura de la soldadura
4. Rotura de los tornillos
5. Fluencia de la chapa de extremo (placa testera extendida)

Figura 2. 13 Modos de falla en una unión viga-columna no reforzada

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13*. pp 7 y 34

2.3.1 Tipos de uniones

En las construcciones de estructuras metálicas planificadas para soportar cargas estáticas (incluido el viento), generalmente bastará con idear uniones que soporten cargas que ejerzan en una dirección. Pero, en lugares con alto grado sísmico pueden generarse inversiones de carga. Estos cambios de direcciones de cargas solicitan un enfoque diferente del proyecto que resistan dichos esfuerzos, lo que conlleva a diversas formas de uniones.

Las uniones principales entre los miembros de la estructura pueden ser como:

- Uniones viga a viga.
- Uniones viga a columna.
- Unión columna a columna.
- Unión placa base a columna.
- Uniones a los arriostramientos.

2.3.1.1 Unión columna a columna

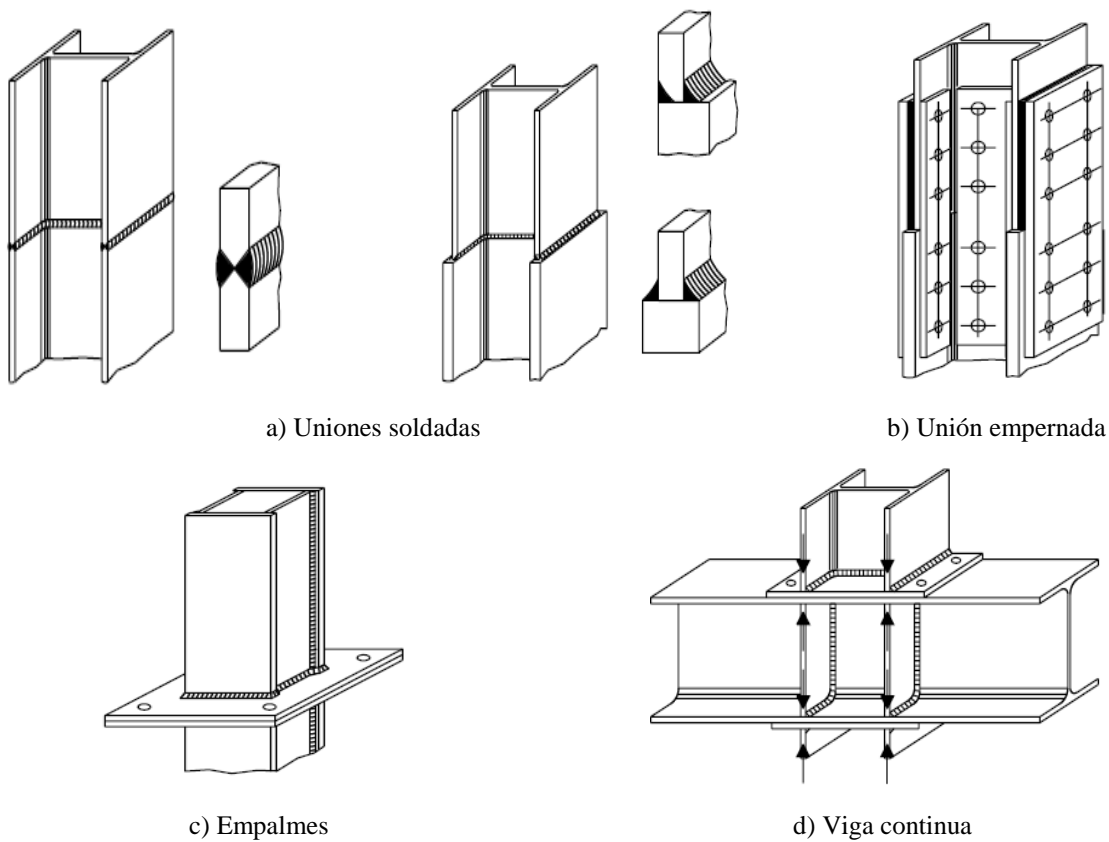


Figura 2. 14 Unión típica de columna a columna

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 9

2.3.1.2 Unión placa base a columna

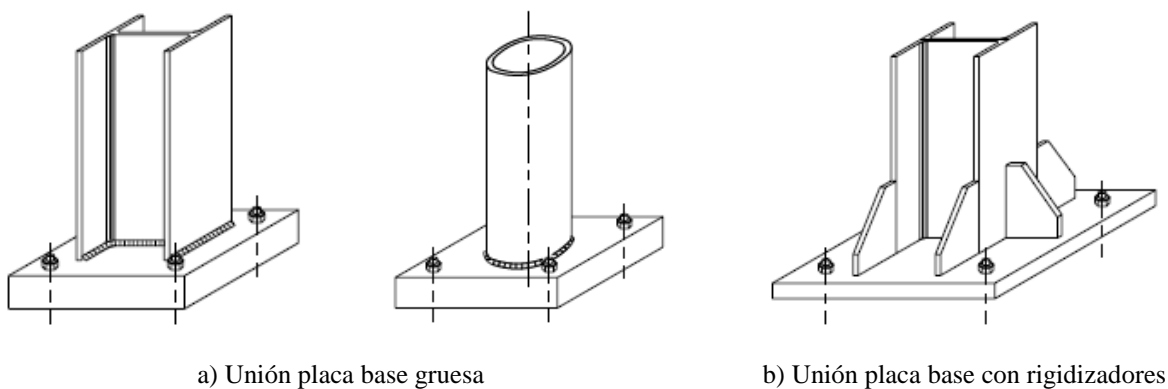
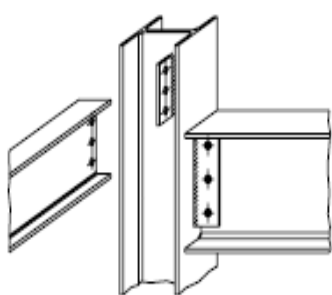


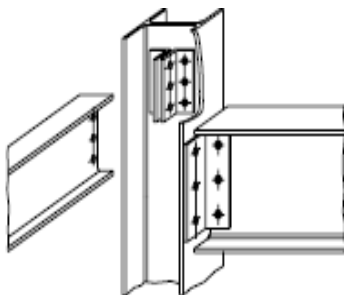
Figura 2. 15 Unión típica de placa base a columna

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 10

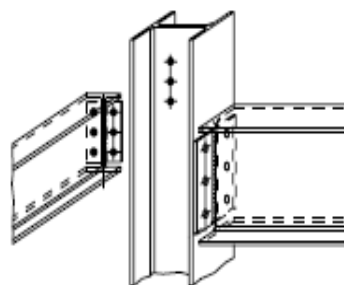
2.3.3.3 Unión simple viga a columna



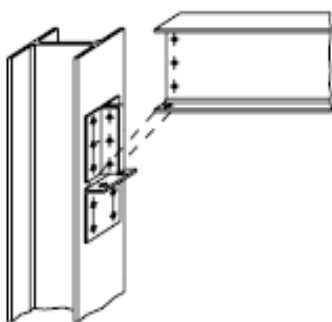
a) Unión con pletinas soldadas al pilar



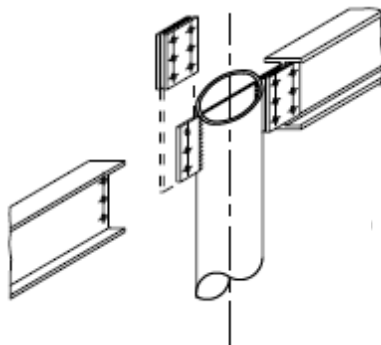
b) Unión atornillada con casquillos de alma



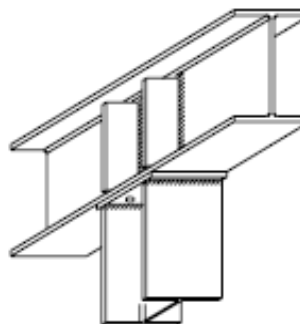
c) Unión con chapas de testa flexibles soldadas a la viga.



d) Unión atornillada con casquillos de asiento



e) Unión en un tubo de paredes gruesas

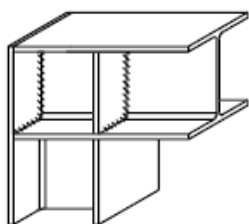


f) Unión rigidizada

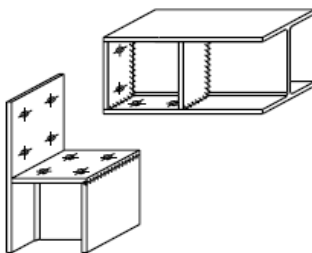
Figura 2. 16 Unión típica simple de viga a columna

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13 . pp 10*

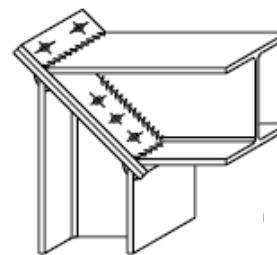
2.3.3.4 Unión rígida viga a columna



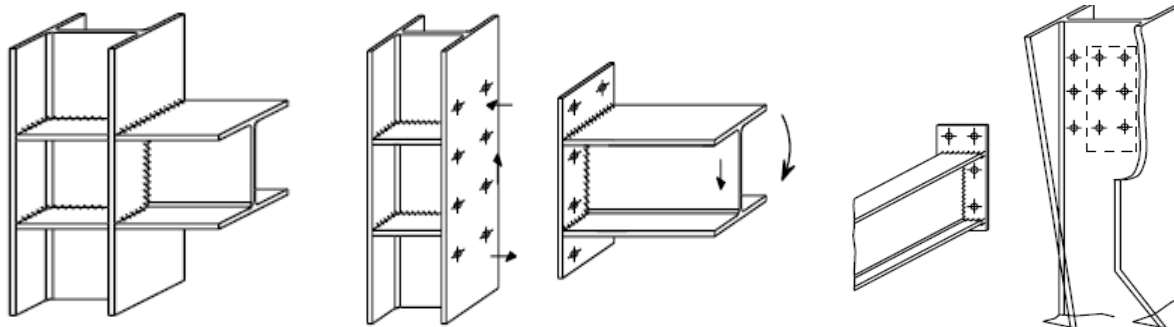
a) Unión totalmente soldada.



b) Unión emperrada.



c) Unión con chapa de testa.



d) Uniones con chapa de testa soldadas.

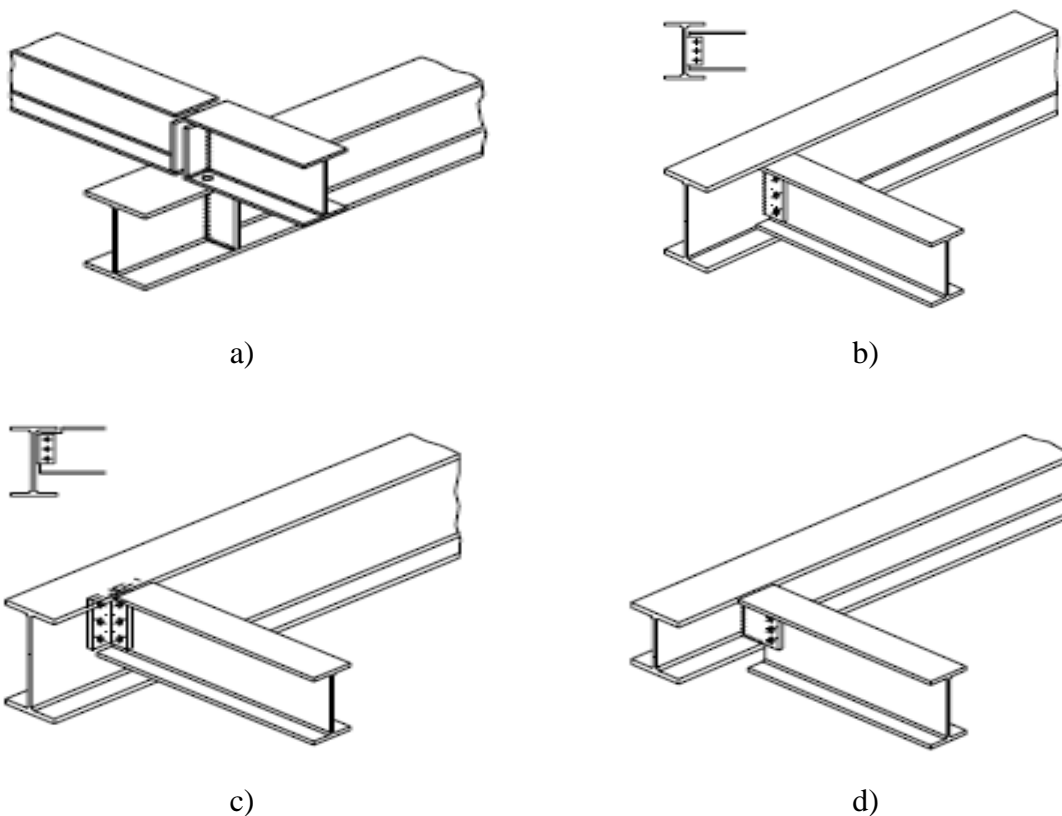
e) Uniones con chapa de testa empernada.

f) Uniones con chapa de testa empernada

Figura 2. 17 Unión típica rígida de viga a columna

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 11

2.3.3.5 Unión simple viga a viga



a)

b)

c)

d)

Figura 2. 18 Unión típica simple de viga a viga

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 12

2.3.3.6 Unión rígida viga a viga

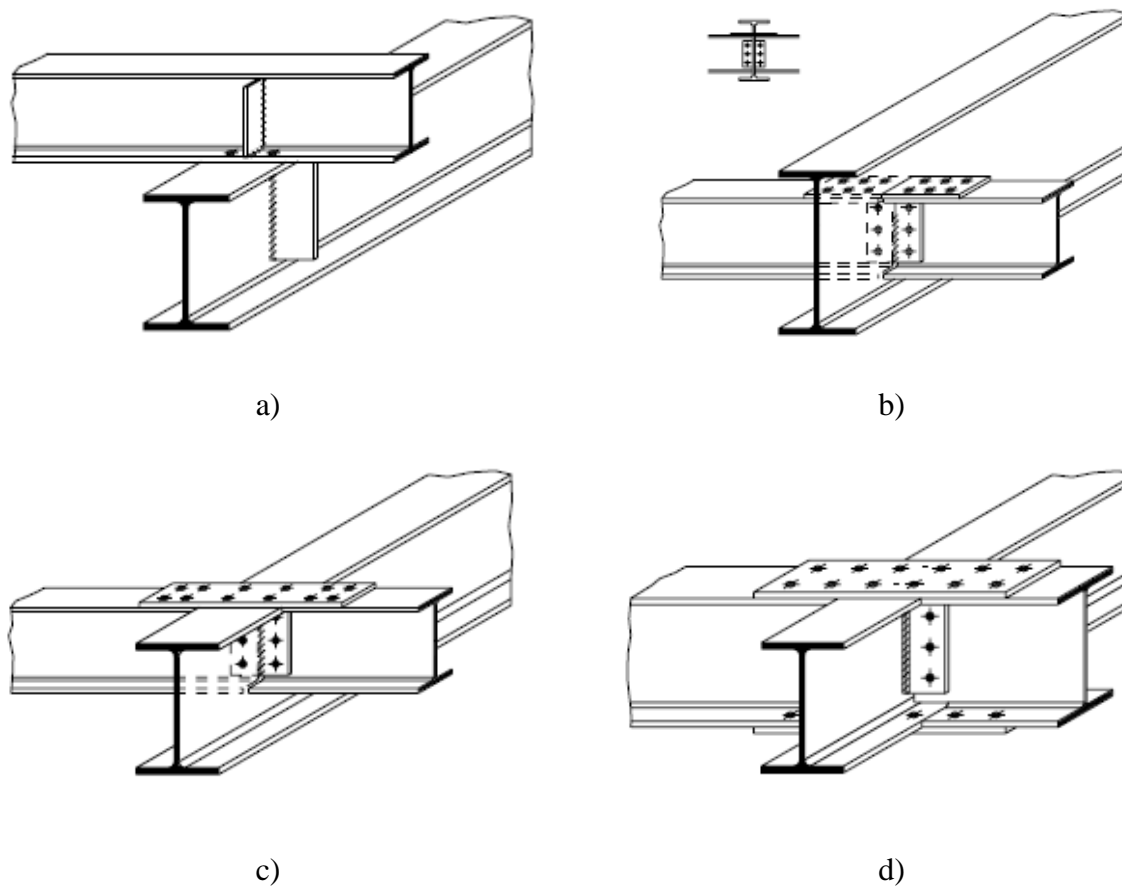
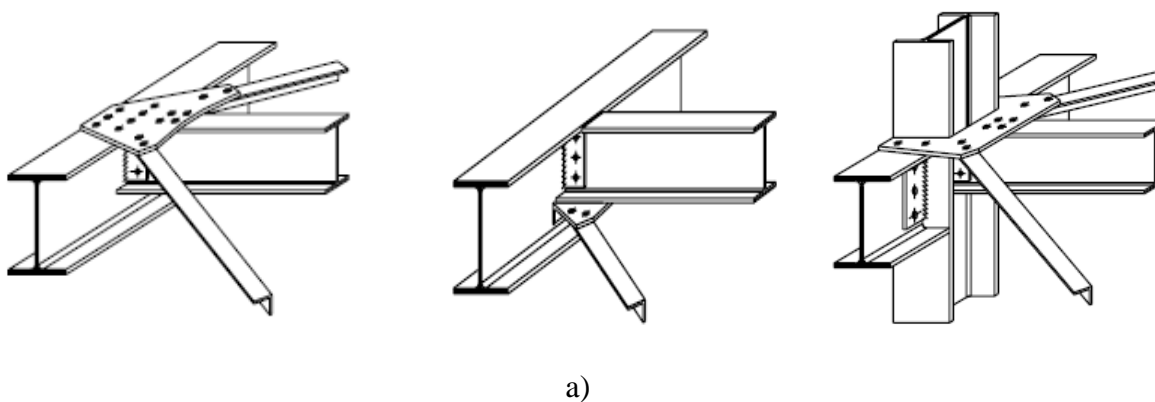
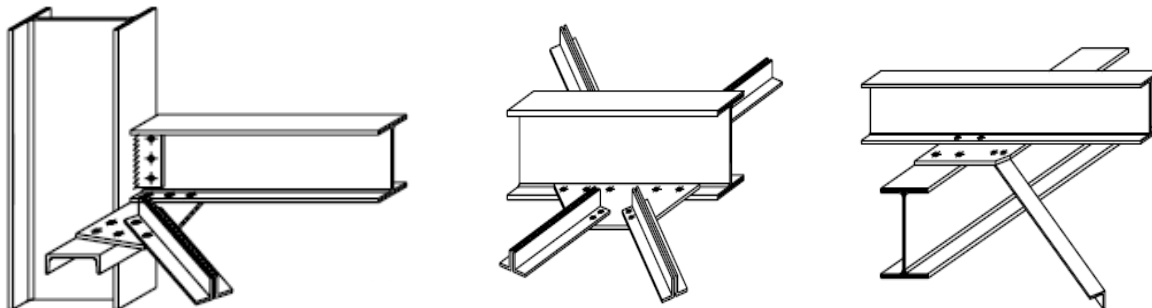


Figura 2. 19 Unión típica rígida de viga a viga

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 12

2.3.3.7 Unión Horizontal de Arriostramiento



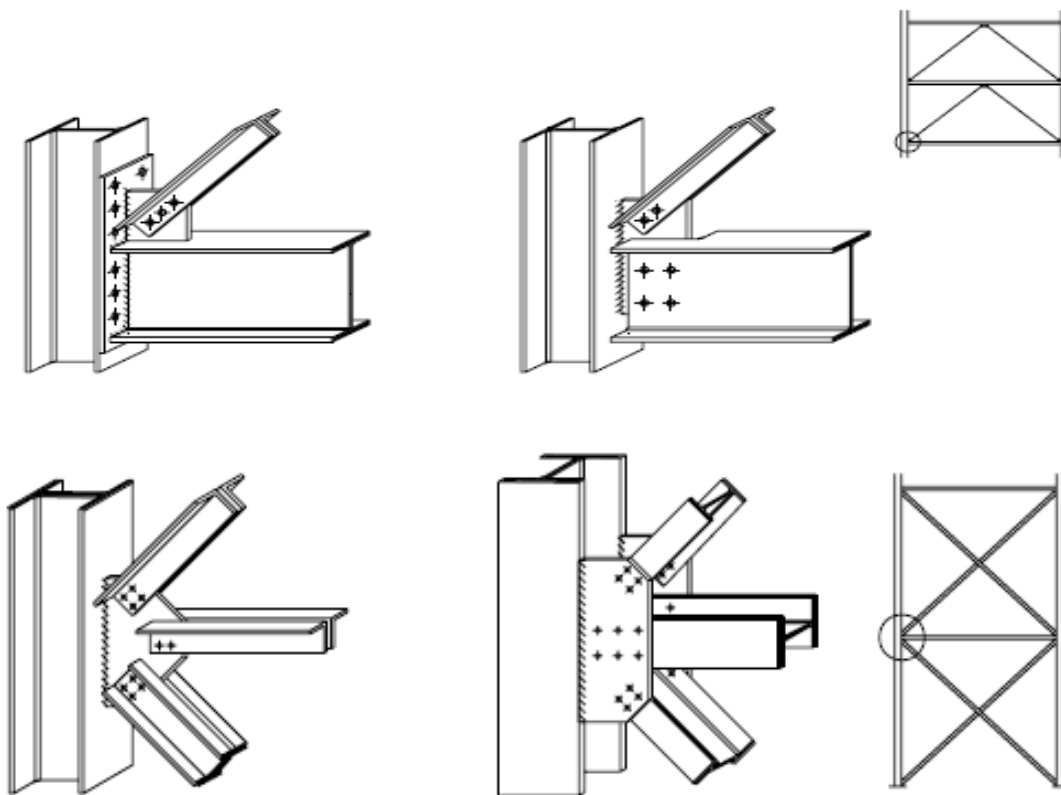


b)

Figura 2. 20 Unión típica horizontal de arriostramiento

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 13

2.3.3.8 Unión vertical de Arriostramiento



a)

Figura 2. 21 Unión típica vertical de arriostramiento

Fuente: Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* . pp 13

2.4 Curva momento – rotación ($M-\phi$)

La unión tipo viga-columna se muestra como un muelle rotacional (Figura 2.22a) uniendo las líneas pertinentes al eje de la columna con el eje de la viga, representada en la Figura 2.22b, de tal manera que en función del momento (M_j) que transfiera la viga a la columna se produzca un giro relativo ϕ entre los ejes (Figura 2.22c). En la Figura 2.22d se muestra la curva momento-rotación verdadera de la unión tipo viga-columna en función del momento atribuido y el giro generado. Esta curva es representada a través una ley no lineal.

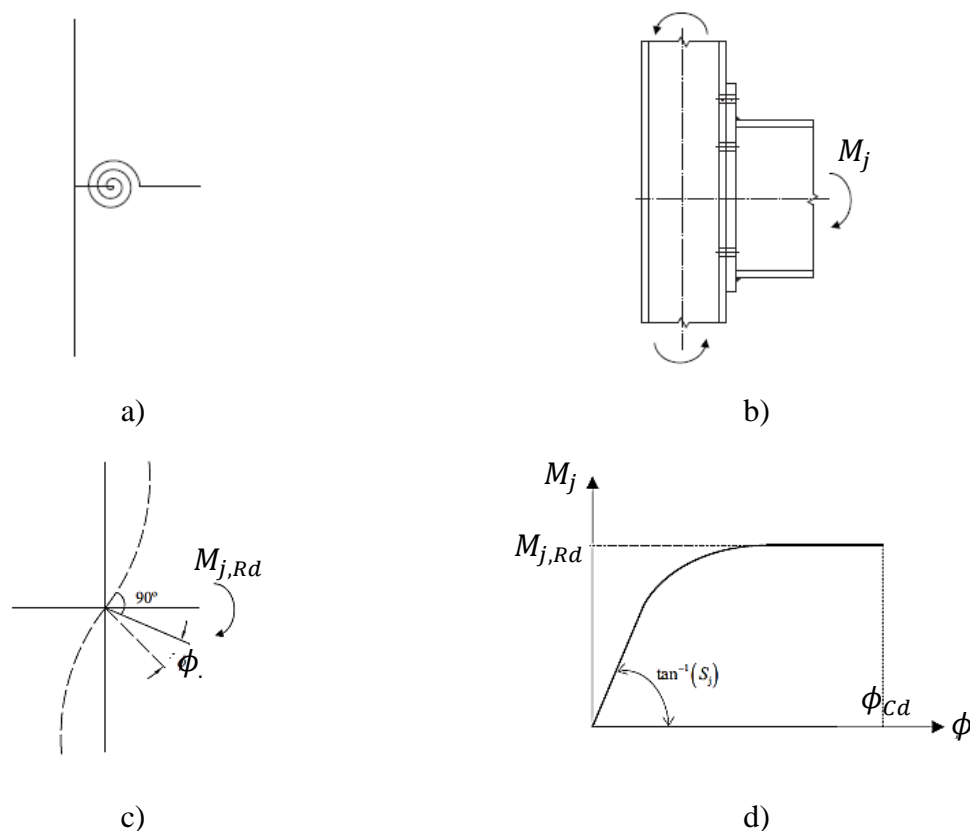


Figura 2. 22 Comportamiento real de una unión viga-columna:

(a) modelo ideal; (b) nudo real; (c) giro relativo viga-columna; (d) curva momento-rotación.

Fuente: Diaz Gomez, C. (2010). *DISEÑO ÓPTIMO DE UNIONES SEMIRRÍGIDAS MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA Y MODELOS KRIGING (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Cartagena, España. Capítulo 1-pp7.

“Para conocer el comportamiento de una unión o la respuesta rotacional, es necesario determinar sus propiedades mecánicas en términos de rigidez, resistencia, y ductilidad o capacidad de deformación (Figura 2.22d).”: (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc. 5.2 p.54)

Donde:

S_j Rigidez rotacional, relación entre el momento transmitido y el giro relativo, entendido como la diferencia entre los giros absolutos de los elementos conectados.

$M_{j,Rd}$ Momento resistente de cálculo, valor máximo del momento, entendido como el momento resistente plástico que resiste la unión.

ϕ_{cd} Capacidad rotacional de cálculo, giro máximo producido por el momento resistente de cálculo de la unión.

En las pruebas desarrolladas por Kishi y Chen, 1986 se encuentran una serie de base de datos de los ensayos momento - rotación de los distintos tipos de uniones más comunes, principalmente diversos diagramas momento - rotación tipo viga - columna (Figura 2.23).

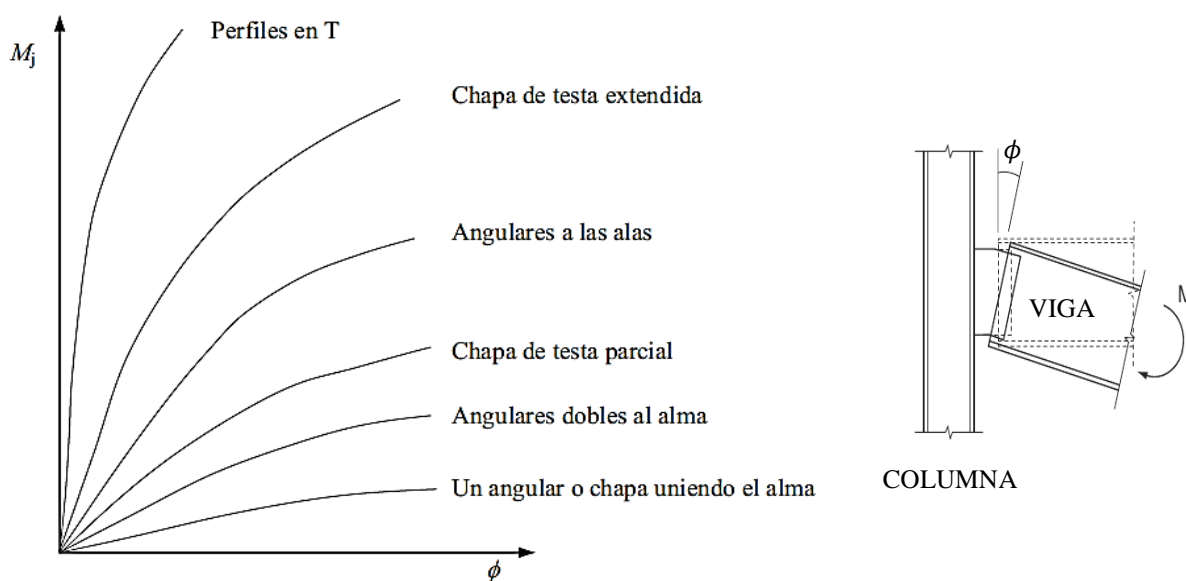


Figura 2. 23 Curva momento – rotación de algunas uniones tipo viga – columna

Fuente: W. Chen, N. Kishi, M. Komuro. (2011). *Semi-rigid Connections Handbook*. J. Ross Publishing . pp3

2.5 Clasificación de las uniones

2.5.1 En función de su rigidez

De acuerdo a la rigidez rotacional que presentan, las uniones se pueden clasificar como nominalmente articuladas, rígidas y semi-rígidas.

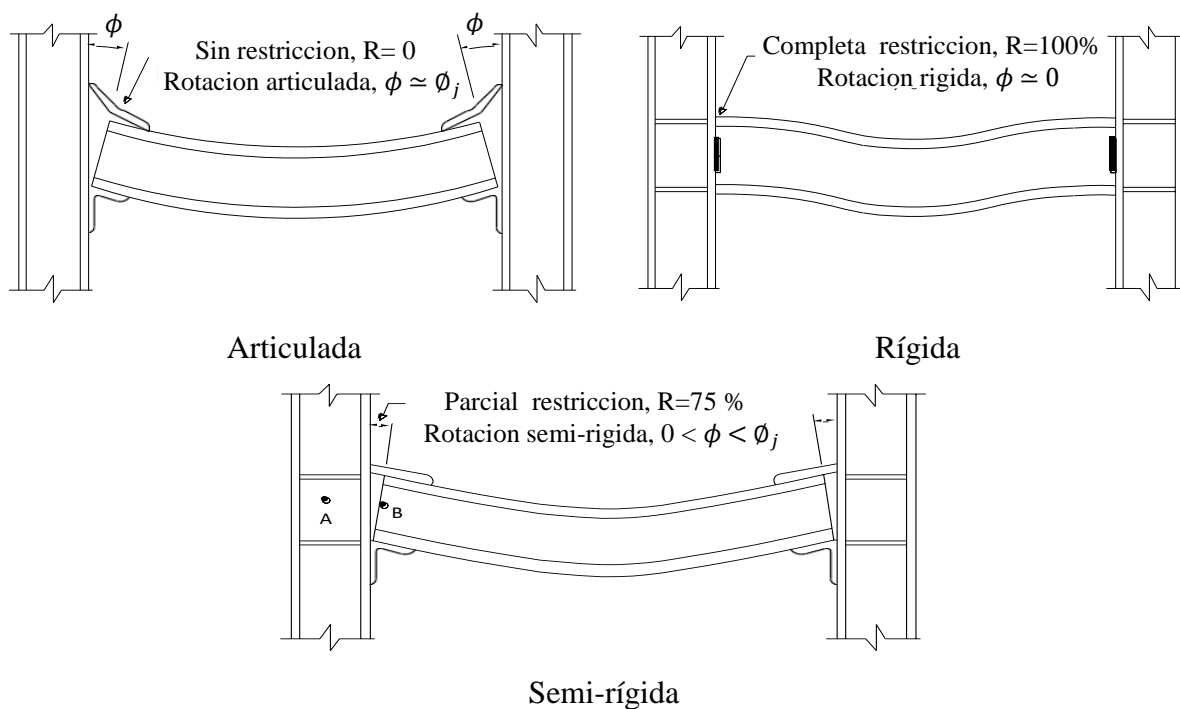


Figura 2. 24 Clasificación de la unión en función de su rigidez rotacional

Fuente: Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana. pp 787

“Esta clasificación se hace comparando la rigidez de la unión viga-columna con los límites de rigidez en función de su diagrama momento - rotación ($M_j - \phi_j$). Una vez se ha determinado el valor de la rigidez de cálculo, es posible clasificarla como se indica en la figura 2.25. Teniendo en cuenta que la rigidez inicial S_j se encuentra en.”: (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc.5.2.2, p.54)

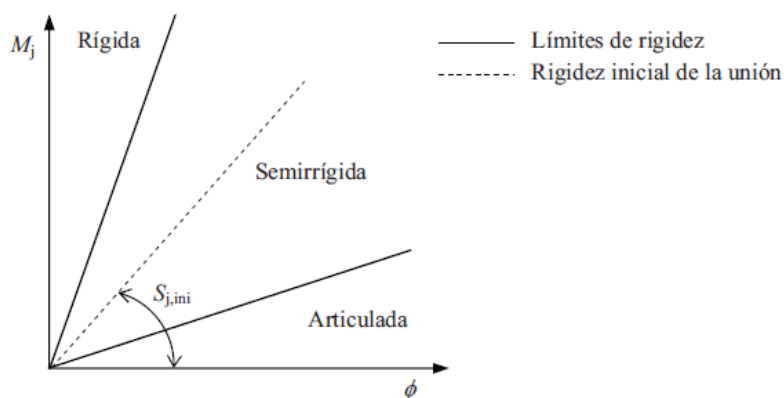


Figura 2. 25 Gráfica de la clasificación de una unión en función de la rigidez.

Fuente: EN 1993-1-8 Eurocode 3. (2005). *Design of steel structures - part 1-8 : Design of joints*. Brussels. pp55

Zona 1, si se cumple:

$$S_{j,ini} \geq \frac{k_b EI_b}{L_b} \quad (2.34)$$

se puede considerar que la unión es rígida.

Donde:

$S_{j,ini}$ rigidez inicial de la unión.

E Módulo de elasticidad longitudinal

$k_b = 8$ Estructuras arriostradas, con sistemas de arriostramiento se reduce por lo menos un 80% los desplazamientos horizontales.

$k_b = 25$ Estructuras no arriostradas, suponiendo que en cada planta se debe cumplir la condición $\frac{k_b}{k_c} \geq 0.1$. Si $\frac{k_b}{k_c} < 0.1$, la unión se puede clasificar como semirrígida.

Siendo:

$k_b = \frac{I_b}{L_b}$ el cociente entre la inercia y la longitud de la viga superior de esa planta.

$k_c = \frac{I_c}{L_c}$ el cociente entre la inercia y la longitud de la columna de esa planta.

Caso de no cumplirse dicha condición, el nudo se deberá clasificar como unión semi-rígida.

Zona 2, si se cumple:

$$\frac{0.5EI_b}{L_b} \leq S_{j,ini} \leq \frac{k_b EI_b}{L_b} \quad (2.35)$$

se puede considerar que es semi-rígido.

Todas las uniones en la zona 2 se clasifican como semi-rígidas; las uniones en las zonas 1 y 3 pueden opcionalmente tratarse como nudos semi-rígidos.

Zona 3, si se cumple:

$$S_{j,ini} \geq \frac{0.5EI_b}{L_b} \quad (2.36)$$

se considera unión nominalmente articulada.

hallado la rigidez de la unión, ésta se contrasta con la rigidez de la viga. Si la rigidez de la unión es lo suficientemente grande comparado con la rigidez de la viga, se puede clasificar como rígida, pero si la rigidez esta por debajo o igual que la mitad de la rigidez de la viga, se clasifica como union articulada (ver figura 2.25).

2.5.2 En función de su resistencia

“La clasificación en función de la resistencia consiste en comparar el momento resistente de cálculo de la unión $M_{j,Rd}$ y la resistencia de los elementos a unir (viga y columna), de este modo las uniones pueden ser clasificadas como nominalmente articulada, de resistencia completa y de resistencia parcial, ver figura 2.26.” (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc.5.2.3, p.55).

- **Nominalmente articulada:** Transfiere las fuerzas internas sin generar momentos flectores significativos que afecten desfavorablemente a los miembros o estructura en conjunto. Como también, admitir las rotaciones que se generan a consecuencia de las cargas de diseño.

$$M_{j,Rd} \leq 0.25M_{Rd} \quad (2.37)$$

- **Resistencia completa:** La resistencia de diseño de la unión es mayor o igual a la resistencia de los miembros unidos.

$$M_{j,Rd} \geq M_{Rd} \quad (2.38)$$

Donde M_{Rd} es el mayor valor de

$$M_{Rd} \geq \min(M_{pl,b,Rd} ; M_{pl,c,Rd}) \quad (2.39)$$

Si la columna es no continua

$$M_{Rd} \geq \min(M_{pl,b,Rd} ; 2M_{pl,c,Rd}) \quad (2.40)$$

Si la columna es continua

Donde:

$M_{pl,b,Rd}$ Momento resistente plástico de la viga

$M_{pl,c,Rd}$ Momento resistente plástico de la columna

- **Resistencia parcial:** no cumple ninguno de los criterios anteriores.

$$0.25 M_{Rd} < M_{j,Rd} < M_{Rd} \quad (2.41)$$

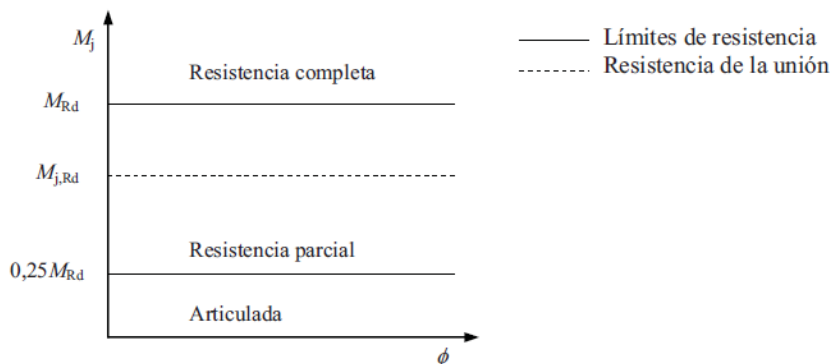


Figura 2. 26 clasificación de una unión en función de la resistencia

Fuente: J.P. Jaspart, S. Renkin and M.L. Guillaume. (2003). *European recommendations for the design of simple joints in steel structures*. Liège, Belgica. pp13

2.5.3 En función de su rotación

El Eurocódigo 3 parte 1-8, hace simplemente una serie de sugerencias relativas a la capacidad rotacional de la unión (apartado 6.4), donde dispone que toda unión correspondiente a una estructura en donde se efectuó un análisis rígido-plástico global, está obligado a tener la suficiente capacidad de rotación.

Si el momento resistente $M_{j,Rd}$ es por lo menos 1,2 veces la resistencia plástica de cálculo de los miembros unidos, no se requiere verificar la capacidad de rotación de la unión.

Es importante resaltar, que el diagrama verdadero de momento - rotación de una unión no está presente en una única región (ver figura 2.27 curva "c"), comprendidas en las directrices (1) y (2) que representan los límites de rigidez, pero sobre las rectas (3) y (4) son los que rigen los límites de clasificación por resistencia. Es generalmente común que la parte inicial se halle en la región de uniones semirrígidas y el segmento final en la región de uniones rígidas, en la figura 2.27 se puede verificar los diversos tipos de clasificación de uniones como la curva:

- (a) rígida de resistencia total;
- (b) rígida de resistencia parcial;
- (c) semirrígida de resistencia total;
- (d) semirrígida de resistencia parcial;
- (e) articulada.

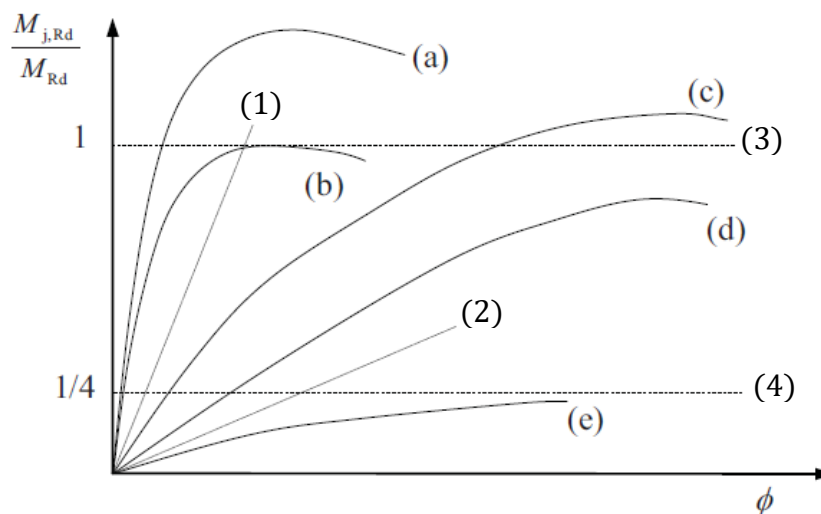


Figura 2. 27 Diferentes tipos de clasificación de uniones viga – columna

Fuente: Montoya Coronado, L. (2013). **Influencia de la rigidez de uniones en el comportamiento sísmico en edificios metalicos.** *Eduacero. Vol 2. Número 1, 11.* pp3

2.6 Modelización de la unión - método de análisis global

Con respecto a los criterios de diseño de la unión como parte de una estructura global podemos reconocer tres tipos de análisis:

2.6.1 Análisis global elástico

“Clasifica las uniones como rígidas, articuladas o semi-rígidas. Las leyes pertinentes de comportamiento para los tres tipos de uniones son las mostradas en la figura 2.28.” (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc.5.1.2, p.50).

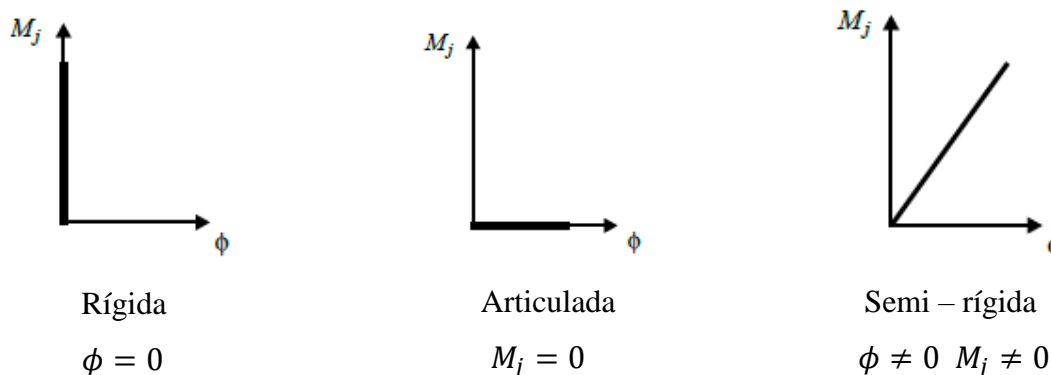


Figura 2. 28 Curva $M_j - \phi$ para un análisis global elástico: rígida, articulada y semi-rígida
Fuente: J.P Jaspert, K. Weynand. (2016). *Desingn of Joints in steel and composite Structures.* pp4

Para el cálculo de las uniones de acuerdo a un análisis global elástico-lineal, el Eurocódigo 3 parte 1-8 presenta dos opciones:

a) Revisión de la resistencia de la unión en régimen elástico:

La variable de rigidez S_j se puede tomar igual a la rigidez inicial de la unión $S_{j,ini}$ ver figura 2.29a. Se debe verificar, al terminar el análisis de la estructura, que el momento solicitado de la unión $M_{j,Ed}$ debe ser inferior al momento resistente elástico de la unión, representado como $2/3 M_{j,Rd}$.

$$M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd} \quad (2.42)$$

b) Revisión de la resistencia de la unión en régimen plástico:

La variable de rigidez S_j se puede tomar igual a una rigidez aparentemente igual a $S_{j,ini}/\eta$, con un valor que se halla entre la rigidez inicial y la rigidez secante relativa a $M_{j,Rd}$. Este planteamiento es válida cuando el momento solicitado $M_{j,Ed}$ corresponde al intervalo $[2/3 M_{j,Rd}; M_{j,Rd}]$ ver figura 2.29b. Los valores de η se hallan en la tabla 2.6.

$$M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd} \quad (2.43)$$

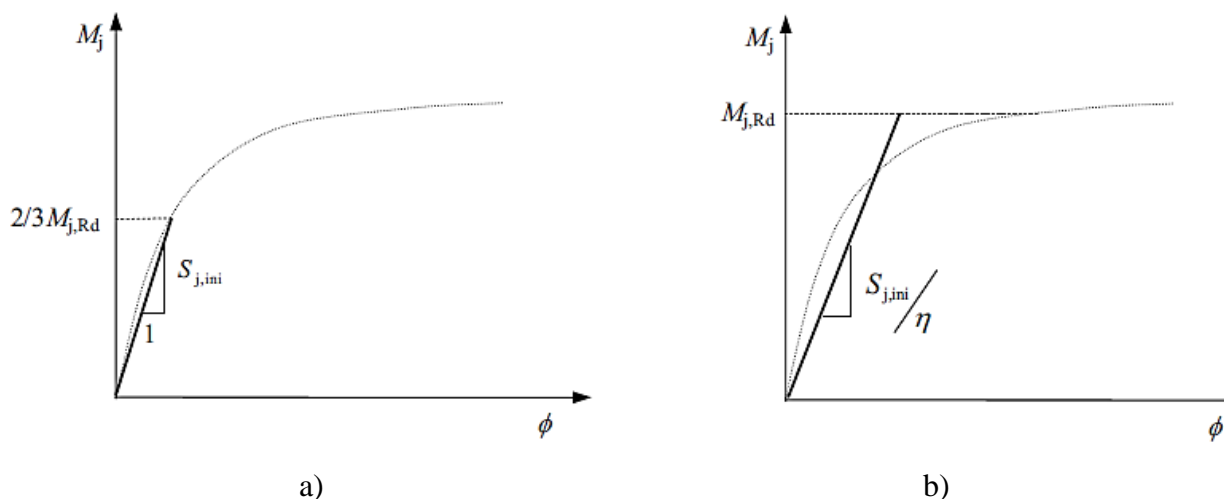


Figura 2. 29 Curva $M_j - \phi$ para un análisis global elástico

Fuente: EN 1993-1-8 Eurocode 3. (2005). *Design of steel structures - part 1-8 : Design of joints*. Brussels.pp51

Tabla 2. 6
Coefficiente de modificación de la rigidez η

Tipo de conexión	Unión viga - columna	Otro tipo de unión
Soldada	2	3
Placa de testa atornillada	2	3
Angulares atornillados	2	3.5

Fuente: EN 1993-1-8 Eurocde 3. (2005). *Design of steel structures - part 1-8 : Design of joints*. Brussels.pp51

2.6.2 Análisis global rígido-plástico

“Clasifica las uniones como articuladas, de resistencia completa y de resistencia parcial.

En el análisis de una estructura con el método rígido-plástico se entiende que la rigidez de las uniones es infinita, que los giros son nulos hasta que se alcanza el $M_{j,Rd}$, y que las uniones poseen capacidad de rotación suficiente para que se formen rótulas plásticas.

Para modelizar el comportamiento es suficiente conocer el valor del momento resistente y la capacidad de giro, ver la figura 2.30.” (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc.5.1.3, p.51)

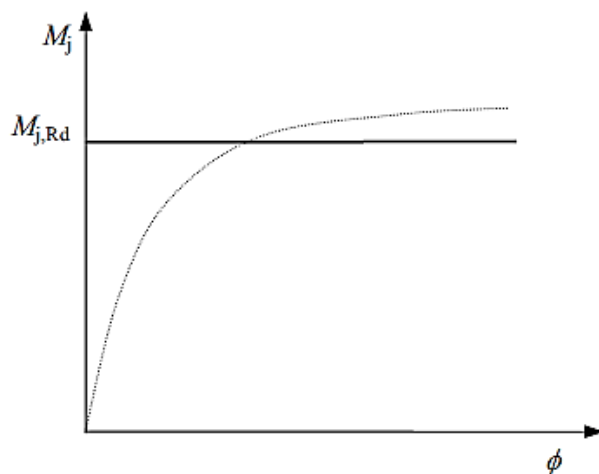


Figura 2. 30 Curva $M_j - \phi$ para análisis rígido plástico

Fuente: J.P Jaspard, K. Weynand. (2016). *Design of Joints in steel and composite Structures*. pp82

2.6.3 Análisis global elasto-plástico

“Es necesario que las uniones posean suficiente capacidad de giro allí donde se deban formar las rótulas plásticas. El comportamiento de las uniones se define a partir de su rigidez, $S_j = S_{j,ini}$,

resistencia, $M_{j,Rd}$, y capacidad de rotación, ϕ_{Cd} . Para idealizar la curva se cuenta con diferentes representaciones: bi-lineales, tri-lineales, multi-lineales, y no lineal.

La curva momento-rotación adoptada por el Eurocódigo 3 parte 1-8 se muestra en la figura 2.31, donde.”: (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc.5.1.4, p.51)

$$\phi = \begin{cases} \frac{M_{j,Ed}}{S_{j,ini}}, & M_{j,Ed} < 2/3 M_{j,Rd} \\ \frac{(1.5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi}{S_{j,ini}} M_{j,Ed}, & 2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} < M_{j,Rd} \end{cases} \quad (2.44)$$

Donde:

$S_{j,ini}$ Rigidez inicial

$M_{j,Rd}$ Momento resistente de la unión

$M_{j,Ed}$ Momento aplicado

Ψ Coeficiente que depende de la tipología de la unión, ver tabla 2.7.

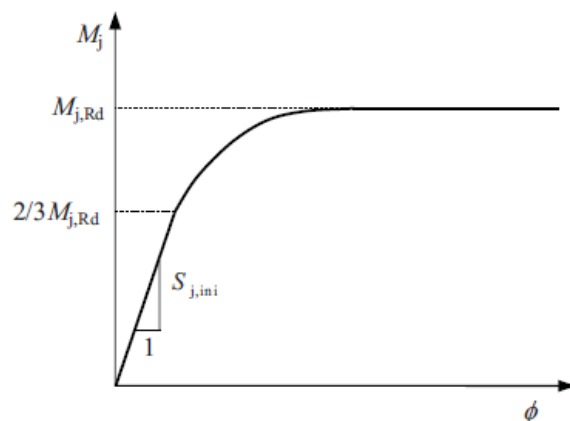


Figura 2. 31 Curva $M_j - \phi$ para análisis elasto – plástico

Fuente: Montoya Coronado, L. (2013). Influencia de la rigidez de uniones en el comportamiento sísmico en edificios metalicos. Eduacero. Vol 2. Número 1, 11. pp6

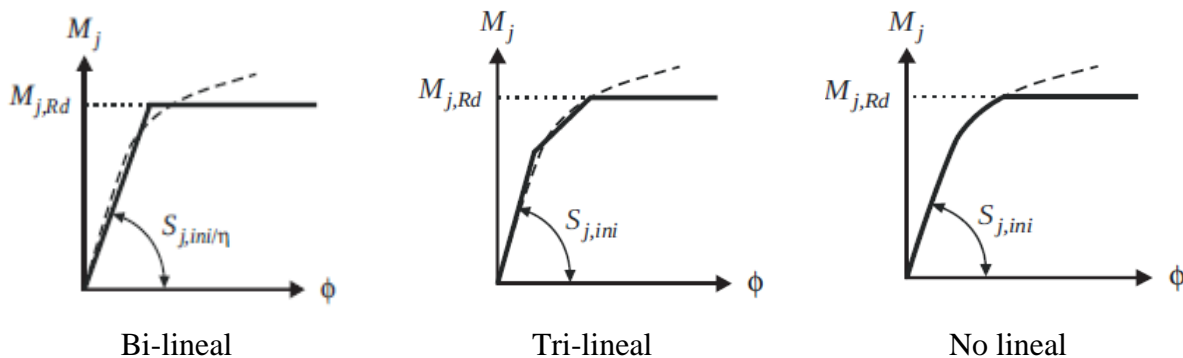


Figura 2. 32 Curva $M_j - \phi$ para análisis elasto – plástico con diferentes representaciones
Fuente: J.P Jaspard, K. Weynand. (2016). *Design of Joints in steel and composite Structures*. pp63

Tabla 2. 7
Valor de coeficiente Ψ

Tipo de conexión	Ψ
Soldada	2.7
Atornillada con chapa frontal	2.7
Atornillada con casquillo de angular en las alas	3.1
Conexiones con placa base	2.7

Fuente: EN 1993-1-8 Eurocode 3. (2005). *Design of steel structures - part 1-8 : Design of joints*. Brussels.pp92

2.7 Modelización simplificada de la unión.

(Guardiola VÍllora, 2006) Establece que: “Para determinar si el comportamiento de la unión debe ser tenido en cuenta en el análisis global de la estructura, se debe regir al Eurocódigo 3 parte 1-8 (EN 1993-1-8:2005 CI.5.1.1) que distingue entre tres modelos simplificados de unión, uniones simples, uniones continuas y uniones semi-continuas.” (p.128) (ver tabla 2.8)

Unión simple, imposibilita cualquier tipo continuidad de acuerdo a la rotación generado en los miembros unidos. A su vez no transfieren momentos flectores y pertenecen a las uniones tipo articuladas.

Unión continua, aseguran una continuidad completa de acuerdo a la rotación entre los miembros unidos, de tal manera su comportamiento no intervenga en el análisis global de la estructura. pertenece a la unión del tipo rígido de resistencia total.

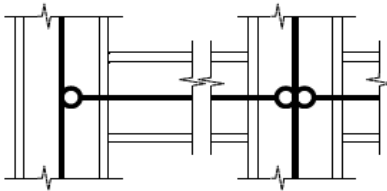
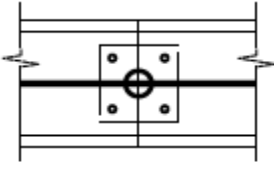
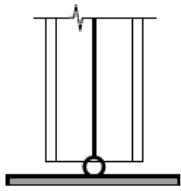
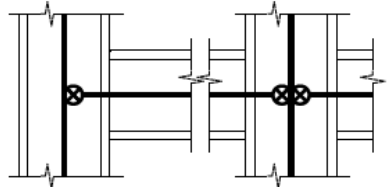
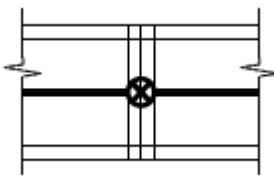
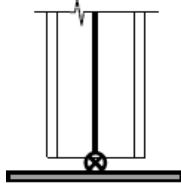
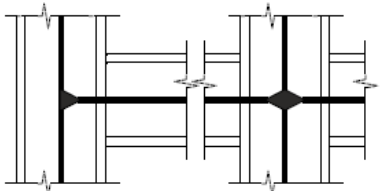
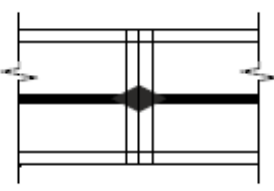
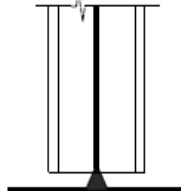
Unión semi-continua, posibilita una continuidad parcial de acuerdo a su rotación entre los miembros unidos, requiriendo tener en cuenta el comportamiento del nudo en el análisis global de

la estructura. Engloba a las uniones rígidas de resistencia parcial, las semi-rígidas de resistencia parcial y las semi-rígidas de resistencia completa.

Las características de este tipo de uniones se encuentran resumidas en la tabla 2.8. La interpretación que se debe hacer a los términos unión continua, semi-continua y simple, dependerá del tipo de análisis global que se realizará.

- Para un análisis global elástico, es fundamental la capacidad de rigidez a la rotación en la modelización de las uniones.
- Para un análisis rígido-plástico, es esencial la capacidad de resistencia para la modelización de las uniones.
- Para un análisis elasto-plástico, es fundamental la capacidad de resistencia tanto como la capacidad de rigidez que se debe tener en cuenta en la modelización de las uniones.

Tabla 2. 8
Modelización simplificada

Modelización de las uniones	Viga-Columna según el eje mayor	Prolongación de vigas	Placa base Columna
Simple			
Semi-continuo			
Continuo			

Fuente: J.P Jaspert, K. Weynand. (2016). *Design of Joints in steel and composite Structures*. tabla.2.5 pp54

Tabla 2. 9
Modelización de los tipos de uniones

RIGIDEZ	RESISTENCIA		
	Resistencia completa	Resistencia parcial	Articulada
Rígida	Continua	Semi-continua	*
Semi-rígida	Semi-rígida	Semi-continua	*
Articuladas	*	*	Simple

* no tiene sentido

Fuente: J.P Jaspert, K. Weynand. (2016). *Desingn of Joints in steel and composite Structures*. tabla2.5 pp54

Las diversas opciones que se manifiestan se obtiene de la tabla 2.10. La perspectiva de clasificación se emplea para precisar la clase de rigidez y resistencia que corresponde la unión, y seguidamente establecer el tipo de modelización de la unión que se puede adoptar para el análisis.

Tabla 2. 10
Modelización de las uniones y análisis de la estructura

Método de análisis global	Clasificación de las uniones		
Elástico	Articulada	Rígida	Semi-rígida
Rígido – Plástico	Articulada	Resistencia completa	Resistencia parcial
Elasto - Plástico	Articulada	Rígida de resistencia completa	Semi-rígida de resistencia parcial Semi-rígida de resistencia completa Rígida de resistencia parcial
Modelización de la unión	Simple	Continua	Semi-continua

Fuente: EN 1993-1-8 Eurocde 3. (2005). *Design of steel structures - part 1-8 : Design of joints*. Brussels.pp50

2.8 Modelos para predecir la curva momento-rotación ($M-\phi$)

Modelar debidamente el comportamiento rotacional de las uniones, en especial la unión tipo viga - columna, se requieren de análisis matemáticos muy complejos para mostrar adecuadamente la curva de momento-rotación; por suerte hay muchos modelos que pueden usarse para predecirlo.

Estos modelos se pueden clasificar en: experimentales, empíricos, analíticos, mecánicos, numéricos e informacionales.

Adicionalmente, el Eurocódigo 3 parte 1-8 desarrolla el *método de los componentes*, que combina los modelos mecánico y analítico

2.9 Modelo Numérico: Método de elementos finitos (MEF)

2.9.1 Proceso de análisis MEF en software

El MEF en cualquier software funciona al dividir una estructura grande (modelo geométrico previamente realizado), con altos grados de complejidades físicas y discontinuidades matemáticas, en secciones más pequeñas y manejables. Cada sección representa las propiedades materiales de su dominio local. Al dividir la estructura en secciones cada vez más pequeñas, el programa simulador obtiene una comprensión de cómo responderá la estructura más grande a los estímulos externos o internos.

El comienzo de este proceso comienza determinando la ubicación de una matriz teórica de "nodos" (véase la figura 2.33, 2.34, 2.35 y 2.36 – Tipos de nodo) en la estructura:

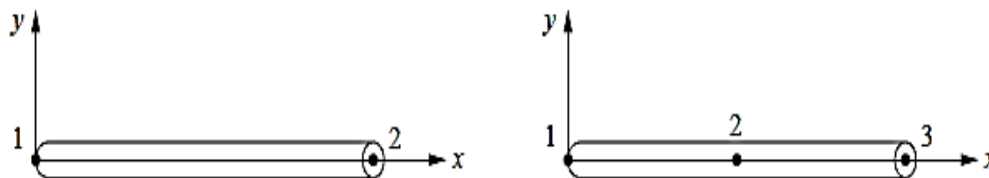
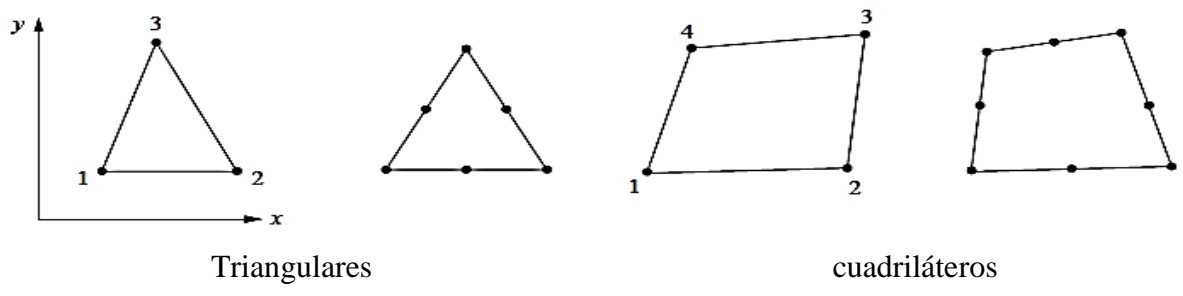


Figura 2. 33 (a) Elemento de línea simple de dos nodos

(generalmente usado para representar un elemento de barra o viga) y el elemento de línea de orden superior

Fuente: Daryl L. Logan. (2012, Fifth Edition). *A First Course in the Finite Element Method*, EE.UU: Cengage Learning. pp10

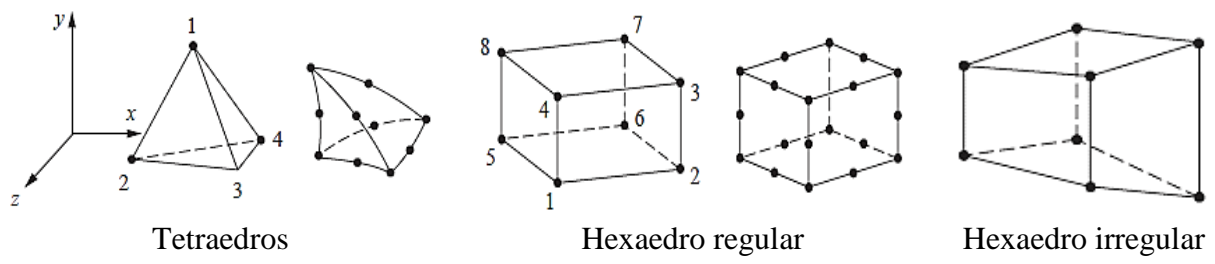


Triangulares

cuadriláteros

Figura 2. 34 (b) Elementos bidimensionales simples con nodos de esquina (generalmente utilizados para representar tensión / deformación plana) y elementos bidimensionales de orden superior con nodos intermedios a lo largo de los lados

Fuente: Daryl L. Logan. (2012, Fifth Edition). *A First Course in the Finite Element Method.* EE.UU: Cengage Learning. pp10



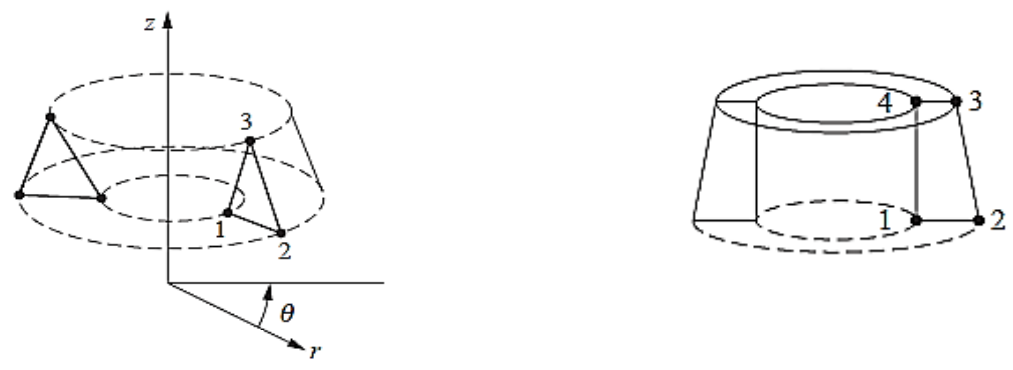
Tetraedros

Hexaedro regular

Hexaedro irregular

Figura 2. 35 (c) Elementos tridimensionales simples (normalmente utilizados para representar el estado de tensión tridimensional) y elementos tridimensionales de orden superior con nodos intermedios a lo largo de los bordes

Fuente: Daryl L. Logan. (2012, Fifth Edition). *A First Course in the Finite Element Method.* EE.UU: Cengage Learning. pp10



Anillo triangular

Anillo cuadrilátero

Figura 2. 36 (d) Elementos triangulares y cuadriláteros axisimétricos simples utilizados para problemas axisimétricos

Fuente: Daryl L. Logan. (2012, Fifth Edition). *A First Course in the Finite Element Method.* EE.UU: Cengage Learning. pp10

1. El “NODO” es un punto único dentro de la estructura 2D o 3D. Cada nodo se programa con los datos de materiales y estructurales de su ubicación inmediata.
2. La adición de líneas entre los nodos crea una estructura “MALLA” (MESH). La malla encierra secciones más pequeñas y simples de la parte completa. (ver figura 2.37)
3. Cuanto más densa sea la malla, más precisos serán los resultados para el sistema completo, pero más complejos serán los cálculos.
4. Las regiones que están encerradas por la estructura de malla son una colección de ELEMENTOS finitos, por lo tanto, se denomina análisis de elementos finitos.

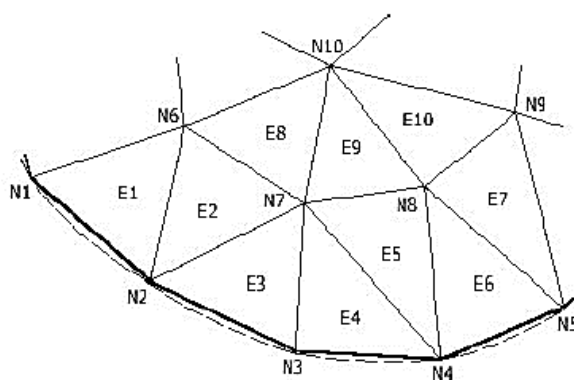


Figura 2. 37 Discretización de malla, de una superficie (dominio o región) usando elementos triangulares. El límite real del dominio se muestra en la línea de puntos. E1 y N1 representan el elemento 1 y el nodo 1, respectivamente.

Fuente: Napoles Padron, E., Olivares Diaz, E., & González-Carbonell, R. (Julio, 2017). *Una introducción al análisis por elementos finitos: aplicaciones y ejemplos*. pp23

Cada elemento se define por las ecuaciones más simples relacionadas con la tensión, deformación, la fuerza, la inercia, el grosor, la resistencia, la aceleración, la temperatura, etc., relacionadas con las condiciones del borde a lo largo de esa malla única y esas condiciones dentro del elemento. El software de la computadora mantiene una lista de los elementos individuales, sus elementos vecinos y las condiciones internas y fronterizas.

Todas las ecuaciones de malla dentro del sistema se resuelven simultáneamente y los resultados se utilizan para determinar cómo responde cada nodo cuando se le aplica un estímulo externo o sus elementos vecinos.

Cuando se ejecuta un programa de simulación y se aplican tensiones al sistema, cada elemento comienza a ajustar sus ecuaciones. Estos ajustes aliviarán o crearán tensiones adicionales en toda la malla, cambiando las condiciones de borde para sus vecinos, así como sus vecinos cambiarán sus propias condiciones de borde. Si los nodos y las mallas se han programado correctamente, el sistema eventualmente eliminará todas las tensiones de las ecuaciones y comenzará a establecerse.

Esto se llama "convergencia" y crea una solución. Luego, el software de la computadora aplica esta solución a cada nodo individual y a partir de esto, obtiene una función teórica de esfuerzo y deformación para cada sección de la estructura. Este resultado puede analizarse gráfica o numéricamente dentro del software del programa. La solución se compara con las tolerancias del sistema y de las normas establecidas para determinar si la estructura es lo suficientemente resistente para la aplicación, incluso antes de que se fabrique la pieza.

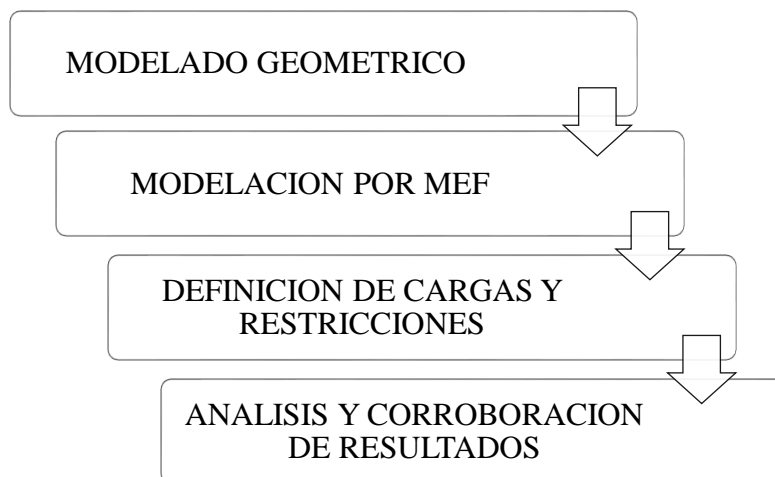
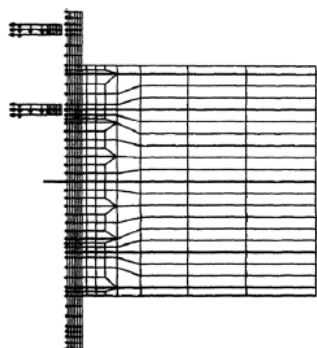


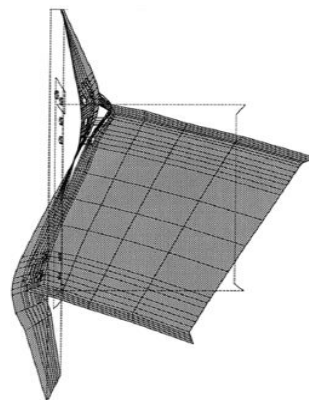
Figura 2. 38 Proceso de Análisis por Elementos Finitos en Software

Fuente: Napoles Padron, E., Olivares Diaz, E., & González-Carbonell, R. (Julio, 2017). *Una introducción al análisis por elementos finitos: aplicaciones y ejemplos*. pp52

Las regiones de mayor densidad de nodos devolverán un resultado más preciso para esa región. Sin embargo, cuantos más nodos hay en una región, más cálculos deben realizarse para obtener un resultado convergente, lo que extiende el tiempo de ejecución y el uso de memoria del sistema.



Malla 2D de la unión placa de testa extendida con 581 nodos y 508 elementos, (Krishnamurthy y Graddy, 1976)



Modelo 3D que utiliza elementos shell de una unión placa de testa extendida, (Bahaari y Sherbourne, 2000)

Figura 2. 39 Modelos MEF en uniones metálicas utilizando software

Fuente: Diaz, C., Marti, P., Victoria, M., & Querin, O. (Agosto 2010). Review on the modelling of joint behaviour in steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 741-758. pp745

2.10 IDEA StatiCa Connection

IDEA StatiCa es un software que utiliza el método de elementos finitos basado en componentes (CBFEM), la cual se rige en la descomposición de toda la unión por separado: placas de acero, soldaduras y pernos, que proporciona la verificación general de acuerdo con las normas Eurocódigo / AISC para un análisis de esfuerzo - deformación, análisis de rigidez, diseño de capacidad de los miembros, análisis de pandeo, resistencia de uniones de diseño, uniones complejas y excéntricas de acero estructural.

2.10.1 Análisis

a. Análisis de rigidez

El método CBFEM permite analizar la rigidez de la unión de miembros individuales. Para el análisis de rigidez adecuado, se debe crear un modelo de análisis separado para cada miembro analizado. Entonces, el análisis de rigidez no está influenciado por la rigidez de otros miembros de la unión, sino solo por el nodo en sí y la construcción de la unión del miembro analizado.

El programa IDEA StatiCa Connection genera un diagrama completo (ver figura 2.40 y 2.41) automáticamente, que se muestra directamente en la pantalla de interfaz y se puede agregar al

informe técnico. La rigidez rotacional o axial puede estudiarse para cargas de diseño específicas. IDEA StatiCa Connection también puede ocuparse de la interacción de las otras fuerzas internas.

El diagrama muestra:

- Nivel de carga de diseño.
- Valor límite de la capacidad de unión para una deformación equivalente al 5%.
- Valor límite de la capacidad del miembro conectado (útil también para diseño sísmico).
- 2/3 de la capacidad límite para el cálculo de la rigidez inicial.
- Valor de la rigidez inicial $S_{j,ini}$.
- Valor de la rigidez secante S_{jS} .
- Valor límite, unión rígida $S_{j,R}$
- Valor límite, unión articulada $S_{j,P}$
- Límites para la clasificación de la unión: rígida y articulada.
- Deformación rotacional ϕ .
- Capacidad rotacional ϕ_c .
- Máxima capacidad de resistencia a momento $M_{C,Rd}$

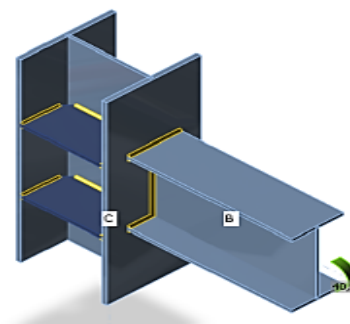
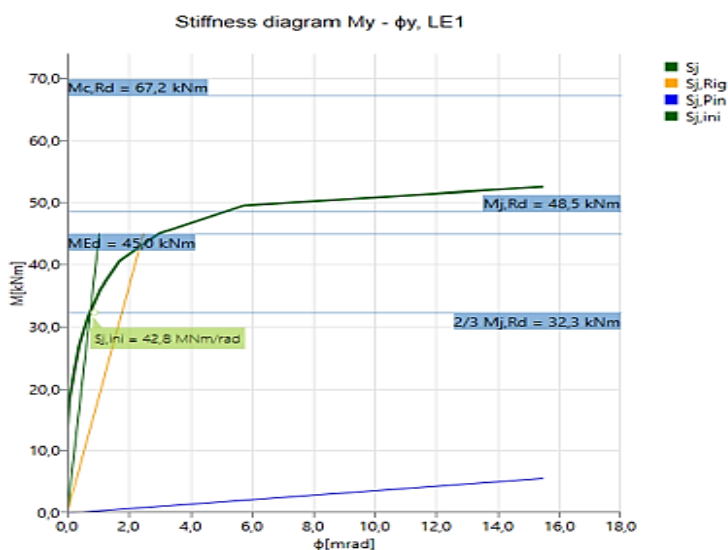


Figura 2. 40 Unión soldada rígida

Fuente: Wald, F. (Abril, 2009). *IDEA Connection Theoretical background*. Brno, Republica Checa. pp41

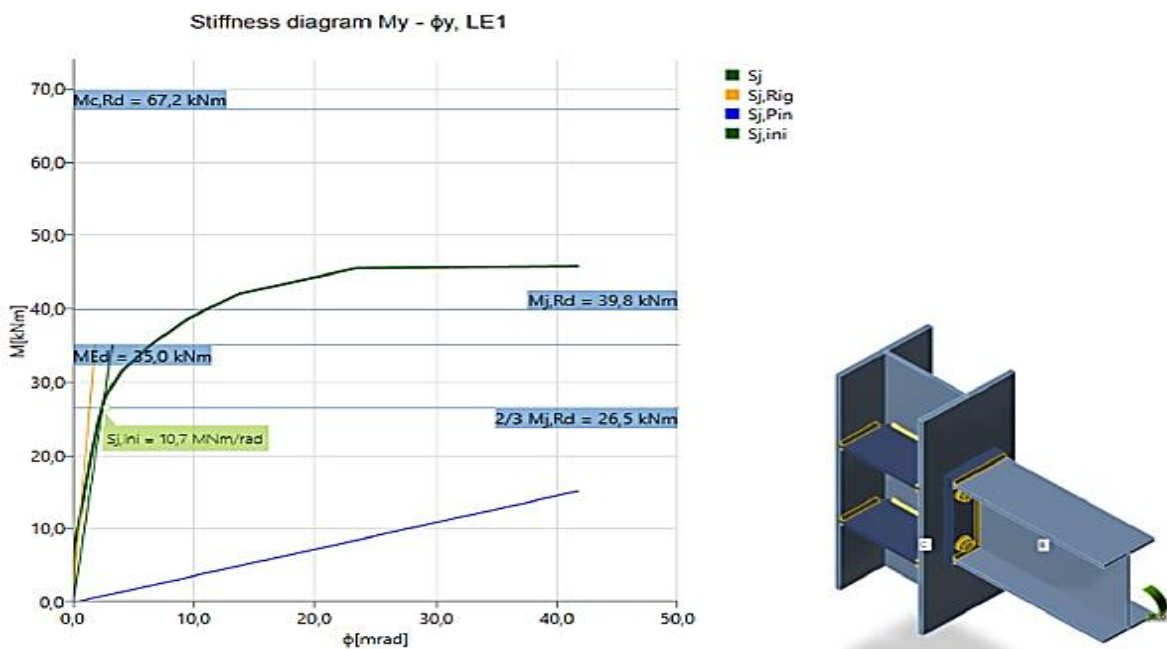


Figura 2. 41 Unión emperrada semi-rígida

Fuente: Wald, F. (Abril, 2009). *IDEA Connection Theoretical background*. Brno, Republica Checa. pp42

b. Resistencia de diseño conjunta

Es de gran importancia saber qué tan lejos está el diseño del estado límite, es decir, qué tan grande es la reserva en el diseño y qué tan segura es. Esto se puede hacer simplemente por el tipo de análisis: diseño de resistencia conjunta.

Al ingresar la carga de diseño como en un diseño estándar. El software automáticamente aumenta proporcionalmente todos los componentes de carga hasta que una de las verificaciones no satisfaga. Se incluyen las verificaciones de placas de acero, resistencia al corte y tensión de los pernos, y verificaciones aproximadas de soldadura. El usuario obtiene la relación entre la carga máxima y la carga de diseño. Además, se proporciona un diagrama simple. Es necesario realizar análisis de esfuerzo / deformación para una evaluación conjunta precisa.

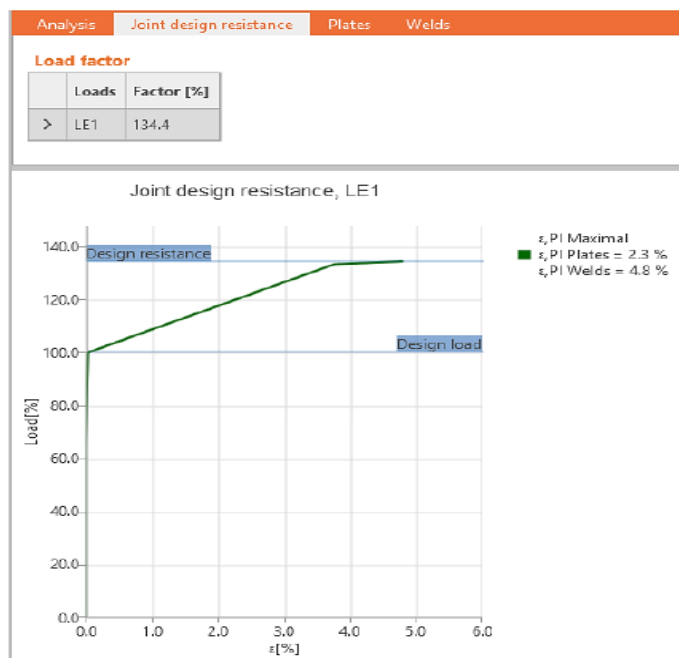


Figura 4. 1 Diagrama de diseño de resistencia conjunta.

Fuente: Wald, F. (Abril, 2009). *IDEA Connection Theoretical background*. Brno, Republica Checa. pp44

c. Análisis de estabilidad

IDEA StatiCa Connection puede realizar análisis de pandeo lineal y proporcionar el factor de pandeo. Es importante distinguir entre el pandeo global (pandeo de miembros enteros) y el pandeo local (pandeo de placas individuales). En el caso del pandeo global (la placa desarrolla un alargamiento de un miembro, ver figura 2.42), es necesario verificar que el factor de pandeo sea mayor que 15. Para el factor de pandeo menor que 15, el pandeo debe tenerse en cuenta en el diseño del miembro conectado. (Eurocódigo 3; análisis de pandeo EN 1993-1-1:2005 CI.5.2.1).

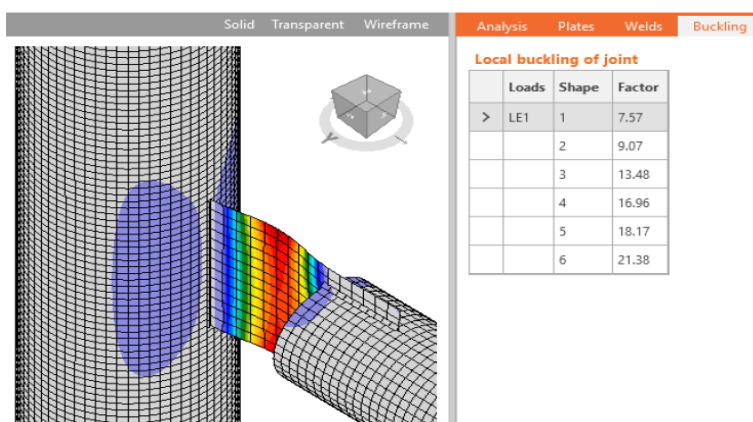


Figura 2. 42 Factor de pandeo crítico para una placa de refuerzo como alargamiento de una armadura

Fuente: Wald, F. (Abril, 2009). *IDEA Connection Theoretical background*. Brno, Republica Checa. pp46

En el caso de la mayoría de las placas en las uniones, el valor máximo del factor de pandeo crítico que requiere un análisis de pandeo completo suele ser menor; Se ha verificado que, para el refuerzo y el panel de columna en corte, no es necesario tener en cuenta el factor de reducción de pandeo si el factor de pandeo crítico es mayor que 3.

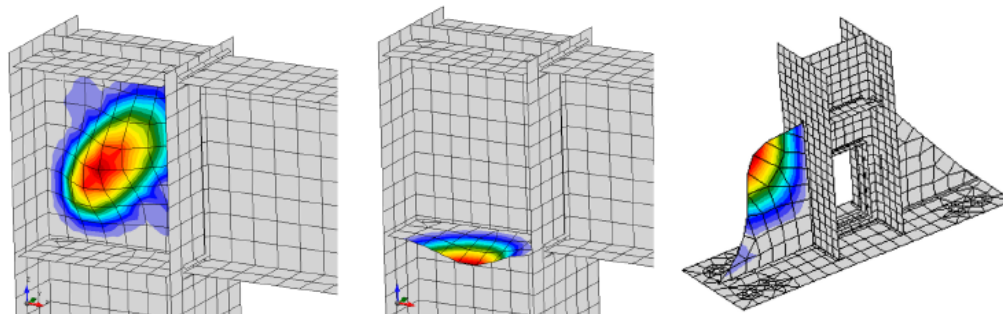


Figura 2. 43 Ejemplos de formas de pandeo
donde el pandeo puede descuidarse si el factor de pandeo crítico es superior a 3

Fuente: Wald, F. (Abril, 2009). *IDEA Connection Theoretical background*. Brno, Republica Checa. pp46

d. Capacidad de deformación

La capacidad de deformación / ductilidad δ_{Cd} junto con la resistencia y la rigidez pertenecen a los tres parámetros básicos que describen el comportamiento de las uniones. En uniones resistentes al momento, la ductilidad se logra mediante una capacidad de rotación suficiente φ_{Cd} .

La capacidad de deformación / rotación se calcula para cada elemento de la unión por separado.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODO

3.1 Materiales

- Laptop Lenovo Z50
- Hardware
 - Intel® Core™ i5 4210U @ 1.70 GHz - 2.40 GHz / 8GB RAM
- Software
 - Idea Statica Connection V 9.0
 - Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018
 - Autodesk Advance Steel 2019
 - Tekla Structures V 21.0
 - Microsoft Office Word 2010
- Calculadora CASIO fx-350MS
- Disco duro externo TOSHIBA – 1TB
- Impresora Canon PIXMA TS3150
- Lápiz porta minas 0.5
- 200 hojas papel bond A4

3.2 Metodología

El método utilizado en esta tesis de investigación es aplicativo debido a que se emplea el uso de los conocimientos y bases teóricas teniendo siempre en cuenta las normativas establecidas.

En esta investigación se utilizaron modelos numéricos para la simulación de las uniones metálicas a ser estudiadas y comprobadas.

Con ayuda del software Robot Structural se generó el análisis del marco estructural no traslacional sometida a cargas factorizadas de acuerdo al ASCE.

Para simular las diferentes condiciones de contorno o de frontera de la unión se procedió a imponer condiciones de restricción de desplazamiento en los nodos localizados en los extremos de los miembros el cual genero dos casos de análisis:

1. Unión a cortante; el cual se utilizó para la unión de la viga a trabe, esta unión se analizó como una viga simplemente apoyada en sus extremos (estáticamente determinada) liberando de momento en los ejes x, y, z generando solo esfuerzos cortantes.

2. Unión a momento; el cual se utilizará para la unión de trabe a columna, esta unión se analizará como una viga empotrada en sus extremos (estáticamente indeterminada) restringiendo su desplazamiento tanto rotacional como traslacional en sus ejes locales x, y, z generando esfuerzos cortantes y momentos flectores.

Posteriormente luego de haber culminado el análisis estructural del marco se dio paso al diseño de los miembros a unir y a los tipos de uniones según sea el caso de estudio de acuerdo a las especificaciones normativas del AISC:

- a. Unión Tipo viga – columna con chapa de testa extendida (unión a momento)
- b. Unión Tipo viga – trabe con ángulo doble (unión a cortante)
- c. Unión Tipo viga – columna con chapa de testa irregular (unión a momento)

Desarrollado el diseño de los miembros y de las uniones, se modeló los parámetros geométricos en el software Advance Steel que puede generar cualquier tipo de geometría, el cual posteriormente se exportó al software Idea Statica Connection, para generar la simulación del modelo de análisis numérico de las uniones mediante el método de elementos finitos basado en componentes (CBFEM) , donde se llevó a cabo el mallado, selección de las propiedades del material, condiciones de frontera, selección del tipo de análisis que permite resolver grandes sistemas de ecuaciones lineales y no lineales.

En los resultados se observó la deformación en los miembros, la distribución de esfuerzos de la unión soldada y/o atornilladas, la capacidad máxima de diseño y la rigidez rotacional de la unión.

Los resultados generados por Idea Statica Connection, se presentan de una manera gráfica mediante mapas de colores y animaciones de las deformaciones, basado en las normas del AISC y el Eurocódigo 3.

Para la verificación de las resistencias de diseño de la soldadura y pernos se utilizó el software PTC Mathcad Prime 6.0.0.0 para realizar los cálculos que solo se realizara para el caso Unión Tipo viga – columna con chapa de testa extendida ya que para los demás casos es de manera similar e iterativa.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presentan los resultados previamente pre-dimensionados en los anexos A, B y C y posteriormente simulados mediante el método de elementos finitos basado en componentes (CBFEM) para cada tipo de unión con el software IDEA StatiCa Connection:

4.1 Unión tipo viga – columna con chapa de testa extendida (CBFEM)

Miembros	Columna, Trabe, placas y pernos - (rosca excluida del plano de corte)
Análisis	Tensión – deformación de los miembros Resistencia de diseño de los pernos y soldadura. Resistencia de diseño de la unión Rigidez de la unión Pandeo de la unión
Norma	AISC 360 – 10 – LRFD, Eurocódigo 3
Carga	LE1

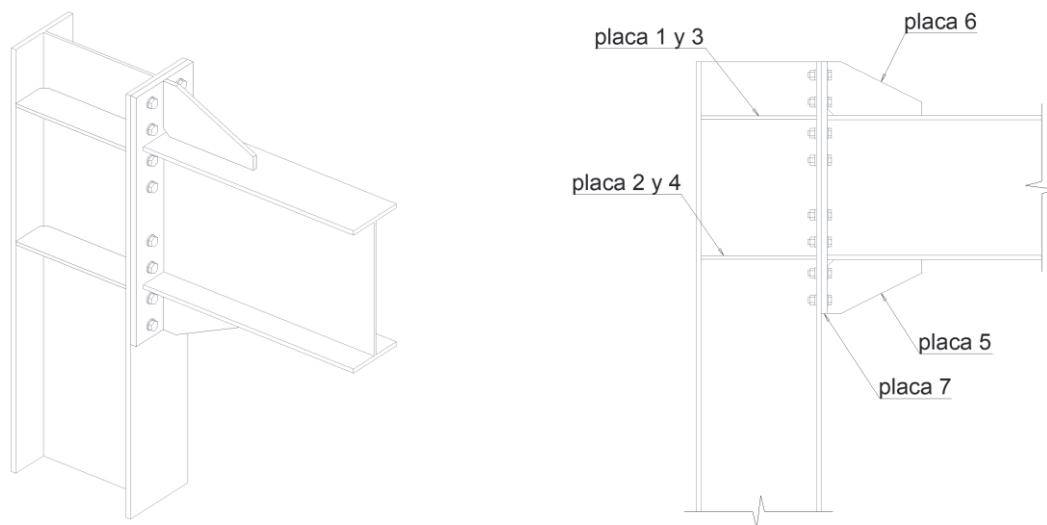


Figura 4.1. 1 Unión a momento con chapa de testa extendida, LE1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.1. 1
Cargas factorizadas de diseño, LE1

Nombre	Miembro	N [kip]	V_y [kip]	V_z [kip]	M_x [kip.in]	M_y [kip.in]	M_z [kip.in]
LE1	Trabe	0.00	0.00	104.44	0.00	-3425.64	0.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.1. 2
Propiedades mecánicas, LE1

Miembro	Perfil	Material	F_y [ksi]	F_u [(ksi)]	E [(ksi)]
Columna	W 18 x 76	ASTM-A992	50	65	29000
Trabe	W 21 x 62	ASTM-A992	50	65	29000
placas	-	ASTM-A36	36	58	29000
Pernos	-	ASTM-A325	-	105 - 120	-

Fuente: elaboración propia.

a. Análisis de tensión – deformación:

Tabla 4.1. 3
Tensión - deformación de los miembros como placas individuales, LE1

Miembro	Material	F_y [ksi]	Espesor [in]	Cargas	σ_{Ed} [ksi]	ϵ_{Pl} [%]
Columna b_{fl}	ASTMA992	50.00	11/16"	LE1	28.12	0.00
Columna t_{fl}	ASTMA992	50.00	11/16"	LE1	45.23	0.80
Columna w	ASTMA992	50.00	7/16"	LE1	37.50	0.00
Trabe b_{fl}	ASTMA992	50.00	5/8"	LE1	19.73	0.00
Trabe t_{fl}	ASTMA992	50.00	5/8"	LE1	21.42	0.00
Trabe w	ASTMA992	50.00	3/8"	LE1	30.04	0.00
Placa 1	ASTMA36	36.00	1/2"	LE1	18.25	0.00
Placa 2	ASTMA36	36.00	1/2"	LE1	26.16	0.00
Placa 3	ASTMA36	36.00	1/2"	LE1	18.27	0.00
Placa 4	ASTMA36	36.00	1/2"	LE1	26.25	0.00
Placa 5	ASTMA36	36.00	5/8"	LE1	25.26	0.01
Placa 6	ASTMA36	36.00	5/8"	LE1	28.79	0.03
Placa 7	ASTMA36	36.00	7/8"	LE1	32.41	0.02

Nota:

b_{fl} : ala superior del miembro correspondiente

t_{fl} : ala inferior del miembro correspondiente

w : alma del miembro correspondiente

Fuente: elaboración propia.

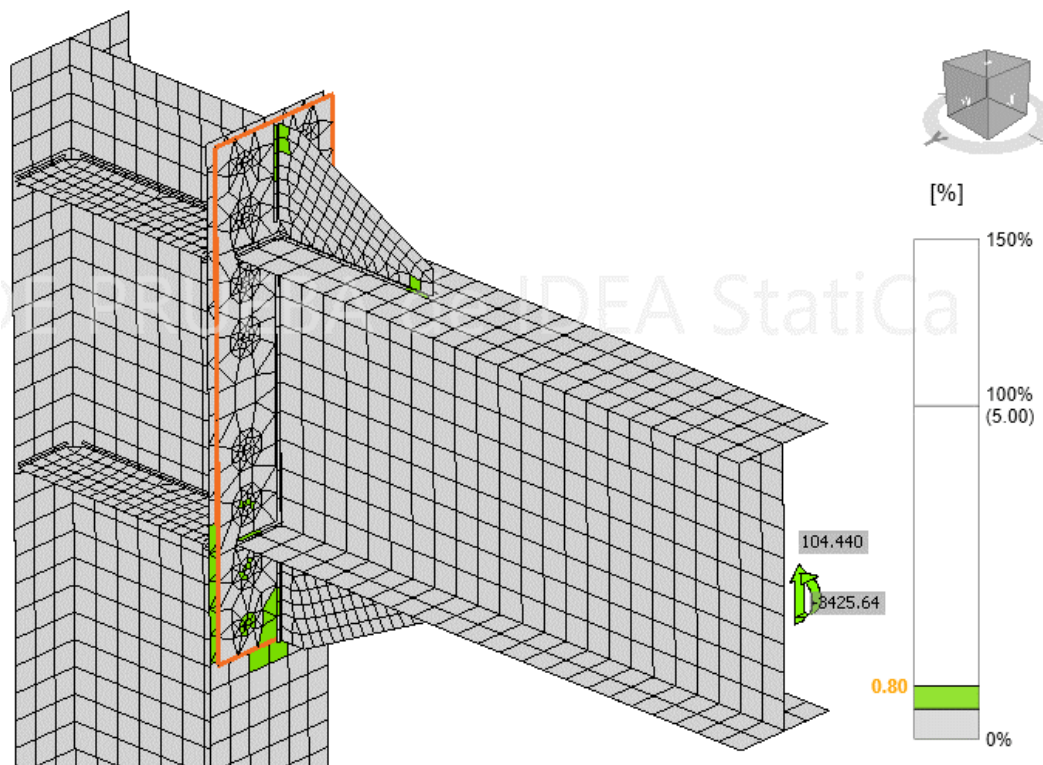


Figura 4.1. 2 Deformación de los miembros de la unión, LE1

Fuente: elaboración propia.

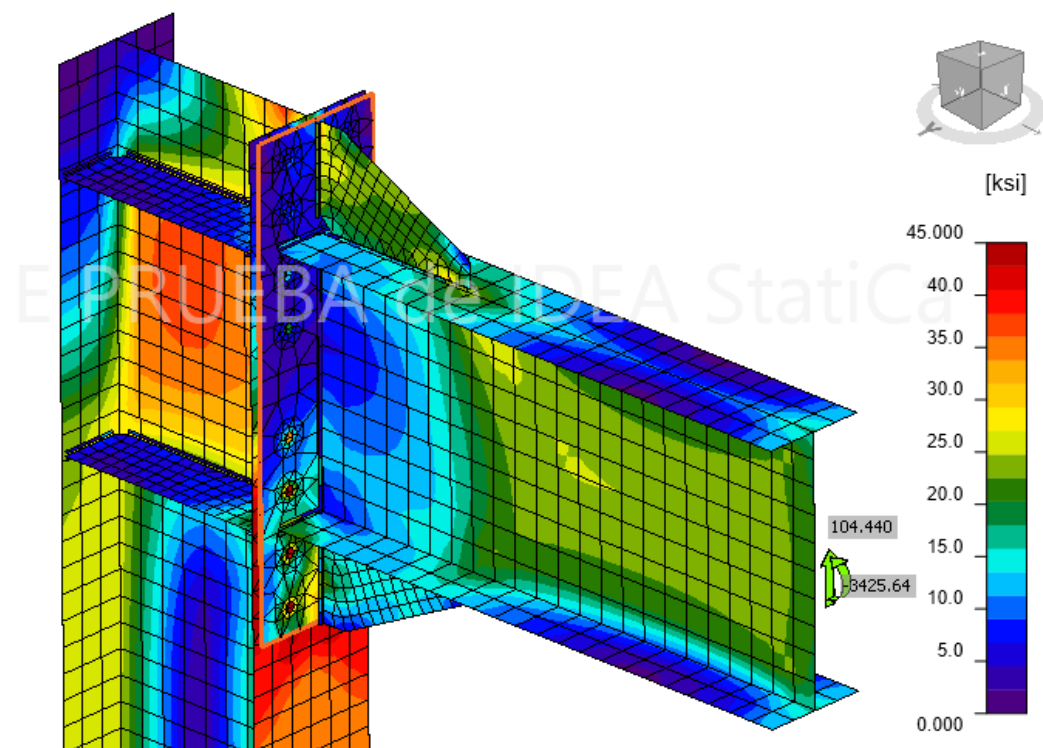


Figura 4.1. 3 Tensión de los miembros de la unión, LE1

Fuente: elaboración propia.

b. Análisis de resistencia de diseño de los pernos y soldadura

Tabla 4.1. 4
Resistencia de diseño a aplastamiento de los pernos, LE1

Ítem	Calidad	Carga	F_t [kip]	V [kip]	$\phi R_{n,ts}$ [kip]	$\phi R_{n,aplast.}$ [kip]	Ut_t [%]	Ut_s [%]	Ut_{ts} [%]
B2	3/4 A325	LE1	8.387	7.330	-	59.670	28.15	32.52	-
B3	3/4 A325	LE1	8.383	7.329	-	59.670	28.14	32.52	-
B4	3/4 A325	LE1	22.064	7.986	28.176	59.670	74.05	35.43	78.31
B5	3/4 A325	LE1	22.065	7.984	28.178	59.670	74.06	35.43	78.30
B7	3/4 A325	LE1	23.368	7.555	28.745	59.670	78.43	33.52	81.29
B8	3/4 A325	LE1	23.360	7.559	28.741	59.670	78.40	33.54	81.28
B9	3/4 A325	LE1	21.838	9.108	26.693	59.670	73.29	40.41	81.81
B10	3/4 A325	LE1	21.837	9.108	26.693	59.670	73.29	40.41	81.81
B12	3/4 A325	LE1	0.080	5.091	-	59.670	0.27	22.59	-
B13	3/4 A325	LE1	0.079	5.092	-	59.670	0.27	22.59	-
B14	3/4 A325	LE1	1.818	5.579	-	59.670	6.10	24.75	-
B15	3/4 A325	LE1	1.818	5.579	-	59.670	6.10	24.75	-
B17	3/4 A325	LE1	0.430	4.827	-	59.670	1.44	21.41	-
B18	3/4 A325	LE1	0.432	4.827	-	59.670	1.45	21.42	-
B19	3/4 A325	LE1	0.249	4.826	-	59.670	0.84	21.41	-
B20	3/4 A325	LE1	0.250	4.827	-	59.670	0.84	21.42	-

Ut_t : Solicitación a tensión ($F_t/\phi R_{n,traccion}$)

Ut_{ts} : Solicitación a tensión y cortante ($F_t/\phi R_{n,ts}$)

Ut_s : Solicitación a cortante ($V/\phi R_{n,cortante}$)

F_t : Fuerza de tracción

$\phi R_{n,ts}$: Resistencia a tracción y cortante combinada

V : Fuerza cortante

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.1. 5
Resistencia de diseño a tracción y cortante de los pernos, LE1

Calidad	$\phi R_{n, traccion}$ [kip]	$\phi R_{n, cortante}$ [kip]
3/4 A325	29.795	22.538

Fuente: elaboración propia.

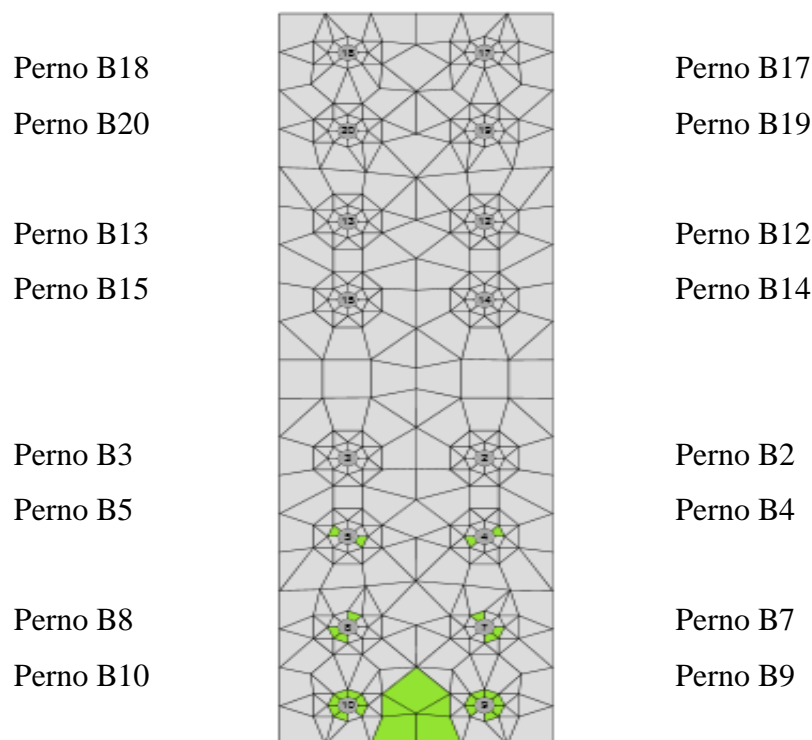


Figura 4.1. 4 Posición de los pernos, LE1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.1. 6
Resistencia de diseño de la soldadura de filete, LE1

Miembro	Borde	X_u	T_h [in]	L_s [in]	L [in]	L_c [in]	F_n [kip]	ϕR_n [kip]	U_t [%]
Columna w	Placa 2	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	2.491	5.884	42.33
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	2.597	7.960	32.63
Columna w	Placa 1	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	1.569	5.867	26.74
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	1.541	6.445	23.91
Columna b_{fl}	Placa 2	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	3.443	8.682	39.65
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	1.858	7.033	26.43
Columna b_{fl}	Placa 1	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	1.326	8.835	15.01
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	2.215	9.057	24.46
Columna t_{fl}	Placa 2	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.484	1.121	5.374	9.253	58.08
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.484	1.121	6.669	9.340	71.40
Columna t_{fl}	Placa 1	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	5.435	9.363	58.04

		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	2.322	9.372	24.78
Columna t_{fl}	Placa 4	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.484	1.121	6.580	9.343	70.43
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.484	1.121	5.332	9.240	57.71
Columna w	Placa 4	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	2.597	7.960	32.63
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	2.488	5.884	42.28
Columna b_{fl}	Placa 4	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	1.859	7.033	26.43
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	3.443	8.682	39.66
Columna t_{fl}	Placa 3	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	2.319	9.371	24.74
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	5.435	9.363	58.05
Columna w	Placa 3	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	1.542	6.445	23.93
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	1.568	5.867	26.72
Columna b_{fl}	Placa 3	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	2.216	9.057	24.47
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	1.326	8.835	15.01
Trabe b_{fl}	Placa 5	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	12.770	0.982	6.719	8.905	75.46
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	12.770	0.982	6.719	8.904	75.46
Paca 7	Placa 5	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.862	0.980	7.731	10.229	75.57
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.862	0.980	7.730	10.229	75.57
Placa 7	Placa 6	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.862	0.980	7.807	10.134	77.04
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.862	0.980	7.807	10.134	77.04
Trabe t_{fl}	Placa 6	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	12.770	0.982	6.971	9.095	76.64
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	12.770	0.982	6.971	9.095	76.64
Placa 7	Trabe b_{fl}	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	8.232	2.058	15.458	20.515	75.35
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	8.232	2.058	15.462	20.588	75.10
Placa 7	Trabe w	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	20.346	2.035	10.569	21.105	50.08
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	20.346	2.035	10.586	21.105	50.16
Placa 7	Trabe t_{fl}	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	8.232	2.058	6.746	20.587	32.77
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	8.232	2.058	8.280	20.763	39.88

T_h : Espesor de garganta L_s : Tamaño del cateto Ut_t : Solicitación ($F_n/\phi R_n$) L : Longitud de soldadura
 F_n : Esfuerzo crítico de la soldadura L_c : longitud critica de soldadura

Fuente: elaboración propia.

c. Análisis de resistencia de diseño de la unión

Tabla 4.1. 7
Capacidad máxima de resistencia de la unión, LE1

Carga	Resistencia [%]
LE1	123.18

Fuente: elaboración propia.

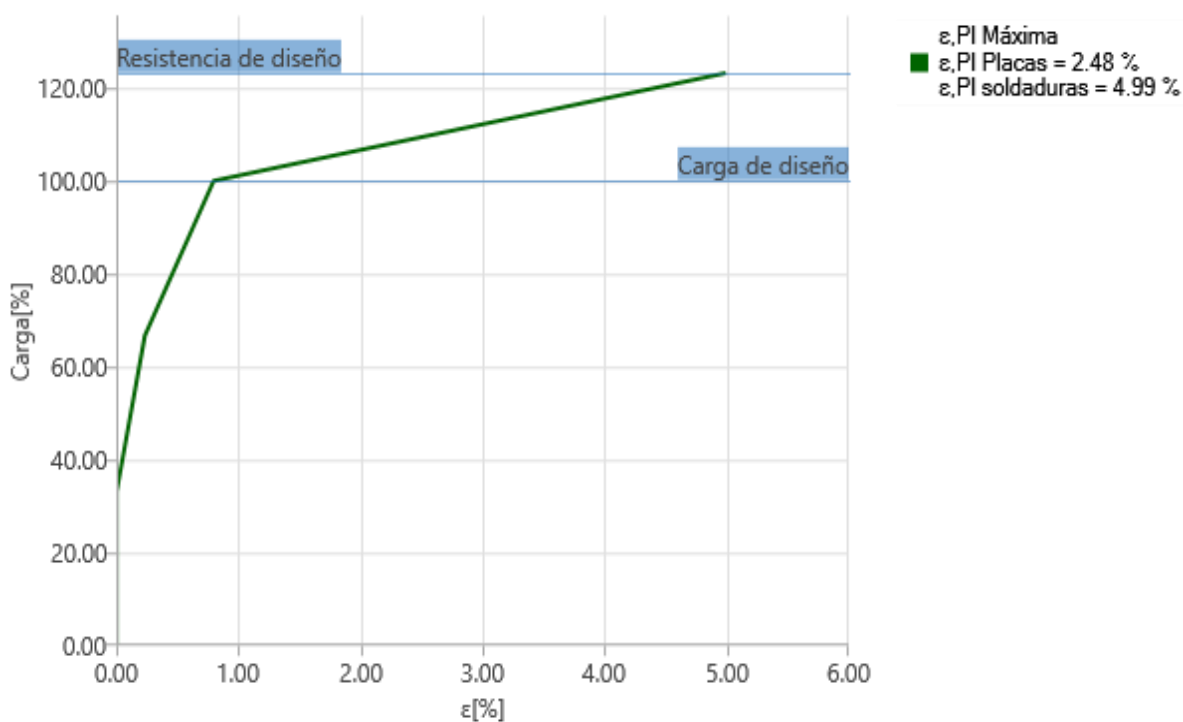


Figura 4.1. 5 Resistencia de diseño de la unión, LE1

Fuente: elaboración propia.

d. Análisis de rigidez de la unión

Tabla 4.1. 8
Rigidez rotacional, LE1

Carga	$M_{j,Rd}$ [kip.in]	$S_{j,ini}$ [kip - in/deg]	Φ_c [°]	L [in]	$S_{j,R}$ [kip - in/deg]	$S_{j,P}$ [kip - in/deg]	Clase
LE1	-4215.65	28904.89	-0.65	236.220	57087.56	5708.76	Semi-rígido

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.1. 9
Rigidez rotacional secante. LE1

Carga	M [kip.in]	S_{jS} [kip - in/deg]	Φ [°]
LE1	-3425.64	23764.67	-0.14

Fuente: elaboración propia.

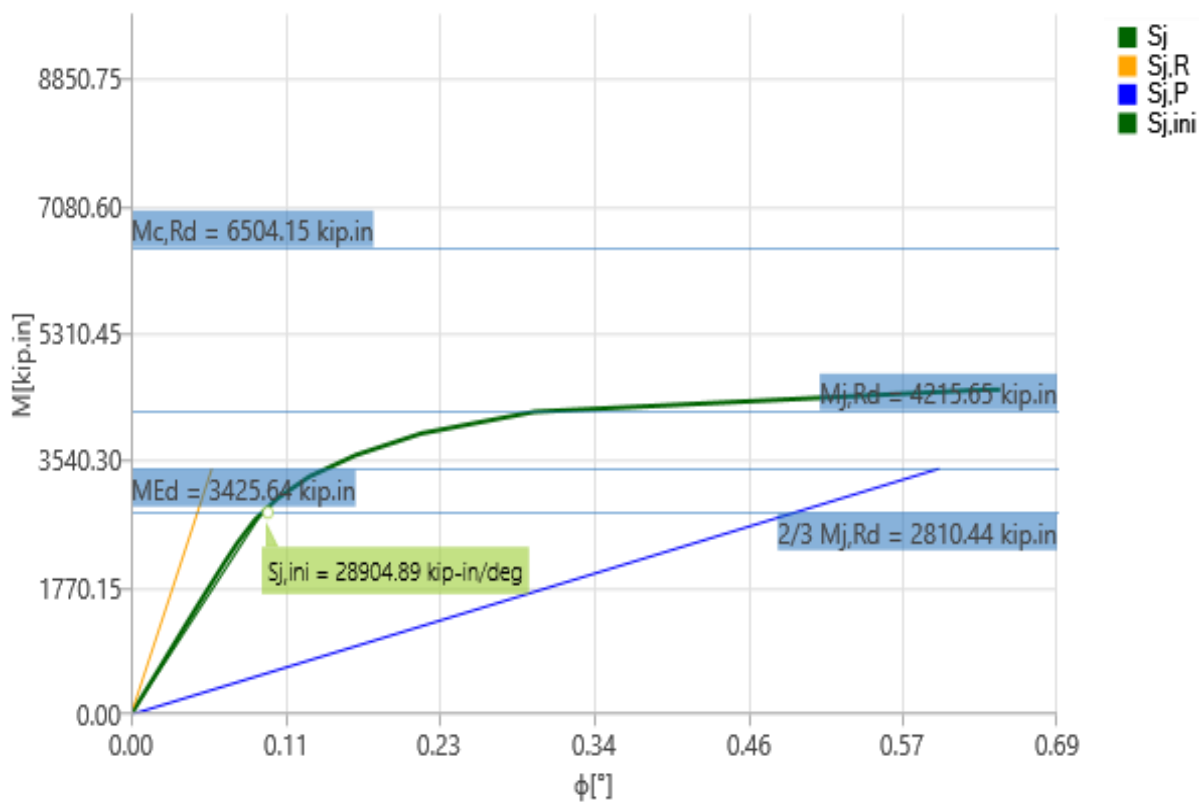


Figura 4.1. 6 Diagrama momento - rotación ($M_y - \phi_y$), LE1

Fuente: elaboración propia.

e. Análisis de pandeo de la unión

Tabla 4.1. 10
Estabilidad de la unión por pandeo, LE1

Carga	Miembro	Pandeo	Factor α
LE1	Columna w	Local	6.77

w: alma del miembro correspondiente

Fuente: elaboración propia.

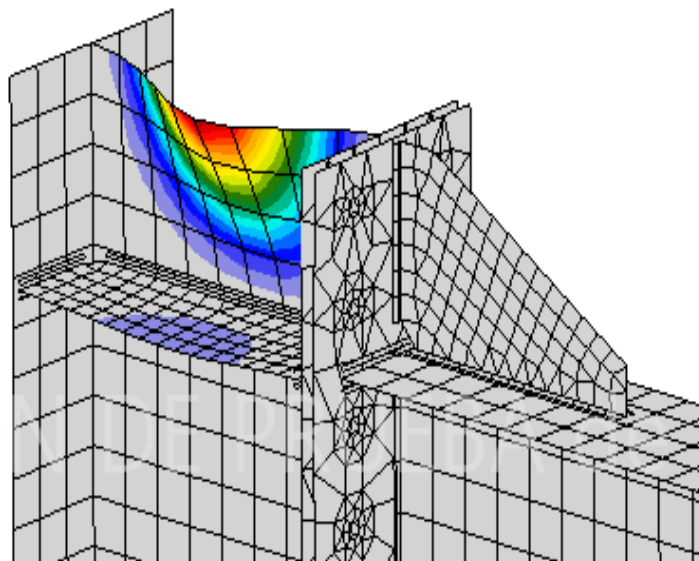


Figura 4.1. 7 Pandeo local en el alma de la columna de unión (deformación sobredimensionada a escala 100:1)
Fuente: elaboración propia.

f. Verificación general de la unión

Tabla 4.1. 11
Capacidad de rendimiento de la unión, LEI

	Capacidad de rendimiento	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptable
Placas	$0.8 < 5\%$	Aceptable
Pernos	$81.8 < 100\%$	Aceptable
Soldaduras	$77.0 < 100\%$	Aceptable
Pandeo	6.77	

Fuente: elaboración propia.

4.2 Unión tipo viga – trabe con ángulo doble (CBFEM)

Miembros	Viga, Trabe, ángulo y pernos - (rosca excluida del plano de corte)
Análisis	Tensión – deformación de los miembros Resistencia de diseño de los pernos. Resistencia de diseño de la unión Rigidez de la unión Pandeo de la unión
Norma	AISC 360 – 10 – LRFD, Eurocódigo 3
Carga	LE2

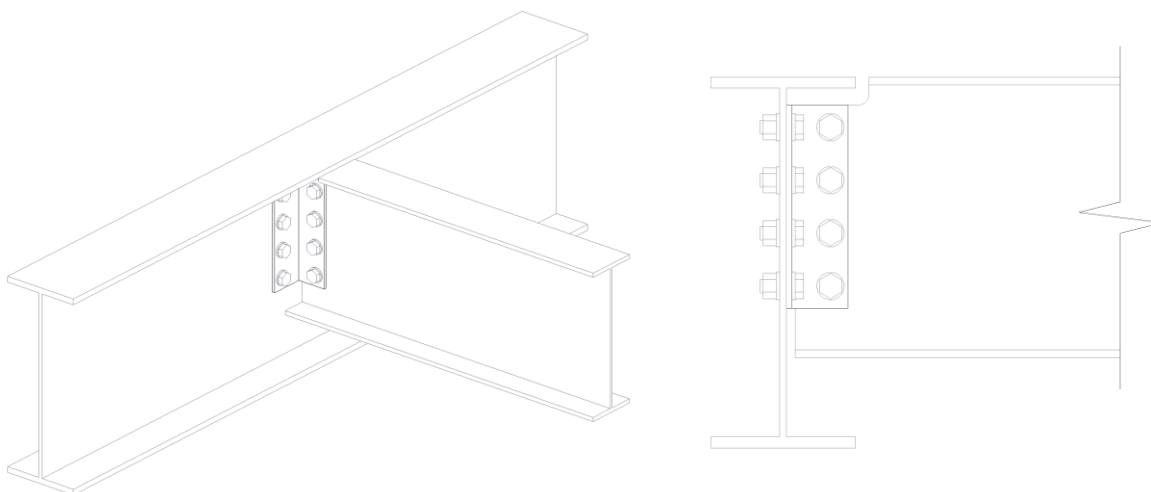


Figura 4.2. 1 Unión a cortante con ángulo doble, LE2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. 1
Cargas factorizadas de diseño, LE2

Nombre	Miembro	N [kip]	V_y [kip]	V_z [kip]	M_x [kip.in]	M_y [kip.in]	M_z [kip.in]
LE2	Viga	0.00	0.00	44.77	0.00	8.95	0.00

Nota importante:

Las uniones a cortante generalmente producen rigidez relativamente pequeña, se consideró un 82 % más del momento real para este análisis para generar un pequeño giro rotacional y poder graficar la curva ($M_y - \phi_y$).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. 2
Propiedades mecánicas, LE2

Miembro	Perfil	Material	F_y [ksi]	F_u [(ksi)]	E [(ksi)]
Trabe	W 21 x 62	ASTM-A992	50	65	29000
Viga	W 16 x 31	ASTM-A992	50	65	29000
Angulo	L4 x 3 1/2 x 5/16	ASTM-A36	36	58	29000
Pernos	-	ASTM-A325	-	105 - 120	-

Fuente: elaboración propia.

a. Análisis de tensión – deformación:

Tabla 4.2. 3
Tensión - deformación de los miembros como placas individuales, LE2

Miembro	Material	F_y [ksi]	Espesor [in]	Cargas	σ_{Ed} [ksi]	ε_{Pl} [%]
Trabe b_{fl}	ASTMA992	50.00	5/8"	LE2	4.40	0.00
Trabe t_{fl}	ASTMA992	50.00	5/8"	LE2	4.34	0.00
Trabe w	ASTMA992	50.00	3/8"	LE2	25.51	0.00
Viga b_{fl}	ASTMA992	50.00	7/16"	LE2	28.75	0.00
Viga t_{fl}	ASTMA992	50.00	7/16"	LE2	28.61	0.00
Viga w	ASTMA992	50.00	1/4"	LE2	45.29	1.00
Angulo $1L_l$	ASTMA36	36.00	5/16"	LE2	32.43	0.11
Angulo $1L_c$	ASTMA36	36.00	5/16"	LE2	32.44	0.13
Angulo $2L_l$	ASTMA36	36.00	5/16"	LE2	32.43	0.12
Angulo $2L_c$	ASTMA36	36.00	5/16"	LE2	32.44	0.12

Nota:

b_{fl} : ala superior del miembro correspondiente

t_{fl} : ala inferior del miembro correspondiente

L_l : lado largo del miembro correspondiente

L_c : lado corto del miembro correspondiente

Fuente: elaboración propia.

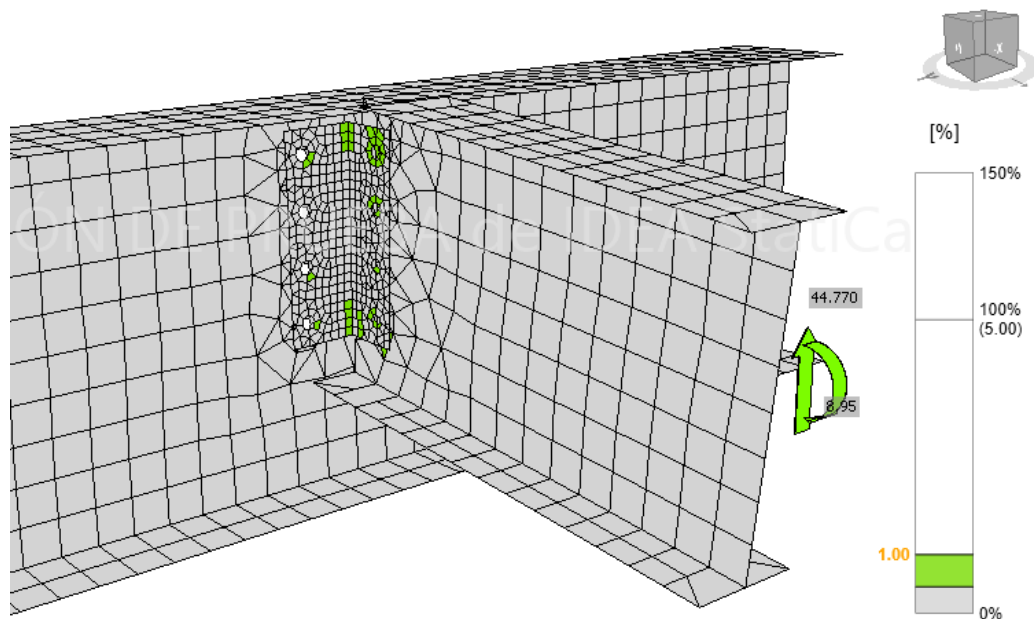


Figura 4.2. 2 Deformación de los miembros de la unión, LE2

Fuente: elaboración propia

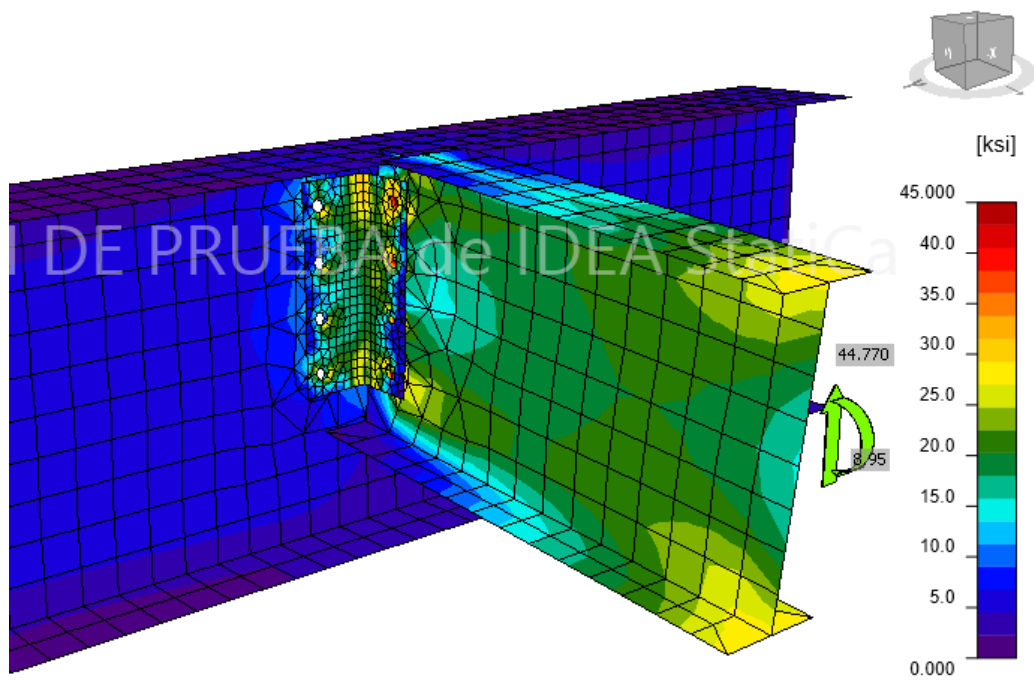


Figura 4.2. 3 Tensión de los miembros de la unión, LE2

Fuente: elaboración propia

b. Análisis de resistencia de diseño de los pernos.

Tabla 4.2. 4
Resistencia de diseño a aplastamiento de los pernos, LE2

Ítem	Calidad	Carga	F_t [kip]	V [kip]	$\phi R_{n, \text{aplast.}}$ [kip]	Ut_t [%]	Ut_s [%]	Ut_{ts} [%]
B2	3/4 A325	LE2	2.240	6.272	24.131	7.52	35.08	-
B3	3/4 A325	LE2	1.216	6.295	24.131	4.08	35.21	-
B4	3/4 A325	LE2	4.257	8.072	24.131	14.29	45.15	-
B5	3/4 A325	LE2	2.151	8.332	24.131	7.22	46.61	-
B7	3/4 A325	LE2	0.467	5.770	24.508	1.57	32.28	-
B8	3/4 A325	LE2	0.912	5.884	24.508	3.06	32.92	-
B9	3/4 A325	LE2	0.838	5.548	14.092	2.81	39.37	-
B10	3/4 A325	LE2	3.054	6.318	24.508	10.25	35.34	-
B12	3/4 A325	LE2	0.452	5.849	24.508	1.52	32.72	-
B13	3/4 A325	LE2	0.870	5.943	24.508	2.92	33.24	-
B14	3/4 A325	LE2	0.809	5.617	14.028	2.71	40.04	-
B15	3/4 A325	LE2	3.044	6.301	24.508	10.22	35.24	-

Ut_t : Solicitación a tensión ($F_t/\phi R_{n, \text{traccion}}$)

Ut_{ts} : Solicitación a tensión y cortante ($F_t/\phi R_{n, ts}$)

Ut_s : Solicitación a cortante ($V/\phi R_{n, \text{cortante}}$)

F_t : Fuerza de tracción

V : Fuerza cortante

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. 5
Resistencia de diseño a tracción y cortante de los pernos, LE2

Calidad	$\phi R_{n, \text{traccion}}$ [kip]	$\phi R_{n, \text{cortante}}$ [kip]
3/4 A325	29.795	17.877

Fuente: elaboración propia.

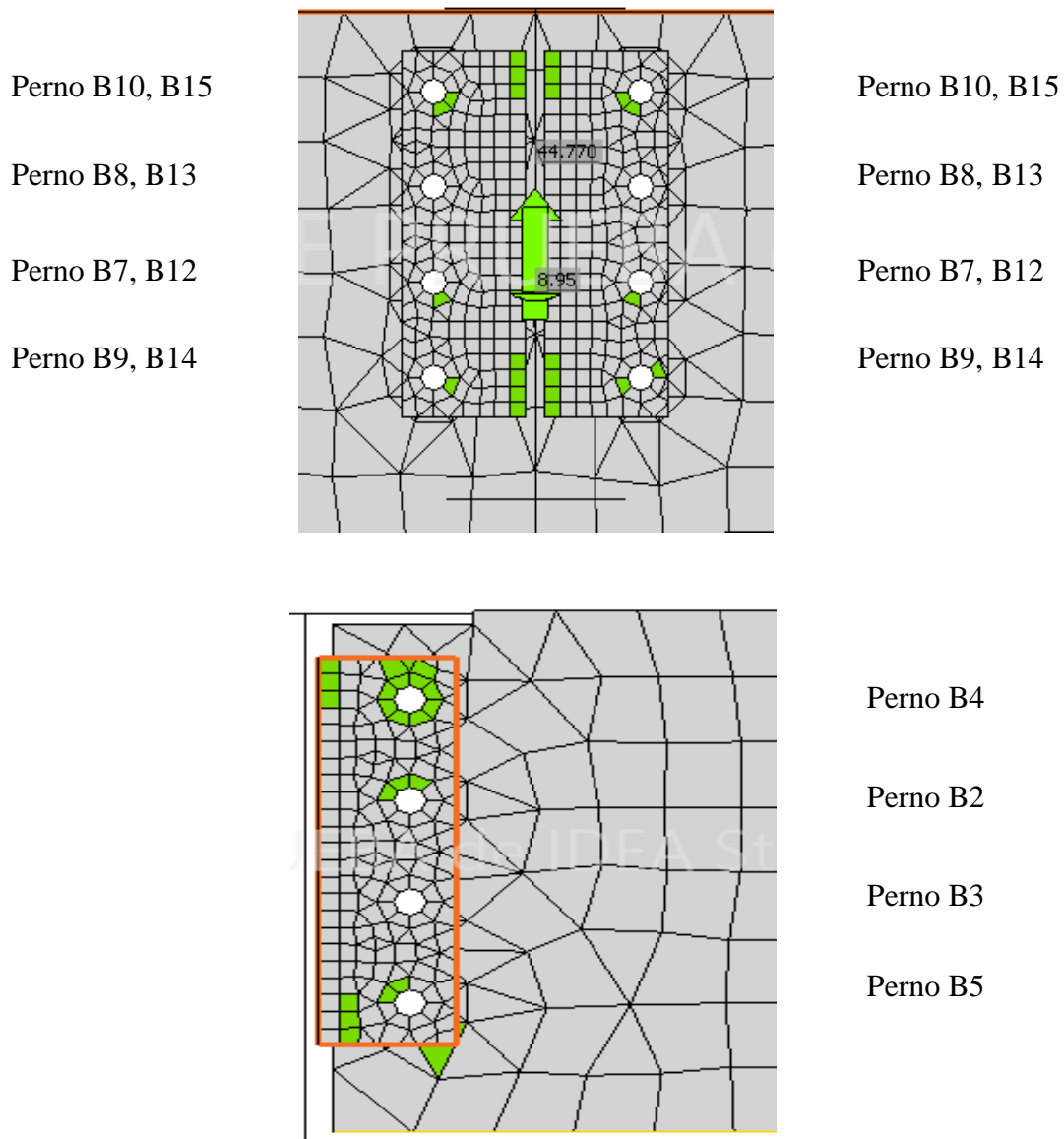


Figura 4.2. 4 Posición de los pernos, LE2

Fuente: elaboración propia.

c. Análisis de resistencia de diseño de la unión

Tabla 4.2. 6
Capacidad máxima de resistencia de la unión, LE2

<i>Carga</i>	<i>Resistencia [%]</i>
LE2	147.92

Fuente: elaboración propia.

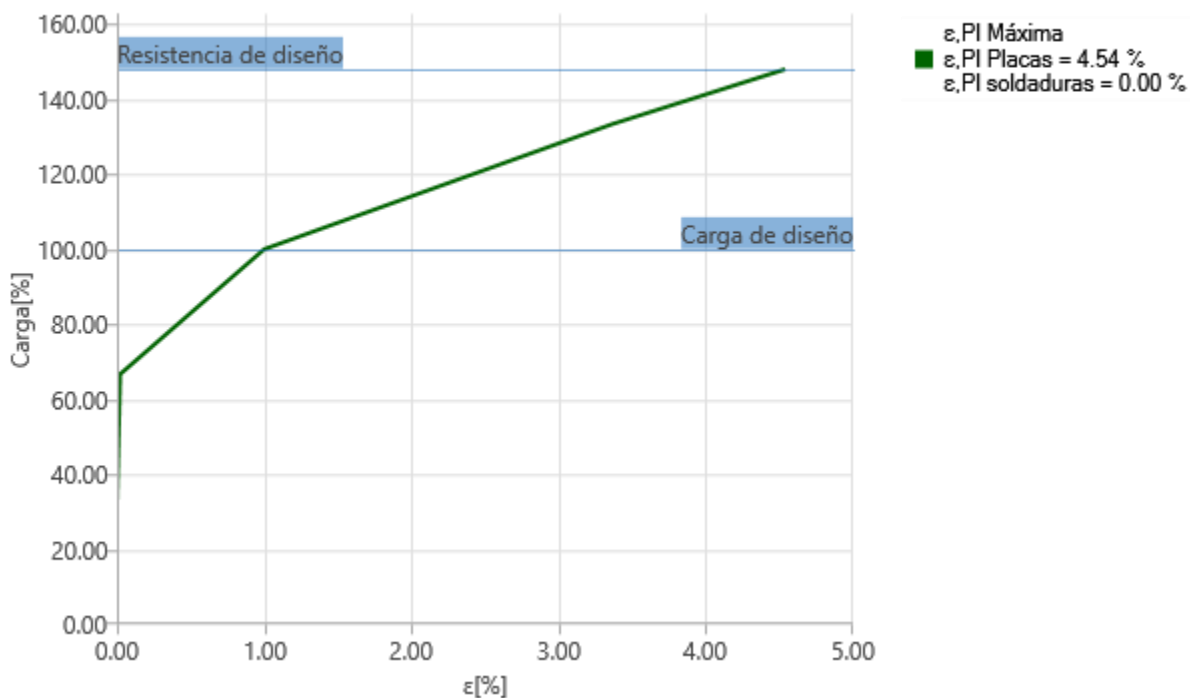


Figura 4.2. 5 Resistencia de diseño de la unión, LE2

Fuente: elaboración propia.

d. Análisis de rigidez de la uniónTabla 4.2. 7
Rigidez rotacional, LE2

Carga	$M_{j,Rd}$ [kip.in]	$S_{j,ini}$ [kip – in/deg]	Φ_C [°]	L [in]	$S_{j,R}$ [kip – in/deg]	$S_{j,P}$ [kip – in/deg]	Clase
LE2	10.58	13.55	1.04	236.220	16125.13	1612.51	Articulado

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. 8
Rigidez rotacional secante, LE2

Carga	M [kip.in]	S_{jS} [kip – in/deg]	Φ [°]
LE2	8.95	13.55	0.66

Fuente: elaboración propia.

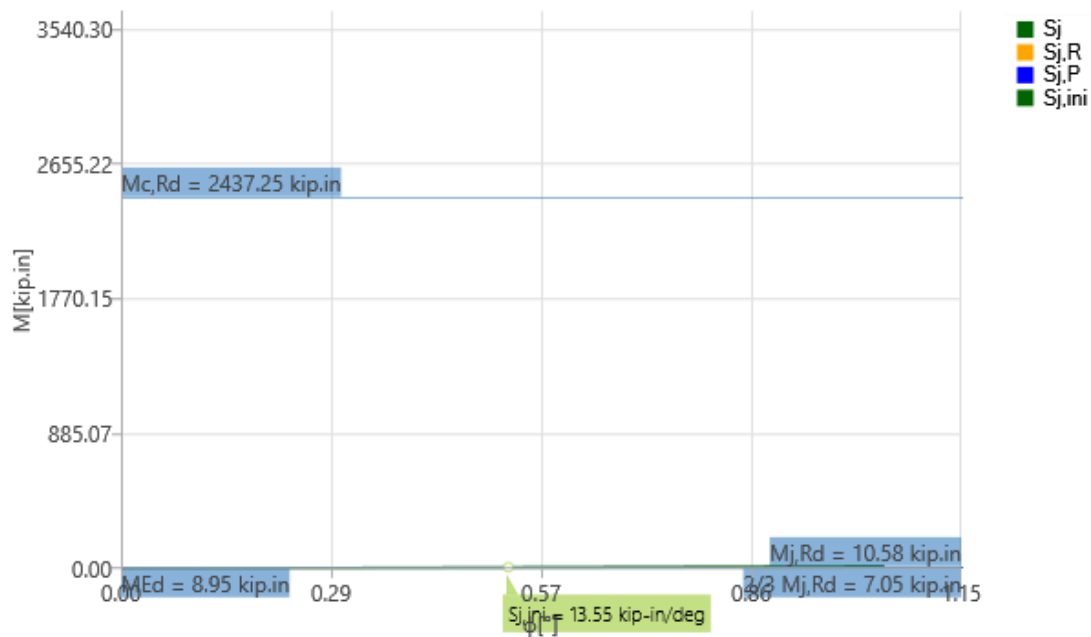


Figura 4.2. 6 Diagrama momento - rotación ($M_y - \phi_y$), LE2

Fuente: elaboración propia.

e. Análisis de pandeo de la unión

Tabla 4.2. 9
Estabilidad de la unión por pandeo, LE2

<i>Carga</i>	<i>Miembro</i>	<i>Pandeo</i>	<i>Factor α</i>
LE2	Viga w	Local	7.69

w : alma del miembro correspondiente

Fuente: elaboración propia.

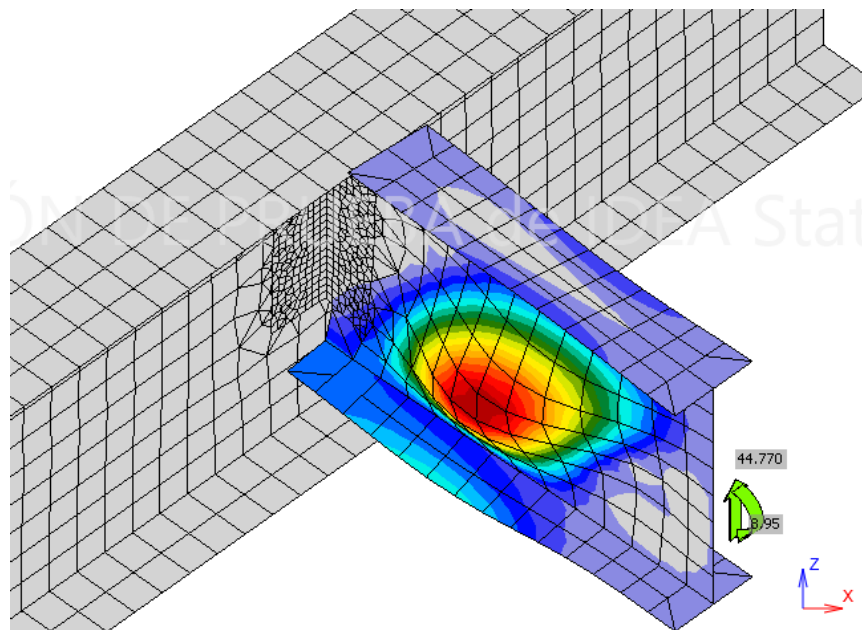


Figura 4.2. 7 Pandeo local en el alma de la viga de unión (deformación sobredimensionada a escala 100:1)
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. 10
Capacidad de rendimiento de la unión, LE2

	Capacidad de rendimiento	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptable
Placas	$1.0 < 5\%$	Aceptable
Pernos	$46.6 < 100\%$	Aceptable
Pandeo	7.69	

Fuente: elaboración propia.

4.3 Unión tipo viga – columna con chapa de testa irregular (CBFEM)

Miembros	Columna, Trabe, placas y pernos - (rosca excluida del plano de corte)
Análisis	Tensión – deformación de los miembros Resistencia de diseño de los pernos y soldadura. Resistencia de diseño de la unión Rigidez de la unión Pandeo de la unión
Norma	AISC 360 – 10 – LRFD, Eurocódigo 3
Carga	LE3

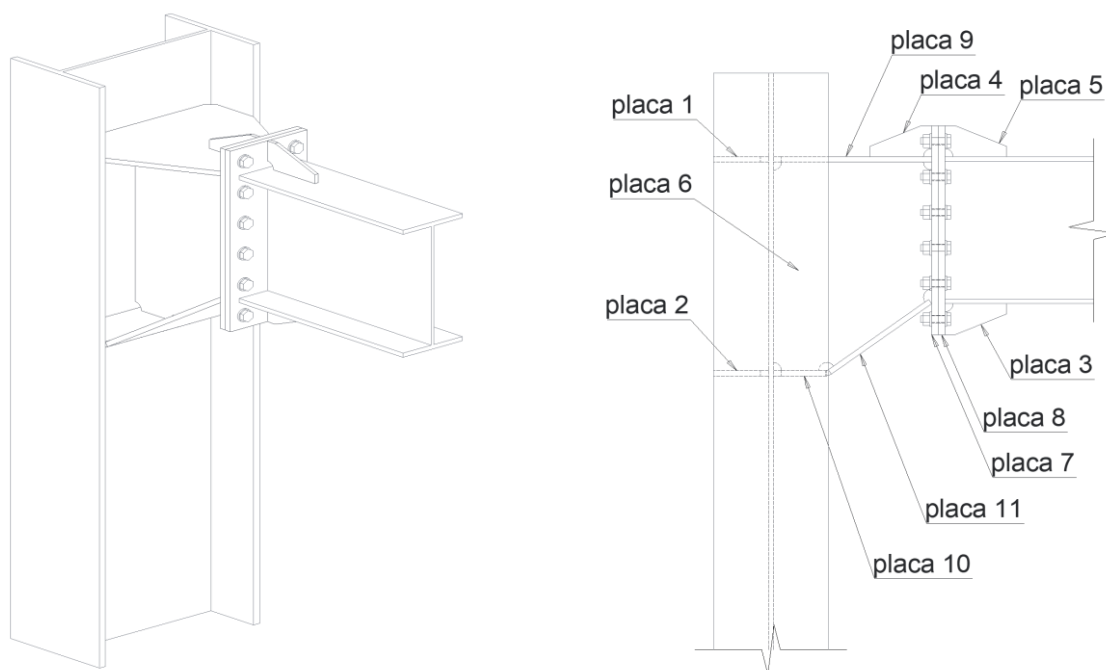


Figura 4.3. 1 Unión a momento con chapa de testa irregular, LE3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. 1
Cargas factorizadas de diseño, LE3

Nombre	Miembro	N [kip]	V_y [kip]	V_z [kip]	M_x [kip.in]	M_y [kip.in]	M_z [kip.in]
LE3	Trabe	0.00	0.00	22.560	0.00	450.24	0.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. 2
Propiedades mecánicas, LE3

Miembro	Perfil	Material	F_y [ksi]	F_u [(ksi)]	E [(ksi)]
Columna	W 18 x 76	ASTM-A992	50	65	29000
Trabe	W 14 x 34	ASTM-A992	50	65	29000
placas	-	ASTM-A36	36	58	29000
Pernos	-	ASTM-A325	-	105 - 120	-

Fuente: elaboración propia.

a. Análisis de tensión – deformación:

Tabla 4.3. 3
Tensión - deformación de los miembros como placas individuales, LE3

Miembro	Material	F_y [ksi]	Espesor [in]	Cargas	σ_{Ed} [ksi]	ϵ_{Pl} [%]
Columna b_{fl}	ASTMA992	50.00	11/16"	LE3	3.30	0.00
Columna t_{fl}	ASTMA992	50.00	11/16"	LE3	3.29	0.00
Columna w	ASTMA992	50.00	7/16"	LE3	2.60	0.00
Trabe b_{fl}	ASTMA992	50.00	7/16"	LE3	22.48	0.00
Trabe t_{fl}	ASTMA992	50.00	7/16"	LE3	22.48	0.00
Trabe w	ASTMA992	50.00	5/16"	LE3	20.02	0.00
Placa 1	ASTMA36	36.00	1/2"	LE3	1.16	0.00
Placa 2	ASTMA36	36.00	1/2"	LE3	0.63	0.00
Placa 3	ASTMA36	36.00	3/8"	LE3	13.18	0.00
Placa 4	ASTMA36	36.00	3/8"	LE3	7.94	0.00
Placa 5	ASTMA36	36.00	3/8"	LE3	12.78	0.00
Placa 6	ASTMA36	36.00	3/8"	LE3	24.63	0.04
Placa 7	ASTMA36	36.00	5/8"	LE3	26.74	0.00
Placa 8	ASTMA36	36.00	5/8"	LE3	24.56	0.00
Placa 9	ASTMA36	36.00	1/2"	LE3	20.69	0.00
Placa 10	ASTMA36	36.00	1/2"	LE3	2.75	0.00
Placa 11	ASTMA36	36.00	1/2"	LE3	25.95	0.00

b_{fl} : ala superior del miembro correspondiente

t_{fl} : ala inferior del miembro correspondiente

w : alma del miembro correspondiente

Fuente: elaboración propia

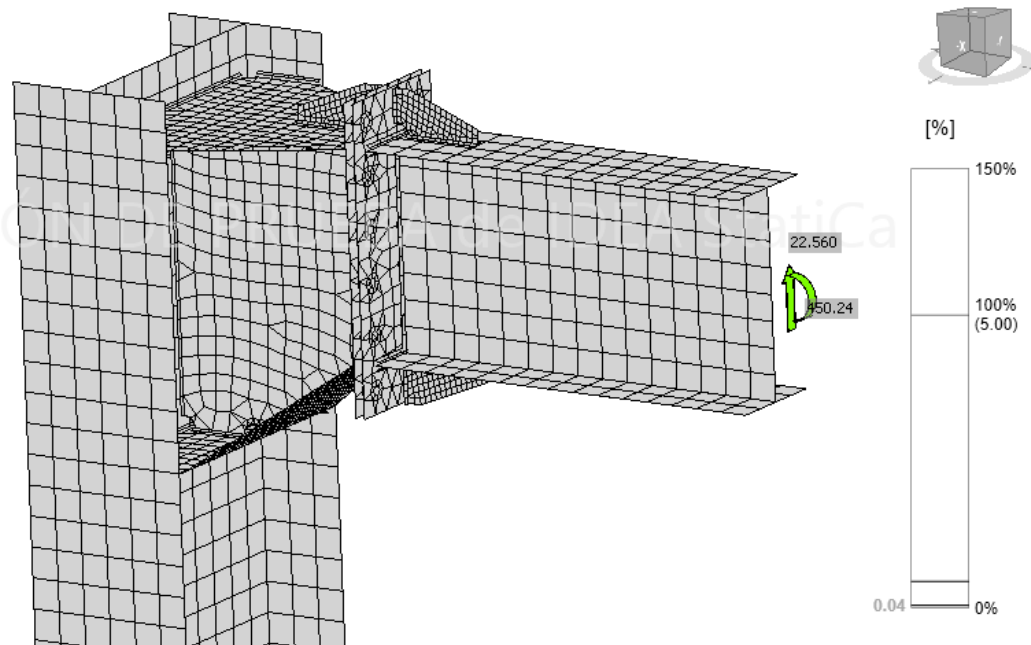


Figura 4.3. 2 Deformación de los miembros de la unión, LE3

Fuente: elaboración propia.

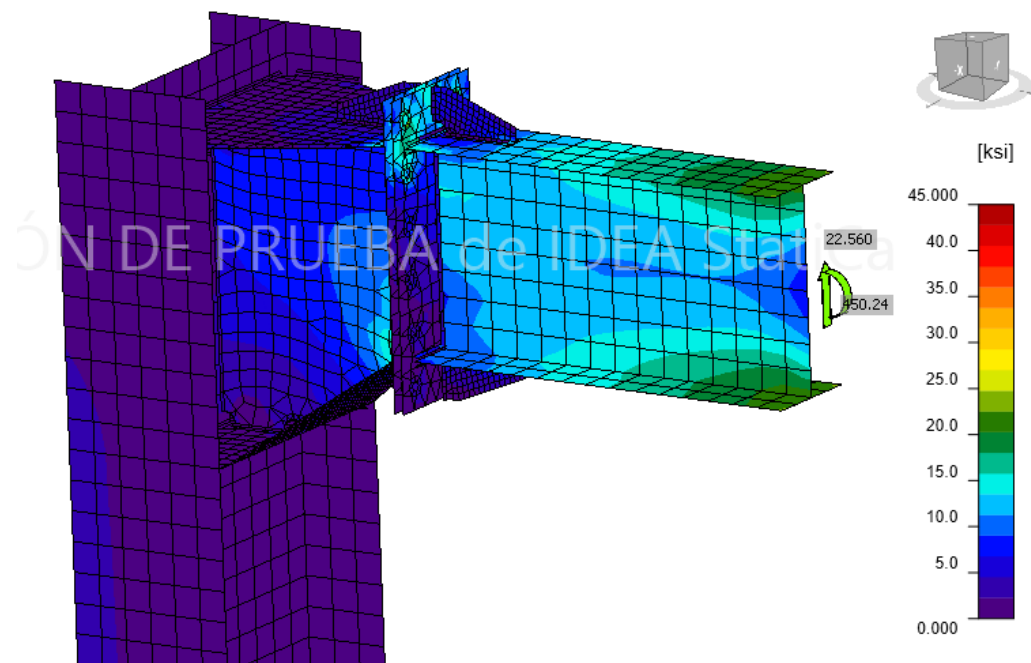


Figura 4.3. 3 Tensión de los miembros de la unión, LE3

Fuente: elaboración propia.

b. Análisis de resistencia de diseño de los pernos y soldadura

Tabla 4.3. 4
Resistencia de diseño a aplastamiento de los pernos, LE3

Ítem	Calidad	Carga	F_t [kip]	V [kip]	$\phi R_{n, aplast.}$ [kip]	Ut_t [%]	Ut_s [%]	Ut_{ts} [%]
B2	5/8 A325	LE3	0.026	1.792	36.973	0.13	11.45	-
B3	5/8 A325	LE3	0.023	1.792	36.972	0.11	11.45	-
B5	5/8 A325	LE3	1.902	1.950	40.807	9.19	12.46	-
B6	5/8 A325	LE3	1.916	1.952	40.807	9.26	12.47	-
B7	5/8 A325	LE3	0.634	1.935	40.807	3.06	12.36	-
B8	5/8 A325	LE3	0.653	1.935	40.807	3.15	12.37	-
B9	5/8 A325	LE3	8.371	1.914	40.807	40.46	12.23	-
B10	5/8 A325	LE3	8.367	1.916	40.807	40.44	12.24	-
B11	5/8 A325	LE3	0.005	1.896	40.807	0.03	12.12	-
B12	5/8 A325	LE3	0.007	1.900	40.807	0.03	12.14	-
B14	5/8 A325	LE3	8.822	1.790	36.965	42.63	11.44	-
B15	5/8 A325	LE3	8.817	1.789	36.965	42.61	11.43	-

Ut_t : Solicitación a tensión ($F_t/\phi R_{n, traccion}$)

Ut_{ts} : Solicitación a tensión y cortante ($F_t/\phi R_{n, ts}$)

Ut_s : Solicitación a cortante ($V/\phi R_{n, cortante}$)

F_t : Fuerza de tracción V : Fuerza cortante

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. 5
Resistencia de diseño a tracción y cortante de los pernos, LE3

Calidad	$\phi R_{n, traccion}$ [kip]	$\phi R_{n, cortante}$ [kip]
5/8 A325	20.691	15.652

Fuente: elaboración propia.

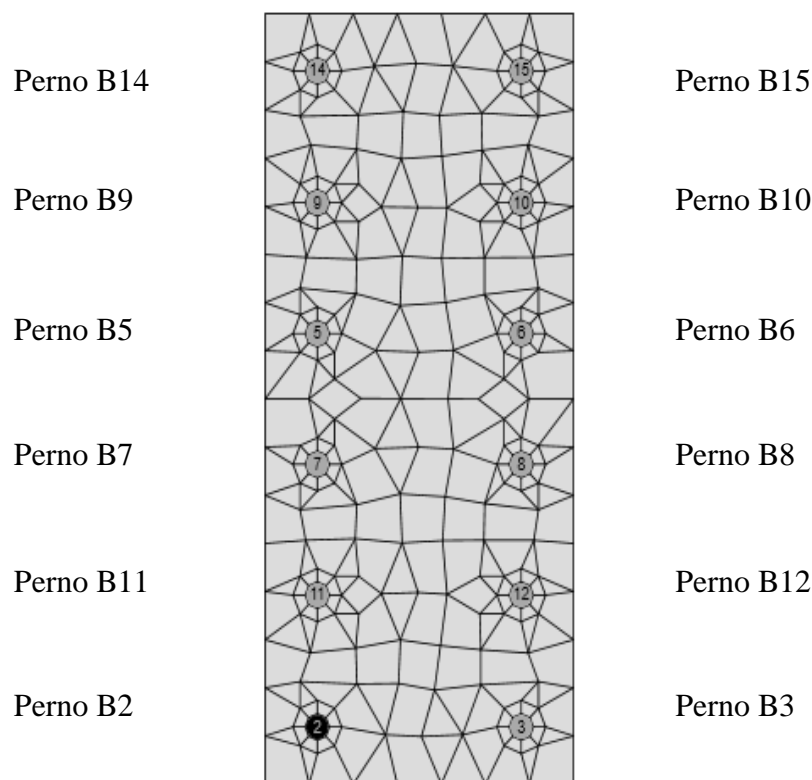


Figura 4.3. 4 Posición de los pernos, LE3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. 6
Resistencia de diseño de la soldadura de filete, LE3

<i>Miembro</i>	<i>Borde</i>	X_u	T_h [in]	L_s [in]	L [in]	L_c [in]	F_n [kip]	ϕR_n [kip]	Ut [%]
Columna w	Placa 2	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	0.135	8.178	1.65
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	0.104	7.018	1.48
Columna t_{fl}	Placa 2	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.171	6.451	2.65
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.162	6.675	2.42
Columna b_{fl}	Placa 2	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.170	6.432	2.64
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.162	6.677	2.43
Columna w	Placa 1	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	0.268	8.336	3.21
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	0.306	7.995	3.82
Columna b_{fl}	Placa 1	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.102	9.377	1.08

		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.484	1.121	0.036	9.184	0.39
Columna t_{fl}	Placa 1	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.103	9.377	1.10
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.484	1.121	0.037	9.115	0.41
Placa 8	Placa 3	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	2.156	0.431	0.526	4.499	11.69
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	2.156	0.431	0.529	4.502	11.75
Trabe b_{fl}	Placa 3	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	5.094	0.425	1.291	3.583	36.03
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	5.094	0.425	1.292	3.583	36.05
Placa 8	Trabe b_{fl}	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.740	1.348	2.926	13.737	21.30
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.730	1.346	4.384	14.054	31.19
Placa 8	Trabe w	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	13.523	1.229	1.633	9.246	17.66
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	13.523	1.229	1.625	10.056	16.15
Placa 8	Trabe t_{fl}	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.740	1.348	7.243	13.259	54.62
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.740	1.348	7.495	13.138	57.04
Placa 8	Placa 5	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	2.156	0.431	0.580	4.411	13.15
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	2.156	0.431	0.576	4.409	13.06
Trabe t_{fl}	Placa 5	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	5.094	0.425	1.276	3.569	35.75
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	5.094	0.425	1.275	3.569	35.74
Placa 7	Placa 11	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	8.645	1.235	1.245	12.885	9.66
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	3.501	0.500	2.718	5.222	52.05
Placa 7	Placa 6	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	11.297	1.255	4.880	11.270	43.30
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	11.297	1.255	4.860	11.287	43.06
Placa 7	Placa 9	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.738	1.123	5.958	11.542	51.62
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	6.738	1.123	5.165	11.577	44.62
Placa 7	Placa 4	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	2.156	0.431	0.496	4.376	11.34
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	2.146	0.429	0.506	4.049	12.49
Placa 9	Placa 4	E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	5.094	0.425	0.521	3.708	14.05
		E70xx	▲1/4"▲	▲5/16"▲	5.094	0.425	0.521	3.707	14.05
Placa 11	Placa 6	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	10.607	0.964	4.924	6.906	71.30
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	10.607	0.964	4.948	6.879	71.93
Placa 10	Placa 6	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	3.549	1.183	0.580	9.810	5.91

		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	3.549	1.183	0.584	9.788	5.97
Placa 9	Placa 6	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	13.530	1.041	1.299	6.346	20.47
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	13.530	1.041	1.294	6.339	20.41
Columna w	Placa 6	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	18.281	1.219	1.124	7.247	15.50
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	18.281	1.219	1.124	7.250	15.50
Columna w	Placa 10	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	0.249	8.467	2.94
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.236	1.016	0.271	6.858	3.95
Columna t_{fl}	Placa 10	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.177	1.044	0.263	8.706	3.02
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.177	1.044	0.431	8.100	5.32
Columna b_{fl}	Placa 10	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.177	1.044	0.213	7.510	2.83
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.177	1.044	0.524	6.678	7.85
Columna t_{fl}	Placa 9	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.257	7.957	3.23
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.541	7.905	6.85
Columna w	Placa 9	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	0.594	8.467	7.02
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	15.206	1.014	0.323	8.467	3.81
Columna b_{fl}	Placa 9	E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.262	7.923	3.31
		E70xx	▲3/16"▲	▲1/4"▲	4.492	1.123	0.555	7.932	6.99

T_h : Espesor de garganta L_s : Tamaño del cateto Ut_t : Solicitación ($F_n/\phi R_n$) L : Longitud de soldadura
 F_n : Esfuerzo crítico de la soldadura L_c : longitud critica de soldadura

Fuente: elaboración propia.

c. Análisis de resistencia de diseño de la unión

Tabla 4.3. 7
 Capacidad máxima de resistencia de la unión, LE3

Carga	Resistencia [%]
LE3	249.74

Fuente: elaboración propia.

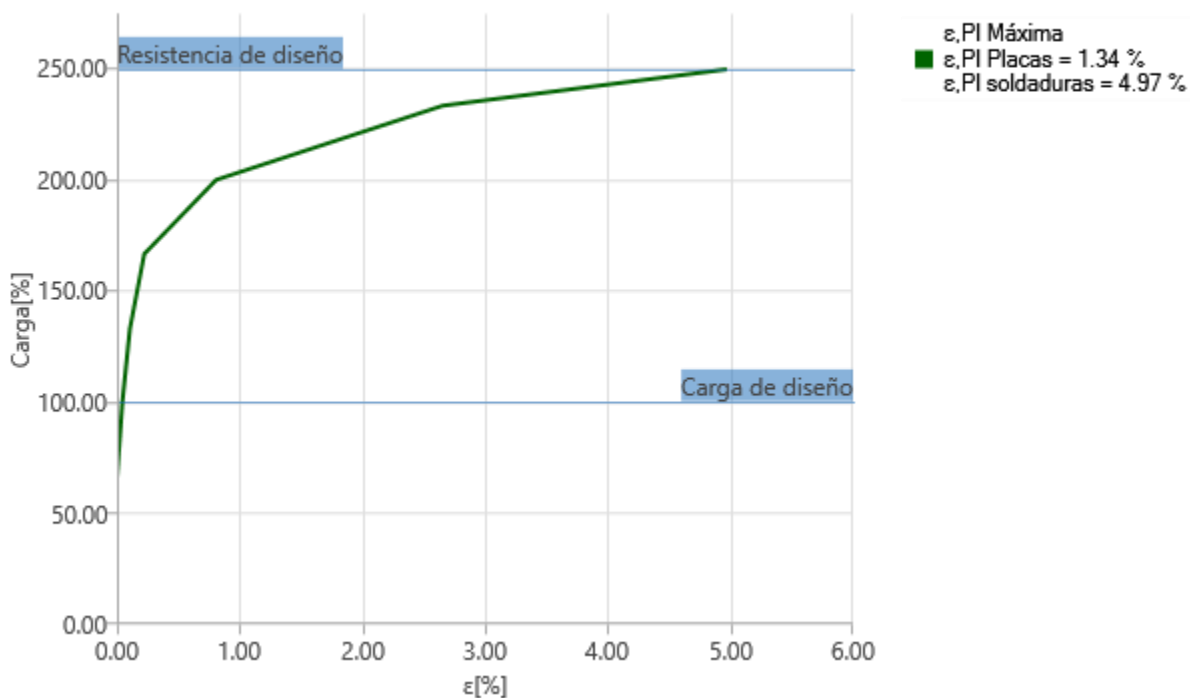


Figura 4.3. 5 Resistencia de diseño de la unión, LE3

d. Análisis de rigidez de la unión

Tabla 4.3. 8
Rigidez rotacional, LE3

Carga	$M_{j,Rd}$ [kip.in]	$S_{j,ini}$ [kip - in/deg]	Φ_c [°]	L [in]	$S_{j,R}$ [kip - in/deg]	$S_{j,P}$ [kip - in/deg]	Clase
LE3	1121.75	7237.80	5.32	236.220	14610.90	1461.09	Semi-rígido

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.3. 9
Rigidez rotacional secante, LE3

Carga	M [kip.in]	S_{jS} [kip - in/deg]	Φ [°]
LE3	450.24	7755.64	0.06

Fuente: elaboración propia.

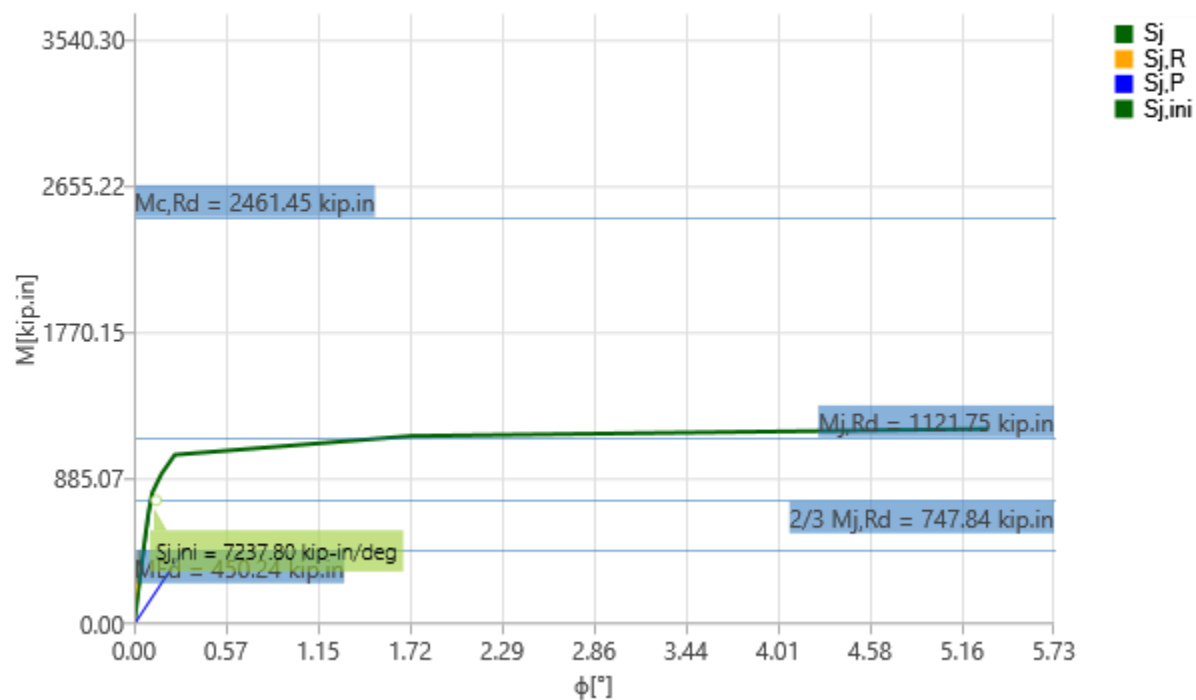


Figura 4.3. 6 Diagrama momento - rotación ($M_y - \phi_y$), LE3

Fuente: elaboración propia.

e. Análisis de pandeo de la unión

Tabla 4.3. 10
Estabilidad de la unión por pandeo, LE3

<i>Carga</i>	<i>Miembro</i>	<i>Pandeo</i>	<i>Factor α</i>
LE3	Trabe w	Global	15.04

w : alma del miembro correspondiente

Fuente: elaboración propia.

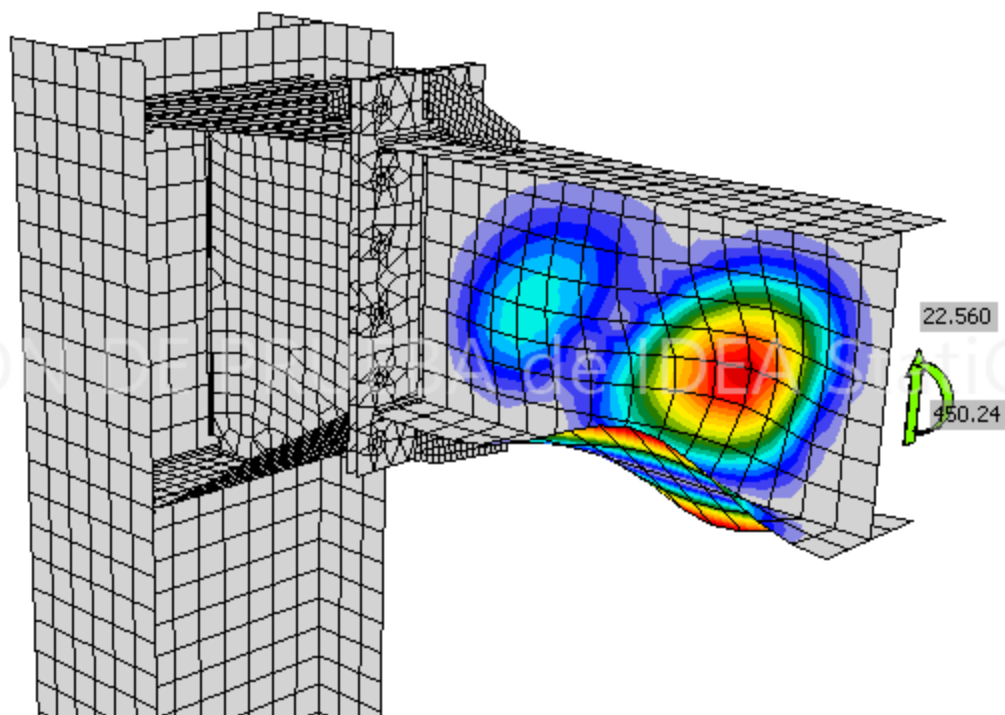


Figura 4.3. 7 Pandeo local en el alma del trabe de unión (deformación sobredimensionada a escala 100:1)
Fuente: elaboración propia.

f. Verificación general de la unión

Tabla 4.3. 11
Capacidad de rendimiento de la unión, LE3

	Capacidad de rendimiento	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptable
Placas	$0.04 < 5\%$	Aceptable
Pernos	$42.6 < 100\%$	Aceptable
Soldaduras	$71.9 < 100\%$	Aceptable
Pandeo	15.04	

Fuente: elaboración propia.

4.4 Discusiones

Mediante la integración de distintos sistemas convergentes que nos facilita el método de elementos finitos basado en componentes y bajo los estándares de las normas del AISC y el Eurocódigo 3, empleadas en esta tesis se pudo simular, calcular y obtener los siguientes resultados:

- a) Las deformaciones máximas ε_{pl} de los miembros obtenidos para la unión con chapa de testa extendida resultaron con un porcentaje de deformación en el ala inferior de la columna de $\varepsilon_{pl} = 0.80\%$, para la unión con ángulo doble se generó una deformación en el alma de la viga de $\varepsilon_{pl} = 1.00\%$, y para la chapa de testa irregular una deformación en la placa 6 de $\varepsilon_{pl} = 0.04\%$, de acuerdo al criterio de estado límite del Eurocódigo 3 (EN1993-1-5:2006, Anexo. C, Par. C.8, Nota 1, p49).
- b) Esfuerzos máximas en las placas para la unión con chapa de testa extendida en el ala inferior de la columna de $\sigma_{Ed} = 45$ ksi; para la unión con ángulo doble representa un esfuerzo en el alma de la viga de $\sigma_{Ed} = 45.29$ ksi y para la chapa de testa irregular un esfuerzo en la placa 6 de $\sigma_{Ed} = 24.63$ ksi, basados en el rendimiento nominal de las propiedades de los materiales según el Eurocódigo 3 (EN1993-1-5:2006, Anexo C, par. C.6, Nota 2, p48).
- c) Resistencia máxima de los pernos para el estado límite de diseño en la unión con chapa de testa extendida con una interacción combinada de tensión y cortante de $\phi R_{n,ts} = 26.693$ Kip según la norma (AISC 360, 2011, secc. J3.7, p16.1-125 y p16.1-126) y también sometido a cortante de $\phi R_{n,cortante} = 22.538$ kip y tensión de $\phi R_{n,tension} = 29.795$ kip; para la unión con ángulo doble se produce un cortante de $\phi R_{n,cortante} = 17.877$ kip y tensión de $\phi R_{n,tension} = 29.795$ kip; para la chapa de testa irregular se genera un cortante de $\phi R_{n,cortante} = 15.652$ kip y tensión de $\phi R_{n,tension} = 20.691$ kip; desarrollado de acuerdo a las especificaciones (AISC 360, 2011, secc. J3.6, p16.1-125).

- d) Resistencia nominal máxima de diseño de las soldaduras de filete con electro E70XX para la unión con chapa de testa extendida es de $\phi R_n = 21.105$ kip, y para la unión con chapa de testa irregular es de $\phi R_n = 14.054$ kip de acuerdo a las especificaciones (AISC 360, 2011, secc. J2. 4, p.16.1-115).
- e) De acuerdo al análisis global elástico – plástico de las especificaciones del Eurocódigo 3 (Eurocode 3: 1-8, 2005, secc.5.2.2, p.54). La unión con chapa de testa extendida presenta una rigidez inicial de $S_{j,ini} = 28904.89$ kip-in/deg que es menor a su valor límite para una unión rigidizada de $S_{j,R} = 57087.56$ kip-in/deg y mayor que su valor límite para una unión articulada de $S_{j,P} = 5708.76$ kip-in/deg; la unión con ángulo doble tiene una rigidez inicial de $S_{j,ini} = 13.55$ kip-in/deg mucho menor que su valor límite para una unión articulada de $S_{j,P} = 1612.51$ kip-in/deg; y para la unión con chapa de testa irregular esta representa una rigidez inicial de $S_{j,ini} = 7237.80$ kip-in/deg menor que su valor límite para una unión rígida de $S_{j,R} = 14610.90$ kip-in/deg y mayor que su valor límite para una unión articulada de $S_{j,P} = 1461.09$ kip-in/deg.
- f) La unión con chapa de testa extendida y ángulo doble presentan factores críticos de $\alpha_{crit.} = 6.77$ y $\alpha_{crit.} = 7.69$ respectivamente, menores al factor crítico $\alpha_{crit.} = 15$ establecido por el Eurocódigo 3 (EN 1993-1-1:2005 CI.5.2.1) generando un pandeo de modo local en los miembros de la unión, en tanto que para la unión con chapa de testa irregular presenta un pandeo de modo global ya que tiene un factor crítico de $\alpha_{crit.} = 15.04$ mayor o igual al factor crítico de $\alpha_{crit.} = 15$ según lo establecido por el Eurocódigo 3 (EN 1993-1-1:2005 CI.5.2.1).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a) Se comprobaron que los pernos están sometidos bajo la interacción combinada de resistencia a tensión y cortante con una capacidad máxima de rendimiento en el caso de chapa de testa extendida del 81.81%, el cual a su vez presenta una sollicitación máxima a cortante del 40.41% y a tensión del 78.43%; para el caso de la unión ángulo doble presenta un ratio de sollicitud máxima a cortante del 46.61% y a tensión del 14.29%; para el caso de chapa de testa irregular presenta un ratio de sollicitud máxima a tensión del 42.6% y a cortante del 12.47%. Mientras que la redistribución de esfuerzos plásticos y resistencia nominal en las soldaduras de filete cumplen con una sollicitud de rendimiento máximo en el caso de chapa de testa extendida del 77.04% y chapa de testa irregular del 71.93%.
- b) La capacidad máxima de deformación de los miembros para los distintos tipos de uniones analizadas se encuentra por debajo del rango porcentual del 5% de su deformación plástica límite, recomendada por las especificaciones del Eurocódigo 3 (EN1993-1-5:2006, Anexo. C, Par. C.8, Nota 1, p49.); lo cual genera notablemente un rendimiento eficiente tanto en las uniones como en los miembros que la componen.
- c) La capacidad máxima de rendimiento de diseño de las uniones en el caso de chapa de testa extendida es de 123.18%, ángulo doble 147.92% y chapa de testa irregular 249.7% lo cual nos da rendimientos superiores a sus estados límites bajo las cargas factorizadas de diseño, permitiendo a los miembros de las uniones trabajar a esfuerzos más allá de las sollicitudes de interacción de esfuerzo y deformación sin problemas, y con una mayor capacidad de rigidez rotacional.
- d) La estabilidad por pandeo de las uniones estructurales para el caso de chapa de testa extendida genero un pandeo local en el alma de la columna, para el caso de ángulo doble genero un pandeo local en el alma de la viga, para el caso de chapa de testa irregular se generó un pandeo global afectando al alma y ala del miembro del trabe, lo cual podría presentar una inestabilidad generalizada afectando a los miembros y afectando su vida útil de la estructura. Este problema de inestabilidad de los miembros sometidos a este estado limite se podría solucionar simplemente añadiendo atiesadores en la zona afectada

aumentado su capacidad de rendimiento y evitar el reemplazo de los miembros, lo cual generaría un costo mayor en el diseño estructural.

5.2 Recomendaciones

- a) Antes de realizar cualquier diseño estructural se debe tener en cuenta el tipo de unión ya sea articulada y/o semirrígida, ya que es un determinante primario de cualquier estructura y genera el tipo de análisis a emplear de los miembros a unir, por lo tanto, debe ir de la mano con cualquier planeación del sistema de marcos ya que muchas veces el comportamiento de las uniones en si misma se verá influida en gran medida por el dominio de las cargas factorizadas o la geometría a unir.
- b) Diseñar las uniones tan simples como se pueda ya que son uno de los elementos de más alto costo unitario en una estructura de acero, por lo tanto, el costo general de una construcción metálica se verá influido en gran medida por la elección de las uniones.
- c) Tener siempre en cuenta que las normas utilizadas en esta tesis están limitadas en cuanto al análisis de uniones que proporcionan datos y tablas de diseño para una gran variedad de *uniones estándar*. También estas normas no especifican ningún diseño para uniones con geometrías irregulares por lo que la única solución es el Método de Elementos Finitos (MEF), donde el ingeniero debe tener conocimientos suficientes para poder modelar e interpretar los resultados obtenidos.

CAPITULO VI

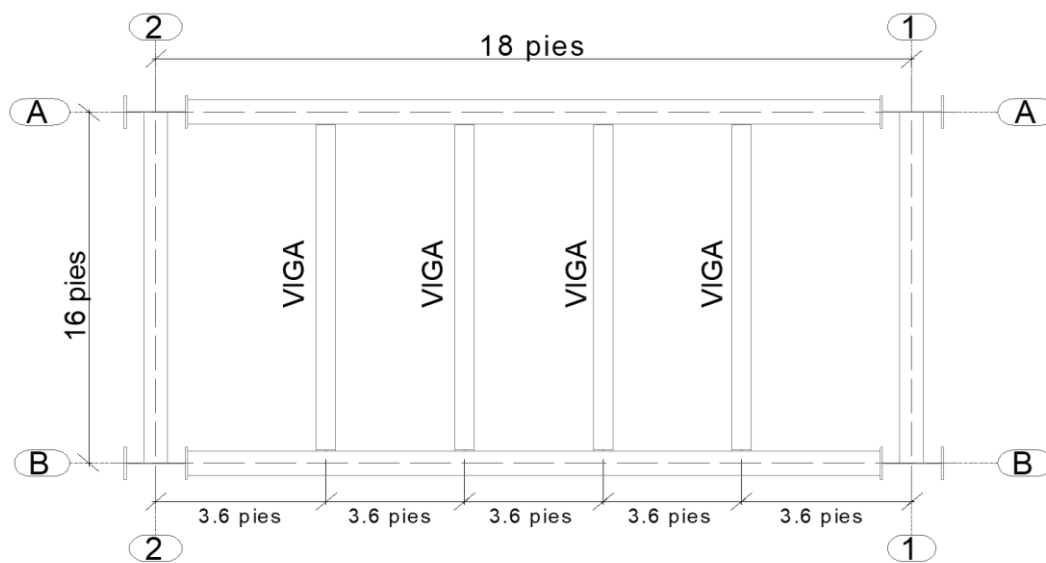
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

6.1 Bibliografía

- EN 1993-1-8 Eurocode 3. (2005). *Design of steel structures - part 1-8 : Design of joints*. Brussels.
- AISC. (Marzo, 2011, 14° edición). *American Institute of Steel Construction*. Chicago.
- AISC Steel Design Guide 21. (2006). *Welded Connections - A Primer For Engineers*. Cleveland, Ohio.
- AISC Steel Design Guide 4. (2003 , Second Edition). *Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications*.
- ANSI/AWS A2.4. (2012). *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*. LeJeune Road, Miami.
- Arul Jayachandran S., Marimuthu V., Prabha P., Seetharaman S., & Pandian N. (Julio, 2008). Investigations on the behaviour of semi-rigid endplate connections. *Advanced Steel Construction Vol. 5, No. 4,*, 432-451.
- Beltran, F. (1999.). *Teoria general del metodo de elementos finitos*. Departamento de Mecanica Estructural y Construcciones Industriales - ETS Ingenieros Industriales Madrid.
- Butterworth, J. (2012). *Finite Element Analysis of Structural Steelwork Beam to Column Bolted Connections*. Constructional Research Unit, School of Science & Technology, University of Teesside, UK.
- Codigo Tecnico de la Edificacio CTE. (2006). *Documento Basico - Seguridad Estructural Acero, DB-SE-A*. España.
- Daryl L. Logan. (2012, Fifth Edition). *A First Course in the Finite Element Method*,. EE.UU: Cengage Learning.
- Diaz Gomez, C. (2010). *DISEÑO ÓPTIMO DE UNIONES SEMIRRÍGIDAS MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA Y MODELOS KRIGING (Tesis Doctoral)*. Universidad Politecnica de Cartagena, España.
- Diaz, C., Marti, P., Victoria, M., & Querin, O. (Agosto 2010). Review on the modelling of joint behaviour in steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 741-758.
- Guardiola Vállora, A. (2006). *COMPORTAMIENTO DE LOS NUDOS SEMI-RÍGIDOS (Tesis Doctoral)*. Universidad Politecnica de Valencia, España.
- Inspeccion y control de calidad en la aplicacion de soldadura de elementos estructurales*. (s.f.).
- Instituto Tecnico de la Estructura en Acero, ITEA. (s.f.). *Diseño de Uniones - Tomo 13* .
- J.P Jaspert, K. Weynand. (2016). *Design of Joints in steel and composite Structures*.
- J.P. Jaspert, S. Renkin and M.L. Guillaume. (2003). *European recommendations for the design of simple joints in steel structures*. Liège, Belgica.

- Kaushik, K., Sharma, A., & Kumar, R. (Agosto, 2013). A Review on Finite Element Analysis of Beam to Column Endplate Bolted Connection. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) Volume 8, Issue 1*, 97-103.
- kim, J., Ghaboussi, J., & Elnashai, A. (Febrero, 2010). Mechanical and informational modeling of steel beam-to-column connections. *Engineering Structures*, 449 - 458.
- Lopez Lopez, M. (2012). *Nuevas propuestas para determinar la rigidez y resistencia del componente E-stub en uniones tridimensionales (tesis doctoral)*. Universidade da coruña, España.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2013, 5° edicion). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega.
- Mobilia, M., & Burrioni, J. (s.f.). *Tecnologia de inspeccion de soldadura*.
- Montoya Coronado, L. (2013). Influencia de la rigidez de uniones en el comportamiento sísmico en edificios metalicos. *Eduacero. Vol 2. Número 1*, 11.
- Napoles Padron, E., Olivares Diaz, E., & González Carbonell, R. A. (Julio, 2017). *Una introduccion al analisis por elementos finitos: aplicaciones y ejemplos*.
- R. Maquoi, B. Chabrolin. (1993). *Frame design including joint behaviour*. Liège, Francia.
- RCSC. (2014). *Research Council on Structural Connection*. One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois 60601.
- RCSC. (Agosto 1, 2014). *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*. Chicago, Illinois.
- Segui, W. T. (2000, 2° edicion). *Diseño de estructuras de acero con LRFD*. International Thomson Editores.
- Tamboli, A. (2017, Third edition). *Hambook of Steel Connection Design and Details*. EE.UU: McGraw Hill.
- Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill Interamericana.
- W. Chen, N. Kishi, M. Komuro. (2011). *Semi-rigid Connections Handbook*. J. Ross Publishing .
- Wald, F. (Abril, 2009). *IDEA Connection Theoretical background*. Brno, Republica Checa.

ANEXO A
DISEÑO DEL MARCO ESTRUCTURAL



PLANTA

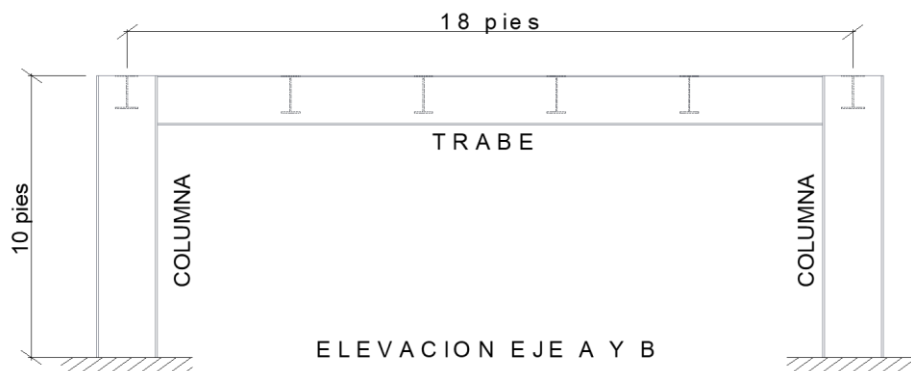


Figura A. 1 Marco estructural empotrado en sus bases

Fuente: Elaboración propia

El marco estructural estará diseñado como un marco sin ladeo ya que las cargas gravitacionales son simétricas y no existe ninguna fuerza de desplazamiento lateral (sismo o viento) y bajo las condiciones de contorno en los extremos de los nodos de los miembros ya sea a restricción rotacional o desplazamientos de acuerdo sea el caso de unión a cortante o momento.

A.1 Cargas gravitacionales aplicadas al marco estructural

La estructura metálica del marco no traslacional estará sometida a cargas bajo las consideraciones de diseño de estado limite ultimo (ELU) de acuerdo a las especificaciones del ASCE, como a modo de estudio de las uniones metálicas solo se considerará en esta tesis el caso de combinación LC-2 (ver sección 2.3.2 ASCE) de la carga viva y carga muerta.

Tabla A. 1
Cargas gravitacionales

Carga muerta (CM)	Carga viva (CV)	Combinación LC-2
0.85 klb/pie ²	0.45 klb/pie ²	1.2 CM + 1.6 CV

Fuente: Elaboración propia

A.2 Diagrama de momento flector y esfuerzos cortantes del marco estructural

Los diagramas se desarrollarán con la ayuda del software Robot Structural para los miembros que componen el marco (viga, trabe y columna)

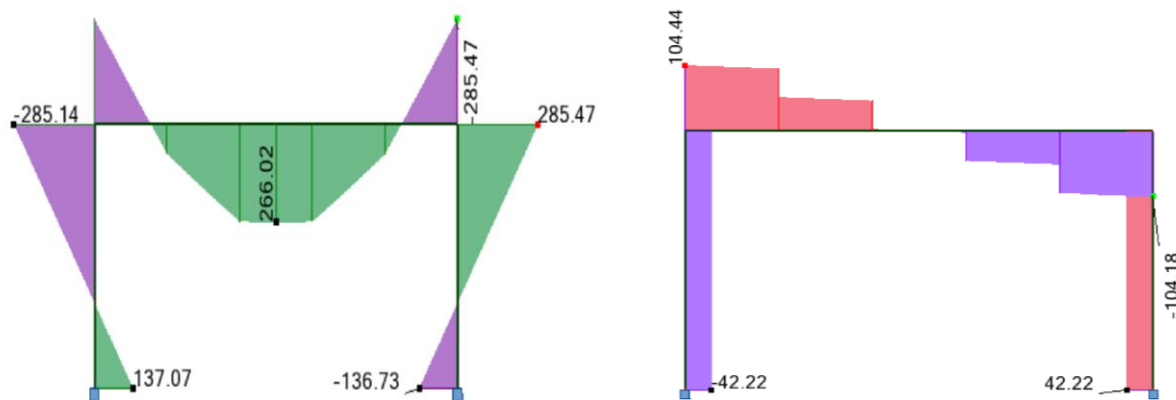


Figura A. 2 Diagrama – momento flector y esfuerzo cortante del marco eje A y B

Fuente: Elaboración propia

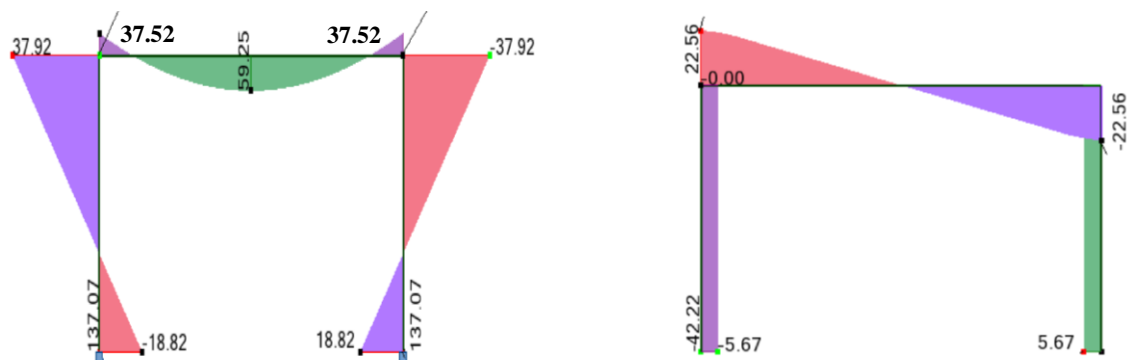


Figura A. 3 Diagrama – momento flector y esfuerzo cortante del marco eje 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

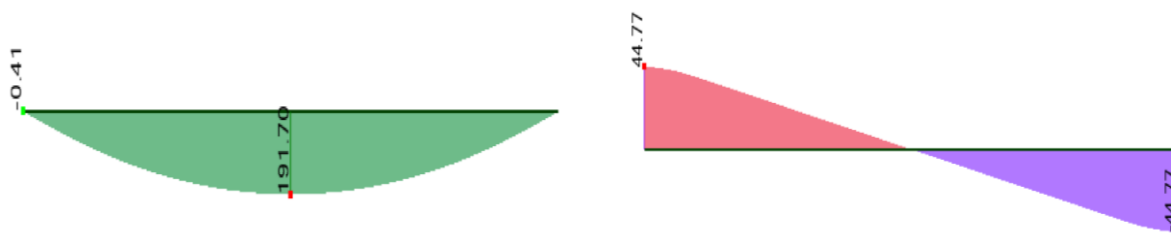


Figura A. 4 Diagrama – momento flector y esfuerzo cortante de la viga

Fuente: Elaboración propia

Resumen

Tabla A. 2
Cargas factorizadas requeridas para el diseño de los miembros

Miembro	Momento flector (klb-pie)	Esfuerzo cortante (klb-pie)
Trabe eje A y B	$(M_u)_{req.} = 285.47$	$(V_u)_{req.} = 104.44$
Trabe eje 1 y 2	$(M_u)_{req.} = 59.25$	$(V_u)_{req.} = 22.56$
Viga	$(M_u)_{req.} = 191.70$	$(V_u)_{req.} = 44.77$
Columna	$(M_{ux})_{req.} = 285.47$ $(M_{uy})_{req.} = 37.92$	----

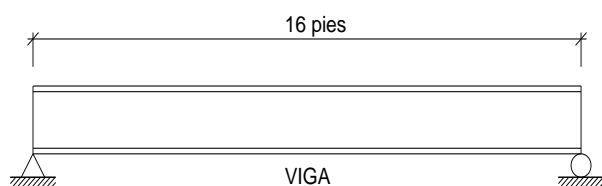
Nota: La fuerza axial requerida (127.92 klb) calculado con Robot Structural para el diseño de la columna

Fuente: Elaboración propia

A.3 Análisis y diseño de los miembros del marco estructural

A.3.1 Viga a cortante

La unión de viga a trabe estará diseñada a cortante, por lo que la viga estará simplemente apoyada, estáticamente determinada (se supone flexible y libre a rotación sin capacidad resistente a momento en sus extremos). Por lo tanto, se realizará un análisis plástico estático lineal de 1^{er} orden:



Carga factorizada para el estado limite ultimo

$$(M_u)_{req.} = 191.70 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$(V_u)_{req.} = 44.77 \text{ klb}$$

De la tabla 3 – 2 del AISC 360 – 10 ; con $(M_u)_{req.}$, $(V_u)_{req.}$ y $L_b = 0$ (supondremos que la carga muerta es proporcionada por una losa de concreto que le da soporte lateral al ala de compresión por lo tanto está protegida contra el pandeo lateral), seleccionamos:

W16 x 31 A992 Gr50

$$\phi_b M_n = \phi_b M_{px} = 203 \text{ klb} - \text{pie} > (M_u)_{req.} = 191.70 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

$$\phi_v V_n = \phi_v V_{nx} = 131 \text{ klb} > (V_u)_{req.} = 44.77 \text{ klb} \quad (ok)$$

$$L_b = 0 < L_p = 4.13 \text{ pie} \quad (\text{Zona 1} - \text{comportamiento plástico})$$

- **Revisión al pandeo local (Tabla B4.1b AISC 360 – 10):**

Tabla 1-1 AISC 360-10 - Propiedades geométricas y mecánicas – W16 x 31		
$b_f = 5.53 \text{ pulg}$	$t_f = 0.44 \text{ pulg}$	$F_y = 50 \text{ ksi}$
$d = 15.9 \text{ pulg}$	$K = 0.842 \text{ pulg}$	$E = 29000 \text{ ksi}$
$t_w = 0.275 \text{ pulg}$	$A = 9.13 \text{ pulg}^2$	$I_x = 375 \text{ pulg}^4$

Fuente: Elaboración propia

Relación ancho espesor – ala (λ)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{5.53}{2(0.44)} = 6.28 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 9.15 \quad (\text{el ala es compacto})$$

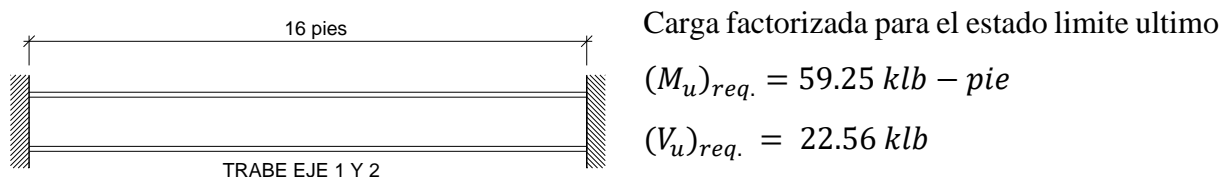
Relación ancho espesor – alma (λ)

$$\lambda = \frac{d - 2k}{t_w} = \frac{15.9 - 2(0.842)}{0.275} = 51.69 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.54 \text{ (el alma es compacto)}$$

La viga W16x31 tiene la capacidad de desarrollar una distribución plena de esfuerzo plástico sin pandeo local para el estado limite ultimo (ELU)

A.3.2 Trabe a momento (Eje 1 y 2)

La unión de trabe a alma de la columna estará diseñada a momento, por lo que la viga estará empotrada en sus extremos (estáticamente indeterminada), por lo tanto, se realizará un análisis plástico estático lineal de 1^{er} orden:



De la tabla 3 – 10 del AISC 360 – 10 ; con $(M_u)_{req.}$, $L_b = 16 \text{ pies}$ (ya que no tiene soporte lateral en el ala de compresión contra el pandeo lateral), y un factor de modificación de pandeo torsional lateral $C_b = 1.0$, seleccionamos:

W14 x 34 A992 Gr50

De la tabla 3 – 2 del AISC 360 – 10:

$$\phi_b M_{px} = 205 \text{ klb} - \text{pie} > (M_u)_{req.} = 59.25 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

$$\phi_v V_{nx} = 120 \text{ klb} > (V_u)_{req.} = 22.56 \text{ klb} \quad (ok)$$

$$L_b = 16 \text{ pie} > L_r = 15.6 \text{ pie} \text{ (Zona 3 – pando lateral torsional elastico)}$$

Tabla 1-1 AISC 360-10 - Propiedades geométricas y mecánicas – W14 x 34

$r_{st} = 1.80 \text{ pulg}$	$S_x = 48.6 \text{ pulg}^3$	$F_y = 50 \text{ ksi}$
$J = 0.569 \text{ pulg}^4$	$h_0 = 13.5 \text{ pulg}$	$E = 29000 \text{ ksi}$
$C = 1.0 \text{ pulg}$	$Z_x = 54.6 \text{ pulg}^3$	— — —

Fuente: Elaboración propia

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left[\frac{L_b}{r_{ts}}\right]^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{JC}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = \frac{\pi^2 (29000)}{\left[\frac{(16)(12)}{1.80}\right]^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{(0.569)(1)}{(48.6)(13.5)} \left[\frac{(16)(12)}{1.80}\right]^2}$$

$$F_{cr} = 33.47 \text{ ksi}$$

$$M_{dE}^0 = \phi_b F_{cr} S_x$$

$$\phi_b M_{px} = \phi_b F_y Z_x$$

$$M_{dE}^0 = (0.90)(33.47)(48.6)$$

$$\phi_b M_{px} = (0.9)(50)(54.6/12)$$

$$M_{dE}^0 = 121.99 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$\phi_b M_{px} = 204.75 \text{ klb} - \text{pie}$$

Momento plástico a flexión:

$$\phi_b M_n = \min [C_b M_{dE}^0 ; \phi_b M_{px}] > (M_u)_{req.} = 59.25 \text{ klb} - \text{pie} \quad \phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi_b M_n = \min [(1.0)(121.99) ; (204.75)] > (M_u)_{req.} = 59.25 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$\phi_b M_n = 121.99 \text{ klb} - \text{pie} > (M_u)_{req.} = 59.25 \text{ klb} - \text{pie} \text{ (ok)}$$

- **Revisión al pandeo local (Tabla B4.1b AISC 360 – 10):**

Tabla 1-1 AISC 360-10 - Propiedades geométricas y mecánicas – W14 x 34		
$b_f = 6.75 \text{ pulg}$	$t_f = 0.455 \text{ pulg}$	$F_y = 50 \text{ ksi}$
$d = 14.0 \text{ pulg}$	$K = 0.855 \text{ pulg}$	$E = 29000 \text{ ksi}$
$t_w = 0.285 \text{ pulg}$	$A = 10.0 \text{ pulg}^2$	$I_x = 340 \text{ pulg}^4$

Fuente: Elaboración propia

Relación ancho espesor – ala (λ)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{6.75}{2(0.455)} = 7.42 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 9.15 \text{ (el ala es compacto)}$$

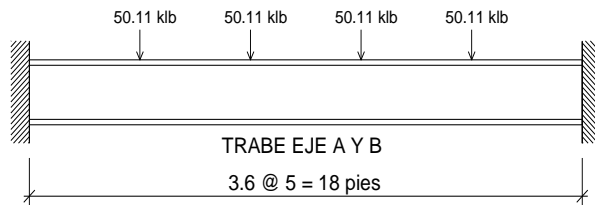
Relación ancho espesor – alma (λ)

$$\lambda = \frac{d - 2k}{t_w} = \frac{14 - 2(0.855)}{0.285} = 43.12 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.54 \text{ (el alma es compacto)}$$

El trabe W14x34 tiene la capacidad de desarrollar una distribución plena de esfuerzo plástico sin pandeo local para el estado limite ultimo (ELU)

A.3.3 Trabe a momento (Eje A y B)

La unión de trabe a ala de la columna estará diseñada a momento, por lo que la viga estará empotrada en sus extremos (estáticamente indeterminada) que a su vez está sujeta a 4 cargas concentradas factorizadas por las reacciones de la unión a cortante viga - trabe, por lo tanto, se realizará un análisis plástico estático lineal de 1^{er} orden:



Carga factorizada para el estado limite ultimo

$$(M_u)_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$(V_u)_{req.} = 104.44 \text{ klb}$$

De la tabla 3 – 10 del AISC 360 – 10 ; con $(M_u)_{req.}$, $L_b = 18 \text{ pies}$ (ya que no tiene soporte lateral en el ala de compresión contra el pandeo lateral), y un factor de modificación de pandeo torsional lateral $C_b = 1.0$, seleccionamos:

W21 x 62 A992 Gr50

De la tabla 3 – 2 del AISC 360 – 10:

$$\phi_b M_{px} = 540 \text{ klb} - \text{pie} > (M_u)_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

$$\phi_v V_{nx} = 252 \text{ klb} > (V_u)_{req.} = 101.44 \text{ klb} \quad (ok)$$

$$BF = 17.5 \text{ klb}$$

$$L_p = 6.25 \text{ pie} < L_b = 18 < L_r = 18.1 \text{ pie} \quad (\text{Zona 2} - \text{pando lateral torsional inelastico})$$

$$M_d^0 = \phi_b M_{px} - BF(L_b - L_p)$$

$$M_d^0 = 540 - 17.5(18 - 6.25) = 334.38 \text{ klb} - \text{pie}$$

Momento plástico a flexión:

$$\phi_b M_n = \min [C_b M_d^0 ; \phi_b M_{px}] > (M_u)_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie} \quad \phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi_b M_n = \min [(1.0)(334.38) ; 540] > (M_u)_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$\phi_b M_n = 334.38 > (M_u)_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

- **Revisión al pandeo local (Tabla B4.1b AISC 360 – 10):**

Tabla 1-1 AISC 360-10 - Propiedades geométricas y mecánicas – W14 x 34		
$b_f = 8.24 \text{ pulg}$	$t_f = 0.615 \text{ pulg}$	$F_y = 50 \text{ ksi}$
$d = 21.0 \text{ pulg}$	$K = 1.12 \text{ pulg}$	$E = 29000 \text{ ksi}$
$t_w = 0.4 \text{ pulg}$	$A = 18.3 \text{ pulg}^2$	$I_x = 1330 \text{ pulg}^4$

Fuente: Elaboración propia

Relación ancho espesor – ala (λ)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{8.24}{2(0.615)} = 6.70 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 9.15 \text{ (el ala es compacto)}$$

Relación ancho espesor – alma (λ)

$$\lambda = \frac{d - 2k}{t_w} = \frac{21 - 2(1.12)}{0.4} = 46.9 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.54 \text{ (el alma es compacto)}$$

- **Revisión de los estados limites debido a las cargas concentradas**

Flexión local del ala:

$$\phi R_n = \phi 6.25 t_f^2 F_{yf} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad \phi = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi R_n = (0.9)(6.25)(0.450)^2(50) > R_u = 50.11 \text{ klb}$$

$$\phi R_n = 58.23 \text{ klb} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

Fluencia local del alma:

$$\text{distancia de carga} > d \Rightarrow 3.6 \text{ pies} \left(\frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right) = 43.2 \text{ pulg} > d = 21 \text{ pulg}$$

$$\phi R_n = \phi [5k + l_b] F_{yw} t_w \quad \phi = 1.0 \text{ (LRFD)} \quad l_b = 3.25 \text{ (tabla 9 - 4 AISC360 - 10)}$$

$$\phi R_n = (1.0)[5(1.12) + 3.25](50)(0.4) > R_u = 50.11 \text{ klb}$$

$$\phi R_n = 177 \text{ klb} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

Aplastamiento del alma:

$$\text{distancia de carga} > \frac{d}{2} \Rightarrow 3.6 \text{ pies} \left(\frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right) = 43.2 \text{ pulg} > \frac{21}{2} = 10.5 \text{ pulg}$$

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad \phi = 0.75 (\text{LRFD})$$

$$\phi R_n = (0.75)(0.80)(0.4)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{3.25}{21} \right) \left(\frac{0.4}{0.615} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(29000)(50)(0.615)}{0.4}}$$

$$\phi R_n = 176.88 \text{ klb} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

Pandeo por compresión del alma:

$$h = d - 2K = 21 - (2)(1.12) = 18.76 \text{ pulg}$$

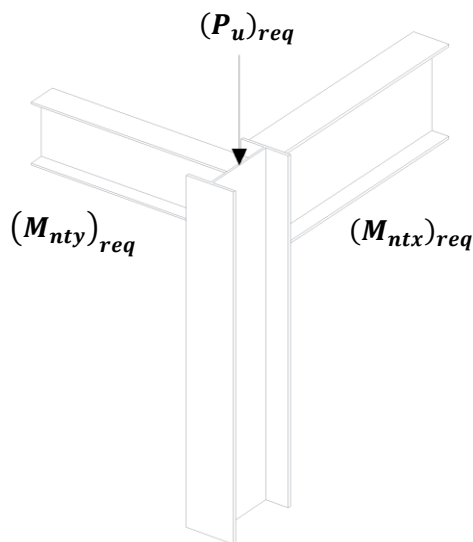
$$\phi R_n = \frac{\phi 24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad \phi = 0.9 (\text{LRFD})$$

$$\phi R_n = \frac{(0.9)(24)(0.4)^3 \sqrt{(29000)(50)}}{18.76} = 88.71 \text{ klb} > R_u = 50.11 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

El trabe W21x62 tiene la capacidad de desarrollar una distribución plena de esfuerzo plástico sin pandeo local para el estado limite ultimo (ELU)

A.3.4 Columna

La columna presenta momento tanto en su eje débil como en su eje fuerte debido al tipo de unión que están diseñados y a su vez presente una carga factorizada axial a compresión por lo tanto presenta un comportamiento viga – columna el cual requiere un análisis de 2^{do} orden.



Carga factorizada para el estado limite ultimo

$$(M_{ntx})_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$(M_{nty})_{req.} = 37.92 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$(P_u)_{req.} = 127.92 \text{ klb}$$

Debido a que el marco no proporciona ladeo los factores de amplificación se asumirán como:

$$[B_1 = 1.0 ; B_2 = 1.0] \text{ y para } (KL)_x = (KL)_y = 10''$$

con $F_y = 50 \text{ ksi}$ obtenemos $m = 1.8$ y $\mu = 2.0$

(ver tabla 11.3 McCormac).

- **Resistencia requerida a flexión amplificado:**

$$(M_{ux})_{req.} = (M_{rx})_{req.} = B_1(M_{ntx})_{req.} + B_2(M_{ltx})_{req.} \quad (M_{ltx})_{req.} = 0 \text{ no existe ladeo}$$

$$(M_{ux})_{req.} = (M_{rx})_{req.} = (1.0)(285.47) = 285.47 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$(M_{uy})_{req.} = (M_{ry})_{req.} = B_1(M_{nty})_{req.} + B_2(M_{lty})_{req.} \quad (M_{lty})_{req.} = 0 \text{ no existe ladeo}$$

$$(M_{uy})_{req.} = (M_{ry})_{req.} = (1.0)(37.92) = 37.92 \text{ klb} - \text{pie}$$

- **Resistencia requerida a compresión amplificado:**

$$(P_r) = (P_u)_{req.} = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad P_{lt} = 0 \text{ no existe ladeo}$$

$$(P_r) = (P_u)_{req.} = 127.92 \text{ klb}$$

- **Momento requerido equivalente (método Yura) para una viga – columna:**

$$(M_u)_{req.-eq.} = (M_{ux})_{req.} + (P_u)_{req.} \left(\frac{d}{2} \right) \quad \text{asumiremos un peralte } d = 36 \text{ pulg}$$

$$(M_u)_{req.-eq.} = 285.47 + 127.92 \left(\frac{36}{2} \right) \left(\frac{1}{12} \right)$$

$$(M_u)_{req.-eq.} = 477.35 \text{ klb} - \text{pie}$$

De la tabla 3 – 10 del AISC 360 – 10 ; con $(M_u)_{req.}, L_b = 18 \text{ pies}$ (ya que no tiene soporte lateral en el ala de compresión contra el pandeo lateral), y un factor de modificación de pandeo torsional lateral $C_b = 1.0$, seleccionamos:

W18x76 A992 Gr50

- **Resistencia nominal a compresión:**

Tabla 1-1 AISC 360-10 - Propiedades geométricas y mecánicas – W18 x 76		
$b_f = 11 \text{ pulg}$	$t_f = 0.680 \text{ pulg}$	$F_y = 50 \text{ ksi}$
$d = 18.2 \text{ pulg}$	$K = 1.08 \text{ pulg}$	$E = 29000 \text{ ksi}$
$t_w = 0.425 \text{ pulg}$	$A = 22.3 \text{ pulg}^2$	$I_x = 1330 \text{ pulg}^4$
$r_x = 7.73 \text{ pulg}$	$r_y = 2.61 \text{ pulg}$	

Fuente: Elaboración propia

$$K_x = K_y = 1.0 \text{ debido a que no existe ladeo} \quad \frac{(KL)_y}{r_y} = 45.97 < 200 \quad (\text{ok})$$

$$\frac{(KL)_x}{r_x} = \frac{(1.0)(10)(12)}{7.73} = 15.52$$

$$\frac{(KL)_y}{r_y} = \frac{(1.0)(10)(12)}{2.61} = 45.97 \text{ (controla)}$$

$$\frac{(KL)_y}{r_y} = 45.97 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 113.43 \Rightarrow F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)_y^2} = \frac{\pi^2 (29000)}{(45.97)^2} = 135.44 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \left(\frac{F_y}{F_e} \right) \right] F_y = \left[(0.658)^{(50/137.44)} \right] 50 = 42.83 \text{ ksi}$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A \quad \phi_c = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi_c P_n = (0.9)(42.83)(22.3) = 859.60 \text{ klb}$$

- **Revisión al pandeo local (Tabla B4. 1a AISC 360 – 10):**

Relación ancho espesor – ala (λ)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{11}{2(0.68)} = 8.09 < \lambda_p = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 13.49$$

Miembro de ala no rigidizada no esbelta

Relación ancho espesor – alma (λ)

$$\lambda = \frac{d - 2k}{t_w} = \frac{18 - 2(1.08)}{0.425} = 37.74 > \lambda_p = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 35.88$$

Miembro de alma esbelta, requiere rigidizador para evitar el pandeo local torsional.

- **Revisión del perfil de acuerdo a las ecuaciones de interacción:**

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{127.92}{859.60} = 0.15 < 0.2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

Momento plástico a flexión:

W18 x 76 A992 Gr50

De la tabla 3 – 2 del AISC 360 – 10:

$$\phi_b M_{px} = 611 \text{ klb} - \text{pie} > (M_{ux})_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

$$\phi_v V_{nx} = 232 \text{ klb}$$

$$BF = 12.8 \text{ klb}$$

$$L_p = 9.22 \text{ pie} < L_b = 10 < L_r = 27.1 \text{ pie} \quad (\text{Zona 2 – pando lateral torsional inelastico})$$

$$M_d^0 = \phi_b M_{px} - BF(L_b - L_p)$$

$$M_d^0 = 611 - 12.8(10 - 9.22) = 601.02 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$M_{cx} = \phi_b M_n = \min [C_b M_d^0; \phi_b M_{px}] > (M_{ux})_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie} \quad \phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$M_{cx} = \phi_b M_n = \min [(1.0)(601.02); 611] > (M_{ux})_{req.} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie}$$

$$M_{cx} = \phi_b M_n = 601.02 > (M_{ux})_{req} = 285.47 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

W18 x 76 A992 Gr50

De la tabla 3 – 4 del AISC 360 – 10:

$$M_{cy} = \phi_b M_{ny} = 601.02 > (M_{uy})_{req} = 37.92 \text{ klb} - \text{pie} \quad (ok)$$

Reemplazando los valores en la ecuación de interacción:

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{127.92}{2(859.60)} + \left(\frac{285.47}{601.02} + \frac{37.92}{158} \right) = 0.794 \leq 1.0 \quad (ok)$$

El perfil W18x76 cumple con la sollicitación de las ecuaciones de interacción con un ratio de 0.794 trabajando a un 79.4% de su capacidad de resistencia plástica.

ANEXO B

DISEÑO DE LA UNIÓN A MOMENTO TIPO VIGA – COLUMNA CON CHAPA DE TESTA EXTENDIDA DE ACUERDO A LA NORMA AISC STEEL DESIGN GUIDE 4

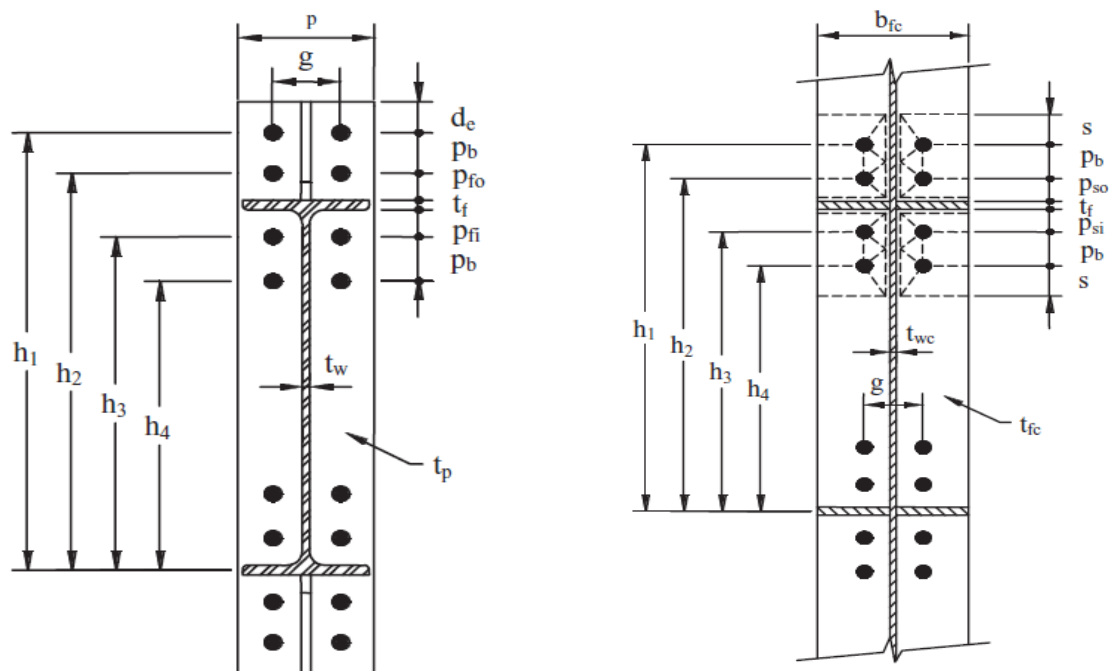


Figura B. 1 Geometría de la unión – Ocho pernos con rigidizador extendido

Fuente: AISC Steel Design Guide 4. (2003 , Second Edition). *Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications*. pp 12

Tabla B. 1

Propiedades geométricas de los miembros

Miembro	Dimensiones		Miembro	Dimensiones	
VIGA (TRABE) W 21x62	d_b	21 pulg.	COLUMNA W 18 x 76	d_c	18.2 pulg.
	t_{wb}	0.4 pulg.		t_{wc}	0.425 pulg.
	b_{fb}	8.24 pulg.		b_{fc}	11 pulg.
	t_{fb}	0.615 pulg.		t_{fc}	0.68 pulg.
	k_b	1.12 pulg.		k_c	1.08 pulg.
	g_{gramil}	5.5 pulg.		g_{gramil}	5.5 pulg.
	Z_{xb}	144 pulg ³ .		Z_{xc}	163 pulg ³ .

Fuente: Elaboración propia

Tabla B. 2
Propiedades mecánicas

<i>Miembro</i>	<i>Perfil</i>	<i>Grado</i>	F_y (ksi)	F_u (ksi)	E (ksi)
Columna	W 18 x 76	ASTM-A992	50	65	29000
Viga (Trabe)	W 21 x 62	ASTM-A992	50	65	29000
Placas	-	ASTM-A36	36	58	29000
Pernos	-	ASTM-A325		105 - 120	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla B. 3
Cargas factorizadas de diseño requeridas

M_{uc} (klb – pie)	M_{uc} (klb – pulg.)	V_u (klb)
285.47	3425.64	104.44

Fuente: Elaboración propia

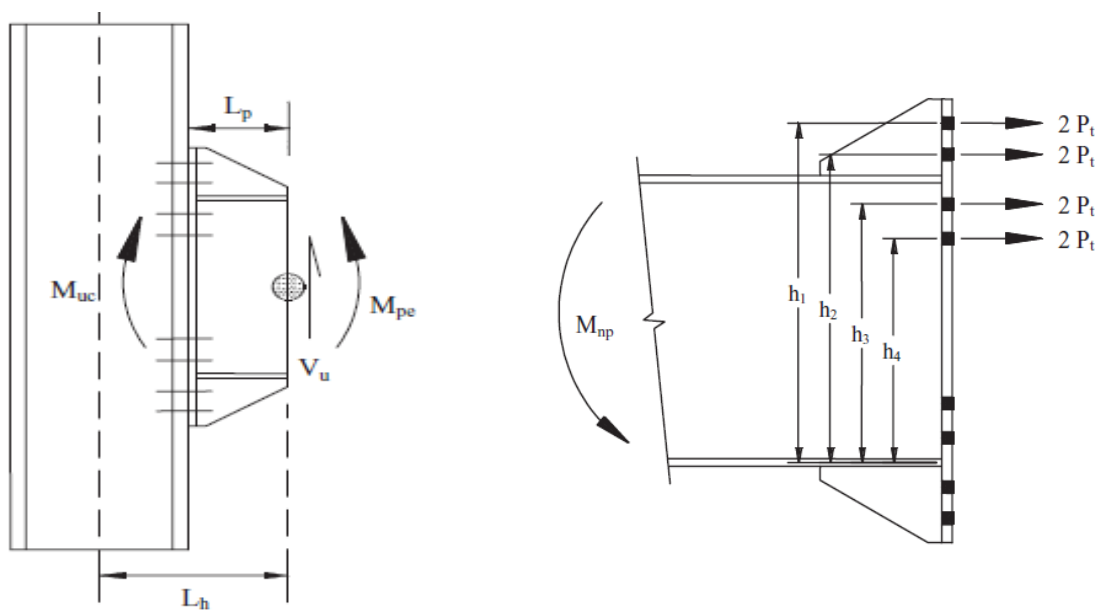


Figura B. 2 Momento flector y Esfuerzo cortante requeridos para el diseño

Fuente: AISC Steel Design Guide 4. (2003 , Second Edition). *Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications* . pp 10 y pp 14

1° Diseño del momento de la unión

$$M_n = M_{uc} < \phi M_p = \phi F_y Z_{xb} \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$M_n = 3425.65 < \phi M_p = (0.9)(50)(144)$$

$$M_n = 3425.65 \text{ klb} - \text{pulg.} < \phi M_p = 6480 \text{ klb} - \text{pulg.} \quad (\text{ok})$$

$$M_n = M_{uc} = 3425.65 \text{ klb} - \text{pulg.}$$

2° Selección de la configuración geométrica de diseño – 8 pernos con rigidizador extendido

Asumiremos una distancia de los pernos para la configuración geométrica de la chapa de testa extendida acorde a las recomendaciones del AISC 360 – 10 (ver tabla J3.4)

$$b_p = b_{fc} = 11 \text{ pulg.}$$

$$P_{fi} = 2 \text{ pulg.}$$

$$g = 5.5 \text{ pulg.}$$

$$P_{f0} = 2 \text{ pulg.}$$

$$F_{up} = 58 \text{ Ksi (ASTM – A36)}$$

$$P_b = 4 \text{ pulg.}$$

$$F_{yp} = 36 \text{ Ksi (ASTM – A36)}$$

$$d_e = 2 \text{ pulg.}$$

$$F_t = 90 \text{ Ksi (ASTM – A325)}$$

$$P_{ext} = 8 \text{ pulg.}$$

$$h_1 = d_b + P_{f0} + P_b - t_{fb}/2 = 21 + 4 + 2 - 0.615/2 = 26.69 \text{ pulg}$$

$$h_2 = d_b + P_{f0} - t_{fb}/2 = 21 + 2 - 0.615/2 = 22.69 \text{ pulg.}$$

$$h_3 = d_b - t_{fb} - P_{fi} - t_{fb}/2 = 21 - 0.615 - 2 - 0.615/2 = 18.07 \text{ pulg.}$$

$$h_4 = d_b - t_{fb} - P_{fi} - P_b - t_{fb}/2 = 21 - 0.615 - 2 - 4 - 0.615/2 = 14.07 \text{ pulg.}$$

3° Diseño del diametro requerido del perno (ASTM A325)

$$(d_{b,perno})_{req.} = \sqrt{\frac{2M_{uc}}{\pi\phi F_t (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}} \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$(d_{b,perno})_{req.} = \sqrt{\frac{2(3425.64)}{\pi(0.75)(90)(26.69 + 24.69 + 18.07 + 16.07)}}$$

$$(d_{b,perno})_{req.} = 0.63 \text{ pulg.}$$

4° Selección del diámetro de prueba del perno

$$(d_{b,perno})_{req.} = 0.63 \text{ pulg.}$$

Usaremos un diámetro de prueba $d_{b,perno} = 0.75 \text{ pulg} = 3/4 \text{ pulg.}$ (*ASTM A325*)

Resistencia a tensión del perno:

$$P_t = F_t A_b = 90 \left[\frac{\pi(0.75)^2}{4} \right] = 40 \text{ klb}$$

$$M_{np} = 2P_t(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) = 2(40)(26.69 + 24.69 + 18.07 + 16.07)$$

$$M_{np} = 6521.16 \text{ Klb} - \text{pulg.}$$

$$\phi M_{np} = (0.75)(6521.16) \text{ klb} - \text{pulg} > M_{uc} = 3425.62 \text{ klb} - \text{pulg.}$$

$$\phi M_{np} = 4890.87 \text{ klb} - \text{pulg} > M_{uc} = 3425.62 \text{ klb} - \text{pulg.} \text{ (ok)}$$

El diámetro de prueba $d_{b,perno} = 3/4 \text{ pulg.}$ (*ASTM A325*) es adecuada para el diseño

5° Diseño del espesor requerido de la chapa de testa extendida

Parámetro de mecanismo de línea de rendimiento de chapa de testa extendida

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{(11)(5.5)}$$

$$S = 3.89 \text{ pulg.} > P_{fi} = 2 \text{ pulg.} \Rightarrow d_e = 2 \text{ pulg.} < S = 3.89 \text{ pulg}$$

Usaremos el caso 1 (ver tabla 3-3 AISC Steel Design Guide 4)

$$Y_p = Y_{p1} + Y_{p2} + g$$

$$Y_{p1} = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{P_{f0}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{P_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{S} \right) \right]$$

$$Y_{p2} = \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{P_b}{4} \right) + h_2 \left(P_{f0} + \frac{3P_b}{4} \right) + h_3 \left(P_{fi} + \frac{P_b}{4} \right) + h_4 \left(S + \frac{3P_b}{4} \right) + P_b^2 \right]$$

$$Y_{p1} = \frac{11}{2} \left[26.69 \left(\frac{1}{2 \times 2} \right) + 24.69 \left(\frac{1}{2} \right) + 18.07 \left(\frac{1}{2} \right) + 14.07 \left(\frac{1}{3.89} \right) \right]$$

$$Y_{p1} = 174.24 \text{ pulg.}$$

$$Y_{p2} = \frac{2}{5.5} \left[26.69 \left(2 + \frac{4}{4} \right) + 24.69 \left(2 + \frac{3 \times 4}{4} \right) + 18.07 \left(2 + \frac{4}{4} \right) + 14.07 \left(3.89 + \frac{3 \times 4}{4} \right) + 4^2 \right]$$

$$Y_{p2} = 133.42 \text{ pulg.}$$

$$Y_p = 174.24 \text{ pulg.} + 133.42 \text{ pulg.} + 5.5 \text{ pulg.} = 313.16 \text{ pulg}$$

Espesor requerido de chapa de testa extendida:

$$(t_p)_{req} = \sqrt{\frac{1.11\phi M_{np}}{\phi_b F_{yp} Y_p}} \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$(t_p)_{req} = \sqrt{\frac{1.11(0.75)(6521.16)}{(0.9)(36)(313.16)}} = 0.73 \text{ pulg.}$$

6° Selección del espesor de chapa de testa extendida

$$(t_p)_{req} = 0.73 \text{ pulg}$$

Usaremos

$$t_p = 0.875 \text{ pulg} = 7/8 \text{ pulg (ASTM - A36)}$$

7° Cálculo de la fuerza factorizada en el ala de la viga (trabe)

$$F_{fu} = \frac{M_{uc}}{(d_b - t_{fb})} = \frac{3425.62}{(21 - 0.615)}$$

$$F_{fu} = 168.05 \text{ klb}$$

8° Revisión del rendimiento de corte de la parte extendida de la chapa de testa

$$\phi R_n = \phi (0.6 F_{yp}) b_p t_p \quad \phi = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi R_n = 0.9(0.6)(36)(11)(0.875) = 187 \text{ klb}$$

$$\frac{F_{fu}}{2} = \frac{168.05}{2} \text{ klb} < \phi R_n = 187 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

9° Revisión a la ruptura de corte de la parte extendida de la chapa de testa

$$A_n = \left[b_p - 2 \left(d_{b,perno} + \frac{1}{8} \right) \right] t_p$$

$$A_n = \left[11 - 2 \left(0.75 + \frac{1}{8} \right) \right] (0.875) = 8.094 \text{ pulg}^2$$

$$\phi R_n = \phi(0.6F_{up})A_n \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi R_n = (0.75)(0.6)(58)(8.094) = 211.25 \text{ klb}$$

$$\frac{F_{fu}}{2} = \frac{168.05}{2} \text{ klb} < \phi R_n = 211.25 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

10° Diseño del espesor y longitud del rigidizador de la chapa de testa extendida y diseño de la soldadura de refuerzo.

$$(t_{st})_{req} = t_{wb} \left[\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right] = 0.4 \left[\frac{50 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}} \right]$$

$$(t_{st})_{req} = 0.5 \text{ pulg}$$

$$h_{st} = P_{f0} + P_b + d_e = 2 + 4 + 2 = 8 \text{ pulg.}$$

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} = \frac{8 \text{ pulg.}}{\tan 30^\circ} = 13.85 \text{ pulg.}$$

Revisión del pandeo local:

$$\frac{h_{st}}{t_{st}} = \frac{8}{0.5} = 16 \geq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0.56 \sqrt{\frac{29000}{36}} = 16$$

(no es aceptable)

Se necesita un espesor mayor:

Asumiremos un espesor de rigidizador $t_{st} = 0.625 = 5/8 \text{ pulg.}$ para evitar el pandeo local

$$\frac{h_{st}}{t_{st}} = \frac{8}{0.625} = 12.8 < 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0.56 \sqrt{\frac{29000}{36}} = 16 \text{ (es aceptable)}$$

Para la placa del rigidizador usaremos **PL 5/8" x 8" x 13.85"**

Con una soldadura de filete 5/16" de acuerdo a las especificaciones del AISC 360-10 Tabla J2.4

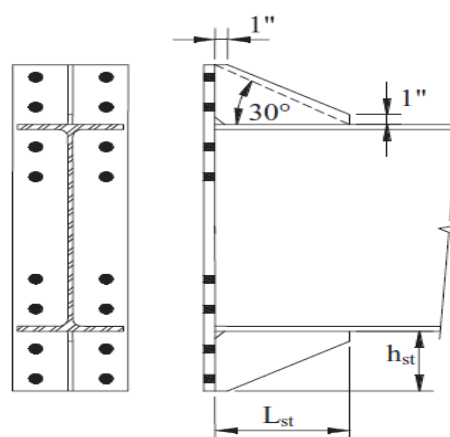


Figura B. 3 Rigidizador de chapa de testa ext.
Fuente: AISC Steel Design Guide 4. (2003 ,
Second Edition). *Extended End-Plate
Moment Connections Seismic and Wind
Applications.* pp 16

11° Revisión de la resistencia a la ruptura de corte de los pernos de compresión

$$V_u = 104.44 \text{ klb}$$

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < \phi R_n = \phi n_b F_v A_b \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < \phi R_n = (0.75)(8 \text{ pernos})(54) \left[\frac{\pi(0.75)^2}{4} \right]$$

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < \phi R_n = 190.85 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

12° Revisión de los pernos de compresión a desgarro / aplastamiento

a. Chapa de testa

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < (n_i)\phi R_n + (n_o)\phi R_n = \sum \phi R_n \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$n_i = 4 \text{ pernos int.} \quad n_o = 4 \text{ pernos ext.}$$

$$\text{Resistencia al aplastamiento} = 2.4d_{b,perno}t_pF_{up} = 2.4(0.75)(0.875)(58) = 91.35 \text{ klb}$$

Desgarro para un espacio de 4 pulgadas.

$$L_c = 4 - \left(0.75 + \frac{1}{16}\right) = 3.19 \text{ pulg.} \quad 1.2L_c t_p F_{up} = 1.2(3.19)(0.875)(58) = 194.27 \text{ klb}$$

Resistencia de diseño del perno

$$R_n = \min [1.2L_c t_p F_{up}; 2.4d_{b,perno}t_p F_{up}] = \min [194.27; 91.35]$$

$$R_n = 91.35 \text{ klb}$$

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < \phi R_n = (4)(0.75)(91.35) + (4)(0.75)(91.35) = 548.10 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

b. Ala de columna

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < \phi R_n = 548.1 \left(\frac{t_{fc}}{t_p} \right) = 548.1 \left(\frac{0.68}{0.875} \right)$$

$$V_u = 104.44 \text{ klb} < \phi R_n = 425.95 \text{ klb}$$

13° Diseño de soldadura

a. Soldadura de filete: ala de viga a chapa de testa extendida

Longitud de la soldadura de filete que conecta el ala a tensión de la viga con la chapa de testa extendida

$$L_w = b_{fb} + (b_{fb} - t_{wb}) = 8.24 + (8.24 - 0.4) = 16.08 \text{ pulg.}$$

Tamaño de soldadura de filete al tomar en cuenta que es una soldadura transversal.

$$D \geq \frac{F_{uf}}{1.392(1.5L_w)} = \frac{168.05}{1.392(1.5)(16.08)} = 5.01 \text{ dieciseisavos}$$

Usaremos una soldadura de filete 5/16 pulg.

b. Soldadura de filete: alma de viga a chapa de testa extendida

Tamaño mínimo requerido al emplear electrodo E70XX

$$D \geq \frac{0.6F_{yb}t_{wb}}{2(1.392)} = \frac{0.6(50)(0.4)}{2(1.392)} = 4.31 \text{ dieciseisavos} \cong 5 \text{ dieciseisavos}$$

Usaremos una soldadura de filete 5/16 pulg.

La reacción en el extremo de la viga es resistida por la soldadura del alma sobre una longitud efectiva L_v

$$L_1 = \frac{d_b}{2} - t_{fb} = \frac{21}{2} - 0.615 = 9.9 \text{ pulg.}$$

$$L_2 = d_b - 2t_{fb} - (P_{fi} + 2d_{b,perno}) = 21 - 2(0.615) - (2 + 2 \times 0.75) = 16.27 \text{ pulg.}$$

$$L_v = \min[L_1; L_2] = \min[9.9; 16.27]$$

$$L_v = 9.9 \text{ pulg.}$$

La resistencia de diseño a cortante de la soldadura con electrodo E70XX

$$R_{dw} = 1.392D(2L_v) = 1.392(5)(2)(9.9) = 137.81 \text{ klb}$$

$$R_{dw} = 137.81 \text{ klb} > V_u = 104.44 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

14° Revisión del ala de la columna no rigidizada para determinar si se produce flexión

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{(11)(5.5)} = 3.89 \text{ pulg}$$

$$c = P_{f0} + t_{fb} + P_{fi} = 2 + 0.615 + 2 = 4.615 \text{ pulg}$$

$$Y_c = Y_{c1} + Y_{c2} + \frac{g}{2}$$

$$Y_{c1} = \frac{b_{fc}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{S} \right) + h_4 \left(\frac{1}{S} \right) \right]$$

$$Y_{c2} = \frac{2}{g} \left[h_1 \left(P_b + \frac{c}{2} + S \right) + h_2 \left(\frac{P_b}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left(\frac{P_b}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4(S) \right]$$

$$Y_{c1} = \frac{11}{2} \left[26.69 \left(\frac{1}{3.89} \right) + 14.07 \left(\frac{1}{3.89} \right) \right]$$

$$Y_{c1} = 57.92 \text{ pulg}$$

$$Y_{c2} = \frac{2}{5.5} \left[26.69 \left(4 + \frac{4.615}{2} + 3.89 \right) + 22.69 \left(\frac{4}{2} + \frac{4.615}{4} \right) + 18.07 \left(\frac{4}{2} + \frac{4.615}{2} \right) + 14.07(3.89) \right]$$

$$Y_{c2} = 180.89 \text{ pulg}$$

$$Y_c = 57.92 + 180.89 + \frac{5.5}{2} = 246.56 \text{ pulg}$$

Espesor requerido de ala de la columna sin rigidizador

$$(t_{fc})_{req} = \sqrt{\frac{1.11\phi M_{np}}{\phi_b F_{yc} Y_c}} \quad \phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$(t_{fc})_{req} = \sqrt{\frac{1.11(0.75)(6521.16)}{(0.9)(36)(241.56)}} = 0.706 \text{ pulg.}$$

$$(t_{fc})_{req} = 0.706 \text{ pulg} > t_{fc} = 0.68 \text{ pulg} \quad (\text{necesita rigidizador})$$

15° Resistencia del ala de la columna no rigidizada para determinar la fuerza de diseño del rigidizador

$$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} Y_c t_{fc}^2 \quad \phi = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi M_{cf} = (0.9)(50)(241.56)(0.68)^2 = 5026.38 \text{ klb} - \text{pulg}$$

$$\phi R_n = \frac{\phi M_{cf}}{(d_b - t_{fb})} = \frac{5026.38}{(21 - 0.615)} = 246.57 \text{ klb}$$

$$\phi R_n = 246.57 \text{ klb} > F_{fu} = 168.05 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

No se requiere rigidizador

16° Resistencia de rendimiento local del alma de la columna

$C_t = 1.0$ (asumiendo que no esta al raz de la columna)

$N = t_{fb} = 0.615 \text{ pulg}$ $K_c = P_{fi} - \text{espesor de soldadura}$

$$\phi R_n = \phi C_t [6K_c + N + 2t_p] F_{yc} t_{wc} \quad \phi = 1.0 (\text{LRFD})$$

$$\phi R_n = (1.0)(1.0)[6(1.7) + 0.615 + 2(0.875)](50)(0.425)$$

$$\phi R_n = 267 \text{ klb} > F_{fu} = 168.05 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

No se requiere rigidizador

17° Resistencia al pandeo por compresión del alma de la columna

$$h = d_c - 2K_{columna} = 18.2 - (2)(1.08) = 16.04 \text{ pulg}$$

$$\phi R_n = \frac{\phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \quad \phi = 0.9 (\text{LRFD})$$

$$\phi R_n = \frac{(0.9)(24)(0.425)^3 \sqrt{(29000)(50)}}{16.04}$$

$$\phi R_n = 124.49 \text{ klb} < F_{fu} = 168.05 \text{ klb} \quad (\text{se requierie rigidizador})$$

18° Resistencia al aplastamiento del alma de la columna

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N = t_{fb}}{d_c} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}} \quad \phi = 0.75 (\text{LRFD})$$

$$\phi R_n = (0.75)(0.80)(0.425)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{0.615}{18.2} \right) \left(\frac{0.425}{0.680} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(29000)(50)(0.68)}{0.425}}$$

$$\phi R_n = 175.08 \text{ klb} > F_{fu} = 168.05 \text{ klb} \quad (\text{ok})$$

No se requiere rigidizador

19° Fuerza de diseño del rigidizador de columna

$$F_{cu} = F_{fu} - \min[\phi R_n]$$

$$F_{cu} = F_{fu} - \min \begin{cases} 246.57 \text{ klb} \\ 267.00 \text{ klb} \\ \mathbf{124.49 \text{ klb}} \\ 175.08 \text{ klb} \end{cases} \Leftrightarrow F_{cu} = 168.05 \text{ klb} - 124.49 \text{ klb} = \mathbf{43.56 \text{ klb}}$$

20° Diseño de los rigidizadores

$$R_{u-st} = F_{cu} = 43.56 \text{ klb} \quad \phi = 0.90(\text{LRFD})$$

Área requerida:

$$(A_{st}) = \frac{R_{u-st}}{\phi F_{y-st}} = \frac{43.56}{(0.9)(36 \text{ ksi})} = 1.34 \text{ pulg}^2$$

Ancho mínimo:

$$(b_{st})_{min} = \frac{b_{fc}}{3} - \frac{t_{wc}}{2} = \frac{11}{3} - \frac{0.425}{2} = 3.45 \text{ pulg}$$

Espesor mínimo:

$$(t_{st})_{min} = \frac{A_{st}}{(b_{st})_{min}} = \frac{1.34}{3.45} = 0.4 \text{ pulg} \cong \frac{1}{2} \text{ pulg} = 0.5 \text{ pulg}$$

Ancho requerido:

$$(b_{st})_{req} = \frac{A_{st}}{(t_{st})_{min}} = \frac{1.34}{0.5} = 2.68 \text{ pulg}$$

Utilizaremos $(b_{st}) = 5.28 \text{ pulg}$ para ocupar el ancho del ala de la columna

Longitud mínima:

$$(L_s)_{min} = \frac{d_c}{2} - t_{fc} = \frac{18.2}{2} - 0.68 = 8.42 \text{ pulg}$$

Utilizaremos $(L_s) = 16.84 \text{ pulg}$ para ocupar el largo del ala de la columna

Diseño de las soldaduras de las placas rigidizadoras

El tamaño mínimo para una soldadura de filete con electrodo E70XX para una placa rigidizadora de 1/2 pulg. es 1/4 pulg de acuerdo a las especificaciones del AISC 360-10 (ver Tabla J2.4)

Por lo tanto, usaremos:

Una placa rigidizadora de **PL 1/2" x 5.28" x 16.84"**

ANEXO C
DISEÑO DE LA UNIÓN A CORTANTE TIPO VIGA – TRABE CON ANGULO DOBLE
DE ACUERDO A LA NORMA AISC 360 - 10

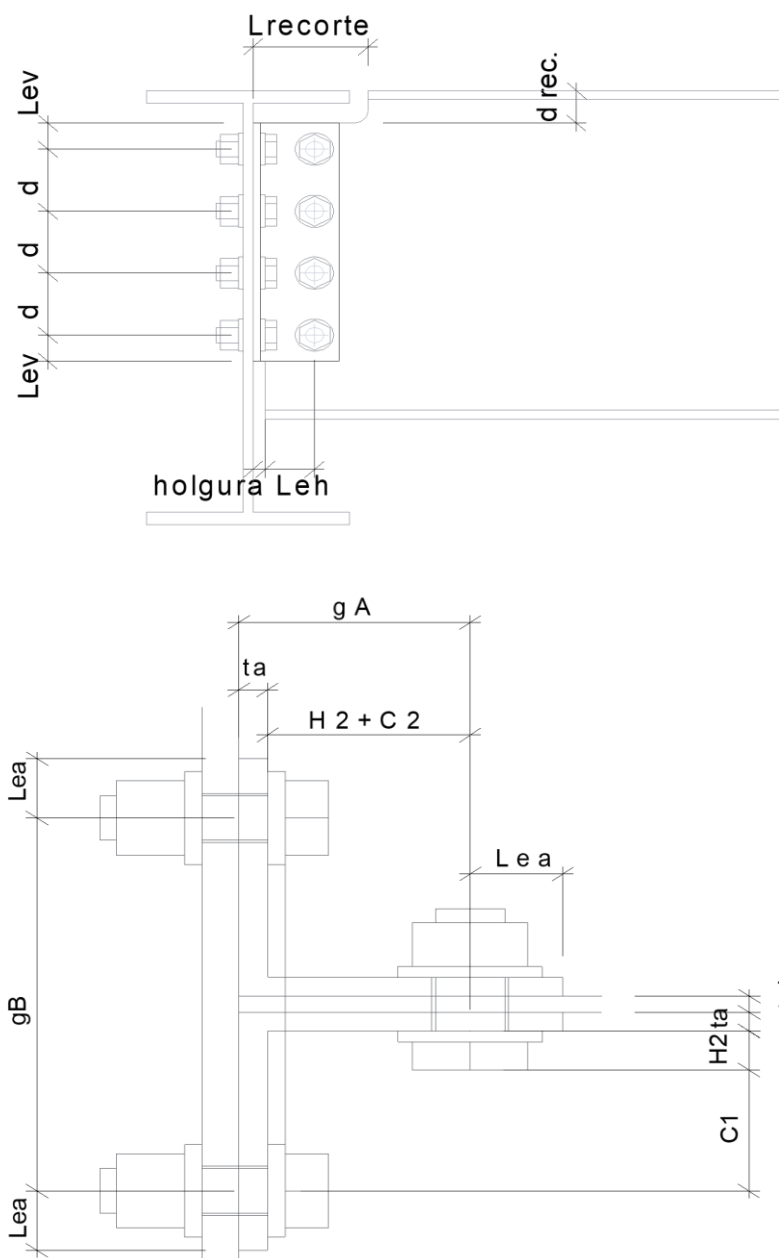


Figura C. 1 Parámetros geométricos de la unión a cortante

Fuente: Elaboración propia

Tabla C. 1
Propiedades geométricas de los miembros

Miembro	Dimensiones		Miembro	Dimensiones	
VIGA W 16x31 Tabla 1-1 AISC 360	d_b	15.9 pulg.	TRABE W 21x62 Tabla 1-1 AISC 360	d_g	21 pulg.
	t_{wb}	0.275 pulg.		t_{wg}	0.4 pulg.
	k_b	1.125 pulg.		k_g	1.3125 pulg.
	-	-		b_{fg}	8.24 pulg.

Fuente: Elaboración propia

Tabla C. 2
Propiedades mecánicas

Miembro	Perfil	Grado	F_y (ksi)	F_u (ksi)	E (ksi)
Viga	W 16 x 31	ASTM-A992	50	65	29000
Trabe	W 21 x 62	ASTM-A992	50	65	29000
Angulo	-	ASTM-A36	36	58	29000
Pernos	-	ASTM-A325		120	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla C. 3
Cargas factorizadas de diseño requerida

M_{uc} (klb – pie)	M_{uc} (klb – pulg.)	V_u (klb)
0.000	0.000	44.77

Fuente: Elaboración propia

1° Longitud de recorte de la viga

$$L_{recorte} = \frac{b_{fg}}{2} - \frac{t_{wg}}{2} - \text{Holgura} + \frac{3}{4} \quad \text{Holgura} = \frac{1}{2} \text{ pulg. (recomend. AISC)}$$

$$L_{recorte} = \frac{8.24}{2} - \frac{0.4}{2} - \frac{1}{2} + \frac{3}{4} = 4.17 \text{ pulg}$$

$$\text{Separacion} = L_{recorte} + \text{Holgura} + \frac{t_{wg}}{2} - \frac{b_{fg}}{2} = 4.17 + 0.5 + 0.1875 - 4.12 = 0.73 \text{ pulg}$$

La separación se encuentra entre $\left[\frac{1}{2}; \frac{3}{4}\right]$, por lo tanto la longitud de recorte es aceptable.

2° Ancho de recorte de la viga

$$d_{recorte} = K_g + \frac{1}{4} = 1.3125 + 0.25 = 1.5625 \text{ pulg}$$

3° Distancia de los tornillos

La distancia entre tornillos mínima de acuerdo al AISC 360-10 es de 3 veces el diámetro del perno y la distancia al borde es de acuerdo a la tabla J3.4; por lo tanto, usaremos:

Pernos de diámetro = \emptyset 3/4 pulg. ASTM – A325

Distancia típica entre pernos = $d = 3$ pulg.

Distancia al borde = $L_{ev} = 1-1/4$ pulg. (recomendación del AISC 360-10)

Distancia $L_{eh} = 1-3/4$ pulg. (recomendación del AISC 360-10)

Distancia $L_{ea} = 1$ pulg. (ver figura C.1)

4° Longitud máxima del ángulo de unión

$$(L_{angulo})_{max} = d_b - d_{recorte} - L_{ev} = 15.9 - 1.5625 - 1.25 = 13 \text{ pulg.}$$

5° Selección del número de tornillos y espesor del ángulo de unión

Carga factorizada $V_u = 44.77 \text{ kips}$

De la Tabla 10-1 AISC 360 – 10, correspondiente a tornillos $\emptyset 3/4$ pulg., ángulo de acero A36 y un perfil W16 A992 – Gr50, seleccionamos:

$n = 4$ tornillos ASTM – A325 N

$e_{angulo} = 5/16$ pulg.

$\phi R_n = 126 \text{ kips} > V_u = 44.77 \text{ kips}$ (ok)

6° Longitud del ángulo requerido de la unión

$$(L_{angulo})_{req} = (n - 1)d + 2L_{ev} = (4 - 1)(3) + 2(1.25) = 11.5 \text{ pulg}$$

$$(L_{angulo})_{req} = 11.5 \text{ pulg} < (L_{angulo})_{max} = 13 \text{ pulg} \quad (ok)$$

7° Perfil del ángulo de unión requerido (ver figura C.1)

De la Tabla 7.15 de las especificaciones del AISC 360-10 se obtiene los siguientes parámetros:

$$(g_A)_{gramil} = t_a + (H_2 + C_2) = 0.3125 + 2.125$$

$$(g_A)_{gramil} = 2.4375 \text{ pulg}$$

$$(g_B)_{gramil} = 2(t_a + H_2 + C_1) + t_{wb} = 2(0.3125 + 1.375 + 1.25) + 0.275$$

$$(g_B)_{gramil} = 6.15 \text{ pulg}$$

Angulo requerido:

$$Largo = \frac{(g_B)_{gramil}}{2} - \frac{t_{wb}}{2} + L_{ea} = \frac{6.15}{2} - \frac{0.275}{2} + 1 = 3.9375 \text{ pulg}$$

$$Largo \cong 4 \text{ pulg}$$

Ancho requerido:

$$Ancho = (g_A)_{gramil} + L_{ea} = 2.4375 + 1 = 3.4375 \text{ pulg}$$

$$Ancho \cong 3\frac{1}{2} \text{ pulg} \quad e_{angulo} = \frac{5}{16} \text{ pulg.} \quad (L_{angulo})_{req} = 11.5 \text{ pulg}$$

Conclusión:

Usaremos un ángulo de **L5/16" x 4" x 3-1/2" x 11.5"** ASTM – A36 con recorte en el ala de la viga de 1.5625 pulg. y longitud de recorte de 4.17 pulg. con 4 filas de pernos ASTM – A325 de 3/4 pulg. de diámetro en agujero estándar.

8° Revisión del alma de la viga soportada

De la Tabla 10-1 AISC 360 – 10 para 4 filas de pernos de 3/4 pulg. de diámetro y material del alma de viga A992 con $F_y = 50$ ksi, $F_u = 65$ ksi, $L_h = 1-3/4$ pulg. y $L_{ev} = 1-1/4$ pulg., se obtiene la resistencia de diseño al aplastamiento para el alma por pulgada de espesor, 262 Kips/pulg. Esto corresponde al estado límite de Ovalamiento del agujero del perno.

Así para una viga W16x31 con $t_{wb} = 0.275$ pulg., se obtiene:

$$\phi R_n = (262 \text{ kips/pulg})(t_{wb})$$

$$\phi R_n = (262 \text{ kips/pulg})(0.275 \text{ pulg})$$

$$\phi R_n = 72.05 \text{ kips} > V_u = 44.77 \text{ kips} \quad (ok)$$

9° Revisión del alma de la trabe de apoyo

De la Tabla 10-1 AISC 360 – 10 para 4 filas de pernos de 3/4 pulg. de diámetro y material de la trabe A992 con $F_y = 50$ ksi, $F_u = 65$ ksi y $t_{wb} = 0.4$ pulg., la resistencia de diseño al aplastamiento del alma de la trabe es:

$$\phi R_n = 2(351 \text{ kips/pulg})(t_{wb})$$

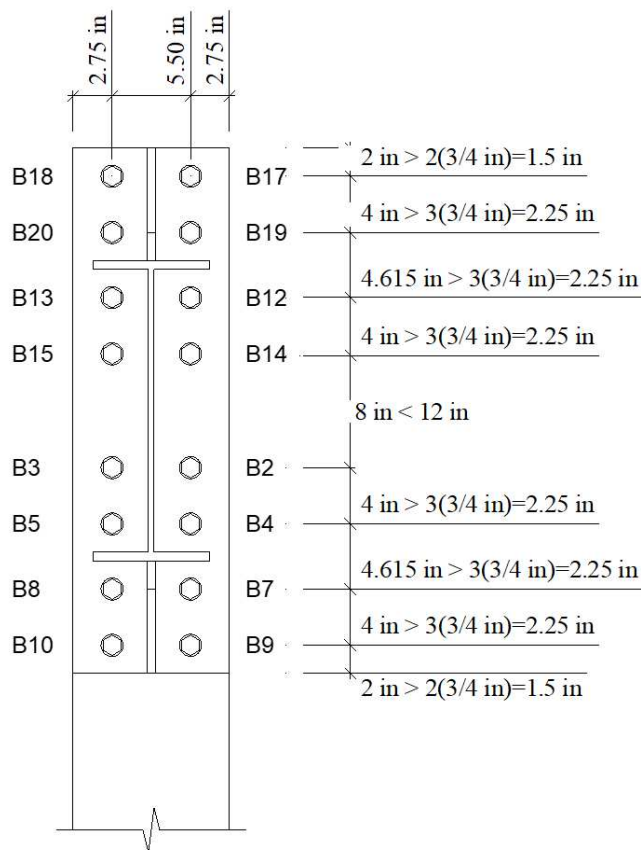
$$\phi R_n = 2(351 \text{ kips/pulg})(0.4 \text{ pulg})$$

$$\phi R_n = 280.8 \text{ kips} > V_u = 44.77 \text{ kips} \quad (ok)$$

ANEXO D

RESISTENCIA DE DISEÑO DE LOS PERNOS DE ACUERDO A LA NORMA
AISC 360 - 10

Perno	Material	$F_{t \rightarrow requerida}$ (kip)	$V_{requerida}$ (kip)
"B2"	"A325"	8.387	7.330
"B3"	"A325"	8.383	7.329
"B4"	"A325"	22.064	7.986
"B5"	"A325"	22.065	7.984
"B7"	"A325"	23.368	7.555
"B8"	"A325"	23.360	7.559
"B9"	"A325"	21.838	9.108
"B10"	"A325"	21.837	9.108
"B12"	"A325"	0.080	5.091
"B13"	"A325"	0.079	5.092
"B14"	"A325"	1.818	5.579
"B15"	"A325"	1.818	5.579
"B17"	"A325"	0.430	4.827
"B18"	"A325"	0.432	4.827
"B19"	"A325"	0.249	4.826
"B20"	"A325"	0.250	4.827



Distancias de los pernos / Anexo B - Sección 2°

Unión tipo viga – columna con chapa de testa extendida

Distancia mínima entre ejes de perno

$$Distancia_{min_agujero} > 3 \cdot Diametro_{perno}$$

cumple especificación AISC 360 - 10 / J3.3

Distancia mínima al borde

$$Distancia_{min_borde} > 2 \cdot Diametro_{perno}$$

cumple especificación AISC 360 - 10 / J3.4

Distancia máxima entre ejes de perno

$$Distancia_{min_agujero} < 12 \text{ in}$$

cumple especificación AISC 360 - 10 / J3.5

Para el diseño, las roscas de los pernos están excluidas de los planos de corte y se considera que la deformación alrededor de los agujeros son importantes

1. Resistencia de diseño tipo aplastamiento en pernos

1.1. Resistencia de diseño a tracción

$$\phi := 0.75 \quad D_{Perno} := \frac{3}{4} \text{ in} \quad A_{b \rightarrow Perno} := \frac{\pi \cdot D_{Perno}^2}{4} = 0.442 \text{ in}^2$$

$$F_{nt \rightarrow traccion} := 90 \text{ ksi} \quad \text{AISC 360 - 10 / Tabla. J3.2}$$

$$\phi R_{n \rightarrow traccion} \quad \text{AISC 360 - 10 / seccion. J3.6}$$

$$\phi R_{n \rightarrow traccion} := \left[\begin{array}{l} \text{for } \Phi \in 1 .. \text{length}(Perno) \\ \quad \left[\begin{array}{l} \phi R_{n \rightarrow traccion_{\phi}} \leftarrow \phi \cdot F_{nt \rightarrow traccion} \cdot A_{b \rightarrow Perno} \\ \phi R_{n \rightarrow traccion} \\ \text{for } \Psi \in 1 .. \text{length}(Perno) \\ \quad \left[\begin{array}{l} \text{if } \phi R_{n \rightarrow traccion_{\Psi}} \geq F_{t \rightarrow requerida_{\Psi}} \\ \quad \left[\begin{array}{l} Resistencia_{\Psi} \leftarrow \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{else} \\ Resistencia_{\Psi} \leftarrow \text{“No cumple norma AISC”} \end{array} \right] \\ Resistencia \end{array} \right] \\ \text{augment}(Perno, \phi R_{n \rightarrow traccion}, F_{t \rightarrow requerida}, Resistencia) \end{array} \right]$$

$$\phi R_{n \rightarrow traccion} = \left[\begin{array}{l} \text{“B2” } 29820.5865 \text{ lbf } 8387 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B3” } 29820.5865 \text{ lbf } 8383 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B4” } 29820.5865 \text{ lbf } 22064 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B5” } 29820.5865 \text{ lbf } 22065 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B7” } 29820.5865 \text{ lbf } 23368 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B8” } 29820.5865 \text{ lbf } 23360 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B9” } 29820.5865 \text{ lbf } 21838 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B10” } 29820.5865 \text{ lbf } 21837 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B12” } 29820.5865 \text{ lbf } 80 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B13” } 29820.5865 \text{ lbf } 79 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B14” } 29820.5865 \text{ lbf } 1818 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B15” } 29820.5865 \text{ lbf } 1818 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B17” } 29820.5865 \text{ lbf } 430 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B18” } 29820.5865 \text{ lbf } 432 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B19” } 29820.5865 \text{ lbf } 249 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \\ \text{“B20” } 29820.5865 \text{ lbf } 250 \text{ lbf } \text{“Cumple norma AISC”} \end{array} \right]$$

1.2 Resistencia de diseño a corte

$$\phi := 0.75$$

$$D_{Perno} := \frac{3}{4} \text{ in}$$

$$A_{b \rightarrow Perno} := \frac{\pi \cdot D_{Perno}^2}{4} = 0.442 \text{ in}^2$$

$$F_{nv \rightarrow corte} := 68 \text{ ksi} \quad \text{AISC 360 - 10 / Tabla. J3.2}$$

$$\phi R_{n \rightarrow corte} \quad \text{AISC 360 - 10 / seccion. J3.6}$$

```

 $\phi R_{n \rightarrow corte} :=$ 
  for  $\Phi \in 1 \dots \text{length}(Perno)$ 
     $\phi R_{n \rightarrow corte_{\Phi}} \leftarrow \phi \cdot F_{nv \rightarrow corte} \cdot A_{b \rightarrow Perno}$ 
   $\phi R_{n \rightarrow corte}$ 
  for  $\Psi \in 1 \dots \text{length}(Perno)$ 
    if  $\phi R_{n \rightarrow corte_{\Psi}} \geq V_{requerida_{\Psi}}$ 
       $Resistencia_{\Psi} \leftarrow$  "Cumple norma AISC"
    else
       $Resistencia_{\Psi} \leftarrow$  "No cumple norma AISC"
   $Resistencia$ 
  augment( $Perno, \phi R_{n \rightarrow corte}, V_{requerida}, Resistencia$ )

```

```

 $\phi R_{n \rightarrow corte} =$ 
  ["B2" 22531.11 lbf 7330 lbf "Cumple norma AISC"
  "B3" 22531.11 lbf 7329 lbf "Cumple norma AISC"
  "B4" 22531.11 lbf 7986 lbf "Cumple norma AISC"
  "B5" 22531.11 lbf 7984 lbf "Cumple norma AISC"
  "B7" 22531.11 lbf 7555 lbf "Cumple norma AISC"
  "B8" 22531.11 lbf 7559 lbf "Cumple norma AISC"
  "B9" 22531.11 lbf 9108 lbf "Cumple norma AISC"
  "B10" 22531.11 lbf 9108 lbf "Cumple norma AISC"
  "B12" 22531.11 lbf 5091 lbf "Cumple norma AISC"
  "B13" 22531.11 lbf 5092 lbf "Cumple norma AISC"
  "B14" 22531.11 lbf 5579 lbf "Cumple norma AISC"
  "B15" 22531.11 lbf 5579 lbf "Cumple norma AISC"
  "B17" 22531.11 lbf 4827 lbf "Cumple norma AISC"
  "B18" 22531.11 lbf 4827 lbf "Cumple norma AISC"
  "B19" 22531.11 lbf 4826 lbf "Cumple norma AISC"
  "B20" 22531.11 lbf 4827 lbf "Cumple norma AISC"]

```

1.3 Resistencia de diseño a tracción y corte combinado

AISC 360 - 10 / seccion. J3.7. Establece que: “El esfuerzo requerido, f_v , ya sea en cortante f_{rv} o a tensión f_{rt} , es igual o menor del 30% del esfuerzo disponible correspondiente F_{nv} o F_{nt} , no es necesario investigar el efecto del esfuerzo combinado”.

$$\phi := 0.75 \quad D_{Perno} := \frac{3}{4} \text{ in} \quad A_{b \rightarrow Perno} := \frac{\pi \cdot D_{Perno}^2}{4} = 0.442 \text{ in}^2$$

$$F_{nt \rightarrow traccion} := 90 \text{ ksi} \quad \text{AISC 360 - 10 / Tabla. J3.2}$$

$$F_{nv \rightarrow corte} := 68 \text{ ksi} \quad \text{AISC 360 - 10 / Tabla. J3.2}$$

a. Esfuerzo requerido a tracción

b. Esfuerzo requerido a cortante

$$f_{rt \rightarrow traccion} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \alpha \in 1 \dots \text{length}(Perno) \\ \left\| \begin{array}{l} F_{t \rightarrow requerida_\alpha} \\ f_{rt \rightarrow traccion_\alpha} \leftarrow \frac{F_{t \rightarrow requerida_\alpha}}{A_{b \rightarrow Perno}} \end{array} \right\| \\ f_{rt \rightarrow traccion} \\ \text{augment}(Perno, f_{rt \rightarrow traccion}) \end{array} \right\|$$

$$f_{rv \rightarrow corte} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \beta \in 1 \dots \text{length}(Perno) \\ \left\| \begin{array}{l} V_{requerida_\beta} \\ f_{rv \rightarrow corte_\beta} \leftarrow \frac{V_{requerida_\beta}}{A_{b \rightarrow Perno}} \end{array} \right\| \\ f_{rv \rightarrow corte} \\ \text{augment}(Perno, f_{rv \rightarrow corte}) \end{array} \right\|$$

$$f_{rt \rightarrow traccion} = \begin{bmatrix} \text{"B2"} & 18984.285 \text{ psi} \\ \text{"B3"} & 18975.23 \text{ psi} \\ \text{"B4"} & 49942.68 \text{ psi} \\ \text{"B5"} & 49944.943 \text{ psi} \\ \text{"B7"} & 52894.332 \text{ psi} \\ \text{"B8"} & 52876.224 \text{ psi} \\ \text{"B9"} & 49431.12 \text{ psi} \\ \text{"B10"} & 49428.857 \text{ psi} \\ \text{"B12"} & 181.083 \text{ psi} \\ \text{"B13"} & 178.819 \text{ psi} \\ \text{"B14"} & 4115.11 \text{ psi} \\ \text{"B15"} & 4115.11 \text{ psi} \\ \text{"B17"} & 973.321 \text{ psi} \\ \text{"B18"} & 977.848 \text{ psi} \\ \text{"B19"} & 563.621 \text{ psi} \\ \text{"B20"} & 565.884 \text{ psi} \end{bmatrix}$$

$$f_{rv \rightarrow corte} = \begin{bmatrix} \text{"B2"} & 16591.726 \text{ psi} \\ \text{"B3"} & 16589.462 \text{ psi} \\ \text{"B4"} & 18076.606 \text{ psi} \\ \text{"B5"} & 18072.079 \text{ psi} \\ \text{"B7"} & 17101.022 \text{ psi} \\ \text{"B8"} & 17110.076 \text{ psi} \\ \text{"B9"} & 20616.295 \text{ psi} \\ \text{"B10"} & 20616.295 \text{ psi} \\ \text{"B12"} & 11523.667 \text{ psi} \\ \text{"B13"} & 11525.93 \text{ psi} \\ \text{"B14"} & 12628.273 \text{ psi} \\ \text{"B15"} & 12628.273 \text{ psi} \\ \text{"B17"} & 10926.093 \text{ psi} \\ \text{"B18"} & 10926.093 \text{ psi} \\ \text{"B19"} & 10923.829 \text{ psi} \\ \text{"B20"} & 10926.093 \text{ psi} \end{bmatrix}$$

c. Análisis del diseño requerido por esfuerzo combinado

```

AnalisisTraccion := for  $\Omega \in 1 \dots \text{length}(Perno)$ 
  ||  $Limite_{\Omega} \leftarrow (30\%) \cdot F_{nt \rightarrow traccion}$ 
  Limite
  for  $\mu \in 1 \dots \text{length}(Perno)$ 
    || if  $f_{rt \rightarrow traccion_{\mu,2}} \leq (30\%) \cdot F_{nt \rightarrow traccion}$ 
    ||  $\xi_{\mu} \leftarrow \text{"No se requiere diseño combinado"}$ 
    || else
    ||  $\xi_{\mu} \leftarrow \text{"Se requiere diseño combinado"}$ 
  ||  $\xi$ 
  ||  $\lambda \leftarrow f_{rt \rightarrow traccion}^{(2)}$ 
  ||  $\text{augment}(Perno, \lambda, Limite, \xi)$ 

```

```

AnalisisTraccion = [
  "B2" 18984.285 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B3" 18975.23 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B4" 49942.68 psi 27000 psi "Se requiere diseño combinado"
  "B5" 49944.943 psi 27000 psi "Se requiere diseño combinado"
  "B7" 52894.332 psi 27000 psi "Se requiere diseño combinado"
  "B8" 52876.224 psi 27000 psi "Se requiere diseño combinado"
  "B9" 49431.12 psi 27000 psi "Se requiere diseño combinado"
  "B10" 49428.857 psi 27000 psi "Se requiere diseño combinado"
  "B12" 181.083 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B13" 178.819 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B14" 4115.11 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B15" 4115.11 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B17" 973.321 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B18" 977.848 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B19" 563.621 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
  "B20" 565.884 psi 27000 psi "No se requiere diseño combinado"
]

```



```

AnalisisCortante :=
  for  $\Omega \in 1 \dots \text{length}(Perno)$ 
  ||  $Limite_{\Omega} \leftarrow (30\%) \cdot F_{nv \rightarrow corte}$ 
  ||
  Limite
  for  $\mu \in 1 \dots \text{length}(Perno)$ 
  || if  $f_{rv \rightarrow corte_{\mu, 2}} \leq (30\%) \cdot F_{nv \rightarrow corte}$ 
  ||
  ||  $\zeta_{\mu} \leftarrow \text{"No se requiere dise\u00f1o combinado"}$ 
  ||
  || else
  ||
  ||  $\zeta_{\mu} \leftarrow \text{"Se requiere dise\u00f1o combinado"}$ 
  ||
  ||
   $\zeta$ 
   $\lambda \leftarrow f_{rv \rightarrow corte}^{(2)}$ 
  augment(Perno,  $\lambda$ , Limite,  $\zeta$ )

```

```

AnalisisCortante =
  [
    "B2" 16591.726 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B3" 16589.462 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B4" 18076.606 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B5" 18072.079 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B7" 17101.022 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B8" 17110.076 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B9" 20616.295 psi 20400 psi "Se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B10" 20616.295 psi 20400 psi "Se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B12" 11523.667 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B13" 11525.93 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B14" 12628.273 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B15" 12628.273 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B17" 10926.093 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B18" 10926.093 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B19" 10923.829 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
    "B20" 10926.093 psi 20400 psi "No se requiere dise\u00f1o combinado"
  ]

```

De acuerdo a lo establecido por el AISC 360 - 10 / seccion. J3.7; entonces tomamos el caso mas desfavorable para calcular la resistencia de dise\u00f1o combinada de los pernos, que seria para los pernos que est\u00e1n en tracci\u00f3n ya que cuentan con 6 pernos, mientras que los pernos a cortante solo se encuentran 2. Por tanto, tomaremos solo los 6 pernos B4, B5, B7, B8, B9, B10, los cuales requieren del dise\u00f1o combinado

d. Esfuerzo de tensión nominal modificado incluyendo los efectos del esfuerzo cortante

$$F_{nt \rightarrow traccion} := 90 \text{ ksi} \quad \text{AISC 360 - 10 / Tabla. J3.2}$$

$$F_{nv \rightarrow corte} := 68 \text{ ksi} \quad \text{AISC 360 - 10 / Tabla. J3.2}$$

$$F'_{nt \rightarrow traccion} = 1.3 \cdot F_{nt \rightarrow traccion} - \frac{F_{nt \rightarrow traccion}}{\phi \cdot F_{nv \rightarrow corte}} \cdot f_{rv \rightarrow corte} \leq F_{nt \rightarrow traccion} \quad \text{AISC 360 - 10 / seccion. J3.7}$$

$$Pernos_{Analisar} := \text{stack}(Perno_3, Perno_4, Perno_5, Perno_6, Perno_7, Perno_8)$$

$$f_{rv \rightarrow corte} := \text{stack}(f_{rv \rightarrow corte_{3,2}}, f_{rv \rightarrow corte_{4,2}}, f_{rv \rightarrow corte_{5,2}}, f_{rv \rightarrow corte_{6,2}}, f_{rv \rightarrow corte_{7,2}}, f_{rv \rightarrow corte_{8,2}})$$

$$f_{rv \rightarrow corte} = \begin{bmatrix} 18.077 \\ 18.072 \\ 17.101 \\ 17.11 \\ 20.616 \\ 20.616 \end{bmatrix} \text{ ksi} \quad Pernos_{Analisar} = \begin{bmatrix} \text{"B4"} \\ \text{"B5"} \\ \text{"B7"} \\ \text{"B8"} \\ \text{"B9"} \\ \text{"B10"} \end{bmatrix}$$

$$F'_{nt \rightarrow traccion} := \left| \begin{array}{l} \text{for } \Pi \in 1..length(Pernos_{Analisar}) \\ \quad \left| \begin{array}{l} F'_{nt \rightarrow traccion_{\Pi}} \leftarrow 1.3 \cdot F_{nt \rightarrow traccion} - \frac{F_{nt \rightarrow traccion}}{\phi \cdot F_{nv \rightarrow corte}} \cdot f_{rv \rightarrow corte_{\Pi}} \\ F'_{nt \rightarrow traccion} \\ \text{for } \Delta \in 1..length(Pernos_{Analisar}) \\ \quad \left| \begin{array}{l} Limite_{\Delta} \leftarrow F_{nt \rightarrow traccion} \\ Limite \\ \text{for } \Gamma \in 1..length(Pernos_{Analisar}) \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{if } F'_{nt \rightarrow traccion_{\Gamma}} \leq Limite_{\Gamma} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \Phi_{\Gamma} \leftarrow \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{else} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \Phi_{\Gamma} \leftarrow \text{"No cumple norma AISC"} \end{array} \right. \end{array} \right. \\ \Phi \\ \text{augment}(Pernos_{Analisar}, F'_{nt \rightarrow traccion}, Limite, \Phi) \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$F'_{nt \rightarrow traccion} = \begin{bmatrix} \text{"B4"} & 85100.107 & psi & 90000 & psi & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B5"} & 85108.096 & psi & 90000 & psi & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B7"} & 86821.726 & psi & 90000 & psi & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B8"} & 86805.748 & psi & 90000 & psi & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B9"} & 80618.303 & psi & 90000 & psi & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B10"} & 80618.303 & psi & 90000 & psi & \text{"Cumple norma AISC"} \end{bmatrix}$$

e. Resistencia de dise\u00f1o

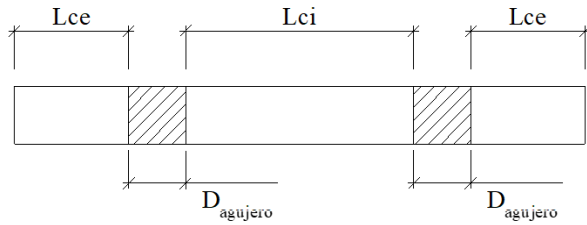
$$\phi R_{n \rightarrow traccion_corte} = \phi \cdot F'_{nt \rightarrow traccion} \cdot A_{b \rightarrow Perno} \quad \text{AISC 360 - 10 / seccion. J3.7}$$

$$F_{t \rightarrow requerida} := \text{stack} \left(F_{t \rightarrow requerida_3}, F_{t \rightarrow requerida_4}, F_{t \rightarrow requerida_5}, F_{t \rightarrow requerida_6}, F_{t \rightarrow requerida_7}, F_{t \rightarrow requerida_8} \right)$$

$$\phi R_{n \rightarrow traccion_corte} := \begin{array}{|l} \text{for } \lambda \in 1 \dots \text{length} (Pernos_{Analizar}) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \phi R_{n \rightarrow traccion_corte_\lambda} \leftarrow \phi \cdot F'_{nt \rightarrow traccion_{\lambda,2}} \cdot A_{b \rightarrow Perno} \end{array} \right\| \\ \quad \phi R_{n \rightarrow traccion_corte} \\ \quad \text{for } \tau \in 1 \dots \text{length} (Pernos_{Analizar}) \\ \quad \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } \phi R_{n \rightarrow traccion_corte_\tau} \geq F_{t \rightarrow requerida_\tau} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} Resistencia_\tau \leftarrow \text{"Cumple norma AISC"} \end{array} \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad \left\| \begin{array}{l} Resistencia_\tau \leftarrow \text{"No cumple norma AISC"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ \quad Resistencia \\ \quad \text{augment} (Pernos_{Analizar}, \phi R_{n \rightarrow traccion_corte}, F_{t \rightarrow requerida}, Resistencia) \end{array}$$

$$\phi R_{n \rightarrow traccion_corte} = \begin{bmatrix} \text{"B4"} & 28197.057 & lbf & 22064 & lbf & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B5"} & 28199.704 & lbf & 22065 & lbf & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B7"} & 28767.498 & lbf & 23368 & lbf & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B8"} & 28762.204 & lbf & 23360 & lbf & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B9"} & 26712.057 & lbf & 21838 & lbf & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B10"} & 26712.057 & lbf & 21837 & lbf & \text{"Cumple norma AISC"} \end{bmatrix}$$

2. Resistencia de diseño tipo aplastamiento en agujeros del perno



agujero = estandar

$$D_{Perno} := \frac{3}{4} \text{ in} = 0.75 \text{ in}$$

$$D_{agujero} := D_{Perno} + \frac{1}{8} \text{ in} = 0.875 \text{ in}$$

a. Distancia libre en la dirección de la carga

$$L_{ce} = distancia - \frac{D_{agujero}}{2}$$

$$L_{ci} = distancia - D_{agujero}$$

$$distancia := \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 4.615 \\ 4 \\ 8 \\ 4 \\ 4.615 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix} \text{ in}$$

La dirección que se tomara para el calculo de cada perno será la vertical ya que las fuerzas se aplican en la dirección contraria a la gravedad (ver Figura 4.1. 2)

$$Lc_1 := \left\| \begin{array}{l} L_c^{\hat{1}} \leftarrow distancia^{\hat{1}} - \frac{D_{agujero}}{2} \\ \text{for } \eta \in 2..8 \\ \left\| \begin{array}{l} L_c^{\hat{\eta}} \leftarrow distancia^{\hat{\eta}} - D_{agujero} \\ L_c \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

$$Lc_2 := \left\| \begin{array}{l} L_c^{\hat{8}} \leftarrow distancia^{\hat{9}} - \frac{D_{agujero}}{2} \\ \text{for } \eta \in 1..7 \\ \left\| \begin{array}{l} L_c^{\hat{\eta}} \leftarrow distancia^{\hat{\eta+1}} - D_{agujero} \\ L_c \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

$$Pernos_{col \rightarrow 1} := \text{stack} \left(Perno_{14}, Perno_{16}, Perno_{10}, Perno_{12}, Perno_2, Perno_4, Perno_6, Perno_8 \right)$$

$$Pernos_{col \rightarrow 2} := \text{stack} \left(Perno_{13}, Perno_{15}, Perno_9, Perno_{11}, Perno_1, Perno_3, Perno_5, Perno_7 \right)$$

$$Pernos_{col} := \text{augment} \left(Pernos_{col \rightarrow 1}, Pernos_{col \rightarrow 2} \right) \quad Lc := \text{augment} \left(Lc_1, Lc_2 \right)$$

$$Pernos_{col} = \begin{bmatrix} \text{"B18"} & \text{"B17"} \\ \text{"B20"} & \text{"B19"} \\ \text{"B13"} & \text{"B12"} \\ \text{"B15"} & \text{"B14"} \\ \text{"B3"} & \text{"B2"} \\ \text{"B5"} & \text{"B4"} \\ \text{"B8"} & \text{"B7"} \\ \text{"B10"} & \text{"B9"} \end{bmatrix}$$

$$Lc = \begin{bmatrix} 0.13 & 0.26 \\ 0.26 & 0.312 \\ 0.312 & 0.26 \\ 0.26 & 0.594 \\ 0.594 & 0.26 \\ 0.26 & 0.312 \\ 0.312 & 0.26 \\ 0.26 & 0.13 \end{bmatrix} \text{ ft}$$

$$\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_ala}} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \zeta \in 1 \dots \text{length}(Pernos_{col}^{(1)}) \\ \left\| \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_ala}}^{\widehat{\zeta}} \leftarrow \min(\phi R_{n \rightarrow \text{ala}_{\zeta,1}}, \phi R_{n \rightarrow \text{ala}_{\zeta,2}}) \right\| \\ \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_ala}} \\ \text{augment}(Pernos_{col}, \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_ala}}) \end{array} \right\|$$

$$\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_ala}} = \begin{bmatrix} \text{"B18"} & \text{"B17"} & 59670 & lbf \\ \text{"B20"} & \text{"B19"} & 59670 & lbf \\ \text{"B13"} & \text{"B12"} & 59670 & lbf \\ \text{"B15"} & \text{"B14"} & 59670 & lbf \\ \text{"B3"} & \text{"B2"} & 59670 & lbf \\ \text{"B5"} & \text{"B4"} & 59670 & lbf \\ \text{"B8"} & \text{"B7"} & 59670 & lbf \\ \text{"B10"} & \text{"B9"} & 59670 & lbf \end{bmatrix}$$

Si $F_{u \rightarrow col} = F_{u \rightarrow placa}$ y $t_{f \rightarrow col} \neq t_{placa}$
entonces solo se toma para el diseño
por aplastamiento el mínimo de los
dos espesores

$$t_{\text{Diseño}} := \min(t_{f \rightarrow col}, t_{placa}) = 0.68 \text{ in}$$

d.2 Placa t_{placa}

$$\phi R_{n \rightarrow placa} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \rho \in 1 \dots \text{length}(Pernos_{col}^{(1)}) \\ \left\| \phi R_{n \rightarrow 1}^{\widehat{\rho}} \leftarrow 1.2 \cdot \phi \cdot L_{C_{\text{Diseño}}_{\rho,3}} \cdot t_{placa} \cdot F_{u \rightarrow placa} \right\| \\ \phi R_{n \rightarrow 1} \\ \text{for } \chi \in 1 \dots \text{length}(Pernos_{col}^{(1)}) \\ \left\| \phi R_{n \rightarrow 2}^{\widehat{\chi}} \leftarrow 2.4 \cdot \phi \cdot D_{\text{Perno}} \cdot t_{placa} \cdot F_{u \rightarrow placa} \right\| \\ \phi R_{n \rightarrow 2} \\ \text{augment}(\phi R_{n \rightarrow 1}, \phi R_{n \rightarrow 2}) \end{array} \right\|$$

$$\phi R_{n \rightarrow placa} = \begin{bmatrix} 71.367 & 68.513 \\ 142.734 & 68.513 \\ 142.734 & 68.513 \\ 142.734 & 68.513 \\ 142.734 & 68.513 \\ 142.734 & 68.513 \\ 142.734 & 68.513 \end{bmatrix} \text{ kip}$$

$$\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_placa}} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \zeta \in 1 \dots \text{length}(Pernos_{col}^{(1)}) \\ \left\| \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_placa}}^{\widehat{\zeta}} \leftarrow \min(\phi R_{n \rightarrow \text{placa}_{\zeta,1}}, \phi R_{n \rightarrow \text{placa}_{\zeta,2}}) \right\| \\ \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_placa}} \\ \text{augment}(Pernos_{col}, \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_placa}}) \end{array} \right\|$$

$$\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_placa}} = \begin{bmatrix} \text{"B18"} & \text{"B17"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B20"} & \text{"B19"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B13"} & \text{"B12"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B15"} & \text{"B14"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B3"} & \text{"B2"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B5"} & \text{"B4"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B8"} & \text{"B7"} & 68512.5 & \text{lb}f \\ \text{"B10"} & \text{"B9"} & 68512.5 & \text{lb}f \end{bmatrix}$$

La resistencia por aplastamiento menos eficiente es la producida por el ala de la columna con un espesor de $t_{f \rightarrow col} = 0.68 \text{ in}$ y $F_{u \rightarrow col} = 65 \text{ ksi}$ lo cual indica que la resistencia por aplastamiento depende del tipo de material y el espaciamiento de los pernos.

e. Resistencia que controla la unión

$$Resistencia_{traccion} := \max(\phi R_{n \rightarrow traccion}^{(2)}) = 29.821 \text{ kip}$$

$$Resistencia_{corte} := \max(\phi R_{n \rightarrow corte}^{(2)}) = 22.531 \text{ kip}$$

$$Resistencia_{traccion_corte} := \max(\phi R_{n \rightarrow traccion_corte}^{(2)}) = 28.767 \text{ kip}$$

$$Resistencia_{aplastamiento} := \min(\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_ala}}^{(3)}, \phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento_placa}}^{(3)}) = 59.67 \text{ kip}$$

La resistencia de diseño que controla en la " Unión tipo viga – columna con chapa de testa extendida" es la resistencia por corte, por tanto la verificación de la resistencia por aplastamiento $\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento}}$ se realiza solo con la cortante requerida ($V_{requerida}$)

e. Verificación de la resistencia por aplastamiento

$$\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento}} := \left\| \begin{array}{l} f(\Psi, \Lambda) \leftarrow Resistencia_{aplastamiento} \\ \phi R_{n \rightarrow \text{aplast}} \leftarrow \text{matrix}(\text{length}(\text{Perno}), 1, f) \\ \text{for } \Phi \in 1 \dots \text{length}(\text{Perno}) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } \phi R_{n \rightarrow \text{aplast}}_{\Phi} > V_{requerida}_{\Phi} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} Resistencia_{\Phi} \leftarrow \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{else} \\ Resistencia_{\Phi} \leftarrow \text{"No cumple norma AISC"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ Resistencia \\ \text{augment}(\text{Perno}, \phi R_{n \rightarrow \text{aplast}}, V_{requerida}, Resistencia) \end{array} \right\|$$

$$\phi R_{n \rightarrow \text{aplastamiento}} = \left[\begin{array}{l} \text{"B2"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 7330 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B3"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 7329 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B4"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 7986 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B5"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 7984 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B7"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 7555 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B8"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 7559 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B9"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 9108 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B10"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 9108 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B12"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 5091 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B13"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 5092 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B14"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 5579 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B15"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 5579 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B17"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 4827 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B18"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 4827 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B19"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 4826 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"B20"} \quad 59670 \text{ lbf} \quad 4827 \text{ lbf} \quad \text{"Cumple norma AISC"} \end{array} \right]$$

Nota:

Los valores de cortante requerida ($V_{t \rightarrow \text{requerida}}$) y tensión requerida ($F_{t \rightarrow \text{requerida}}$) es calculado con en el software Idea Statica Connection por el método de elementos finitos, para su respectiva verificación a resistencia según lo calculado.

ANEXO E

RESISTENCIA DE DISEÑO DE LA SOLDADURA DE ACUERDO A LA NORMA
AISC 360 - 10

<i>Miembro</i>	<i>Borde</i>	<i>L</i> (in)	<i>L_s</i> (in)	θ (°)	<i>F_n</i> (kip)	<i>t_{Miem}</i> (in)	<i>t_{Borde}</i> (in)	<i>F_{u_Miem}</i> (ksi)	<i>F_{u_Borde}</i> (ksi)
“Columna w”	“Placa 2”	15.236	0.25	10.75	2.491	0.425	0.5	65	58
“Columna w”	“Placa 1”	15.236	0.25	10.20	1.569	0.425	0.5	65	58
“Columna bfl”	“Placa 2”	4.492	0.25	57.65	3.443	0.680	0.5	65	58
“Columna bfl”	“Placa 1”	4.492	0.25	61.64	1.326	0.680	0.5	65	58
“Columna tfl”	“Placa 2”	4.484	0.25	77.47	5.374	0.680	0.5	65	58
“Columna tfl”	“Placa 1”	4.492	0.25	85.11	5.435	0.680	0.5	65	58
“Columna tfl”	“Placa 4”	4.484	0.25	84.56	6.580	0.680	0.5	65	58
“Columna w”	“Placa 4”	15.236	0.25	60.73	2.597	0.425	0.5	65	58
“Columna bfl”	“Placa 4”	4.492	0.25	23.34	1.859	0.680	0.5	65	58
“Columna tfl”	“Placa 3”	4.492	0.25	86.39	2.319	0.680	0.5	65	58
“Columna w”	“Placa 3”	15.206	0.25	25.55	1.542	0.425	0.5	65	58
“Columna bfl”	“Placa 3”	4.492	0.25	68.38	2.216	0.680	0.5	65	58
“Trabe bfl”	“Placa 5”	12.770	0.3125	45.65	6.719	0.615	0.625	65	58
“Placa 7”	“Placa 5”	6.862	0.3125	87.20	7.731	0.875	0.625	58	58
“Placa 7”	“Placa 6”	6.862	0.3125	78.53	7.807	0.875	0.625	58	58
“Trabe tfl”	“Placa 6”	12.770	0.3125	49.33	6.971	0.615	0.625	65	58
“Placa 7”	“Trabe bfl”	8.232	0.3125	65.13	15.458	0.875	0.615	58	65
“Placa 7”	“Trabe w”	20.346	0.3125	80.77	10.569	0.875	0.4	58	65
“Placa 7”	“Trabe tfl”	8.232	0.3125	66.11	6.746	0.875	0.615	58	65

Unión tipo viga – columna con chapa de testa extendida

Soldadura tipo filete, mediante el proceso de soldadura de arco metálico protegido (SMAW) utilizando un electrodo E70XX y cateto (L_s).

Los valores de F_n (esfuerzo requerido) y θ (ángulo de inclinación) son calculados con el MEF de Idea Statica Connection para la verificación de la resistencia de la soldadura.

Material para las columnas / trabe es A992 y para las placas A36 → Anexo B

1. Resistencia de diseño para el metal de la soldadura

a. Garganta efectiva

Para soldaduras de filete realizada mediante el proceso SMAW

$$t_e = L_s \cdot \sin(45^\circ) = 0.707 \cdot L_s$$

LRFD / secc. J2. 2a

$t_e := \left\ \begin{array}{l} \text{for } \Phi \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\ \begin{array}{l} \widehat{t}_e \leftarrow L_{s_\Phi} \cdot \sin(45^\circ) \\ t_e \end{array} \right\ \\ \text{for } \alpha \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\ \begin{array}{l} \text{if } t_{e_\alpha} \leq \frac{3}{16} \text{ in} \\ \left\ \begin{array}{l} g_\alpha \leftarrow \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{else} \\ \left\ \begin{array}{l} g_\alpha \leftarrow \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \end{array} \right\ \end{array} \right\ \\ \text{augment}(\text{Miembro}, \text{Borde}, t_e, g) \end{array} \right\ $	$t_e = \left[\begin{array}{llll} \text{"Columna w"} & \text{"Placa 2"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 1"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 2"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 1"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 2"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 1"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 4"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 4"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 4"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 3"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 3"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 3"} & 0.01473 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 3/16 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Trabe bfl"} & \text{"Placa 5"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Paca 7"} & \text{"Placa 5"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Placa 6"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Trabe tfl"} & \text{"Placa 6"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe bfl"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe w"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe tfl"} & 0.01841 \text{ ft} & \text{"}\blacktriangleleft 1/4 \text{"}\blacktriangleright\text{"} \end{array} \right]$
---	---

b. Factor de reducción de longitud efectiva

AISC 360 - 10 / sección J2.2b

$$\text{Cuando } \frac{L}{L_s} < 100$$

Se aplica el factor de reducción β

$$\beta = 1.2 - 0.002 \cdot \left(\frac{L}{L_s} \right) \leq 1.0$$

$\beta := \left\ \begin{array}{l} \text{for } \eta \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\ \begin{array}{l} \beta_\eta \leftarrow 1.2 - 0.002 \cdot \left(\frac{L_\eta}{L_{s_\eta}} \right) \\ \beta \end{array} \right\ \\ \text{for } \mu \in 1 \dots \text{length}(\text{Borde}) \\ \left\ \begin{array}{l} \text{if } \beta_\mu \leq 1 \\ \left\ \begin{array}{l} \widehat{\Omega}^\mu \leftarrow \text{"Requiere reduccion de L"} \\ \text{else} \\ \left\ \begin{array}{l} \widehat{\Omega}^\mu \leftarrow \text{"No requiere reduccion de L"} \end{array} \right\ \end{array} \right\ \\ \Omega \\ \text{augment}(\text{Miembro}, \text{Borde}, \Omega, \beta) \end{array} \right\ $	$\left[\begin{array}{l} \beta_\eta \\ \beta \\ \widehat{\Omega}^\mu \\ \Omega \end{array} \right]$
--	---

$$\beta = \begin{bmatrix} \text{"Columna w"} & \text{"Placa 2"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.078 \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 1"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.078 \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 2"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 1"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 2"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 1"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 4"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 4"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.078 \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 4"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 3"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 3"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.078 \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 3"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.164 \\ \text{"Trabe bfl"} & \text{"Placa 5"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.118 \\ \text{"Paca 7"} & \text{"Placa 5"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.156 \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Placa 6"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.156 \\ \text{"Trabe tfl"} & \text{"Placa 6"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.118 \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe bfl"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.147 \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe w"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.07 \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe tfl"} & \text{"No requiere reduccion de L"} & 1.147 \end{bmatrix}$$

c. Longitud critica

La longitud critica por pulgada se puede obtener mediante la relacion de su longitud de soldadura real sobre el redondeo al entero mas próximo

$$L_C = \frac{L}{\text{redondeo_al_entero_mas_proximo_de_L}}$$

$$L_C := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \lambda \in 1 \dots \text{length}(\text{Miembro}) \\ \left\| \begin{array}{l} L_{C_\lambda} \leftarrow \frac{L_\lambda}{\text{round}\left(\frac{L_\lambda}{\text{in}}\right)} \\ L_C \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

$$L_C = \begin{bmatrix} 1.016 \\ 1.016 \\ 1.123 \\ 1.123 \\ 1.121 \\ 1.123 \\ 1.121 \\ 1.016 \\ 1.123 \\ 1.123 \\ 1.014 \\ 1.123 \\ 0.982 \\ 0.98 \\ 0.98 \\ 0.982 \\ 1.029 \\ 1.017 \\ 1.029 \end{bmatrix} \text{ in}$$

d. Resistencia de diseño a cortante por longitud crítica

AISC 360 - 10 / sección J2.4 / Tabla J2.5

$A_{we} = L_C \cdot t_e$	Área efectiva
$F_{EXX} := 70 \text{ ksi}$	Resistencia a tensión mínima del electrodo E70XX
$F_{nw} = (0.6 \cdot F_{EXX}) \cdot (1.0 + 0.50 \sin(\theta))^2$	Esfuerzo del metal de la soldadura
$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \quad \phi := 0.75$	Resistencia de diseño de una soldadura específica
$\phi R_n > F_n$	Requerimiento de AISC

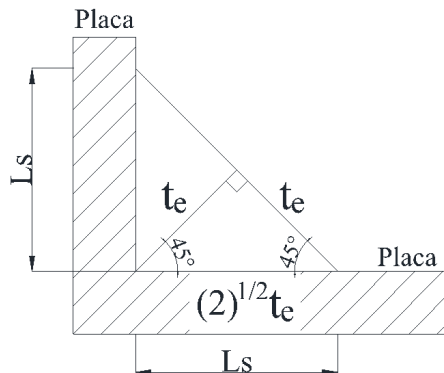
```

 $\phi R_{n \rightarrow soldadura} :=$ 
  for  $\sigma \in 1..rows(Miembro)$ 
     $A_{we}^{\hat{\sigma}} \leftarrow L_C^{\hat{\sigma}} \cdot t_{e_{\sigma,3}}$ 
   $A_{we}$ 
  for  $\Phi \in 1..rows(Miembro)$ 
     $F_{nw}^{\hat{\Phi}} \leftarrow (0.6 \cdot F_{EXX}) \cdot (1.0 + 0.50 \sin(\theta_{\Phi}))^2$ 
   $F_{nw}$ 
  for  $\Delta \in 1..rows(Miembro)$ 
     $\phi R_n^{\hat{\Delta}} \leftarrow \phi \cdot F_{nw}^{\hat{\Delta}} \cdot L_C^{\hat{\Delta}} \cdot t_{e_{\Delta,3}}$ 
   $\phi R_n$ 
  for  $\rho \in 1..rows(Miembro)$ 
    if  $\phi R_n^{\rho} > F_n^{\rho}$ 
       $reistencia\_soldadura_{\rho} \leftarrow$  "Cumple norma AISC"
    else
       $reistencia\_soldadura_{\rho} \leftarrow$  "No cumple norma AISC"
   $reistencia\_soldadura$ 
  augment  $(Miembro, Borde, \phi R_n, F_n, resistencia\_soldadura)$ 

```

$\phi R_{n \rightarrow soldadura} =$	“Columna w”	“Placa 2”	5754.467 lbf	2491 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna w”	“Placa 1”	5744.761 lbf	1569 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna bfl”	“Placa 2”	8484.843 lbf	3443 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna bfl”	“Placa 1”	8674.591 lbf	1326 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna tfl”	“Placa 2”	9216.471 lbf	5374 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna tfl”	“Placa 1”	9357.361 lbf	5435 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna tfl”	“Placa 4”	9335.324 lbf	6580 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna w”	“Placa 4”	7808.077 lbf	2597 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna bfl”	“Placa 4”	6744.165 lbf	1859 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna tfl”	“Placa 3”	9367.685 lbf	2319 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna w”	“Placa 3”	6169.971 lbf	1542 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Columna bfl”	“Placa 3”	8955.617 lbf	2216 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Trabe bfl”	“Placa 5”	8585.573 lbf	6719 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Paca 7”	“Placa 5”	10226.898 lbf	7731 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Placa 7”	“Placa 6”	10100.13 lbf	7807 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Trabe tfl”	“Placa 6”	8804.171 lbf	6971 lbf	“Cumple norma AISC”
	“Placa 7”	“Trabe bfl”	10110.244 lbf	15458 lbf	“No cumple norma AISC”
“Placa 7”	“Trabe w”	10530.412 lbf	10569 lbf	“No cumple norma AISC”	
“Placa 7”	“Trabe tfl”	10156.302 lbf	6746 lbf	“Cumple norma AISC”	

2. Resistencia de diseño para el metal base



AISC 360 - 10 / sección J4

Para un estado limite a la ruptura (F_u) y cortante

$$\phi R_n = F_{n \rightarrow BM} \cdot A_{BM} \quad \text{donde:}$$

El área efectiva en función de su garganta efectiva

$$A_{BM} = L_C \cdot t_e \cdot \sqrt{2} \quad \rightarrow \quad A_{BM} = A_{we} \cdot \sqrt{2}$$

El área efectiva en función de cateto $A_{BM} = L_C \cdot L_s$

Esfuerzo nominal del metal base $F_{n \rightarrow BM} = 0.6 \cdot F_u$ se toma como el mínimo, entre los elementos conectados y con un esfuerzo a la ruptura F_u de acuerdo al material.

a. Esfuerzo a la ruptura de los elementos conectados

$$F_{u \rightarrow \text{minimo}} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \rho \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\| F_{u_\rho} \leftarrow \min \left(F_{u_Miem}^{\widehat{\rho}}, F_{u_Borde}^{\widehat{\rho}} \right) \right\| \\ F_u \end{array} \right\| \quad F_{u \rightarrow \text{minimo}} = \begin{array}{l} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ 18 \end{array} \begin{bmatrix} 58 \\ 58 \\ 58 \\ 58 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ ksi}$$

Los elementos mas débiles para este caso son las placas, ya que estas presentan un material A36 con un esfuerzo a la ruptura de 58 ksi

b. Resistencia de diseño a cortante por longitud critica

$$\phi R_{n \rightarrow \text{material}} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } \Phi \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\| A_{BM_\Phi} \leftarrow L_{C_\Phi} \cdot t_{e_{\Phi,3}} \cdot \sqrt{2} \right\| \\ A_{BM} \\ \text{for } \Gamma \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\| F_{n \rightarrow BM_\Gamma} \leftarrow 0.6 \cdot F_{u \rightarrow \text{minimo}_\Gamma} \right\| \\ F_{n \rightarrow BM} \\ \text{for } \Delta \in 1 \dots \text{rows}(\text{Miembro}) \\ \left\| \phi R_n^{\widehat{\Delta}} \leftarrow \phi \cdot F_{n \rightarrow BM_\Delta} \cdot A_{BM_\Delta} \right\| \\ \phi R_n \\ \text{for } a \in 1 \dots \text{length}(\text{Borde}) \\ \left\| \text{if } \phi R_n > F_{n_a} \right\| \\ \left\| \left\| \text{resistencia_material}^{\widehat{a}} \leftarrow \text{“Cumple norma AISC”} \right\| \right\| \\ \left\| \text{else} \right\| \\ \left\| \left\| \text{resistencia_material}^{\widehat{a}} \leftarrow \text{“No cumple norma AISC”} \right\| \right\| \\ \text{resistencia_material} \\ \text{augment}(\text{Miembro}, \text{Borde}, \phi R_n, F_n, \text{resistencia_material}) \end{array} \right\|$$

$$\phi R_{n \rightarrow material} = \left[\begin{array}{lllll} \text{"Columna w"} & \text{"Placa 2"} & 6627.66 \text{ lbf} & 2491 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 1"} & 6627.66 \text{ lbf} & 1569 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 2"} & 7327.575 \text{ lbf} & 3443 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 1"} & 7327.575 \text{ lbf} & 1326 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 2"} & 7314.525 \text{ lbf} & 5374 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 1"} & 7327.575 \text{ lbf} & 5435 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 4"} & 7314.525 \text{ lbf} & 6580 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 4"} & 6627.66 \text{ lbf} & 2597 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 4"} & 7327.575 \text{ lbf} & 1859 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna tfl"} & \text{"Placa 3"} & 7327.575 \text{ lbf} & 2319 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna w"} & \text{"Placa 3"} & 6614.61 \text{ lbf} & 1542 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Columna bfl"} & \text{"Placa 3"} & 7327.575 \text{ lbf} & 2216 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Trabe bfl"} & \text{"Placa 5"} & 8011.947 \text{ lbf} & 6719 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Paca 7"} & \text{"Placa 5"} & 7995.455 \text{ lbf} & 7731 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Placa 6"} & 7995.455 \text{ lbf} & 7807 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Trabe tfl"} & \text{"Placa 6"} & 8011.947 \text{ lbf} & 6971 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe bfl"} & 8392.781 \text{ lbf} & 15458 \text{ lbf} & \text{"No cumple norma AISC"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe w"} & 8297.353 \text{ lbf} & 10569 \text{ lbf} & \text{"No cumple norma AISC"} \\ \text{"Placa 7"} & \text{"Trabe tfl"} & 8392.781 \text{ lbf} & 6746 \text{ lbf} & \text{"Cumple norma AISC"} \end{array} \right]$$

c. Resistencia que controla la unión

$$Resistencia_{Soldadura} := \max(\phi R_{n \rightarrow soldadura}^{(3)}) = 10.53 \text{ kip}$$

$$Resistencia_{Material} := \max(\phi R_{n \rightarrow material}^{(3)}) = 8.393 \text{ kip}$$

La resistencia de diseño que controla en la " Unión tipo viga – columna con chapa de testa extendida" es la resistencia del metal base, y siendo menos resistente que el metal de la soldadura.

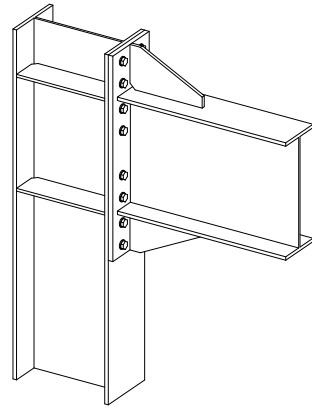
Nota:

Cuando se hacen soldaduras, el material del electrodo deberá tener propiedades del metal base. Si las propiedades son comparables, se dice que el metal de aportación es compatible con el metal base. Es decir, sus resistencias nominales son similares

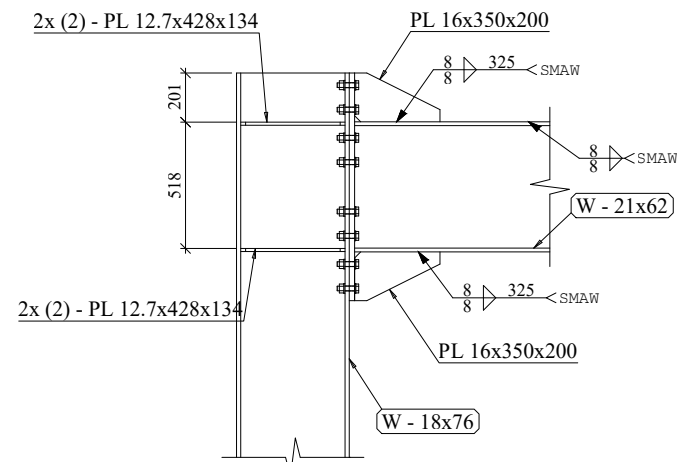
$$Compatibilidad := \frac{Resistencia_{Material}}{Resistencia_{Soldadura}} \cdot 100 = 79.7 \text{ .\%}$$

ANEXO F

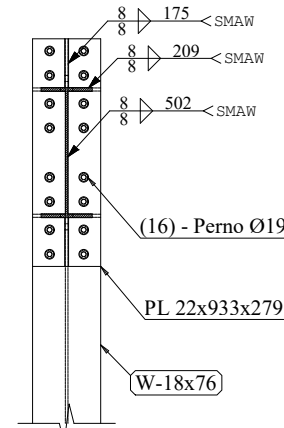
PLANO DE DETALLE DE LAS UNIONES METALICAS SEGUN SU TIPO



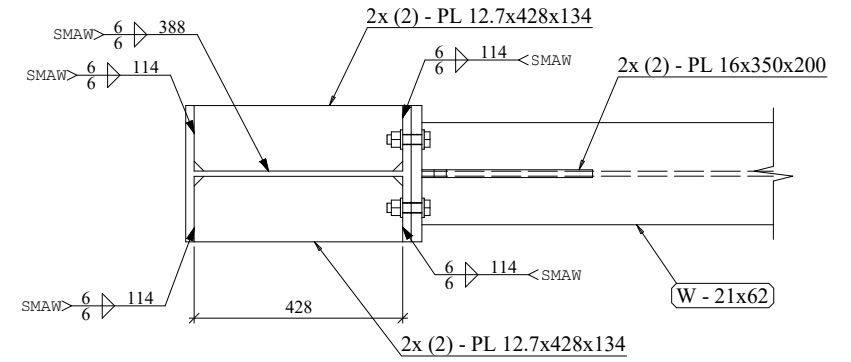
Union tipo viga - columna con chapa de testa extendida
Vista - Isometrico
escala 1:20



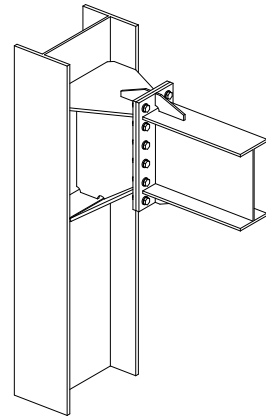
Vista - Elevacion
escala 1:20



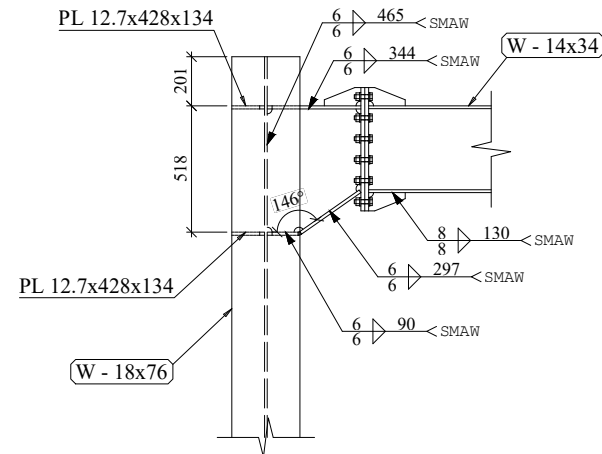
Vista - Transversal
escala 1:20



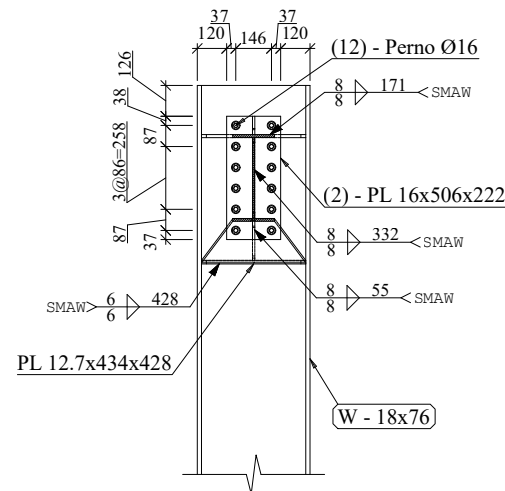
Vista - Planta
escala 1:10



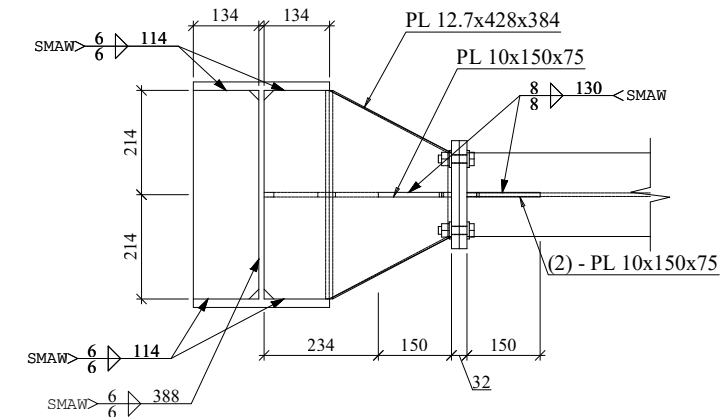
Union tipo viga - columna con chapa de testa irregular
Vista - Isometrico
escala 1:20



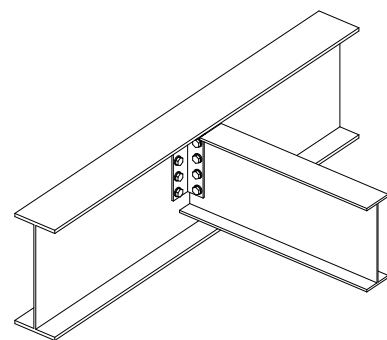
Vista - Elevacion
escala 1:20



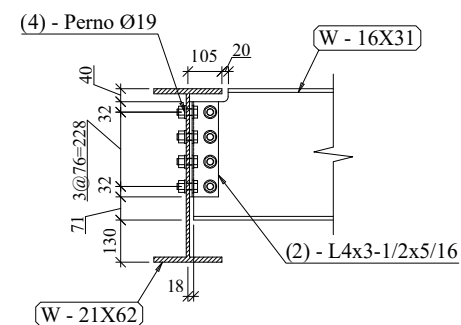
Vista - Transversal
escala 1:20



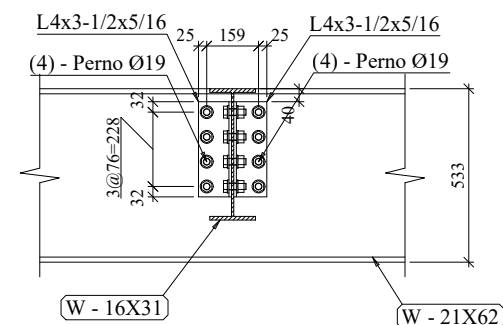
Vista - Planta
escala 1:10



Union tipo viga - trabe con angulo doble
Vista - Isometrico
escala 1:20



Vista - Elevacion
escala 1:15



Vista - Transversal
escala 1:15

DOCUMENTO REF.:		DESCRIPCION DEL DOCUMENTO:		ESPECIFICACIONES TECNICAS		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA		PROYECTO:		REVISION:	
				1.- DIMENSIONES EN mm. 2.- LAS COTAS PREVALECEAN SOBRE EL DIBUJO. 3.- MATERIAL ACERO CALIDAD ASTM A36 / ASTM A992 4.- MATERIAL PERNO CALIDAD ASTM A325 5.- MATERIAL ELECTRODO E-70XX 6.- SOLDADURA ARCO METALICO PROTEGIDO (SMAW). 7.- TOLERANCIA SEGUN AISC Y AWS D1.1				ANALISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METALICAS DE ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES UTILIZANDO EL SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION			
						Av. Pacifico 508 - Nuevo Chimbote - Ancash (51)-43-310445 Chimbote - Ancash - Perú.		ESCUELA PROFESIONAL: E.A.P. INGENIERIA MECANICA		CONTENIDO: DETALLE DE LAS UNIONES METALICAS SEGUN SU TIPO. N° DE PLANO: UM - 001	
						FORMATO: A3		MODELADO: JRC		FECHA INI.: 04/10/2020 ESCALA: INDICADA	
						FACULTAD: INGENIERIA		DISEÑADO POR: JHONATAN ROMERO CASTILLO.			



DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo,

JHONATAN ALBERTO ROMERO CASTILLO

Facultad:	<input type="checkbox"/> Ciencias <input type="checkbox"/> Educación <input checked="" type="checkbox"/> Ingeniería
Escuela Profesional:	Mecánica.
Departamento Académico:	Mecánica.
Escuela de Posgrado	<input type="checkbox"/> Maestría <input type="checkbox"/> Doctorado

Programa: Proyecto de tesis.

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

ANALISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN UNIONES METALICAS DE ACERDO
 A LAS NORMAS INTERNACIONALES UTILIZANDO EL SOFTWARE
 IDEA STATICA CONNECTION.

presentado en 04 folios, para la obtención del Grado académico: ()

Título profesional: (X) Investigación anual: ()

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 07 de OCTUBRE de 2020.

Firma:

Nombres y Apellidos: Jhonatan Alberto Romero Castillo.

DNI: 47154048.

NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.