

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO DE CONEXIONES EMPERNADAS Y
SOLDADAS EN LA ESTRUCTURA METÁLICA DE
LA PLANTA DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO
SOLVAY CORONEL - ESMETAL SAC**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

MARCO ANTONIO JUAN DE DIOS BUSTAMANTE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO

HUANCAYO – PERÚ

2022

ASESOR

Dr. MARIO ARELLANO VÍLCHEZ

AGRADECIMIENTO

A Dios por sobre todas las cosas, por la fortaleza interna que me brinda día a día, por guiar mis pasos para ser mejor ser humano.

A mi familia por su incondicional apoyo y muestras de afecto.

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Mecánica por sus enseñanzas y apoyo académico en mi formación profesional.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre, por haber motivado siempre en mí la vocación por la ingeniería, por su ejemplo de valentía y actitud decidida frente a la vida, siempre lo llevaré en mis pensamientos.

A mi madre, por haberme inculcado valores desde niño que fomentaron mi formación íntegra como profesional, por su ejemplo de esfuerzo y dedicación con sus hijos, digno de admirar y reconocer.

A mis hermanas, por sus muestras de afecto y apoyo emocional.

RESUMEN

En la presente tesis “Diseño de Conexiones Empernadas y Soldadas en la Estructura Metálica de la Planta de Peróxido de Hidrógeno Solvay Coronel en la empresa Esmetal SAC”, se buscó atender la necesidad de falta de memorias de cálculo para lograr el objetivo de diseñar las conexiones empernadas y soldadas de la estructura mencionada. Estos diseños fueron imprescindibles para realizar los planos de fabricación dentro de la empresa.

La metodología de investigación utilizada en este estudio fue el deductivo, porque se consideraron las leyes o principios generales que rigen el diseño de conexiones para llegar a establecer conclusiones particulares que se usaron en cada tipo de conexión. La investigación realizada fue de tipo tecnológica con un nivel descriptivo. El diseño de la investigación fue también descriptivo.

Lo que se pretendió con este estudio es realizar las memorias de cálculo para las conexiones empernadas y soldadas que se necesitan en la estructura. Esto inició con la recopilación de los requerimientos estructurales para los diferentes elementos a conectar, los cuales fueron suministrados por el diseñador estructural. En base a esto, se estableció la teoría básica de la física, mecánica de materiales y estructuras de acero que se aplicaron en cada uno de los casos, donde se aplicó adicionalmente las normas internacionales para este tipo de diseño, tales como AISC y AWS. En tal sentido, los resultados conseguidos fueron las conexiones diseñadas satisfactoriamente conforme a normativa AISC, donde se verificó que cada uno de los elementos que conforma la conexión (pernos, soldadura, planchas) es capaz de resistir la carga solicitada. Asegurando de esta manera un óptimo resultado para este tipo de diseño.

Palabras clave: diseño de conexión, estructura de acero, metodología de diseño LRFD, conexiones empernadas, conexiones soldadas.

ABSTRACT

In the present thesis “Design of bolted and welded connections in the steel structure of Solvay Coronel hydrogen peroxide plant in the company Esmetal SAC” it is sought to attend to the need of lack of calculation sheet to accomplish the objective of designing the bolted and welded connections of the aforementioned structure. These designs were indispensable to do the shop drawings in the company.

The investigation methodology used in this study was the deductive, because it was taken into account the general laws and principles that govern the connections design to establish particular conclusions that were used in each type of connection. The investigation done was technological type with a descriptive level. The investigation design was descriptive as well.

What it was intended in this study is to do the calculation sheet for bolted and welded connections that are needed in the structure. This began with the gathering of the structural requirements for the different elements to connect, which were supplied by the structural designer. Base on this, it was established the basic theory of physics, mechanics of materials and steel structures that were applied in each case, where it was also applied the international codes for this type of design, such as AISC and AWS. In that regard, the results we got were designed connections satisfactorily in compliance with AISC code, where it was verified that each element of the connection (bolts, welding, plates) it is capable to withstand the requiered load. Ensuring that way an optimum result for this type of design.

Key words: connection design, steel structure, LRFD design methodology, bolted connections, welded connections.

ÍNDICE GENERAL

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Fundamentación del problema	3
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Problema general.....	5
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.4 Justificación	5
1.4.1 Razones que motivan la investigación	5
1.4.2 Importancia del tema de investigación	5
1.5 Alcances y limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.2 Bases teóricas	8
2.2.1 Diseño.....	8
2.2.2 Acero estructural.....	9
2.2.3 Conexiones emperradas	9
2.2.4 Conexiones soldadas.....	10
2.2.5 Tipo de conexión.....	10
2.2.6 Metodología de diseño de conexiones.....	11
2.2.7 Tipo de junta	11
2.2.8 Estados limites.....	12
2.2.9 Miembros a tracción.....	12
2.2.10 Miembros a compresión.....	18
2.2.11 Miembros a flexión	21
2.2.12 Miembros a cortante	25
2.2.13 Resistencia a fuerzas combinadas.....	26
2.2.14 Pernos de alta resistencia.....	27
2.2.15 Tamaño de los agujeros para pernos.....	27
2.2.16 Distancias mínimas al borde	28
2.2.17 Separación mínima entre pernos	29
2.2.18 Resistencia de pernos a corte ó tracción	29
2.2.19 Resistencia al aplastamiento en agujero de pernos.....	30
2.2.20 Resistencia de pernos cargados excéntricamente.....	32
2.2.21 Resistencia de soldadura.....	35
2.2.22 Resistencia de soldadura por cargas excéntricas.....	37

2.2.23 Alas y almas con fuerzas concentradas.....	40
2.2.24 El método de la fuerza uniforme	43
2.2.25 Fuerzas en conexión tipo chevron	46
2.2.26 Fuerzas en conexión de cartela en placa base	48
2.2.27 Fuerzas en conexiones a momento	50
2.2.28 Fuerzas en conexión tipo conector	50
2.2.29 Forma ó tipología de conexiones simples	53
2.2.30 Forma ó tipología de conexiones a momento	55
2.3 Bases conceptuales	57
2.3.1 Conexión.....	57
2.3.2 Coronel	57
2.3.3 Esfuerzo.....	57
2.3.4 ESMETAL SAC.....	57
2.3.5 Estructura Metálica	58
2.3.6 Planta de Peróxido de Hidrógeno	58
2.3.7 Resistencia	58
2.3.8 Solvay	58
2.4 Hipótesis.....	58
2.5 Operacionalización de variables.....	59

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método de investigación.....	60
3.2 Tipo de investigación	60
3.3 Nivel de investigación	60
3.4 Diseño de la investigación	61
3.5 Unidad de observación.....	61

3.6 Técnicas de recolección de datos	61
3.7 Procedimiento de recolección de datos	61

CAPÍTULO IV

CÁLCULO DE CONEXIONES EMPERNADAS Y SOLDADAS

4.1 Consideraciones de Diseño	62
4.2 Definición del procedimiento de cálculo	67
4.3 Cálculo de las Conexiones	69

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Presentación de resultados	131
5.2 Discusión e interpretación de resultados	147
5.3 Aportes y aplicaciones	148
CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES	150
BIBLIOGRAFÍA	151
ANEXOS	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Vista 3D de la estructura metálica del área de hidrogenación de la planta de peróxido de hidrogeno Solvay Coronel.....	4
Figura 2.1: Conexión apernada, empalme a momento	9
Figura 2.2: Unión soldada de diagonales con cartela	10
Figura 2.3: Secciones de posibles fallas en placa.....	13
Figura 2.4: Distancia x para conexiones atornilladas	14
Figura 2.5: Ilustración del ancho de la sección de whitmore	16
Figura 2.6: Falla en la sección de whitmore de conexión soldada	16
Figura 2.7: Bloque cortante.....	17
Figura 2.8: Factor de reducción U_{bs} para bloque cortante	18
Figura 2.9: Variación de esfuerzo de flexión	22
Figura 2.10: Pandeo local a flexión de vigas recortadas en ambas alas.....	24
Figura 2.11: Deformación de agujeros	30
Figura 2.12: Desgarramiento de plancha en perno de borde.....	31
Figura 2.13: Valor de L_c para pernos en bordes e intermedios.....	32
Figura 2.14: Grupo de pernos cargados excéntricamente	33
Figura 2.15: Método de centro instantáneo para grupo de pernos cargados excéntricamente.....	33
Figura 2.16: Obtención del coeficiente C para pernos cargados excéntricamente	34
Figura 2.17: Soldadura transversal y longitudinal cargados concéntricamente	37
Figura 2.18: Rotación de alrededor del centro instantáneo.....	37

Figura 2.19: Determinación del factor C para soldaduras cargadas excéntricamente.....	39
Figura 2.20: Fuerzas en lado de cartela soldada	40
Figura 2.21: Transferencia de fuerza por el método de fuerza uniforme.....	44
Figura 2.22: Método de fuerza uniforme- caso especial	45
Figura 2.23: Fuerzas en cartela chevron.....	46
Figura 2.24: Fuerzas en sección a-a (direcciones positivas mostradas).....	47
Figura 2.25: Fuerzas en sección b-b (direcciones positivas mostradas).....	47
Figura 2.26: Distribución de fuerzas en cartela de placa base.....	48
Figura 2.27: Línea de fluencia en alma de columna.....	49
Figura 2.28: Fuerzas en conexiones de momento	50
Figura 2.29: Fuerzas en cartelas de conexión	51
Figura 2.30: Fuerzas internas en cartela de conexión	51
Figura 2.31: Medidas en geometría de cartela.....	52
Figura 2.32: Conexiones con ángulo doble	53
Figura 2.33: Conexión con placa de extremo de cortante.....	53
Figura 2.34: Conexiones de asiento sin rigidizar.....	54
Figura 2.35: Conexiones de asiento rigidizadas.....	54
Figura 2.36: Conexión con placa simple	55
Figura 2.37: Conexión a momento con planchas en las alas.....	56
Figura 2.38: Conexión con alas directamente soldadas.....	56
Figura 2.39: Conexiones de momento con placa de extremo	57
Figura 4.1: Ubicación de conexiones N°1, N°2 y N°3 en estructura.....	65
Figura 4.2: Ubicación de conexiones N°4, N°5, N°6 y N°7 en estructura.....	66
Figura 4.3: Diagrama de flujo para cálculo de conexiones.....	68
Figura 4.4: Esquema de conexión diagonal con cartela.....	69

Figura 4.5: Bloque de corte en plancha PL1-forma en C	75
Figura 4.6: Bloque de corte en plancha PL1-forma en 2L.....	76
Figura 4.7: Bloque de corte en plancha PL1-forma en 1L.....	76
Figura 4.8: Bloque de corte en cartela tg	77
Figura 4.9: Longitud de pandeo L_{max1} -cartela conectado en 1 lado.....	79
Figura 4.10: Longitud de pandeo L_{max2} -cartela conectado en 2 lados.....	80
Figura 4.11: Esquema de conexión diagonal con viga y columna-Nudo.....	82
Figura 4.12: Fuerzas actuantes entre interfaz de cartela, viga y columna	88
Figura 4.13: Bloque de corte en cartela tg1 por carga cortante-forma en L.....	95
Figura 4.14: Bloque de corte en cartela tg1 por carga axial-forma en L.....	95
Figura 4.15: Bloque de corte en cartela tg1 por carga axial-forma en C.....	96
Figura 4.16: Descomposición vectorial de fuerzas en plancha PL2	97
Figura 4.17: Cálculo de coeficiente C para pernos en plancha PL2.....	100
Figura 4.18: Bloque de corte en plancha PL2 por carga cortante-forma en L	101
Figura 4.19: Bloque de corte en plancha PL2 por carga axial-forma en L	102
Figura 4.20: Bloque de corte en plancha PL2 por carga axial-forma en C.....	103
Figura 4.21: Bloque de corte en alma de viga por carga axial-forma en C	108
Figura 4.22: Descomposición vectorial de fuerzas en plancha PL1	109
Figura 4.23: Cálculo de coeficiente C para pernos en plancha PL1.....	113
Figura 4.24: Bloque de corte en plancha PL1 por carga cortante-forma en L	114
Figura 4.25: Bloque de corte en plancha PL1 por carga axial-forma en L	114
Figura 4.26: Bloque de corte en plancha PL1 por carga axial-forma en C.....	115
Figura 4.27: Esquema de conexión chevron.....	121
Figura 4.28: Fuerzas resultantes en cartela tg, sección a-a.....	122
Figura 4.29: Fuerzas resultantes en cartela tg, sección b-b.....	122
Figura 4.30: Esquema de conexión diagonal llegando a placa base	123

Figura 4.31: Fuerzas resultantes en cartela tg	123
Figura 4.32: Esquema de conexión viga con viga.....	124
Figura 4.33: Fuerza resultante para viga 1	125
Figura 4.34: Esquema de conexión viga soldado a columna	125
Figura 4.35: Fuerzas resultantes en interfaz viga con columna	126
Figura 4.36: Esquema de conexión para empalme de viga	127
Figura 4.37: Fuerzas resultantes en alas y alma de viga	128
Figura 4.38: Esquema de conexión para cartela de diagonal	128
Figura 4.39: Ubicación de secciones a determinar su resistencia.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Factor de reducción para miembros a tensión	15
Tabla 2.2: Valor para factores de longitud efectiva K.....	20
Tabla 2.3: Tamaño nominal de Agujeros	27
Tabla 2.4: Distancia mínima la borde para agujeros standard	28
Tabla 2.5: Resistencia nominal de pernos	29
Tabla 2.6: Coeficientes C1 para electrodos	38
Tabla 2.7: Operacionalización de la variable de estudio.....	59
Tabla 4.1: Consideraciones de diseño	62
Tabla 4.2: Cargas y tipo de conexión.....	63
Tabla 5.1: Conexión N°1-Resultados-Diagonal tubo con cartela	132
Tabla 5.2: Relaciones D/C para conexión diagonal tubo con cartela	133
Tabla 5.3: Conexión N°1-Resultados-Nudo	134
Tabla 5.4: Relaciones D/C para conexión de nudo	135
Tabla 5.5: Conexión N°2-Resultados-Chevron	137
Tabla 5.6: Relaciones D/C para conexión chevron	138
Tabla 5.7: Conexión N°3-Resultados-Diagonal llegando a placa base	138
Tabla 5.8: Relaciones D/C para conexión diagonal llegando a placa base....	139
Tabla 5.9: Conexión N°4-Resultados-viga-viga	140
Tabla 5.10: Relaciones D/C para conexión viga - viga.....	140
Tabla 5.11: Conexión N°5-Resultados-viga con columna	141
Tabla 5.12: Relaciones D/C para conexión viga - columna.....	141
Tabla 5.13: Conexión N°6-Resultados-Empalme de viga	142

Tabla 5.14: Relaciones D/C para conexión empalme de viga.....	143
Tabla 5.15: Conexión N°7-Resultados-diagonal L con cartela.....	143
Tabla 5.16: Relaciones D/C para conexión diagonal L con cartela.....	144
Tabla 5.17: Conexión N°7-Resultados-Conector	144
Tabla 5.18: Relaciones D/C para conexión tipo conector	145
Tabla 5.19: Resultados de conexiones diseñadas	146

INTRODUCCIÓN

El diseño de conexiones emperradas y soldadas para estructuras metálicas es de gran importancia para el sector metalmeccánico de nuestro país, porque garantizan que los elementos fabricados puedan soportar las cargas requeridas; consiguiendo todas las prestaciones de servicio para el que fue construido la estructura. En la empresa Esmetal sac se tenía la necesidad de que su oficina de ingeniería diseñe las conexiones para la estructura metálica del área de hidrogenación de la planta de peróxido de hidrogeno Solvay Coronel, por tanto, el objetivo de este estudio fue elaborar las memorias de cálculo para estas conexiones, lo cual se consiguió mediante el uso de la metodología de cálculo LRFD que a su vez cumple con la norma AISC. Estos diseños se utilizaron posteriormente para la elaboración de planos de taller con los que finalmente la empresa fabricó la estructura.

El desarrollo de la presente investigación está organizado en cinco capítulos. En el primer capítulo se planteó el problema y la necesidad del diseño de las conexiones emperradas y soldadas en la estructura metálica para la planta de peróxido de hidrogeno Solvay Coronel en la empresa Esmetal Sac, así como los objetivos, alcances y limitaciones, y las razones que motivaron la presente investigación.

En el segundo capítulo se presentan las bases teóricas, bases conceptuales y se presenta la operacionalización de variables habiendo indicado que el presente estudio no tuvo hipótesis.

En el tercer capítulo se hace mención al método, tipo y nivel de investigación que se usó, así como también al diseño de la investigación, unidad de observación, técnicas y procedimientos de recolección de datos.

En el cuarto capítulo se realizó el diseño de las conexiones a través de procedimientos de cálculo según la metodología LRFD y que son de conformidad con las normas AISC. El resultado de estos cálculos permitió verificar que los elementos conectantes son capaces de resistir las cargas solicitadas. Se presenta en detalle el cálculo de una de las conexiones y la determinación y descomposición vectorial de cargas actuantes para las demás conexiones para los que se muestra el detalle de cálculo en los anexos de esta investigación.

En el quinto capítulo se presentan los resultados, la discusión e interpretación de los resultados.

Finalmente, se presenta las conclusiones, recomendaciones y anexos. En los anexos se incluye las hojas de cálculo electrónicas que contienen el desarrollo de los cálculos necesarios para todas las conexiones de esta investigación.

Marco A. Juan de Dios B.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa metalmecánica Esmetal SAC, ubicado en Lima, dedicada a la elaboración de ingeniería de detalle y fabricación de estructuras metálicas, tenía la necesidad de que su área de ingeniería calcule las conexiones empernadas y soldadas que se iban a utilizar para la estructura metálica del área de hidrogenación de la Planta de Peróxido de Hidrógeno Solvay Coronel.

En aquel momento, la empresa no contaba con las memorias de cálculo de conexiones específicos para la estructura mencionada; siendo esto una necesidad primordial para la culminación del proyecto que le fue encomendado. En tal sentido, el diseño de estas conexiones debió satisfacer todos los aspectos necesarios para conseguir un óptimo resultado, esto involucró cumplir con las exigencias solicitadas por el diseñador estructural y con lo establecido en las normas internacionales vigentes que rigen este tipo de diseño, asimismo es importante considerar que durante la etapa del diseño de estas conexiones se realizó una pertinente selección del tipo de conexión para favorecer la simplicidad de los procesos de fabricación y montaje; consiguiendo de esta manera un beneficio de los efectos económicos que estos producen.

Por tanto, en el presente estudio de investigación se llegó a diseñar las conexiones emperradas y soldadas en base a los procedimientos de cálculo pertinentes para cada unión. Estos procedimientos fueron realizados conforme a la metodología LRFD del AISC y están preparados para cumplir los requerimientos de carga establecidos por el diseño.

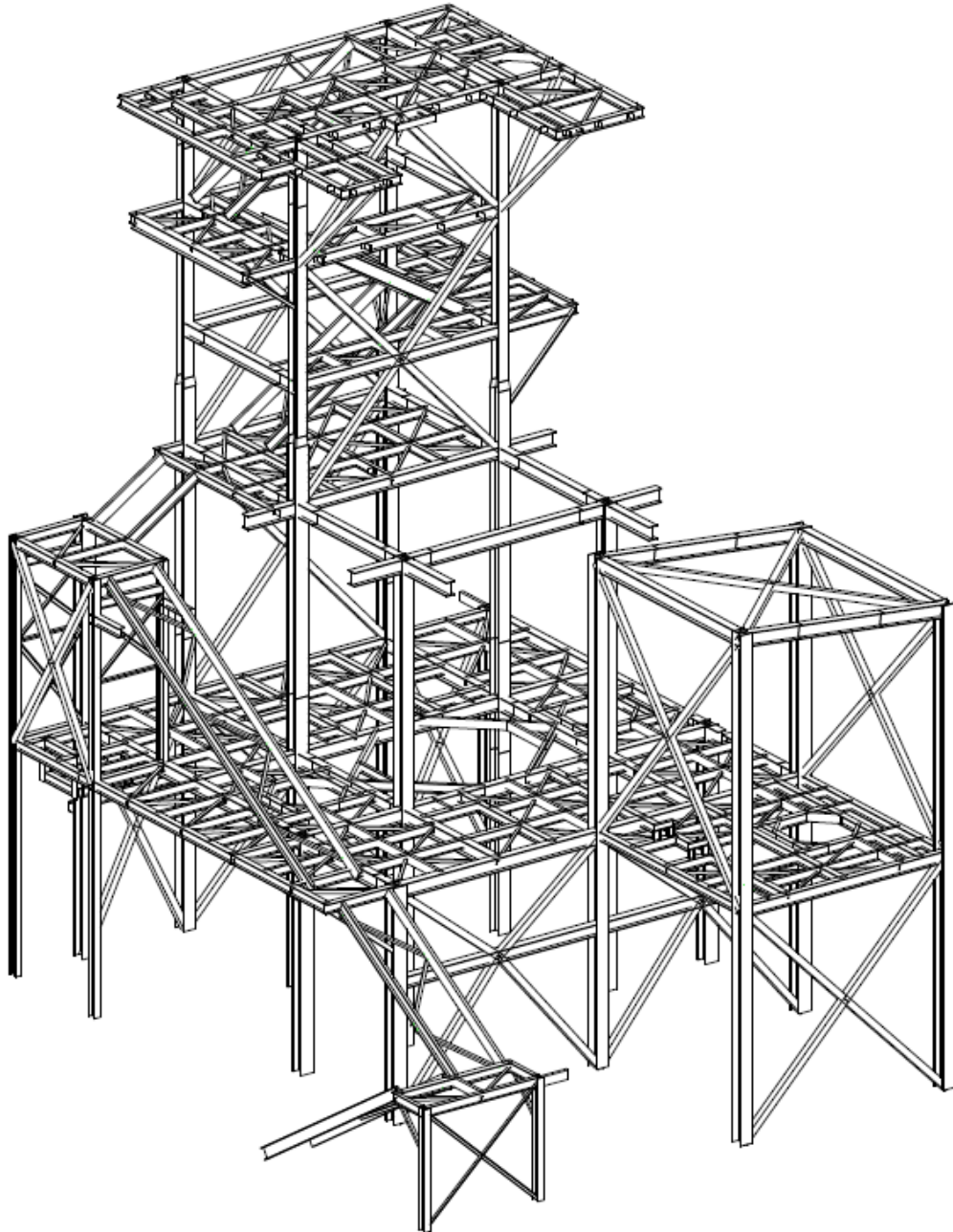


Figura 1.1: Vista 3D de la estructura metálica del área de hidrogenación de la planta de peróxido de hidrógeno Solvay Coronel

Fuente: Elaboración propia

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar las conexiones empernadas y soldadas en la estructura metálica de la planta de peróxido de hidrogeno Solvay en la empresa Esmetal SAC para soportar las cargas solicitadas?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Diseñar las conexiones empernadas y soldadas en la estructura metálica de la planta de peróxido de hidrógeno Solvay Coronel en la empresa Esmetal SAC para soportar las cargas solicitadas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 Razones que motivan la investigación

La presente investigación buscó beneficiar a la empresa ESMETAL SAC a través de la realización del cálculo de conexiones de la estructura que le fue adjudicada y para el cual se han tenido que desarrollar los planos de fabricación en base a estos cálculos. Por tal razón, se desarrollaron memorias de cálculo específicos para las diferentes tipologías de conexión encontradas en dicha estructura. Asimismo, se busca que los resultados obtenidos puedan asegurar un producto de calidad sustentándose en el cumplimiento de normativas internacionales vigentes.

Adicionalmente, la presente investigación tiene la intención de aportar a la industria metalmeccánica las memorias de cálculo de conexiones que se desarrollaron para la estructura en estudio y que podrán ser aplicadas en estructuras de otros proyectos que tengan los mismos requerimientos estructurales.

1.4.2 Importancia del tema de investigación

La importancia de la investigación recae en poder definir claramente los procedimientos de cálculo específicos según el tipo de unión estructural que se diseñe, esto garantiza un resultado con el adecuado

comportamiento estructural para el que fueron concebidos en etapa de diseño, asegurando en consecuencia la integridad de la construcción para seguridad de sus ocupantes o para los fines que hayan sido construidos.

Asimismo, esta investigación es muy importante para mejorar los procesos internos en la oficina de ingeniería de la empresa Esmetal sac debido al incremento de sus capacidades de producción por la incorporación de las memorias de cálculo de conexiones que se les brindó como resultado de este estudio y que podrán ser utilizados en proyectos futuros.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se limitó a desarrollar las memorias de cálculo de conexiones y no abarcó el estudio o análisis estructural donde se dimensionaron cada uno de los elementos que conforman la estructura y donde se establece si estos estarán conectados con una unión simple o a momento. En tal sentido, se considera que las cargas para las cuales fueron diseñadas las conexiones son suministradas por un tercero, el cual también indicó el tipo de unión requerido para los diferentes miembros que componen la estructura.

Solo se desarrollaron las memorias de cálculo para cada una de las tipologías de conexión encontradas en la estructura, no se incluyen la cantidad total de conexiones que pertenecen a un mismo tipo de conexión debido a que el procedimiento de cálculo es el mismo, y en donde solo es necesario cambiar los datos de entrada para obtener el resultado correspondiente. Las conexiones típicas a considerar serán: viga con viga, viga con columna, diagonal vertical llegando a intersección viga con columna, empalme de vigas, diagonal llegando a placa base, diagonal horizontal llegando a intersección viga con viga, y diagonales llegando a mitad de vano de viga.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Ibáñez (2019), en su tesis de título “Procedimiento de diseño de conexiones estructurales aplicado a edificios industriales y mineros de acero” de la Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas del Departamento de Ingeniería civil, presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil el año 2019, se concluye que es necesario establecer un procedimiento de cálculo de conexiones que ayude a las empresas metalmecánicas a realizar con seguridad el diseño correspondiente en cumplimiento de su objetivo planteado, cumpliendo con las normas establecidas y estudios de investigación avalados por instituciones reconocidas.

Según Lara (2014), en sus tesis de título “Diseño sismorresistente de Conexiones Empernadas de Acero en Edificios” de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil el año 2014, se puede concluir que el análisis de conexiones debe considerar la inclusión de todas las cargas a las que estará sometido el elemento durante toda su vida útil. Es por esta razón, que las cargas a usarse en las conexiones deben ser la que resulte mayor de todas las combinaciones de carga, las de

servicio y las de resistencia última. Asimismo, durante el diseño de conexiones se debe considerar la tolerancia geométrica de los elementos para asegurar el calce adecuado durante su montaje.

Según Guzmán (2006), en su tesis de título “Diseño de conexiones con AISC-LRFD-1999” del Instituto Politécnico Nacional, México D.F., escuela superior de ingeniería y arquitectura, presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil el año 2006, concluimos que las conexiones de acero pueden ser diseñadas mediante varias opciones por lo que se debe entender su comportamiento para una apropiada selección. Adicionalmente menciona que se deben diseñar satisfactoriamente para soportar las cargas solicitadas, preferentemente con una determinada forma o configuración geométrica que permita el fácil montaje o instalación de todos los elementos; lo cual ayudará en la optimización del proceso de montaje.

Según Cerdeira (1999), en su tesis de título “Conexiones en Acero” de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, facultad de Ingeniería Civil, presentada para obtener el grado de ingeniero Civil el año 1999, se concluye que la mejor alternativa para las uniones a momento es el uso de conexiones soldadas, realizado esto preferentemente en taller, en campo son más recomendables las uniones empernadas por la ventaja económica que estos brindan debido a que no se necesita personal especializado para el montaje de los elementos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Diseño

El diseño puede definirse como un proceso innovador que se desarrolla a través de procesos iterativos los cuales involucra toma de decisiones los cuales a veces son tomados con muy poca información, o en otros casos con exceso de información que puede incluir algunas contradicciones. En ocasiones las decisiones son tomadas de manera temporal por lo que es conveniente reservar la posibilidad de realizar cambios o ajustes conforme se vayan obteniendo más datos. Es primordial que el diseñador sienta confianza y comodidad durante el

ejercicio de toma de decisiones y solución de problemas. (Budynas & Nisbett, 2012).

2.2.2 Acero estructural

Es un material resultado de la unión principalmente de hierro más carbono en las proporciones convenientes que le confieren las propiedades de soportar grandes esfuerzos. Las características del acero se pueden modificar alterando las proporciones presentes de carbono y adicionando otros elementos como silicio, níquel, manganeso y cobre. Los aceros estructurales generalmente se agrupan en varias clasificaciones según la norma ASTM; los aceros al carbono A36, A53, A500, A501 y A529, los aceros de baja aleación y de alta resistencia A572, A618, A913 y A847. (McCorman, 2013).

2.2.3 Conexiones empernadas

Unión de elementos estructurales a través de pernos de alta resistencia instalados con el apriete requerido según sea la necesidad del diseño. Esta unión puede darse directamente entre los propios elementos estructurales, o a través de elementos adicionales de conexión tales como cartelas u otros perfiles pertinentes como los ángulos para las conexiones simples de viga. En la imagen mostrada a continuación se muestra una conexión empernada a través de planchas de conexión.



Figura 2.1: Conexión apernada, empalme a momento

Fuente: Green, Sputo y Veltri

2.2.4 Conexiones soldadas

La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico o fluido, permitiendo que las partes fluyan y se unan (con o sin la adición de otro metal fundido). (McCormnac, 2013).



Figura 2.2: Unión soldada de diagonales con cartela

Fuente: Green, Sputo y Veltri

2.2.5 Tipo de conexión

Las conexiones se clasifican de acuerdo a la restricción de rotación que estas tienen, lo cual es determinado a través de las variaciones del ángulo que forman los elementos conectados en un estado inicial sin carga y un estado final donde las cargas máximas para el que fueron diseñados han sido aplicadas. (McCormac, 2013). Dependiendo de la magnitud de la restricción se clasifican en:

Conexiones simples. En este tipo de conexión teóricamente no se tiene restricción a la rotación y se considera como completamente flexible y libre para rotar, por tal motivo no tienen capacidad resistente a momento. (McCormac, 2013).

Conexiones rígidas. Este tipo de conexión se estiman suficientemente rígidas o que tienen mayor grado de restricción de modo tal que los ángulos formados en un estado inicial entre los elementos estructurales se mantendrán teóricamente sin modificarse cuando se le aplican las cargas. (McCormac, 2013).

2.2.6 Metodología de diseño de conexiones

En el presente estudio se utilizó el método de diseño con factores de carga y resistencia LRFD. Este método tiene como finalidad conseguir un margen numérico entre la resistencia y la carga que genere una probabilidad aceptablemente pequeña de una respuesta estructural inaceptable. (McCormac, 2013).

El diseño de conexiones debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$R_u < \phi R_n \quad (1)$$

R_u : Resistencia Requerida

R_n : Resistencia Nominal

ϕ : Factor de resistencia

ϕR_n : Resistencia de diseño

2.2.7 Tipo de junta

El tipo de junta está establecido en función del tipo de carga que se debe soportar y debe ser definido por el diseñador estructural. Los tipos de junta pueden ser los siguientes:

Juntas apretadas sin holgura: Esto se consigue al tener todas las placas de conexión en contacto firme entre sí. Por lo general, se obtiene con la fuerza aplicada de un operario con una llave de impacto o con una llave neumática.

Juntas pretensionadas: En este caso los pernos son apretados de tal manera que el esfuerzo de tensión a los que son sometidos es aproximadamente igual al 70% de su esfuerzo mínimo a tensión. Este tipo de junta es requerido en caso de inversiones de carga tales como cargas sísmicas, son necesarias también para cargas de fatiga.

Juntas de fricción: Los pernos son apretados al igual que las juntas pretensadas, y adicionalmente se requiere que las superficies de contacto entre los elementos a unir tengan preparación, esto les permitirá obtener una resistencia por fricción. Son requeridos en casos que involucran cargas de corte y corte más tracción combinados, tales

como de fatiga con inversión de la dirección de carga. (McCormac, 2013).

2.2.8 Estados límites

La terminología de estado límite es usada para describir una condición en donde una estructura o parte de ella deja de cumplir su función pre establecida. Existen dos tipos de estados límite: los de resistencia y los de servicio. El estado límite de resistencia establece la capacidad de poder soportar una carga, considerando un exceso de fluencia, la fractura, el pandeo, y la fatiga. El estado límite de servicio determina el comportamiento, tales como la deflexión, el agrietamiento, los deslizamientos, la vibración y el deterioro. A fin de considerar un diseño adecuado, todos los estados límite deben evitarse. (McCormac, 2013).

2.2.9 Miembros a tracción

Los miembros sometidos a cargas de tracción son aquellos que soportan fuerzas axiales paralelos a su eje longitudinal centroidal. (Segui, 2000).

La resistencia de diseño de un elemento a tensión será el menor de los siguientes valores:

Para el estado límite de fluencia en la sección bruta:

$$\phi R_n = \phi * F_y * A_g \quad (2)$$

$$\phi = 0.9$$

Para el estado límite de rotura en la sección efectiva:

$$\phi R_n = \phi * F_u * A_e \quad (3)$$

$$\phi = 0.75$$

Donde:

F_y: Esfuerzo de fluencia

F_u: Esfuerzo de rotura

A_g: Área de la sección bruta

A_e: Área de la sección efectiva

ϕ : factor de resistencia

ϕR_n : Resistencia de diseño a tensión.

Área bruta A_g

El área bruta de un elemento es el área total de su sección transversal. (AISC, 2010)

Área neta A_n

El área neta se determina a partir del área bruta de la sección transversal, al que deberá restársele el área de los agujeros, ranuras u otras muescas. (McCormac, 2013). Cuando se calcula el área neta a tensión y corte se debe considerar que el agujero es 1/16 in (2mm) más grande que la dimensión nominal. (AISC, 2010)

$$A_n = A_g - \sum dh * t \quad (4)$$

dh: Diámetro de agujero + 2mm

t: espesor de plancha

En caso de existir agujeros alternados, se debe considerar la siguiente formula:

$$A_n = A_g - \sum dh * t + \sum s^2 / 4g \quad (5)$$

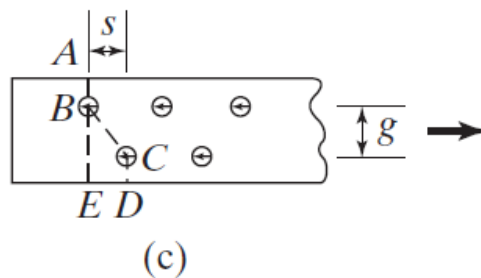


Figura 2.3: Secciones de posibles fallas en placa

Fuente: McCormac, 2013

Área neta efectiva A_e

Imaginemos el caso de un elemento estructural, diferente a una barra o una placa plana, el cual se somete a carga axial hasta que ocurre la falla en su sección neta, es aquí donde seguramente encontraremos

que el esfuerzo real de falla por esa carga axial es muy probablemente menor al obtenido en un ensayo de probeta, a no ser que todas las partes que integran la sección transversal de este elemento estén conectadas directamente a la fuente que transmite la carga, generando un transferencia uniforme de esfuerzos. Cuando los esfuerzos no se transmiten de manera uniforme a través de la sección transversal de un miembro estructural, existirá un tramo de este miembro donde se dé una transición de estos esfuerzos no uniformes que fluyen desde la conexión hasta la totalidad de la sección transversal a lo largo de una determinada distancia. Bajo estas circunstancias, el flujo de esfuerzo desde la sección transversal total hasta el elemento conectado no es completamente efectivo. En consecuencia, se establece que el área neta debe ser disminuida por un factor de reducción establecido en base a las características de la conexión y al tipo de perfil utilizado. (McCormac, 2013).

$$A_e = A_n * U \quad (6)$$

U: factor de reducción

Para miembros atornillados, el factor de reducción U se calcula como:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \quad (7)$$

\bar{x} : Distancia entre el plano de la conexión

y el centroide del área de la sección total

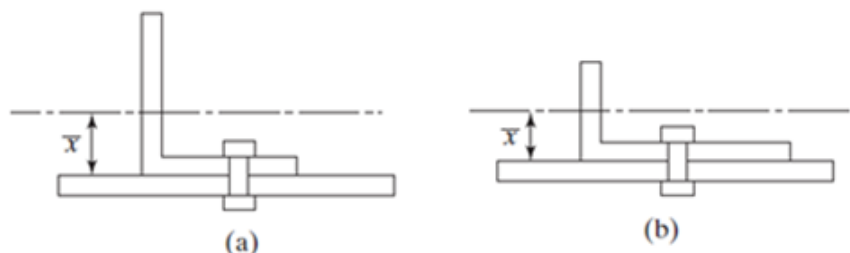

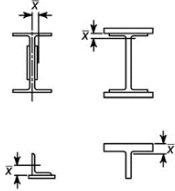

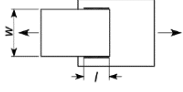
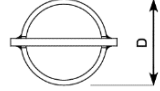
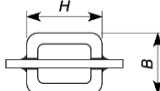
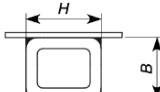


Figura 2.4: Distancia x para conexiones atornilladas

Fuente: McCormac, 2013

En la norma AISC-360, se especifica una tabla para los distintos casos de conexiones donde se aplica el factor U:

Tabla 2.1: Factor de reducción para miembros a tensión

Case	Description of Element	Shear Lag Factor, U	Example
1	All tension members where the tension load is transmitted directly to each of the cross-sectional elements by fasteners or welds (except as in Cases 4, 5 and 6).	$U = 1.0$	
2	All tension members, except plates and HSS, where the tension load is transmitted to some but not all of the cross-sectional elements by fasteners or longitudinal welds or by longitudinal welds in combination with transverse welds. (Alternatively, for W, M, S and HP, Case 7 may be used. For angles, Case 8 may be used.)	$U = 1 - \bar{x}/l$	
3	All tension members where the tension load is transmitted only by transverse welds to some but not all of the cross-sectional elements.	$U = 1.0$ and $A_n =$ area of the directly connected elements	
4	Plates where the tension load is transmitted by longitudinal welds only.	$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	
5	Round HSS with a single concentric gusset plate	$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	Rectangular HSS		
	with a single concentric gusset plate	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
	with two side gusset plates	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	W, M, S or HP Shapes or Tees cut from these shapes. (If U is calculated per Case 2, the larger value is permitted to be used.)	with flange connected with 3 or more fasteners per line in the direction of loading	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$
		with web connected with 4 or more fasteners per line in the direction of loading	$U = 0.70$
8	Single and double angles (If U is calculated per Case 2, the larger value is permitted to be used.)	with 4 or more fasteners per line in the direction of loading	$U = 0.80$
		with 3 fasteners per line in the direction of loading (With fewer than 3 fasteners per line in the direction of loading, use Case 2.)	$U = 0.60$

l = length of connection, in. (mm); w = plate width, in. (mm); \bar{x} = eccentricity of connection, in. (mm); B = overall width of rectangular HSS member, measured 90° to the plane of the connection, in. (mm); H = overall height of rectangular HSS member, measured in the plane of the connection, in. (mm)

Fuente: AISC, 2010

Sección de whitmore

Para los casos de conexión donde los elementos conectantes son considerablemente más grandes que las propias uniones atornilladas o soldadas que están contenidas dentro él, es donde podemos aplicar

la teoría de la sección de whitmore el cual delimita las áreas netas y brutas dentro del elemento conectante a una de dimensiones menores que el área total. Según se muestra en la siguiente figura, el ancho de la sección de whitmore es definido al final de la unión a través de la propagación de la fuerza desde el inicio de la conexión 30° a cada lado del elemento conectante a lo largo de la línea de fuerza. La sección de whitmore puede expandirse a través de la unión de dos elementos de conexión, sin embargo, no puede extenderse fuera del borde no conectado. (AISC, 2010).

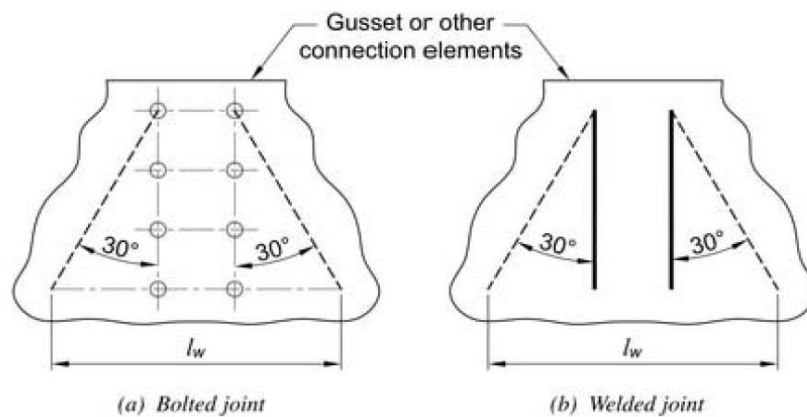


Figura 2.5: Ilustración del ancho de la sección de whitmore

Fuente: AISC,2010

En la sección de whitmore también deberá verificarse los estados límites de fluencia y rotura por la acción de la carga aplicada. Esta verificación evitará las fallas como las mostradas en la imagen:



Figura 2.6: Falla en la sección de whitmore de conexión soldada

Fuente: Thornton,2011

Resistencia por bloque de corte

La falla de un elemento estructural puede generarse a través de una línea que recorra un tramo en tracción en un lado, y otro en cortante en un plano perpendicular. De acuerdo a lo mostrado en la siguiente imagen, se pueden apreciar varias posibles trayectorias de bloque de corte, bajo estas condiciones puede ocurrir que un “bloque” de este material se desprenda ocasionando la falla. (McCormac, 2013).

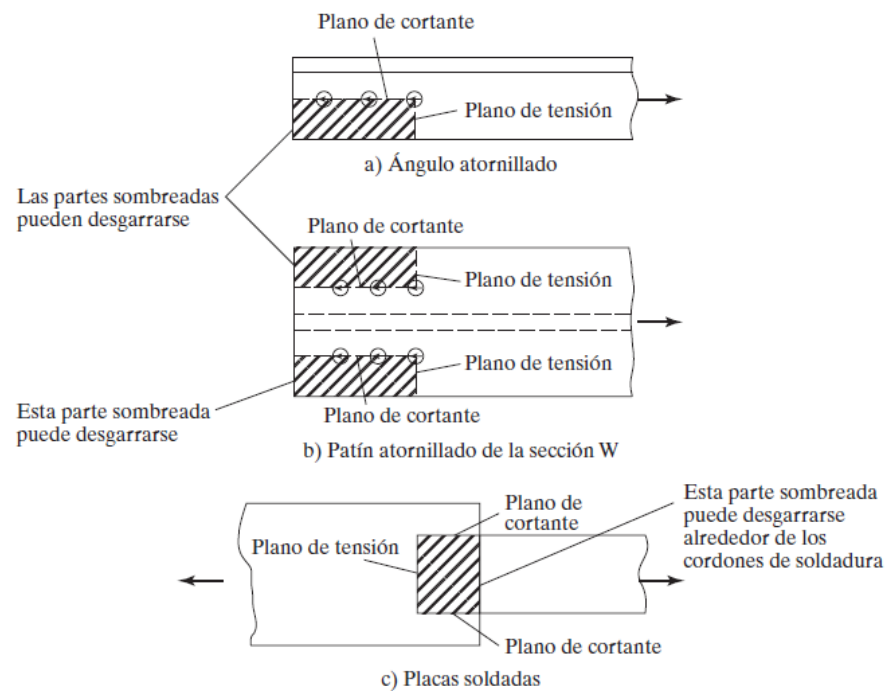


Figura 2.7: Bloque cortante

Fuente: McCormac, 2013

Cuando una conexión está sometida a la acción de carga axial, este puede llegar a ser de tal magnitud que la fractura en el plano de la sección más débil este próximo a ocurrir. Sin embargo, este plano no fallará en ese momento porque se tiene la restricción del plano más fuerte. Cuando la carga se sigue incrementando hasta alcanzar la resistencia a la rotura del plano más fuerte, encontraremos que el plano más débil está fluyendo. En consecuencia, la resistencia de la conexión por bloque de corte será determinado por la suma de la resistencia a la rotura del plano más fuerte más la resistencia a la fluencia del plano más débil. Por lo tanto, no es lógico sumar la resistencia a la rotura del

plano de tracción más el del plano a cortante. Podemos concluir entonces, que el bloque de corte es una condición de desprendimiento o rotura y no una condición de fluencia. (McCormac 2013).

La norma AISC establece que la resistencia disponible es:

$$\phi R_n = \phi * \min[0.6 * F_u * A_{nv} + U_{bs} * F_u * A_{nt}, 0.6 * F_y * A_{gv} + U_{bs} * F_u * A_{nt}] \quad (8)$$

$$\phi = 0.75$$

Agv: Área bruta a cortante

Ant: Área neta a tracción

Anv: Área neta a cortante

U_{bs}: Factor de reducción. Cuando el esfuerzo de tensión es uniforme

U_{bs}=1, cuando es no uniforme U_{bs}=0.5

En la siguiente figura se muestra los casos típicos para los valores de U_{bs}:

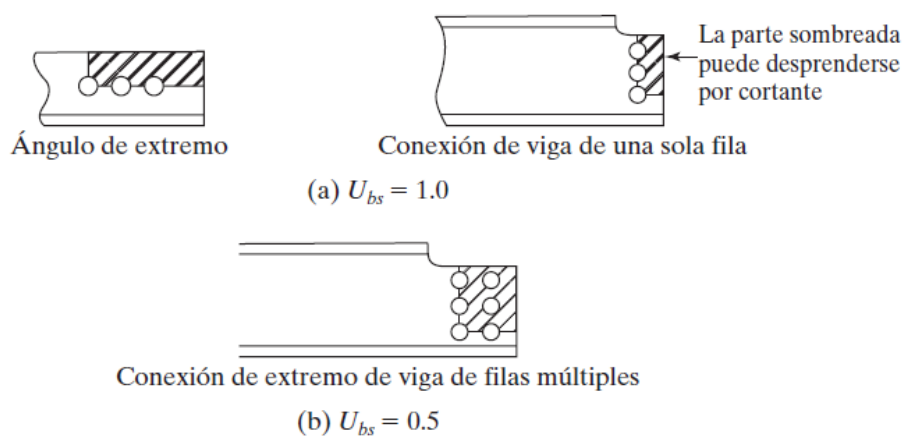


Figura 2.8: Factor de reducción U_{bs} para bloque cortante

Fuente: McCormac, 2013

2.2.10 Miembros a compresión

Se dice que un miembro estructural está a compresión cuando se encuentra bajo la acción únicamente de fuerzas axiales de compresión, es decir estas fuerzas son ejercidas a lo largo del eje longitudinal que pasa por el centro de gravedad de la sección transversal del miembro. (Segui, 2000).

La Fórmula de Euler

La condición requerida para que un elemento se pandee elásticamente es que debe ser larga y esbelta. La fuerza de pandeo P se puede determinar con la fórmula de Euler siguiente: (McCormac, 2013)

$$P = \frac{\pi EI}{L^2} \quad (9)$$

Donde:

E: Modulo de elasticidad del material.

I: Momento de inercia de la sección total respecto al eje principal menor.

L: Longitud del miembro entre puntos de soporte.

$$\text{Considerando que: } r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (10)$$

r: radio de giro respecto al eje de pandeo.

Se puede presentar de manera distinta la fórmula de Euler, teniendo que el esfuerzo critico será:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (11)$$

Esta ecuación es aplicable para casos de pandeo elástico, considerando que la columna es larga y esbelta. Se tiene también la condición de que los extremos del miembro giran libremente.

Longitud Efectiva

La definición de longitud efectiva es en esencia un artificio matemático para la reemplazar una columna con cualquier condición de restricción en los extremos por una columna equivalente con sus extremos articulados (McCormac, 2013).

En las normativas de construcción en acero la longitud efectiva de una columna se define como KL , en donde K es el factor de longitud efectiva. K es el número por el que se multiplicará la longitud de la columna para obtener su longitud efectiva. La magnitud del valor de K

está relacionada con el grado de restricción rotacional en los extremos de la columna y con la resistencia al movimiento lateral de ésta.

Tabla 2.2: Valor para factores de longitud efectiva K

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code						

Fuente: AISC, 2010

Resistencia a compresión

Según AISC (2010), capítulo J4.4, la resistencia disponible de elementos conectantes a compresión es:

Cuando $KL/r \leq 25$

$$\phi R_n = \phi F_y A_g \quad (12)$$

$$\phi = 0.9$$

Cuando $KL/r > 25$, se establece que las disposiciones de AISC (2010) Capítulo E deberán ser aplicadas. La resistencia de diseño a compresión ϕR_n es determinado en base al estado límite de pandeo flexionante:

$$\phi R_n = \phi F_{cr} A_g \quad (13)$$

$$\phi = 0.9$$

El esfuerzo crítico F_{cr} es determinado de la siguiente manera:

$$\text{Para } \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ó } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) * F_y \quad (14)$$

$$\text{Para } \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ó } \frac{F_y}{F_e} > 2.25$$

$$F_{cr} = 0.877 * F_e \quad (15)$$

Ag: Área bruta de la sección transversal del miembro

E: Módulo de la elasticidad (29000 ksi)

F_e : Esfuerzo de pandeo elástico, según ecuación:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (16)$$

2.2.11 Miembros a flexión

Considerando una viga de sección transversal de tipo rectangular y los diagramas de esfuerzos de la Figura 2.9 para observar los esfuerzos de flexión que se presentarán. (Para este caso de estudio consideraremos que el ala superior de la viga está completamente restringido al pandeo lateral). Cuando la viga está bajo la acción de una carga de momento a flexión, el esfuerzo en cualquier ubicación de la sección transversal se puede determinar con la fórmula de la flexión: $f_b = Mc/I$. Se debe tener en cuenta que esta formulación es válida únicamente cuando el máximo esfuerzo calculado en la viga es menor que el límite elástico. La fórmula está basada en hipótesis elásticas usuales tales como que el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, una sección plana antes de la aplicación de la carga a flexión permanecerá también plana después de la aplicación de la carga. El valor I/c es una constante para una sección determinada y se denomina módulo de sección elástico (S). La fórmula de la flexión puede escribirse entonces de la siguiente manera: (McCormac, 2013).

$$f_b = \frac{M}{S} \quad (17)$$

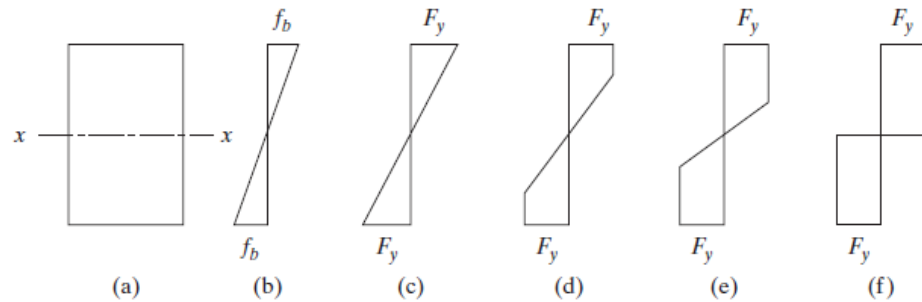


Figura 2.9: Variación de esfuerzo de flexión

Fuente: McCormac,2013

a) Sección transversal rectangular al que se le aplica la carga de momento.

b) La aplicación de carga de momento genera esfuerzos que varían linealmente desde el eje neutro hasta las fibras extremas.

c) Se alcanza esfuerzo de fluencia en las fibras extremas. Al momento presente en este estado se le denomina Momento de fluencia.

d) y e) Incremento de carga de momento genera que más fibras de la sección transversal alcance la fluencia.

f) Se alcanza la distribución plástica. Se dice entonces que se ha formado una articulación plástica en la viga. El momento aplicado se le conoce como Momento Plástico M_p .

Cuando se va a considerar un diseño elástico, la carga máxima que puede soportar un elemento es la carga que primero genera un esfuerzo de fluencia en la sección transversal, para el cual se define el momento de fluencia como:

$$M_y = F_y \cdot S \quad (18)$$

S: Modulo de sección elástico = I/c

En el diseño plástico, el momento resistente para la plasticidad total se determina mediante la siguiente formula:

$$M_p = F_y \cdot Z \quad (19)$$

Z: módulo de sección plástico. Esto es igual al momento estático de las áreas respecto al eje neutro plástico.

En el manual de construcción en acero del AISC (2010), Parte 15, se define la capacidad a flexión de planchas sometidas a momento:

Para el estado límite de fluencia por flexión:

$$\phi M_n = M_p = \phi * F_y * Z_x \quad (20)$$

$$\phi = 0.9$$

Para el estado límite de rotura por flexión:

$$M_n = F_u * Z_{net} \quad (21)$$

Z_{net}: módulo de sección plástico neto. (Esto considera la presencia de agujeros para los pernos en la sección transversal crítica)

Para un número impar de pernos:

$$Z_{net} = \frac{t_{PL} * d_{PL}^2}{4} - \frac{1}{4} * t_{PL} * [dh^2 + s * (n^2 - 1) * dh] \quad (22)$$

Para número par de pernos:

$$Z_{net} = \frac{t_{PL} * d_{PL}^2}{4} - \frac{1}{4} * t_{PL} * dh * s * n * (n + 2) \quad (23)$$

dh: diámetro del agujero más 1/16 in (2 mm)

n: número de filas de pernos

s: espaciado vertical de filas de pernos

t_{PL}: espesor de plancha d_{PL}: altura de plancha

Flexión de secciones rectangulares

Esta teoría es aplicable a planchas de conexión o extremos de vigas con recortes largos en los extremos.

Para determinar la resistencia a flexión y estabilidad de miembros rectangulares que flexionan alrededor del eje mayor se debe seguir lo indicado en AISC (2010), la Especificación AISC-360 Capítulo F11:

Para Fluencia:

$$\text{Cuando } \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y}$$

$$M_n = M_p = \text{Mínimo} (F_y Z, 1.6 M_y) \quad (24)$$

Para pandeo lateral torsional inelástico

$$\text{Cuando } \frac{0.08E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y}$$

$$M_n = \text{Mínimo} \left\{ C_b \left[1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b}{d} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y, M_p \right\} \quad (25)$$

Para pandeo lateral torsional elástico

$$\text{Cuando } \frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y}$$

$$\text{El esfuerzo crítico es } F_{cr} = \frac{1.9E C_b}{\frac{L_b d}{t^2}} \quad (26)$$

Para el caso de almas de viga de perfiles que presentan recorte de ala, si el recorte inferior es igual o mayor a la longitud del recorte superior:

$$C_b = \text{máximo} \left\{ \left[3 + \ln \left(\frac{L_b}{d} \right) \right] \times \left(1 - \frac{d_{ct}}{d} \right), 1.84 \right\} \quad (27)$$

C_b : Factor de modificación del pandeo lateral torsional

$L_b = C_t$

C_t : Longitud de recorte superior

d : Peralte de viga

d_{ct} : Altura de recorte

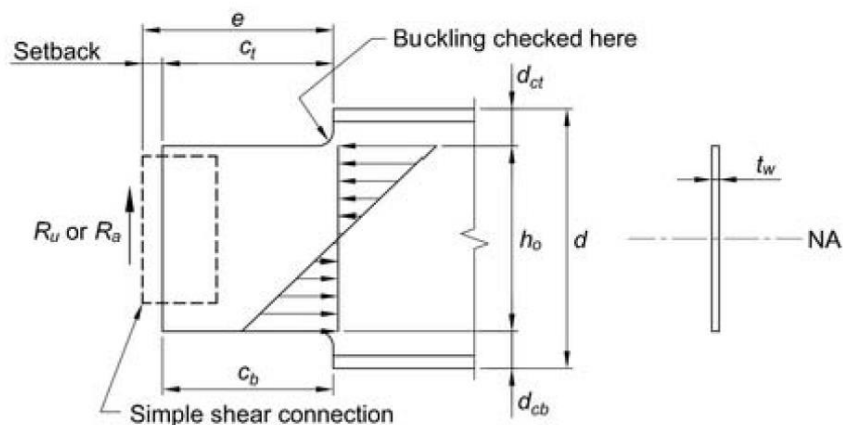


Figura 2.10: Pandeo local a flexión de vigas recortadas en ambas alas

Fuente: AISC, 2010

Flexión de elementos con agujeros en ala a tensión

La resistencia nominal a flexión de elementos que contengan agujeros en el ala a tensión es establecida mediante el estado límite de rotura a tracción del ala. (AISC, 2010).

Cuando $F_u * A_{fn} \geq Y_t * F_y * A_{fg}$ → rotura a tracción no aplica

Cuando $F_u * A_{fn} < Y_t * F_y * A_{fg}$ → resistencia nominal a flexión:

$$M_n = \frac{F_u * A_{fn}}{A_{fg}} * S_x \quad (28)$$

A_{fg} : Área bruta del ala a tensión.

A_{fn} : Área neta del ala a tensión.

S_x : Módulo de sección elástico

$Y_t = 1.0$ para $F_y/F_u \leq 0.8$

$Y_t = 1.1$ para los demás casos.

2.2.12 Miembros a cortante

La resistencia nominal a cortante según el estado límite de fluencia por corte y pandeo por corte es: (AISC, 2010)

$$\phi V_n = \phi * 0.6 * F_y * A_w * C_{v1} \quad (29)$$

$\phi=0.9$

Para el caso del presente estudio se consideran perfiles de sección tipo I conformados con planchas soldadas. Por tanto, el coeficiente de resistencia a corte del alma C_{v1} se determina de la siguiente manera:

$$\text{Cuando: } \frac{h}{tw} \leq 1.1 \times \sqrt{\frac{k_v \times E}{F_y}} \rightarrow C_{v1}=1.0$$

$$\text{Cuando: } \frac{h}{tw} > 1.1 \times \sqrt{\frac{k_v \times E}{F_y}} \rightarrow C_{v1} = \frac{1.1 \times \sqrt{\frac{k_v \times E}{F_y}}}{h/tw}$$

h : para perfiles de planchas soldadas es la distancia entre alas.

Considerando que las almas de vigas no tienen rigidizadores transversales, se tiene que el coeficiente por pandeo a cortante del alma de viga será $k_v=5.34$. Estas formulaciones corresponden a lo

estipulado en la norma AISC (2010), Especificación AISC-360, capítulo G2.1.

Resistencia a corte de elementos conectantes

Fluencia por cortante:

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_y * A_{gv} \quad (30)$$

$$\phi = 1.0$$

A_{gv} = área bruta sujeta a cortante

Rotura por cortante:

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_u * A_{nv} \quad (31)$$

$$\phi = 0.75$$

A_{nv} = área neta sujeta a cortante

2.2.13 Resistencia a fuerzas combinadas

Durante el desarrollo del cálculo de conexiones existieron algunas ocasiones donde fue necesario establecer la capacidad resistente debido a la acción simultánea de cargas en distintas direcciones. Por tanto, se establece que las acciones simultáneas de carga deben cumplir con las siguientes relaciones: (Dowswell, 2015).

Para combinación de carga axial y cortante

$$\left(\frac{Pr}{Pc}\right)^2 + \left(\frac{Vr}{Vc}\right)^2 \leq 1.0 \quad (32)$$

Para combinación de carga cortante y momento

$$\left(\frac{Mr}{Mc}\right)^2 + \left(\frac{Vr}{Vc}\right)^2 \leq 1.0 \quad (33)$$

Para combinación de carga axial, cortante y momento

$$\left(\frac{Mr}{Mc}\right) + \left(\frac{Pr}{Pc}\right)^2 + \left(\frac{Vr}{Vc}\right)^4 \leq 1.0 \quad (34)$$

Donde:

M_r , P_r , V_r : Resistencias requeridas a momento, axial y corte

M_c , P_c , V_c : Resistencias de diseño a momento, axial y corte

2.2.14 Pernos de alta resistencia

Los pernos de alta resistencia se fabrican en base acero con contenido medio de carbono y con tratamiento térmico, también se fabrican con aceros aleados, y pueden llegar a tener altas resistencias a la tensión, siendo inclusive dos veces o más a la de tornillos ordinarios. Existen dos tipos principales, los pernos A325 (fabricados de acero al carbono medio con tratamiento térmico) y los pernos A490 de mayor resistencia (fabricados también con tratamiento térmico pero hechos con acero aleado). Los pernos de alta resistencia se vienen empleando para diferentes estructuras, tales como puentes y edificios metálicos para el sector industrial, minero, o petroquímico. (McCormac, 2013).

2.2.15 Tamaño de los agujeros para pernos

Para todas las conexiones del presente estudio se consideró el uso de agujeros standard. Estos agujeros son 1/16" (2 mm) más grande que el diámetro correspondiente a los pernos. Es el agujero de mayor uso en las conexiones de estructuras metálicas. (AISC, 2010)

Tabla 2.3: Tamaño nominal de Agujeros

TABLE J3.3 Nominal Hole Dimensions, in.				
Bolt Diameter, in.	Hole Dimensions			
	Standard (Dia.)	Oversize (Dia.)	Short-Slot (Width × Length)	Long-Slot (Width × Length)
1/2	9/16	5/8	9/16 × 11/16	9/16 × 1 1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 × 7/8	11/16 × 1 9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 × 1	13/16 × 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	15/16 × 1 1/8	15/16 × 2 3/16
1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 × 1 5/16	1 1/16 × 2 1/2
≥ 1 1/8	$d + 1/16$	$d + 5/16$	$(d + 1/16) \times (d + 3/8)$	$(d + 1/16) \times (2.5 \times d)$

TABLE J3.3M Nominal Hole Dimensions, mm				
Bolt Diameter, mm	Hole Dimensions			
	Standard (Dia.)	Oversize (Dia.)	Short-Slot (Width × Length)	Long-Slot (Width × Length)
M16	18	20	18 × 22	18 × 40
M20	22	24	22 × 26	22 × 50
M22	24	28	24 × 30	24 × 55
M24	27 ^[a]	30	27 × 32	27 × 60
M27	30	35	30 × 37	30 × 67
M30	33	38	33 × 40	33 × 75
≥ M36	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2.5d$

^[a] Clearance provided allows the use of a 1-in. bolt if desirable.

Fuente: AISC, 2010

2.2.16 Distancias mínimas al borde

Se debe tener en cuenta que los pernos deben ubicarse a una cierta distancia mínima del borde de los elementos conectados para garantizar que no existirá peligro de que el perno desgarré o desprenda el material en ese borde, adicionalmente los agujeros punzonados que estén muy cerca a los bordes pueden generar que el acero del lado opuesto del agujero se abombe o se agriete. Por tanto, se recomienda usar como mínimo lo recomendado en la siguiente tabla. (AISC, 2010).

Tabla 2.4: Distancia mínima la borde para agujeros standard

TABLE J3.4M Minimum Edge Distance^[a] from Center of Standard Hole^[b] to Edge of Connected Part, mm	
Bolt Diameter, mm	Minimum Edge Distance
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Over 36	1.25d

Fuente: AISC, 2010

2.2.17 Separación mínima entre pernos

El espaciamiento entre centros de agujeros standard, holgados, o alargados debe ser por lo menos $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro nominal del perno. Es recomendable utilizar una distancia de 3 veces el diámetro. (AISC, 2010).

2.2.18 Resistencia de pernos a corte ó tracción

La resistencia de diseño ϕR_n a corte o tracción de pernos apretados sin holgura o pretensados se determina de acuerdo a los estados límites de tensión y corte por rotura. (AISC, 2010).

$$\phi R_n = \phi * F_n * A_b \quad (35)$$

$$\phi = 0.75$$

A_b = Área nominal de la sección del perno.

F_n = Esfuerzo nominal a tensión F_{nt} o cortante F_{nv} según la tabla:

Tabla 2.5: Resistencia nominal de pernos

TABLE J3.2 Nominal Strength of Fasteners and Threaded Parts, ksi (MPa)		
Description of Fasteners	Nominal Tensile Strength, F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Nominal Shear Strength in Bearing-Type Connections, F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
A307 bolts	45 (310)	27 (188) ^{[c] [d]}
Group A (e.g., A325) bolts, when threads are not excluded from shear planes	90 (620)	54 (372)
Group A (e.g., A325) bolts, when threads are excluded from shear planes	90 (620)	68 (457)
Group B (e.g., A490) bolts, when threads are not excluded from shear planes	113 (780)	68 (457)
Group B (e.g., A490) bolts, when threads are excluded from shear planes	113 (780)	84 (579)

Threaded parts meeting the requirements of Section A3.4, when threads are not excluded from shear planes	$0.75F_u$	$0.450F_u$
Threaded parts meeting the requirements of Section A3.4, when threads are excluded from shear planes	$0.75F_u$	$0.563F_u$
<small> ^(a) For high-strength bolts subject to tensile fatigue loading, see Appendix 3. ^(b) For end loaded connections with a fastener pattern length greater than 38 in. (965 mm), F_{Tx} shall be reduced to 83.3% of the tabulated values. Fastener pattern length is the maximum distance parallel to the line of force between the centerline of the bolts connecting two parts with one faying surface. ^(c) For A307 bolts the tabulated values shall be reduced by 1% for each 1/16 in. (2 mm) over 5 diameters of length in the grip. ^(d) Threads permitted in shear planes. </small>		

Fuente: AISC, 2010

2.2.19 Resistencia al aplastamiento en agujero de pernos

Está definido por la resistencia de las partes conectadas y de la disposición geométrica de los pernos. Concretamente, su resistencia está relacionada a la separación entre pernos y a su distancia a los bordes. (Segui, 2000)

Aplastamiento en la pared del agujero

Es cuando ocurre un alargamiento excesivo del agujero. Esto puede ser apreciado en la siguiente figura:

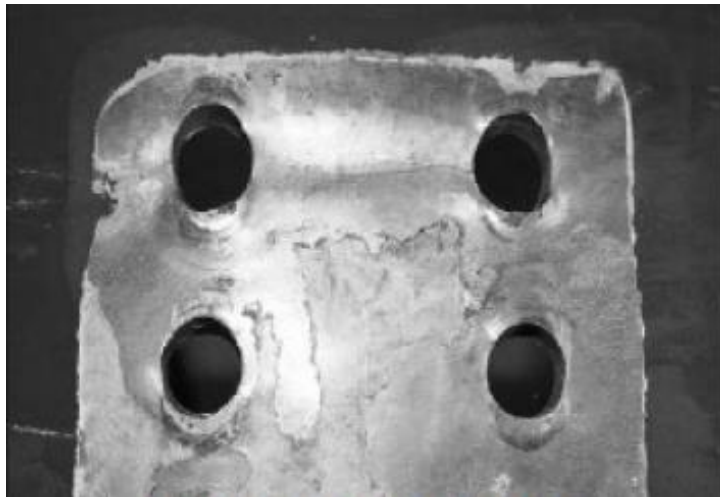


Figura 2.11: Deformación de agujeros

Fuente: Green, Sputo y Veltri

$$\phi R_n = \phi * C * d * F_u * t \quad (36)$$

$$\phi = 0.75$$

d: Diámetro del perno

Fu: Esfuerzo último a la tracción

t: espesor de plancha de conexión

C: factor a considerar

C= 3.0 La deformación no es condición de proyecto.

C=2.4 La deformación es condición del proyecto.

C=2.0 Agujeros holgados u ovalados.

Deformación estimada en el agujero:

$\Delta > 6 \text{ mm}$ para C= 3.0

$\Delta < 6 \text{ mm}$ para C= 2.4

Desgarramiento de la plancha

Ocurre cuando el perno desgarrar el material libre que se encuentra hacia el borde del elemento o hacia la ubicación de otro agujero cercano en donde también se tiene material libre para desgarrar (Segui, 2000). Esto se puede observar en la Figura 2.12 y Figura 2.13.

La deformación no es una condición del diseño:

$$\phi R_n = \phi * 1.5 * L_c * t * F_u \quad (37)$$

La deformación es condición del diseño:

$$\phi R_n = \phi * 1.2 * L_c * t * F_u \quad (38)$$

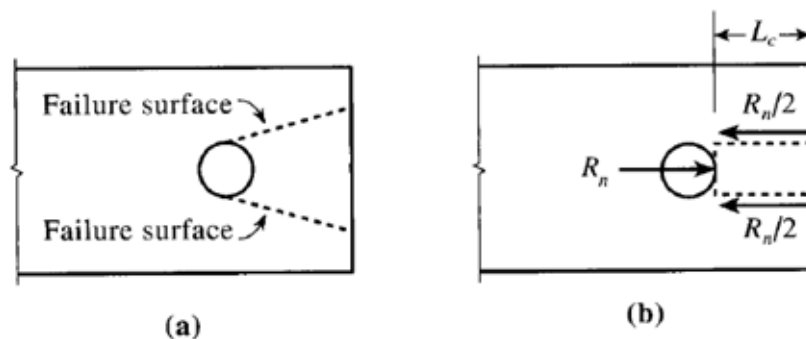


Figura 2.12: Desgarramiento de plancha en perno de borde

Fuente: Segui,2000

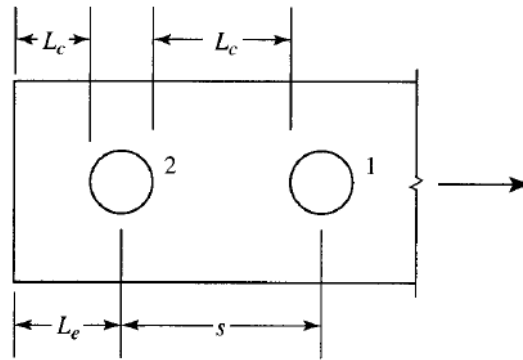


Figura 2.13: Valor de L_c para pernos en bordes e intermedios

Fuente: Segui, 2000

Para agujeros holgados u ovalados:

$$\phi R_n = \phi * 1.0 * L_c * t * F_u \quad (39)$$

$$\phi = 0.75$$

L_c : Distancia libre del borde del agujero al borde de la plancha

En consecuencia, la resistencia al aplastamiento es igual al menor valor obtenido entre la resistencia al desgarramiento y el aplastamiento del agujero.

La resistencia de un grupo de pernos en una conexión debe ser considerando la suma de la resistencia individual de cada perno, obteniéndose esto último como el menor valor entre la resistencia a corte del perno, resistencia al desgarramiento y aplastamiento de los agujeros para el perno. (AISC, 2010)

2.2.20 Resistencia de pernos cargados excéntricamente

En ocasiones se presentó el caso de que los pernos de la conexión no reciben la carga actuante a través del centro de gravedad del grupo de pernos, en su lugar se tiene que la carga es aplicada de manera excéntrica tal como el ejemplo mostrado en la siguiente imagen. En estos casos, la capacidad resistente del grupo de pernos se determinó mediante el método del centro instantáneo (AISC, 2010).

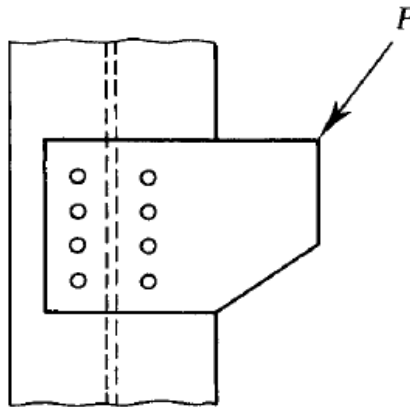


Figura 2.14: Grupo de pernos cargados excéntricamente

Fuente: Segui, 2000

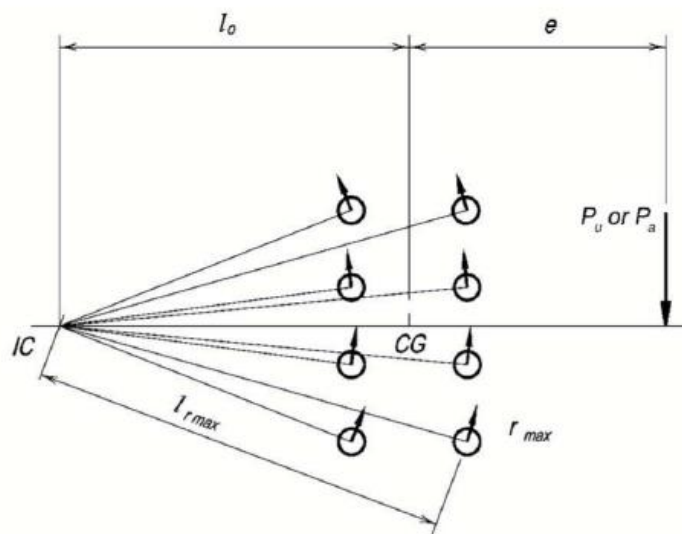


Figura 2.15: Método de centro instantáneo para grupo de pernos cargados excéntricamente

Fuente: AISC, 2010

El método del centro instantáneo considera que la carga excéntrica produce rotación de la plancha alrededor de un punto denominado centro instantáneo y que el perno más alejado de este punto es el que sufrirá el mayor esfuerzo y deformación, y que las deformaciones de los demás pernos son proporcionales a la distancia con el centro instantáneo. En base a un estudio experimental se pudo determinar los esfuerzos en los demás pernos en base a las deformaciones que estos sufrían. A partir de esto se puede conseguir la resistencia total del grupo de pernos. (AISC, 2010)

La resistencia de diseño del grupo de pernos es:

$$\phi R_n = \phi * C * r_n \quad (40)$$

$$\phi = 0.75$$

r_n : La menor resistencia nominal de un perno determinado de los estados límites de resistencia al corte del perno, resistencia al desgarramiento y aplastamiento de los agujeros del perno.

C : coeficiente que puede ser obtenido de las tablas 7-6 al 7-13 del Steel Construction Manual, Parte 7. Los datos de entrada para esta tabla son el valor de la excentricidad de la carga, número de pernos en una fila vertical y el espaciamiento vertical entre estos pernos.

Como ejemplo, para la figura mostrada, se tiene 4 pernos en una fila vertical con un espaciamiento de 3 pulgadas y una excentricidad de carga de 4 pulgadas. El valor del coeficiente C será 2.36.

Table 7-6 Coefficients C for Eccentrically Loaded Bolt Groups Angle = 0°												
Available strength of a bolt group, ϕR_n or R_n/Ω , is determined with				where								
$R_n = C \times r_n$ or												
LRFD		ASD										
$C_{min} = \frac{P_u}{\phi r_n}$		$C_{min} = \frac{\Omega P_a}{r_n}$										
s, in.	e_x , in.	Number of Bolts in One Vertical Row, n										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2	1.18	2.23	3.32	4.39	5.45	6.48	7.51	8.52	9.53	10.5	11.5
	3	0.88	1.75	2.81	3.90	4.98	6.06	7.12	8.17	9.21	10.2	11.3
	4	0.69	1.40	2.36	3.40	4.47	5.56	6.64	7.72	8.78	9.84	10.9
	5	0.56	1.15	2.01	2.96	3.98	5.05	6.13	7.22	8.30	9.38	10.4
	6	0.48	0.97	1.73	2.59	3.55	4.57	5.63	6.70	7.79	8.87	9.96
	7	0.41	0.83	1.51	2.28	3.17	4.13	5.15	6.20	7.28	8.36	9.44
	8	0.36	0.73	1.34	2.04	2.85	3.75	4.72	5.73	6.78	7.85	8.93
	9	0.32	0.65	1.21	1.83	2.59	3.42	4.34	5.31	6.32	7.36	8.42
	10	0.29	0.59	1.09	1.66	2.36	3.14	4.00	4.92	5.89	6.90	7.94
	12	0.24	0.49	0.92	1.40	2.00	2.68	3.44	4.27	5.15	6.09	7.06
3	14	0.21	0.42	0.79	1.21	1.74	2.33	3.01	3.75	4.55	5.41	6.31
	16	0.18	0.37	0.70	1.06	1.53	2.06	2.67	3.33	4.06	4.85	5.68
	18	0.16	0.33	0.62	0.95	1.37	1.84	2.39	3.00	3.66	4.38	5.15

Figura 2.16: Obtención del coeficiente C para pernos cargados excéntricamente

Fuente: AISC, 2010

Alternativamente se pueden usar hojas de cálculo programadas para calcular el valor de C con valores de excentricidad y espaciamiento de pernos que no se encuentren comprendidas en las tablas descritas en el párrafo anterior. En el caso del presente estudio, se utilizó estas hojas de cálculo según los archivos del Anexo N°5.

En algunas ocasiones se hace necesario calcular la resistencia a momento de un grupo de pernos considerando que este momento coincide con el centro instantáneo de rotación y con el centro de gravedad del grupo de pernos (AISC, 2010). La resistencia es:

$$M_{\max} = C' * r_n \quad (41)$$

Donde:

$$C' = \sum l_i \left[1 - e^{-\left(\frac{10 * l_i * \Delta_{\max}}{l_{\max}}\right)} \right]^{0.55}$$

l_i = distancia del centro de gravedad del grupo de pernos hasta cada perno. (in)

l_{\max} = distancia del centro de gravedad del grupo de pernos al centro del perno más lejano. (in)

Δ_{\max} = máxima deformación del perno más lejano desde el centro de gravedad = 0.34 in

Este valor de C' también se puede determinar a partir de hojas de cálculo programadas, tal como se hizo en el caso de esta investigación.

2.2.21 Resistencia de soldadura

Para determinar la resistencia de diseño de una unión soldada, se debe establecer el valor mínimo entre la resistencia del metal base determinado de acuerdo a los estados límites de rotura por tracción y corte, y la resistencia de la soldadura determinado según el estado límite de rotura (AISC, 2010).

Para el metal base:

$$\phi R_n = \phi * F_{n_{BM}} * A_{BM} \quad (42)$$

Para la soldadura:

$$\phi R_n = \phi * F_{nw} * A_{we} \quad (43)$$

Donde:

F_{nBM} : Esfuerzo nominal del metal base.

F_{nw} : Esfuerzo nominal del metal de soldadura

A_{BM} : Área de la sección transversal del metal base

A_{we} : Área efectiva de la soldadura

ϕ : 0.75 para soldaduras de filete

Para una soldadura lineal con tamaño de cateto uniforme, cargado a través del centro de gravedad.

$$F_{nw} = 0.6 F_{EXX} * (1 + 0.5 * \text{Sen}^{1.5} \theta) \quad (44)$$

F_{EXX} : Resistencia del metal de aporte

θ : Ángulo de carga medido desde el eje longitudinal de la soldadura

Para el caso de uniones soldadas cargadas de manera concéntrica en las que las longitudes de soldadura estén orientadas de manera longitudinal (formando ángulo de 0°) y transversal (formando ángulo de 90°) al mismo tiempo, la resistencia total de la soldadura se considerará según lo estipulado en la norma AISC (2010), en la sección J2.4 de la especificación AISC-360, lo cual indica que esta resistencia total debe considerarse como el máximo valor entre una de las siguientes expresiones:

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (45)$$

$$R_n = 0.85 * R_{nwl} + 1.5 * R_{nwt} \quad (46)$$

Donde:

R_{nwl} : Resistencia nominal de la soldadura cargada longitudinalmente.

R_{nwt} : Resistencia nominal de la soldadura cargada transversalmente.

El factor de resistencia a aplicar para obtener la resistencia de diseño se mantiene en $\phi = 0.75$

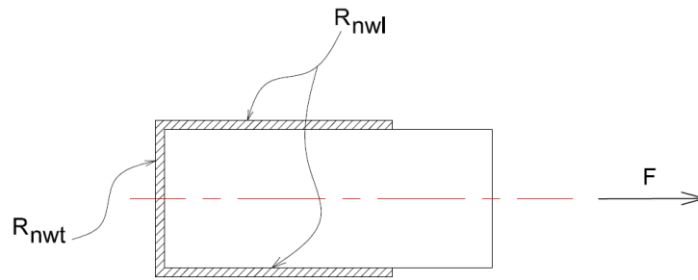


Figura 2.17: Soldadura transversal y longitudinal cargados concéntricamente

Fuente: Elaboración propia

2.2.22 Resistencia de soldadura por cargas excéntricas

Para calcular la resistencia de soldaduras por carga excéntrica se aplicó el método del centro instantáneo, el cual se conceptualiza bajo la consideración de que la carga excéntrica produce rotación y traslación en el elemento soldado el cual es equivalente únicamente a la rotación de este elemento con respecto a un punto denominado centro instantáneo. La ubicación de este centro instantáneo depende entonces de la geometría de la soldadura desarrollada. En un estado inicial de carga, la parte más esforzada de la soldadura estará por fallar, pero esto no ocurrirá debido a que las demás fibras de la soldadura empezarán a resistir más carga, por consiguiente, la falla no ocurrirá hasta que todas las fibras de la soldadura fallen. La resistencia total de la soldadura es la suma individual de las resistencias de cada elemento diferencial de soldadura. (McCormac 2013).

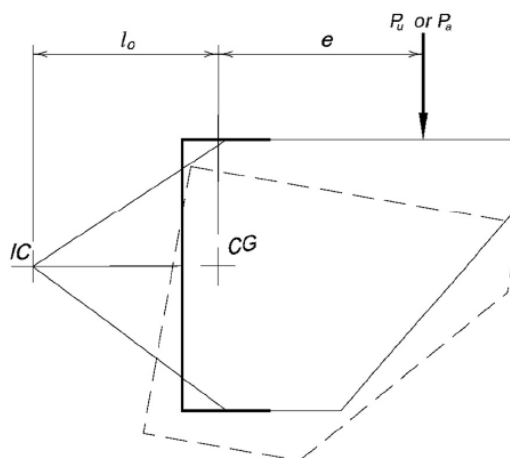


Figura 2.18: Rotación de alrededor del centro instantáneo

Fuente: AISC, 2010

Debe usarse las tablas 8-4 al 8-11 del manual AISC para determinar la resistencia de la soldadura:

$$\phi R_n = \phi * C * C_1 * D * L \quad (47)$$

ϕ : 0.75

C: valor tabulado (ver tablas 8-4 al 8-11 del AISC Parte 8)

C1: Coeficiente de electrodo

D: número de dieciseisavos de pulgada del tamaño de la soldadura

L: Longitud de referencia de soldadura.

Tabla 2.6: Coeficientes C1 para electrodos

Table 8-3 Electrode Strength Coefficient, C₁		
Electrode	F _{EXX} (ksi)	C ₁
E60	60	0.857
E70	70	1.00
E80	80	1.03
E90	90	1.16
E100	100	1.21
E110	110	1.34

Fuente: AISC, 2010

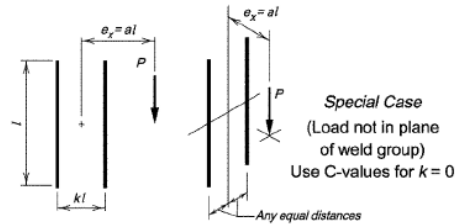
Para obtener el valor del coeficiente C de las tablas del AISC, es necesario determinar los valores de a y k. Por ejemplo, para el caso de la tabla 8-4, los valores de a y k se establecen según lo mostrado en la imagen. Considerando un valor de k igual a 0.4 y un valor de a igual a 0.25, el coeficiente C resultante será 3.29.

Table 8-4
Coefficients, C,
for Eccentrically Loaded Weld Groups
Angle = 0°

Available strength of a weld group, ϕR_n or R_n/Ω , is determined with
 $R_n = CC_1Dl$ ($\phi = 0.75$, $\Omega = 2.00$)

LRFD	ASD
$C_{min} = \frac{P_u}{\phi C_1 D l}$ $D_{min} = \frac{P_u}{\phi C C_1 l}$ $l_{min} = \frac{P_u}{\phi C C_1 D}$	$C_{min} = \frac{\Omega P_a}{C_1 D l}$ $D_{min} = \frac{\Omega P_a}{C C_1 l}$ $l_{min} = \frac{\Omega P_a}{C C_1 D}$

where
 P = required force, P_u or P_a , kips
 D = number of sixteenths-of-an-inch in the fillet weld size
 l = characteristic length of weld group, in.
 $a = e_x/l$
 e_x = horizontal component of eccentricity of P with respect to centroid of weld group, in.
 C = coefficient tabulated below
 C_1 = electrode strength coefficient from Table 8-3 (1.0 for E70XX electrodes)



a	k															
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.00	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71
0.10	3.72	3.72	3.72	3.71	3.70	3.69	3.67	3.65	3.63	3.61	3.59	3.55	3.52	3.48	3.44	3.43
0.15	3.67	3.66	3.65	3.64	3.62	3.60	3.58	3.56	3.54	3.52	3.50	3.46	3.43	3.39	3.36	3.33
0.20	3.51	3.51	3.50	3.49	3.47	3.46	3.44	3.42	3.41	3.39	3.38	3.35	3.32	3.30	3.27	3.25
0.25	3.31	3.31	3.31	3.30	3.29	3.28	3.28	3.27	3.26	3.25	3.25	3.23	3.21	3.20	3.18	3.16

Figura 2.19: Determinación del factor C para soldaduras cargadas excéntricamente

Fuente: AISC, 2010

Alternativamente se pueden usar hojas de cálculo programadas para determinar los valores de C para los casos donde los valores de a y k no se encuentren tabulados en las tablas del AISC. En el presente estudio se utilizó este tipo de hojas de cálculo, según Anexo N°6.

Factor de ductilidad en conexiones de diagonales

Para las cartelas que reciben diagonales y que son soldadas a vigas o columnas se ha encontrado que experimentan distribución de esfuerzos no uniforme en el borde de cartela soldada, por tal razón se recomienda diseñar la soldadura para la siguiente resistencia requerida. (AISC, 2010)

$$R_u = \text{máximo} (R_{\text{máximo}}, 1.25^* R_{\text{promedio}}) \tag{48}$$

Donde:

$$R_{m\acute{a}ximo} = \sqrt{Vu^2 + N_{m\acute{a}x}^2} \quad (49)$$

$$R_{promedio} = \sqrt{Vu^2 + \left(\frac{N_{m\acute{a}x} + N_{min}}{2}\right)^2} \quad (50)$$

$$N_{m\acute{a}x} = Nu + \frac{4 * Mu}{L} \quad (51)$$

$$N_{min} = Nu - \frac{4 * Mu}{L} \quad (52)$$

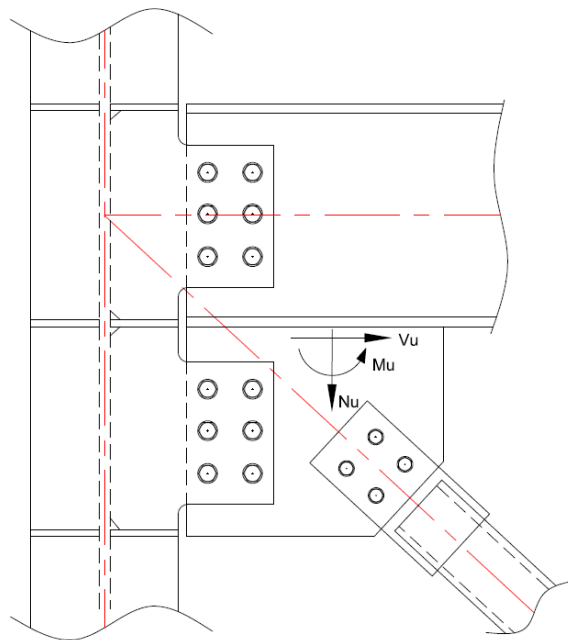


Figura 2.20: Fuerzas en lado de cartela soldada
Fuente: Elaboración propia

2.2.23 Alas y almas con fuerzas concentradas

Flexión local de ala

La resistencia de diseño para el estado límite de flexión local de ala se determina mediante la siguiente ecuación. (AISC, 2010)

$$\phi R_n = \phi * 6.25 * F_{yf} * t_f^2 \quad (53)$$

F_{yf} : Esfuerzo de fluencia de ala

t_f : Espesor de ala donde se aplica la carga

$\phi = 0.9$

Para los casos donde la longitud de carga a través del ala es menor a $0.15b_f$, donde b_f es el ancho de ala, no es necesario verificar el estado límite.

Cuando la fuerza concentrada a ser resistida es aplicada a una distancia del extremo del miembro que es menor a $10t_f$, la resistencia de diseño debe ser reducida en 50%.

Fluencia local de alma

Esto aplica a cargas concentradas simples y ambos componentes de cargas dobles. La resistencia nominal debe ser determinado:

Cuando se da el caso de que la carga concentrada a ser resistida esta aplicada a una distancia del extremo del miembro que es mayor al peralte del miembro d . (AISC, 2010)

$$\phi R_n = \phi F_{yw} t_w (5k + l_b) \quad (54)$$

Cuando la carga concentrada a ser resistida es aplicada a una distancia del extremo del miembro que es menor o igual a la altura del miembro d . (AISC, 2010)

$$\phi R_n = \phi F_{yw} t_w (2.5k + l_b) \quad (55)$$

F_{yw} : Esfuerzo de fluencia del alma

k : Distancia desde la cara exterior del ala al pie del filete del alma

l_b : Longitud de apoyo

t_w : Espesor de alma

$\phi = 1$

Aplastamiento de alma

Aplica a fuerzas concentradas simples a compresión o la componente en compresión de fuerzas concentradas dobles. La resistencia de diseño se determinará:

Cuando la fuerza de compresión a ser resistida esta aplicada a una distancia del extremo del miembro que es mayor o igual a $d/2$.

$$\phi Rn = \phi * 0.8tw^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{tw}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}tf}{tw}} \quad (56)$$

Cuando la fuerza de compresión a ser resistida esta aplicada a una distancia del extremo del miembro que es menor a d/2. (AISC, 2010).

Para $l_b/d \leq 0.2$

$$\phi Rn = \phi * 0.4tw^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{tw}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}tf}{tw}} \quad (57)$$

Para $l_b/d > 0.2$

$$\phi Rn = \phi * 0.4tw^2 \left[1 + \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{tw}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}tf}{tw}} \quad (58)$$

Donde:

d: Peralte de la sección

$\phi = 0.75$

Pandeo a compresión del alma

Esta sección aplica para un par de cargas concentradas simples de compresión o las componentes de compresión de un par de cargas concentradas dobles, aplicadas en ambas alas del miembro en la misma ubicación. La resistencia de diseño se determinará mediante:

$$\phi Rn = \phi * \frac{24tw^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} \quad (59)$$

$\phi = 0.9$

Cuando el par de cargas concentradas de compresión que deben ser resistidas es aplicada a una distancia desde el extremo del miembro menor que d/2, ϕRn debe ser reducido por 50%. (AISC, 2010).

Corte en zona panel del alma

Esta sección aplica para las cargas concentradas dobles aplicadas a una o ambas alas de un miembro en la misma ubicación. La resistencia de diseño de la zona panel del alma es:

Cuando no se considera en el análisis el efecto de la deformación de la zona panel en la estabilidad del marco: (AISC, 2010).

Para $P_r \leq 0.4P_c$

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_y * d_c * t_w \quad (60)$$

Para $P_r > 0.4P_c$

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_y * d_c * t_w \left(1.4 - \frac{P_r}{P_c} \right) \quad (61)$$

Donde:

$$\phi = 0.9$$

d_c : Altura de la columna

t_w : Espesor de alma de columna

$P_c = F_y * A_g$ resistencia axial de fluencia de la columna

P_r : Resistencia axial requerida

Se debe disponer cada vez que se requiera, plancha(s) de refuerzo o un par de rigidizadores diagonales dentro de los límites de la conexión rígida cuyas almas yacen en un plano común.

2.2.24 El método de la fuerza uniforme

La característica del método de fuerza uniforme es conseguir una geometría de la conexión de tal manera que no existan cargas de momento en las tres interfaces de la conexión, esto es cartela-viga, cartela-columna y viga-columna. Al no existir momentos, estas uniones pueden entonces ser calculadas para corte y/o tensión solamente, de aquí el origen del nombre de Método de Fuerza Uniforme. (AISC, 2010).

$$V_c = \frac{\beta}{r} P \quad (62)$$

$$H_c = \frac{e_c}{r} P \quad (63)$$

$$V_b = \frac{e_b}{r} P \quad (64)$$

$$H_b = \frac{\alpha}{r} P \quad (65)$$

Donde:

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} \quad (66)$$

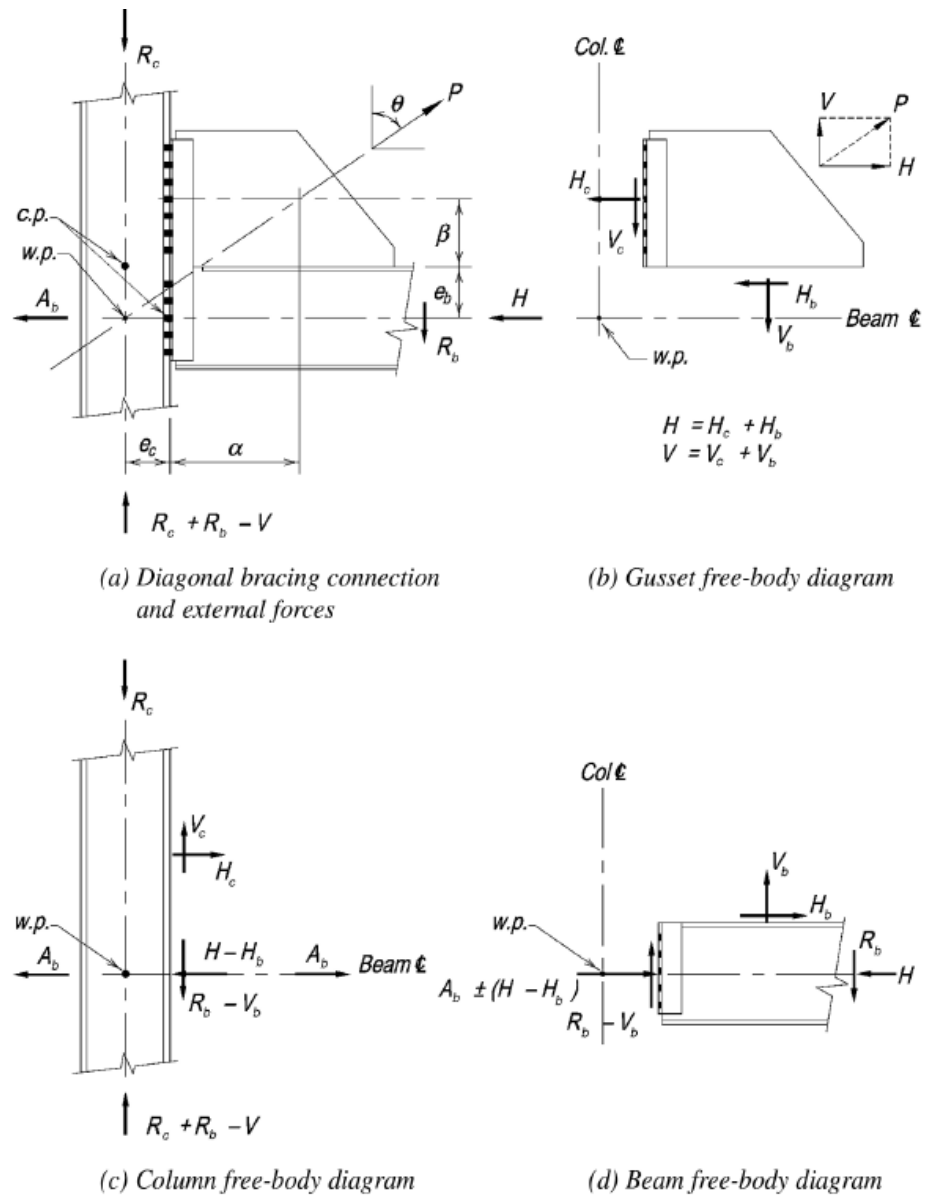


Figura 2.21: Transferencia de fuerza por el método de fuerza uniforme

Fuente: AISC, 2010

La conexión cartela-viga debe ser diseñada para la fuerza de corte requerida H_b y la fuerza axial requerida V_b , la conexión cartela-columna debe ser diseñada para la fuerza de corte requerida V_c y la fuerza axial requerida H_c y la conexión viga-columna debe ser diseñado para el cortante requerido $R_b - V_b$ y la fuerza axial $A_b \pm (H - H_b)$.

Caso especial: minimizando cortante en conexión viga-columna

Según lo mostrado en la figura, si fuerza del arriostramiento fuera compresión en vez de tracción y la reacción de viga requerida R_b fuera alta, la adición de fuerza cortante adicional V_b en la viga podría exceder la resistencia disponible de la viga y podría requerir planchas de refuerzo o una conexión tipo haunch. Alternativamente la fuerza vertical en la conexión cartela-viga V_b , puede ser limitada en una manera análoga a usar la cartela en sí como un haunch. Según se muestra en la siguiente figura, se considera que V_b es reducida por una cantidad arbitraria ΔV_b . Por estática, la componente vertical en la interfaz cartela-columna será incrementado a $V_c + \Delta V_b$, y un momento M_b resultará en la conexión cartela-viga donde $M_b = (\Delta V_b)\alpha$ (AISC, 2010).

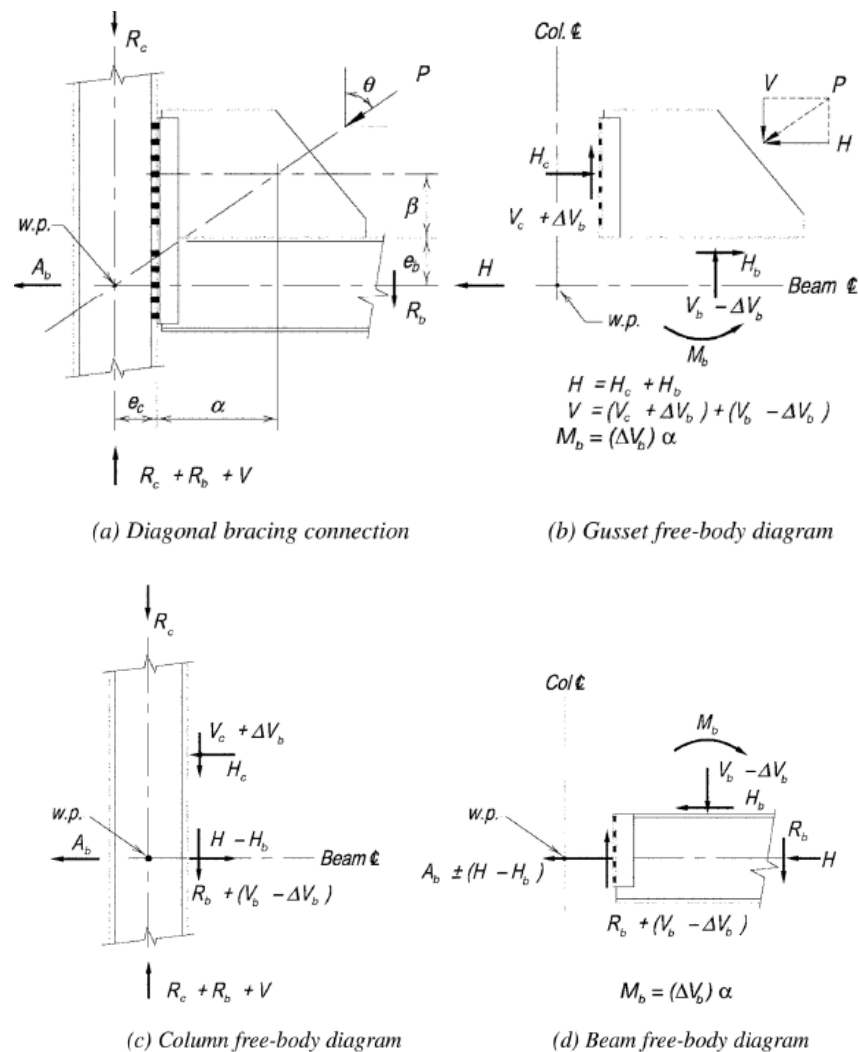


Figura 2.22: Método de fuerza uniforme- caso especial

Fuente: AISC, 2010

2.2.25 Fuerzas en conexión tipo chevron

Son conexiones destinadas a recibir los arriostramientos verticales en elevación que acometen a mitad de vano de viga. Para el cálculo de esta conexión se consideró las fuerzas mostradas en las siguientes imágenes. (AISC, 2014).

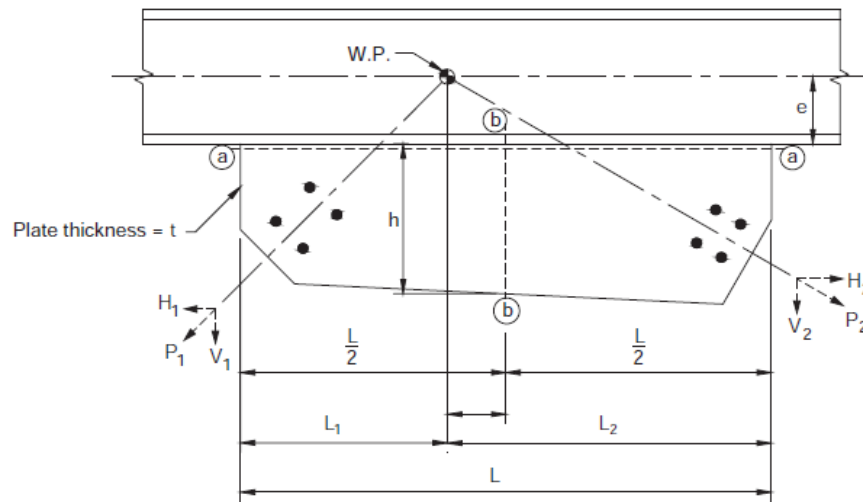


Figura 2.23: Fuerzas en cartela chevron

Fuente: AISC, 2014

Convención de signos:

P_1, P_2 : + para tracción, - para compresión

Si P_1 es +, entonces V_1 y H_1 también son +

Si P_1 es -, entonces V_1 y H_1 también son -

Lo mismo para P_2 (V_2, H_2)

$$\Delta = \frac{1}{2}(L_2 - L_1) \quad (67)$$

Notar que Δ es negativo si $L_2 < L_1$

$$M_1 = H_1 e + V_1 \Delta \quad (68)$$

$$M_2 = H_2 e - V_2 \Delta \quad (69)$$

$$M'_1 = \frac{1}{8} V_1 L - \frac{1}{4} H_1 h - \frac{1}{2} M_1 \quad (70)$$

$$M'_2 = \frac{1}{8} V_2 L - \frac{1}{4} H_2 h - \frac{1}{2} M_2 \quad (71)$$

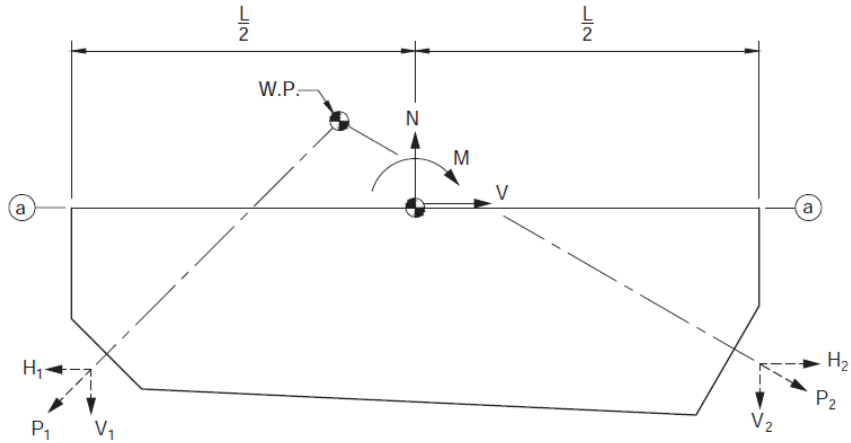


Figura 2.24: Fuerzas en sección a-a (direcciones positivas mostradas)

Fuente: AISC, 2014

Fuerzas en la sección a-a:

$$\text{Axial: } N = V_1 + V_2 \quad (72)$$

$$\text{Corte: } V = H_1 - H_2 \quad (73)$$

$$\text{Momento: } M = M_1 - M_2 \quad (74)$$

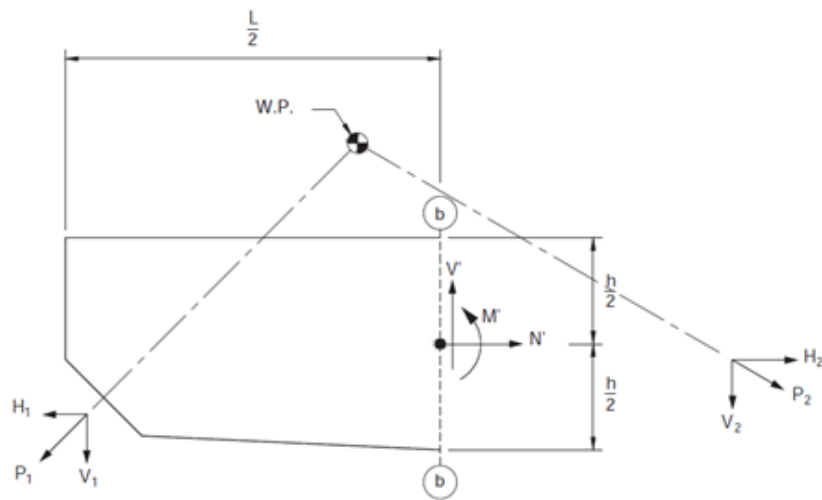


Figura 2.25: Fuerzas en sección b-b (direcciones positivas mostradas)

Fuente: AISC, 2014

Fuerzas en la sección b-b:

$$\text{Axial: } N' = \frac{1}{2}(H_1 + H_2) \quad (75)$$

$$\text{Corte: } V' = \frac{1}{2}(V_1 - V_2) - \frac{2}{L}M \quad (76)$$

$$\text{Momento: } M' = M'_1 + M'_2 \quad (77)$$

2.2.26 Fuerzas en conexión de cartela en placa base

Para conexiones de diagonales llegando a placa base de columnas generalmente se usó planchas soldadas a la columna y placa base en donde se determinaron las fuerzas actuantes en la interfaz de unión entre cartela con columna y placa base. Para el caso de esta investigación se tiene que la diagonal llega al alma de columna y por consiguiente le corresponde la distribución de fuerzas mostrada en la siguiente imagen. (AISC, 2014)

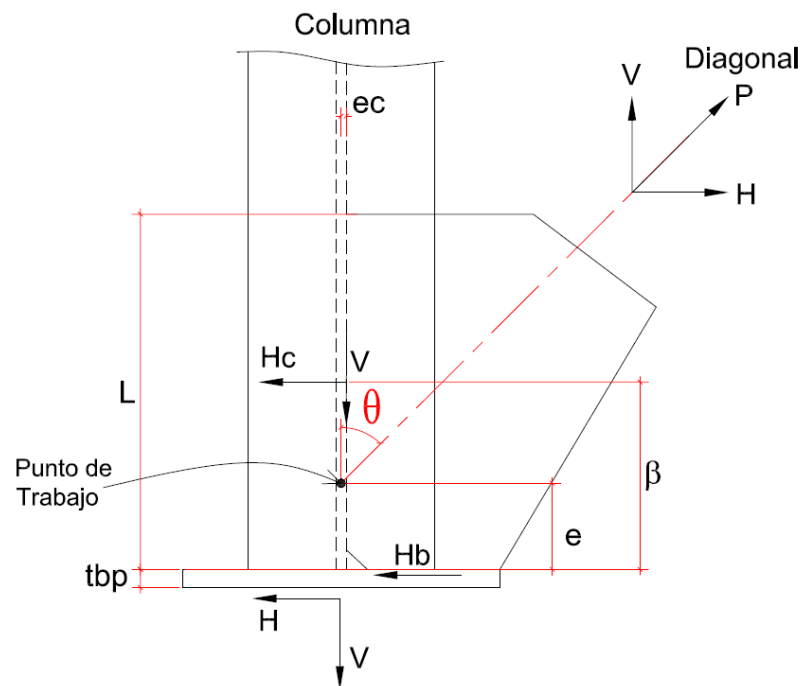


Figura 2.26: Distribución de fuerzas en cartela de placa base

Fuente: AISC, 2014

$$H_b = \frac{H*(\beta - e) - V*e_c}{\beta} \quad (78)$$

$$H_c = \frac{H*e + V*e_c}{\beta} \quad (79)$$

Esta distribución de fuerzas está basada en los principios básicos de la estática, y debe considerarse un valor negativo para el valor de “e” cuando el punto de trabajo se ubique por debajo de la superficie superior de la placa base.

Resistencia de alma de columna por cargas transversales

Para el caso de alma de columnas donde la carga H_c sea mayor a cero, ésta debe tener la capacidad suficiente para soportar esa carga. La capacidad a momento del alma de columna se determina con el análisis de líneas de fluencia de acuerdo la siguiente ecuación. (AISC, 2014).

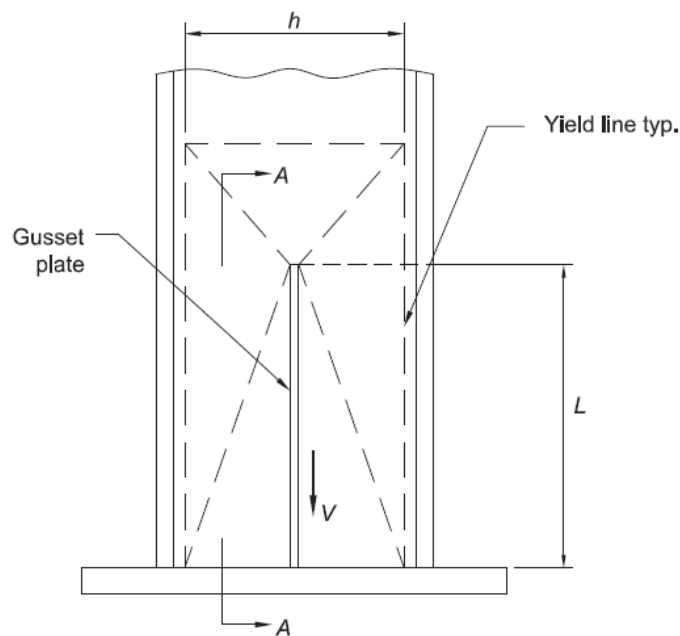


Figura 2.27: Línea de fluencia en alma de columna

Fuente: AISC, 2014

Resistencia de diseño:

$$\phi M_n = \phi * k * m_p * L \quad (80)$$

Donde:

L : altura de la cartela

$$k = 4 + 2 * \sqrt{2} + 6 * \left(\frac{L}{h}\right) + \left(\frac{h}{L}\right)$$

$$mp = \frac{1}{4} * Fy * tw^2$$

h: altura libre entre filetes de alma con ala

$$\phi = 0.9$$

El momento requerido se determina mediante:

$$Mu = Hc * \beta$$

2.2.27 Fuerzas en conexiones a momento

Durante el diseño de conexiones que resisten cargas a momento, es necesario determinar primeramente el valor de las fuerzas resultantes a compresión y tracción que actúan en los centros de las alas del perfil. Esto se logra mediante la formulación indicada a continuación. (McCormac, 2013).

$$C = T = \frac{M}{d - t_f} \quad (81)$$

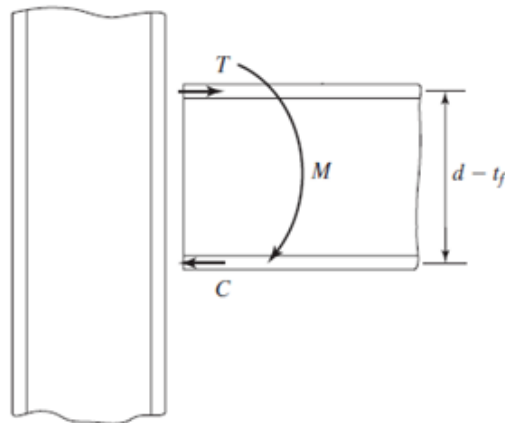


Figura 2.28: Fuerzas en conexiones de momento

Fuente: McCormac, 2013

2.2.28 Fuerzas en conexión tipo conector

Estas conexiones son comúnmente utilizadas para recibir arriostramientos y distribuir la fuerza entre dos elementos de soporte. Las fuerzas resultantes en la interfaz de conexión con los elementos de soporte se deben considerar según lo mostrado en la siguiente imagen:

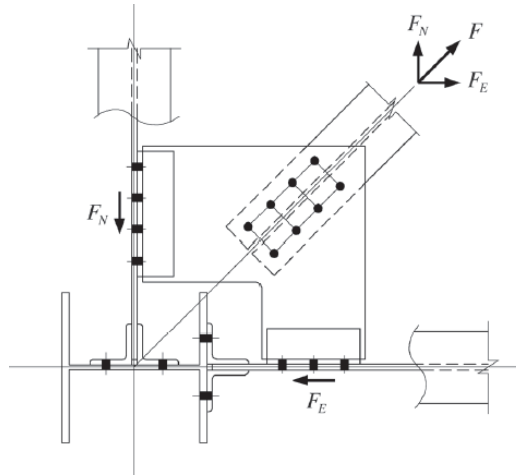


Figura 2.29: Fuerzas en cartelas de conexión

Fuente: Dowswell, 2017

Las fuerzas internas en la cartela para verificar su resistencia deben ser evaluadas según:

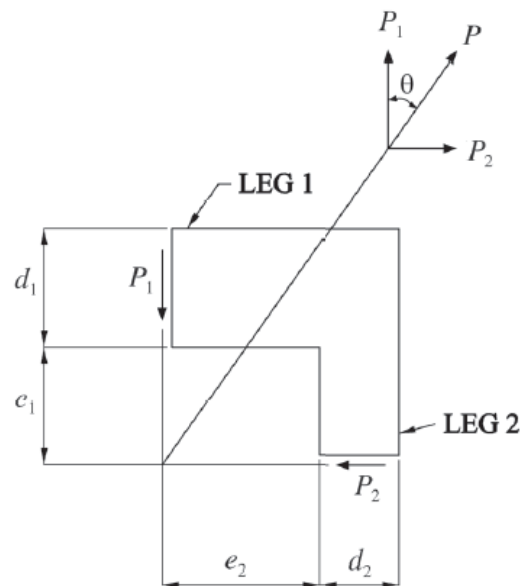


Figura 2.30: Fuerzas internas en cartela de conexión

Fuente: Dowswell, 2017

Los momentos requeridos en la sección crítica de cada lado son:

$$\text{Para Lado 1: } M_{r1} = P_1 \cdot e_2 \quad (82)$$

$$\text{Para Lado 2: } M_{r2} = P_2 \cdot e_1 \quad (83)$$

La resistencia nominal a flexión es obtenida de acuerdo a los estados límites de fluencia y pandeo lateral torsional según lo estipulado en la

Especificación AISC-360, Capítulo F, sección F11 usando las formulaciones indicadas en la parte 2.2.11 de la presente investigación.

El método de cálculo empleado consideró $C_b=1$ según expresado en el método de diseño simplificado por Dowswell (2017).

Para el caso de planchas de conexión que presentan recortes adicionales según la geometría mostrada en la siguiente imagen, se consideró evaluar las capacidades a flexión según lo indicado en las ecuaciones mostradas a continuación. (Dowswell, 2017).

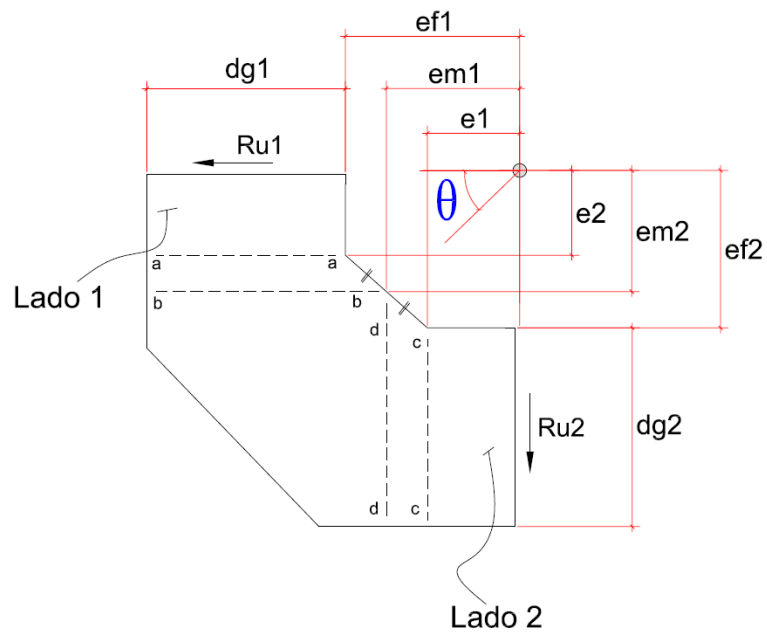


Figura 2.31: Medidas en geometría de cartela

Fuente: Elaboración propia

Para una carga requerida $Ru1$ en el Lado1, el momento requerido:

$$\text{En la sección a-a: } Mu1a = Ru1 \cdot e2 \quad (84)$$

$$\text{En la sección b-b: } Mu1b = Ru1 \cdot em2 \quad (85)$$

Para una carga requerida $Ru2$ en el Lado2, el momento requerido:

$$\text{En la sección c-c: } Mu2c = Ru2 \cdot e1 \quad (86)$$

$$\text{En la sección d-d: } Mu2d = Ru2 \cdot em1 \quad (87)$$

2.2.29 Forma ó tipología de conexiones simples

Para el desarrollo de conexiones simples se pueden usar distintas formas o tipologías de conexión de acuerdo a lo mostrado a continuación:

Conexiones con ángulo doble

Considera el uso de dos perfiles tipo L, uno en cada lado del alma de viga a ser conectado. Estos ángulos pueden ser soldados o atornillados a la viga conectada o al elemento de soporte. (AISC, 2010).

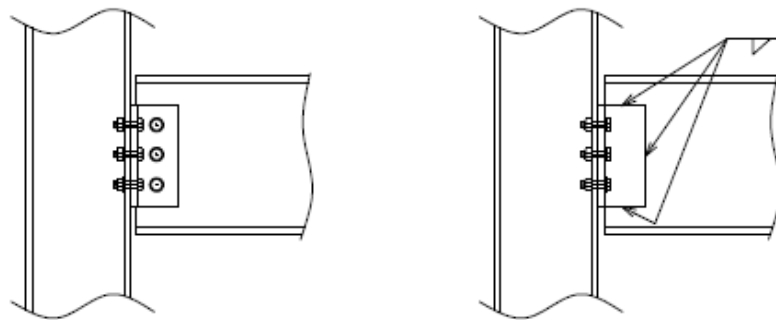


Figura 2.32: Conexiones con ángulo doble

Fuente: Elaboración propia

Conexión con placa de extremo de cortante

Es realizado con una plancha cuya longitud es menor al peralte de la viga conectada, los pernos en la plancha están ubicados a cada lado del alma de la viga. Esta plancha siempre es soldada al alma de viga en taller y empernada en obra al elemento soportante. (AISC, 2010).

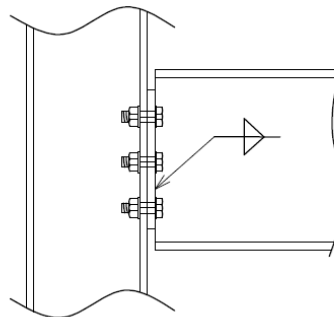


Figura 2.33: Conexión con placa de extremo de cortante

Fuente: Elaboración propia

Conexiones de asiento rigidizadas y sin rigidizar

Las conexiones de asiento sin rigidizar son realizadas con un ángulo de asiento (sobre el que apoya el ala inferior de viga) y un ángulo superior. Estos pueden ser atornillados o soldados a la viga conectada, así como al elemento de soporte. (AISC, 2010).

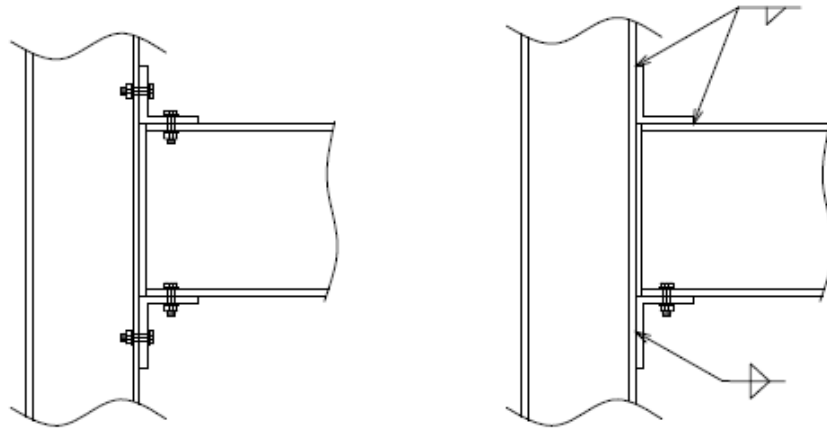


Figura 2.34: Conexiones de asiento sin rigidizar

Fuente: Elaboración propia

Las conexiones de asiento rigidizadas son desarrolladas con una plancha de asiento y un elemento rigidizador (por ejemplo, planchas, perfil T, o un par de ángulos) y con un ángulo en la parte superior de la viga conectada. El ángulo superior puede ser apernado o soldado a la viga soportada o al elemento de soporte y los elementos rigidizadores pueden ser atornillados o soldados al soporte. La viga soportada es atornillada a la plancha de asiento. (AISC, 2010).

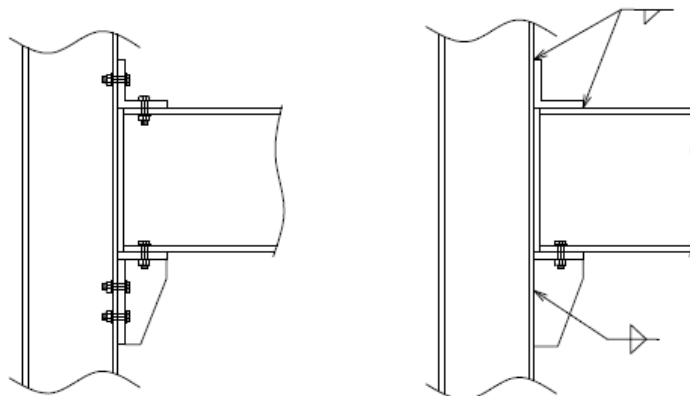


Figura 2.35: Conexiones de asiento rigidizadas

Fuente: Elaboración propia

Conexión de placa simple

Desarrollado con una plancha que esta soldada al soporte por ambos lados de la plancha y atornillado al miembro soportado. (AISC, 2010).

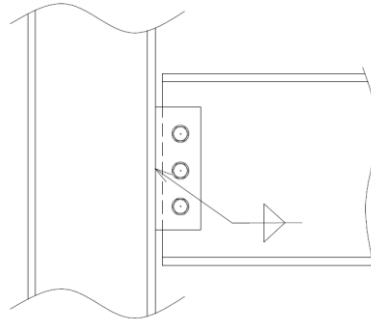


Figura 2.36: Conexión con placa simple

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de conexión fue el utilizado en esta investigación. Además de realizar las verificaciones de resistencia aplicables a este caso que fueron descritas anteriormente en este capítulo, será necesario verificar el espesor máximo de la plancha de conexión según lo indicado en la norma AISC (2010):

$$t_{max} = \frac{6 * M_{max}}{F_y * l^2} \quad (88)$$

Donde:

$$M_{max} = \frac{F_{nv} * A_b * C'}{0.9}$$

F_{nv} : Esfuerzo nominal a corte del perno.

A_b : área de un perno.

l : altura de la plancha

C' : coeficiente de pernos para el caso de momento ubicado en el centro de gravedad, que a su vez coincide con el centro instantáneo.

2.2.30 Forma ó tipología de conexiones a momento

Los tipos de conexiones a momento usadas comúnmente son:

Conexión con planchas en alas

Consiste en una conexión de corte apernada en el alma y planchas en

las alas superior e inferior que conectan las respectivas alas de la viga, todas estas planchas se encuentran soldadas a la columna de soporte. (AISC, 2010).

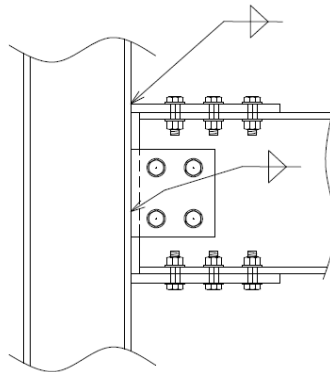


Figura 2.37: Conexión a momento con planchas en las alas
Fuente: Elaboración propia

Conexión con alas directamente soldadas

Consiste en una conexión de corte más soldaduras de penetración completa que unirán directamente las alas inferior y superior de la viga soportada con la columna soportante. (AISC, 2010).

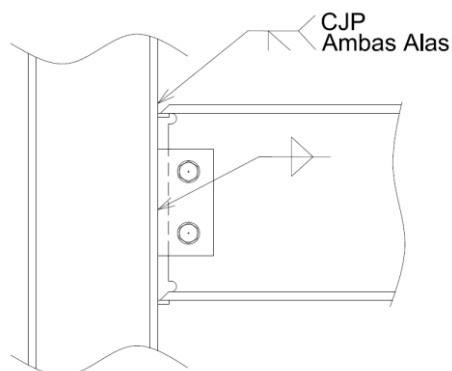


Figura 2.38: Conexión con alas directamente soldadas
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de esta investigación se consideró la variante de utilizar la conexión con el alma también soldado directamente a la columna.

Conexión con plancha de extremo extendida

Consiste en una placa de longitud mayor al peralte de la viga, el cual esta soldada de manera perpendicular al eje longitudinal de la viga

soportada, esta soldadura siempre es realizada en las alas y alma de la viga conectada y empernada en obra a la columna de soporte. (AISC, 2010).

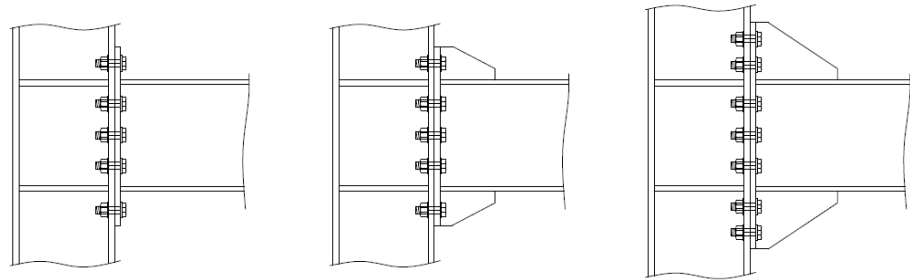


Figura 2.39: Conexiones de momento con placa de extremo

Fuente: Elaboración propia

2.3 BASES CONCEPTUALES

2.3.1 Conexión

Es la unión que existe entre dos miembros estructurales a través del uso de elementos adicionales como pernos, soldadura y planchas; y por medio del cual se transmiten los esfuerzos entre los distintos miembros que conforman la estructura.

2.3.2 Coronel

Es una comuna de la zona central de Chile, el cual pertenece a la provincia de Concepción, región del Biobío, ubicada en la mitad geográfica de Chile continental a 30 km al sur del centro de la capital regional Concepción. (Wikipedia, 2021).

2.3.3 Esfuerzo

Es la fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada.

2.3.4 ESMETAL SAC

Empresa con ruc 20302091766 ubicado en Av. Víctor Andrés Belaunde N°720, Carmen de la Legua, Callao- Lima. Empresa metalmecánica dedicada al desarrollo de ingeniería de detalle y fabricación de

estructuras metálicas para los rubros minero, energía, refinería, infraestructura, comercio e industria en general.

2.3.5 Estructura Metálica

Conjunto de elementos de acero unidos entre sí de manera apropiada con el objetivo de soportar las fuerzas o cargas para las que fueron construidas.

2.3.6 Planta de Peróxido de Hidrógeno

Instalación industrial de procesos químicos dedicada a la producción del compuesto químico peróxido de hidrogeno, el cual es utilizado en diversas actividades industriales, tales como la agricultura, medicina, alimentaria y usos domésticos.

2.3.7 Resistencia

Es la capacidad que tiene un elemento para soportar los esfuerzos a los que serán sometidos sin que estos signifiquen una falla o un estado de deformación no permitido. (Wikipedia).

2.3.8 Solvay

Es un grupo químico internacional que desarrolla soluciones sostenibles, innovadoras, competitivas y de alto valor añadido, realizadas a la medida del cliente para multitud de mercados tales como bienes de consumo, automoción, energía, medio ambiente, construcción, agricultura, electricidad y electrónica, o papel. (www.solvay.com)

2.4 HIPÓTESIS

La presente investigación no tiene hipótesis porque es una investigación de tipo descriptivo.

Las investigaciones descriptivas se enfocan en medir con la máxima precisión que es posible. El hecho de realizar la medición de un fenómeno para poder describirlo no necesita de una hipótesis, por tal razón, los estudios eminentemente descriptivos carecen de la misma. (Hernández, 2014).

2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2.7: Operacionalización de la variable de estudio

Variable de Estudio: Diseño de conexiones emperradas y soldadas en la estructura metálica de la Planta de Peróxido de Hidrógeno Solvay Coronel		
Definición Conceptual	Dimensión	Indicador
Proceso de cálculo donde se llega determinar todos los elementos conformantes de la conexión mediante la verificación de las diferentes resistencias disponibles (tracción, compresión, flexión y cortante) frente a las cargas requeridas.	Resistencia a tracción	$\phi * F_y * A_g$ (kN)
	Resistencia a compresión	$\phi * F_{cr} * A_g$ (kN)
	Resistencia a flexión	$\phi * F_y * Z$ (kN*m)
	Resistencia a cortante	$\phi * 0.6 * F_y * A_{gv}$ (kN)
	Resistencia a fuerzas combinadas	$\left(\frac{Mr}{Mc}\right) + \left(\frac{Pr}{Pc}\right)^2 + \left(\frac{Vr}{Vc}\right)^4 \leq 1.0$
	Resistencia de pernos a cortante	$\phi * F_{nv} * A_b$ (kN)
	Resistencia al aplastamiento y desgarramiento de agujero de pernos	$\phi * 2.4 * d * F_u * t$ (kN) $\phi * 1.2 * l_c * F_u * t$ (kN)
	Resistencia de pernos a carga excéntrica	$\phi * C * r_n$ (kN)
	Resistencia de soldadura	$\phi * 0.6 * F_{EXX} * A_w$ (kN)
	Resistencia de soldadura a carga excéntrica	$\phi * C * C_1 * D * L$ (kN)
Resistencia de alas y almas con fuerzas concentradas	$\phi * 6.25 * F_{yf} * t_f^2$ (kN) $\phi * F_{yw} * t_w * (2.5k + L_b)$ (kN) $\phi * 0.6 * F_y * d_c * t_w$ (kN)	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Método deductivo. Se consideraron las leyes o principios generales que involucran el diseño de conexiones para llegar a establecer las conclusiones particulares a usarse durante el cálculo de cada una de las conexiones Ramírez (2010).

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es tecnológica, porque tuvo el objetivo de aplicar el conocimiento científico para llegar a resolver una variedad de problemas orientados a atender diversas necesidades de la sociedad (Espinoza, 2014). Esto es debido a que se aplicó el conocimiento definido en las normas de construcción en acero para resolver la necesidad de conseguir las conexiones estructurales que son materia de esta investigación.

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es descriptivo, porque buscó describir el objeto de estudio mostrando sus características, cualidades internas y externas, y otras propiedades o rasgos particulares de los hechos y fenómenos tal como están funcionando. (Carrasco, 2006).

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue descriptivo simple. Este diseño se utiliza para el estudio de diagnóstico descriptivo, caracterizaciones, perfiles, etc, es decir, estos diseños se emplean para conocer las características de un hecho de la realidad. (Espinoza, 2014).

En el presente estudio se recogió la información vigente referente a conexiones estructurales proveniente de manuales y normas internacionales los cuales se aplicaron al proceso de diseño de conexiones.

“Diagrama”: $M \implies O$

Donde:

M: Edificio de acero estructural de la Planta Solvay Coronel

O: Conexiones empernadas y soldadas

3.5 UNIDAD DE OBSERVACIÓN

La unidad de observación está constituida por la estructura de acero perteneciente al Área de Hidrogenación de la Planta de Peróxido de Hidrogeno Solvay Coronel.

3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnica Documental: con la recopilación de información de libros, manuales, normas internacionales, publicaciones de estudios de investigación. (Espinoza, 2014). Se recopiló toda la información vigente referente a las normas documentadas tales como AWS, AISC, ASTM, de igual manera informes de estudios de investigación aceptados por las normas internacionales.

3.7 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de información se realizó en la oficina de ingeniería de Esmetal sac a partir de lo encontrado en manuales de normas internacionales y en antecedentes históricos aplicados en otros proyectos que pueden ser usados en la presente investigación.

CAPÍTULO IV

CÁLCULO DE CONEXIONES EMPERNADAS Y SOLDADAS

4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para realizar el cálculo de las conexiones se tuvieron en primer lugar los requerimientos estructurales que se deben satisfacer. Estos requerimientos fueron suministrados por un tercero, el diseñador estructural, y están referidos a metodología de cálculo, tipo de junta, forma o tipología de conexión y cargas, la calidad de acero para planchas de conexión, el material de pernos a utilizar con la consideración de rosca incluida o excluida del plano de corte y la soldadura a utilizar. Para la estructura en estudio, el diseñador estructural del proyecto suministró la siguiente información:

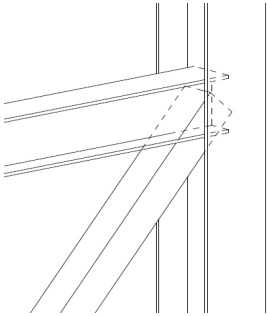
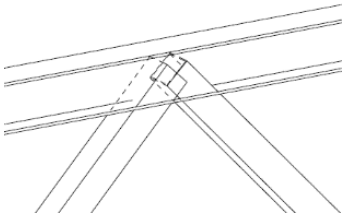
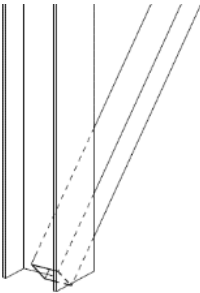
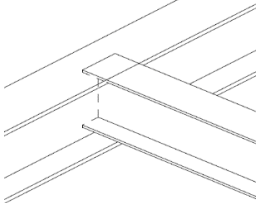
Tabla 4.1: Consideraciones de diseño

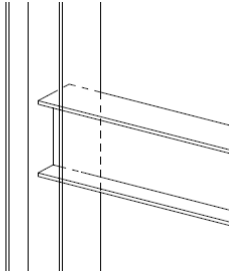
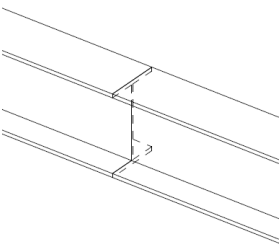
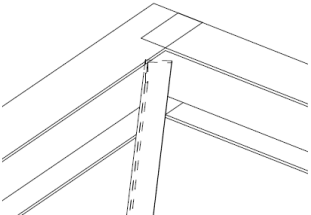
Metodología de cálculo:	LRFD
Tipo de junta:	Pretensada
Tipo de conexión:	Simples y a momento según lo indicado para cada caso.
Forma o tipología de conexión:	Conexiones simples con placa simple y conexiones de momento directamente soldadas
Planchas de conexión:	A36
Pernos:	A325 – Tipo N (rosca incluida)
Soldadura:	E70

Fuente: Elaboración propia

Las cargas y el tipo de conexión para cada una de las conexiones a diseñar se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Cargas y tipo de conexión

Conexión	Tipo de Conexión	Carga (% capacidad)
<p>N°1: Nudo (diagonal llegando a intersección viga-columna)</p> 	Simple	100% capacidad axial en diagonal. Para la viga 75% capacidad de corte más una carga axial igual al valor de la carga de la diagonal multiplicado por el coseno del ángulo que forma con la viga.
<p>N°2: Chevron (diagonales llegando a mitad de vano de viga)</p> 	Simple	100% capacidad axial de diagonal.
<p>N°3: Diagonal llegando a placa base</p> 	Simple	100% capacidad axial de diagonal.
<p>N°4: Viga-viga</p> 	Simple	75% capacidad de corte de la viga

<p>N°5: Viga-columna</p> 	<p>Momento</p>	<p>100% de capacidad de momento más 75% capacidad de corte de la viga</p>
<p>N°6: Empalme de viga</p> 	<p>Momento</p>	<p>100% de capacidad de momento más 100% capacidad de corte de la viga</p>
<p>N°7: Diagonal llegando a intersección viga-viga (conector)</p> 	<p>Simple</p>	<p>75% capacidad axial de diagonal.</p>

Fuente: Elaboración propia

Como se había mencionado anteriormente, estas conexiones corresponden a la estructura metálica del área de hidrogenación de la planta de peróxido de hidrogeno Solvay Coronel. La selección de las conexiones a desarrollar en esta investigación se realizó en base a los tipos más comunes o repetitivos que se encuentra en todo el edificio metálico, con los que se pudo llegar a conectar la mayoría de miembros estructurales. Ante la presencia de algún caso diferente a las presentadas en este estudio, solo es necesario aplicar los conceptos descritos en el marco teórico para proceder a diseñar la conexión. A manera de referencia, en las siguientes imágenes se muestra la ubicación de las conexiones de la Tabla 4.2 en la estructura. La totalidad de planos de la estructura se encuentra en el Anexo N°3.

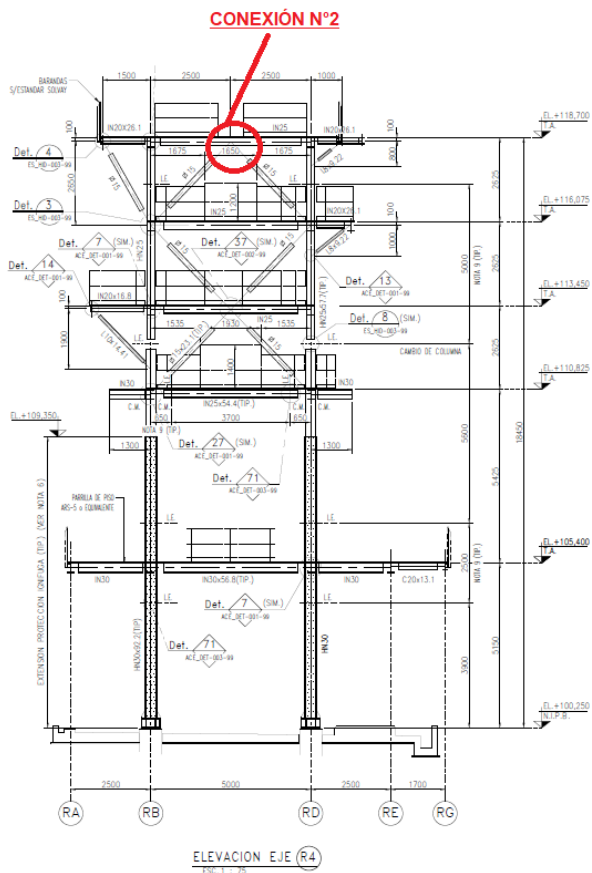
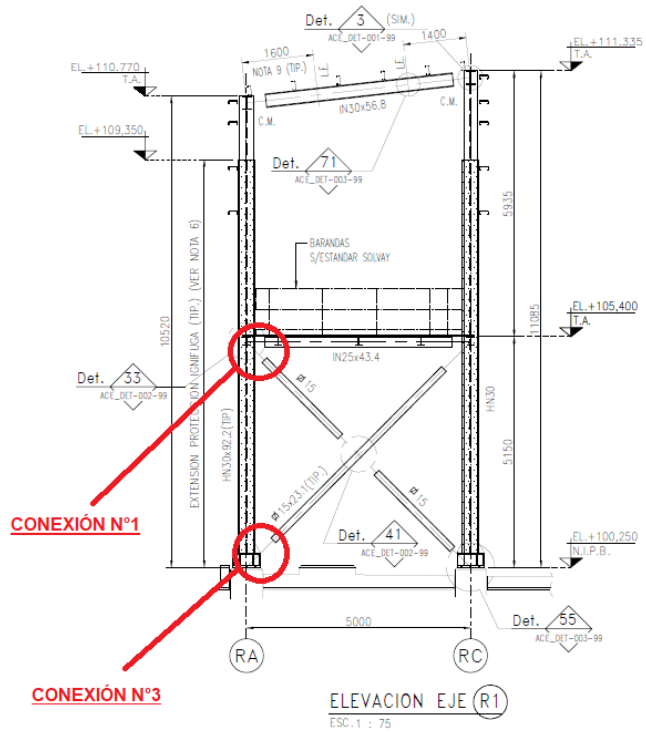


Figura 4.1: Ubicación de conexiones N°1, N°2 y N°3 en estructura

Fuente: Elaboración propia

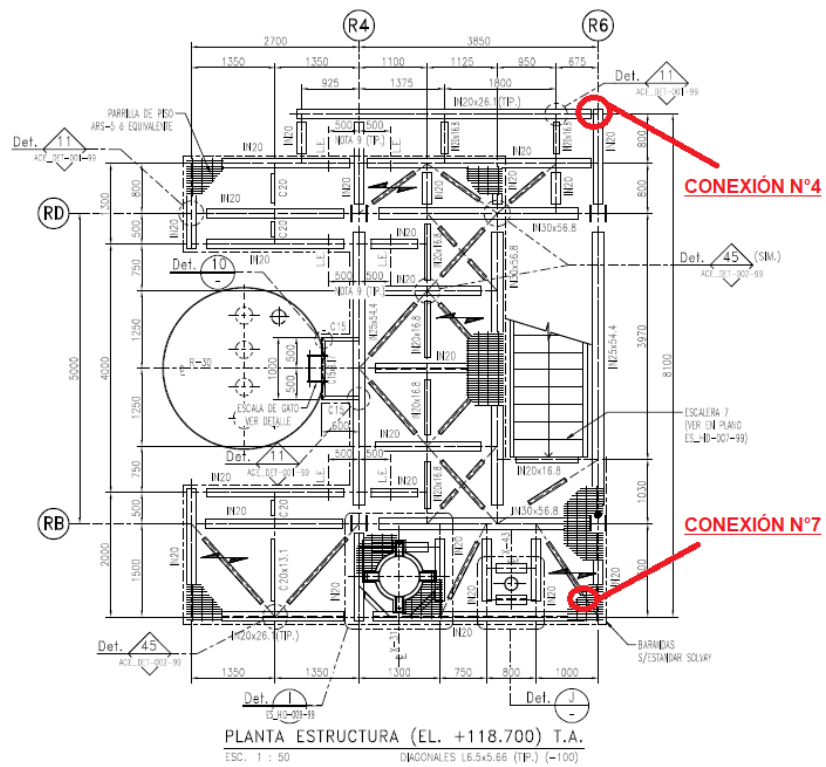
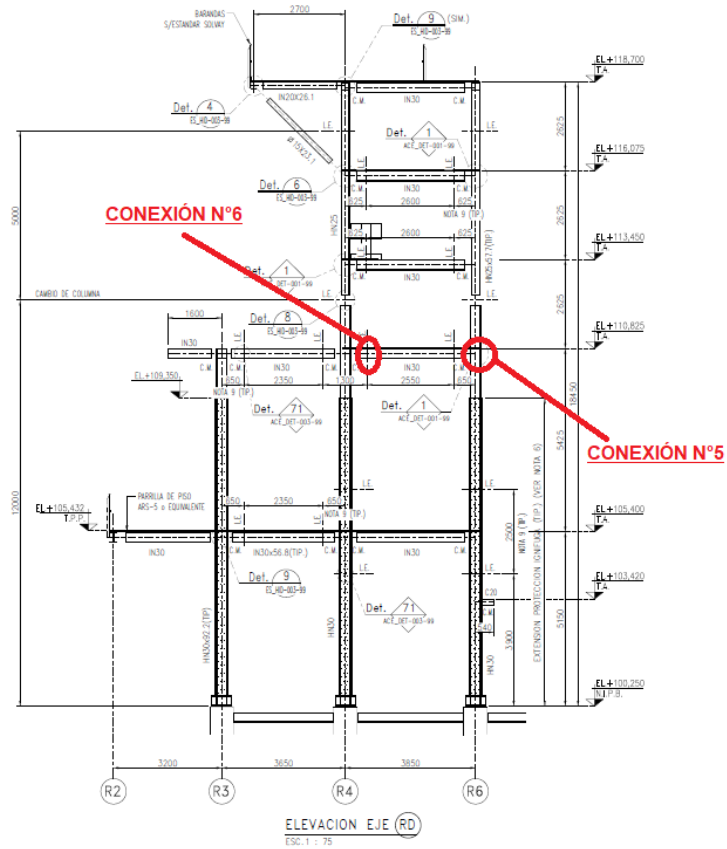


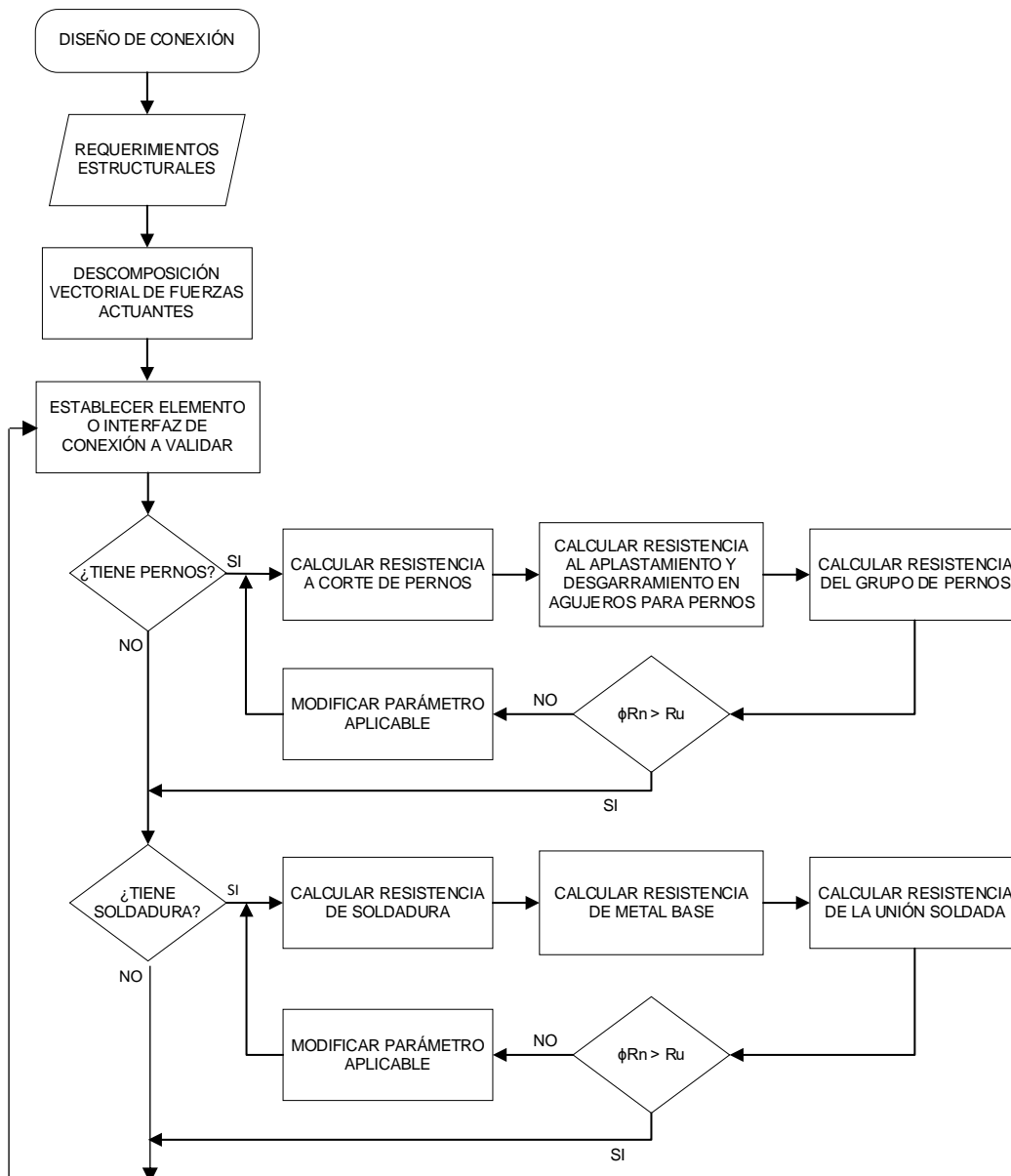
Figura 4.2: Ubicación de conexiones N°4, N°5, N°6 y N°7 en estructura

Fuente: Elaboración propia

4.2 DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El marco teórico desarrollado en el capítulo II, ha sido producto de la metodología de investigación deductiva debido a que se consideraron todos los principios generales que rigen el diseño de conexiones y se establecieron conclusiones específicas que se aplicaron en el cálculo de las conexiones necesarias para la estructura en estudio. Por tanto, los cálculos a ejecutar fueron basados en este marco teórico y se seleccionaron apropiadamente para cada caso de conexión, esta selección está basada en los principios básicos de la física y mecánica de materiales.

En el siguiente diagrama de flujo se presenta el procedimiento de cálculo a seguir para las conexiones necesarias de la estructura:



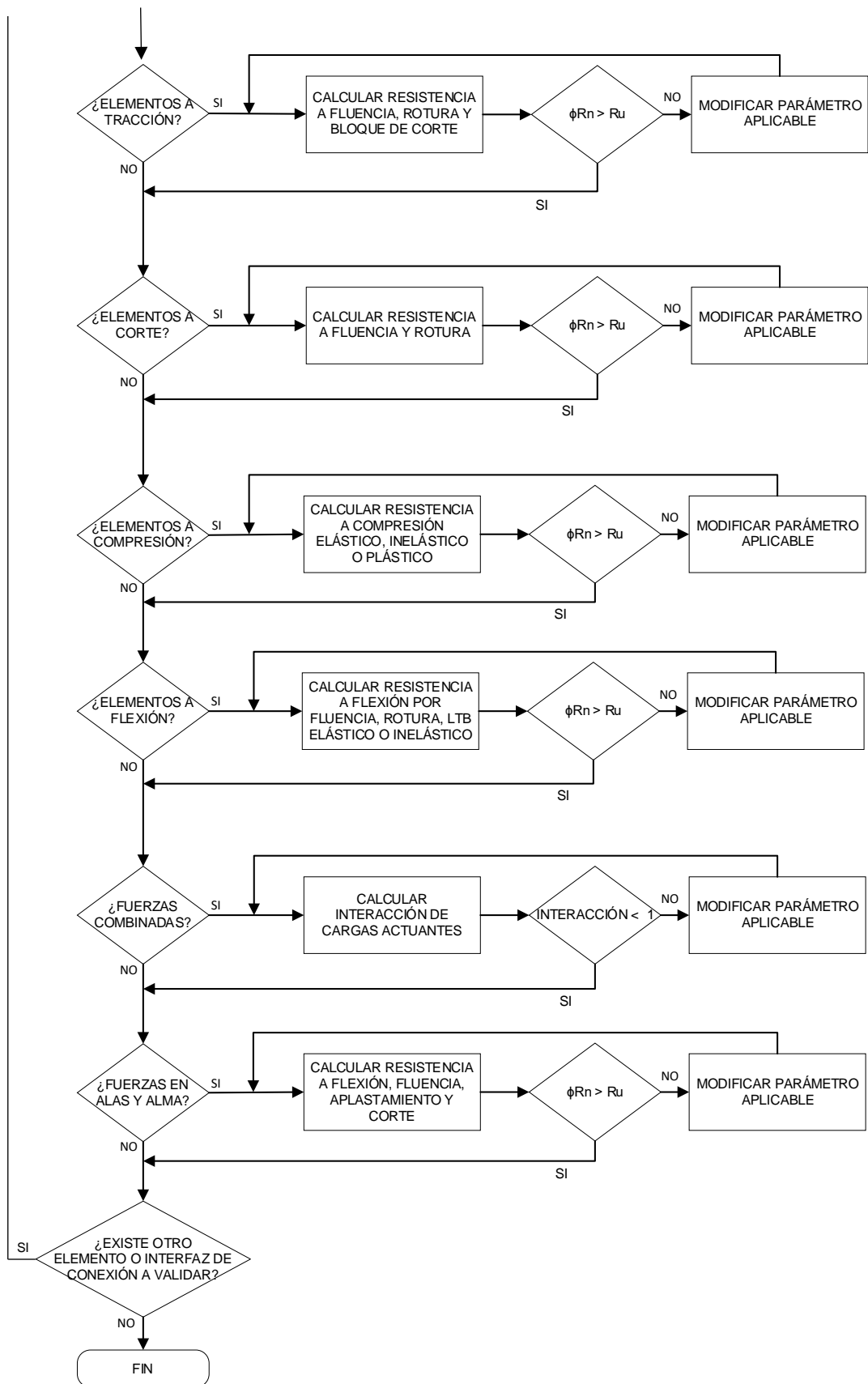


Figura 4.3: Diagrama de flujo para cálculo de conexiones

Fuente: Elaboración propia

4.3 CÁLCULO DE LAS CONEXIONES

CONEXIÓN N°1: CONEXIÓN DE NUDO

Se procede primeramente a calcular de manera individual la conexión de la diagonal con la cartela:

Propiedades de Diagonal

Perfil:	Tubo 150x150x5 mm	
Material:	A500 GrB	
Esfuerzo de fluencia:	$F_y=46$ ksi	$F_y=317.159$ MPa
Esfuerzo de rotura:	$F_u=58$ ksi	$F_u=399.896$ MPa
Área de la sección transversal:	$A=4.36$ in ²	$A=28.129$ cm ²
Altura del perfil:	$h=150$ mm	$h=5.906$ in
Ancho del perfil:	$b=150$ mm	$b=5.906$ in
Espesor de pared de perfil:	$t=5$ mm	$t=0.197$ in

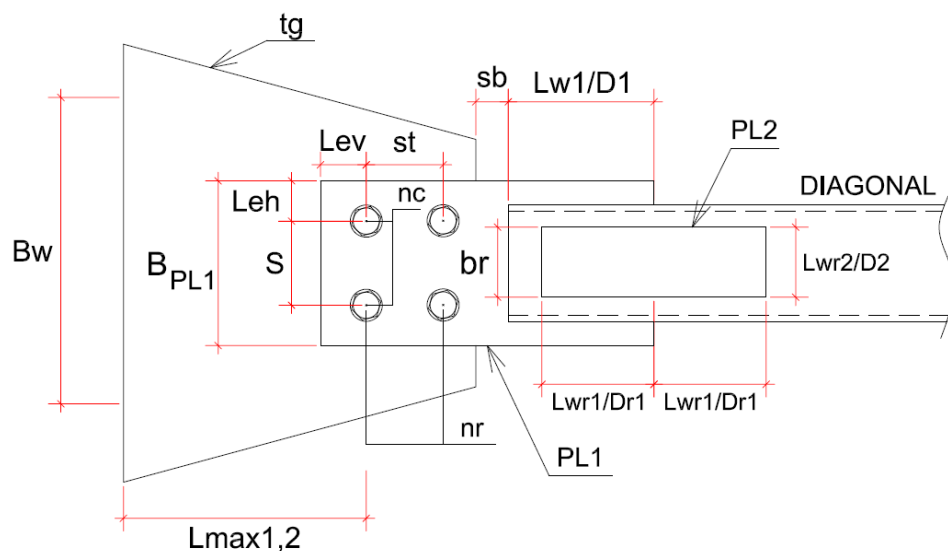


Figura 4.4: Esquema de conexión diagonal con cartela

Fuente: Elaboración propia

Carga de diseño

Porcentaje de capacidad axial: $capac:=100\%$ (Requerimiento de diseño)

Determinación de la carga axial requerida R_u según norma AISC.

$\Phi := 0.9$, usamos ecuación (2).

$R_{udg} := \text{capac} * \Phi * F_y * A = 802.922 \text{ kN}$

Pernos

Material: A325 Tipo N-Rosca incluida
Esfuerzo nominal a cortante: $F_{nv} := 54 \text{ ksi}$ $F_{nv} = 372.317 \text{ MPa}$
Tipo de Agujero: Standard

Soldadura

Electrodo: E70
Resistencia del electrodo: $F_{EXX} = 70 \text{ ksi}$ $F_{EXX} = 482.633 \text{ MPa}$

Cartela- tg

Espesor de cartela: $tg := 16 \text{ mm}$ $tg = 0.63 \text{ in}$

El material para todas las planchas de conexión utilizadas serán el mismo.

Material: A36
Esfuerzo de fluencia: $F_{yPL} := 36 \text{ ksi}$ $F_{yPL} = 248.211 \text{ MPa}$
Esfuerzo de rotura: $F_{uPL} := 58 \text{ ksi}$ $F_{uPL} = 399.896 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad: $E_{PL} := 29000 \text{ ksi}$ $E_{PL} = 199.948 \text{ GPa}$

Plancha - PL1

Espesor de cartela: $t_{PL1} := 16 \text{ mm}$ $t_{PL1} = 0.63 \text{ in}$
Material: A36

Plancha de refuerzo - PL2

Espesor de cartela: $t_{PL2} := 6 \text{ mm}$ $t_{PL2} = 0.236 \text{ in}$
Material: A36
Ancho de plancha de refuerzo: $br := 110 \text{ mm}$ $br = 4.331 \text{ in}$

Área de la sección transversal:	$A_r := br * t_{PL2} = 1.023 \text{ in}^2 = 6.6 \text{ cm}^2$	
Longitud soldadura longitudinal:	$L_{wr1} := 120 \text{ mm}$	$L_{wr1} = 4.724 \text{ in}$
Tamaño de filete de soldadura:	$Dr1 := 5 \text{ mm}$	$Dr1 = 0.197 \text{ in}$
Longitud soldadura transversal:	$L_{wr2} := br$	$L_{wr2} = 4.331 \text{ in}$
Tamaño de filete de soldadura:	$Dr2 := 5 \text{ mm}$	$Dr2 = 0.197 \text{ in}$

Interfaz diagonal con cartela

Longitud de soldadura:	$L_{w1} := 230 \text{ mm}$	$L_{w1} = 9.055 \text{ in}$
Tamaño de filete de soldadura:	$D1 := 6 \text{ mm}$	$D1 = 0.236 \text{ in}$

Interfaz cartela con plancha PL1

Número de columnas de pernos:	$nc := 2$	
Número de filas de pernos:	$nr := 3$	
Diámetro de pernos:	$bd := 1 \text{ in}$	
Distancia horizontal al borde:	$Leh := 50 \text{ mm}$	$Leh = 1.969 \text{ in}$
Distancia vertical al borde:	$Lev := 50 \text{ mm}$	$Lev = 1.969 \text{ in}$
Separación longitudinal:	$s := 140 \text{ mm}$	$s = 5.512 \text{ in}$
Separación transversal:	$st := 100 \text{ mm}$	$st = 3.937 \text{ in}$
Ancho de plancha:	$B_{PL1} := s + 2 * Leh = 240 \text{ mm} = 9.449 \text{ in}$	
Separación:	$sb := 10 \text{ mm}$	$sb = 0.394 \text{ in}$

Verificaciones de resistencia en interfaz diagonal con plancha PL1

Resistencia de unión soldada: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

Longitud de soldadura:	$L_{w1} = 230 \text{ mm}$
Garganta efectiva:	$Garg := 0.707 * D1 = 4.242 \text{ mm}$
Nro de filetes de soldadura:	$n_{rofi} := 4$

Ángulo de carga: $\text{ang}:=0^\circ$
 Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw}:= 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot \sin(\text{ang}))^{1.5}$
 $F_{nw}=289.58 \text{ MPa}$
 Área efectiva de la soldadura: $A_{we}:= G_{arg} \cdot L_{w1} \cdot n_{rofi}=39.026 \text{ cm}^2$
 Factor de resistencia: $\Phi:=0.75$
 Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nw}:= \Phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we}=847.594 \text{ kN}$
 Resistencia del Metal Base:

Lados soldados en la diagonal: $L_{sold}:=4$

Área del metal Base: $A_{BM}:=L_{w1} \cdot L_{sold} \cdot t=46 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM}:=\Phi \cdot 0.6 \cdot F_u \cdot A_{BM} =827.785 \text{ kN}$

Resistencia de la Unión Soldada

$\Phi R_{n1}:= \min(\Phi R_{nw}, \Phi R_{nBM}) = 827.785 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{n1} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por cortante en la diagonal: usando ecuación (30)

Área a cortante: $A_{gv}:=L_{w1} \cdot t^4 =46 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=1$

$\Phi R_{n2}:=\Phi \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv}=875.358 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{n2} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por cortante en PL1: usando ecuación (30)

Área bruta a cortante: $A_{gv}:=L_{w1} \cdot t_{PL1} \cdot 2 =73.6 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=1$

$\Phi R_{n3}:=\Phi \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv}=1096.101 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{n3} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante en PL1: usando ecuación (31)

Área neta a cortante: $A_{nv}:=L_{w1} \cdot t_{PL1} \cdot 2 = 73.6 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$$\Phi R_{n4} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} = 1324.455 \text{ kN}$$

SI [$\phi R_{n4} > R_{udg}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia por bloque de corte en PL1: usando ecuación (8)

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv} := L_{w1} \cdot t_{PL1} \cdot 4 = 147.2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta a tracción: } A_{nt} := t \cdot t_{PL1} \cdot 2 = 1.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv} := L_{w1} \cdot t_{PL1} \cdot 4 = 147.2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Factor de reducción: } U_{bs} := 1$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n5} := \Phi \cdot \min \cdot (0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt}, 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt})$$

$$\Phi R_{n5} = 1692.139 \text{ kN}$$

SI [$\phi R_{n5} > R_{udg}$, OK, FALLA] = OK

Verificaciones de resistencia en plancha PL1

Resistencia del grupo de pernos: usando ecuaciones (35), (36) y (38)

Resistencia nominal a cortante de un perno:

$$A_b := \frac{\pi}{4} \cdot b_b^2 = 0.785 \text{ in}^2$$

$$R_{na} := F_{nv} \cdot A_b = 188.656 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al desgarramiento en perno de borde en plancha PL1:

$$\text{Diámetro de agujeros: } d_h := b_d + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia libre al borde: } l_c := L_{ev} - \frac{d_h}{2} = 35.713 \text{ mm}$$

$$\text{Resistencia Nominal: } R_{nb} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_{uPL} \cdot t_{PL1}$$

$$R_{nb} = 274.201 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al desgarramiento en pernos interiores en plancha PL1:

$$\text{Distancia libre entre pernos: } l_c := s_t - d_h = 71.425 \text{ mm}$$

Resistencia Nominal: $R_{nc} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_{uPL} \cdot t_{PL1}$
 $R_{nc} = 548.401 \text{ kN}$

Resistencia nominal al aplastamiento en pernos en plancha PL1 :

$$R_{nd} := 2.4 \cdot b_d \cdot F_{uPL} \cdot t_{PL1}$$

$$R_{nd} = 390.042 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al desgarramiento en perno de borde en cartela tg:

Diámetro de agujeros: $d_h := b_d + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$

Distancia libre al borde: $l_c := Lev - \frac{d_h}{2} = 35.713 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{ne} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_{uPL} \cdot t_g$
 $R_{ne} = 274.201 \text{ kN}$

Resistencia nominal al desgarramiento en pernos interiores en cartela tg:

Distancia libre entre pernos: $l_c := st - d_h = 71.425 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{nf} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_{uPL} \cdot t_g$
 $R_{nf} = 548.401 \text{ kN}$

Resistencia nominal al aplastamiento en pernos en cartela tg :

$$R_{ng} := 2.4 \cdot b_d \cdot F_{uPL} \cdot t_g$$

$$R_{ng} = 390.042 \text{ kN}$$

Resistencia de diseño del grupo de pernos:

$$\Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n6} := \Phi \cdot (n_c \cdot \min(R_{na}, R_{nb}, R_{nd}, R_{nf}, R_{ng}) + (n_r - 2) \cdot n_c \cdot \min(R_{na}, R_{nc}, R_{nd}, R_{nf}, R_{ng}) + n_c \cdot \min(R_{na}, R_{nc}, R_{nd}, R_{ne}, R_{ng}))$$

$$\Phi R_{n6} = 848.951 \text{ kN}$$

$$SI [\Phi R_{n6} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$$

Resistencia a fluencia por tracción: usando ecuación (2)

Área bruta: $A_g := t_{PL1} \cdot B_{PL1} = 38.4 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$$\Phi R_{n7} := \Phi \cdot F_{yPL} \cdot A_g = 857.818 \text{ kN}$$

$$SI [\Phi R_{n7} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$$

Resistencia a rotura por tracción: usando ecuación (3)

Área neta: $A_n := t_{PL1} * B_{PL1} - d_h * n_c * t_{PL1} = 29.256 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n8} := \Phi * F_{uPL} * A_n = 877.452 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{n8} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - para caso en forma de C: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de C:

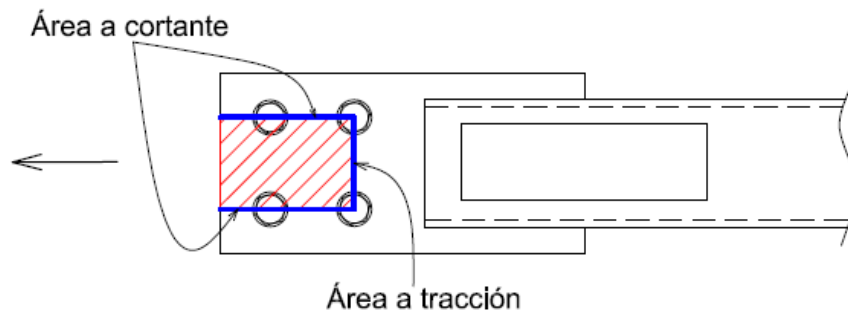


Figura 4.5: Bloque de corte en plancha PL1-forma en C

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv} := (Lev + (nr - 1) * st - (nr - 0.5) * d_h) * t_{PL1} * 2 = 57.14 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := ((nc - 1) * s - ((nc - 1) * d_h)) * t_{PL1} = 17.828 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (Lev + (nr - 1) * st) * t_{PL1} * 2 = 80 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n9} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n9} = 1428.261 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{n9} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - para caso en forma de 2 L: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de 2 L:

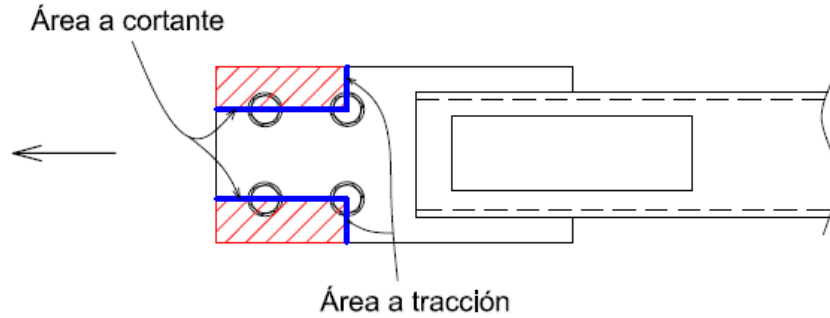


Figura 4.6: Bloque de corte en plancha PL1-forma en 2L

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv} := (Lev + (nr - 1) * st - (nr - 0.5) * dh) * t_{PL1} * 2 = 57.14 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := (Leh - \frac{dh}{2}) * t_{PL1} * 2 = 11.428 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (Lev + (nr - 1) * st) * t_{PL1} * 2 = 80 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n10} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n10} = 1236.311 \text{ kN}$

SI $[\phi R_{n10} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - para caso en forma de 1 L: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de 1 L:

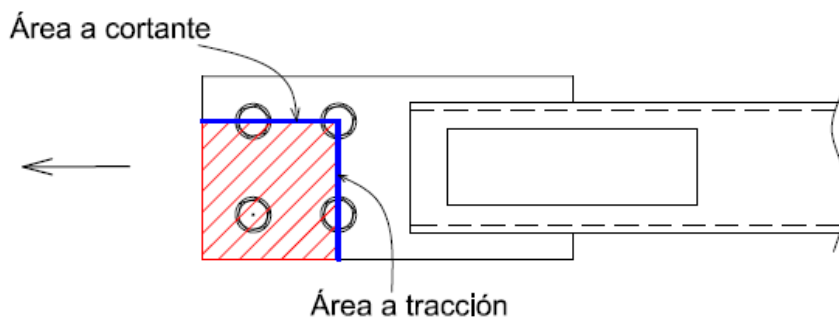


Figura 4.7: Bloque de corte en plancha PL1-forma en 1L

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv} := (Lev + (nr - 1) * st - (nr - 0.5) * dh) * t_{PL1} = 28.57 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := ((nc - 1) * s * Leh - (nc - 0.5) * dh) * t_{PL1} = 23.542 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (Le_v + (nr - 1) \cdot st) \cdot t_{PL1} = 40 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n11} := \Phi \cdot \min(0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt}, 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt})$

$\Phi R_{n11} = 1152.857 \text{ kN}$

SI [$\Phi R_{n11} > R_{udg}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia por compresión: usando ecuaciones (10) y (12)

Área de la sección transversal: $A_g := ((nc - 1) \cdot s + 2 \cdot Le_h) \cdot t_{PL1} = 38.4 \text{ cm}^2$

Factor de longitud efectiva: $K := 1.2$

Radio de giro: $r := \frac{t_{PL1}}{\sqrt{12}} = 0.462 \text{ cm}$

Longitud sin arriostrar lateralmente: $L_b := sb + Le_v = 6 \text{ cm}$

Relación de Esbeltez: $\lambda := \frac{K \cdot L_b}{r} = 15.588$

Considerando que la relación de esbeltez es menor a 25, la resistencia a compresión está determinada por $F_y \cdot A_g$ el cual ya fue evaluado en la verificación anterior ΦR_{n7}

Verificaciones de Resistencia en Cartela tg:

Resistencia por bloque de corte: usando ecuación (8)

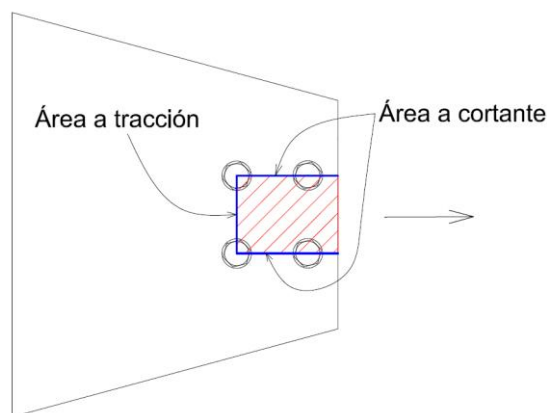


Figura 4.8: Bloque de corte en cartela tg

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv} := (Lev + (nr - 1) * st - (nr - 0.5) * dh) * t_g * 2 = 57.14 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := ((nc - 1) * s - (nc - 1) * dh) * t_g = 17.828 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (Lev + (nr - 1) * st) * t_g * 2 = 80 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n12} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n12} = 1428.261 \text{ kN}$

SI [$\Phi R_{n12} > R_{udg}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia a fluencia por tracción en la sección de whitmore: ecuación (2)

Ancho de whitmore máximo:

$B_{wmax} := (nc - 1) * s + 2 * (nr - 1) * st * \tan(30^\circ) = 37.094 \text{ cm}$

Ancho de whitmore definido para la conexión:

$B_w := 330 \text{ mm}$

Área bruta de la sección de whitmore:

$A_{gw} := \min(B_{wmax}, B_w) * t_g = 52.8 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi R_{n13} := \Phi * F_{yPL} * A_{gw} = 1179.5 \text{ kN}$

SI [$\Phi R_{n13} > R_{udg}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia a rotura por tracción en la sección de whitmore: ecuación (3)

Área neta de la sección de whitmore:

$A_{nw} := \min(B_{wmax}, B_w) * t_g - nc * dh * t_g = 43.656 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n14} := \Phi * F_{uPL} * A_{nw} = 1309.339 \text{ kN}$

SI [$\Phi R_{n14} > R_{udg}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia a compresión - 1 lado conectado: ecuaciones (13),(14),(15),(16)

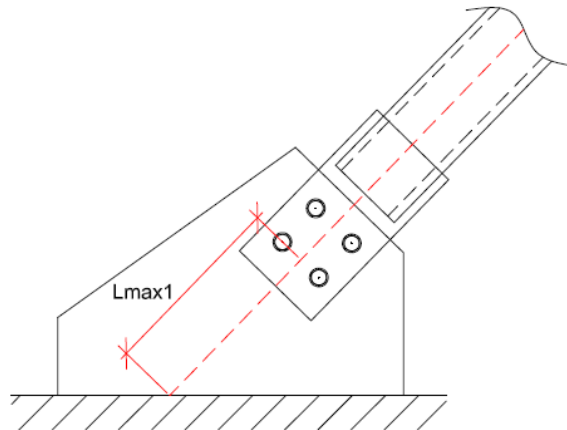


Figura 4.9: Longitud de pandeo Lmax1-cartela conectado en 1 lado

Fuente: Elaboración propia

Área de la sección transversal: $A_g := A_{gw} = 52.8 \text{ cm}^2$

Factor de longitud efectiva: $K := 1.2$

Radio de giro: $r := \frac{t_g}{\sqrt{12}} = 0.462 \text{ cm}$

Longitud sin arriostrar lateralmente con 1 lado conectado: $L_{max1} := 290 \text{ mm}$

Relación de esbeltez: $\lambda := \frac{k * L_{max1}}{r} = 75.344$

Esfuerzo de Euler: $F_{e''} := \frac{\pi^2 * E_{PL}}{\lambda^2} = 347.63 \text{ MPa}$

Determinación del esfuerzo crítico:

Si: $\lambda \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E_{PL}}{F_{YPL}}} \rightarrow F_{cr} = (0.658)^{\frac{F_{YPL}}{F_e}} * F_{YPL}$

Si: $\lambda > 4.71 * \sqrt{\frac{E_{PL}}{F_{YPL}}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 * F_e$

$F_{cr} = 184.091 \text{ MPa}$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi R_{n15} := \Phi F_{cr} * A_g = 874.801 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{15} > R_{Udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a compresión - 2 lados conectados: ecuación (13),(14),(15),(16)

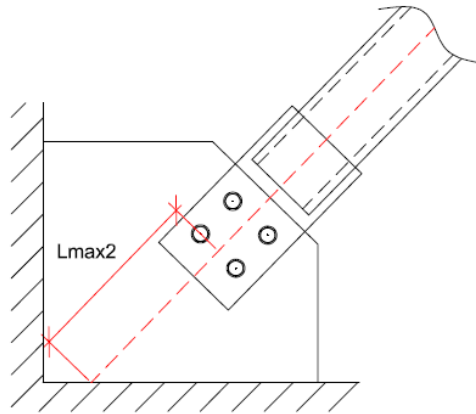


Figura 4.10: Longitud de pandeo Lmax2-cartela conectado en 2 lados

Fuente: Elaboración propia

Área de la sección transversal: $A_g := A_{gw} = 52.8 \text{ cm}^2$

Factor de longitud efectiva: $K := 0.65$

Radio de giro: $r := \frac{t_g}{\sqrt{12}} = 0.462 \text{ cm}$

Longitud sin arriostrar lateralmente con 1 lado conectado: $L_{max2} := 550 \text{ mm}$

Relación de esbeltez: $\lambda := \frac{k \cdot L_{max2}}{r} = 77.401$

Esfuerzo de Euler: $F_e := \frac{\pi^2 \cdot E_{PL}}{\lambda^2} = 329.4 \text{ MPa}$

Determinación del Esfuerzo crítico:

Si: $\lambda \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_{PL}}{F_{YPL}}} \rightarrow F_{cr} = (0.658)^{\frac{F_{YPL}}{F_e}} \cdot F_{YPL}$

Si: $\lambda > 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_{PL}}{F_{YPL}}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 \cdot F_e$

$F_{cr} = 184.091 \text{ MPa}$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi R_{n16} := \Phi \cdot F_{cr} \cdot A_g = 860.452 \text{ kN}$

SI $[\Phi R_{n16} > R_{udg}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones de resistencia en la diagonal

Resistencia de rotura por tracción: ecuaciones (3), (4), (6) y (7)

Área neta de la sección

$$\text{SI } [t_{PL2} = 0, A_n = A - 2 * (t_{PL1} + \frac{1}{16} in + \frac{1}{16} in) * t, A_n = A - 2 * (t_{PL1} + \frac{1}{16} in + \frac{1}{16} in) * t + 2 * Ar] \rightarrow A_n = 39.411 \text{ cm}^2$$

$$\text{Centro de gravedad: } X_{bar} := \frac{b^2 + 2 * b * h}{4 * (b + h)} = 5.625 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud de conexión: } L_{con} := L_{w1} = 23 \text{ cm}$$

$$\text{Factor de reducción: } U := 1 - \frac{X_{bar}}{L_{con}} = 0.755$$

$$\text{Área efectiva: } A_e := A_n * U$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n17} := \Phi * F_u * A_e = 892.952 \text{ kN}$$

$$\text{SI } [\Phi R_{n17} > R_{Udg}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$$

Resistencia de plancha de refuerzo:

$$\Phi := 0.9, \text{ usando ecuación (2).}$$

$$R_{UPLref} := \Phi * F_{yPL} * A_r = 147.437 \text{ kN}$$

Resistencia de Soldadura: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

Resistencia de soldadura longitudinal:

$$\text{Longitud de soldadura: } L_{wr1} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Garganta efectiva: } G_{arg} := 0.707 * D_{r1} = 3.535 \text{ mm}$$

$$\text{Factor: } fact := 0.85$$

$$\text{Nro de filetes de soldadura: } n_{rofi} := 2$$

$$\text{Ángulo de carga: } ang := 0^\circ$$

$$\text{Esfuerzo nominal de soldadura: } F_{nw} := 0.6 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \sin(ang))^{1.5}$$

$$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$$

$$\text{Área efectiva de la soldadura: } A_{we} := G_{arg} * L_{wr1} * n_{rofi} = 8.484 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia de la Soldadura } R_{nlong} := F_{nw} * A_{we} * fact = 208.828 \text{ kN}$$

Resistencia de soldadura transversal:

Longitud de soldadura: $L_{wr2}=110 \text{ mm}$

Garganta efectiva $Garg:=0.707*Dr2=3.535 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{rofi}=1$

Ángulo de carga: $ang:=0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw}:=0.6*F_{EXX}(1+0.5*\sin(ang)^{1.5})$

$$F_{nw}=289.58 \text{ MPa}$$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we}:=Garg*L_{wr2} * n_{rofi} = 3.889 \text{ cm}^2$

Resistencia de la Soldadura $R_{ntrans}:=F_{nw} * A_{we}=112.603 \text{ kN}$

Resistencia Total de la Soldadura:

Factor de resistencia: $\Phi:=0.75$

$\Phi R_{n18}:=\Phi*\max(R_{nlong}+R_{ntrans}, 0.85*R_{nlong}+1.5*R_{ntrans})=259.806 \text{ kN}$

SI $[\phi R_{n18} > R_{UPLref}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

A continuación, se desarrollará el cálculo de los demás elementos que conforman la conexión por acción de la carga de la diagonal y por la fuerza cortante en la viga.

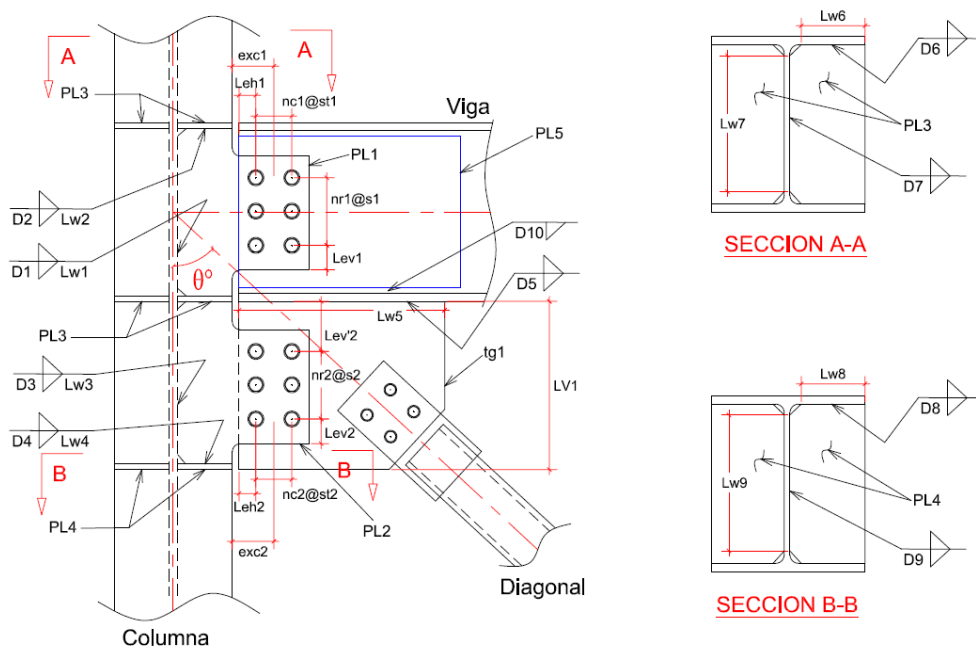


Figura 4.11: Esquema de conexión diagonal con viga y columna-Nudo

Fuente: Elaboración propia

Propiedades de Viga:

Perfil:	H 250x150x14x6 mm	
Material:	A36	
Esfuerzo de fluencia:	Fy:=36 ksi	Fy=248.211 MPa
Esfuerzo de rotura:	Fu:=58 ksi	Fu=399.896 MPa
Módulo de elasticidad:	E:=29000 ksi	E=199.948 GPa
Área de la sección transversal:	A:=8.57 in ²	A=55.29 cm ²
Altura del perfil:	d:=250 mm	d=9.843 in
Ancho de ala:	bf:=150 mm	bf=5.906 in
Espesor de ala:	tf:=14 mm	tf=0.551 in
Espesor de alma:	tw:=6 mm	tw=0.236 in

Propiedades de Columna:

Perfil:	H 300x300x16x8 mm	
Material:	A36	
Área de la sección transversal:	A ₂ := 18.2 in ²	A ₂ = 117.419 cm ²
Altura del perfil:	d ₂ := 300 mm	d ₂ = 11.811 in
Ancho de ala:	bf ₂ := 300 mm	bf ₂ = 11.811 in
Espesor de ala:	tf ₂ := 16 mm	tf ₂ = 0.63 in
Espesor de alma:	tw ₂ := 8 mm	tw ₂ = 0.315 in

Cartela tg1:

Espesor de cartela:	t _{g1} :=16 mm	t _{g1} =0.63 in
El material para todas las planchas de conexión utilizadas serán el mismo.		
Material:	A36	
Esfuerzo de fluencia:	Fy _{PL} :=36 ksi	Fy _{PL} =248.211 MPa

Esfuerzo de rotura:	$F_{UPL}=58 \text{ ksi}$	$F_{UPL}=399.896 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad:	$E_{PL}=29000 \text{ ksi}$	$E_{PL}=199.948 \text{ GPa}$
Ángulo de inclinación de diagonal:	$\theta_1=45^\circ$	

Plancha PL2:

Espesor de plancha:	$t_{PL2}=12 \text{ mm}$	$t_{PL2}=0.472 \text{ in}$
Material:	A36	
Número de columnas de pernos:	$n_{c2}=1$	
Número de filas de pernos:	$n_{r2}=5$	
Diámetro de pernos:	$b_{d2}=1 \text{ in}$	
Distancia vertical al borde:	$Lev'_2=70 \text{ mm}$	$Lev'_2=2.756 \text{ in}$
Distancia vertical al borde:	$Lev_2=50 \text{ mm}$	$Lev_2=1.969 \text{ in}$
Distancia horizontal al borde:	$Leh_2=50 \text{ mm}$	$Leh_2=1.969 \text{ in}$
Separación de pernos:	$s_2=90 \text{ mm}$	$s_2=3.543 \text{ in}$
Separación transversal:	$st_2=0 \text{ mm}$	$st_2=0 \text{ in}$
Separación:	$sb=10 \text{ mm}$	$sb=0.394 \text{ in}$
Excentricidad para pernos:	$exc_2:= sb+Leh_2+\frac{(n_{c2}-1)*st_2}{2} = 60\text{mm}$	
Distancia de la primera columna de pernos hasta el borde de ala de columna:		
	$a_2 := sb + Leh_2 = 60 \text{ mm}$	

Interfaz Cartela con Viga:

Recorte en esquina de cartela:	$cc=20 \text{ mm}$
Longitud de soldadura horizontal:	$Lw_5=500 \text{ mm}$
Tamaño de filete de soldadura:	$D_5=8 \text{ mm}$

Interfaz Cartela con Columna:

Longitud vertical de cartela: $LV_1 := (nr_2 - 1) \cdot s_2 + Lev_2 + Lev'_2 = 480 \text{ mm}$

Longitud de soldadura vertical: $Lw_3 := (nr_2 - 1) \cdot s_2 = 360 \text{ mm}$

Tamaño de filete de soldadura: $D_3 := 8 \text{ mm}$

Longitud de soldadura vertical: $Lw_4 := \frac{(bf_2 - tw_2)}{2} - cc = 126 \text{ mm}$

Tamaño de filete de soldadura: $D_4 := 8 \text{ mm}$

Rigidizador PL4:

Espesor de plancha: $t_{PL4} := 10 \text{ mm}$ $t_{PL4} = 0.394 \text{ in}$

Material: A36

Ancho de plancha: $b_{PL4} := \frac{(bf_2 - tw_2)}{2} = 46 \text{ mm}$

Largo de plancha: $L_{PL4} := d_2 - 2 \cdot tf_2 = 268 \text{ mm}$

Tamaño de filete de soldadura con ala: $D_8 := 6 \text{ mm}$

Tamaño de filete de soldadura con alma: $D_9 := 6 \text{ mm}$

Conexión Viga-Columna:

Diagonal superior - cortante arbitrario: $\Delta V_1 := 130 \text{ kN}$

Longitud de soldadura: $Lw_1 := 152 \text{ mm}$

Tamaño de filete de soldadura: $D_1 := 8 \text{ mm}$

Longitud de soldadura: $Lw_2 := 111 \text{ mm}$

Tamaño de filete de soldadura: $D_2 := 8 \text{ mm}$

Tamaño de bisel de soldadura: $B_2 := 8 \text{ mm}$

Plancha PL1:

Espesor de plancha: $t_{PL1} := 25 \text{ mm}$ $t_{PL1} = 0.984 \text{ in}$

Material:	A36	
Número de columnas de pernos:	$nc_1 := 3$	
Número de filas de pernos:	$nr_1 := 2$	
Diámetro de pernos:	$b_{d1} := 1 \text{ in}$	
Distancia vertical al borde:	$Lev_1 := 50 \text{ mm}$	$Lev_1 = 1.969 \text{ in}$
Distancia horizontal al borde:	$Leh_1 := 50 \text{ mm}$	$Leh_1 = 1.969 \text{ in}$
Separación de pernos:	$s_1 := 100 \text{ mm}$	$s_1 = 3.937 \text{ in}$
Separación transversal:	$st_1 := 80 \text{ mm}$	$st_1 = 3.15 \text{ in}$
Excentricidad para pernos:	$exc_1 := sb + Leh_1 + \frac{(nc_2 - 1) * st_1}{2} = 140 \text{ mm}$	
Distancia de la primera columna de pernos hasta el borde de ala de columna:		
$a_1 := sb + Leh_1 = 60 \text{ mm}$		

Rigidizador PL3:

Espesor de plancha:	$t_{PL3} := 14 \text{ mm}$	$t_{PL3} = 0.551 \text{ in}$
Material:	A36	
Ancho de plancha:	$b_{PL3} := \frac{(bf_2 - tw_2)}{2} = 146 \text{ mm}$	
Largo de plancha:	$L_{PL3} := d_2 - 2 * tf_2 = 268 \text{ mm}$	
Tamaño de filete de soldadura con ala:	D6:=8 mm	
Tamaño de filete de soldadura con alma:	D7:=8 mm	

Plancha de refuerzo de alma de viga PL5:

Espesor de plancha:	$t_{PL5} := 8 \text{ mm}$	$t_{PL5} = 0.315 \text{ in}$
Cantidad:	$n_{ropl5} := 1$	
Material:	A36	
Tamaño de soldadura en ala:	D10:=6 mm	

Tamaño de recorte:

$$b_v := 7 \text{ mm}$$

Espesor efectivo:

$$t_{PL5ef} := \frac{t_{PL5} - b_v + D_{10} - 1 \text{ mm}}{\sqrt{2}} = 4.243 \text{ mm}$$

$$t_{PL5} := t_{PL5ef} = 4.243 \text{ mm}$$

Carga de Diseño para Viga:

Según requerimiento de diseño, el porcentaje de capacidad a cortante a utilizar es: $capac_v := 75\%$

Determinación de la carga cortante requerida R_u según AISC, ecuación (29):

Considerando el coeficiente k_v para almas de viga sin rigidizadores transversales:

$$k_v := 5.34$$

$$\text{Altura libre entre alas: } h := d - 2 * t_f = 222 \text{ mm}$$

El coeficiente de resistencia a corte en el alma se determinará:

$$\text{Si: } \frac{h}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E}{F_{yPL}}} \rightarrow C_{v1} = 1$$

$$\text{Si: } \frac{h}{t_w} > 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E}{F_{yPL}}} \rightarrow C_{v1} = \frac{1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E}{F_{yPL}}}}{\frac{h}{t_w}}$$

$$C_{v1} = 1$$

$$\phi := 0.9$$

$$A_w := d * t_w = 15 \text{ cm}^2$$

$$R_{uv} := capac_v * \phi * 0.6 * F_y * A_w * C_{v1} = 150.788 \text{ kN}$$

Determinación de las fuerzas internas en la cartela tg1:

La cartela tg1 estará sometido a la carga de la diagonal calculado inicialmente como $R_{udg} = 802.922 \text{ kN}$.

Se considera el caso de carga en tracción en la cartela tg1. Usando la descomposición vectorial mediante el método de fuerza uniforme según lo expuesto en este documento en capítulo II, 2.2.24:

$$P_1 := R_{Udg}$$

$$V_1 := R_{Udg} * \cos(\theta_1) = 567.751 \text{ kN}$$

$$H_1 := R_{Udg} * \sin(\theta_1) = 567.751 \text{ kN}$$

Usando las ecuaciones (62), (63), (64), (65) y (66)

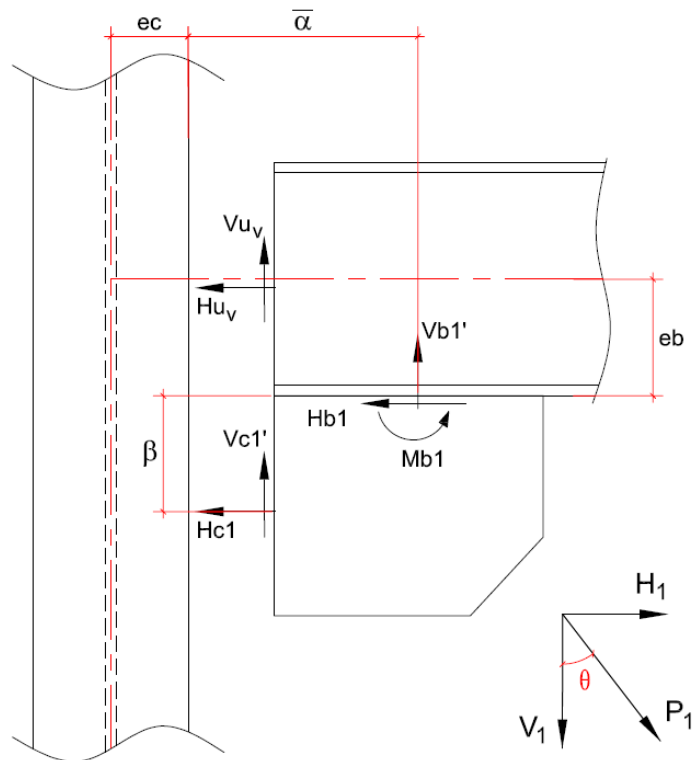


Figura 4.12: Fuerzas actuantes entre interfaz de cartela, viga y columna

Fuente: Elaboración propia

Media de altura de viga: $eb := \frac{d}{2} = 125 \text{ mm}$

Medio ancho de ala de columna: $ec := \frac{bf_2}{2} = 150 \text{ mm}$

$$\beta_{bar} := Lev'_2 + \frac{(nr_2 - 1) * s_2}{2} = 250 \text{ mm}$$

$$\alpha_{bar} := sb + \frac{Lw_5}{2} = 260 \text{ mm}$$

$$\beta := \beta_{bar} = 250 \text{ mm}$$

$$\alpha := (e_b + \beta_{bar}) * \tan(\theta_1) - e_c = 225 \text{ mm}$$

$$r := \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} = 530.33 \text{ mm}$$

Fuerza cortante en interfaz cartela con viga: $Hb1 := \frac{\alpha}{r} P_1 = 340.651 \text{ kN}$

Fuerza cortante arbitraria: $\Delta V1 = 130 \text{ kN}$

Fuerza axial en interfaz cartela con viga: $Vb1 = \frac{e_b}{r} * P_1 = 189.25 \text{ kN}$

Fuerza axial final en interfaz cartela con viga: $Vb1' := Vb1 - \Delta V1 = 59.25 \text{ kN}$

Fuerza axial en interfaz cartela con columna: $Hc1 = \frac{e_c}{r} * P_1 = 227.101 \text{ kN}$

Fuerza cortante en interfaz cartela con columna: $Vc1 = \frac{\beta}{r} * P_1 = 378.501 \text{ kN}$

Fuerza cortante final en interfaz cartela con columna:
 $Vc1' := Vc1 + \Delta V1 = 508.501 \text{ kN}$

Momento en interfaz cartela con viga:

$$Mb1 := \text{abs}(Vb1' * (\alpha_{bar} - \alpha) - \Delta V1 * \alpha_{bar}) = 31.726 \text{ kN*m}$$

Determinación de fuerzas actuantes en viga:

Carga cortante en viga: $V_{uv} := Vb1' + R_{uv} = 210.039 \text{ kN}$

Carga axial en viga: $H_{uv} := H1 = 567.751 \text{ kN}$

(Por requerimiento de diseño)

Verificaciones de resistencia para el lado de la diagonal

Verificaciones en la interfaz cartela tg1 con viga:

Cartela tg1

Resistencia a fluencia por axial: usando ecuación (2)

Resistencia requerida: $R_{u_{axial1b}} := Vb1' + 4 * \frac{Mb1}{Lw5} = 313.06 \text{ kN}$

Área bruta a tracción: $A_g := Lw5 * t_{g1} = 80 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$$\Phi R_{n1} := \Phi \cdot F_{yPL} \cdot A_g = 1787.121 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n1} > R_{U_{axial1b}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por axial: usando ecuación (3)

$$\text{Área neta a tracción: } A_n := Lw5 \cdot t_{g1} = 80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n2} := \Phi \cdot F_{uPL} \cdot A_n = 2399.376 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n2} > R_{U_{axial1b}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por cortante: usando ecuación (30)

$$\text{Resistencia requerida: } R_{U_{corte1b}} := Hb1 = 340.651 \text{ kN}$$

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv} := Lw5 \cdot t_{g1} = 80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 1$$

$$\Phi R_{n3} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} = 1191.414 \text{ kN}$$

SI $[\Phi R_{n3} > R_{U_{corte1b}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante: usando ecuación (31)

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv} := Lw5 \cdot t_{g1} = 80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n4} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} = 1439.625 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n4} > R_{U_{corte1b}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a flexión: usando ecuación (20)

$$\text{El momento requerido será: } M_{u1b} := Mb1 = 31.726 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Módulo plástico de sección: } Z_1 := \frac{t_{g1}}{4} (Lw5)^2 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$\text{Momento de diseño: } \Phi := 0.9$$

$$\Phi M_{n5} := \Phi \cdot F_{yPL} \cdot Z_1 = 223.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Si $[\Phi M_{n5} > M_{u1b}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a carga combinada: usando ecuación (34)

$$\text{Resistencia disponible a momento: } \Phi M_n := 0.9 \cdot F_{yPL} \cdot Z_1 = 223.39 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia disponible a tracción: $\Phi P_n := 0.9 \cdot F_{yPL} \cdot (t_{g1} \cdot L_{w5}) = 1787.121 \text{ kN}$

Resistencia disponible a cortante: $\Phi V_n := 1 \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot (t_{g1} \cdot L_{w5}) = 1191.414 \text{ kN}$

Momento requerido: $M_r := M_{b1} = 31.726 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Tracción requerida: $P_r := H_{b1} = 340.651 \text{ kN}$

Cortante requerido: $V_r := V_{b1'} = 59.25 \text{ kN}$

$$\text{Interacción}_{61b} = \left(\frac{M_r}{\Phi M_n} \right) + \left(\frac{P_r}{\Phi P_n} \right)^2 + \left(\frac{V_r}{\Phi V_n} \right)^4 = 0.178$$

Si $[\text{Interacción}_{61b} \leq 1, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura: usando ecuaciones (42), (43), (44), (48) al (52)

Resistencia requerida de la soldadura:

$$V_{b1''_{\max}} := \text{abs}(V_{b1'}) + \text{abs} \left(4 \cdot \frac{M_{b1}}{L_{w5}} \right) = 313.06 \text{ kN}$$

$$V_{b1''_{\min}} := \text{abs} \left(\text{abs}(V_{b1'}) + \text{abs} \left(4 \cdot \frac{M_{b1}}{L_{w5}} \right) \right) = 194.559 \text{ kN}$$

La fuerza resultante máxima en la soldadura es:

$$R_{\max} := \sqrt{H_{b1}^2 + V_{b1''_{\max}}^2} = 462.655 \text{ kN}$$

La fuerza resultante promedio en la soldadura:

$$R_{\text{prom}} := \sqrt{H_{b1}^2 + \left(\frac{V_{b1''_{\max}} + V_{b1''_{\min}}}{2} \right)^2} = 424.809 \text{ kN}$$

Finalmente, la resistencia requerida en la soldadura será:

$$R_{U_{w5}} := \max (R_{\max}, 1.25 \cdot R_{\text{prom}}) = 531.011 \text{ kN}$$

Longitud de soldadura: $L_{w5} = 500 \text{ mm}$

Garganta efectiva: $\text{Garg} := 0.707 \cdot D_7 = 5.656 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{\text{rofi}} = 2$

Ángulo de carga: $\text{ang} := \text{atan} \left(\frac{V_{b1''_{\max}}}{H_{b1}} \right) \cdot \frac{180}{\pi} = 42.583$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{\text{nw}} := 0.6 \cdot F_{\text{EXX}} \cdot (1 + 0.5 \cdot \sin(\text{ang}^\circ))^{1.5}$

$F_{nw}=385.104 \text{ MPa}$
 Área efectiva de la soldadura: $A_{we}:=Garg*Lw5*nrofi=56.56 \text{ cm}^2$
 Factor de resistencia: $\Phi:=0.75$
 Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nW} :=\Phi*F_{nw}*A_{we} =1570.271 \text{ kN}$
 Resistencia del Metal Base tg:
 Área del metal base: $A_{BM}:=Lw5*t_{g1}=80 \text{ cm}^2$
 Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM1}:=\Phi*0.6*F_{UPL}*A_{BM}=1439.625 \text{ kN}$
 Resistencia del Metal Base ala de Viga:
 Área del metal base: $A_{BM}:=Lw5*tf*2=140\text{cm}^2$
 Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM2}:=\Phi*0.6*F_u*A_{BM} =2519.344 \text{ kN}$
 Resistencia de la unión soldada:
 $\Phi R_{n7}:=\min(\Phi R_{nW} ,\Phi R_{nBM1} ,\Phi R_{nBM2})=1439.625 \text{ kN}$
 Si $[\Phi R_{n7}>R_{uw5}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones en viga:

Resistencia por fluencia local de alma: usando ecuación (55)

Carga requerida: $R_u:= R_{U_{axial1b}} =313.06 \text{ kN}$

Longitud de apoyo: $L_b:=Lw5=500 \text{ mm}$

Se considera que la fuerza aplicada se encuentra a una distancia del extremo del perfil que es menor al peralte.

Distancia desde la cara exterior del ala al pie del filete del alma:

$k:=tf+5 \text{ mm}=19 \text{ mm}$

Factor de resistencia: $\Phi:=1$

Resistencia de diseño: $\Phi R_{n8}:=\Phi*F_y*t_w*(2.5*k+L_b)=815.374 \text{ kN}$

Resistencia de diseño considerando plancha de refuerzo PL5:

$\Phi R_{n8.1}:=\Phi*F_y*(t_w+t_{PL5}*nropl5) *(2.5*k+L_b)=1391.93 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n8.1} > R_{U_{axial1b}}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia por aplastamiento de alma: usando ecuación (58)

Se considera que la fuerza aplicada se encuentra a una distancia del extremo del perfil que es menor a la mitad del peralte

Longitud de apoyo: $L_b := L_{w5} = 500 \text{ mm}$

Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$

Considerando que $\frac{L_b}{d} = 2$ es mayor a 0.2, tenemos:

Resistencia de diseño:

$$\Phi R_{n9} := \Phi * 0.4 * t_w^2 * \left(1 + \left(\frac{4 * L_b}{d} - 0.2 \right) * \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right) * \sqrt{\frac{E * F_y * t_f}{t_w}} = 370.558 \text{ kN}$$

Resistencia de diseño considerando plancha de refuerzo PL5:

$$\Phi R_{n9.1} := \Phi * 0.4 * (t_w + t_{PL5} * n_{rop15})^2 * \left(1 + \left(\frac{4 * L_b}{d} - 0.2 \right) * \left(\frac{t_w + t_{PL5} * n_{rop15}}{t_f} \right)^{1.5} \right) * \sqrt{\frac{E * F_y * t_f}{t_w + t_{PL5} * n_{rop15}}} = 1524.52 \text{ kN}$$

Si $[\phi R_{n9.1} > R_{U_{axial1b}}$, OK, FALLA] = OK

Verificaciones en la interfaz cartela tg1 con columna

Verificaciones en cartela tg1

Resistencia a fluencia por axial: usando ecuación (2)

Resistencia requerida: $R_{U_{axial1c}} := H_c1 = 227.101 \text{ KN}$

Área bruta a tracción: $A_g := L_{V1} \cdot t_{g1} = 76.8 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi R_{n10} := \Phi * F_{yPL} * A_g = 1715.636 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n10} > R_{U_{axial1c}}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia a rotura por axial: usando ecuación (3)

$$\text{Área bruta a tracción: } A_n := L_{V1} * t_{g1} - \left(n_{r2} * \left(b_{d2} + \frac{1}{8} \text{ in} \right) * t_{g1} \right) = 53.94 \text{ cm}^2$$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$$\Phi R_{n11} := \Phi * F_{uPL} * A_n = 1617.779 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n11} > R_{uaxial1c}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por cortante: usando ecuación (30)

$$\text{Resistencia requerida: } R_{ucorte1c} := V_{c1} = 508.501 \text{ kN}$$

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv} := L_{V1} \cdot t_{g1} = 76.8 \text{ cm}^2$$

Resistencia de diseño: $\Phi:=1$

$$\Phi R_{n12} := \Phi * 0.6 * F_{yPL} \cdot A_{gv} = 1143.757 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n12} > R_{ucorte1c}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante: usando ecuación (31)

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv} := L_{V1} * t_{g1} - (nr_2 * (b_{d2} + \frac{1}{8} in) * t_{g1}) = 53.94 \text{ cm}^2$$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$$\Phi R_{n13} := \Phi * 0.6 * F_{uPL} * A_{nv} = 970.667 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n13} > R_{ucorte1c}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por carga combinada: ecuación (32)

$$interaccion14_{1c} := \left(\frac{R_{uaxial1c}}{\Phi R_{n10}} \right)^2 + \left(\frac{R_{ucorte1c}}{\Phi R_{n12}} \right)^2 = 0.215$$

Si $[\text{interacción}14_{1c} \leq 1, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por carga combinada: ecuación (32)

$$interaccion15_{1c} := \left(\frac{R_{uaxial1c}}{\Phi R_{n11}} \right)^2 + \left(\frac{R_{ucorte1c}}{\Phi R_{n13}} \right)^2 = 0.294$$

Si $[\text{interacción}15_{1c} \leq 1, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - por carga cortante: ecuación(8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de L:

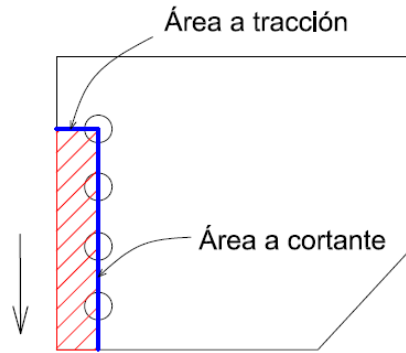


Figura 4.13: Bloque de corte en cartela tg1 por carga cortante-forma en L
Fuente: Elaboración propia

Tamaño de agujero: $d_{h2} := b_{d2} + \frac{1}{8} in = 28.575 \text{ mm}$

Área neta a cortante: $A_{nv} := (Le_{v2} + (nr_2 - 1) \cdot s_2 - (nr_2 - 0.5) \cdot d_{h2}) \cdot t_{g1} = 45.026 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := ((nc_2 - 1) \cdot st_2 + Le_{h2} - (nc_2 - 0.5) \cdot d_{h2}) \cdot t_{g1} = 5.714 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (Le_{v2} + (nr_2 - 1) \cdot s_2) \cdot t_{g1} = 65.6 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 0.5$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n16} := \Phi \cdot \min(0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt}, 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt})$

$\Phi R_{n16} = 818.407 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n16} > R_{U_{corte1c}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de L:

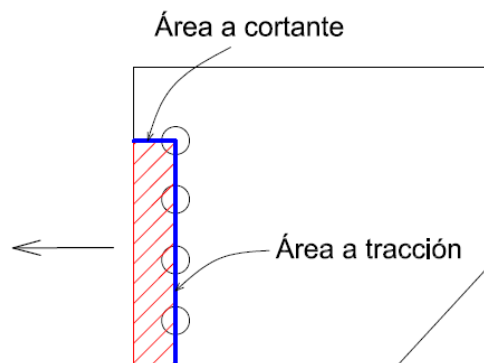


Figura 4.14: Bloque de corte en cartela tg1 por carga axial-forma en L
Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv}:=((nc_2-1)*st_2+Leh_2-(nc_2-0.5)*d_{h2})*t_{g1}=5.714 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt}:=((Lev_2+(nr_2-1)*s_2-(nr_2-0.5)*d_{h2})*t_{g1}=45.026 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv}:=((nc_2-1)*st_2+Leh_2)*t_{g1}=8 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs}:=1$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$\Phi R_{n17}:=\Phi * \min(0.6*F_{uPL} * A_{nv}+ U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6*F_{yPL} * A_{gv}+U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n17}=1439.785 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n17} > R_{U_{axial1c}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de C:

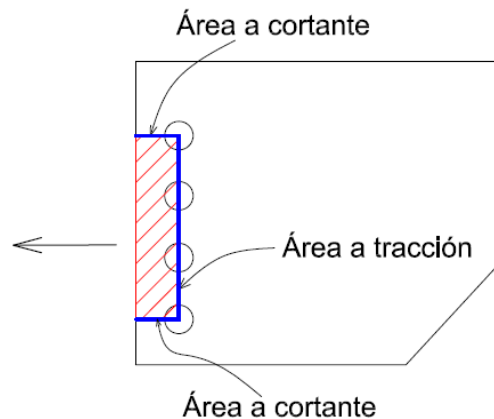


Figura 4.15: Bloque de corte en cartela tg1 por carga axial-forma en C

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv}:=((nc_2-1)*st_2+Leh_2-(nc_2-0.5)*d_{h2})*t_{g1}*2= 11.428 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt}:=((nr_2-1)*s_2-(nr_2-1)*d_{h2})*t_{g1}=39.312 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv}:=((nc_2-1)*st_2+Leh_2)*t_{g1}*2 =16\text{cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs}:=1$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$\Phi R_{n18}:=\Phi * \min(0.6*F_{uPL} * A_{nv}+ U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6*F_{yPL} * A_{gv}+U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$$\phi Rn_{18}=1357.765 \text{ kN}$$

Si $[\phi Rn_{18} > Ru_{axial1c}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - carga combinada axial y corte: ecu. (32)

Resistencia por interacción de axial y cortante:

$$interaccion := \left(\frac{Ru_{corte1c}}{\phi Rn_{16}} \right)^2 + \left(\frac{Ru_{axial1c}}{\min(\phi Rn_{17}, \phi Rn_{18})} \right)^2 = 0.414$$

SI $[interacción19_{1c} \leq 1, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones en plancha PL2

Resistencia de la soldadura D3: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

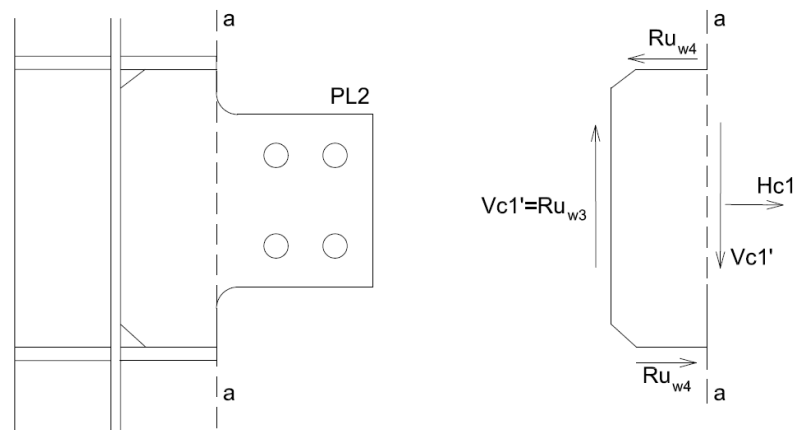


Figura 4.16: Descomposición vectorial de fuerzas en plancha PL2

Fuente: Elaboración propia

Resistencia requerida de la soldadura: $Ru_{w3} := Vc1' = 508.501 \text{ kN}$

Longitud de soldadura: $Lw3 = 360 \text{ mm}$

Garganta Efectiva: $Garg := 0.707 * D3 = 5.656 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $nrofi := 2$

Ángulo de carga: $ang := 0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \sin(ang))^{1.5}$

$$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := Garg * Lw3 * nrofi = 40.723 \text{ cm}^2$

Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$

Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nW} := \Phi * F_{nw} * A_{we} = 884.446 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base PL2:

Área del metal Base: $A_{BM} := Lw3 * t_{PL2} = 43.2 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM1} := \Phi * 0.6 * F_{uPL} * A_{BM} = 777.398 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base alma de columna:

Área del metal Base: $A_{BM} := Lw3 * tw2 * 2 = 57.6 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM2} := \Phi * 0.6 * F_u * A_{BM} = 1036.53 \text{ kN}$

Resistencia de la unión soldada:

$\Phi R_{n20} := \min(\Phi R_{nW}, \Phi R_{nBM1}, \Phi R_{nBM2}) = 777.398 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n20} > R_{uW3}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura D4: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

Resistencia requerida de la soldadura:

$$R_{uW4} := \frac{Vc1' * \left(\frac{bf2 - tw2}{2}\right)}{(nr2 - 1) * s2 + Lev2 + Lev2'} + \frac{Hc1}{2} = 268.219 \text{ kN}$$

Longitud de soldadura: $Lw4 = 126 \text{ mm}$

Garganta efectiva: $Garg := 0.707 * D4 = 5.656 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $nrofi := 2$

Ángulo de carga: $ang := 0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \sin(ang))^{1.5}$

$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := Garg * Lw4 * nrofi = 14.253 \text{ cm}^2$

Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$

Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nW} := \Phi * F_{nw} * A_{we} = 309.556 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base PL2:

Área del metal Base: $A_{BM}:=Lw4*t_{PL2}=15.12 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{n_{BM1}}:=\Phi*0.6*F_{u_{PL}}*A_{BM}=272.089 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base rigidizador PL4:

Área del metal Base: $A_{BM}:=Lw4* t_{PL4} *2=25.2 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{n_{BM2}}:=\Phi*0.6* F_{u_{PL}}*A_{BM} =453.482 \text{ kN}$

Resistencia de la unión soldada:

$\Phi R_{n_{21}}:=\min(\Phi R_{n_w} , \Phi R_{n_{BM1}} , \Phi R_{n_{BM2}})=272.089 \text{ kN}$

SI $[\phi R_{n_{21}} > R_{u_{w4}}$, OK, FALLA] = OK

Verificaciones de resistencia de grupo de pernos: ecuaciones (35), (36) y (38)

Carga requerida: $R_{u_{b2}}:=\sqrt{Vc1'^2 + Hc1'^2} = 556.909 \text{ kN}$

Resistencia nominal a cortante de un perno:

$A_b:=\frac{\pi}{4} * b_{d2}^2 =0.785 \text{ in}^2$

$R_{n_a}:=F_{nv}*A_b=188.656 \text{ kN}$

Resistencia nominal al desgarramiento en perno de borde en plancha PL2:

Diámetro de agujeros: $d_{h2}:=d_{h2} + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$

Distancia libre al borde: $l_c:=\min\left(Le_{v2} - \frac{d_{h2}}{2}, Le_{h2} - \frac{d_{h2}}{2}\right) = 35.713 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{n_b}:=1.2*l_c *F_{u_{PL}}*t_{PL2}$

$R_{n_b}=205.65 \text{ kN}$

Resistencia nominal al desgarramiento en pernos interiores en plancha PL2:

Distancia libre entre pernos: $l_c:=s_2-d_{h2}=61.425 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{n_c}:=1.2*l_c*F_{u_{PL}}*t_{PL2}$

$R_{n_c}=353.716 \text{ kN}$

Resistencia nominal al aplastamiento en pernos en plancha PL2:

$R_{n_d}:=2.4*b_{d2}*F_{u_{PL}}*t_{PL2}$

$R_{n_d}=292.532 \text{ kN}$

Resistencia nominal al desgarramiento en perno de borde en plancha tg1:

Diámetro de agujeros: $d_{h2} := b_{d2} + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$

Distancia libre al borde $l_c := \min\left(Le_{v2} - \frac{d_{h2}}{2}, Le_{h2} - \frac{d_{h2}}{2}\right) = 35.713 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{ne} := 1.2 * l_c * F_{UPL} * t_{g1}$

$R_{ne} = 274.201 \text{ kN}$

Resistencia nominal al desgarramiento en pernos interiores en tg1:

Distancia libre entre pernos: $l_c := s_2 - d_{h2} = 61.425 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{nf} := 1.2 * l_c * F_{UPL} * t_{g1}$

$R_{nf} = 471.621 \text{ kN}$

Resistencia nominal al aplastamiento en pernos en alma de tg1:

$R_{ng} := 2.4 * b_{d2} * F_{UPL} * t_{g1}$

$R_{ng} = 390.042 \text{ kN}$

Resistencia de diseño del grupo de pernos:

$\Phi = 0.75$

Coefficiente C para el grupo de pernos determinado según hoja de cálculo automatizada para este proceso, ver Anexo N°5, factor C para Nudo-PL2:

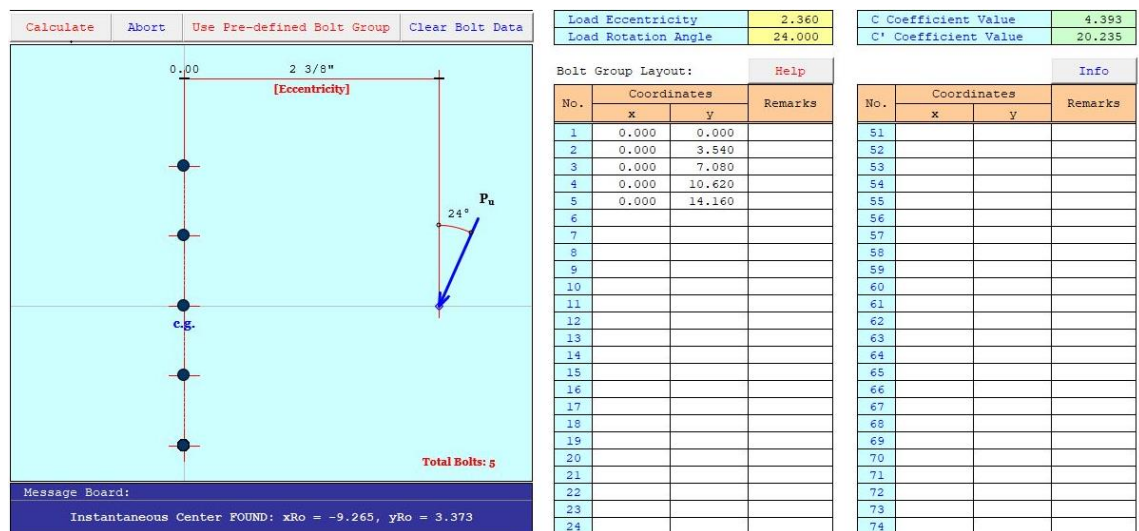


Figura 4.17: Cálculo de coeficiente C para pernos en plancha PL2

Fuente: Steeltools.org

$$C:=4.38$$

$$\Phi R_{n22}:= \Phi * C * \min (R_{na} , R_{nb} , R_{nc} , R_{nd} , R_{ne} , R_{nf} , R_{ng})$$

$$\Phi R_{n22}=619.734 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n22} > R_{ub2}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por cortante: usando ecuación (30)

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv}:= ((nr_2 - 1) * s_2 + 2 * Lev_2) * t_{PL2} = 55.2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi:=1$$

$$\Phi R_{n23}:= \Phi * 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} = 822.076 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n23} > R_{ucorte1c}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante: usando ecuación (31)

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv}:= ((nr_2-1) * s_2 + 2 * Lev_2 - nr_2 * d_{h2}) * t_{PL2} = 38.055 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi:=0.75$$

$$\Phi R_{n24}:= \Phi * 0.6 * F_{uPL} * A_{nv} = 684.812 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n24} > R_{ucorte1c}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - por carga cortante: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de L:

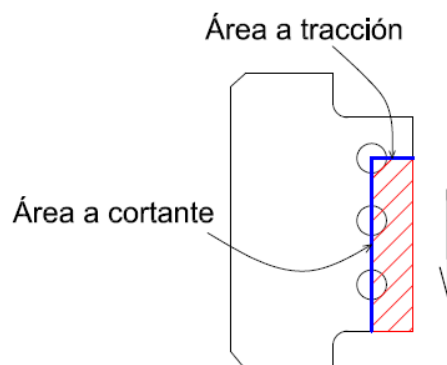


Figura 4.18: Bloque de corte en plancha PL2 por carga cortante-forma en L

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv}:= ((Lev_2 + (nr_2-1) * s_2 - (nr_2-0.5) * d_{h2}) * t_{PL2} = 33.77 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta a tracción: } A_{nt}:= ((nc_2-1) * st_2 + Lev_2 - (nc_2-0.5) * d_{h2}) * t_{PL2} = 4.286 \text{ cm}^2$$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (Le_{v2} + (nr_2 - 1) * s_2) * t_{PL2} = 49.2 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 0.5$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n25} := \Phi * \min (0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt} , 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n25} = 613.806 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n25} > R_{U_{corte1c}}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia por bloque de corte - Por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de L:

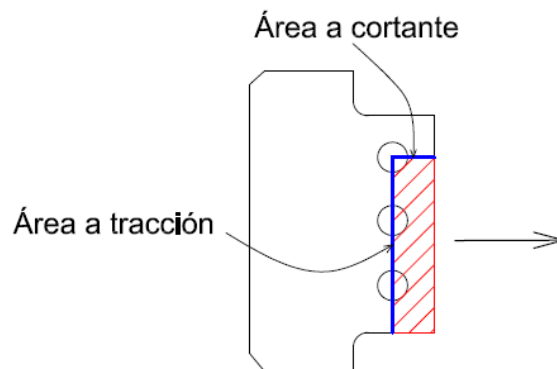


Figura 4.19: Bloque de corte en plancha PL2 por carga axial-forma en L

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante: $A_{nv} := ((nc_2 - 1) * st_2 + Le_{h2} - (nc_2 - 0.5) * d_{h2}) * t_{PL2} = 4.286 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := (Le_{v2} + (nr_2 - 1) * s_2 - (nr_2 - 0.5) * d_{h2}) * t_{PL2} = 33.77 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := ((nc_2 - 1) * st_2 + Le_{h2}) * t_{PL2} = 6 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n26} := \Phi * \min (0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt} , 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n26} = 1079.838 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n26} > R_{U_{axial1c}}$, OK, FALLA] = OK

Resistencia por bloque de corte - Por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de C:

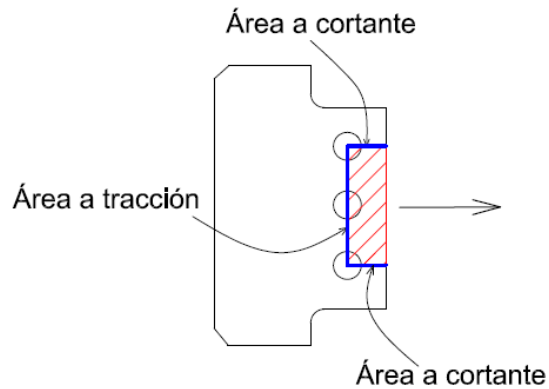


Figura 4.20: Bloque de corte en plancha PL2 por carga axial-forma en C
Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv} := ((nc_2 - 1) * st_2 + Leh_2 - (nc_2 - 0.5) * dh_2) * t_{PL2} * 2 = 8.5271 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta a tracción: } A_{nt} := ((nr_2 - 1) * s_2 - (nr_2 - 1) * dh_2) * t_{PL2} = 29.484 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv} := ((nc_2 - 1) * st_2 + Leh_2) * t_{PL2} * 2 = 12 \text{ cm}^2$$

$$\text{Factor de reducción: } U_{bs} := 1$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n27} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$$

$$\Phi R_{n27} = 1018.324 \text{ kN}$$

Si $[\phi R_{n27} > R_{u_{axial1c}}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - carga combinada axial y cortante: ec. (32)

Resistencia por interacción de axial y cortante:

$$\text{Interacción}_{281c} := \left(\frac{R_{u_{corte1c}}}{\phi R_{n25}} \right)^2 + \left(\frac{R_{u_{axial1c}}}{\min(\phi R_{n26}, \phi R_{n27})} \right)^2 = 0.736$$

Si $[\text{interacción}_{281c} \leq 1, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por flexión: ecuación (21)

$$\text{El momento requerido será: } M_{u1c} := R_{u_{corte}} * a_2 = 30.51 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\text{Altura total de PL2: } d_{PL2} := (nr_2 - 1) * s_2 + 2 * Lev_2 = 200 \text{ mm}$$

Módulo de sección plástico neto:

$$Z_{net2} := \frac{t_{PL2} * d_{PL2}^2}{4} - \frac{t_{PL2}}{4} (d_{h2} * s_2 * (nr_2^2 - 1) + d_{h2}^2) = 447.184 \text{ cm}^3$$

Momento de diseño: $\Phi:=0.75$

$$\Phi M_{n29} := \Phi * F_{uPL} * Z_{net2} = 134.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Si $[\Phi M_{n29} > M_{u1c}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a flexión: ecuaciones (18), (19), (24) al (27)

La altura de la viga se considera igual a la altura de la plancha PL2:

$$d_{PL2} = 460 \text{ mm}$$

Longitud entre puntos arriostrados: $L_b := a_2 = 60 \text{ mm}$

Coefficiente de modificación del pandeo lateral torsional:

De manera conservadora se toma la distancia d_{ct} como medida desde la parte superior de la viga hasta el primer perno:

$$d_{ct} = \frac{d_{PL2} - (nr_2 - 1) * s_2}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$C_b = \max \left(\left(3 + \ln * \left(\frac{L_b}{d_{PL2}} \right) \right) * \left(1 - \frac{d_{ct}}{d_{PL2}} \right), 1.84 \right) = 1.84$$

$$\text{Módulo de sección plástica: } Z_{PL2} := \frac{t_{PL2} * d_{PL2}^2}{4} = 634.8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Módulo de sección elástico: } S_{PL2} := \frac{t_{PL2} * d_{PL2}^2}{6} = 423.2 \text{ cm}^3$$

$$\text{Momento de fluencia: } M_y := 1.6 * F_{yPL} * S_{PL2} = 168.069 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Momento plástico: } M_p := F_{yPL} * Z_{PL2} = 157.565 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Esfuerzo crítico: } F_{cr} := \frac{1.9 * E_{PL} * C_b}{\left(\frac{L_b * d_{PL2}}{t_{PL2}^2} \right)} = 3647.051 \text{ MPa}$$

La resistencia nominal a flexión está determinada por:

$$\text{Si: } \frac{L_b * d_{PL2}}{t_{PL2}^2} \leq \frac{0.08 * E_{PL}}{F_{yPL}} \rightarrow M_n = \min (F_{yPL} * Z_{PL2}, 1.6 * F_{yPL} * S_{PL2})$$

$$\text{Si: } \frac{0.08 * E_{PL}}{F_{yPL}} < \frac{L_b * d_{PL2}}{t_{PL2}^2} \leq \frac{1.9 * E_{PL}}{F_{yPL}} \rightarrow M_n = \min \left(C_b * \left(1.52 - 0.274 * \left(\frac{L_b * d_{PL2}}{t_{PL2}^2} \right) \right) * \frac{F_{yPL}}{E_{PL}} \right) * M_y, M_p$$

$$\text{Si: } \frac{L_b * d_{PL2}}{t_{PL2}^2} > \frac{1.9 * E_{PL}}{F_{yPL}} \rightarrow M_n = \min (F_{cr} * S_{PL2}, M_p)$$

$$M_n = 157.565 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Momento de diseño: $\Phi:=0.9$

$\Phi M_{n30}:=\Phi \cdot M_n=141.808 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Si $[\phi M_{n30} > M_{u1c}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por tracción: ecuación (2)

Área bruta a tracción: $A_g := ((n_{r2} - 1) \cdot s_2 + 2 \cdot \text{Le}_{v2}) \cdot t_{PL2} = 55.2 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.9$

$\Phi R_{n31}:=\Phi \cdot F_{yPL} \cdot A_g=1233.114 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n31} > R_{u_{axial1c}}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por tracción: ecuación (3)

Área neta a tracción: $A_{nv}:=((n_{r2}-1) \cdot s_2 + 2 \cdot \text{Le}_{v2} - n_{r2} \cdot d_{h2}) \cdot t_{PL2} = 38.055 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$\Phi R_{n32}:=\Phi \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} = 1141.353 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n32} > R_{u_{axial1c}}, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a carga combinada: ecuación (34)

Resistencia disponible a momento: $\Phi M_n:=0.9 \cdot F_{yPL} \cdot Z_{PL2}=141.808 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistencia disponible a tracción: $\Phi P_n:=0.9 \cdot F_{yPL} \cdot (t_{PL2} \cdot d_{PL2}) = 1233.114 \text{ kN}$

Resistencia disponible a cortante: $\Phi V_n:=1 \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot (t_{PL2} \cdot d_{PL2}) = 822.076 \text{ kN}$

Momento requerido: $M_r:=M_{u1c}=30.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Tracción requerida: $P_r:=R_{u_{axial1c}}=227.101 \text{ kN}$

Cortante requerido: $V_r:=R_{u_{corte1c}}=508.501 \text{ kN}$

$\text{Interacción}_{331c} = \left(\frac{M_r}{\phi M_n}\right) + \left(\frac{P_r}{\phi P_n}\right)^2 + \left(\frac{V_r}{\phi V_n}\right)^4 = 0.395$

Si $[\text{interacción}_{331c} \leq 1, \text{ OK, FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones en rigidizador PL4:

Resistencia requerida por rigidizador: $R_{u_{w4}}=268.219 \text{ kN}$

Resistencia a fluencia por cortante: ecuación (30)

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (b_{PL4}) \cdot t_{PL4} \cdot 2 = 29.2 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 1$

$\Phi R_{n34} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} = 434.866 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n34} > R_{Uw4}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante: ecuación (31)

Área neta a cortante: $A_{nv} := (b_{PL4} - cc) \cdot t_{PL4} \cdot 2 = 25.2 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n35} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{UPL} \cdot A_{nv} = 453.782 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n35} > R_{Uw4}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura D8: ecuaciones (42), (43) y (44)

Longitud de Soldadura: $L_{w8} := b_{PL4} - cc = 126 \text{ mm}$

Garganta Efectiva: $G_{arg} := 0.707 \cdot D8 = 4.242 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{rofi} := 4$

Ángulo de carga: $ang := 0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot \sin(ang))^{1.5}$

$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := G_{arg} \cdot L_{w8} \cdot n_{rofi} = 21.38 \text{ cm}^2$

Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$

Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nw} := \Phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = 464.334 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base PL4:

Área del metal Base: $A_{BM} := L_{w8} \cdot t_{PL4} \cdot 2 = 25.2 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM1} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{UPL} \cdot A_{BM} = 453.482 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base en ala de columna:

Área del metal Base: $A_{BM} := L_{w8} \cdot t_{f2} \cdot 4 = 80.64 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM2} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_u \cdot A_{BM} = 1451.142 \text{ kN}$

Resistencia de la unión soldada:

$$\Phi R_{n36} := \min(\Phi R_{nw}, \Phi R_{nBM1}, \Phi R_{nBM2}) = 453.482 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n36} > R_{uw4}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura D9: ecuaciones (42), (43) y (44)

Longitud de Soldadura: $L_{w9} := L_{PL4} - 2 \cdot cc = 228 \text{ mm}$

Garganta Efectiva: $Garg := 0.707 \cdot D9 = 4.242 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{rofi} := 2$

Ángulo de carga: $ang := 0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot \sin(ang))^{1.5}$

$$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := Garg \cdot L_{w9} \cdot n_{rofi} = 19.344 \text{ cm}^2$

Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$

Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nw} := \Phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = 420.112 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base PL4:

Área del metal Base: $A_{BM} := L_{w9} \cdot t_{PL4} \cdot 2 = 45.6 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM1} := \Phi \cdot F_{uPL} \cdot A_{BM} = 1367.644 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base en alma de columna:

Área del metal Base: $A_{BM} := L_{w9} \cdot t_{w2} \cdot 2 = 36.48 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM2} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_u \cdot A_{BM} = 656.469 \text{ kN}$

Resistencia de la unión soldada:

$$\Phi R_{n37} := \min(\Phi R_{nw}, \Phi R_{nBM1}, \Phi R_{nBM2}) = 420.112 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n37} > R_{uw4}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones en la interfaz viga con columna

Verificaciones en viga

Resistencia a fluencia por carga axial: ecuación (2)

Resistencia requerida: $R_{U_{axialv}} := H_{Uv} = 567.751 \text{ kN}$

Área bruta a tracción: $A_g := A = 55.29 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi R_{n38} := \Phi * F_y * A_g = 1235.129 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n38} > R_{U_{axialv}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por axial: ecuaciones (3), (4), (6) y (7)

Área neta a tracción: $A_n := A - n r_1 * \left(b_{d1} + \frac{1}{8} \text{ in} \right) * t_w = 51.861 \text{ cm}^2$

$X_{\text{bar}} := \frac{2 * b f^2 * t_f + t_w^2 (d - 2 * t_f)}{8 * b f * t_f + 4 * t_w * (d - 2 * t_f)} = 28.832 \text{ mm}$

Longitud de conexión: $L_{\text{con}} := (n_{c1} - 1) * s_{t1} = 160 \text{ mm}$

Factor de reducción: $U := 1 - \frac{X_{\text{bar}}}{L_{\text{con}}} = 0.82$

Área efectiva: $A_e := A_n * U = 42.516 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n39} := \Phi * F_u * A_e = 1275.144 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n39} > R_{U_{axialv}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - Por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de C:

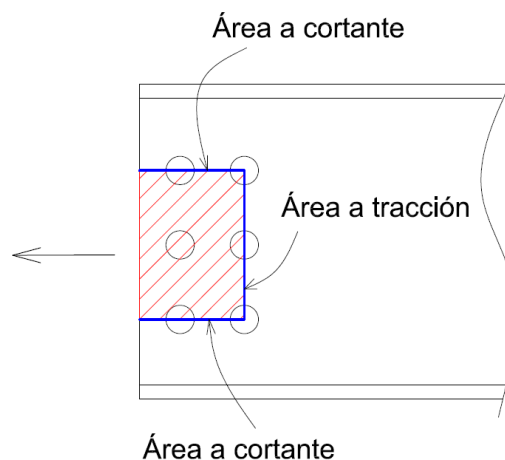


Figura 4.21: Bloque de corte en alma de viga por carga axial-forma en C

Fuente: Elaboración propia

Tamaño de agujero: $d_{h1} := b_{d1} + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$

Área neta a cortante:

$$A_{nv} := ((nc_1 - 1) * st_1 + Le_{h1} - (nc_1 - 0.5) * d_{h1}) * (t_W + t_{PL5}) * 2 = 28.385 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta a tracción: } A_{nt} := ((nr_1 - 1) * s_1 - (nr_1 - 1) * d_{h1}) * (t_W + t_{PL5}) = 7.316 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv} := ((nc_1 - 1) * st_1 + Le_{h1}) * (t_W + t_{PL5}) * 2 = 43.019 \text{ cm}^2$$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$$\Phi R_{n40} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$$

$$\Phi R_{n40} = 699.919 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n40} > R_{u_{axialv}}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones en plancha PL1

Resistencia de la soldadura D1: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

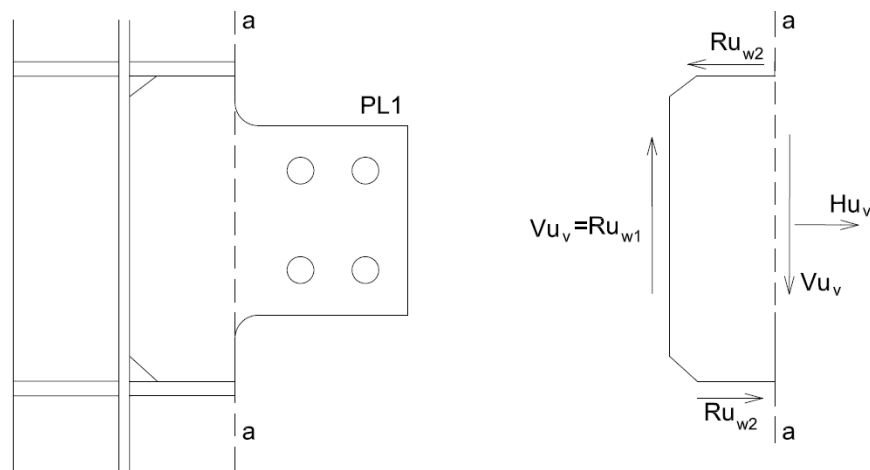


Figura 4.22: Descomposición vectorial de fuerzas en plancha PL1

Fuente: Elaboración propia

Resistencia requerida de la soldadura: $R_{u_{w1}} := V_{u_v} = 210.039 \text{ kN}$

Longitud de Soldadura: $L_{w1} = 152 \text{ mm}$

Garganta Efectiva: $\text{Garg} := 0.707 * D1 = 5.656 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{rofi}=2$

Ángulo de carga: $ang:=0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw}:= 0.6 \cdot F_{EXX} (1 + 0.5 \sin(ang))^{1.5}$
 $F_{nw}=289.58 \text{ MPa}$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we}:= Garg \cdot Lw1 \cdot n_{rofi}=17.194 \text{ cm}^2$

Factor de resistencia: $\Phi:=0.75$

Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nw}:= \Phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we}=373.433 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base PL1:

Área del metal Base: $A_{BM}:= Lw1 \cdot t_{PL1}=38 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{n_{BM1}}:= \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{u_{PL}} \cdot A_{BM}=683.822 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base alma de columna:

Área del metal Base: $A_{BM}:= Lw1 \cdot tw2 \cdot 2 = 24.32 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{n_{BM2}}:= \Phi \cdot 0.6 \cdot F_u \cdot A_{BM}=437.646 \text{ kN}$

Resistencia de la unión soldada:

$\Phi R_{n_{41}}:= \min(\Phi R_{nw}, \Phi R_{n_{BM1}}, \Phi R_{n_{BM2}}) = 373.433 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n_{41}} > R_{u_{w1}}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura D2

Resistencia requerida de la soldadura: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

$$R_{u_{w2}} := \frac{V_{u_v} \cdot \left(\frac{bf_2 - tw_2}{2} \right)}{(nr_1 - 1) \cdot s_1 + 2 \cdot Lev_1} + \frac{H_{u_v}}{2} = 437.204 \text{ kN}$$

Longitud de Soldadura: $Lw2=111 \text{ mm}$

Garganta Efectiva: $Garg:=D2 \cdot \sqrt{2} = 11.314 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{rofi}=2$

Ángulo de carga: $ang:=0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \sin(\text{ang}))^{1.5}$

$$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := G_{arg} * L_{w2} * n_{rofi} = 25.116 \text{ cm}^2$

Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$

Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nw} := \Phi * F_{nw} * A_{we} = 545.491 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base PL1:

Área del metal Base: $A_{BM} := L_{w2} * t_{PL1} = 27.75 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{n_{BM1}} := \Phi * 0.6 * F_{u_{PL}} * A_{BM} = 499.37 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base rigidizador PL3:

Área del metal Base: $A_{BM} := L_{w2} * t_{PL3} * 2 = 31.08 \text{ cm}^2$

Resistencia del metal base: $\Phi R_{n_{BM2}} := \Phi * 0.6 * F_{u_{PL}} * A_{BM} = 559.294 \text{ kN}$

Resistencia de la Unión Soldada:

$\Phi R_{n_{42}} := \min(\Phi R_{nw}, \Phi R_{n_{BM1}}, \Phi R_{n_{BM2}}) = 499.37 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n_{42}} > R_{u_{w2}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones de resistencia de grupo de pernos: ecuaciones (35), (36) y (38)

Carga requerida: $R_{ub1} := \sqrt{V_{u_v}^2 + H_{u_v}^2} = 605.358 \text{ kN}$

Resistencia nominal a cortante de un perno:

$$A_b = \frac{\pi}{4} * b_{d1}^2 = 0.785 \text{ in}^2$$

$R_{na} := F_{nv} * A_b = 188.656 \text{ kN}$

Resistencia nominal al desgarramiento en perno de borde en plancha PL1:

Diámetro de agujeros: $d_{h1} := b_{d1} + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$

Distancia libre al borde: $l_c := \min\left(L_{ev1} - \frac{d_{h1}}{2}, L_{eh1} - \frac{d_{h1}}{2}\right) = 35.713 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{nb} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_{uPL} \cdot t_{PL1}$

$$R_{nb} = 428.438 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al desgarramiento en pernos interiores en plancha PL1:

Distancia libre entre pernos: $l_c := s_1 - d_{h1} = 71.425 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{nc} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_{uPL} \cdot t_{PL1}$

$$R_{nc} = 856.877 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al aplastamiento en pernos en plancha PL1:

$R_{nd} := 2.4 \cdot b_{d1} \cdot F_{uPL} \cdot t_{PL1}$

$$R_{nd} = 609.441 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al desgarramiento en perno de borde en viga:

Diámetro de agujeros: $d_{h1} := b_{d1} + \frac{1}{8} \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$

Distancia libre al borde: $l_c := \min \left(L_{ev1} - \frac{d_{h1}}{2}, L_{eh1} - \frac{d_{h1}}{2} \right) = 35.713 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{ne} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_u \cdot (t_w + t_{PL5})$

$$R_{ne} = 175.534 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al desgarramiento en pernos interiores en viga:

Distancia libre entre pernos: $l_c := s_1 - d_{h1} = 71.425 \text{ mm}$

Resistencia Nominal: $R_{nf} := 1.2 \cdot l_c \cdot F_u \cdot (t_w + t_{PL5})$

$$R_{nf} = 351.067 \text{ kN}$$

Resistencia nominal al aplastamiento en pernos en alma de viga:

$R_{ng} := 2.4 \cdot b_{d1} \cdot F_u \cdot (t_w + t_{PL5})$

$$R_{ng} = 249.692 \text{ kN}$$

Resistencia de diseño del grupo de pernos:

$$\Phi := 0.75$$

Coeficiente C para el grupo de pernos determinado según hoja de cálculo automatizada para este proceso, ver Anexo N°5, factor C para Nudo-PL1:

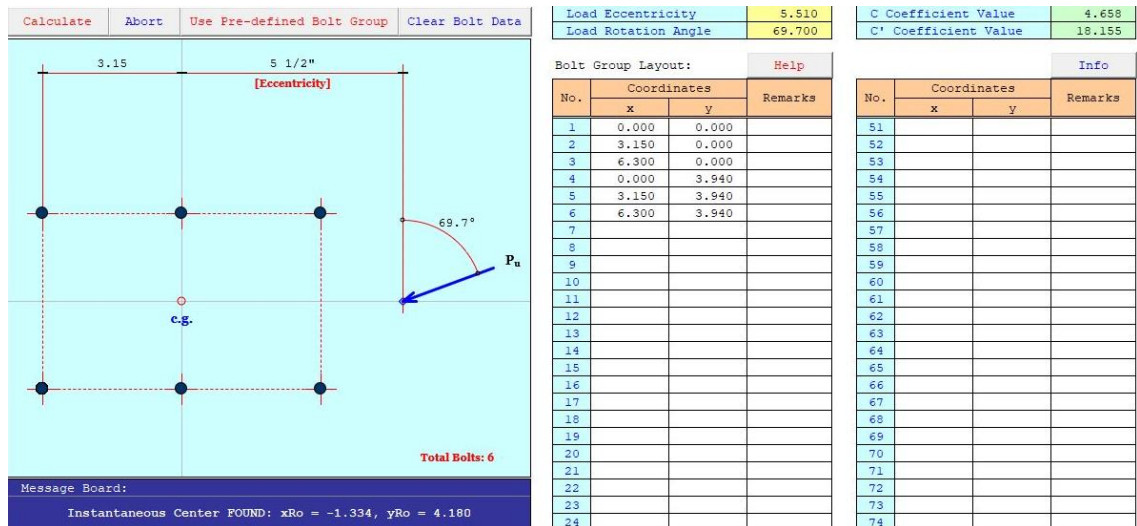


Figura 4.23: Cálculo de coeficiente C para pernos en plancha PL1

Fuente: Steeltools.org

$$C:=4.66$$

$$\Phi R_{n43}:= \Phi * C * \min (R_{n_a} , R_{n_b} , R_{n_c} , R_{n_d} , R_{n_e} , R_{n_f} , R_{n_g})$$

$$\Phi R_{n43}=613.49 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n43} > R_{u_{b1}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por cortante: ecuación (30)

Carga requerida: $R_{u_{cortev}}:= V_{uv}=210.039 \text{ kN}$

Área neta a cortante: $A_{gv}:= ((nr-1) * s_1 + 2 * Lev_1) = 50 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=1$

$$\Phi R_{n44}:= \Phi * 0.6 * F_{y_{PL}} * A_{gv} = 744.634 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n44} > R_{u_{cortev}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante: ecuación (31)

Área neta a cortante: $A_{nv}:= ((nr-1) * s_1 + 2 * Lev_1 - nr_1 * d_{h1}) * t_{PL1} = 35.713 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi:=0.75$

$$\Phi R_{n45}:= \Phi * 0.6 * F_{u_{PL}} * A_{nv} = 642.658 \text{ kN}$$

Si $[\Phi R_{n45} > R_{u_{cortev}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - por carga cortante: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de L:

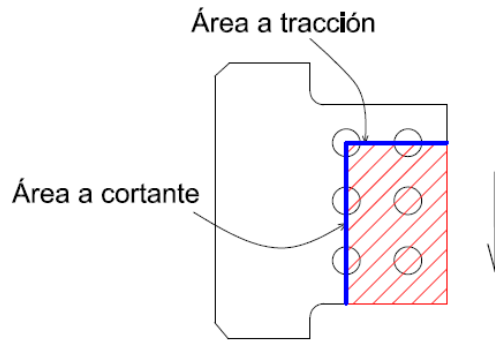


Figura 4.24: Bloque de corte en plancha PL1 por carga cortante-forma en L

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv} := (Le_{v1} + (nr_1 - 1) \cdot s_1 - (nr_1 - 0.5) \cdot d_{h1}) \cdot t_{PL1} = 26.784 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta a tracción: } A_{nt} := ((nc_1 - 1) \cdot st_1 + Le_{h1} - (nc_1 - 0.5) \cdot d_{h1}) \cdot t_{PL1} = 34.641 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bruta a cortante: } A_{gv} := (Le_{v1} + (nr_1 - 1) \cdot s_1) \cdot t_{PL1} = 37.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Factor de reducción: } U_{bs} := 0.5$$

$$\text{Resistencia de diseño: } \Phi := 0.75$$

$$\Phi R_{n46} := \Phi \cdot \min(0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt}, 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_{uPL} \cdot A_{nt})$$

$$\Phi R_{n46} = 938.331 \text{ kN}$$

Si $[\phi R_{n46} > R_{U_{cortev}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - Por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de L:

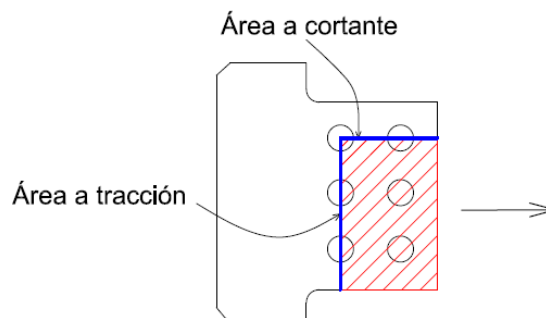


Figura 4.25: Bloque de corte en plancha PL1 por carga axial-forma en L

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área neta a cortante: } A_{nv} := ((nc_1 - 1) \cdot st_1 + Le_{h1} - (nc_1 - 0.5) \cdot d_{h1}) \cdot t_{PL1} = 34.641 \text{ cm}^2$$

Área neta a tracción: $A_{nt} := (Le_{v1} + (nr_1 - 1) * s_1 - (nr_1 - 0.5) * d_{h1}) * t_{PL1} = 26.784 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := ((nc_1 - 1) * st_1 + Le_{h1}) * t_{PL1} = 52.5 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n47} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n47} = 1389.721 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n47} > R_{U_{axialv}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - Por carga axial: ecuación (8)

Se considera una geometría de bloque cortante en forma de C:

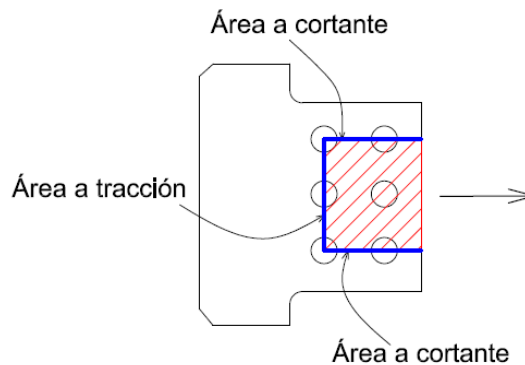


Figura 4.26: Bloque de corte en plancha PL1 por carga axial-forma en C

Fuente: Elaboración propia

Área neta a cortante:

$A_{nv} := ((nc_1 - 1) * st_1 + Le_{h1} - (nc_1 - 0.5) * d_{h1}) * t_{PL1} * 2 = 69.281 \text{ cm}^2$

Área neta a tracción: $A_{nt} := ((nr_1 - 1) * s_1 - (nc_1 - 1) * d_{h1}) * t_{PL1} = 17.856 \text{ cm}^2$

Área bruta a cortante: $A_{gv} := ((nc_1 - 1) * st_1 + Le_{h1}) * t_{PL1} * 2 = 105 \text{ cm}^2$

Factor de reducción: $U_{bs} := 1$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n48} := \Phi * \min(0.6 * F_{uPL} * A_{nv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt}, 0.6 * F_{yPL} * A_{gv} + U_{bs} * F_{uPL} * A_{nt})$

$\Phi R_{n48} = 1708.346 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n48} > R_{U_{axialv}}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia por bloque de corte - carga combinada axial y cortante: ecu. (32)

Resistencia por interacción de axial y cortante:

$$\text{Interacción}_{49v} := \left(\frac{R_{u_{\text{cortev}}}}{\phi R_{n_{46}}} \right)^2 + \left(\frac{R_{u_{\text{axialv}}}}{\min(\phi R_{n_{47}}, \phi R_{n_{48}})} \right)^2 = 0.217$$

Si $[\text{interacción}_{49v} \leq 1, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por flexión: ecuación (21)

El momento requerido será: $M_{uv} := R_{u_{\text{cortev}}} * a_1 = 12.602 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Altura total de PL1: $d_{PL1} := (nr_1 - 1) * s_1 + 2 * Lev_1 = 200 \text{ mm}$

Módulo de sección plástico neto:

$$Z_{\text{net1}} := \frac{t_{PL1} * d_{PL1}^2}{4} - \frac{t_{PL1}}{4} * d_{h1} * s_1 * (nr_1 + 2) * nr_1 = 107.125 \text{ cm}^3$$

Momento de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi M_{n_{50}} := \Phi * F_{u_{PL}} * Z_{\text{net1}} = 32.129 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Si $[\phi R_{n_{50}} > M_{uv}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a flexión: ecuaciones (18), (19), (24) al (27)

La altura de la viga se considera igual a la altura de la plancha PL1:

$d_{PL1} = 200 \text{ mm}$

Longitud entre puntos arriostrados: $L_b := a_1 = 60 \text{ mm}$

Coefficiente de modificación del pandeo lateral torsional:

De manera conservadora se toma la distancia d_{ct} como medida desde la parte superior de la viga hasta el primer perno:

$$d_{ct} = \frac{d_{PL1} - (nr_1 - 1) * s_1}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$C_b = \max \left(\left(3 + ln * \left(\frac{L_b}{d_{PL1}} \right) \right) * \left(1 - \frac{d_{ct}}{d_{PL1}} \right), 1.84 \right) = 1.84$$

Módulo de sección plástico: $Z_{PL1} := \frac{t_{PL1} * d_{PL1}^2}{4} = 250 \text{ cm}^3$

Módulo de sección elástico: $S_{PL1} := \frac{t_{PL1} * d_{PL1}^2}{6} = 166.667 \text{ cm}^3$

Momento de Fluencia: $M_y := 1.6 * F_{y_{PL}} * S_{PL1} = 66.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Momento Plástico: $M_p := F_{y_{PL}} * Z_{PL1} = 62.053 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Esfuerzo crítico: $F_{cr} := \frac{1.9 * E_{PL} * C_b}{\left(\frac{L_b * d_{PL1}}{t_{PL1}^2}\right)} = 36407.191 \text{ MPa}$

La resistencia nominal a flexión está determinada por:

Si: $\frac{L_b * d_{PL1}}{t_{PL1}^2} \leq \frac{0.08 * E_{PL}}{F_{y_{PL}}} \rightarrow M_n = \min(F_{y_{PL}} * Z_{PL1}, 1.6 * F_{y_{PL}} * S_{PL1})$

Si: $\frac{0.08 * E_{PL}}{F_{y_{PL}}} < \frac{L_b * d_{PL1}}{t_{PL1}^2} \leq \frac{1.9 * E_{PL}}{F_{y_{PL}}} \rightarrow M_n = \min\left(C_b * \left(1.52 - 0.274 * \left(\frac{L_b * d_{PL1}}{t_{PL1}^2}\right) * \frac{F_{y_{PL}}}{E_{PL}}\right) * \right.$

$M_y, M_p)$

Si: $\frac{L_b * d_{PL1}}{t_{PL1}^2} > \frac{1.9 * E_{PL}}{F_{y_{PL}}} \rightarrow M_n = \min(F_{cr} * S_{PL1}, M_p)$

$M_n = 62.053 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Momento de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi M_{n51} := \Phi * M_n = 55.848 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Si $[\phi M_{n51} > M_{u_v}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a fluencia por tracción: ecuación (2)

Área bruta a tracción: $A_g := ((n_{r1} - 1) * s_1 + 2 * Lev_1) * t_{PL1} = 50 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.9$

$\Phi R_{n52} := \Phi * F_{y_{PL}} * A_g = 1116.951 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n52} > R_{u_{axialv}}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por tracción: ecuación (3)

Área neta a tracción: $A_{nv} := ((n_{r1} - 1) * s_1 + 2 * Lev_1 - n_{r1} * dh_1) * t_{PL1} = 35.713 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n53} := \Phi * F_{u_{PL}} * A_{nv} = 1071.096 \text{ kN}$

Si $[\phi R_{n53} > R_{u_{axialv}}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a carga combinada: ecuación (34)

Resistencia disponible a momento: $\Phi M_n := 0.9 * F_{y_{PL}} * Z_{PL1} = 55.848 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistencia disponible a tracción: $\Phi P_n := 0.9 * F_{y_{PL}} * (t_{PL1} * d_{PL1}) = 1116.951 \text{ kN}$

Resistencia disponible a cortante: $\Phi V_n := 1 \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot (t_{PL1} \cdot d_{PL1}) = 744.634 \text{ kN}$

Momento requerido: $M_r := M_{u_v} = 12.602 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Tracción requerida: $P_r := R_{u_{axialv}} = 567.751 \text{ kN}$

Cortante requerido: $V_r := R_{u_{cortev}} = 210.039 \text{ kN}$

$$\text{Interacción}_{54_v} = \left(\frac{M_r}{\Phi M_n} \right) + \left(\frac{P_r}{\Phi P_n} \right)^2 + \left(\frac{V_r}{\Phi V_n} \right)^4 = 0.49$$

Si $[\text{interacción}_{54_v} \leq 1, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Verificaciones en rigidizador PL3

Resistencia requerida por el rigidizador: $R_{u_w2} = 437.024 \text{ kN}$

Resistencia a fluencia por cortante: ecuación (30)

Área bruta a cortante: $A_{gv} := (b_{PL3}) \cdot t_{PL3} \cdot 2 = 40.88 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 1$

$\Phi R_{n55} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{yPL} \cdot A_{gv} = 608.813 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n55} > R_{u_w2}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia a rotura por cortante: ecuación (31)

Área neta a cortante: $A_{nv} := (b_{PL3} - cc) \cdot t_{PL3} \cdot 2 = 35.28 \text{ cm}^2$

Resistencia de diseño: $\Phi := 0.75$

$\Phi R_{n56} := \Phi \cdot 0.6 \cdot F_{uPL} \cdot A_{nv} = 634.875 \text{ kN}$

Si $[\Phi R_{n56} > R_{u_w2}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura D6: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

Longitud de Soldadura: $L_{w6} := b_{PL3} - cc = 126 \text{ mm}$

Garganta Efectiva: $Garg := 0.707 \cdot D6 = 5.656 \text{ mm}$

Nro de filetes de soldadura: $n_{rofi} := 4$

Ángulo de carga: $ang := 0^\circ$

Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot \sin(ang)^{1.5})$

$F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$

Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := Garg * Lw6 * nrofi = 28.506 \text{ cm}^2$
 Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$
 Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nW} := \Phi * F_{nw} * A_{we} = 619.112 \text{ kN}$
 Resistencia del Metal Base PL3:
 Área del metal Base: $A_{BM} := Lw6 * t_{PL3} * 2 = 35.28 \text{ cm}^2$
 Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM1} := \Phi * 0.6 * F_{uPL} * A_{BM} = 634.875 \text{ kN}$
 Resistencia del Metal Base en ala de columna:
 Área del metal Base: $A_{BM} := Lw6 * tf_2 * 4 = 80.64 \text{ cm}^2$
 Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM2} := \Phi * 0.6 * F_u * A_{BM} = 1451.142 \text{ kN}$
 Resistencia de la unión soldada:
 $\Phi R_{n57} := \min(\Phi R_{nW}, \Phi R_{nBM1}, \Phi R_{nBM2}) = 619.112 \text{ kN}$
 Si $[\Phi R_{n57} > R_{uW2}, \text{OK}, \text{FALLA}] = \text{OK}$

Resistencia de la soldadura D7: usamos ecuaciones (42), (43) y (44)

Longitud de Soldadura: $Lw7 := L_{PL3} - 2 * cc = 228 \text{ mm}$
 Garganta Efectiva: $Garg := 0.707 * D7 = 5.656 \text{ mm}$
 Nro de filetes de soldadura: $nrofi := 2$
 Ángulo de carga: $ang := 0^\circ$
 Esfuerzo nominal de soldadura: $F_{nw} := 0.6 * F_{EXX} + (1 + 0.5 * \sin(ang))^{1.5}$
 $F_{nw} = 289.58 \text{ MPa}$
 Área efectiva de la soldadura: $A_{we} := Garg * Lw7 * nrofi = 25.791 \text{ cm}^2$
 Factor de resistencia: $\Phi := 0.75$
 Resistencia de la Soldadura $\Phi R_{nW} := \Phi * F_{nw} * A_{we} = 560.149 \text{ kN}$
 Resistencia del Metal Base PL3:
 Área del metal Base: $A_{BM} := Lw7 * t_{PL3} * 2 = 63.84 \text{ cm}^2$
 Resistencia del metal base: $\Phi R_{nBM1} := \Phi * F_{uPL} * A_{BM} = 1914.702 \text{ kN}$

Resistencia del Metal Base en ala de columna:

$$\text{Área del metal Base: } A_{BM} := Lw7 * tw2 * 2 = 36.48 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia del metal base: } \Phi Rn_{BM2} := \Phi * 0.6 * Fu * A_{BM} = 656.469 \text{ kN}$$

Resistencia de la unión soldada:

$$\Phi Rn_{58} := \min(\Phi Rn_W, \Phi Rn_{BM1}, \Phi Rn_{BM2}) = 560.149 \text{ kN}$$

Si $[\Phi Rn_{58} > Ru_{w2}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Verificación de máximo espesor de plancha PL1: ecuación (88)

$$A_b := \pi * \frac{b_{d1}^2}{4} = 5.067 \text{ cm}^2$$

$$C' := 18.15$$

$$t_{\max1} := \frac{6 * F_{mv} * A_b * C'}{0.9 * F_{Y_{PL}} * (d_{PL1})^2} = 58.399 \text{ mm}$$

SI $[t_{\max1} > t_{PL1}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

Verificación de máximo espesor de plancha PL2: ecuación (88)

$$A_b := \pi * \frac{b_{d2}^2}{4} = 5.067 \text{ cm}^2$$

$$C' := 20.235$$

$$t_{\max2} := \frac{6 * F_{mv} * A_b * C'}{0.9 * F_{Y_{PL}} * (d_{PL2})^2} = 12.308 \text{ mm}$$

SI $[t_{\max2} > t_{PL2}, \text{OK, FALLA}] = \text{OK}$

CONEXIÓN N°2: CONEXIÓN CHEVRON

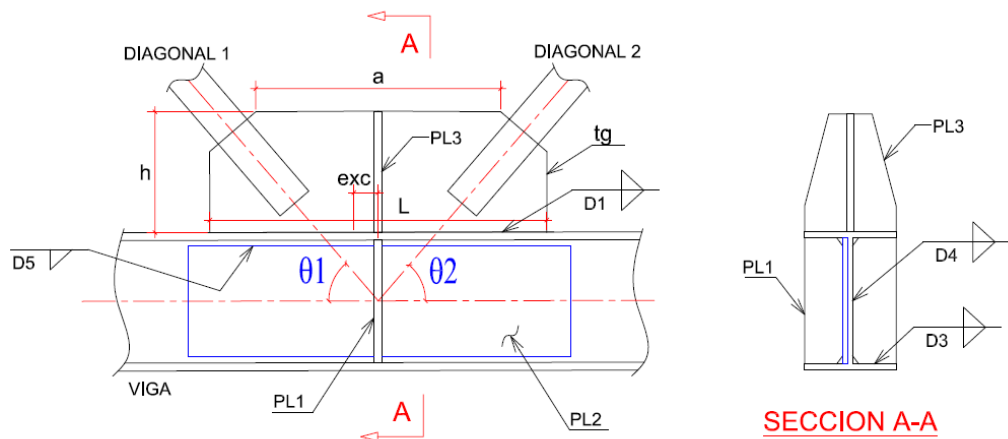


Figura 4.27: Esquema de conexión chevron

Fuente: Elaboración propia

El perfil de la diagonal 1 y 2 es tubo 150x150x5mm A500 GrB, la viga receptora es un perfil soldado H 250x200x14x6mm A36.

Las cargas requeridas para las diagonales de esta conexión es el 100% de capacidad axial. El valor de la carga se determina según lo especificado en las normas AISC:

Área de la sección transversal de la diagonal: $A_d=28.129 \text{ cm}^2$

Esfuerzo de fluencia de la diagonal: $F_{yd}=46 \text{ ksi}$

Factor de resistencia: $\Phi:=0.9$

Capacidad de diseño: $\text{capac}=100\%$

Resistencia requerida según ecuación (2):

$$R_{ub}:= \text{capac} \cdot \Phi \cdot F_{yd} \cdot A_d = 802.922 \text{ kN}$$

Se considera el valor de carga a compresión numéricamente igual al valor de carga en tracción.

Se determina las fuerzas actuantes en el interior de la cartela y en la interfaz cartela con viga.

Fuerzas resultantes en la sección a-a según ecuaciones (72), (73) y (74):

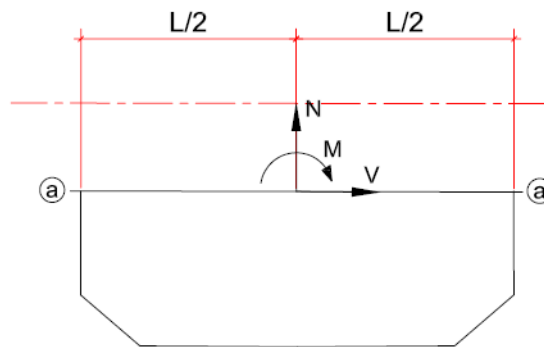


Figura 4.28: Fuerzas resultantes en cartela tg, sección a-a
Fuente: Elaboración propia

$$M = 153.768 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N = 98.966 \text{ kN}$$

$$V = 1230.148 \text{ kN}$$

Fuerzas resultantes en la sección b-b según ecuaciones (75), (76) y (77):

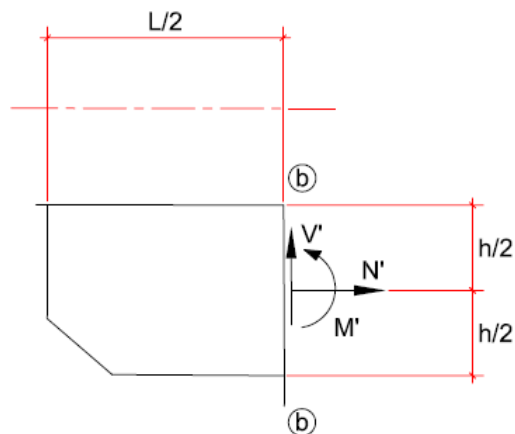


Figura 4.29: Fuerzas resultantes en cartela tg, sección b-b
Fuente: Elaboración propia

$$M' = 23.504 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N' = 49.483 \text{ kN}$$

$$V' = 292.506 \text{ kN}$$

El procedimiento de descomposición vectorial de fuerzas es mostrado en los Anexos N°1 y N°2 de esta investigación. Asimismo, se está mostrando el cálculo de los estados límites de manera muy similar a lo desarrollado para la conexión N°1.

CONEXIÓN N°3: CONEXIÓN DIAGONAL LLEGANDO A PLACA BASE

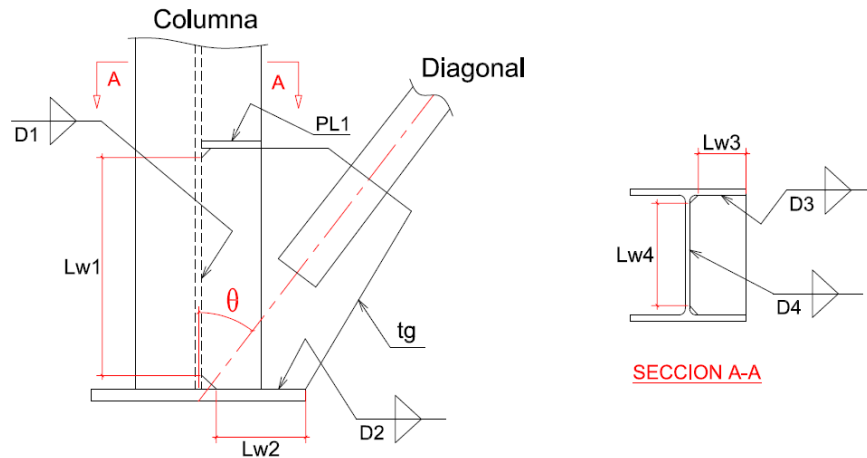


Figura 4.30: Esquema de conexión diagonal llegando a placa base

Fuente: Elaboración propia

El perfil de la diagonal es Tubo 150x150x5mm A500 GrB y la columna es un perfil soldado H 300x300x16x8 en acero calidad A36.

La carga requerida para la diagonal de esta conexión es el 100% de capacidad axial y su valor es igual al mostrado en la conexión N°2. Las fuerzas resultantes en la interfaz cartela con columna y con placa base son:

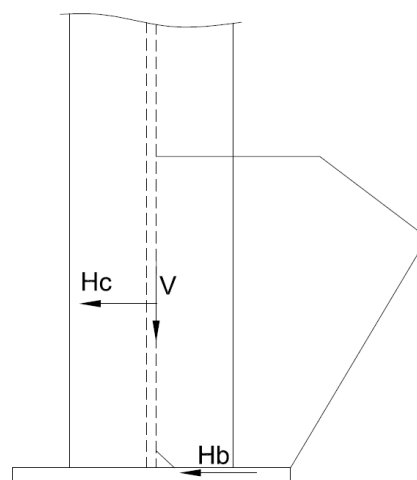


Figura 4.31: Fuerzas resultantes en cartela tg

Fuente: Elaboración propia

$$H_c = 61.142 \text{ kN}$$

$$H_b = 628.894 \text{ kN}$$

$$V = 605.973 \text{ kN}$$

Estas fuerzas resultantes son según ecuaciones (78) y (79). El procedimiento de descomposición vectorial es mostrado en los Anexos N°1 y N°2 de esta investigación. De igual manera, se está mostrando el cálculo de los estados límites de manera muy similar a lo desarrollado para la conexión N°1.

CONEXIÓN N°4: CONEXIÓN VIGA-VIGA

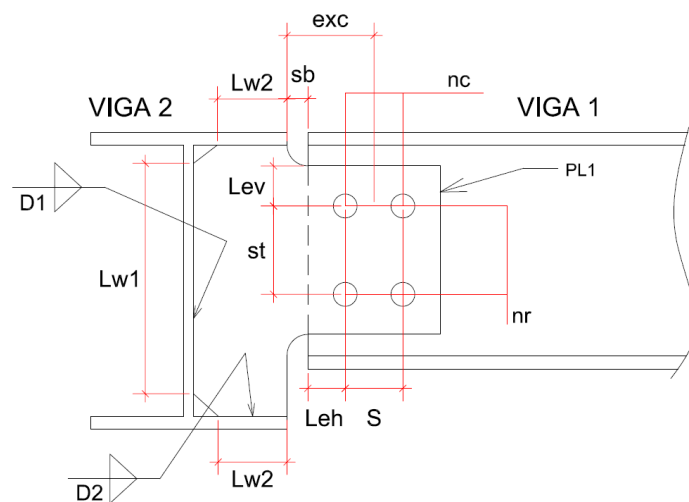


Figura 4.32: Esquema de conexión viga con viga
Fuente: Elaboración propia

El perfil de la viga 1 y viga 2 es un perfil soldado H 200x150x8x6mm en acero calidad A36.

La carga cortante requerida para la viga 1 es el 75% de su capacidad a corte, este valor es según ecuación (29):

Coefficiente de resistencia a corte: $C_{v1} = 1$

Factor de resistencia: $\phi = 0.9$

Capacidad de diseño: $\text{capac} = 75\%$

Área de la sección transversal del alma: $A_w = d \cdot t_w = 12 \text{ cm}^2$

Resistencia requerida:

$$R_u := \text{capac} * \Phi * 0.6 * F_y * A_w * C_{v1} = 120.631 \text{ kN}$$

La resistencia requerida se ubica según lo mostrado en la imagen:

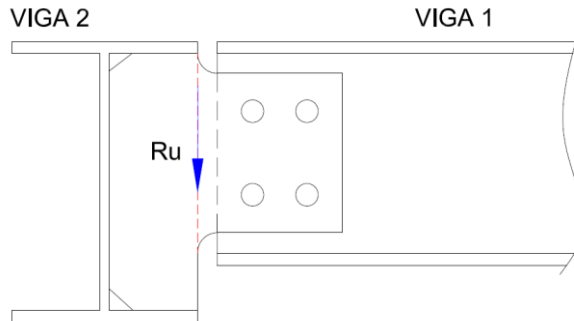


Figura 4.33: Fuerza resultante para viga 1
Fuente: Elaboración propia

Después de definir la fuerza actuante, se procede a calcular los estados límites de manera muy similar a lo desarrollado para la conexión N°1. El detalle de estos cálculos se muestra en los Anexos N°1 y N°2 de este trabajo de investigación.

CONEXIÓN N°5: CONEXIÓN VIGA-COLUMNA

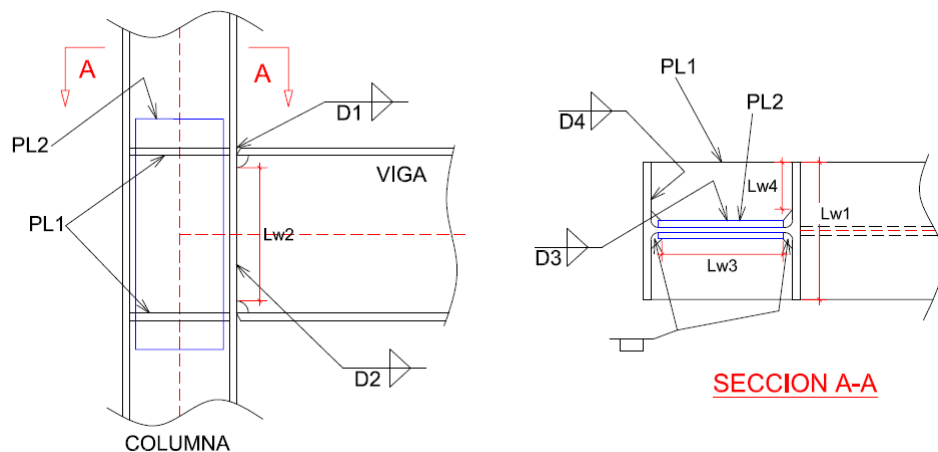


Figura 4.34: Esquema de conexión viga soldada a columna
Fuente: Elaboración propia

El perfil de la viga es H 300x200x14x6mm en A36, y la columna es H250x250x12x6mm en A36; ambos son perfiles soldados.

La carga requerida en esta unión es el 75% de capacidad de corte de la viga más el 100% de su capacidad a momento.

La carga requerida a cortante se determina según lo establecido en las normas AISC, ecuación (29):

Coeficiente de resistencia a corte:	$C_{v1} = 1$
Factor de resistencia:	$\phi = 0.9$
Capacidad de diseño:	capac = 75%
Área de la sección transversal del alma:	$A_w = d \cdot t_w = 18 \text{ cm}^2$

Resistencia requerida:

$$R_{u_w} := \text{capac} \cdot \phi \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_{v1} = 180.946 \text{ kN}$$

La carga requerida a momento se determina igualmente según lo estipulado en las normas AISC, ecuación (20):

Factor de resistencia:	$\phi = 0.9$
Capacidad de diseño:	capac = 100%
Módulo de sección plástico:	$Z = 911.78 \text{ cm}^3$

Resistencia requerida a momento:

$$M_u := \text{capac} \cdot \phi \cdot F_y \cdot Z = 203.683 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Las fuerzas actuantes en las alas de la viga debido a la carga de momento son según ecuación (81):

$$R_{u_f} = \frac{M_u}{d - t_f} = 712.17 \text{ kN}$$

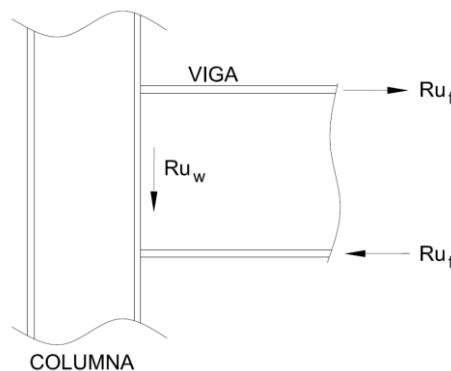


Figura 4.35: Fuerzas resultantes en interfaz viga con columna

Fuente: Elaboración propia

Después de definir las fuerzas actuantes en la viga, se procede a calcular los estados límites de manera muy similar a lo desarrollado para la conexión N°1. El detalle de estos cálculos se muestra en los Anexos N°1 y N°2 de este trabajo de investigación.

CONEXIÓN N°6: CONEXIÓN EMPALME DE VIGA

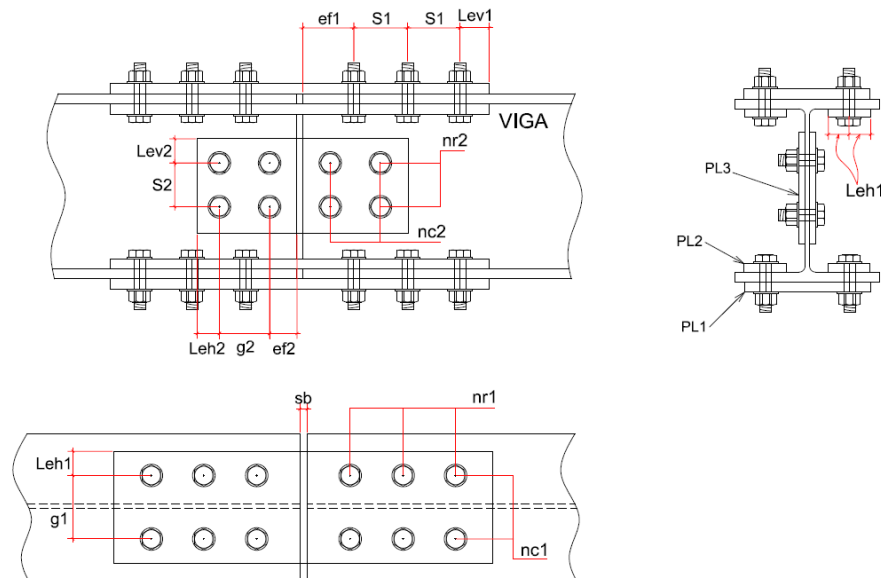


Figura 4.36: Esquema de conexión para empalme de viga

Fuente: Elaboración propia

La viga es un perfil soldado H 300x200x14x6mm en calidad A36.

La carga de requerida en esta unión es el 100% de capacidad a corte más el 100% de su capacidad a momento.

La carga requerida a cortante se determina según lo establecido en las normas AISC, ecuación (29):

Coeficiente de resistencia a corte:

$$C_{v1} = 1$$

Factor de resistencia:

$$\phi = 0.9$$

Capacidad de diseño:

$$\text{capac} = 100\%$$

Área de la sección transversal del alma:

$$A_w = d \cdot t_w = 18 \text{ cm}^2$$

Resistencia requerida:

$$R_{u_w} = \text{capac} \cdot \phi \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_{v1} = 241.261 \text{ kN}$$

La carga requerida a momento es $M_u = 203.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$, mismo valor que se obtuvo en la conexión N°5 al tratarse del mismo perfil y el mismo porcentaje de capacidad de resistencia. La carga requerida en alas es entonces igual $R_{u_f} = 712.17 \text{ kN}$

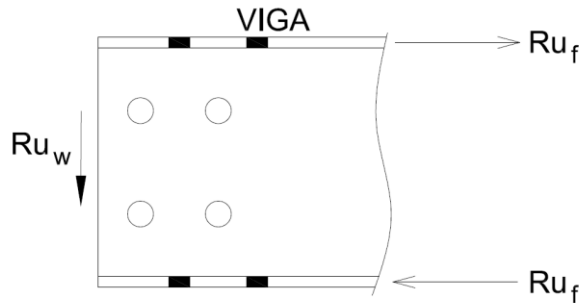


Figura 4.37: Fuerzas resultantes en alas y alma de viga

Fuente: Elaboración propia

Después de definir las fuerzas actuantes en la viga, se procede a calcular los estados límites de manera muy similar a lo desarrollado para la conexión N°1. El detalle de estos cálculos se muestra en los Anexos N°1 y N°2 de este trabajo de investigación.

CONEXIÓN N°7: CONEXIÓN TIPO CONECTOR

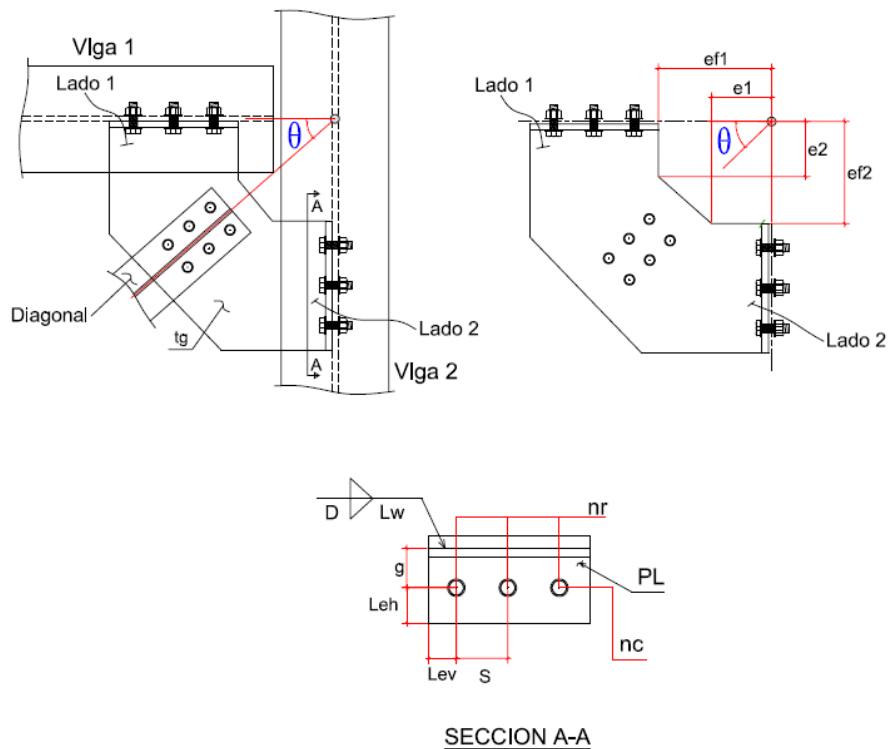


Figura 4.38: Esquema de conexión para cartela de diagonal

Fuente: Elaboración propia

La diagonal es un perfil L65x65x6mm en calidad A36.

La carga requerida para esta diagonal es el 75% de capacidad axial y se determina de acuerdo a las normas AISC, ecuación (2):

Área de la sección transversal de la diagonal: $A_d=7.548 \text{ cm}^2$

Esfuerzo de fluencia de la diagonal: $F_{yd} = 36 \text{ ksi}$

Factor de resistencia: $\Phi:=0.9$

Capacidad de diseño: $\text{capac} =75\%$

Resistencia requerida:

$R_u:= \text{capac}*\Phi*F_{yd}*A_d= 126.467 \text{ kN}$

Se considera el valor de carga a compresión numéricamente igual al valor de carga en tracción.

Se determina las fuerzas actuantes en el interior de la cartela y en la interfaz cartela con viga.

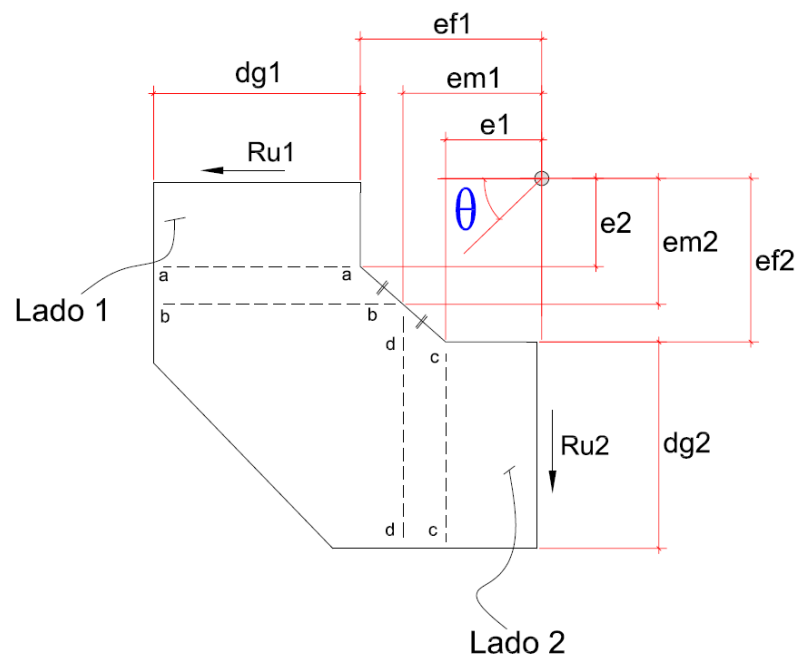


Figura 4.39: Ubicación de secciones a determinar su resistencia

Fuente: Elaboración propia

$$R_{u1} = R_u * \cos\theta = 109.524 \text{ kN}$$

$$R_{u2} = R_u * \sin\theta = 72.539 \text{ kN}$$

Cargas requeridas según ecuaciones (84), (85), (86) y (87):

En la sección a-a el momento requerido es:

$$M_u = R_{u1} * e_2 = 13.14 \text{ kN*m}$$

En la sección b-b el momento requerido es:

$$M_u = R_{u1} * e_{m2} = 19.44 \text{ kN*m}$$

En la sección c-c el momento requerido es:

$$M_u = R_{u2} * e_1 = 5.8 \text{ kN*m}$$

En la sección d-d el momento requerido es:

$$M_u = R_{u2} * e_{m1} = 8.52 \text{ kN*m}$$

Después de definir las fuerzas actuantes en la cartela y planchas de extremo, se procede a calcular los estados límites de manera muy similar a lo desarrollado para la conexión N°1. El detalle de estos cálculos se mostrará en los Anexos N°1 y N°2 de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Con el propósito de diseñar las conexiones empernadas y soldadas de la estructura estudiada a través de la metodología de cálculo LRFD, en donde se analizaron los distintos modos de falla que se presentan en cada uno de los elementos de la conexión, se observó que los resultados obtenidos tienen una relación demanda / capacidad menor a 1, lo que significa que la resistencia de diseño disponible en cada caso siempre es mayor que la resistencia requerida, concluyendo que son adecuados para el diseño realizado.

Todos los cálculos realizados en cada una de las verificaciones están basados en los principios básicos de la física y mecánica de materiales, los cuales usados conjuntamente con lo establecido en las normas AISC nos brindan la seguridad de haber obtenido un resultado satisfactorio y por consiguiente aceptable para este tipo de diseño.

Los elementos de conexión seleccionados durante el diseño, tales como planchas, pernos y soldadura, que se utilizaron para materializar el diseño de las conexiones son de disponibilidad comercial en el mercado local. Esto

Cartela tg

tg min (mm)	Bw min (mm)	Lmax1 (mm)	Lmax2 (mm)
16	330	290	550
A36			

Plancha PL1

t _{PL1} (mm)	B _{PL1} (mm)	Lw1/D1 min (mm)	sb max (mm)
16	240	230/6	10
A36		E70	

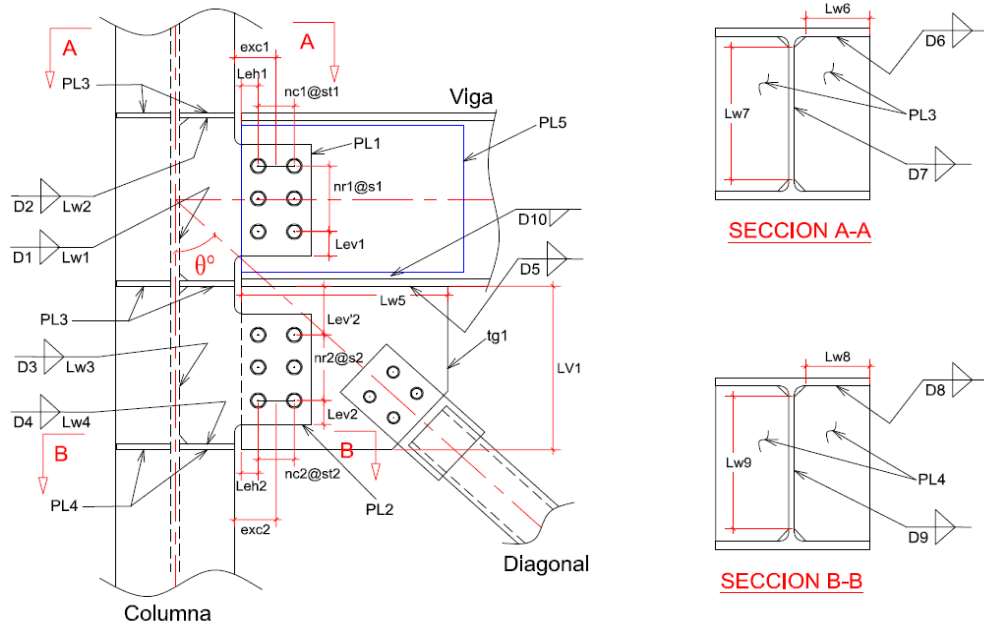
Plancha de refuerzo PL2

t _{PL2} (mm)	br min (mm)	Lwr1/Dr1 min (mm)	Lwr2/Dr2 min (mm)
6	110	120/5	110/5
A36		E70	E70

Tabla 5.2: Relaciones D/C para conexión diagonal tubo con cartela

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Interfaz Diagonal con Plancha PL1	
Unión Soldada	0.97
Fluencia por cortante en la diagonal	0.92
Fluencia por cortante en PL1	0.73
Rotura por cortante en PL1	0.61
Bloque de corte en PL1	0.48
Plancha PL1	
Grupo de pernos	0.95
Fluencia por tracción	0.94
Rotura por tracción	0.92
Bloque de corte - forma en C	0.56
Bloque de corte - forma en 2L	0.65
Bloque de corte - forma en 1L	0.70
Cartela tg	
Bloque de corte	0.56
Fluencia en la sección de Whitmore	0.68
Rotura en la sección de Whitmore	0.61
Compresión - 1 Lado conectado	0.92
Compresión - 2 Lados conectados	0.93
Diagonal	
Rotura por tracción	0.90
Refuerzo PL2	
Unión Soldada	0.57

Tabla 5.3: Conexión N°1-Resultados-Nudo



CONFIGURACIÓN GENERAL

DIAGONAL	VIGA	COLUMNA	ANGULO	sb (mm)
Tubo 150x150x5 mm	H250x150x14x6mm	H300x300x16x8 mm	45°	10
A500 GrB	A36	A36		

CONEXIÓN VIGA-COLUMNA

PL1 mm	Ø" Perno	nc1xnr1	S1 (mm)	St1 (mm)	Lev1 (mm)	Leh1 (mm)	exc1 max (mm)	Lw1/D1 (mm)	Lw2/D2 (mm)
25	1	3x2	100	80	50	50	140	148 / 8	111 / Bisel 8 + Filete 8
A36	A325								

Rigidizadores de columna

PL3 mm	Lw6/D6 (mm)	Lw7/D7 (mm)
14	126 / 8	228 / 8
A36		

Refuerzo de alma de viga

PL5 (mm)	D10 (mm)
1-PL8	6
A36	

CONEXIÓN DE DIAGONAL

tg1 (mm)	Lw5 / D5 (mm)	Lw3 / D3 (mm)	Lw4 / D4 (mm)	LV1 (mm)
16	500 / 8	360 / 8	126 / 8	480
A36				

Rigidizadores de columna

PL4 mm	Lw8/D8 (mm)	Lw9/D9 (mm)
10	126 / 6	228 / 6
A36		

PL2 (mm)	Ø" Perno	nc2xnr2	S2 (mm)	St2 (mm)	Lev'2 (mm)	Lev2 (mm)	Leh2 (mm)	exc2 max (mm)
12	1	1x5	90	0	70	50	50	60
A36	A325							

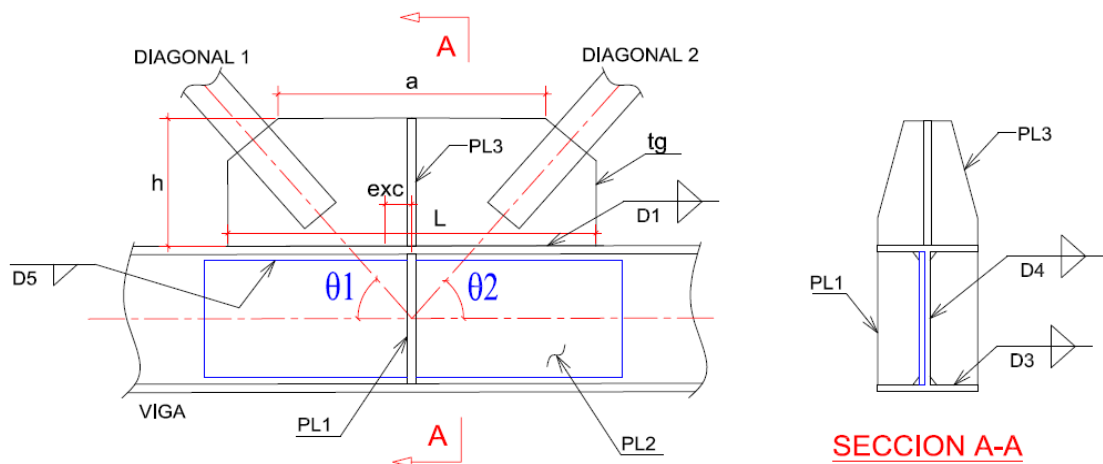
Tabla 5.4: Relaciones D/C para conexión de nudo

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Interfaz interfaz cartela tg1 con viga	
Cartela tg1	
Fluencia por axial	0.18
Rotura por axial	0.13
Fluencia por cortante	0.29
Rotura por cortante	0.24
Resistencia a flexión	0.14
Carga combinada	0.19
Soldadura	0.37
Viga	
Fluencia local de alma	0.23
Aplastamiento de alma	0.21
Interfaz cartela tg1 con columna	
Cartela tg1	
Fluencia por axial	0.13
Rotura por axial	0.14
Fluencia por cortante	0.45
Rotura por cortante	0.52
Fluencia por carga combinada	0.22
Rotura por carga combinada	0.29
Bloque de corte - por carga cortante	0.62
Bloque de corte - por carga axial- en L	0.16
Bloque de corte - por carga axial-en C	0.17
Bloque de corte - por carga combinada	0.41

Plancha PL2	
Soldadura D3	0.65
Soldadura D4	0.99
Grupo de pernos	0.90
Fluencia por cortante	0.62
Rotura por cortante	0.74
Bloque de corte - por carga cortante-en L	0.83
Bloque de corte - por carga axial-en L	0.21
Bloque de corte - por carga axial-en C	0.22
Bloque de corte - por carga combinada	0.74
Rotura por flexión	0.23
Resistencia a flexión	0.22
Fluencia por tracción	0.18
Rotura por tracción	0.20
Carga combinada	0.40
Rigidizador PL4	
Fluencia por cortante	0.62
Rotura por cortante	0.59
Soldadura D8	0.59
Soldadura D9	0.64
Interfaz viga con columna	
Viga	
Fluencia por carga axial	0.46
Rotura por axial	0.45
Bloque de corte - por carga axial-en C	0.81
Plancha PL1	
Soldadura D1	0.56
Soldadura D2	0.88
Grupo de pernos	0.99
Fluencia por cortante	0.28
Rotura por cortante	0.33
Bloque de corte - por carga cortante-en L	0.22
Bloque de corte - por carga axial-en L	0.41
Bloque de corte - por carga axial-en C	0.33
Bloque de corte - por carga combinada	0.22
Rotura por flexión	0.39
Resistencia a flexión	0.23
Fluencia por tracción	0.51
Rotura por tracción	0.53
Carga combinada	0.49

Rigidizador PL3	
Fluencia por cortante	0.72
Rotura por cortante	0.69
Soldadura D6	0.71
Soldadura D7	0.78
Máximo espesor de plancha PL1	0.43
Máximo espesor de plancha PL2	0.98

Tabla 5.5: Conexión N°2-Resultados-Chevron



DIAGONAL 1	DIAGONAL 2	VIGA	θ_1 θ_2	tg (mm)
Tubo 150x150x5 mm	Tubo 150x150x5 mm	H 250x200x14x6 mm	40°-50°	16
A500 GrB	A500 GrB	A36	40°-50°	A36

L (mm)	D1 (mm)	h min (mm)	a max (mm)	exc max (mm)
800	10	300	1000	0
	E70			

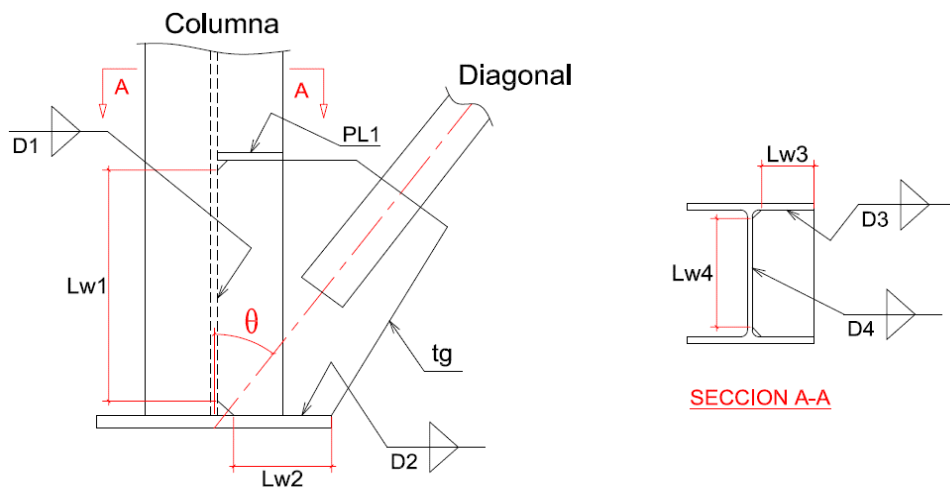
PL2 (mm)	D5 (mm)
1-PL10	6
A36	

PL1 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	PL3 (mm)
10	6	6	10
A36			A36

Tabla 5.6: Relaciones D/C para conexión chevron

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Cartela tg sección a-a	
Fluencia por tracción	0.30
Fluencia por cortante	0.65
Rotura por cortante	0.53
Resistencia a flexión	0.27
Soldadura D1	0.79
Carga combinada	0.44
Cartela tg sección b-b	
Fluencia por tracción	0.34
Fluencia por cortante	0.41
Resistencia a flexión	0.29
Carga combinada	0.32
Viga	
Fluencia por cortante horizontal en alma	0.89
Fluencia por cortante vertical en alma	0.83
Fluencia local de alma:	0.34
Aplastamiento de alma	0.17
Rigidizadores PL1	
Fluencia a tracción	0.03
Fluencia a cortante	0.02
Soldadura con el alma de viga	0.02
Soldadura con el ala de viga	0.04
Compresión	0.03

Tabla 5.7: Conexión N°3-Resultados-Diagonal llegando a placa base



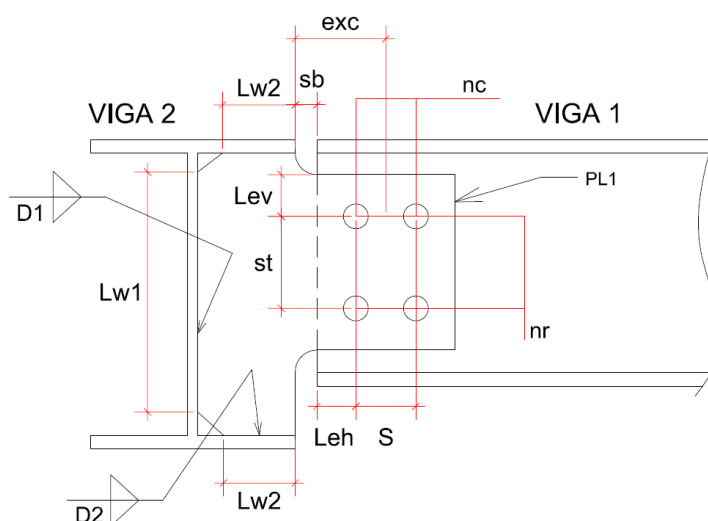
DIAGONAL	COLUMNA	ANGULO θ	tg (mm)	Lw1 / D1 mm	Lw2 / D2 mm
Tubo 150x150x5	H 300x300x16x8	41°-45°	16	480 / 8	270 / 10
A500 GrB	A36		A36	E70	E70

PL1 (mm)	Lw3 / D3 mm	Lw4 / D4 mm
PL10	126 / 6	228 / 6
A36	E70	E70

Tabla 5.8: Relaciones D/C para conexión diagonal llegando a placa base

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Interfaz cartela tg con placa base	
Fluencia por cortante en cartela tg	0.98
Rotura por cortante en cartela tg	0.81
Soldadura D2	0.81
Interfaz cartela tg con columna	
Fluencia por tracción en cartela tg	0.04
Fluencia por cortante en cartela tg	0.53
Rotura por cortante en cartela tg	0.44
Interacción a cortante y axial	0.28
Soldadura D1	0.51
Columna	
Alma de columna	0.50
Rigidizador	
Fluencia por cortante	0.16
Rotura por cortante	0.14
Soldadura D3 y D4	0.06

Tabla 5.9: Conexión N°4-Resultados-viga-viga



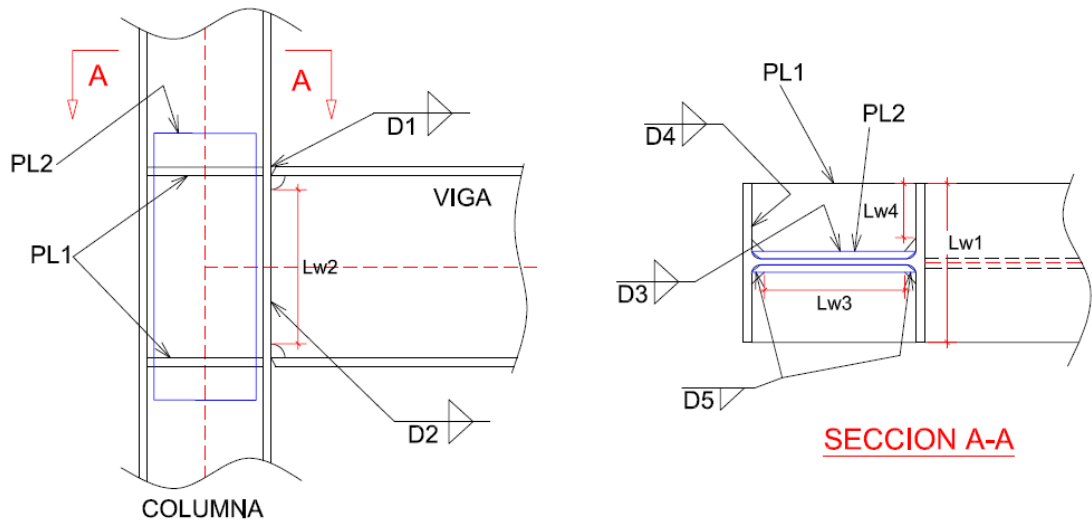
VIGA 1	VIGA 2	PL1 mm	Perno	nc	nr	sb mm
H200X150X8X6	H200X150X8X6	10	3/4	2	2	10
A36	A36	A36	A325			

st mm	s mm	Lev mm	Leh mm	e max mm	Lw1/D1	Lw2/D2
60	80	35	40	80	144 / 6	52 / 6

Tabla 5.10: Relaciones D/C para conexión viga - viga

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
-	
Grupo de Pernos	0.77
Plancha PL1:	
Fluencia por cortante:	0.54
Rotura por cortante:	0.64
Bloque de corte	0.53
Rotura por flexión	0.97
Resistencia a flexión	0.48
Soldadura D1	0.47
Soldadura D2	0.50
Interacción a flexión y cortante	0.38
Máximo espesor de plancha PL1	0.40

Tabla 5.11: Conexión N°5-Resultados-viga con columna



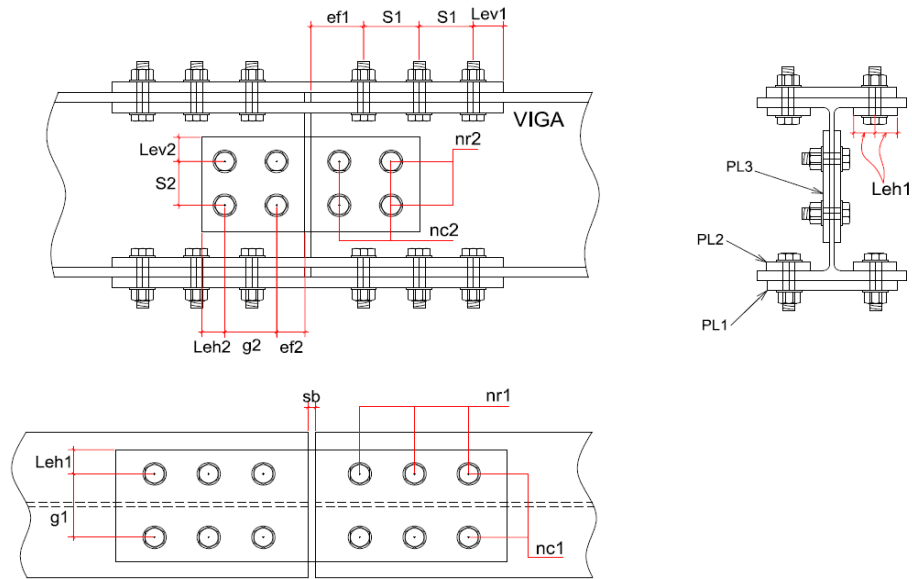
VIGA	COLUMNA	Lw1/D1 mm (mín)	Lw2/D2 mm (mín)	PL1 mm	Lw3/D3 mm (mín)	Lw4/D4 mm (mín)
H 300x200x14x6	H 250x250x12x6	200 / CJP	232 / 5	14	186 / 6	92 / CJP
A36	A36	E70	E70	A36	E70	E70

PL2 mm	D5 mm
2- PL10	9
A36	E70

Tabla 5.12: Relaciones D/C para conexión viga - columna

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
-	
Alma de Viga	
Soldadura	0.72
Ala de Viga	
Soldadura	0.85
Columna	
Fluencia local de alma	0.64
Aplastamiento de alma	0.35
Flexión del ala	0.92
Zona Panel	0.99
Rigidizadores PL1	
Fluencia a tracción	0.98
Fluencia a cortante	0.73
Soldadura con alma de columna	0.82
Soldadura con ala de columna	0.73
Compresión	0.81

Tabla 5.13: Conexión N°6-Resultados-Empalme de viga



PERFIL
H300x200x14x6 mm

CONEXIÓN EN ALA

Nro PL en ala	Ø Perno	nr1xnc1	Lev1 mm	Leh1 mm	S1 mm	g1 mm	ef1 mm	sb mm	PL1 mm	PL2 mm
2	3/4	3 x 2	40	40	80	120	80	10	12	14
	A325								A36	A36

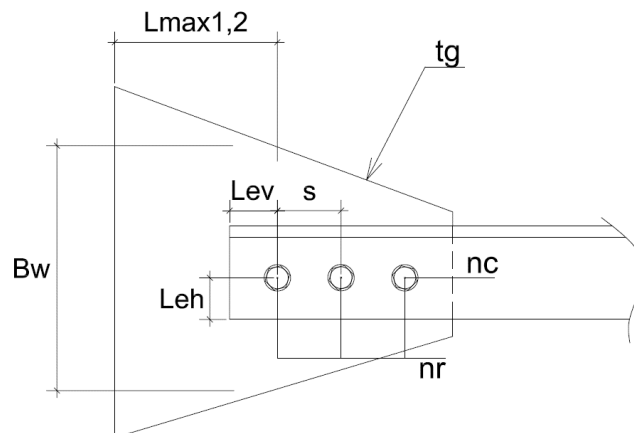
CONEXIÓN EN ALMA

Nro PL en alma	Ø Perno	nr2xnc2	Lev2 mm	Leh2 mm	S2 mm	g2 mm	ef2 mm	PL3 mm
2	3/4	3 x 2	40	40	80	80	40	8
	A325							A36

Tabla 5.14: Relaciones D/C para conexión empalme de viga

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Grupo de pernos en ala	0.75
Plancha externa PL1	
Fluencia por tracción	0.66
Rotura por tracción	0.64
Bloque de corte - forma en C	0.40
Bloque de corte - forma en 2L	0.48
Bloque de corte - forma en 1L	0.49
Compresión	0.80
Plancha interna PL2	
Fluencia por tracción	0.71
Rotura por tracción	0.73
Compresión	0.80
Plancha PL3	
Grupo de pernos en alma	0.88
Fluencia por cortante	0.42
Rotura por cortante	0.48
Bloque de corte	0.43
Rotura por flexión	0.13
Resistencia a flexión	0.21
Interacción a flexión y cortante	0.20
Ala de Viga	
Bloque de corte	0.72
Máximo espesor de plancha PL3	0.38

Tabla 5.15: Conexión N°7-Resultados-diagonal L con cartela



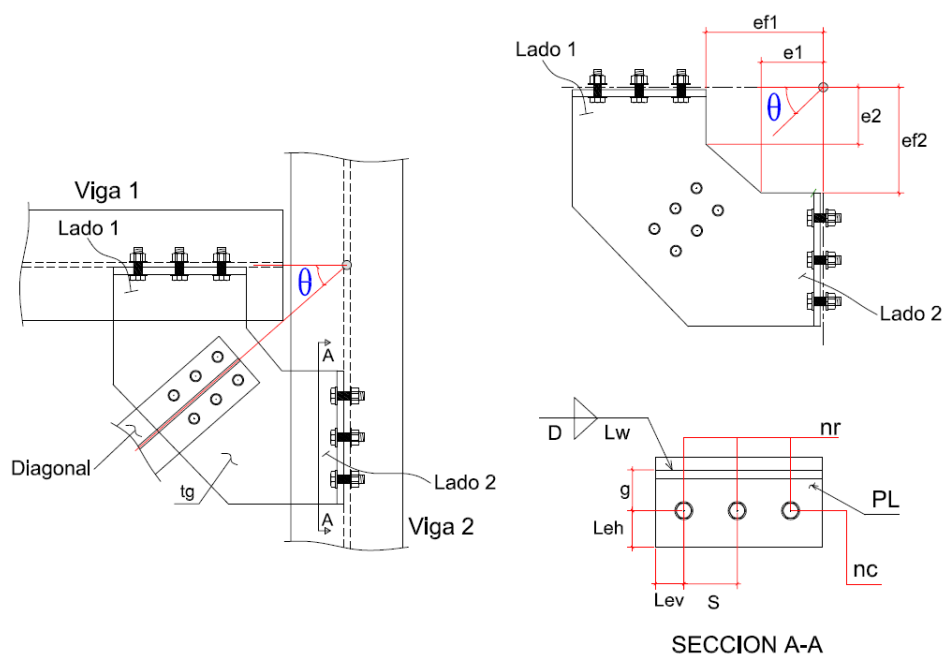
Perfil	Ø Perno	nc	nr	S mín (mm)	Lev mín (mm)	Leh mín (mm)
L65X65X6	3/4	1	3	70	35	30
A36	A325					

tg (mm)	Bw mín (mm)	L1 máx (mm)	L2 máx (mm)
8	140	210	350
A36			

Tabla 5.16: Relaciones D/C para conexión diagonal L con cartela

RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Interfaz Diagonal con Cartela tg:	
Grupo de pernos:	0.63
Diagonal	
Rotura por tracción:	0.78
Bloque de corte	0.84
Cartela tg	
Fluencia por tracción en la sección de Whitmore:	0.51
Rotura por tracción en la sección de Whitmore:	0.45
Compresión - Con 1 Lado conectado:	0.95
Compresión - Con 2 Lados conectados:	0.84

Tabla 5.17: Conexión N°7-Resultados-Conector



DIAGONAL	θ	VIGA 1	VIGA 2	tg mm
L65x65x6	30°-35°	H 200x150x8x6	H 200x150x8x6	8
		A36	A36	A36

	PL mm	Ø Perno	nr	nc	S mm	g mm	Leh mm	Lev mm	Filete D-(mm)	Lw mm
Lado 1	8	3/4	1	3	70	45	35	35	6	210
Lado 2	8	3/4	1	2	70	45	35	35	6	140
	A36	A325							E70	

e1 mm	ef1 mm	e2 mm	ef2 mm
80	155	120	235

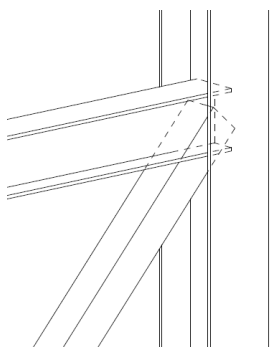
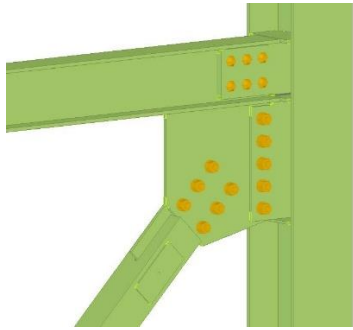
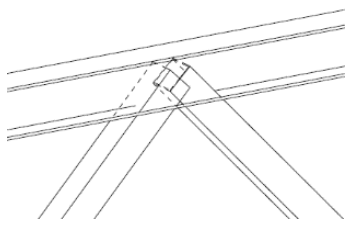
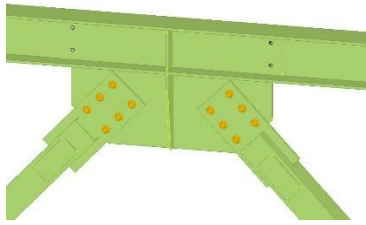
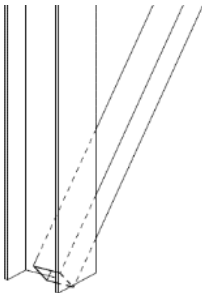
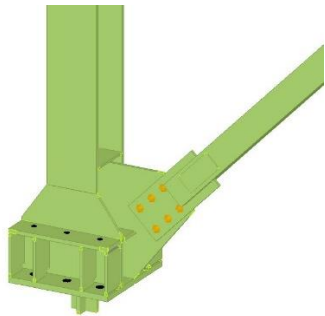
Tabla 5.18: Relaciones D/C para conexión tipo conector

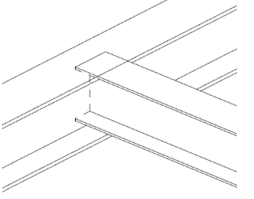
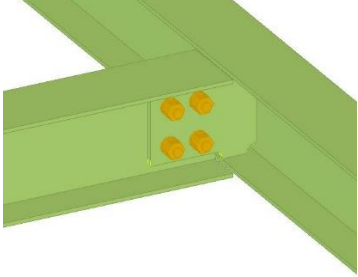
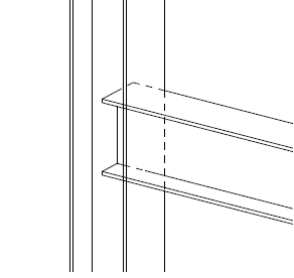
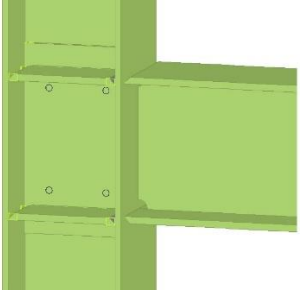
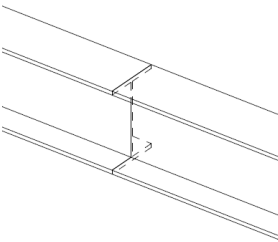
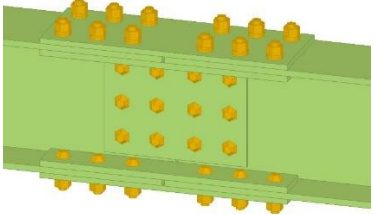
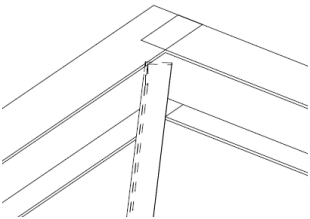
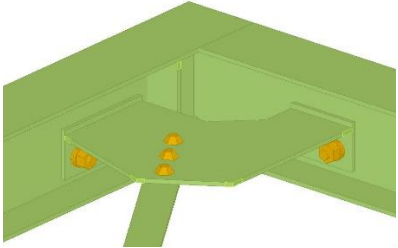
RELACIONES DEMANDA / CAPACIDAD	
Lado 1	
Grupo de Pernos	0.73
Plancha PL1	
Fluencia por cortante	0.44
Rotura por cortante	0.53
Bloque de corte	0.51
Lado 2	
Grupo de Pernos	0.93
Plancha PL2	
Fluencia por cortante	0.44
Rotura por cortante	0.53
Bloque de corte	0.48
Interfaz cartela tg con plancha PL1	
Soldadura D1	0.36
Fluencia por cortante	0.44
Interfaz cartela tg con plancha PL2	
Soldadura D2	0.36
Fluencia por cortante	0.44
Cartela tg - Lado 1	
Flexión- tracción en diagonal	0.67
Flexión- compresión en diagonal	0.99
Interacción a flexión y cortante	0.57

Cartela tg - Lado 2	
Flexión- tracción en diagonal	0.66
Flexión- compresión en diagonal	0.97
Interacción a flexión y cortante	0.55

Al final del proceso de cálculo, los resultados obtenidos se trasladaron a una maqueta 3D donde las conexiones diseñadas se representaron en verdadera magnitud, los cuales sirvieron posteriormente para elaborar los planos de fabricación para el taller según lo mostrado en el Anexo N°4. Las conexiones diseñadas quedaron finalmente según lo mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 5.19: Resultados de conexiones diseñadas

Conexión	Estado Inicial (Sin diseñar)	Estado Final (Diseñado)
N°1: Nudo (diagonal llegando a intersección viga-columna)		
N°2: Chevron (diagonales llegando a mitad de vano de viga)		
N°3: Diagonal llegando a placa base		

N°4: Viga-viga		
N°5: Viga-columna		
N°6: Empalme de viga		
N°7: Diagonal llegando a intersección viga-viga (conector)		

5.2 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos de carga establecidos para cada conexión. Evidentemente, se pueden modificar algunos parámetros de la conexión, tales como espesor de planchas o tamaño de pernos y observar los nuevos resultados que se tiene. Ante un incremento de espesor de planchas se podrá observar que la conexión sigue cumpliendo con las cargas requeridas, por lo que este incremento de espesor

no es necesario y por el contrario contribuye a incrementar innecesariamente el peso de las conexiones y por ende el costo total de fabricación de la estructura. Una disminución de espesor de plancha o de tamaño de pernos resultará en que son insuficientes para soportar la carga solicitada y por lo tanto no son adecuados para la conexión.

Los cuadros de relación demanda capacidad son muy útiles para observar si los factores obtenidos son muy conservadores, en ese caso nos permitirá revisar puntualmente aquellas verificaciones que sospechamos pueden quedar más exigidas. Esto nos conducirá a obtener una adecuada optimización de las conexiones diseñadas.

5.3 APORTES Y APLICACIONES

Con el presente estudio de investigación se busca aportar a la industria metal mecánica con memorias de cálculo de conexiones para los casos estudiados, donde se aplicaron formulaciones y recomendaciones estipuladas en la norma AISC. Todo esto pueden ser de gran utilidad para futuros proyectos donde es requerido las mismas formas o tipología de conexiones.

Los cálculos se desarrollaron en hojas de cálculo de Mathcad, esto permitió automatizar los procedimientos y obtener resultados en un menor tiempo; lo cual contribuye a optimizar el tiempo de todo el proceso de detallamiento en el cual está involucrado el diseño de las conexiones.

CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar las conexiones empernadas y soldadas en base a la metodología LRFD del AISC, cuya normativa es reconocida y aceptada para este sector industrial. De esta manera, se verifica que los diseños son capaces de resistir las cargas requeridas por el diseñador estructural.
2. La aplicación del procedimiento de cálculo planteado en el diagrama de flujo mostrado en el capítulo IV permitió evaluar paso a paso cada una de las resistencias de diseño disponibles frente a una resistencia requerida en cada uno de los elementos o interfaz de conexión. Asegurando de esta manera que se realicen todas las verificaciones de resistencia correspondientes.
3. El cálculo de conexiones involucró varias verificaciones de resistencia para distintas formas de falla según la presencia de fuerzas actuantes en los elementos conectantes. No necesariamente se aplicaron todas las verificaciones para cada conexión, estos fueron seleccionados con criterio propio basados en los principios de la física y mecánica de materiales.
4. A fin de asegurar que la conexión es capaz de resistir las cargas requeridas en la condición más exigente, estas cargas deben estar orientadas en la dirección que generen mayores esfuerzos en los elementos conectantes; logrando de esta manera dimensionarlos adecuadamente.
5. El diseño de una determinada conexión no significa conseguir un resultado único, en realidad se puede obtener un conjunto de resultados válidos que pueden satisfacer las cargas requeridas. Por tanto, corresponde a quien calculó la conexión decidir si aplica un resultado u otro en base a ciertos criterios tales como que tan conservador se desea ser con el resultado a usar, que tanta optimización en el material requerido se desea conseguir, y otras razones propias del proyecto desarrollado.

RECOMENDACIONES

1. En la práctica diaria de proyectos de estructuras metálicas es muy común tener casos donde no se cuenta con la totalidad de requerimientos estructurales que debe proveer el diseñador, por lo que esta información faltante no debe ser supuesta para el desarrollo de los cálculos, en su lugar se recomienda solicitar esta información pendiente a través de consultas técnicas o cualquier otro medio de comunicación. De esta manera se asegurará que las conexiones calculadas sean las necesitadas para cumplir el comportamiento estructural concebido en etapa de diseño.
2. Se recomienda realizar siempre la descomposición vectorial de fuerzas actuantes a través de un diagrama de cuerpo libre, esto ayudará a definir correctamente las fuerzas resultantes en las ubicaciones donde se desea evaluar los distintos modos de falla.
3. Durante el desarrollo de la conexión se recomienda considerar las limitaciones de espacios disponibles para la materialización de todos los elementos conformantes de la conexión. Esto evitará problemas tales como interferencias con otros elementos estructurales o con otras conexiones, falta de acceso para instalación o ajuste de pernos, falta de acceso para desarrollar un adecuado proceso de soldeo, etc.
4. El diseño de una conexión puede resolverse comúnmente mediante más de una forma o tipología de conexión, por lo que se recomienda evaluar la tipología más conveniente dependiendo de las características del proyecto y de las limitaciones del taller de fabricación, los cuales pueden involucrar: facilidad de fabricación, optimización del proceso de montaje, disponibilidad de materiales necesarios, interferencias entre elementos de conexiones muy cercanas entre sí, dimensiones de transporte, etc.
5. Se recomienda automatizar el proceso de diseño en una hoja de cálculo electrónica, de esta manera se realizarán más rápidamente futuros diseños para estructuras de otros proyectos similares.

BIBLIOGRAFÍA

- AISC (1999). *Design Guide 13 - Stiffening Of Wide-Flange Column At Moment Connections*, American Institute of Steel Construction. Estados Unidos.
- AISC (2002). *Design Guide 17 - High Strength Bolts*, American Institute of Steel Construction. Estados Unidos.
- AISC (2010). *Steel Construction Manual*. (14° Ed.), American Institute of Steel Construction. Estados Unidos.
- AISC (2014). *Design Guide 29 - Vertical Bracing Connections-Analysis and Design*, American Institute of Steel Construction. Estados Unidos.
- AISC (2017). *Design Guide 21 - Welded Connections, A Primer for Engineers*. (2° Ed.), American Institute of Steel Construction. Estados Unidos.
- Budynas, R. G. & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (9° ed.). México: McGraw Hill.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima Perú.
- Cerdeira, F. M. (1999). *Conexiones en Acero*. Tesis de titulación de Ingeniero Civil. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. México.
- Dowswell, B. (2015). *Plastic strength of connection elements*. Estados Unidos.
- Dowswell, B. (2017). *Design of wrap around gusset plates*. Estados Unidos.
- Espinoza, C. (2014). *Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas* (2° ed.). Huancayo, Perú: Soluciones Gráficas S.A.C.
- Green, P., Sposito, T. & Veltri, P. (s.f.) *Connections Teaching Toolkit*. Estados Unidos.
- Guzmán, O. (2006). *Diseño de conexiones con AISC-LRFD-1999*. Tesis de titulación de Ingeniero Civil. Instituto Politécnico Nacional, México D.F.

- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. (6° ed.) México: McGraw Hill Education.
- Ibáñez, J. O. (2019). *Procedimiento de diseño de conexiones estructurales aplicado a edificios industriales y mineros de acero*. Tesis de titulación de ingeniero civil. Universidad de Chile.
- Lara, G. E. (2014). *Diseño sismorresistente de Conexiones Empernadas de Acero en Edificios*. Tesis de titulación de Ingeniero Civil. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.
- McCorman, J. & Stephen, F. (2013). *Diseño de estructuras de acero*. (5° ed.) Mexico: Alfaomega.
- Ramírez, A. (2010). *Metodología de la investigación científica*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- RCSC (2014). *Specification for Structural joints using High Strength Bolts*, Research Council on Structural Connections. Estados Unidos.
- Segui, W. (2000). *Diseño de Estructuras de Acero con LRFD*. (2° Ed.) Mexico: Thomson.
- Thornton, W. A. (2011). *The Withmore section*. Estados Unidos.
- Zapata, L. (1997). *Diseño Estructural en Acero*. Lima, Perú.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Autor: Marco Antonio Juan de Dios Bustamante

Título: Diseño de Conexiones Empernadas y Soldadas en la Estructura Metálica de la Planta de Peróxido de Hidrogeno Solvay Coronel en Esmetal SAC.

Planteamiento del Problema	Marco Teórico	Metodología
Formulación del Problema	Antecedentes	Método
¿Cómo diseñar las conexiones empernadas y soldadas en la estructura metálica de la planta de peróxido de hidrogeno Solvay en la empresa Esmetal SAC para soportar las cargas solicitadas?	Jaime Omar Ibáñez Estolaza (2019) en la tesis "Procedimiento de diseño de conexiones estructurales aplicado a edificios industriales y mineros de acero"	Método deductivo
	Gonzalo Eduardo Lara Salazar (2014) en la tesis "Diseño sismorresistente de Conexiones Empernadas de Acero en Edificios"	Tipo
	Oscar Guzmán Salinas (2006) en la tesis "Diseño de conexiones con AISC-LRFD-1999"	Tipo de investigación es tecnológica
	Francisco Manuel Cerdeira Castiñeiras (1999) en la tesis "Conexiones en Acero".	Nivel
		Nivel de investigación es descriptivo
Objetivo General	Bases Teóricas	Variable de Estudio
Diseñar las uniones empernadas y soldadas para los elementos de la estructura metálica del Área de Hidrogenación de la Planta de Peróxido de Hidrogeno Solvay Coronel para soportar las cargas solicitadas	Resistencia de pernos y soldadura	Diseño de conexiones empernadas y soldadas en la estructura metálica de la Planta de Peróxido de Hidrogeno Solvay Coronel.
	Resistencia a tracción y compresión	
	Resistencia a flexión y cortante	
	Resistencia a cargas combinadas	
	Resistencia de alas y almas a fuerzas concentradas	
Hipótesis	Definición Conceptual	Unidad de Observación
La presente investigación no tiene hipótesis porque es una investigación descriptiva.	Procesos de cálculo a través del cual se determinan todos los elementos conformantes de la conexión.	La unidad de observación está constituida por la estructura de acero perteneciente al Área de Hidrogenación de la Planta de Peróxido de Hidrogeno Solvay Coronel.
		Técnicas de recolección de datos
		Técnica Documental: con la recopilación de información de libros, manuales, normas internacionales, publicaciones de estudios de investigación. (Espinoza Montes 2014). Se recopiló toda la información vigente referente a las normas documentadas tales como AWS, AISC, ASTM, de igual manera informes de estudios de investigación aceptados por las normas internacionales.