



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS UNIONES SOLDADAS Y
APERNADAS PARA LA EDIFICACION “LA FABRIL” EN EL CANTÓN
MANTA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil

AUTORES: Allison Celeste Díaz Torres

Milton Kevin Espinoza Rodas

TUTOR: Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra. Msc.

Guayaquil-Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Allison Celeste Díaz Torres con documento de identificación N° 1755274840 y Milton Kevin Espinoza Rodas con documento de identificación N° 0605686278; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de enero del año 2025

Atentamente,



Allison Celeste Díaz Torres
1755274840



Milton Kevin Espinoza Rodas
0605686278

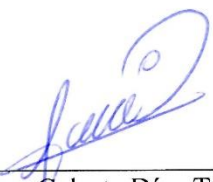
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

Nosotros, Allison Celeste Díaz Torres con documento de identificación No. 1755274840 y Milton Kevin Espinoza Rodas con documento de identificación No. 0605686278, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis comparativo entre las uniones soldadas y apernadas para la edificación “La Fabril” en el cantón Manta”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de enero del año 2025

Atentamente,



Allison Celeste Díaz Torres
1755274840



Milton Kevin Espinoza Rodas
0605686278

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS UNIONES SOLDADAS Y APERNADAS PARA LA EDIFICACION “LA FABRIL” EN EL CANTÓN MANTA”, realizado por Allison Celeste Díaz Torres con documento de identificación N° 1755274840 y por Milton Kevin Espinoza Rodas con documento de identificación N° 0605686278, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de enero del año 2025

Atentamente,

Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSc
C.I 1205363326

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto en memoria de mis queridos abuelos Lucila Andrade y Alejandro Torres, quienes con sus enseñanzas, amor y ejemplo dejaron en mí una marca imborrable. Siempre vivirán en mi corazón y en cada meta que alcance. A mis padres, Adolfo Hitler Díaz Cabrera y Jessica Cristina Torres Andrade, que con su apoyo incondicional y sus consejos me han guiado durante toda mi vida. A mis hermanos, Bruno Díaz y Eduardo Díaz que siempre creyeron en mí y me apoyaron cuando lo necesité.

Finalmente, a mi fiel compañero de desvelos Chester, que con su compañía silenciosa me brindó alegría en momentos difíciles a lo largo de este trayecto. Gracias por estar siempre a mi lado, recordándome que, aunque sean noches demasiado largas, una simple mirada me aliviaba hasta el cansancio.

Allison Celeste Diaz Torres

DEDICATORIA

Todo inicia con un sueño, el sueño es ser cada vez mejor, dedico este trabajo a las estrellas que me iluminan desde el cielo cada instante de mi vida, a mis abuelitos: Augusto Zenón, Carmen Amelia, Pedro Alfonso, Olga Zoila; y a mi hermano, Jhonn Alejandro, no sería nadie sin sus bendiciones. A mis Padres, Milton y Cumandá, que sin su valioso apoyo e incondicional cariño, no lo hubiese logrado.

Este trabajo también va dedicado a una persona que tiene un gran corazón y admiro desde niño, mi tío Jaime Genaro Espinoza Paredes.

Milton Kevin Espinoza Rodas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza suficiente de poder culminar otra etapa de mi vida. A la Universidad Politécnica Salesiana por proporcionarme herramientas y conocimientos que ayudaron en mi formación. A mi tutor, el Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra por su paciencia y guía realizados durante el desarrollo de este proyecto. Al Ing. Leonardo Javier Echeverría Fabre, DBA. Por todas sus enseñanzas e inspiración que transmite con su larga experiencia como docente. Finalmente, a mi familia por su amor incondicional y por ser mi mayor fuente de inspiración.

Allison Celeste Diaz Torres

AGRADECIMIENTO

Una persona jamás se sentirá sola cuando tiene un pilar fundamental en su vida, es por ello que hago extenso mi agradecimiento a mi familia, principalmente a mis padres Milton Ruperto Espinoza Paredes y Zoila Cumandá Rodas Paredes, a mis hermanos: Cristian Mauricio, Henry Zenón, y Edwin Fabricio. Gracias por jamás dejarme solo, su apoyo a sido muy fundamental para este caminar en mi vida universitaria.

A mis tíos Lilia Carlota Espinoza Paredes y Eduardo Bolívar Bravo Rodas, gracias por todas sus enseñanzas y abrirme las puertas de su hogar para ser parte de su hermosa familia, no cabe duda de que sin su ayuda no hubiese logrado este sueño de ser un profesional.

Agradezco a una amiga muy importante quien me apoyo y me abrió las puertas de su casa desde el primer momento que llegue a Guayaquil, Noeli Gaibor.

Al Ing. Leonardo Javier Echeverría Fabre, DBA. Por todas sus enseñanzas e inspiración que transmite con su larga experiencia como docente. A mi tutor, el Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra por la acogida desde el primer instante que entre en la universidad, por su paciencia y guía realizados durante el desarrollo de este proyecto.

Milton Kevin Espinoza Rodas

RESUMEN

En este proyecto se desarrollan y analizan dos tipos de conexiones precalificadas, 4ES y 8ES, descritas en el capítulo 6 del AISC 358-2022, como primera alternativa. Adicionalmente, se diseña la conexión soldada WUF-W, conforme al capítulo 8 del mismo estándar, como segunda alternativa.

El trabajo comienza con un análisis teórico de cada tipo de conexión, detallando paso a paso el procedimiento matemático requerido para calcular los parámetros esenciales. En relación con los aspectos de soldadura entre los elementos de conexión, se incorporan referencias técnicas y recomendaciones de los estándares AISC 358-2022 y AWS D1.

La metodología práctica, presentada en el tercer capítulo, incluye el modelado de la estructura en un software de cálculo, seguido de la verificación de la resistencia y rigidez de vigas y columnas en todos los pórticos conectados a momento. Posteriormente, se enfocan los cálculos específicos para las dos alternativas de diseño de conexiones.

Se especifican las características de las vigas a conectar, considerando las dimensiones de sus secciones transversales, como altura y ancho. Los cálculos se realizan siguiendo los procedimientos y verificaciones establecidos en el AISC 360-22.

Como resultado final, se presentan los diseños detallados de las conexiones, incluyendo todos los parámetros, cotas y especificaciones necesarias para su correcta implementación en ambas alternativas.

Palabras clave: Soldadura, conexiones precalificadas, diseño estructural, pernos, AISC 358-2022

ABSTRACT

In this project, two types of prequalified connections, 4ES and 8ES, described in chapter 6 of AISC 358-2022, are developed and analyzed as the first alternative. Additionally, the welded connection WUF-W is designed, according to chapter 8 of the same standard, as the second alternative.

The work begins with a theoretical analysis of each type of connection, detailing step by step the mathematical procedure required to calculate the essential parameters. In relation to the welding aspects between the connection elements, technical references and recommendations from the AISC 358-2022 and AWS D1 standards are incorporated.

The practical methodology, presented in the third chapter, includes the modeling of the structure in a calculation software, followed by the verification of the strength and stiffness of beams and columns in all moment-connected frames. Subsequently, the specific calculations for the two connection design alternatives are focused on.

The characteristics of the beams to be connected are specified, considering the dimensions of their cross sections, such as height and width. Calculations are performed following the procedures and verifications established in AISC 360-22.

As a final result, detailed designs of the connections are presented, including all parameters, dimensions and specifications necessary for their correct implementation in both alternatives.

Keywords: Welding, prequalified connections, structural design, bolts, AISC 358-2022

Índice

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	20
CAPITULO I GENERALIDADES	21
1.1. PROBLEMA DE ESTUDIO	21
1.2. ANTECEDENTES	22
1.3. ALCANCE	24
1.4. LIMITACIONES Y DELIMITACIONES.....	24
1.4.1. Limitaciones.....	24
1.4.2. Delimitaciones	25
1.5. OBJETIVOS	25
1.5.1. Objetivos Específicos	25
1.6. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	26

1.7.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	27
1.8.	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	28
CAPITULO II MARCO TEÓRICO		29
2.1.	MARCO TEÓRICO	29
2.1.1	Generalidades de Estructuras metálica	29
2.1.1.1	Etapas de fabricación de las uniones metálicas:.....	29
2.1.1.2	Tipos de uniones.....	30
2.1.2	Uniones Soldadas	46
2.1.2.1	Ventajas	54
2.1.2.2	Desventajas.....	54
2.1.2.3	Tipos de Uniones Metálicas	54
		54
2.1.2.4	Resistencia y comportamiento estructural	55
2.1.2.5	Costo y eficiencia económica.....	56
2.1.2.6	Facilidad de inspección y mantenimiento	56
2.1.3	Uniones apernadas:.....	56
2.1.3.1	Ventajas	57
2.1.3.2	Desventajas.....	57
2.1.3.3	Resistencia y comportamiento estructural	57
2.1.3.4	Costo y eficiencia económica.....	57
2.1.3.5	Facilidad de inspección y mantenimiento	58
2.1.4	Comparación de la eficiencia estructural	58
2.1.5	Normativas y estándares de diseño.....	58
2.1.6	Comparativa entre uniones soldadas y apernadas	59
2.1.6.1	Eficiencia estructural.....	59

2.1.6.2	Costos	59
2.1.6.3	Mantenimiento e inspección	59
2.1.6.4	Durabilidad y corrosión.....	60
2.1.7	Diseño Estructural y Normativas de Construcción.....	61
2.2.	<i>Marco Conceptual</i>	61
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		71
3.1	<i>TIPO DE INVESTIGACIÓN</i>	71
3.2	<i>ENFOQUE</i>	72
3.3	<i>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</i>	73
3.4	<i>METODOLOGÍA</i>	73
3.4.1	Ubicación de la estructura	74
3.4.2	Descripción de la estructura en análisis	75
3.4.3	Modelado de la estructura	78
3.4.4	Material Acero de los elementos estructurales.....	81
3.4.5	Análisis y diseño breve de los elementos estructurales.	82
2.1.1	Diseño de uniones precalificadas soldada apernada.....	86
2.1.2	Diseño de uniones precalificadas soldada	124
CÁLCULO DE UNIÓN PRECALIFICADA WUF-W		124
3.5	<i>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</i>	153
CONCLUSIONES		156
RECOMENDACIONES		158
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		159

BIBLIOGRAFÍA	159
ANEXOS DE CALCULOS	162
ANEXO A: CODIGO DE CALCULO DE UNIÓN PRECALIFICADA	162
ANEXO B: CODIGO DE CALCULO DE UNIÓN PRECALIFICADA WUF-W	180

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de las Variables.....	27
Tabla 2 Matriz de consistencia.....	28
Tabla 3 Tipos de Uniones.....	30
Tabla 4: Valores máximos y mínimos permitidos para cada configuración	34
Tabla 5: Especificaciones de pernos AISC-360-22.....	40
Tabla 6: Diámetros nominales de pernos AISC -360 -22	41
Tabla 7: Unión sin rigidizador y cuatro pernos.....	42
Tabla 8: Unión con rigidizador y 8 pernos.....	43
Tabla 9: Unión con rigidizador y 16 pernos.....	44

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Apernadas</i>	30
Figura 2 <i>Soldada</i>	30
Figura 3 : <i>Tipos de Uniones soldadas</i>	54

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Configuraciones de unión END PLATE	32
Ilustración 2: parámetros de unión en planta	32
Ilustración 3: Parámetros de unión en elevación.....	33
Ilustración 4: Valores mínimos para configuración 2	35
Ilustración 5: Valores máximos para configuración 2	36
Ilustración 6: Rigidizador.....	38
Ilustración 7: Unión WUF-W Soldada.....	47
Ilustración 8: Detalles de soldadura alma de viga a columna	49
Ilustración 9: Limitaciones de parámetros WUF-W	50
Ilustración 10: Lectura de soldadura	53
Ilustración 11: Ubicación edificación “La Fabril”	74
Ilustración 12: Sótano, Edificación “La Fabril”	75
Ilustración 13: Planta baja arquitectónica - Edificación “La Fabril”	76
Ilustración 14: Losa de entrepiso Edificación “La Fabril”	77
Ilustración 15: Elevación - Edificación “La Fabril”	78
Ilustración 16: Modelo tridimensional de la estructura Edificación “La Fabril”	79
Ilustración 17: Modelo tridimensional de la estructura - Edificación “La Fabril”	79
Ilustración 18: Planta baja - Edificación “La Fabril”	80
Ilustración 19: Planta alta 1- Edificación “La Fabril”	81
Ilustración 20: Material Acero GR50 - Edificación “La Fabril”	82
Ilustración 21: Cortantes $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$ Eje B - Edificación “La Fabril”	83
Ilustración 22: Cortantes $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$ Eje 3 - Edificación “La Fabril”	84

Ilustración 23: Cortantes 1.2*D + 1.6*L Eje 4 - Edificación “La Fabril”	85
Ilustración 24: Verificación del diseño de los elementos metálicos - Edificación “La Fabril”	86
Ilustración 25: Planta baja - Edificación “La Fabril”	87
Ilustración 26: Planta alta 1 Edificación “La Fabril”	88
Ilustración 27: Planta terraza - Edificación “La Fabril”	89
Ilustración 28: Eje 1 Edificación “La Fabril”	90
Ilustración 29: Eje 2 Edificación “La Fabril”	90
Ilustración 30: Eje 3 Edificación “La Fabril”	91
Ilustración 31: Eje 4 Edificación “La Fabril”	91
Ilustración 32: Eje A Edificación “La Fabril”	92
Ilustración 33: Eje B Edificación “La Fabril”	92
Ilustración 34: Eje C Edificación “La Fabril”	93
Ilustración 35: Eje D Edificación “La Fabril”	93
Ilustración 36: Rigidizador de unión.....	101
Ilustración 37: Rigidizador de unión	108
Ilustración 38: Rigidizador de unión.....	115
Ilustración 39: Rigidizador de unión.....	123
Ilustración 40: Unión general WUF-W	148
Ilustración 41: Indicaciones por cada ítem.....	148
Ilustración 42: Detalles de soldadura Patín de vigas.....	149
Ilustración 43: Agujero patín superior.....	150
Ilustración 44: Agujero patín inferior.....	151

Ilustración 45: Nomenclatura	151
Ilustración 46: Placas de corte unión WUF-W	152

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se plantea el diseño y análisis de dos tipos de uniones metálicas precalificadas, conforme a lo establecido en el **AISC 358-2022**. Inicialmente, se presenta la descripción de la estructura, incluyendo planos de plantas y elevaciones, seguida por el modelado en un software de análisis estructural y el diseño de los elementos estructurales que conforman la estructura. Tras verificar el diseño en términos de resistencia y rigidez, se procede al cálculo de las uniones metálicas. En primer lugar, se identifican los tipos de vigas existentes, considerando que todos los pórticos están conectados a momento. Se desarrolla el diseño de las uniones precalificadas **4ES** y **8ES**, descritas en el capítulo 6 del **AISC 358-2022**, como primera alternativa. Posteriormente, se diseña la unión soldada **WUF-W**, según el capítulo 8 del mismo estándar, como segunda alternativa. El documento incluye planos de plantas y elevaciones con los ejes estructurales, donde se indican los tipos de vigas y las uniones correspondientes. De esta manera, se establecen criterios, recomendaciones y comentarios sobre los contextos en los que sería más adecuado aplicar cada tipo de unión, considerando factores como ubicación, clima, tiempo de ejecución, entre otros.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. PROBLEMA DE ESTUDIO

La soldadura y el apernado representan dos enfoques distintos para unir componentes estructurales, cada uno con sus propias ventajas y desventajas que afectan la eficiencia global de la estructura (Picazo Iranzo, 2019). Para empezar, la cuestión de la eficiencia estructural es fundamental, mientras que la soldadura ofrece una unión continua que puede proporcionar una mayor resistencia a la tracción y compresión, las uniones apernadas, al involucrar elementos de unión adicionales, podrían tener limitaciones en cuanto a la transferencia de cargas y el riesgo de aflojamiento.

Esto plantea la necesidad de evaluar cómo cada método impacta la capacidad de carga y la integridad estructural en diferentes condiciones de trabajo, también, el análisis debe considerar los costos asociados a cada técnica, que incluyen no solo los materiales, sino también la mano de obra especializada y el equipo necesario.

La soldadura, aunque potencialmente más cara debido a la necesidad de personal capacitado y equipo avanzado podría ofrecer ventajas en términos de diseño y estética al eliminar elementos visibles (Serbusa, 2024).

Para Carlos (2021), al contrario de las uniones de soldadura, las apernadas a pesar de sus costos adicionales por pernos y tuercas, podrían ser más económicas en términos de instalación y mantenimiento, la facilidad de inspección y mantenimiento también es un aspecto crucial de la problemática, las uniones apernadas suelen permitir una inspección visual más sencilla y una reparación más directa, mientras que las soldaduras pueden requerir técnicas de

prueba más sofisticadas para garantizar su integridad, lo que podría afectar el ciclo de vida de la estructura y los costos asociados.

De la misma forma, la durabilidad y el impacto ambiental de cada método deben ser considerados, la soldadura puede generar emisiones y residuos, mientras que los pernos y tuercas pueden estar sujetos a corrosión si no se protegen adecuadamente (Cruz, 2021). la conformidad con normativas y estándares de construcción es esencial para asegurar la seguridad estructural.

La investigación busca ofrecer una evaluación exhaustiva de estos aspectos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en el diseño y construcción de estructuras al elegir el método de unión más adecuado para cada aplicación específica.

1.2.ANTECEDENTES

La soldadura ha sido utilizada desde principios del siglo XX para unir materiales en estructuras metálicas, especialmente en puentes y edificios, con los avances en los procesos de soldadura por arco, MIG, TIG y por resistencia, se ha logrado mayor precisión y control, lo que ha mejorado su eficiencia estructural, permitiendo que la soldadura se convierta en un método indispensable para proyectos que requieren resistencia y estética.

La soldadura es una técnica consolidada en ingeniería estructural debido a su capacidad para proporcionar una unión continua y eficiente, especialmente en situaciones de tracción y compresión (Instituto Politecnico Superior , 2019).

Por otro lado, las uniones apernadas tienen una historia más antigua, utilizada ampliamente en la ingeniería civil y mecánica, Según Iac (2021) “Durante el siglo XIX y principios del XX, este método se utilizó extensamente en la construcción de estructuras metálicas como puentes de

acero y edificios de gran altura”, a pesar de que la soldadura ha ganado terreno, las uniones apernadas siguen siendo preferidas en ciertos contextos, debido a la facilidad de ensamblaje, desensamblaje y reparación.

Estas uniones permiten unir elementos estructurales de manera rápida y con un menor nivel de especialización en comparación con la soldadura (Carlos, 2021).

La comparativa entre soldadura y apernado ha sido objeto de estudios en ingeniería estructural, especialmente cuando se trata de seleccionar el método más adecuado para proyectos de gran envergadura o estructuras que exigen una alta durabilidad, las investigaciones han demostrado que, si bien la soldadura puede ofrecer una mayor capacidad de carga y eficiencia estructural, las uniones apernadas suelen ser preferidas en estructuras donde se requiere flexibilidad en el mantenimiento y la reparación.

A lo largo del tiempo, las normas y códigos de construcción han influido en la preferencia por un método u otro, las normativas específicas que regulan la calidad y seguridad de las uniones soldadas y apernadas (como las normas AISC para el diseño de estructuras de acero en Estados Unidos) han sido desarrolladas para garantizar que ambos tipos de uniones cumplan con los requisitos de seguridad estructural, lo cual ha fomentado estudios comparativos sobre su efectividad.

La evolución de la soldadura como una técnica más avanzada para ofrecer resistencia estructural y estética ha permitido que esta sea una opción preferida en algunos contextos. No obstante, las uniones apernadas, con su facilidad de instalación y mantenimiento, continúan siendo una alternativa viable, especialmente en estructuras que requieren un mantenimiento sencillo y flexibilidad operativa.

1.3.ALCANCE

El alcance de la investigación es tipo comparativo y evaluativo, centrándose en analizar la eficiencia estructural, los costos, la facilidad de mantenimiento y el impacto ambiental de dos métodos de unión en estructuras metálicas: soldadura y apernado, la investigación abarca un análisis longitudinal, evaluando el desempeño de ambas técnicas a lo largo del ciclo de vida de las estructuras mediante ensayos de laboratorio y simulaciones computacionales que simulan condiciones de carga y exposición ambiental.

El estudio se enfoca específicamente en estructuras metálicas utilizadas en ingeniería civil, como edificios, considerando aspectos como la resistencia a tracción, compresión y flexión, así como la facilidad de inspección y reparación. Las limitaciones incluyen la disponibilidad de recursos para pruebas a largo plazo y en condiciones reales, mientras que la investigación se delimita a estructuras metálicas, excluyendo otros materiales como concreto o madera, este análisis pretende ofrecer una evaluación integral que sirva de base para la toma de decisiones informada en el diseño y construcción de estructuras metálicas, optimizando su eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

1.4.LIMITACIONES Y DELIMITACIONES

1.4.1. Limitaciones

La investigación podría estar limitada por la disponibilidad de materiales y recursos para simular todas las condiciones ambientales posibles y para llevar a cabo pruebas a largo plazo en estructuras reales.

1.4.2. Delimitaciones

La investigación se delimita a estructuras metálicas y no considera otros materiales como concreto o madera, ya que los métodos de unión y los factores que afectan su eficiencia y durabilidad difieren significativamente.

1.5.OBJETIVOS

Evaluar la eficiencia estructural de las uniones soldadas y apernadas de la estructura "La Fabril" en la ciudad de Manta-Ecuador, mediante las revisiones "4 ES y 8 ES" y "WUF-W" de sus respectivas uniones, para determinar el método más adecuado según las necesidades de diseño y operación.

1.5.1. Objetivos Específicos

- Revisar la Normativas (AISC 358, 2022) Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications y (American Welding Society (AWS), 2020) Código de soldadura estructural — Acero, de conexiones en soldadura y apernadas, a través de fuentes de información científica, para tener una información de calidad que sustente el trabajo de investigación.
- Analizar la resistencia estructural de las uniones soldadas y apernadas de varios pórticos en la estructura "La Fabril", mediante la evaluación de su comportamiento en condiciones como tracción, compresión y flexión, para determinar el desempeño de cada tipo de unión en diversas situaciones de esfuerzo.

- Determinar la resistencia y la capacidad de carga en uniones soldadas y apernadas, utilizando programación en Python, con el fin de evaluar el comportamiento de los pórticos estructurales en un software de elementos finitos.
- Realizar un análisis descriptivo del comportamiento de las uniones en los pórticos, basado en los resultados obtenidos, para verificar la viabilidad de estas dos alternativas de unión dentro del contexto estructural.

1.6.FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Las uniones soldadas son más eficientes en términos de resistencia estructural y durabilidad en comparación con las uniones apernadas, aunque presentan mayores costos de instalación y mantenimiento.

1.7.OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1 Operacionalización de las Variables

Tipo	Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento de Medición
Variable dependiente	Eficiencia de la unión estructural	Resistencia estructural	- Capacidad de carga máxima (en kN o MPa).	Ensayos de laboratorio (tracción, compresión, flexión).
			- Desplazamiento o deformación (en mm) bajo carga máxima.	Pruebas de deformación estructural.
		Durabilidad	- Duración sin reparación (en años).	Inspección visual y pruebas de corrosión/fatiga.
Variable independiente	Tipo de unión	Soldadura	- Continuidad de la unión (calidad de la soldadura en términos de defectos).	Inspección radiográfica o ultrasonido.
			- Tiempo de instalación (en horas).	Registro de tiempos en obra.
		Apernado	- Número de pernos utilizados.	Conteo en instalación.
			- Tiempo de instalación (en horas).	Registro de tiempos en obra.

Nota: Elaborado por los autores.

1.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 2 Matriz de consistencia

Objetivo	Hipótesis	Variables	Método de Recolección de Datos
Evaluar la resistencia estructural de uniones soldadas y apernadas	H1: Las uniones soldadas tienen mayor resistencia a la tracción y compresión que las uniones apernadas.	- Resistencia a la tracción - Resistencia a la compresión	- Estudio de casos
Comparar los costos de instalación y mantenimiento entre ambos tipos de uniones	H2: El costo de instalación de las uniones soldadas es significativamente mayor que el de las uniones apernadas.	- Costo de instalación - Costo de mantenimiento	- Revisión documental - Entrevistas con ingenieros
Analizar la facilidad de inspección y mantenimiento	H3: Las uniones apernadas son más fáciles y económicas de inspeccionar y mantener que las soldadas.	- Facilidad de inspección - Costo de mantenimiento	- Entrevistas con ingenieros
Evaluar la conformidad con normativas y estándares de construcción	H4: Las uniones soldadas requieren procedimientos de inspección más complejos en comparación con las uniones apernadas.	- Cumplimiento normativo - Complejidad de la inspección	- Revisión de normativas

Nota: Elaborado por los autores.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1 Generalidades de Estructuras metálica

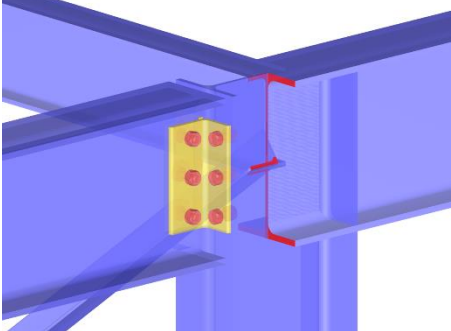
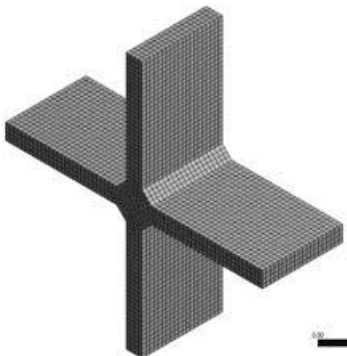
Según Italo Q (2024) las estructuras se consideran metálicas cuando al menos el 80% de sus componentes están hechos de metal, generalmente de hacer, cada una de las piezas que conforman este tipo de estructura debe cumplir con las normas de construcción. Son especialmente utilizadas en proyectos donde se requiere una ejecución rápida, sobre todo en áreas densamente pobladas, como centros comerciales o industriales.

2.1.1.1 Etapas de fabricación de las uniones metálicas:

- Etapa 1 (Definición del diseño): Se elige el tipo de unión adecuado para la estructura final de la construcción.
- Etapa 2 (Elaboración del proyecto): Se evalúa la capacidad de la unión, determinando los límites máximos de esfuerzo, deformación y tensiones que impactan directamente en los elementos de las uniones.

2.1.1.2 Tipos de uniones

Tabla 3 Tipos de Uniones

Tipos de Uniones	Características
Apernadas Figura 1 <i>Apernadas</i>  Nota: Representación gráfica de las uniones apernadas. Adaptado de Moisés Martínez (2024).	• Son relativamente simples de montar y desmontar. • No requieren equipos especializados. • Permiten ajustes en las uniones.
Soldadas Figura 2 <i>Soldada</i>  Nota: Representación gráfica de las uniones soldadas. Adaptado de SAMAT (2024)	• Generan una unión continua entre las piezas. • Las uniones soldadas ofrecen una apariencia más limpia y uniforme. • Las uniones soldadas suelen requerir menos material adicional

Nota: Elaborado por los autores.

En el ámbito de la ingeniería estructural, las uniones son componentes esenciales que permiten la transferencia de fuerzas entre diferentes elementos de una estructura (Estolaza & Omar, 2019).

Unión precalificada 4ES “Bolted stiffened extended end plate” AISC-358

La unión que se plantea consiste en una placa final soldada a la viga con agujeros para colocar los pernos que conectaran con el ala de la columna. Existen requerimientos detallados para cada una de estas partes de la unión dados en el AISC 358 capítulo 6.

En este tipo de uniones el comportamiento y revisión se la hace controlando los diferentes estados limites como: Momento de fluencia de la viga, momento de flexión de la placa de unión, fluencia en la zona de panel, resistencia a tensión de rotura en los pernos, separaciones mínimas de pernos, distancias al borde, y más parámetros dados, también los tipos de soldadura CJP.

La unión mencionada es utilizada en sistemas **IMF** (Pórticos de Mediana Ductilidad) y **SMF** (Pórticos de Alta Ductilidad). Existen tres configuraciones principales: la primera, sin rigidizador; la segunda, con rigidizador; y la tercera, con rigidizador y el doble de pernos. Estas configuraciones se ilustran a continuación, mostrando las tres variantes en detalle.

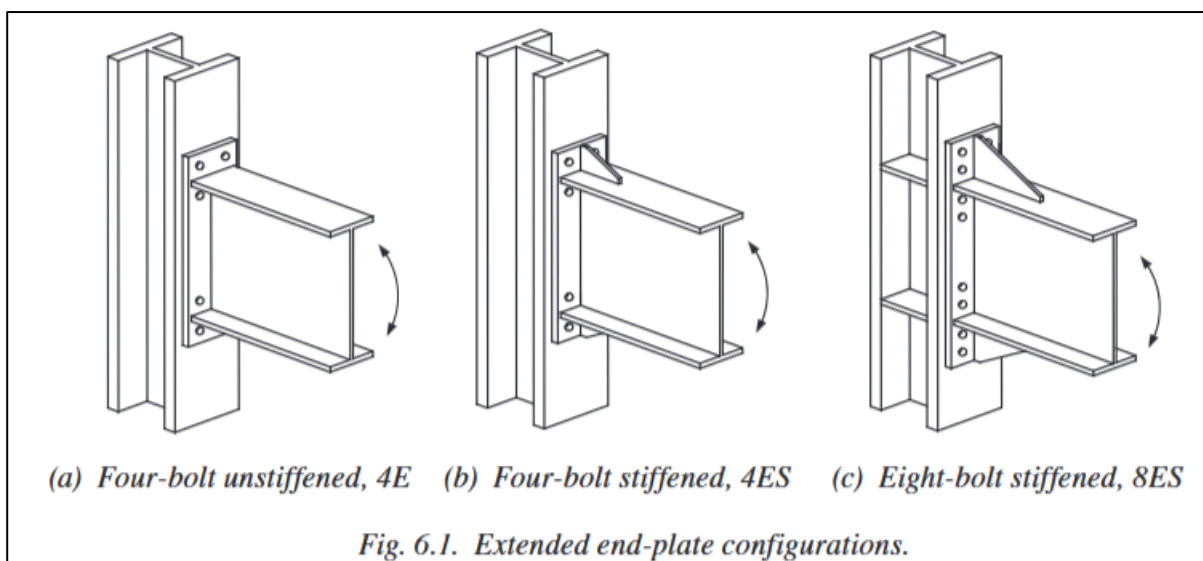


Ilustración 1: Configuraciones de unión END PLATE

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Antes de presentar las limitaciones mínimas y máximas se va a presentar ilustraciones de la unión 4ES con el fin de conocer las principales anotaciones de los parámetros necesarios en el diseño de esta.

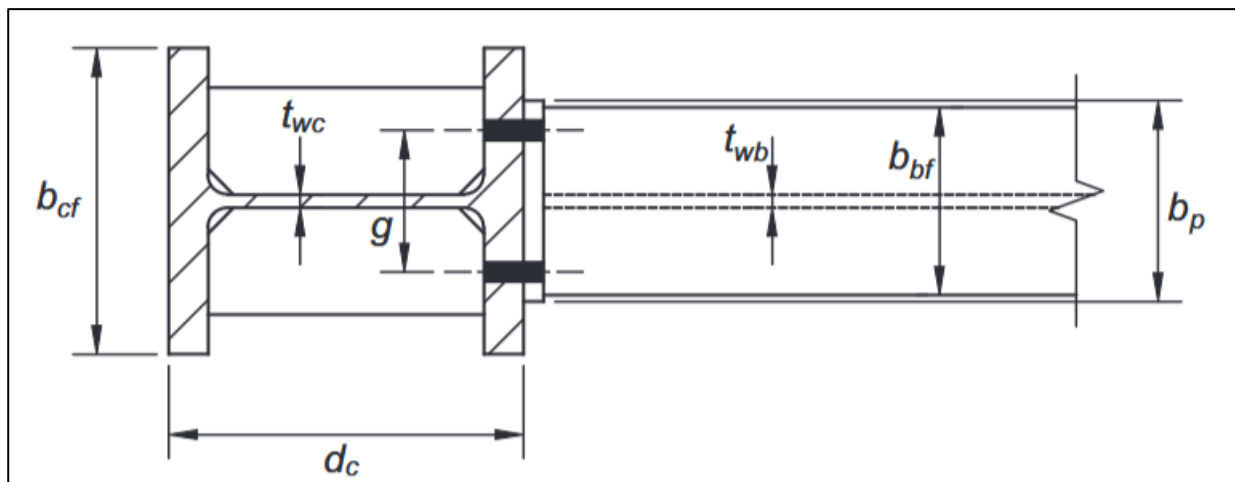


Ilustración 2: parámetros de unión en planta

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

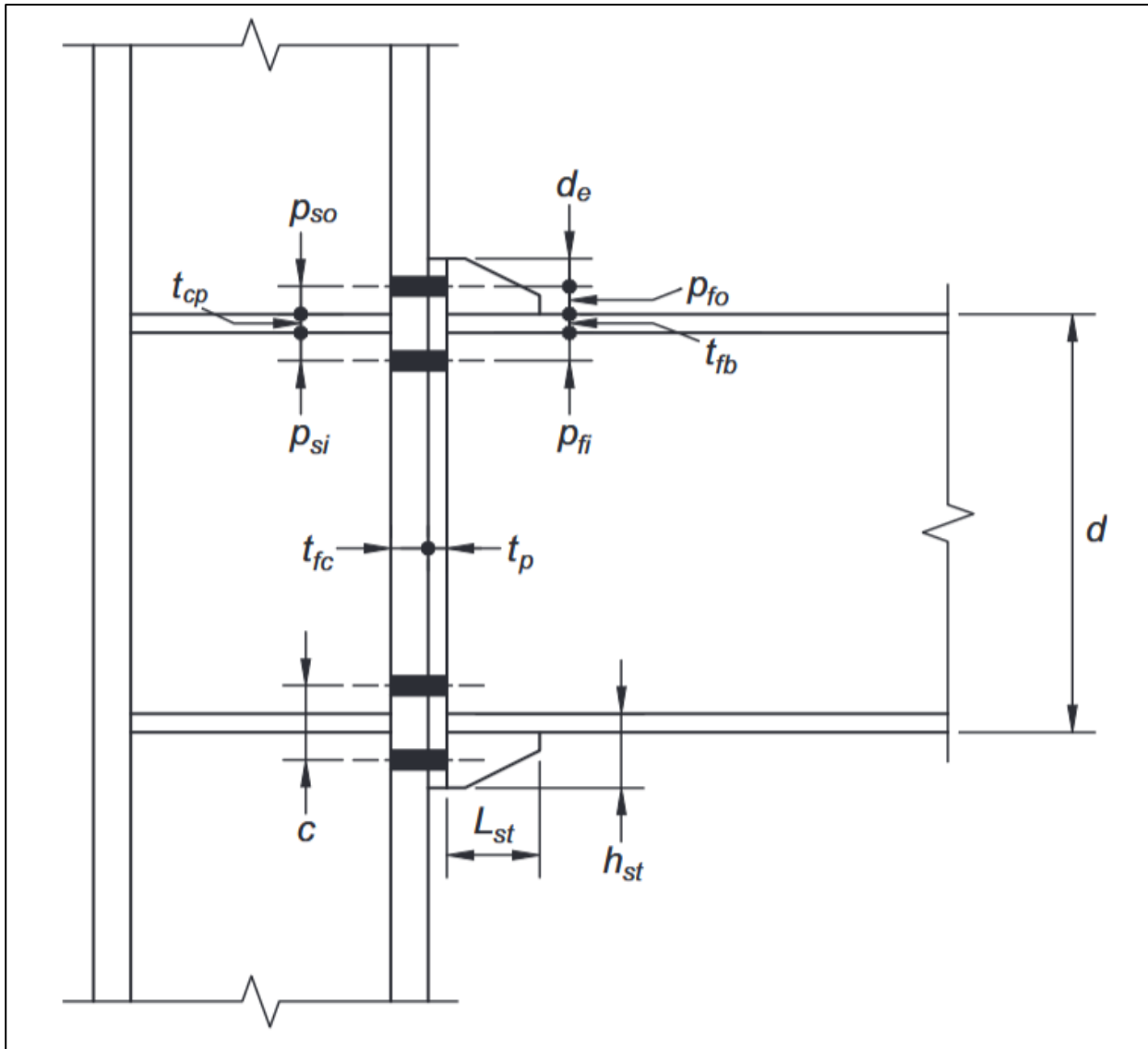


Ilustración 3: Parámetros de unión en elevación

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Es de suma importancia conocer cuáles son las restricciones para usar cada una de las siguientes configuraciones, primero se va a presentar la tabla donde constan las restricciones para cada una de las tres configuraciones, luego a modo de ilustración se va reflejar en un gráfico esquemático los valores máximos y mínimos de una configuración seleccionada que en este caso es la del literal b.

Tabla 4: Valores máximos y mínimos permitidos para cada configuración

TABLE 6.1 Parametric Limitations on Prequalification						
	Four-Bolt Unstiffened (4E)		Four-Bolt Stiffened (4ES)		Eight-Bolt Stiffened (8ES)	
Parameter	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)
t_{bf}	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	1 (25)	$\frac{9}{16}$ (14)
b_{bf}	$9\frac{1}{4}$ (230)	6 (150)	9 (230)	6 (150)	$12\frac{1}{4}$ (310)	$7\frac{1}{2}$ (190)
d	24 (600)	$13\frac{3}{4}$ (350)	24 (600)	$13\frac{3}{4}$ (350)	36 (910)	18 (460)
t_p	$2\frac{1}{4}$ (57)	$\frac{1}{2}$ (13)	$1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{1}{2}$ (13)	$2\frac{1}{2}$ (64)	$\frac{3}{4}$ (19)
b_p	$10\frac{3}{4}$ (270)	7 (180)	$10\frac{3}{4}$ (270)	7 (180)	15 (380)	9 (230)
g	6 (150)	4 (100)	6 (150)	$3\frac{1}{4}$ (83)	6 (150)	5 (130)
p_{fi}, p_{fo}	$4\frac{1}{2}$ (110)	$1\frac{1}{2}$ (38)	$5\frac{1}{2}$ (140)	$1\frac{3}{4}$ (44)	2 (51)	$1\frac{5}{8}$ (41)
p_b	—	—	—	—	$3\frac{3}{4}$ (95)	$3\frac{1}{2}$ (89)
b_{bf} = width of beam flange, in. (mm) b_p = width of end plate, in. (mm) d = depth of connecting beam, in. (mm) g = horizontal distance between bolts, in. (mm) p_b = vertical distance between the inner and outer row of bolts in an 8ES connection, in. (mm) p_{fi} = vertical distance from the inside of a beam tension flange to the nearest inside bolt row, in. (mm) p_{fo} = vertical distance from the outside of a beam tension flange to the nearest outside bolt row, in. (mm) t_{bf} = thickness of beam flange, in. (mm) t_p = thickness of end plate, in. (mm)						

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

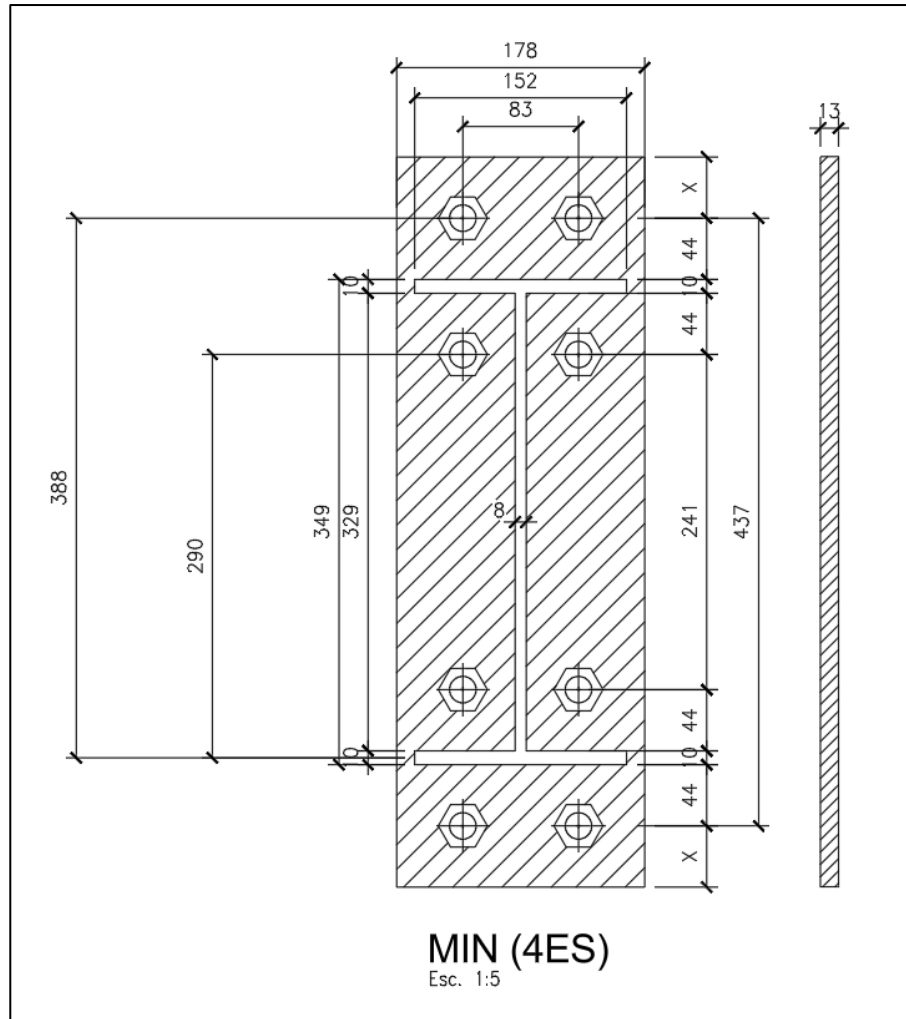


Ilustración 4: Valores mínimos para configuración 2

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

A manera ilustrativa se muestra en las dos ilustraciones anteriores cuales son los valores mínimos y cuáles son los valores máximos permitidos para que la unión precalificada desarrolle y garantice el comportamiento esperado, por lo tanto, esta es una herramienta que se debe conocer y se debe tener en claro al momento de seleccionar la configuración de unión , sobre todo se resalta por ejemplo la altura de viga, los espesores de placa, las separaciones entre pernos, las separaciones al borde, los espesores de las vigas, etc.

La distancia desde el patín hasta el perno se recomienda que sea $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro del perno, preferible 3 veces. El ancho de la placa de unión debe ser mayor al ancho del patín de la viga, pero no más de 25mm en total. Para el caso de las uniones con rigidizador la longitud se la debe calcular empleando una relación trigonométrica entre altura de rigidizador que es prácticamente desde el patín de la viga hasta el final de la placa de unión y el Angulo se estima alrededor de 30 grados, por lo tanto:

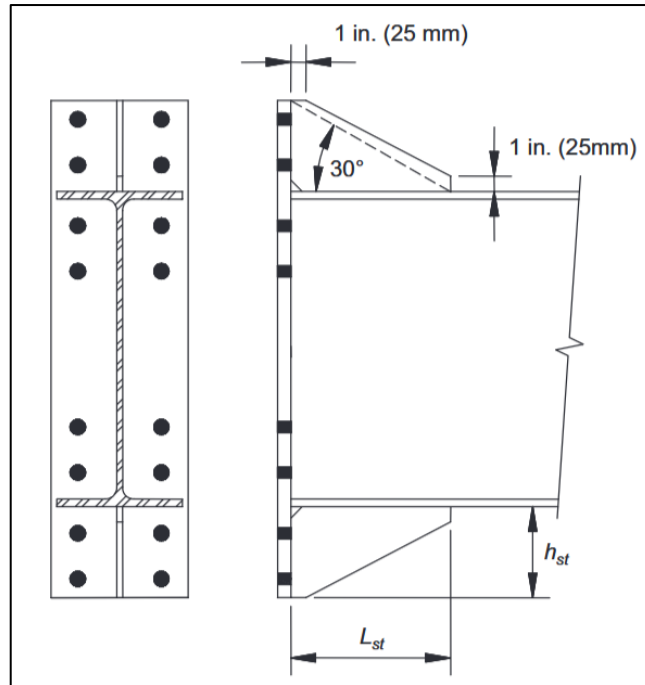


Ilustración 6: Rigidizador

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

La soldadura para la viga y la placa de unión debe ser de penetración completa CJP y la cara interior debe tener una soldadura de filete de al menos 8mm. Así mismo cuando se use la soldadura entre el rigidizador y la placa deben ser CJP, a menos que el espesor del rigidizador sea 10mm se permite filete.

Ahora se va a detallar los pasos que se requiere para el procedimiento de diseño:

Paso 1: Calcular los momentos probables en la rótula plástica de la viga que se va a conectar.

$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * Z_x * F_y$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 * F_y} \leq 1.2$$

Donde: F_y y F_u son resistencias de fluencia y ultima del perfil

Paso 2: Determinar la distancia a la rótula plástica desde la cara de la columna, se debe usar las fórmulas que correspondan dependiendo si tiene o no rigidizador, para el caso donde haya rigidizador la rótula prácticamente es terminando la longitud del arriostramiento.

Cuando no tiene rigidizador:

$$S_h = \min \left(\frac{d}{2}, 3 * b_f \right)$$

Donde: d es la altura de la viga y b_f es el ancho del patín de la viga.

Cuando tiene rigidizador:

$$S_h = L_{st} + t_p$$

Donde: L_{st} es la longitud del rigidizador y t_p es el espesor de la placa.

Paso 3: Calcular el cortante en la rótula plástica

$$V_h = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

Donde: M_{pr} es el momento probable de la viga, L_h distancia de viga entre rotulas plásticas,

$V_{gravity}$ es el cortante gravitacional dado por la COMB: $1.2 * D + 1.6 * L$ que se deberá sumar.

Paso 4: Calcular el momento máximo probable en la cara de la columna.

$$M_f = M_{pr} + V_h * S_h$$

Paso 5: Seleccionar una de las configuraciones de unión que anteriormente se ha indicado y esto significa que se va a proponer los parámetros que se indican como distancias entre pernos,

distancias al borde, alturas, etc. Considerando desde el planteamiento los valores mínimos y máximos que se dan en las restricciones dadas también anteriormente.

Paso 6: Calcula el diámetro del perno requerido, considerando lo siguiente:

Tabla 5: Especificaciones de pernos AISC-360-22

TABLE J3.2 Nominal Stress of Fasteners and Threaded Parts, ksi (MPa)			
Description of Fasteners	Nominal Tensile Stress, F_{nt} , ksi (MPa) ^{[a][b]}	Nominal Shear Stress in Bearing-Type Connections, F_{nv} , ksi (MPa) ^[c]	
		Threads Not Excluded from Shear Planes—(N) ^[e]	Threads Excluded from Shear Planes—(X)
A307 bolts	45 (310)	27 (190) ^[d]	27 (190) ^[d]
Group 120 (e.g., A325)	90 (620)	54 (370)	68 (470)
Group 144 (e.g., F3148)	108 (750)	65 (450)	81 (560)
Group 150 (e.g., A490)	113 (780)	68 (470)	84 (580)
Group 200 (e.g., F3043)	150 (1 000)	90 (620) ^[f]	113 (780) ^[f]
Threaded parts meeting the requirements of Section A3.4	$0.75F_u$	$0.450F_u$	$0.563F_u$
^[a] For high-strength bolts subjected to tensile fatigue loading, see Appendix 3. ^[b] For nominal tensile strength it is permitted to use the tensile stress area of the threaded rod or bolt multiplied by the specified minimum tensile stress of the rod or bolt material, in lieu of the tabulated values based on a nominal tensile stress area of 0.75 times the gross area. The tensile stress area shall be calculated in accordance with the applicable ASTM standard. ^[c] For end-loaded connections with a fastener pattern length greater than 38 in. (950 mm), F_{nv} 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. ^[d] For ASTM A307 bolts, the tabulated values shall be reduced by 1% for each $\frac{1}{16}$ in. (2 mm) over five diameters of length in the grip. ^[e] Threads assumed and permitted in shear planes in all cases. ^[f] The transition area of Group 200 bolts is considered part of the threaded section.			

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

En esta tabla se presenta las especificaciones de los pernos que se deben usar para las uniones precalificadas apernadas.

Tabla 6: Diámetros nominales de pernos AISC -360 -22

TABLE J3.3 Nominal Hole Dimensions, in.				
Bolt Diameter	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 1/8	1 1/4	1 1/8 × 1 5/16	1 1/8 × 2 1/2
≥ 1 1/8	$d + 1/8$	$d + 5/16$	$(d + 1/8) \times (d + 3/8)$	$(d + 1/8) \times 2.5d$

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Cuando la unión es (4E, 4ES)

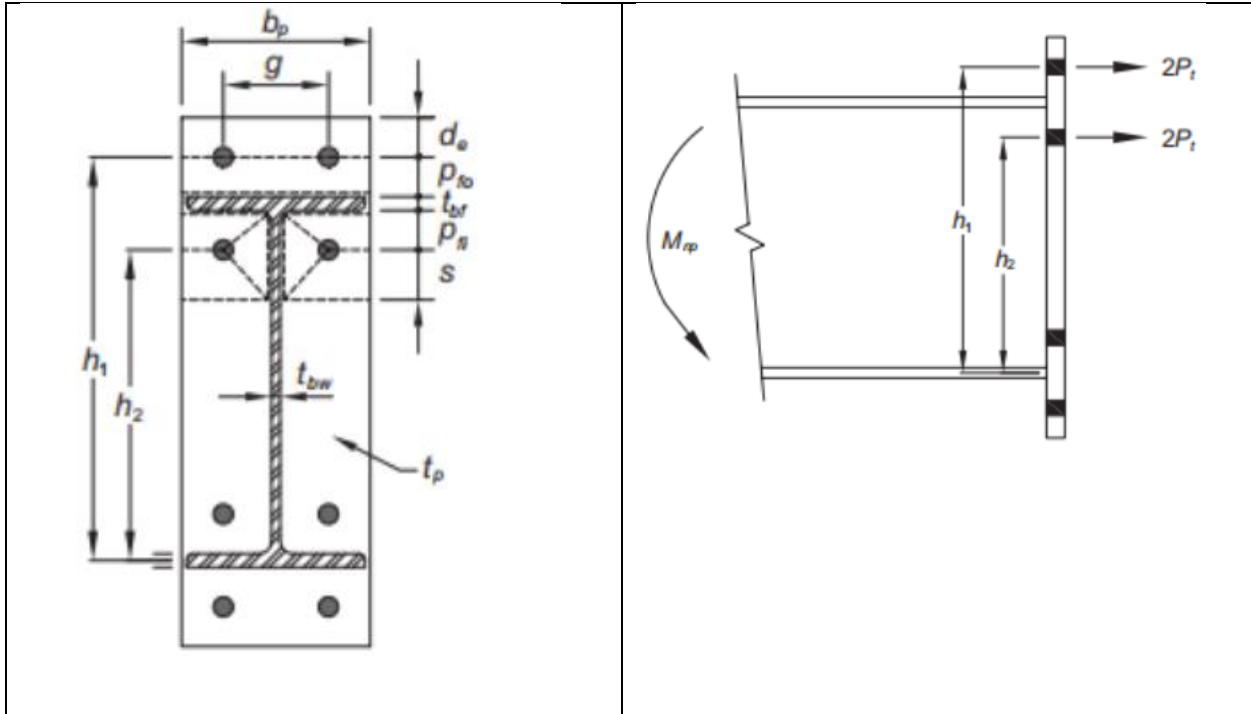
$$d_{b,req} = \sqrt{\frac{2 * M_f}{\pi * 0.9 * F_{nt} * (h_1 + h_2)}}$$

Cuando la unión es (8ES)

$$d_{b,req} = \sqrt{\frac{2 * M_f}{\pi * 0.9 * F_{nt} * (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}}$$

Donde: F_{nt} es la resistencia nominal a tracción de un perno, h_i son alturas se muestran en imágenes siguientes:

Tabla 7: Unión sin rigidizador y cuatro pernos



Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Placa de unión:

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s)]$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} ; \text{ Note: if } p_{fi} > s, \text{ use } p_{fi} = s$$

Tabla 8: Unión con rigidizador y 8 pernos

TABLE 6.3 Summary of Four-Bolt Extended Stiffened End-Plate Yield Line Mechanism Parameter		
End-Plate Geometry and Yield Line Pattern		Bolt Force Model
Case 1 ($d_e \leq s$)	Case 2 ($d_e > s$)	

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Caso 1 si $d_e < s$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2d_e} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(d_e + p_{fo})]$$

Caso 2 si $d_e > s$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(s + p_{fo})]$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{ Note: if } p_{fi} > s, \text{ use } p_{fi} = s$$

Tabla 9: Unión con rigidizador y 16 pernos

TABLE 6.4 Summary of Eight-Bolt Extended Stiffened End-Plate Yield Line Mechanism Parameter		
End-Plate Geometry and Yield Line Pattern		Bolt Force Model
Case 1 ($d_e \leq s$)	Case 2 ($d_e > s$)	

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Caso 1 si $d_e < s$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] \\ + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{3p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) \right] + g$$

Caso 2 si $d_e > s$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3p_b}{4} \right) \right] + g$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} ; \text{ Note: if } p_{fi} > s, \text{ use } p_{fi} = s$$

Paso 12: Se debe hacer un chequeo de ruptura por cortante en la placa final:

Esto en el caso cuando no tiene rigidizadores:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq 0.9 * 0.6 * F_{up} * A_n$$

Donde: A_n Es el área neta de placa, F_{up} resistencia máxima de tracción

Paso 13: El espesor de la placa de rigidizador debe ser al menos igual al espesor del alma de la viga, debe cumplirse:

$$t_s = t_{bw} * \frac{F_{yb}}{F_{ys}}$$

Donde: t_{bw} es el espesor del alma de la viga y los dos términos corresponden a las fluencias tanto de la viga como del rigidizador respectivamente.

$$\frac{h_{ts}}{t_s} = 0.56 * \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

Donde: h_{ts} y t_s son altura y espesor de rigidizador respectivamente E es el módulo de elasticidad.

Paso 14: Revisar el diseño por cortante la resistencia, que es la que se calculó en paso anterior Vh.

Paso 15: Este es el mismo cortante paso anterior $V_h = V_u$

Paso 16: Determinar la resistencia a cortante que proporcionan los pernos a compresión.

$$V_u \leq 0.75 * n_b * F_{nv} * A_b$$

Donde: A_b = es el área del perno a cortante y n_b es el número de perno

Paso 17: Chequeo de falla por aplastamiento y desgarre en la placa de unión:

$$V_u = 0.9 * \sum r_{ni}$$

$$r_{ni} = 1.2 * l_c * t * F_u < 2.4 * d_b * t * F_u$$

Donde: r_{ni} es la distancia, l_c es la distancia libre en la dirección de la fuerza es entre pernos, t es el espesor de la placa y F_u es la resistencia ultima de la placa.

Paso 18: Usar soldadura de penetración estándar CJP sin respaldo, para la unión entre alas de la viga a placa extrema. En la cara interna del ala se coloca una soldadura de tipo ranura 8mm. Esta soldadura se debe realizar antes de haber instalado el rigidizador. El alma de la viga puede hacerse mediante soldadura de filete o de penetración estándar, pero, si se opta por filete esta deberá ser lo suficientemente grande para que desarrolle la capacidad que tiene el alma de la viga.

2.1.2 Uniones Soldadas

(En este paso se planea hacer la unión WUF

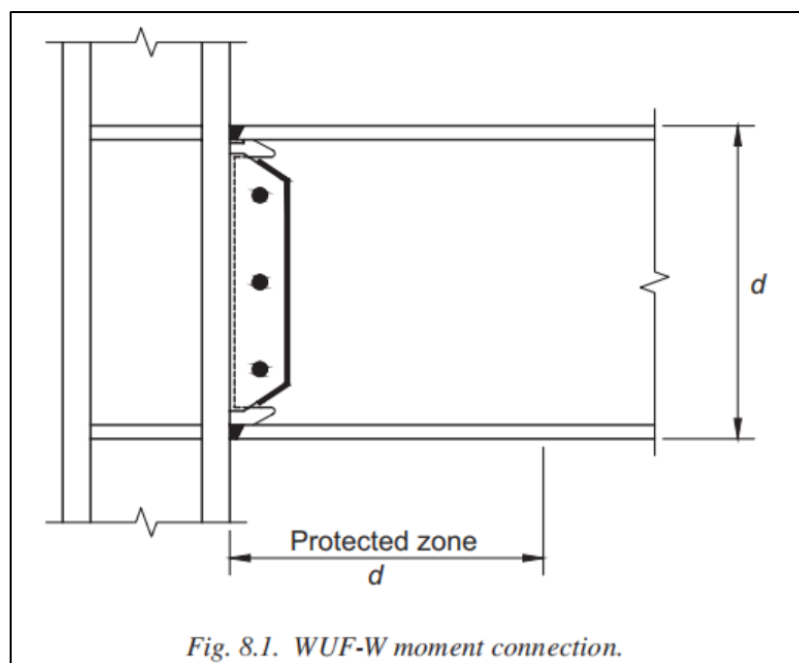


Ilustración 7: Unión WUF-W Soldada

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Unión soldada sin refuerzo en alas de viga y soldado el alma al ala de la columna, el principal comportamiento es la rotación inelástica, para que la viga pueda fluir en la región adyacente a la cara de la columna. Para controlar la ruptura se debe llevar a cabo un buen detallado de la soldadura tanto de las alas como del alma de la viga hacia el ala de la columna, además los agujeros sísmicos en los extremos superior e inferior. Esta unión se usa en sistemas de alta y moderada ductilidad SMF and IMF.

El diseño de uniones exclusivamente soldadas no cuenta con una normativa específica. No obstante, la unión **WUF-W** (*Welded Unreinforced Flange-Welded Web*) dada en el AISC 358-22 del capítulo 8, contempla la unión mediante soldadura tanto del alma como del ala de la viga a la columna. Además, incluye una hilera de pernos a cortante en la placa de unión al alma de la viga. Sin embargo, en diversos entornos y oficinas de cálculo estructural, esta unión puede adaptarse para emplear únicamente soldadura, tal como se ilustra a continuación. Esta unión ha

sido mostrada la teoría en el capítulo 2, donde se puede encontrar más información, tal como indica el AISC 358, los pasos recomendaciones y cálculos, además en los anexos se puede encontrar las memorias de cálculo.

Limitaciones en la viga:

Las vigas pueden ser laminadas en caliente o pueden ser fabricadas, se limita a una altura máxima de 920mm; el máximo peso que se permite es 220kgf/m de la viga a conectar. El máximo espesor de ala de la viga es hasta 25mm.

Para sistemas de pórticos resistentes a momento (SMF), la relación entre la longitud libre del vano y la altura de la viga debe ser de al menos 7 o mayor. En el caso de pórticos intermedios resistentes a momento (IMF), se permite un ratio mínimo de 5. Además, se debe instalar un arriostramiento desde la cara de la columna a una distancia equivalente a la altura de la viga o 1.5 veces dicha altura. En este contexto, la zona protegida abarca desde la cara de la columna hasta una longitud igual a la altura de la viga.

Limitaciones en la columna:

Las columnas pueden ser laminadas o fabricadas, la altura de la columna se limita a 920mm. Para las columnas no hay límite de peso, y no hay más restricciones prácticamente.

Soldadura:

La soldadura de las alas de la viga con el ala de la columna debe ser conectadas con soldadura de penetración completa CJP. Los agujeros sísmicos deben estar de acuerdo con el AWS D1.8. la soldadura del alma de la viga con la columna se muestra en la siguiente ilustración:

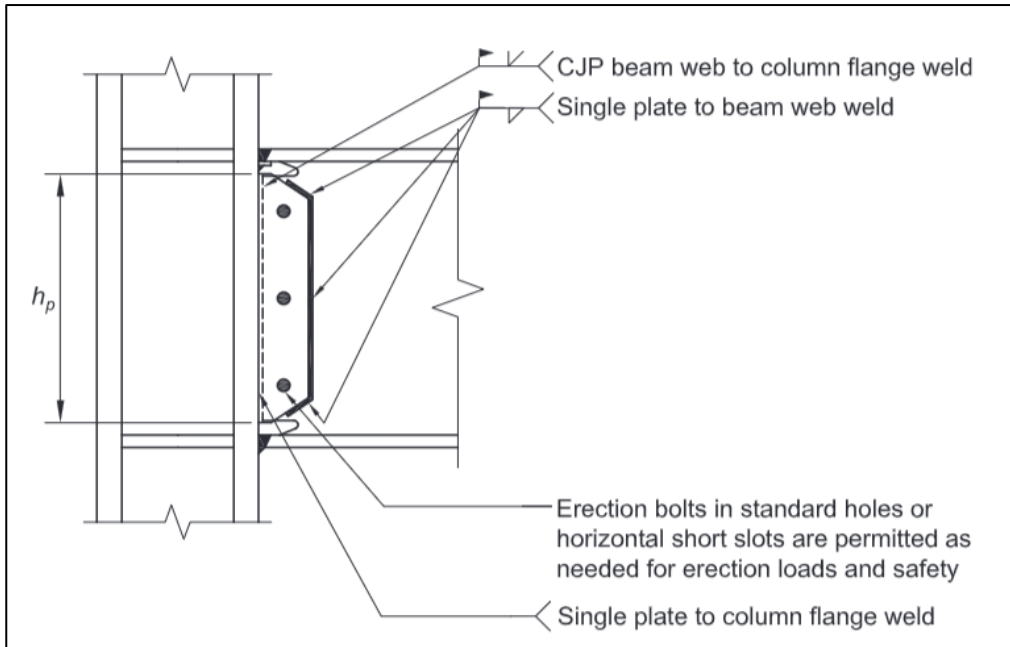


Ilustración 8: Detalles de soldadura alma de viga a columna

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

Limitaciones de unión entre alma de viga a columna:

Una sola placa de corte, con un espesor igual o menor que el espesor del alma de la viga, para la altura de la placa debe ocupar al menos 6mm hasta 13mm de espacio dentro del agujero sísmico.

El ancho mínimo de la placa es de 50mm.

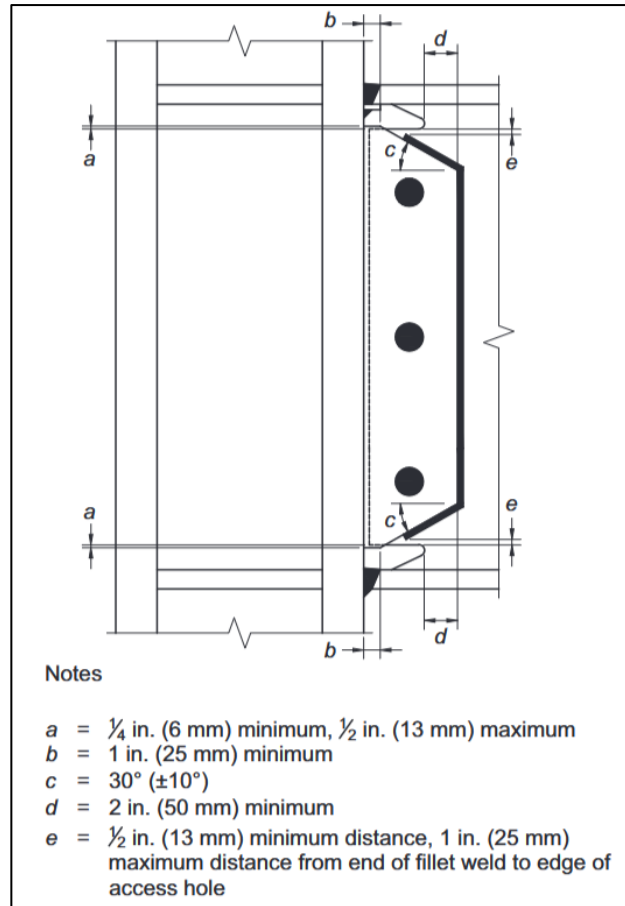


Ilustración 9: Limitaciones de parámetros WUF-W

Elaborado por: (AISC 358, 2022)

La resistencia mínima de la soldadura que se va a diseñar debe ser al menos:

$$R_s = 0.6 * R_y * F_{yp} * h_p * t_p$$

Donde: t_p es el espesor de la placa, h_p es la longitud de la placa,

La soldadura para esta placa con la viga se puede usar filete, el espesor de la soldadura se puede usar igual al espesor de la placa menos unos 2mm. Se debe considerar donde termina la soldadura y la separación con el agujero sísmico. Se permiten pernos de montaje en orificios estándar. Entre el alma de la viga y la columna debe usarse soldadura CJP.

Procedimiento de diseño:

Paso 1: Calcular el máximo momento probable en la rótula plástica de la viga.

$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * Z_x * F_y$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 * F_y} \leq 1.2$$

Donde: F_y y F_u son resistencias de fluencia y ultima del perfil

Paso 2: La rotula plástica se toma justo en la cara de la columna.

S_h es cero, debido a que se toma la rótula en la cara de columna

L_h entonces la longitud es la longitud libre del vano

Paso 3: Calcular el máximo cortante V_h en la rótula plástica.

$$V_h = \frac{2 * M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

Paso 4: Calcular el momento final en la rótula plástica

$$M_f = M_{pr} + V_h * S_h$$

$$M_f = M_{pr}$$

Paso 5: Chequear la resistencia a corte de la sección, este se puede tomar como V_h que es el máximo cortante en la rótula plástica.

Paso 6: Colocar placas de continuidad

Paso 7: Revisar la zona de panel

Paso 8: Lo principal es primero garantizar que se cumpla columna fuerte viga débil, que esa relación de momentos de columna entre viga sea mayor, y de ahí se continua con las planchas de continuidad.

INDICACIONES:

1. SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) EN LOS PATINES SUPERIOR E INFERIOR.

- En el patín superior dejar la platina de respaldo PR 20x6mm y colocar una soldadura de filete de 5mm debajo de la platina.
- En el patín inferior retirar la platina de respaldo o usar una platina de respaldo no fusible, esmerilar la parte inferior del cordón y añadir una soldadura de filete. **No se aceptará ningún tipo de respaldo fijo.**
- El tamaño del filete adyacente a la columna será de un mínimo de 10mm y el tamaño del filete adyacente al patín de la viga será tal que esté localizado en el metal base del patín.

2. AGUJEROS DE ACCESO SÍSMICOS.

- Soldadura de ranura de penetración completa (SRPC) a lo alto de la longitud del alma, entre los agujeros de acceso, en la ranura dejada entre la placa de corte (PC) y la cara de la columna.
- Limpiar la escoria con esmeril entre pases de soldadura.

3. PLACA DE CORTE (PC).

- El espesor de la PC es igual al del alma de la viga.

4. SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL (FILETE) DE 6mm DE ESPESOR a todo lo alto de la unión entre la placa de corte y la pared de la columna (cara frontal).

5. SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) entre el alma de la viga y la cara de la columna, utilizando la placa de corte como respaldo.

6. SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL (FILETE) entre la placa de corte y el alma de la viga (cara posterior).

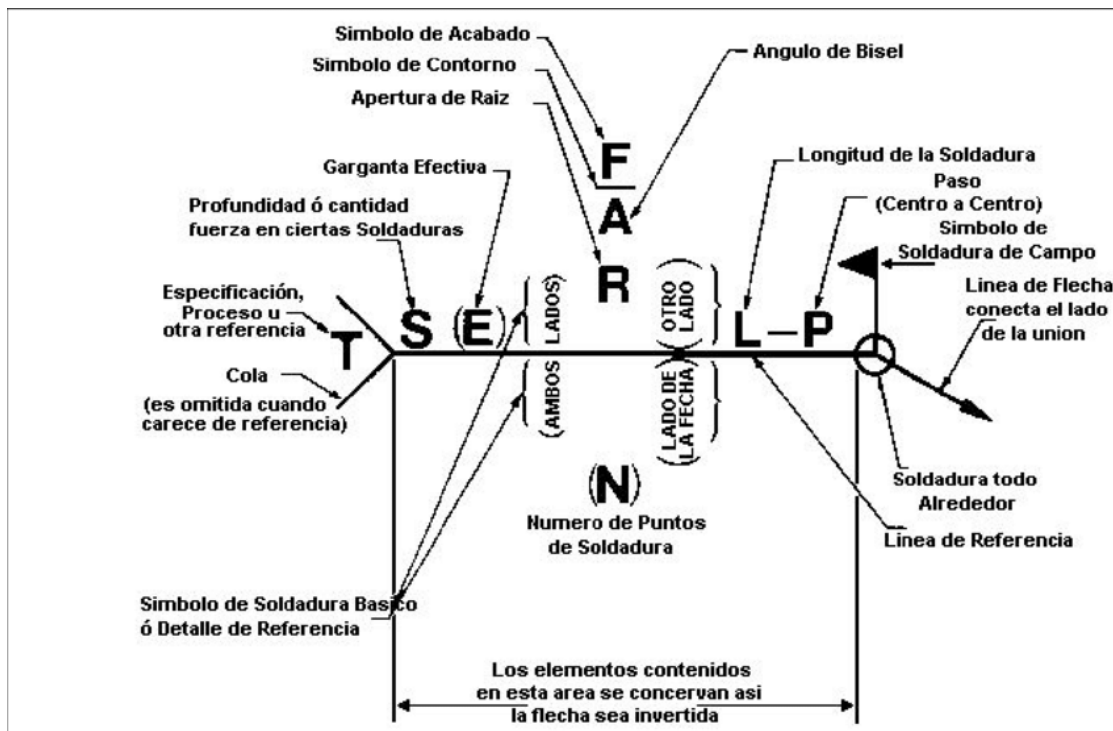


Ilustración 10: Lectura de soldadura

Elaborado por: (American Welding Society (AWS), 2020)

Las uniones soldadas son un tipo fundamental de unión metálica que se utiliza para asegurar la continuidad y estabilidad de las estructuras.

Se define a la soldadura como un proceso del cual se realiza la unión de partes metálicas mediante calentamiento para alcanzar un estado plástico con o sin el aporte de un material adicional de refuerzo (Montaño, 2021).

2.1.2.1 Ventajas

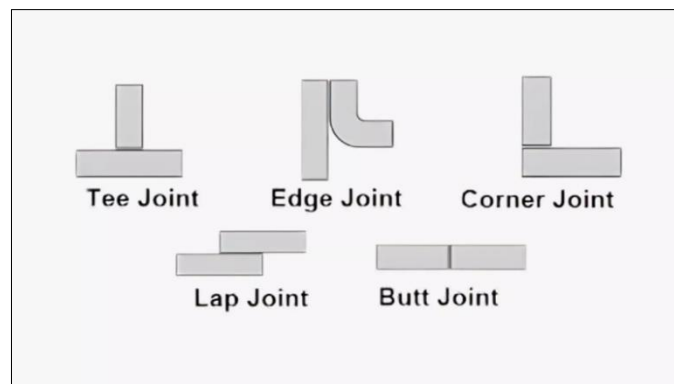
- Alta resistencia a cargas extremas.
- Unión continua y uniforme.
- Atractivo estético al no necesitar componentes visibles.

2.1.2.2 Desventajas

- Mayor costo de instalación y equipo especializado.
- Inspecciones y mantenimiento más complejos.
- Posibles fallas internas difíciles de detectar sin equipo avanzado.

2.1.2.3 Tipos de Uniones Metálicas

Figura 3 : *Tipos de Uniones soldadas*



Nota: Cada tipo de unión cumple funciones estructurales o funcionales específicas según los requisitos de diseño y las fuerzas que actúan sobre la estructura. Adaptado de (Direct., 2024)

En la Figura 3 se muestra varios tipos de uniones soldadas que se utilizan según las necesidades estructurales y funcionales de cada proyecto, entre las más comunes se encuentran la unión en T, que se forma al intersecar dos piezas en un ángulo de 90 grados; la unión de borde, que se realiza al unir los bordes de dos piezas paralelas o alineadas; y la unión de esquina, donde dos piezas se encuentran en forma de "L". También está la unión traslapada, que se logra superponiendo dos piezas y uniéndolas en la zona de solapamiento, y finalmente, la unión a tope, que se forma al colocar dos piezas extremo con extremo en el mismo plano, cada uno de estos tipos de uniones se elige en función de los requerimientos de resistencia y diseño, así como de las fuerzas que actúan sobre la estructura.

2.1.2.4 Resistencia y comportamiento estructural

Según la teoría de Resistencia y comportamiento estructural señala que las uniones soldadas distribuyen las cargas de manera uniforme a lo largo de la unión, lo que las hace especialmente efectivas en estructuras sujetas a altas fuerzas de compresión o tensión. (2019)

La soldadura es la técnica básica utilizada para unir materiales de forma permanente y asegurar una alta protección y continuidad en la estructura, pero su éxito depende de la calidad del diseño, el material de aportación, los métodos técnicos y los conocimientos del soldador. Aunque son más difíciles de reemplazar que los soportes removibles, su durabilidad y versatilidad los hacen indispensables en muchas aplicaciones industriales y de construcción.

2.1.2.5 Costo y eficiencia económica

Según Willian T Segui (2017) en su teoría de Costo y eficiencia económica menciona que, aunque las uniones soldadas tienen un costo inicial más alto, su capacidad de ofrecer diseños más limpios y eliminar la necesidad de componentes visibles puede justificar su uso en proyectos arquitectónicos más exigentes.

La elección de juntas flexibles es inicialmente deseable desde una perspectiva económica, puede ser una decisión difícil en proyectos de construcción donde la estética y el rendimiento son importantes para la resistencia estructural. Este enfoque enfatiza la importancia de considerar no sólo los retornos directos, sino también los efectos positivos y beneficiosos en la vida laboral.

2.1.2.6 Facilidad de inspección y mantenimiento

De acuerdo con Salmon y Johnson, las uniones apernadas permiten inspecciones visuales y mantenimiento más sencillo, lo que las hace una opción preferible en estructuras que requieren accesibilidad para ajustes periódicos o reparaciones (Salmon, Johnson, & Malhas, 2020).

2.1.3 Uniones apernadas:

Las uniones apernadas se basan en el uso de pernos y tuercas para unir dos componentes estructurales, a diferencia de las soldaduras, estas uniones son discretas y localizadas, lo que las hace ideales en estructuras donde se requiere facilidad de montaje y desmontaje.

Una de las principales ventajas de las uniones apernadas es su bajo costo de instalación y el hecho de que no se necesita equipo altamente especializado para llevarlas a cabo (Bustamante, 2022).

2.1.3.1 Ventajas

- Costo de instalación y mantenimiento más bajo.
- Facilidad de inspección visual y reparación.
- Adaptabilidad para desmontaje y modificación de estructuras.

2.1.3.2 Desventajas

- Menor capacidad para soportar cargas extremas.
- Riesgo de aflojamiento por vibración.
- Vulnerabilidad a la corrosión si no se protegen adecuadamente.
- El tipo de unión adecuado depende de varios factores como la resistencia estructural requerida, las condiciones de carga, los costos, y la facilidad de mantenimiento.

2.1.3.3 Resistencia y comportamiento estructural

Las uniones apernadas soportan cargas variadas y tienen un comportamiento elástico inicial, lo que les permite absorber vibraciones y movimientos. Son ideales para estructuras dinámicas, pero requieren un ajuste adecuado y mantenimiento periódico para conservar su efectividad (Cházaro Rosario, 2021).

2.1.3.4 Costo y eficiencia económica

Según Mora & Jackeline (2022) estas uniones son más económicas que las soldadas, ya que su instalación es más rápida y sencilla, y no requieren mano de obra especializada. Son ideales para proyectos con limitaciones de presupuesto o estructuras temporales que necesitan ensamblaje y desmontaje fáciles.

2.1.3.5 Facilidad de inspección y mantenimiento

Las uniones apernadas son fáciles de inspeccionar y mantener, ya que los pernos son accesibles y se pueden verificar sin desmontar la estructura. Esto permite detectar fallas tempranas y realizar reemplazos o ajustes sin afectar el resto de la estructura, lo cual es útil en ambientes corrosivos o con cargas variables (Díaz, 2023).

2.1.4 Comparación de la eficiencia estructural

La eficiencia estructural de un tipo de unión se mide en función de su capacidad para soportar cargas de tracción, compresión y flexión sin comprometer la integridad de la estructura. Las uniones soldadas suelen ser más eficientes en cuanto a resistencia a las cargas debido a su naturaleza continua, que permite una distribución uniforme de las fuerzas. Por el contrario, las uniones apernadas tienden a concentrar las tensiones en puntos específicos, lo que puede ser un factor de debilidad si no se diseñan adecuadamente (Salmon, Johnson, & Malhas, 2020).

2.1.5 Normativas y estándares de diseño

Las normativas de construcción, como las del *American Institute of Steel Construction (AISC)*, establecen los lineamientos que deben seguir tanto las uniones soldadas como las apernadas. Estas normativas buscan garantizar la **seguridad estructural** y definen requisitos específicos para asegurar que las uniones cumplan con los criterios de resistencia y durabilidad en diferentes contextos estructurales (AISC, 2017).

2.1.6 Comparativa entre uniones soldadas y apernadas

2.1.6.1 Eficiencia estructural

Como se ha mencionado, las uniones soldadas suelen ser más eficientes en la transferencia de cargas, ya que distribuyen los esfuerzos de manera más uniforme, sin embargo, las uniones apernadas ofrecen una mayor flexibilidad en el diseño y permiten modificaciones futuras.

En estructuras que experimentan cargas cíclicas o dinámicas, las soldaduras pueden ser preferibles, mientras que las uniones apernadas pueden ser más útiles en estructuras que requieren mantenimiento frecuente o modificaciones.

2.1.6.2 Costos

En términos de costos, las uniones soldadas tienden a ser más costosas inicialmente debido al equipo y la mano de obra especializada que requieren. Las uniones apernadas, por otro lado, presentan un costo inicial menor y, en muchos casos, resultan más económicas a largo plazo debido a la facilidad de inspección y mantenimiento (Carlos, 2021).

2.1.6.3 Mantenimiento e inspección

Las uniones soldadas requieren pruebas no destructivas para garantizar su integridad, lo que puede elevar los costos de inspección. Por otro lado, las uniones apernadas permiten una inspección más sencilla y rápida, facilitando su mantenimiento (Bustamante, 2022) .

La inspección y el mantenimiento son factores esenciales para garantizar la seguridad y el desempeño a largo plazo de las estructuras metálicas, en las uniones soldadas, las inspecciones requieren métodos avanzados como ultrasonido, radiografía o líquidos penetrantes para detectar

defectos internos o superficiales (American Welding Society, 2020). Este tipo de inspección puede ser más desafiante y costoso debido a la naturaleza permanente de las uniones soldadas.

También las uniones apernadas permiten una inspección visual directa de los componentes, facilitando la identificación de problemas como pernos flojos, daños por corrosión o deformaciones (Díaz, 2023), las reparaciones en estas uniones suelen ser más sencillas y económicas, ya que permiten el reemplazo de componentes individuales sin afectar significativamente la estructura circundante.

2.1.6.4 Durabilidad y corrosión

En términos de durabilidad, ambas uniones están expuestas a la corrosión si no se protegen adecuadamente. Sin embargo, la facilidad de reemplazo de los componentes apernados les da una ventaja en ambientes corrosivos, donde la exposición prolongada podría dañar permanentemente una soldadura (Merino Mora, 2022).

La durabilidad de las uniones estructurales está influenciada por factores como la exposición ambiental, la corrosión y las condiciones de carga cíclica (Oluwafemi et al, 2021). Las uniones soldadas son más susceptibles a la corrosión en las zonas afectadas por el calor, donde las propiedades del material pueden alterarse, lo que aumenta el riesgo de falla prematura. Para mitigar este problema, se requieren recubrimientos protectores y mantenimiento periódico.

Al contrario de las uniones apernadas suelen ser menos vulnerables a la corrosión en las superficies internas, especialmente si se utilizan materiales o recubrimientos resistentes como acero galvanizado o inoxidable (Ramírez, 2020) pero estas uniones pueden generar impactos ambientales debido al uso de materiales adicionales como pernos y herramientas de fijación.

En términos del ciclo de vida, las uniones apernadas pueden presentar una menor huella ambiental, ya que permiten el desensamblaje y la reutilización de componentes, contribuyendo a la economía circular. Por el contrario, las uniones soldadas suelen ser difíciles de desmantelar, lo que limita su reciclabilidad.

2.1.7 Diseño Estructural y Normativas de Construcción

La diseño estructural y normativas de construcción son aspectos fundamentales para garantizar la seguridad, estabilidad y funcionalidad de cualquier edificación o infraestructura, este proceso no solo considera la resistencia de los materiales y las técnicas de construcción, sino que se basa en un conjunto de normas que varían según el país o región, diseñadas para asegurar que las estructuras resistan las cargas previstas, así como otros factores específicos como sismos, vientos o condiciones climáticas extremas.

Se abordarán los principios y técnicas del diseño estructural con un énfasis en el uso de estructuras. Además, se revisarán las normativas de construcción vigentes en Ecuador que regulan este tipo de edificaciones, asegurando la seguridad y estabilidad de los proyectos de interés social (Toapanta y Troya, 2022).

2.2.Marco Conceptual

Uniones apernadas

Es el sistema o método mediante el cual se unen dos o más componentes de una estructura, permitiendo la transferencia de cargas y fuerzas internas a través de las diferentes partes de esta (Carigliano, 2019).

Las uniones apernadas son uno de los métodos más ampliamente utilizados en la ingeniería estructural y mecánica para unir distintas partes o componentes utilizando pernos. Estas uniones son ampliamente utilizadas debido a su capacidad para soportar cargas significativas, facilidad de ensamblaje y desensamblaje y aplicación general, Son ampliamente utilizadas en ingeniería y construcción debido a su capacidad para soportar diversos tipos de cargas, son ideales para estructuras desmontables y modificables.

Uniones Soldadas

Para Acura (2023) son un método común para unir componentes metálicos en estructuras de acero, tuberías, maquinaria y más. Estas uniones se logran mediante la aplicación de calor y, en ocasiones, un material de aporte, para fusionar las piezas.

Soldadura

Proceso de unión permanente entre piezas metálicas mediante la aplicación de calor y, en ocasiones, presión (Acura, 2023).

Es una técnica esencial en la construcción y reparación de estructuras y equipos ya que permite crear uniones fuertes y continuas.

Proceso de unión de materiales, generalmente metales o termoplásticos, mediante la aplicación de calor, presión, o ambos, para crear una unión sólida. Se utiliza en una amplia variedad de industrias, desde la construcción de estructuras metálicas hasta la fabricación de maquinaria y equipos.

Apernado

Técnica de unión que une piezas mediante elementos mecánicos, como pernos y tuercas, permitiendo ensamblajes y desmontajes rápidos y eficaces (Díaz, 2023).

Unión mecánica utilizado en estructuras y componentes mediante el uso de pernos, tornillos y tuercas, técnica común en ingeniería estructural, construcción, y fabricación, que permite ensamblar piezas de manera resistente y desmontable.

Eficiencia Estructural

La capacidad de una unión para soportar las cargas y fuerzas a las que está sometida la estructura (Salmon, Johnson, & Malhas, 2020).

Es un concepto fundamental en ingeniería y diseño que mide la capacidad de una estructura para ser puesta al servicio aprovechando al máximo el uso de los materiales y los recursos. Una estructura eficiente es la que tiene equilibrio de su resistencia, rigidez, peso y costo.

Software de código abierto Python

Python se usa para realizar análisis estructurales, cálculos de pandeos, análisis sísmico, y diseño estructural de elementos y uniones. Es de acceso libre, donde permite al usuario la programación personalizada totalmente, el alcance es hasta donde los autores prefieran, actualmente es una de las metodologías que más está avanzando.

Permite realizar automatizaciones de partes de trabajos que son repetitivos, o que son aburridas, como extracción de tablas de los análisis, elaboración de reportes, etc. Esto da una gran ventaja ya que ese tiempo que resta se lo puede invertir en partes más interesantes de la

ingeniería, ya que en este caso se está presentando desde la aplicación práctica a la ingeniería estructural.

Es tan potente que se puede interactuar con diferentes compiladores, como visual estudio code, es compatible con Jupyter, etc. Es el futuro, es ahí hacia donde todo se dirige, ya que se está apuntando hacia la interacción con la inteligencia artificial masivamente.

Para poder trabajar en este software se requiere primero conocer el tema que se va estar programando, y segundo conocer las bibliotecas que se necesitan como, por ejemplo: Numpy, SciPy para cálculos numéricos y científicos; Matplotlib para la visualización de datos; Pandas para el manejo y análisis de datos, etc.

Para ilustrar de manera más amplia las diversas aplicaciones que pueden desarrollarse en el ámbito de la ingeniería estructural, se expondrán algunas posibilidades que demuestran cómo la tecnología y la innovación están transformando la profesión, permitiendo mayor precisión, eficiencia y capacidad de análisis en los proyectos.

Automatización del diseño estructural

Una de las áreas con mayor potencial es la automatización del diseño de elementos estructurales, como vigas, columnas y losas. Este proceso permite realizar diseños iterativos y precisos, ajustándose a los parámetros y normativas específicas de cada proyecto. Por ejemplo, mediante algoritmos de optimización, se pueden calcular las dimensiones y refuerzos óptimos para una viga en función de las cargas aplicadas, las limitaciones de servicio y las condiciones de diseño impuestas por códigos como el ACI o la NEC-15.

Además, herramientas basadas en inteligencia artificial y aprendizaje automático están comenzando a utilizarse para predecir comportamientos estructurales y recomendar soluciones

de diseño eficientes, ahorrando tiempo y recursos en el proceso de cálculo. Este enfoque no solo mejora la productividad, sino que también minimiza errores humanos en tareas repetitivas.

Integración con software de análisis estructural

Otra aplicación clave es la integración con software de análisis estructural, como ETABS, SAP2000 y Robot Structural Analysis. La automatización de tareas en estos programas permite a los ingenieros crear modelos estructurales completos de manera más rápida y precisa. Por ejemplo:

- **Creación de modelos automatizados**

A partir de datos de entrada como geometría, materiales y cargas, se puede generar automáticamente el modelo estructural, reduciendo considerablemente el tiempo dedicado a su construcción manual.

- **Extracción de información**

Es posible programar scripts que extraigan resultados específicos, como momentos flectores, fuerzas cortantes o desplazamientos, para análisis posterior. Esto resulta especialmente útil en proyectos que involucran grandes cantidades de datos, como el análisis de respuesta sísmica o estudios de fragilidad estructural.

- **Optimización de procesos repetitivos**

Tareas como la asignación de cargas, la definición de combinaciones de carga y la asignación de refuerzos pueden automatizarse, asegurando consistencia en todo el modelo estructural.

- **Generación automática de planos y detalles constructivos**

La generación automática de planos en AutoCAD es otra área que está revolucionando la ingeniería estructural. Mediante herramientas de programación y diseño paramétrico, se pueden crear planos detallados de estructuras completas, incluyendo plantas, cortes y detalles constructivos, en cuestión de minutos. Esto no solo agiliza el proceso de dibujo, sino que también garantiza que los planos cumplan con los estándares y especificaciones del proyecto.

Por ejemplo, un script puede generar automáticamente las dimensiones de una viga, incluir los detalles de refuerzo necesarios y organizar toda la información en un plano con acotaciones y etiquetas claras. De esta manera, se eliminan errores comunes y se mejora la calidad de la documentación entregada al cliente o a los contratistas.

- **Análisis y visualización de datos estructurales**

El análisis de datos estructurales es una parte fundamental de la ingeniería moderna. Herramientas avanzadas de visualización permiten a los ingenieros interpretar resultados de simulaciones y experimentos de manera más intuitiva. Por ejemplo:

- **Mapas de calor y gráficos tridimensionales**

Estos ayudan a identificar áreas críticas en una estructura, como zonas con mayores esfuerzos o desplazamientos.

- **Seguimiento del desempeño estructural**

En proyectos de monitoreo estructural, se pueden procesar grandes volúmenes de datos obtenidos de sensores para evaluar la salud de una estructura a lo largo del tiempo.

- **Informes automatizados**

Con el uso de lenguajes como Python o MATLAB, se pueden generar informes detallados con gráficos, tablas y conclusiones basadas en los resultados del análisis estructural.

Desarrollo de aplicaciones web para ingeniería estructural

El desarrollo de aplicaciones web es otra tendencia en crecimiento dentro de la ingeniería estructural. Estas aplicaciones permiten a los ingenieros acceder a herramientas de cálculo y diseño desde cualquier lugar, con solo disponer de un navegador web. Algunas aplicaciones posibles incluyen:

- Calculadoras en línea para el diseño de secciones de concreto reforzado o perfiles de acero.
- Herramientas para evaluar cargas sísmicas y generar espectros de diseño personalizados según las normativas locales.
- Plataformas colaborativas donde varios usuarios pueden trabajar simultáneamente en el diseño de una estructura.

Diseño de Uniones Soldadas y Apernadas Precalificadas Según el AISC 358

En el diseño de estructuras de acero, las uniones juegan un papel crucial para garantizar la transmisión adecuada de fuerzas y momentos entre los diferentes elementos estructurales. El **AISC 358-22** proporciona especificaciones para uniones precalificadas diseñadas para sistemas de marcos resistentes a momentos, permitiendo a los ingenieros adoptar configuraciones comprobadas que cumplen con estrictos criterios de desempeño sísmico. Entre estas uniones, destacan:

- **Co (4ES, Chapter 6):** Diseñada para maximizar la capacidad de momento mediante la colocación de bordes engrosados en la sección de la viga, logrando una transferencia eficiente de fuerzas al nodo de la columna.
- **(WUF-W, Chapter 8):** Combina el uso de soldadura y pernos para optimizar la rigidez y ductilidad de la unión, siendo ideal para aplicaciones donde se busca un balance entre facilidad constructiva y desempeño sísmico.

Ambos tipos de uniones están diseñados bajo criterios rigurosos que aseguran su desempeño en condiciones extremas, como terremotos de gran magnitud, y forman parte de sistemas diseñados para disipar energía mediante la deformación plástica controlada en regiones específicas.

Aplicaciones con Python en el Diseño de Uniones

El diseño manual de uniones según el **AISC 358** puede ser un proceso detallado y propenso a errores debido a la gran cantidad de cálculos necesarios. Sin embargo, el uso de Python permite automatizar estos procedimientos, mejorando tanto la precisión como la eficiencia. Algunas aplicaciones específicas incluyen:

1. Cálculo Automático de Resistencias:

Python puede programarse para realizar cálculos iterativos relacionados con la resistencia última a momento, cortante y la capacidad de deformación plástica requerida para cada tipo de unión. Esto incluye:

- Determinación del momento plástico M_p y el momento de diseño M_u en las uniones 4ES y WUF-W.

- Verificación de las tensiones admisibles en los elementos engrosados o las placas de extensión según las especificaciones de soldadura y pernos.

2. Generación de Informes Detallados:

Mediante bibliotecas como **Pandas** y **Matplotlib**, se pueden generar informes automatizados que incluyan tablas y gráficos, mostrando las capacidades de la unión, la demanda impuesta por las combinaciones de carga, y los factores de seguridad obtenidos.

3. Optimización de Materiales:

Utilizando algoritmos de optimización, se puede determinar el espesor óptimo de los bordes engrosados o de las placas de extensión, minimizando el peso de los materiales sin comprometer el desempeño estructural.

4. Validación de Especificaciones Constructivas:

Python puede integrarse con bases de datos de productos comerciales para verificar que los perfiles, pernos y soldaduras especificados cumplan con los requisitos del AISC 358. Esto resulta útil para garantizar que las especificaciones del diseño sean viables en el contexto constructivo.

5. Automatización de Modelos en Software de Análisis:

Scripts en Python pueden generar modelos estructurales en herramientas como ETABS o SAP2000 que incluyan uniones definidas según las características del AISC 358, permitiendo una simulación más precisa de su comportamiento bajo carga.

Beneficios de la Automatización

Automatizar el diseño de uniones 4ES y WUF-W no solo reduce los tiempos asociados con la iteración de diseños, sino que también garantiza que se cumplan todos los requisitos

establecidos por el AISC 358, evitando errores comunes que pueden surgir del cálculo manual. Además, la capacidad de generar reportes dinámicos y modelos listos para análisis facilita la integración entre las etapas de diseño y construcción, promoviendo proyectos más eficientes y seguros.

En resumen, la implementación de herramientas como Python en el diseño de uniones precalificadas según el AISC 358 abre nuevas posibilidades para los ingenieros estructurales, permitiéndoles abordar proyectos con un nivel superior de precisión y control, al mismo tiempo que se adaptan a los estándares más avanzados de la industria.

Impacto en la profesión y el futuro de la ingeniería estructural

Estas aplicaciones no solo facilitan el trabajo diario de los ingenieros estructurales, sino que también están redefiniendo los estándares de calidad y eficiencia en la industria. Al combinar conocimientos técnicos con habilidades en programación y manejo de software especializado, los profesionales de la ingeniería estructural pueden abordar proyectos más complejos y encontrar soluciones innovadoras a los desafíos actuales.

En conclusión, la automatización, la integración de software, la generación de planos, el análisis de datos y el desarrollo de aplicaciones web, diseño de uniones, son solo algunas de las áreas donde la tecnología está transformando la ingeniería estructural. Estas herramientas permiten a los ingenieros enfocarse en aspectos más estratégicos y creativos del diseño, promoviendo la innovación y la sostenibilidad en los proyectos estructurales del futuro.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología se define como una forma de pensar o analizar un tema de investigación, que puede realizarse de dos maneras diferentes, el primero es el nivel práctico, que se centra en trabajos de investigación en el campo de la ciencia, el segundo nivel es la filosofía que se ocupa de pensar sobre los fundamentos epistemológicos que sustentan la ciencia. los métodos de investigación se refieren al estudio de los métodos utilizados en la práctica. (Muñoz, 2019), su estructura de manera que permita evaluar y comparar los diferentes aspectos técnicos, económicos y operativos de las uniones soldadas y apernadas en estructuras metálicas.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se clasifica como investigación descriptiva, el objetivo principal de la investigación descriptiva es explicar las características, historia o propiedades de un grupo, proceso, objeto u otro evento, teniendo como objetivo es recopilar o medir información de forma independiente o colectiva sobre las variables analizadas (Hernandez, 2024).

Entre sus ventajas se destaca que se lleva a cabo mediante la observación y el análisis de datos, que pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos. (Guevara & Verdesoto, 2020)

En esta investigación se utilizarán diversas herramientas de recolección de datos para conocer un punto de comparación de la unión soldada y empernada para evaluar los beneficios de ambos métodos.

3.2 ENFOQUE

La investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para evaluar objetivamente una o varias variables. De acuerdo con (Guevara & Verdesoto, 2020) la observación cuantitativa en la investigación descriptiva se enfoca en la recolección de información que permita medir, cuantificar y establecer relaciones entre diferentes variables del objeto de estudio.

Define Hernández (2024) este tipo de enfoque es fundamental cuando se busca establecer patrones o identificar tendencias que puedan ser analizadas a través de métodos estadísticos.

El análisis de los datos numéricos será esencial para generar conclusiones claras sobre las ventajas y desventajas de cada tipo de unión en términos de eficiencia estructural, costos de instalación y mantenimiento, durabilidad y sostenibilidad ambiental, de esta manera, el enfoque cuantitativo no solo permite obtener resultados precisos.

Se utilizarán herramientas estadísticas como ANOVA o pruebas t para comparar los resultados de resistencia a tracción, compresión y flexión de las uniones soldadas y apernadas.

Se calculará la vida útil de las uniones en función de los resultados obtenidos en los ensayos de fatiga y corrosión.

Se compararán los costos de instalación de las dos técnicas, utilizando el análisis de costos.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

De acuerdo con Córdova (2021) la técnica se refiere a la forma en que se ejecuta y aplica un conjunto de procedimientos en un trabajo investigativo para alcanzar un resultado final. En este proyecto, se utilizará el análisis documental como técnica principal de investigación.

Este enfoque se basa en la observación indirecta del tema de estudio mediante el análisis de registros escritos, como documentos técnicos, normativas, repositorios digitales y literatura especializada, estos recursos servirán como base para la recopilación y análisis de información relevante que permitirá abordar los objetivos de la investigación de manera estructurada y fundamentada.

3.4 METODOLOGÍA

En esta sección se realizará, en primer lugar, una descripción detallada de la estructura, incluyendo sus principales características y el funcionamiento general. Posteriormente, se presentará el modelado estructural utilizando un software especializado en cálculo estructural. A continuación, se llevará a cabo una revisión concisa de los esfuerzos en los elementos estructurales que componen la estructura, con el objetivo de identificar los tipos de elementos que conforman los pórticos. Finalmente, se procederá a realizar los cálculos correspondientes para las uniones estructurales necesarias. En este caso, se considerará una unión precalificada del tipo **“Bolted Stiffened Extended End-Plate” (BSEEP)**, la cual se caracteriza por ser soldada a la viga y apernada al ala de la columna y también la unión soldada tipo **“welded unreinforced flange-welded web (WUF-W) moment connection”**

3.4.1 Ubicación de la estructura

El edificio está destinado a oficinas y será construido para este propósito en las instalaciones de La Fabril, ubicada en la vía Manta-Montecristi, provincia de Manabí.

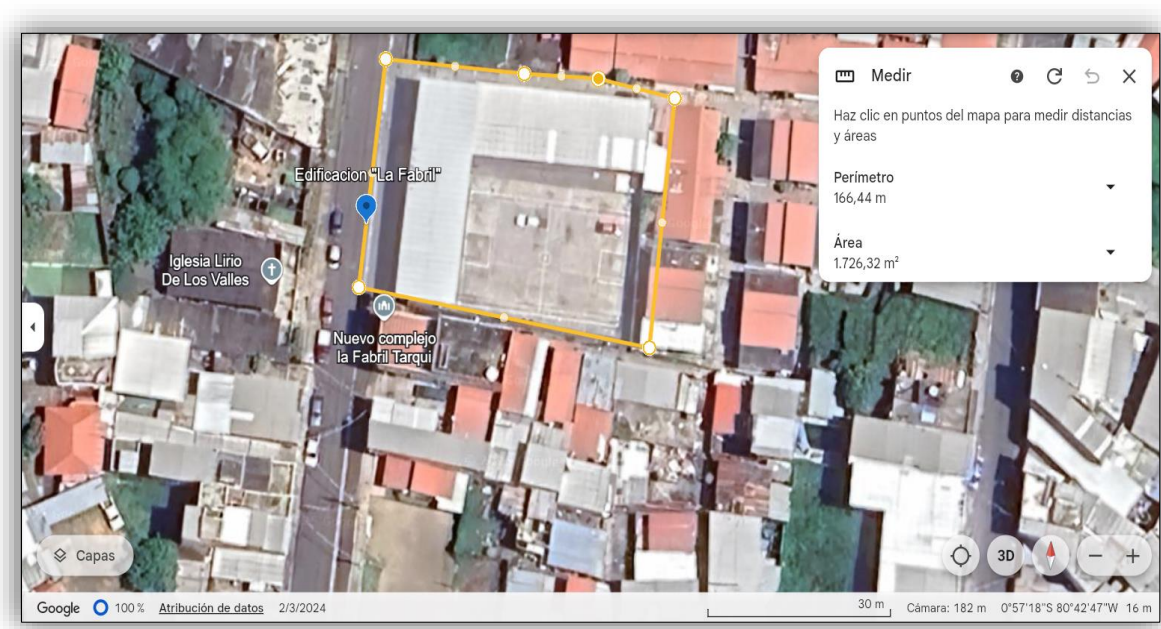


Ilustración 11: Ubicación edificación “La Fabril”

Fuente: Google Maps, 2025

EDIFICACION "LA FABRIL", MANTA-ECUADOR			
Punto	Coordenas		Área m2
	Este	Norte	
1	531807.3	9894482	1726
2	531805.74	9894466.61	
3	531804.68	9894457.64	
4	531805.3	9894441.69	
5	531819.6	9894438.24	
6	531833.32	9894436.84	
7	531841.92	9894433.86	
8	531845.26	9894452.69	
9	531847.6	9894477.86	
10	531827.45	9894479.82	

Ilustración UTM: Ubicación edificación “La Fabril”

Fuente: Google Maps, 2025

3.4.2 Descripción de la estructura en análisis

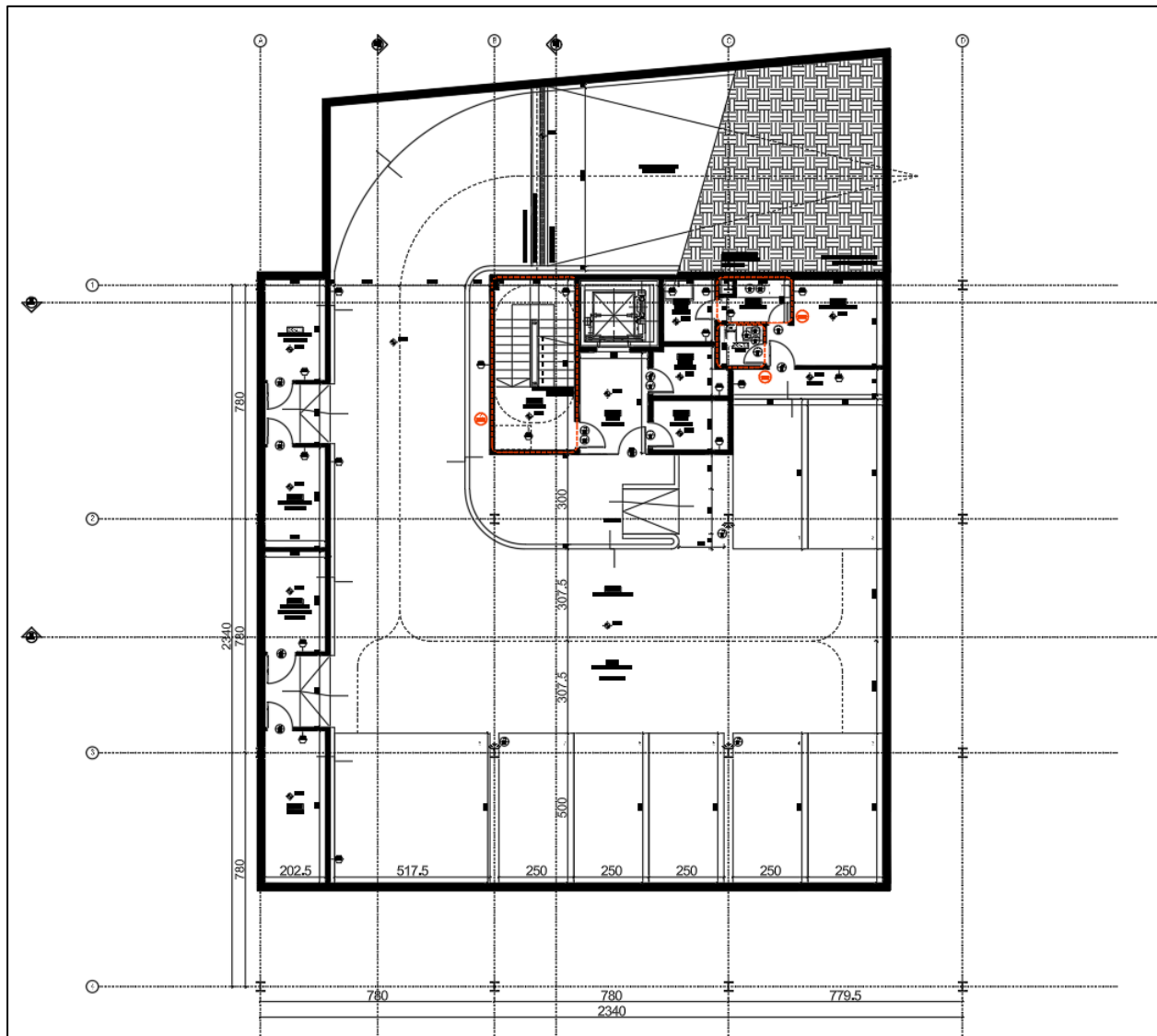


Ilustración 12: Sótano, Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

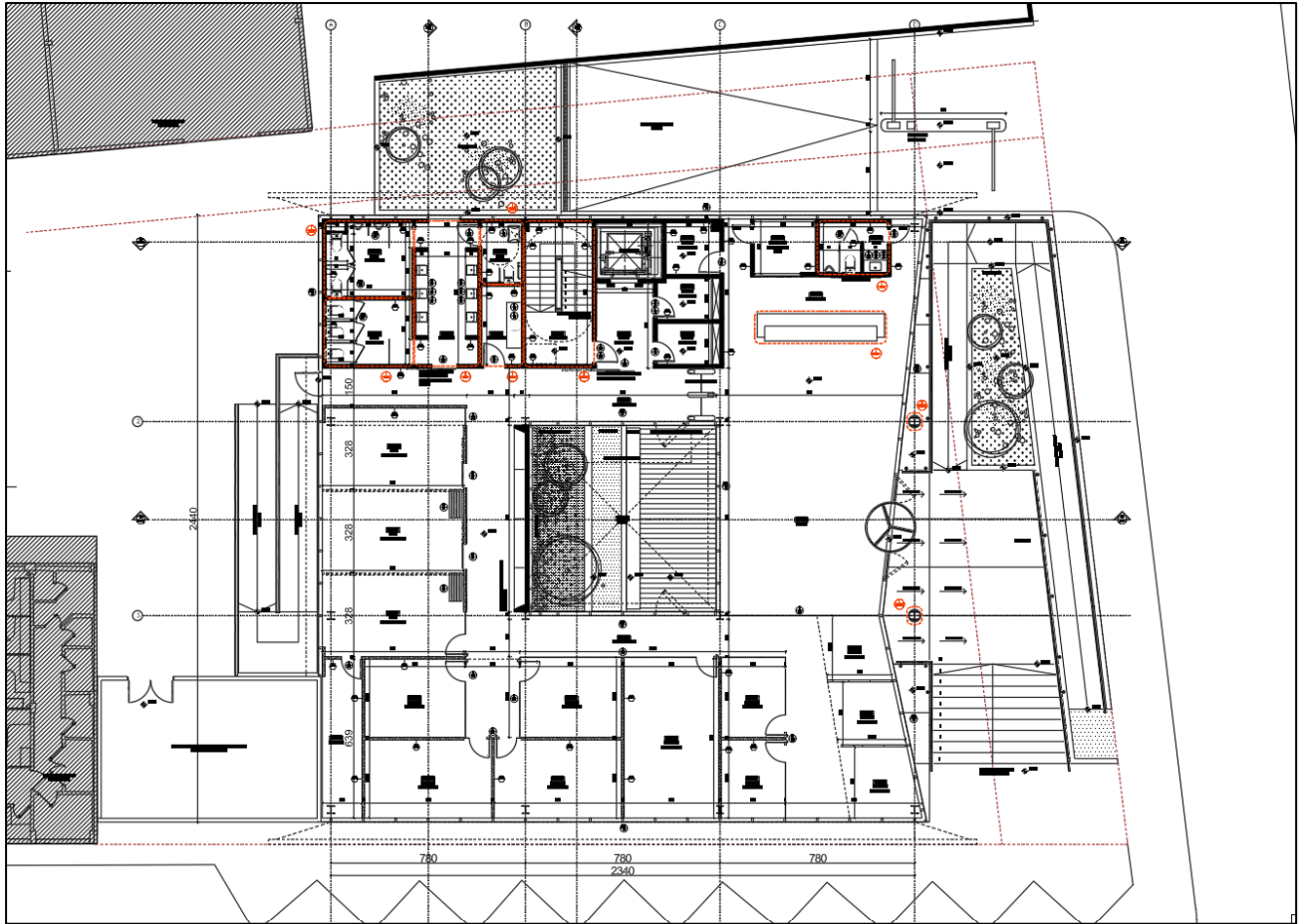


Ilustración 13: Planta baja arquitectónica - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

La estructura incluye un sótano que se destinará a estacionamientos, cuartos para equipos técnicos eléctricos y sanitarios, depósitos para reciclaje de residuos, bodegas, un ascensor, y un área para conductores. Además, cuenta con dos losas de entrepiso que albergarán oficinas, áreas de secretarías, salas de reuniones, zonas de espera y un espacio central abierto que conecta con un patio interior. Finalmente, se contempla una planta de techos con una losa de terraza accesible.

Las alturas de entrepiso son de 3.60 metros, mientras que, para las pérgolas de la terraza, la altura es de 3.36 metros.

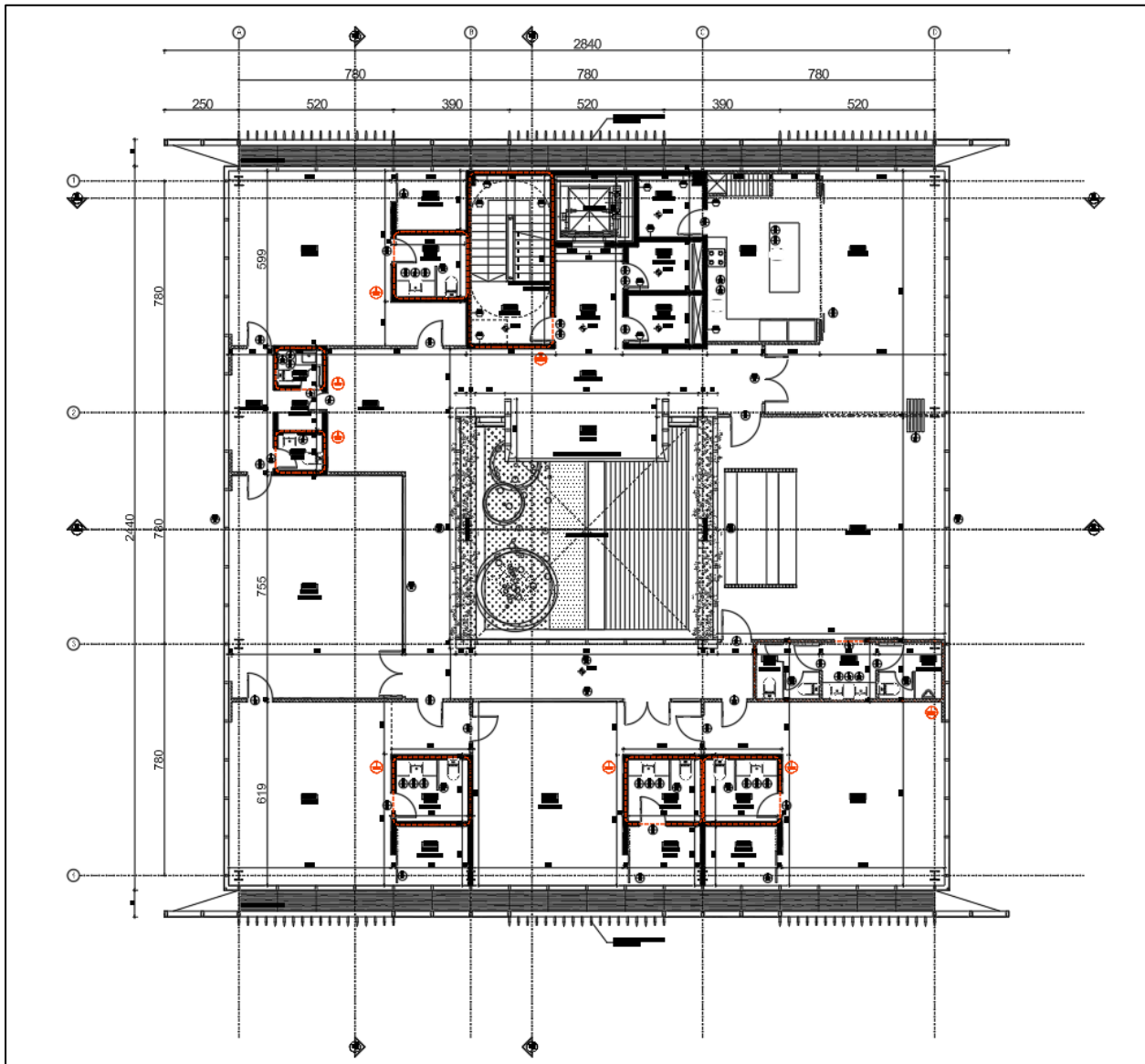


Ilustración 14: Losa de entepiso Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Las losas de entepiso son losas tipo, para ambos niveles de entepiso.

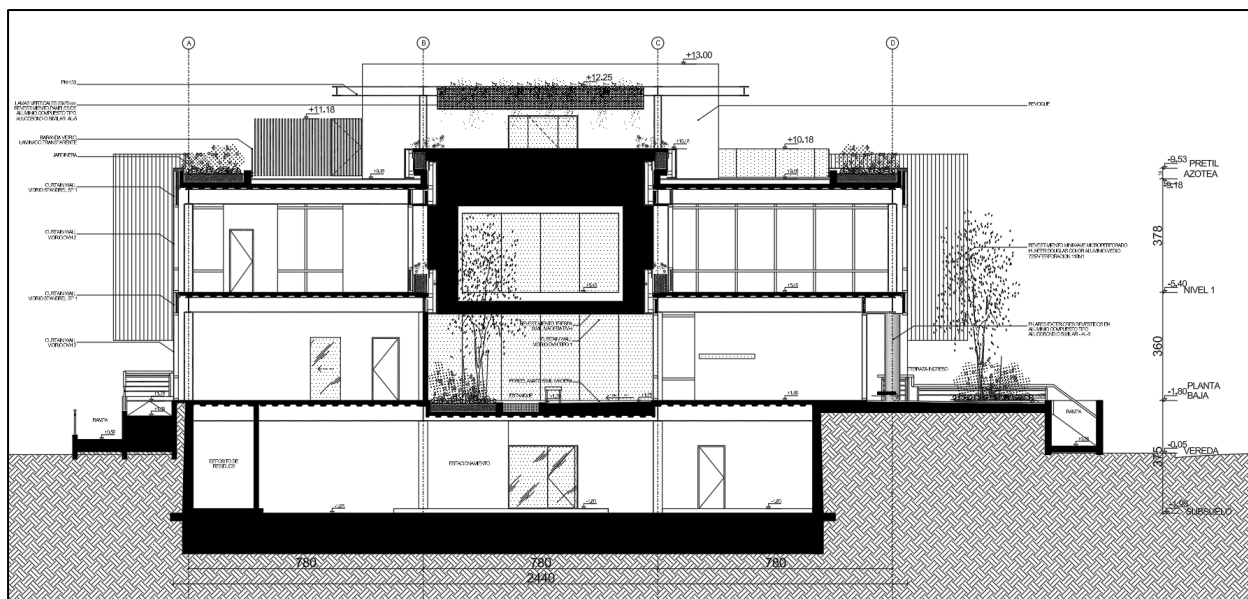


Ilustración 15: Elevación - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

En la ilustración de elevación se presenta una vista destacada que permite apreciar el sótano, las losas de entrepiso y la configuración de la cubierta. Asimismo, se resaltan las dimensiones principales de la estructura.

3.4.3 Modelado de la estructura

La modelación tridimensional de la estructura es un paso fundamental, ya que requiere una definición precisa de la disposición de los pilares, las distancias entre columnas, las alturas de los niveles, el número de pisos y los servicios correspondientes a cada área. A continuación, se presentan las ilustraciones del modelo matemático desarrollado.

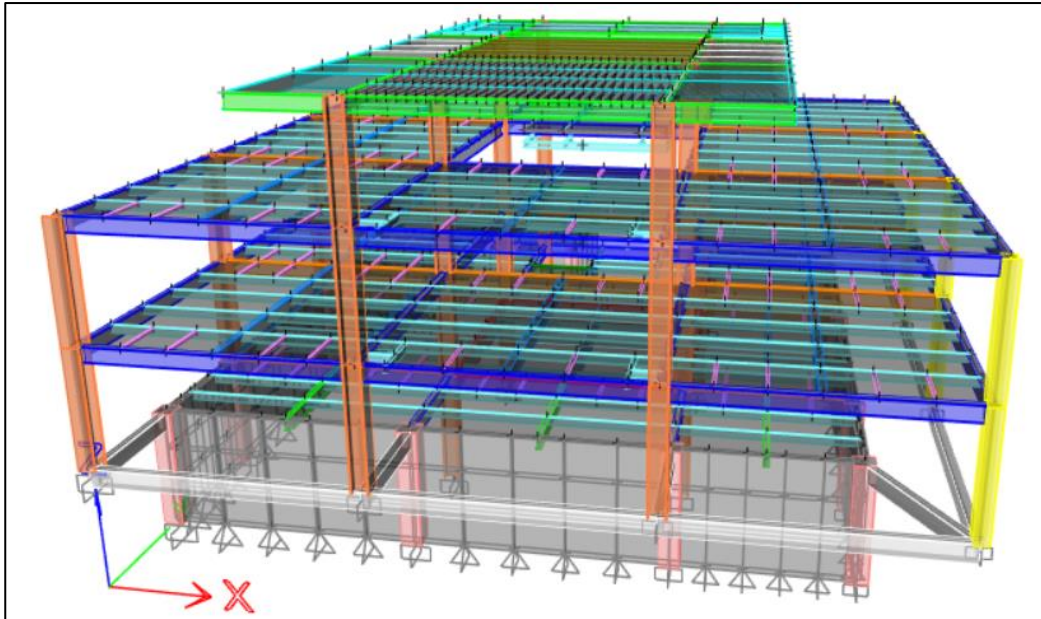


Ilustración 16: Modelo tridimensional de la estructura Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

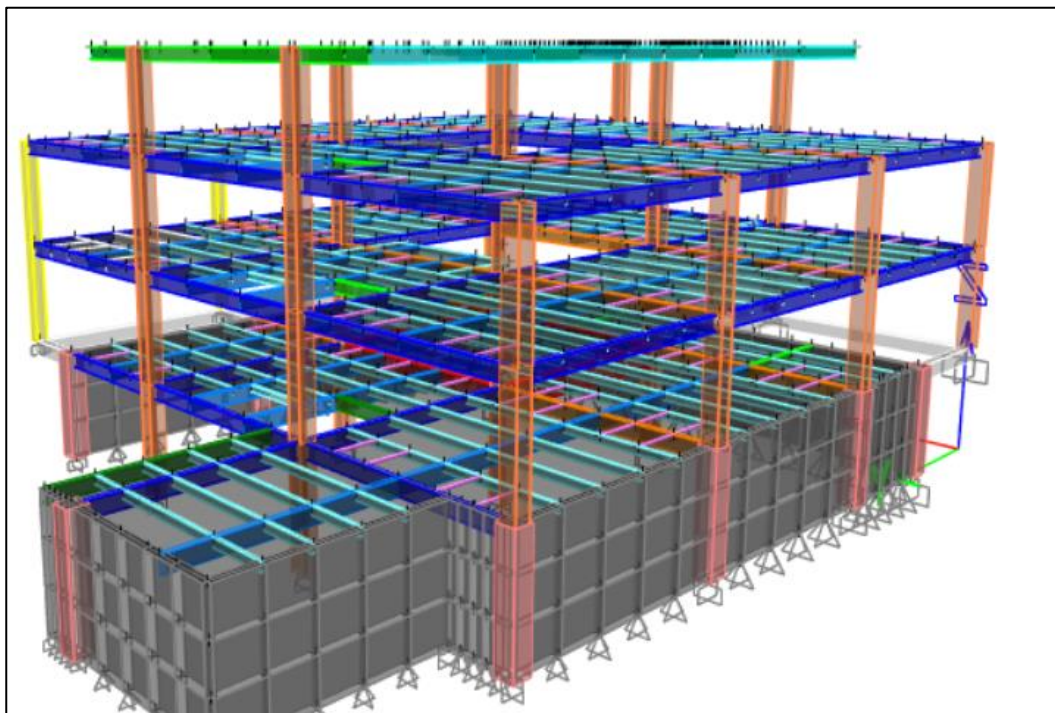


Ilustración 17: Modelo tridimensional de la estructura - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

A continuación, se presentan las plantas correspondientes a la planta baja y a las losas de entrepiso. Esto permite visualizar de manera más clara los elementos estructurales que requieren unión, con un enfoque específico en las vigas que deben unirse a las columnas de sección tipo "I". Destacando que solamente los nervios serán conectados a corte, las demás todos los pórticos son a momento.



Ilustración 18: Planta baja - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Material Property Data

General Data

Material Name: ASTM A572Gr50

Material Type: Steel

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Color Selection] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.00785 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000008 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2038901.92 kgf/cm²

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Shear Modulus, G: 784193.04 kgf/cm²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK Cancel

Ilustración 20: Material Acero GR50 - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Todos los perfiles son grado A50 para los elementos estructurales.

3.4.5 *Análisis y diseño breve de los elementos estructurales.*

En esta sección se presenta un análisis preliminar del comportamiento de la estructura y de los elementos metálicos que la conforman. El objetivo es verificar que el sistema funcione

correctamente, asegurando que los esfuerzos se encuentren dentro de los límites admisibles y que las deflexiones cumplan con los requisitos normativos. Una vez completada esta verificación, se podrá proceder con los objetivos de esta tesis en sí, que es las uniones.

El diseño de las uniones metálicas precalificadas requiere determinar los cortantes gravitacionales, obtenidos a partir de las combinaciones de cargas gravitacionales, los cuales se suman al cortante probabilístico, también conocido como cortante hiperestático, generado por la sección de cada viga. En las ilustraciones siguientes se presentan los valores de los cortantes para ejes representativos, que serán utilizados posteriormente en el diseño detallado de las uniones metálicas.

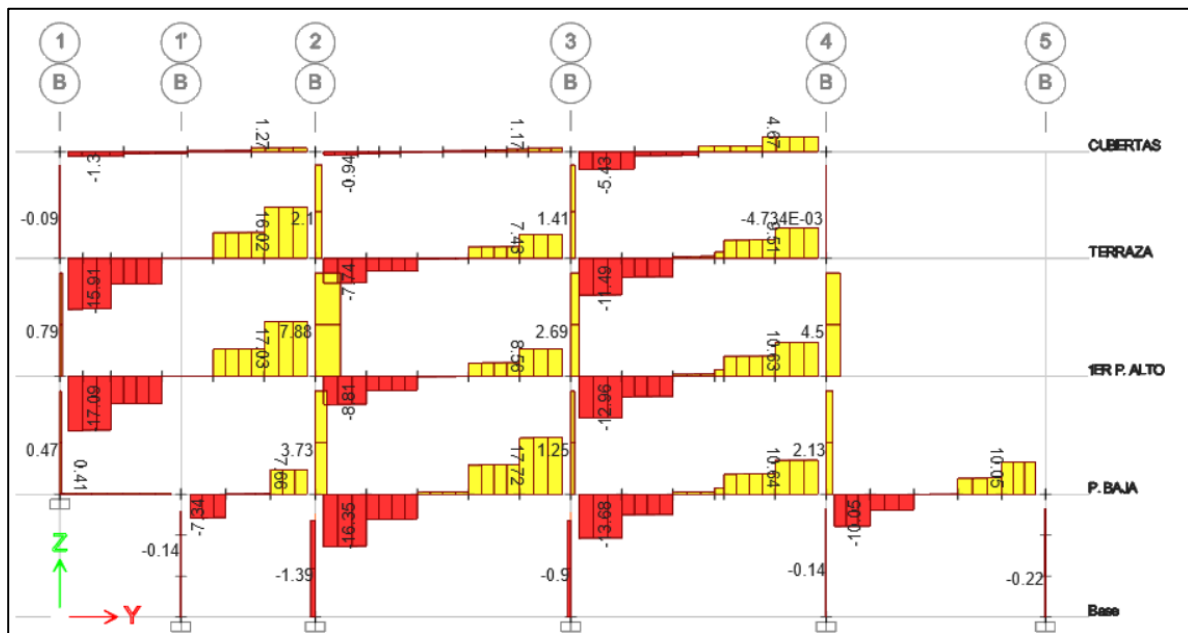


Ilustración 21: Cortantes $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$ Eje B - Edificación "La Fabril"

Elaboración: Elaborado por los autores.

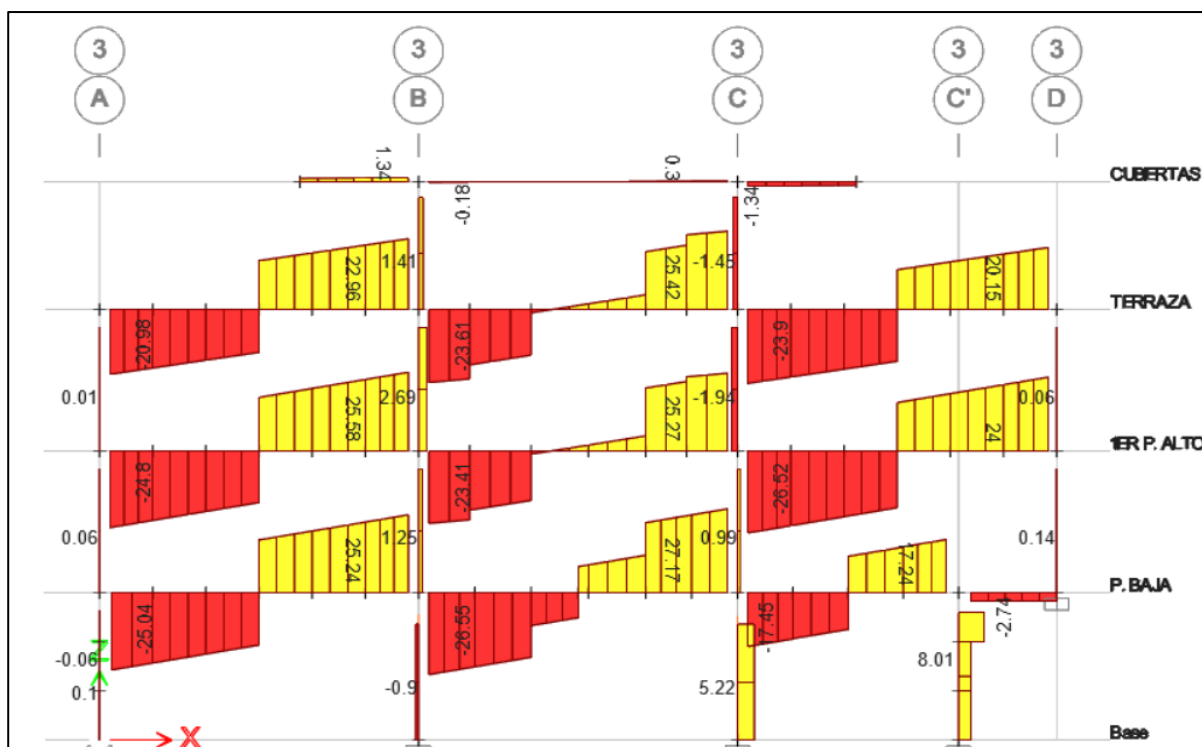


Ilustración 22: Cortantes $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$ Eje 3 - Edificación "La Fabril"

Elaboración: Elaborado por los autores.

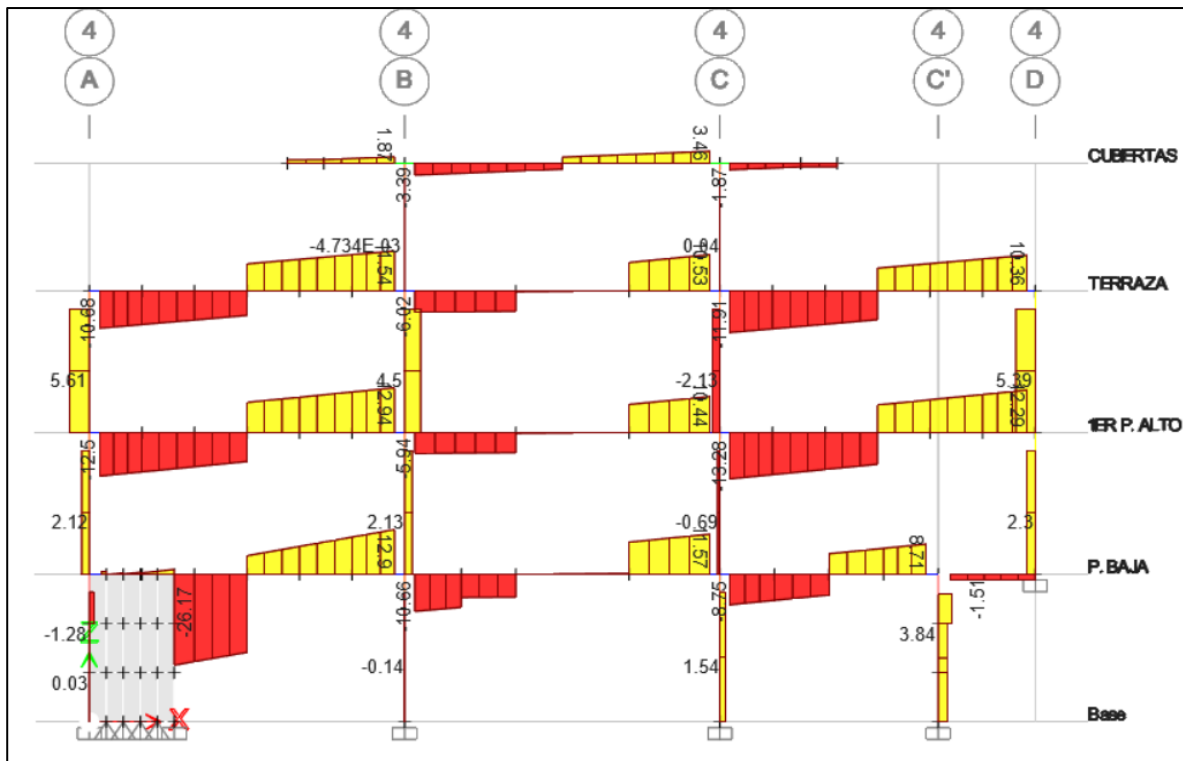


Ilustración 23: Cortantes 1.2*D + 1.6*L Eje 4 - Edificación "La Fabril"

Elaboración: Elaborado por los autores.

La siguiente ilustración presenta el diseño y la verificación de cada uno de los elementos estructurales que conforman los pórticos. El objetivo es demostrar que estos elementos funcionan correctamente y cumplen con los requisitos de capacidad. Además, aunque no se incluye en esta sección, se ha realizado internamente la verificación de rigidez, asegurando que las deformaciones se encuentran dentro de los límites admisibles.

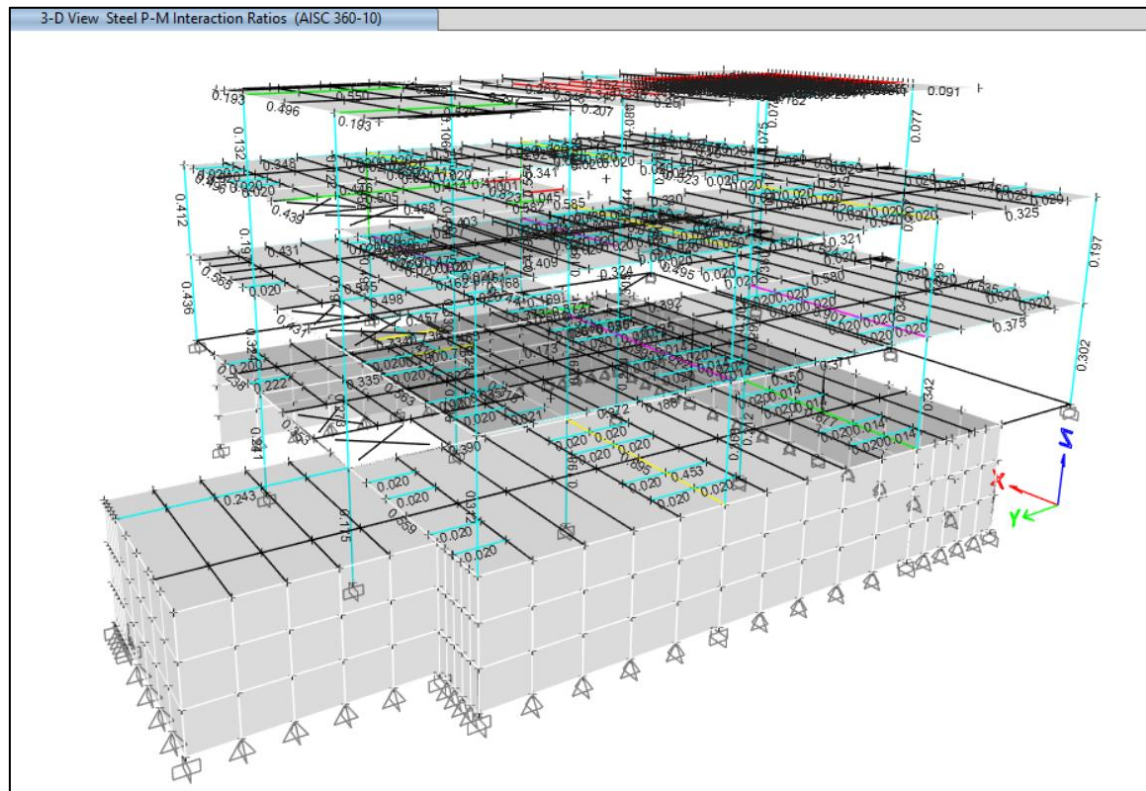


Ilustración 24: Verificación del diseño de los elementos metálicos - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Como se aprecia en la ilustración los elementos están dentro de las ratios permisibles cumpliendo por resistencia y rigidez, se puede continuar con el siguiente paso, que es las uniones.

2.1.1 *Diseño de uniones precalificadas soldada apernada*

En las siguientes plantas se puede apreciar que son tres tipos de vigas conectadas a momento, por lo tanto, en los diseños se presenta tres tipos de uniones para todos los pisos que se tienen: planta baja, planta alta 1, planta alta 2 y cubierta.



Ilustración 25: Planta baja - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Se presenta las vigas a momento que se van a conectar:

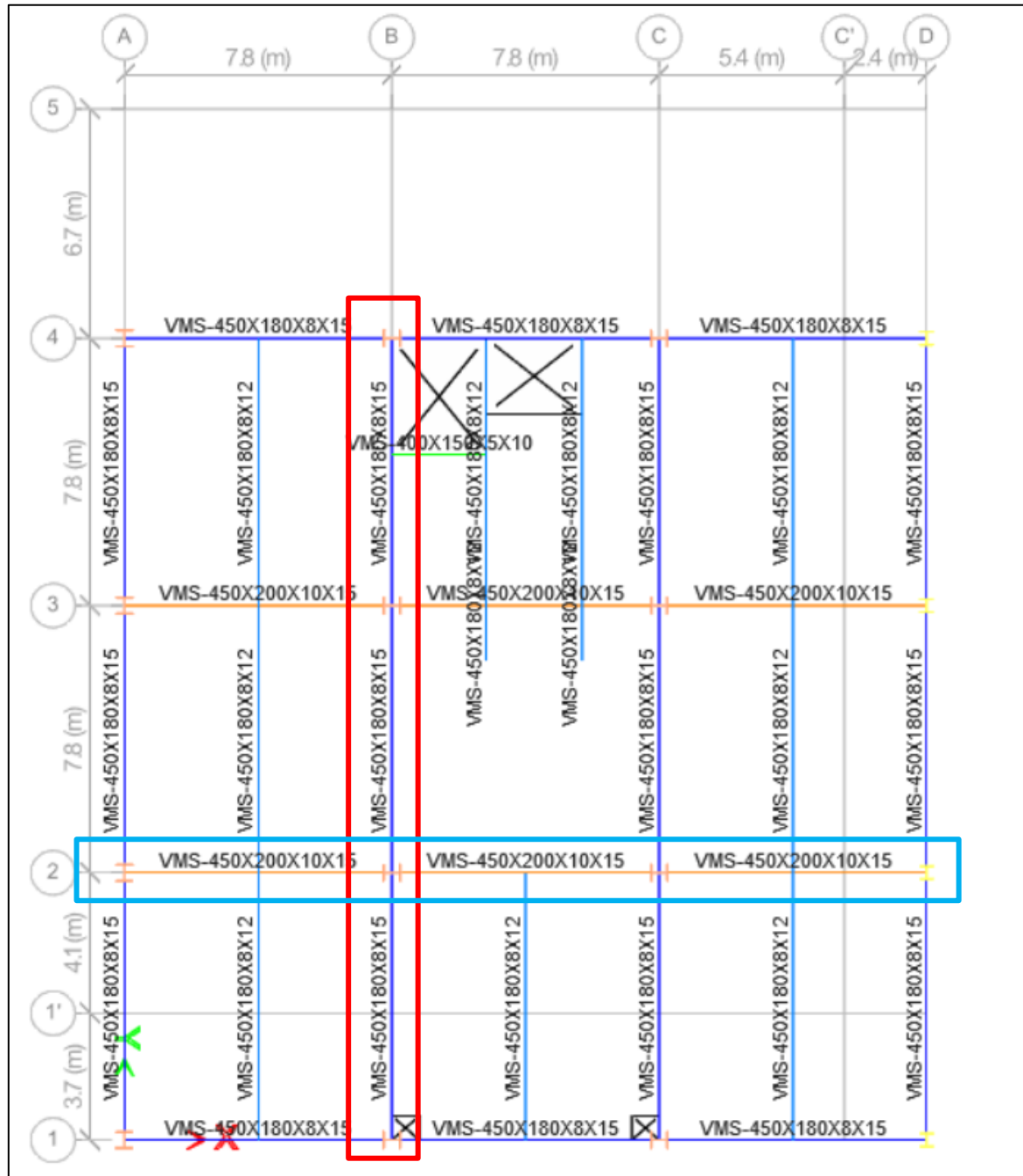


Ilustración 26: Planta alta 1 Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Se presenta las vigas a momento que se van a conectar:

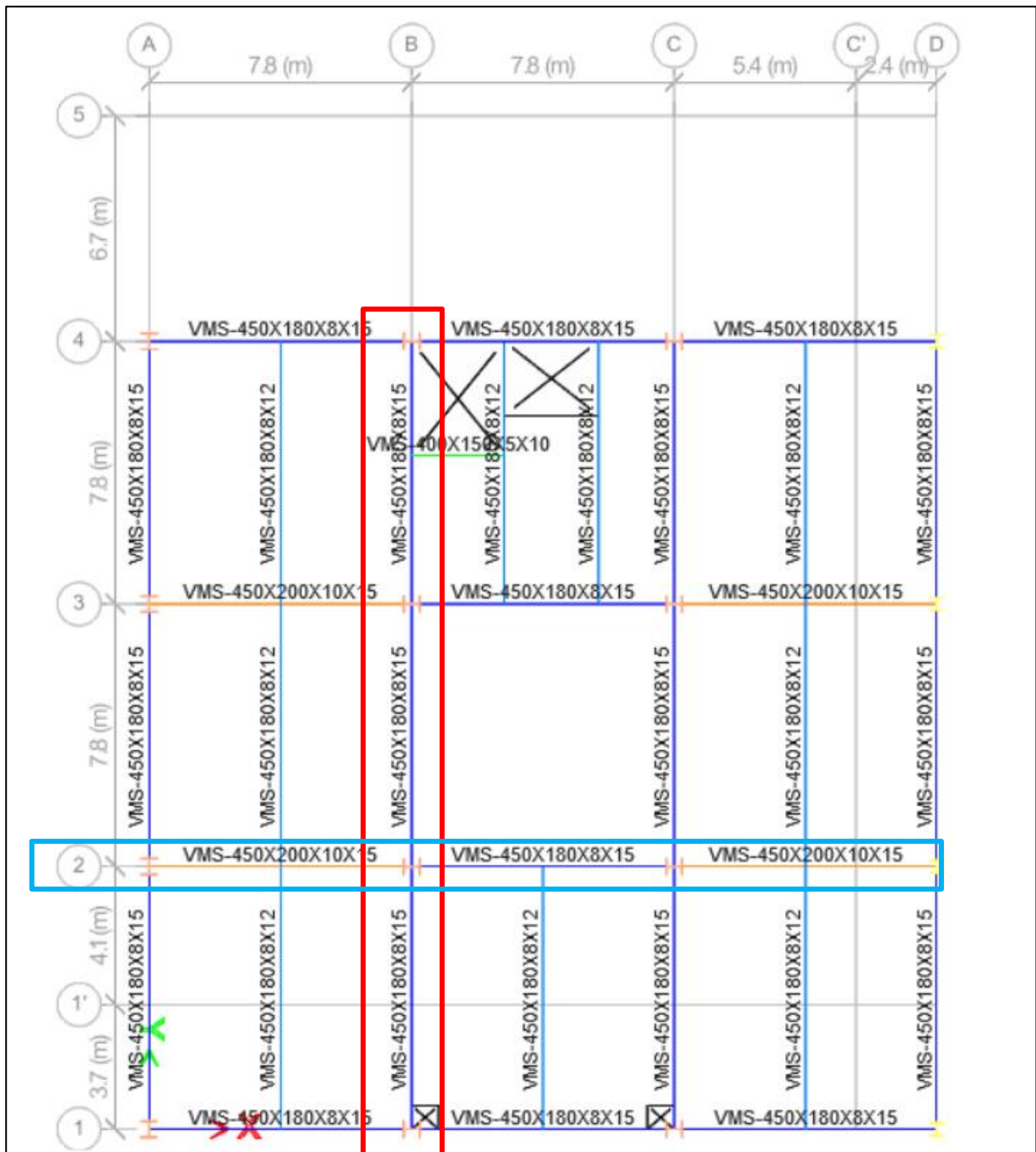


Ilustración 27: Planta terraza - Edificación “La Fabril”

Elaboración: Elaborado por los autores.

Para despejar cualquier duda, se va a mostrar los ejes en elevación también:

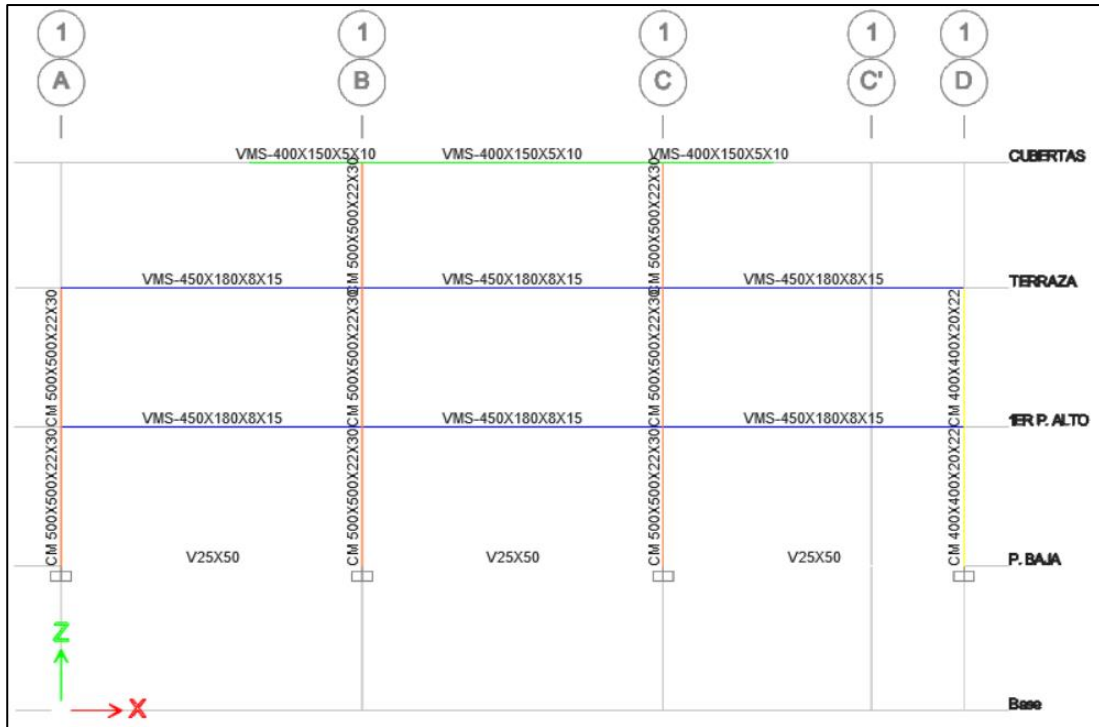


Ilustración 28: Eje 1 Edificación “La Fabril”
Elaboración: Elaborado por los autores

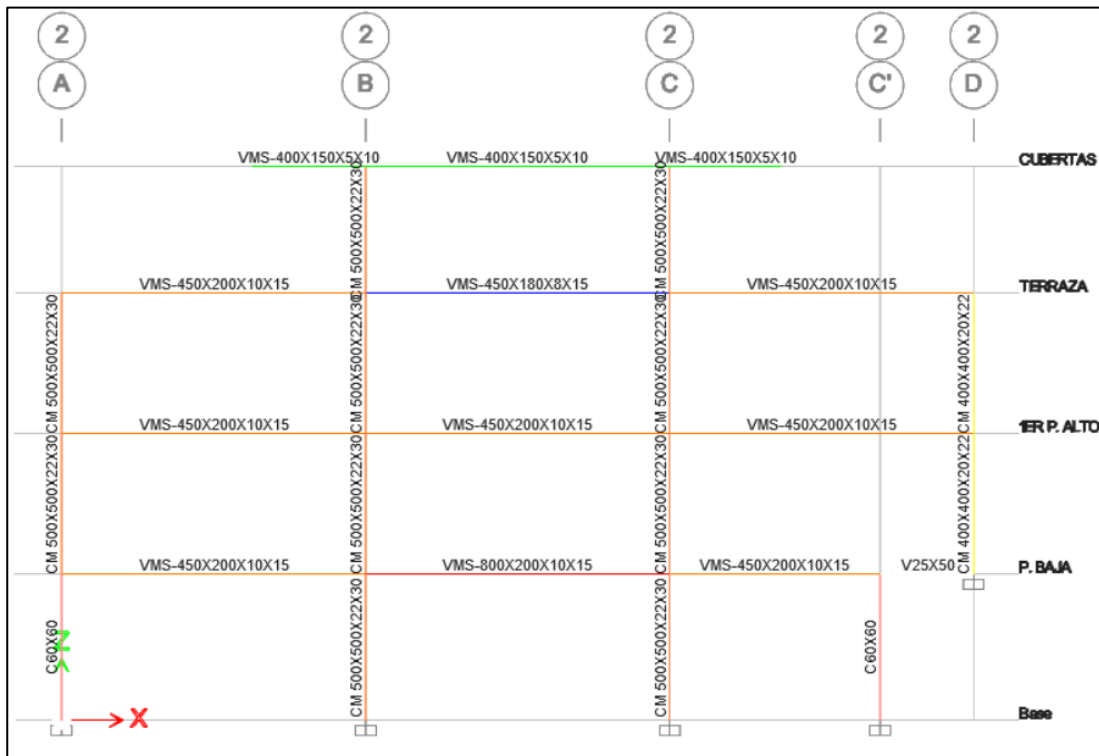


Ilustración 29: Eje 2 Edificación “La Fabril”
Elaboración: Elaborado por los autores

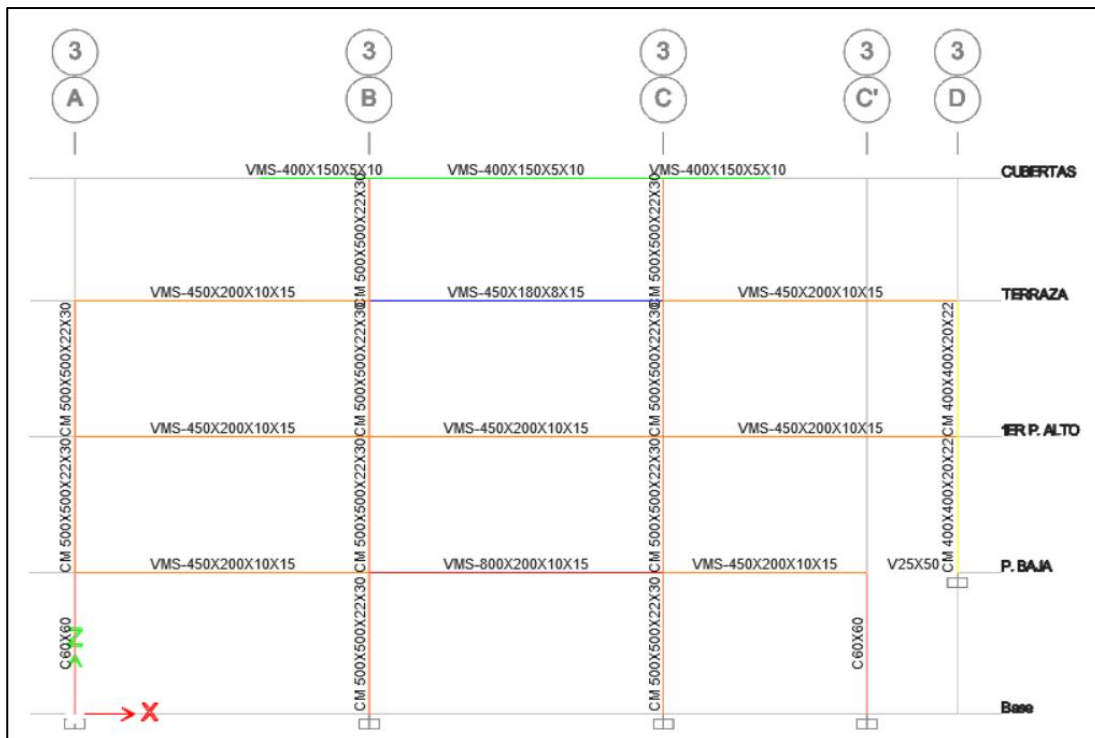


Ilustración 30: Eje 3 Edificación “La Fabril”
Elaboración: Elaborado por los autores



Ilustración 31: Eje 4 Edificación “La Fabril”
Elaboración: Elaborado por los autores

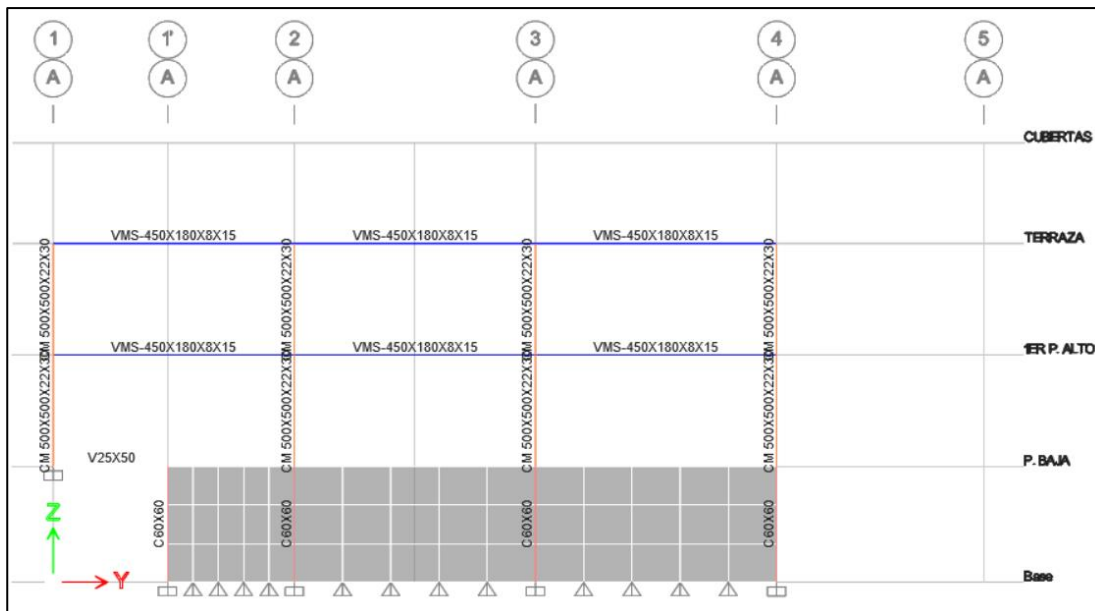


Ilustración 32: Eje A Edificación "La Fabril"
Elaboración: Elaborado por los autores

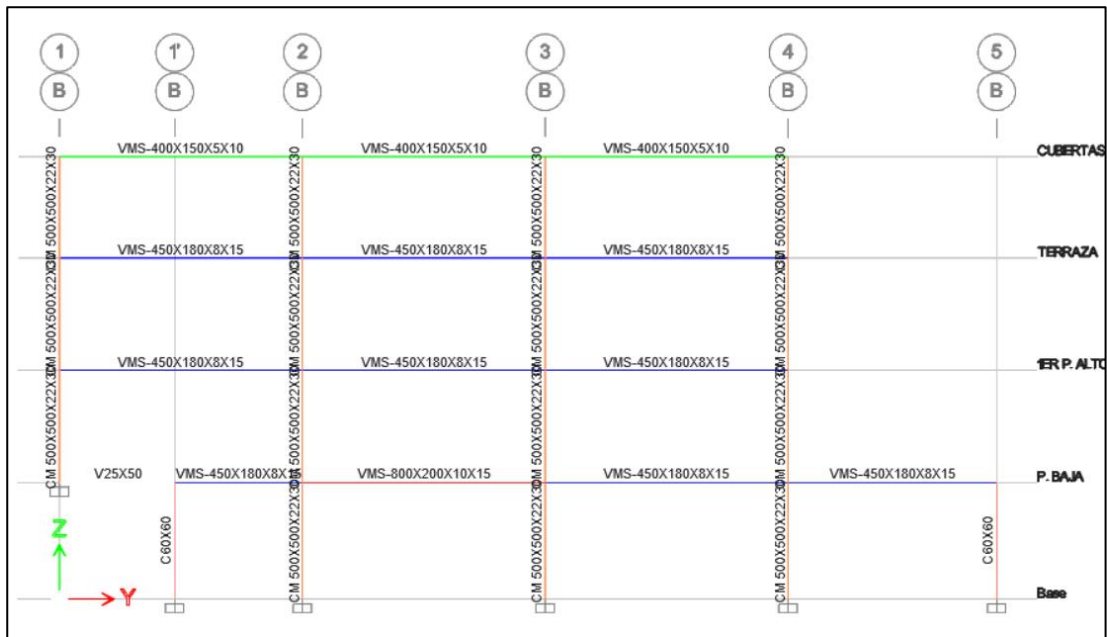


Ilustración 33: Eje B Edificación "La Fabril"
Elaboración: Elaborado por los autores

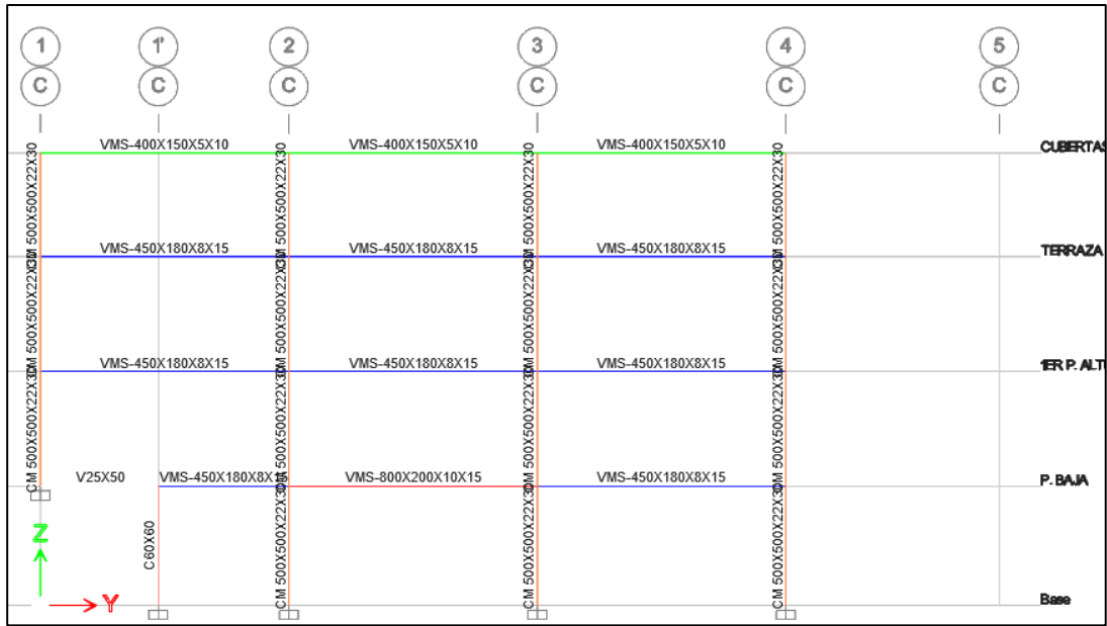


Ilustración 34: Eje C Edificación "La Fabril"
Elaboración: Elaborado por los autores

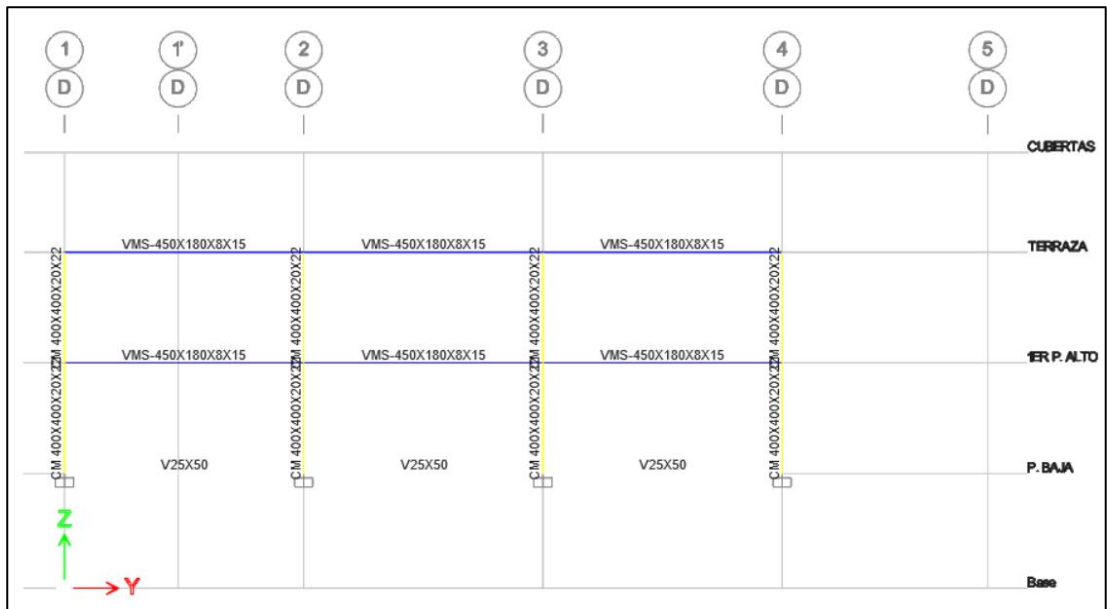


Ilustración 35: Eje D Edificación "La Fabril"
Elaboración: Elaborado por los autores

Se presenta tres tipos de diseño de uniones, debido a que son tres tipos de vigas que se van a conectar: VM1 450X200X10X15; VM2 450x180x8x15; VM3 400X150X5X10. Se incluyen los detalles geométricos a escala de cada unión, especificando los diámetros de los pernos, las características técnicas de los mismos y el material de las placas, el cual es acero **GR50**. Asimismo, se describen los espesores de las placas, el uso de pernos tipo **A490** y los detalles del rigidizador necesario para cada unión.

La unión que se plantea consiste en una placa final soldada a la viga con agujeros para colocar los pernos que conectaran con el ala de la columna. Existen requerimientos detallados para cada una de estas partes de la unión dados en el AISC 358 capítulo 6.

- Todas las **vigas VM: 450x200x10x15** que se conectan a columnas CM: 500X500X22X30 se deberán aplicar esta unión precalificada, con rigidizador.

Datos de viga

Distancia de la localización de la rótula plástica (L_h): 7.80m

Diámetro nominal del perno (d_b) = 450mm

Ancho del ala de la viga (b_{bf}) = 200mm

Espesor del alma de la viga (t_{wf}) = 10mm

Espesor del ala de la viga (t_{bf}) = 15mm

Módulo plástico de la viga respecto del eje x (Z_{xb}) = 1746 cm³

Datos de columna

Altura de la columna (d_c) = 500mm

Ancho del ala de la columna (b_{cf}) = 500mm

Espesor del alma de la columna (t_{wc}) = 22mm

Espesor del ala de la columna (t_{cf}) = 30mm

Módulo plástico de la columna con respecto a x (Z_{xc}) = 8114.8mm

Otros datos

Factor mínimo de sobre resistencia (R_y)

$$R_y = 1.2 \text{ (Tabla A3.2 AISC 341 22)}$$

Esfuerzo de fluencia (F_y)

$$F_y = 3515.34 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo último (F_u)

$$F_u = 4569.95 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensión nominal a tracción del perno (F_{nt}) (Tabla J3.2 AISC 360 22)

$$F_{nt} = 7953 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo cortante nominal del perno (F_{nv})

$$F_{nv} = 4792.6 \text{ kgf/cm}^2$$

Fuerza cortante de la viga (V_g) de la fórmula $1.2 \times D + 1.6 \times L$

$$(V_g) = 26 \text{ ton}$$

Altura del rigidizador (h_{st}) = 90mm

Espesor de placa de conexión (t_p) = 25mm

Ancho de la placa final (b_p) = 210mm (minimo 180mm)

$g = 110 \text{ mm}$ (minimo 80mm)

Distancia al borde del perno (d_e) = 45mm

Distancia vertical entre la parte externa del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fo})

$$p_{fo} = 45 \text{ mm} \text{ (minimo 44mm)}$$

Espesor del ala de la viga (t_{bf}) = 15mm (minimo 10mm)

Distancia vertical entre la parte interna del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fi})

$$p_{fi} = 45 \text{ mm} \text{ (minimo 44mm)}$$

$$h_1 = 487 \text{ mm} \text{ (minimo 388mm)}$$

$$h_2 = 383mm \text{ (minimo } 290mm)$$

$$Diametro de perno (d_p) = 25mm$$

Procedimiento

Paso 1

Factor de resistencia pico en la conexión (C_{pr}) de la tabla (2.4-2) AISC 358

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = \frac{(3515.34 \text{ kgf/cm}^2) + (4569.95 \text{ kgf/cm}^2)}{2(3515.34 \text{ kgf/cm}^2)} \leq 1.2$$

$$C_{pr} =$$

Momento probable de la viga (M_{pr}) usando la ecuación de la tabla (2.4-1) AISC 358

$$M_{pr} = C_{pr} \times R_y \times F_y \times Z_{xb}$$

$$M_{pr} = 1.2 (1.2 \times 3515.34 \text{ kgf/cm}^2 \times 1746 \text{ cm}^3) / 10^5$$

$$M_{pr} = 84.70$$

Paso 2

Longitud requerida para el rigidizador (L_{ST})

$$L_{ST} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = \frac{90mm}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = 155.88mm$$

Distancia desde el centro de la bisagra de plástico al centro de la columna (S_h)

$$S_h = L_{ST} + t_p$$

$$S_h = 155.88 + 25mm$$

$$S_h = 180.88mm$$

Paso 3

Cortante de demanda de la tabla (2.1-3) AISC 358 (V_h)

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

$$V_h = \frac{2(84.70)}{7.80m} + 17ton$$

$$V_h = 47.71ton$$

Paso 4

Momento máximo probable en la cara de la columna (M_f)

$$M_f = M_{pr} + V_h \times S_h$$

$$M_f = 84.70 + 47.71ton \times 180.88mm/100$$

$$M_f = 8.71$$

Paso 5

Se elige el tipo de conexión, que en este caso en la 4ES

Paso 6

Para conexión de cuatro pernos (4ES) se utiliza la ecuación (6.7-3) AISC 358

Diámetro requerido para la conexión (d_{b_req})

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi\phi_n \times F_{nt} (h_1 + h_2)}}$$

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2(8.71)}{(3.1416 \times 0.9) \times 7953 \frac{kgf}{cm^2} (487mm + 383mm)}} \times 10$$

$$d_{b_req} = 30.88mm$$

Paso 7

De la tabla J3.3 AISC 360 22 se adopta un diámetro de

$$\left[\frac{1}{2}; \frac{5}{8}; \frac{3}{4}; \frac{7}{8}; 1; 1\frac{1}{8} \right] in$$

Diámetros en mm

$$12.70mm; 15.88mm; 19.05mm; 22.23mm; 25.40mm; 28.58mm$$

Paso 8

Espesor de placa de conexión

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{ Nota: si } p_{fi} > s, \text{ usar } p_{fi} = s$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{210mm \times 110mm}$$

$$s = 77.99$$

De la tabla 6.3 AISC 358 22 usamos el caso 1 ($d_e \leq s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2d_e} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(d_e + p_{fo})]$$

$$Y_p = \frac{210mm}{2} \left[383mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{77.99} \right) + 487mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{2(45)} \right) \right] + \frac{2}{110mm} [383mm(45mm + 77.99) + 487mm(45mm + 45mm)]$$

$$Y_p = 4766.82 \text{ mm}$$

De la tabla 6.3 AISC 358 22 usamos el caso 2 ($d_e > s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(s + p_{fo})]$$

$$Y_p = \frac{210mm}{2} \left[383mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{77.99} \right) + 487mm \left(\frac{1}{77.99} + \frac{1}{45mm} \right) \right] + \frac{2}{110} [383mm(45mm + 77.99) + 487mm(77.99 + 45mm)]$$

$$Y_p = 5146.78$$

Espesor requerido de la placa (t_{p_req})

$$t_{p_req} = \sqrt{\frac{1.11 \times M_f}{\phi_d \times F_y \times Y_p}}$$

$$t_{p_req} = \sqrt{\frac{(1.11 \times 8.71) \times 10^5}{0.9 \times 2549 \frac{kgf}{cm^2} \times 4766.82}}$$

$$t_{p_req} = 2.62cm$$

Paso 9

Adoptar un espesor mayor al calculado

Paso 10,11,12

Solo se usa para 4E

Paso 13

$$t_s = t_{wf} \times \frac{F_y}{F_y}$$

$$t_s = 10 \times \frac{3515.34 \frac{kgf}{cm^2}}{3515.34 \frac{kgf}{cm^2}}$$

$$t_s = 10$$

Paso 14,15

Es el mismo valor de V_h el cual es 31.37ton

Paso 16

Área bruta nominal del perno A_b

$$A_b = \sqrt{\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_p}{10}\right)}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{3.14}{4} \times \left(\frac{25mm}{10}\right)}$$

$$A_b = 1.40$$

Cortante proporcionado por cuatro pernos

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times F_{nv} \times A_b}{1000}$$

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times 4792.6 \frac{kgf}{cm^2} \times 1.40}{1000}$$

$$V_u = 70.57ton$$

Resistencia r_{ni} a desgarre en placa

$$r_{ni} = 1.2 \times l_c \times F_u < 2.4d_b \times F_u$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((d_e/10) - d_p/10/2 \right) \times t_p/10 \times F_u < 2.4 \times d_p/10 \times t_p/10 \times F_u \times 2 / 1000$$

$$\begin{aligned} r_{ni} &= 1.2 \times \left((45mm/10) - 25mm/10/2 \right) \times 25mm/10 \times 4070 \frac{kgf}{cm^2} \\ &< 2.4 \times 25mm/10 \times 25mm/10 \times 4070 \frac{kgf}{cm^2} \times 2 / 1000 \end{aligned}$$

$$r_{ni} = 89.11$$

- Todas las **vigas VM: 450x180x8x15** que se conectan a columnas CM: 500X500X22X30 se deberán aplicar esta unión precalificada, con rigidizador.

Para la Viga VM: 450X180X8X15

Datos de viga

Distancia de la localización de la rótula plástica (L_h): 7.80m

Diámetro nominal del perno (d_b) = 450mm

Ancho del ala de la viga (b_{bf}) = 180mm

Espesor del alma de la viga (t_{wf}) = 8mm

Espesor del ala de la viga (t_{bf}) = 15mm

Módulo plástico de la viga respecto del eje x (Z_{xb}) = 1527.3 cm³

Datos de columna

Altura de la columna (d_c) = 500mm

Ancho del ala de la columna (b_{cf}) = 500mm

Espesor del alma de la columna (t_{wc}) = 22mm

Espesor del ala de la columna (t_{cf}) = 30mm

Módulo plástico de la columna con respecto a x (Z_{xc}) = 8114.8mm

Otros datos

Factor mínimo de sobre resistencia (R_y)

$$R_y = 1.2 \text{ (Tabla A3.2 AISC 341 22)}$$

Esfuerzo de fluencia (F_y)

$$F_y = 2549 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo último (F_u)

$$F_u = 4070 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensión nominal a tracción del perno (F_{nt}) (Tabla J3.2 AISC 360 22)

$$F_{nt} = 7953 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo cortante nominal del perno (F_{nv})

$$F_{nv} = 4792.6 \text{ kgf/cm}^2$$

Fuerza cortante de la viga (V_g) de la fórmula $1.2 \times D + 1.6 \times L$

$$(V_g) = 17 \text{ ton}$$

$$\text{Altura del rigidizador } (h_{st}) = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de placa de conexión } (t_p) = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho de la placa final } (b_p) = 210 \text{ mm (minimo 180 mm)}$$

$$g = 110 \text{ mm (minimo 80 mm)}$$

$$\text{Distancia al borde del perno } (d_e) = 45 \text{ mm}$$

Distancia vertical entre la parte externa del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fo})

$$p_{fo} = 45 \text{ mm (minimo 44 mm)}$$

$$\text{Espesor del ala de la viga } (t_{bf}) = 15 \text{ mm (minimo 10 mm)}$$

Distancia vertical entre la parte interna del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fi})

$$p_{fi} = 45 \text{ mm (minimo 44 mm)}$$

$$h_1 = 487 \text{ mm (minimo 388 mm)}$$

$$h_2 = 383 \text{ mm (minimo 290 mm)}$$

$$\text{Diametro de perno } (d_p) = 28 \text{ mm}$$

Procedimiento

Paso 1

Factor de resistencia pico en la conexión (C_{pr}) de la tabla (2.4-2) AISC 358

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = \frac{(2549 \text{ kgf/cm}^2) + (4070 \text{ kgf/cm}^2)}{2(2549 \text{ kgf/cm}^2)} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = 1.2$$

Momento probable de la viga (M_{pr}) usando la ecuación de la tabla (2.4-1) AISC 358

$$M_{pr} = C_{pr} \times R_y \times F_y \times Z_{xb}$$

$$M_{pr} = 1.2 \left(1.2 \times 2549 \frac{kgf}{cm^2} \times 1527.3 cm^3 \right) / 10^5$$

$$M_{pr} = 56.06$$

Paso 2

Longitud requerida para el rigidizador (L_{ST})

$$L_{ST} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = \frac{90mm}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = 155.88mm$$

Distancia desde el centro de la bisagra de plástico al centro de la columna (S_h)

$$S_h = L_{ST} + t_p$$

$$S_h = 155.88 + 25mm$$

$$S_h = 180.88mm$$

Paso 3

Cortante de demanda de la tabla (2.1-3) AISC 358 (V_h)

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

$$V_h = \frac{2(56.06)}{7.80m} + 17ton$$

$$V_h = 31.37ton$$

Paso 4

Momento máximo probable en la cara de la columna (M_f)

$$M_f = M_{pr} + V_h \times S_h$$

$$M_f = 56.06 + 31.37ton \times 180.88mm/100$$

$$M_f = 5.73$$

Paso 5

Se elige el tipo de conexión, que en este caso en la 4ES

Paso 6

Para conexión de cuatro pernos (4ES) se utiliza la ecuación (6.7-3) AISC 358

Diámetro requerido para la conexión (d_{b_req})

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi\phi_n \times F_{nt} (h_1 + h_2)}}$$

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2(5.73)}{(3.1416 \times 0.9) \times 7953 \frac{kgf}{cm^2} (487mm + 383mm)}} \times 10$$

$$d_{b_req} = 25.12mm$$

Paso 7

De la tabla J3.3 AISC 360 22 se adopta un diámetro de

$$\left[\frac{1}{2}; \frac{5}{8}; \frac{3}{4}; \frac{7}{8}; 1; 1\frac{1}{8} \right] in$$

Diámetros en mm

$$12.70mm; 15.88mm; 19.05mm; 22.23mm; 25.40mm; 28.58mm$$

Paso 8

Espesor de placa de conexión

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{Nota: si } p_{fi} > s, \text{usar } p_{fi} = s$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{210mm \times 110mm}$$

$$s = 77.99$$

De la tabla 6.3 AISC 358 22 usamos el caso 1 ($d_e \leq s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2d_e} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(d_e + p_{fo})]$$

$$Y_p = \frac{210mm}{2} \left[383mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{77.99} \right) + 487mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{2(45)} \right) \right]$$

$$+ \frac{2}{110mm} [383mm(45mm + 77.99) + 487mm(45mm + 45mm)]$$

$$Y_p = 4766.82 mm$$

De la tabla 6.3 AISC 358 22 usamos el caso 2 ($d_e > s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(s + p_{fo})]$$

$$Y_p = \frac{210mm}{2} \left[383mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{77.99} \right) + 487mm \left(\frac{1}{77.99} + \frac{1}{45mm} \right) \right] + \frac{2}{110} [383mm(45mm + 77.99) + 487mm(77.99 + 45mm)]$$

$$Y_p = 5146.78$$

Espesor requerido de la placa (t_{p_req})

$$t_{p_req} = \sqrt{\frac{1.11 \times M_f}{\phi_d \times F_y \times Y_p}}$$

$$t_{p_req} = \sqrt{\frac{(1.11 \times 5.73) \times 10^5}{0.9 \times 2549 \frac{kgf}{cm^2} \times 4766.82}}$$

$$t_{p_req} = 2.50cm$$

Paso 9

Adoptar un espesor mayor al calculado

Paso 10,11,12

Solo se usa para 4E

Paso 13

$$t_s = t_{wf} \times \frac{F_y}{F_y}$$

$$t_s = 8 \times \frac{2549 \frac{kgf}{cm^2}}{2549 \frac{kgf}{cm^2}}$$

$$t_s = 8$$

Paso 14,15

Es el mismo valor de V_h el cual es 31.37ton

Paso 16

Área bruta nominal del perno A_b

$$A_b = \sqrt{\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_p}{10} \right)}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{3.14}{4} \times \left(\frac{28mm}{10}\right)^2}$$

$$A_b = 1.48$$

Cortante proporcionado por cuatro pernos

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times F_{nv} \times A_b}{1000}$$

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times 4792.6 \frac{kgf}{cm^2} \times 1.48}{1000}$$

$$V_u = 88.53ton$$

Resistencia r_{ni} a desgarre en placa

$$r_{ni} = 1.2 \times l_c \times F_u < 2.4d_b \times F_u$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((d_e/10) - d_p/10/2\right) \times t_p/10 \times F_u < 2.4 \times d_p/10 \times t_p/10 \times F_u \times 2 /1000$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((45mm/10) - 28mm/10/2\right) \times 28mm/10 \times 4070 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$< 2.4 \times 28mm/10 \times 25mm/10 \times 4070 \frac{kgf}{cm^2} \times 2 /1000$$

$$r_{ni} = 75.70$$

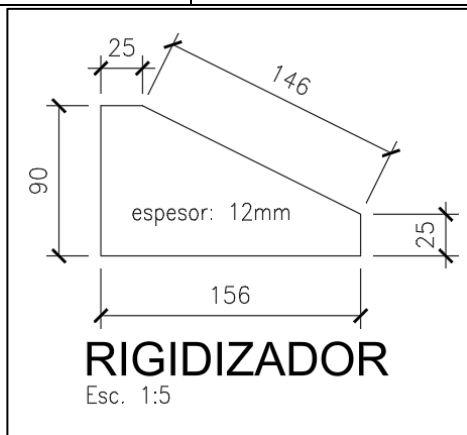
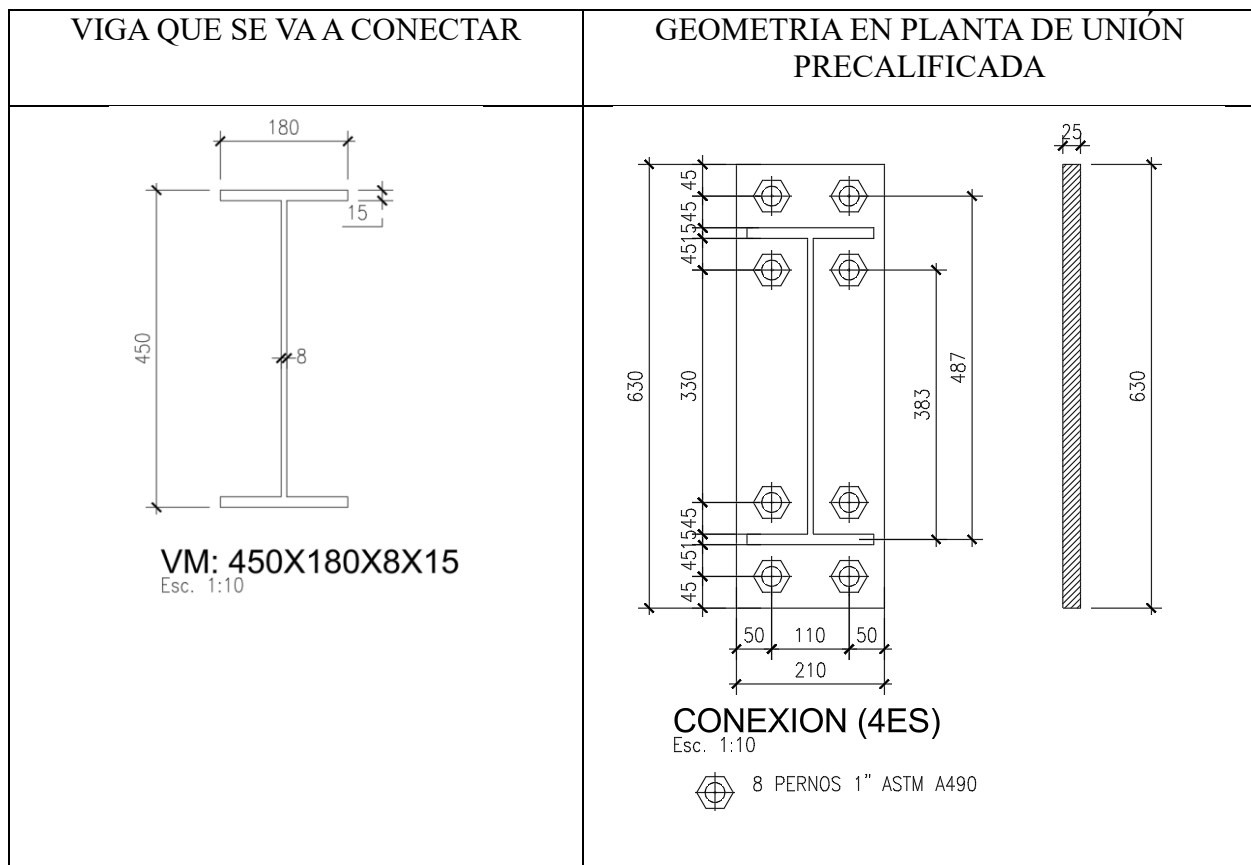


Ilustración 37: Rigidizador de unión

- Todas las vigas **VM: 400X150X5X10** que se conectan a columnas CM: 500X500X22X30 se deberán aplicar esta unión precalificada, con rigidizador.

Para la viga VM: 400X150X5X10

Datos de viga

Distancia de la localización de la rótula plástica (L_h): 7.80m

Diámetro nominal del perno (d_b) = 450mm

Ancho del ala de la viga (b_{bf}) = 150mm

Espesor del alma de la viga (t_{wf}) = 5mm

Espesor del ala de la viga (t_{bf}) = 10mm

Módulo plástico de la viga respecto del eje x (Z_{xb}) = 765.5 cm³

Datos de columna

Altura de la columna (d_c) = 500mm

Ancho del ala de la columna (b_{cf}) = 500mm

Espesor del alma de la columna (t_{wc}) = 22mm

Espesor del ala de la columna (t_{cf}) = 30mm

Módulo plástico de la columna con respecto a x (Z_{xc}) = 8114.8mm

Otros datos

Factor mínimo de sobre resistencia (R_y)

$$R_y = 1.2 \text{ (Tabla A3.2 AISC 341 22)}$$

Esfuerzo de fluencia (F_y)

$$F_y = 2549 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo último (F_u)

$$F_u = 4070 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensión nominal a tracción del perno (F_{nt}) (Tabla J3.2 AISC 360 22)

$$F_{nt} = 7953 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo cortante nominal del perno (F_{nv})

$$F_{nv} = 4792.6 \text{ kgf/cm}^2$$

Fuerza cortante de la viga (V_g) de la fórmula $1.2 \times D + 1.6 \times L$

$$(V_g) = 5 \text{ ton}$$

$$\text{Altura del rigidizador } (h_{st}) = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de placa de conexión } (t_p) = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho de la placa final } (b_p) = 200 \text{ mm (minimo 180 mm)}$$

$$g = 110 \text{ mm (minimo 80 mm)}$$

$$\text{Distancia al borde del perno } (d_e) = 45 \text{ mm}$$

Distancia vertical entre la parte externa del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fo})

$$p_{fo} = 45 \text{ mm (minimo 44 mm)}$$

$$\text{Espesor del ala de la viga } (t_{bf}) = 10 \text{ mm (minimo 10 mm)}$$

Distancia vertical entre la parte interna del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fi})

$$p_{fi} = 45 \text{ mm (minimo 44 mm)}$$

$$h_1 = 440 \text{ mm (minimo 388 mm)}$$

$$h_2 = 340 \text{ mm (minimo 290 mm)}$$

$$\text{Diametro de perno } (d_p) = 20 \text{ mm}$$

Procedimiento

Paso 1

Factor de resistencia pico en la conexión (C_{pr}) de la tabla (2.4-2) AISC 358

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = \frac{(2549 \text{ kgf/cm}^2) + (4070 \text{ kgf/cm}^2)}{2(2549 \text{ kgf/cm}^2)} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = 1.2$$

Momento probable de la viga (M_{pr}) usando la ecuación de la tabla (2.4-1) AISC 358

$$M_{pr} = C_{pr} \times R_y \times F_y \times Z_{xb}$$

$$M_{pr} = 1.2 \left(1.2 \times 2549 \frac{kgf}{cm^2} \times 765.55 cm^3 \right) / 10^5$$

$$M_{pr} = 28.09$$

Paso 2

Longitud requerida para el rigidizador (L_{ST})

$$L_{ST} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = \frac{90mm}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = 155.88mm$$

Distancia desde el centro de la bisagra de plástico al centro de la columna (S_h)

$$S_h = L_{ST} + t_p$$

$$S_h = 155.88 + 25mm$$

$$S_h = 180.88mm$$

Paso 3

Cortante de demanda de la tabla (2.1-3) AISC 358 (V_h)

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

$$V_h = \frac{2(28.09)}{7.80m} + 5ton$$

$$V_h = 12.20ton$$

Paso 4

Momento máximo probable en la cara de la columna (M_f)

$$M_f = M_{pr} + V_h \times S_h$$

$$M_f = 56.06 + 31.37ton \times 180.88mm/100$$

$$M_f = 112.80$$

Paso 5

Se elige el tipo de conexión, que en este caso en la 4ES

Paso 6

Para conexión de cuatro pernos (4ES) se utiliza la ecuación (6.7-3) AISC 358

Diámetro requerido para la conexión (d_{b_req})

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi\phi_n \times F_{nt} (h_1 + h_2)}}$$

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2(5.73)}{(3.1416 \times 0.9) \times 7953 \frac{kgf}{cm^2} (487mm/10 + 383mm/10)}} \times 10$$

$$d_{b_req} = 18.58mm$$

Paso 7

De la tabla J3.3 AISC 360 22 se adopta un diámetro de

$$\left[\frac{1}{2}; \frac{5}{8}; \frac{3}{4}; \frac{7}{8}; 1; 1\frac{1}{8} \right] in$$

Diámetros en mm

$$12.70mm; 15.88mm; 19.05mm; 22.23mm; 25.40mm; 28.58mm$$

Paso 8

Espesor de placa de conexión

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{ Nota: si } p_{fi} > s, \text{ usar } p_{fi} = s$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{200mm \times 110mm}$$

$$s = 74.16$$

De la tabla 6.3 AISC 358 22 usamos el caso 1 ($d_e \leq s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2d_e} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(d_e + p_{fo})]$$

$$Y_p = \frac{200mm}{2} \left[340mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{74.16} \right) + 440mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{2(45mm)} \right) \right] + \frac{2}{110mm} [340mm(45mm + 74.16) + 440mm(45mm + 45mm)]$$

$$Y_p = 4137.31$$

De la tabla 6.3 AISC 358 22 usamos el caso 2 ($d_e > s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(p_{fi} + s) + h_1(s + p_{fo})]$$

$$Y_p = \frac{200mm}{2} \left[340mm \left(\frac{1}{45mm} + \frac{1}{74.16} \right) + 440mm \left(\frac{1}{74.16} + \frac{1}{45mm} \right) \right] + \frac{2}{110} [340mm(45mm + 74.16) + 440mm(74.16 + 45mm)]$$

$$Y_p = 4370.5$$

Espesor requerido de la placa ($t_{p_{req}}$)

$$t_{p_{req}} = \sqrt{\frac{1.11 \times M_f}{\phi_d \times F_y \times Y_p}}$$

$$t_{p_{req}} = \sqrt{\frac{(1.11 \times 5.73) \times 10^5}{0.9 \times 2549 \frac{kgf}{cm^2} \times Y_p}}$$

$$t_{p_{req}} = 2.50 \text{ cm}$$

Paso 9

Adoptar un espesor mayor al calculado

Paso 10,11,12

Solo se usa para 4E

Paso 13

$$t_s = t_{wf} \times \frac{F_y}{F_y}$$

$$t_s = 5 \times \frac{2549 \frac{kgf}{cm^2}}{2549 \frac{kgf}{cm^2}}$$

$$t_s = 5$$

Paso 14,15

Es el mismo valor de V_h el cual es 12.20ton

Paso 16

Área bruta nominal del perno A_b

$$A_b = \sqrt{\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_p}{10} \right)}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{3.14}{4} \times \left(\frac{20mm}{10}\right)}$$

$$A_b = 1.25$$

Cortante proporcionado por cuatro pernos

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times F_{nv} \times A_b}{1000}$$

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times 4792.6 \frac{kgf}{cm^2} \times 1.25}{1000}$$

$$V_u = 45.16ton$$

Resistencia r_{ni} a desgarre en placa

$$r_{ni} = 1.2 \times l_c \times F_u < 2.4d_b \times F_u$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((d_e/10) - d_p/10/2\right) \times t_p/10 \times F_u < 2.4 \times d_p/10 \times t_p/10 \times F_u \times 2 /1000$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((45mm/10) - 20mm/10/2\right) \times 25mm/10 \times 4070 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$< 2.4 \times 20mm/10 \times 25mm/10 \times 4070 \frac{kgf}{cm^2} \times 2 /1000$$

$$r_{ni} = 85.47$$

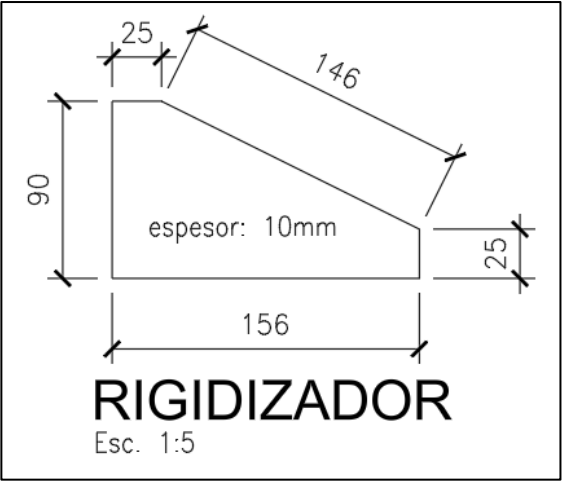
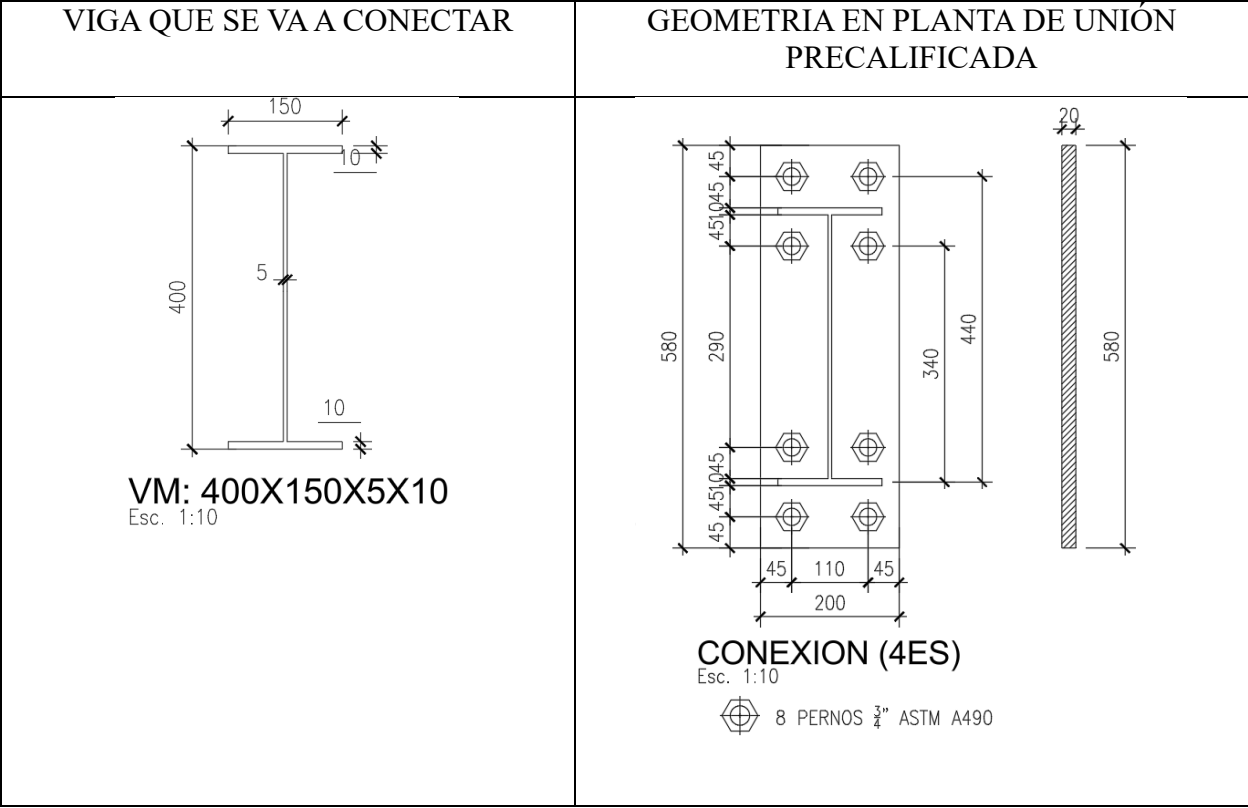


Ilustración 38: Rigidizador de unión

- Todas las vigas **VM: 800x200x10x15** que se conectan a columnas CM: 500X500X22X30 se deberán aplicar esta unión precalificada, con rigidizador.

UNIÓN 8ES PARA VIGA: 800X200X10X15

Datos de viga

Distancia de la localización de la rótula plástica (L_h): 7.80m

Diámetro nominal del perno (d_b) = 800mm

Ancho del ala de la viga (b_{bf}) = 200mm

Espesor del alma de la viga (t_{wf}) = 10mm

Espesor del ala de la viga (t_{bf}) = 15mm

Módulo plástico de la viga respecto del eje x (Z_{xb}) = 4426 cm³

Datos de columna

Altura de la columna (d_c) = 500mm

Ancho del ala de la columna (b_{cf}) = 500mm

Espesor del alma de la columna (t_{wc}) = 22mm

Espesor del ala de la columna (t_{cf}) = 30mm

Módulo plástico de la columna con respecto a x (Z_{xc}) = 8114.8mm

Otros datos

Factor mínimo de sobre resistencia (R_y)

$$R_y = 1.2 \text{ (Tabla A3.2 AISC 341 22)}$$

Esfuerzo de fluencia (F_y)

$$F_y = 3515.348 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo último (F_u)

$$F_u = 4569.956 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensión nominal a tracción del perno (F_{nt}) (Tabla J3.2 AISC 360 22)

$$F_{nt} = 7953 \text{ kgf/cm}^2$$

Esfuerzo cortante nominal del perno (F_{nv})

$$F_{nv} = 4792.6 \text{ kgf/cm}^2$$

Fuerza cortante de la viga (V_g) de la fórmula $1.2 \times D + 1.6 \times L$

$$(V_g) = 28 \text{ ton}$$

$$\text{Altura del rigidizador } (h_{st}) = 180 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de placa de conexión } (t_p) = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho de la placa final } (b_p) = 240 \text{ mm (minimo 180 mm)}$$

$$g = 130 \text{ mm (minimo 80 mm)}$$

$$\text{Distancia al borde del perno } (d_e) = 45 \text{ mm}$$

Distancia vertical entre la parte externa del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fo})

$$p_{fo} = 45 \text{ mm (minimo 44 mm)}$$

$$\text{Espesor del ala de la viga } (t_{bf}) = 10 \text{ mm (minimo 10 mm)}$$

Distancia vertical entre la parte interna del ala de la viga y la hilera de pernos más cercana (p_{fi})

$$p_{fi} = 45 \text{ mm (minimo 44 mm)}$$

$$h_1 = 928 \text{ mm (minimo 388 mm)}$$

$$h_2 = 838 \text{ mm (minimo 290 mm)}$$

$$h_3 = 733 \text{ mm}$$

$$h_4 = 643 \text{ mm}$$

$$\text{Diametro de perno } (d_p) = 28 \text{ mm}$$

$$p_b = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Altura de placa equivalente en cada extremo } (h_{cp}) = 375 \text{ mm}$$

Procedimiento

Paso 1

Factor de resistencia pico en la conexión (C_{pr}) de la tabla (2.4-2) AISC 358

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = \frac{(3515.34 \text{ kgf/cm}^2) + (4070 \text{ kgf/cm}^2)}{2(3515.34 \text{ kgf/cm}^2)} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = 1.07$$

Momento probable de la viga (M_{pr}) usando la ecuación de la tabla (2.4-1) AISC 358

$$M_{pr} = C_{pr} \times R_y \times F_y \times Z_{xb}$$

$$M_{pr} = 1.07 (1.2 \times 3515.34 \text{ kgf/cm}^2 \times 4426 \text{ cm}^3) / 10^5$$

$$M_{pr} = 199.77$$

Paso 2

Longitud requerida para el rigidizador (L_{ST})

$$L_{ST} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = \frac{180 \text{ mm}}{\tan 30^\circ}$$

$$L_{ST} = 311.76 \text{ mm}$$

Distancia desde el centro de la bisagra de plástico al centro de la columna (S_h)

$$S_h = L_{ST} + t_p$$

$$S_h = 311.76 \text{ mm} + 28 \text{ mm}$$

$$S_h = 339.76 \text{ mm}$$

Paso 3

Cortante de demanda de la tabla (2.1-3) AISC 358 (V_h)

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

$$V_h = \frac{2(214.71)}{7.80 \text{ m}} + 28 \text{ ton}$$

$$V_h = 83.05 \text{ ton}$$

Paso 4

Momento máximo probable en la cara de la columna (M_f)

$$M_f = M_{pr} + V_h \times S_h$$

$$M_f = 214.71 + 83.05 \text{ ton} \times 339.76 \text{ mm} / 100$$

$$M_f = 496.82$$

Paso 5

Se elige el tipo de conexión, que en este caso en la 4ES

Paso 6

Para conexión de cuatro pernos (4ES) se utiliza la ecuación (6.7-3) AISC 358

Diámetro requerido para la conexión (d_{b_req})

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \Phi_n \times F_{nt} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}}$$

$$d_{b_req} = \sqrt{\frac{2(496.82)}{3.1416 \times 0.9 \times 7953 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} (928\text{mm} + 838\text{mm} + 733\text{mm} + 643\text{mm})}}$$

$$d_{b_req} = 29.22\text{mm}$$

Paso 7

De la tabla J3.3 AISC 360 22 se adopta un diámetro de

$$\left[\frac{1}{2}; \frac{5}{8}; \frac{3}{4}; \frac{7}{8}; 1; 1\frac{1}{8} \right] \text{ in}$$

Diámetros en mm

$$12.70\text{mm}; 15.88\text{mm}; 19.05\text{mm}; 22.23\text{mm}; 25.40\text{mm}; 28.58\text{mm}$$

Paso 8

Espesor de placa de conexión

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{ Nota: si } p_{fi} > s, \text{ usar } p_{fi} = s$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{240\text{mm} \times 130\text{mm}}$$

$$s = 88.31$$

caso 1 tabla 9

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] \\ + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{3p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) \right] + g$$

$$Y_p = \frac{240mm}{2} \left[928mm \left(\frac{1}{2(45mm)} \right) + 838mm \left(\frac{1}{45mm} \right) + 733mm \left(\frac{1}{45mm} \right) \right. \\ \left. + 643mm \left(\frac{1}{s} \right) \right] \\ + \frac{2}{130mm} \left[928mm \left(45mm + \frac{3(28mm)}{4} \right) + 838mm \left(45mm + \frac{90mm}{4} \right) \right. \\ \left. + 733mm \left(45mm + \frac{3(90mm)}{4} \right) + 643mm \left(s + \frac{90mm}{4} \right) \right] + 130mm$$

$$Y_p = 4027.87$$

Caso 2 tabla 9

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] \\ + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3p_b}{4} \right) \right]$$

$$Y_p = \frac{240mm}{2} \left[928mm \left(\frac{1}{s} \right) + 838mm \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + 733mm \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + 643mm \left(\frac{1}{s} \right) \right] \\ + \frac{2}{g} \left[928mm \left(s + \frac{p_b}{4} \right) + 838mm \left(p_{fo} + \frac{3p_b}{4} \right) + 733mm \left(p_{fi} + \frac{p_b}{4} \right) \right. \\ \left. + 643mm \left(s + \frac{3p_b}{4} \right) \right]$$

$$Y_p = 3927.54$$

Espesor requerido de la placa (t_{p_req})

$$t_{p_req} = \sqrt{\frac{1.11 \times 284.31}{\Phi_d \times F_y \times Y_p}}$$

$$t_{p_req} = \sqrt{\frac{(1.11 \times 5.73) \times 10^5}{0.9 \times 3515.34 \frac{kgf}{cm^2} \times Y_p}}$$

$$t_{p_req} = 2.74cm$$

Paso 9

Adoptar un espesor mayor al calculado

Paso 10,11,12

Solo se usa para 4E

Paso 13

$$t_s = t_{wf} \times \frac{F_y}{F_y}$$

$$t_s = 10 \times \frac{3515.34 \frac{kgf}{cm^2}}{3515.34 \frac{kgf}{cm^2}}$$

$$t_s = 10mm$$

$$Landa = \frac{h_{st}}{t_s}$$

$$Landa = \frac{180mm}{10mm}$$

$$Landa = 18mm$$

$$L_{max} = 0.56 \times \left(\frac{2100000}{F_y} \right)$$

$$L_{max} = 0.56 \times \left(\frac{2100000}{3515.34 \frac{kgf}{cm^2}} \right)$$

$$L_{max} = 334.53$$

Paso 14,15

Es el mismo valor de V_h el cual es 83.05ton

Paso 16

Área bruta nominal del perno A_b

$$A_b = \sqrt{\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_p}{10} \right)}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{3.14}{4} \times \left(\frac{28mm}{10} \right)}$$

$$A_b = 1.48$$

Cortante proporcionado por cuatro pernos

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times F_{nv} \times A_b}{1000}$$

$$V_u = \frac{0.75 \times 4 \times 4792.6 \frac{kgf}{cm^2} \times 1.48}{1000}$$

$$V_u = 177.065ton$$

Paso 17

$$A_{nv} = \left(\frac{h_{cp}}{10} - 4 \times \left(\frac{d_p}{10} + \frac{1}{16} \right) \right) \times \frac{t_p}{10}$$

$$A_{nv} = \left(\frac{375mm}{10} - 4 \times \left(\frac{28mm}{10} + \frac{1}{16} \right) \right) \times \frac{28mm}{10}$$

$$A_{nv} = 72.94$$

$$R_{cp} = 0.75 \times 0.79 \times F_u \times A_{nv} \times 2/1000$$

$$R_{cp} = 0.75 \times 0.79 \times 4569.95 \frac{kgf}{cm^2} \times A_{nv} \times 2/1000$$

$$R_{cp} = 449.99ton$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((d_e/10) - d_p/10/2 \right) \times t_p/10 \times F_u < 2.4 \times d_p/10 \times t_p/10 \times F_u \times 2 /1000$$

$$r_{ni} = 1.2 \times \left((45mm/10) - 28mm/10/2 \right) \times 28mm/10 \times 4569.95 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$< 2.4 \times 28mm/10 \times 28mm/10 \times 4569.95 \frac{kgf}{cm^2} \times 2 /1000$$

$$r_{ni} = 95.20$$

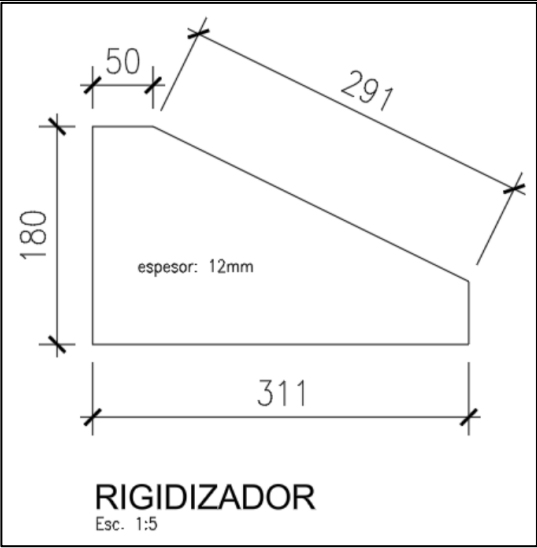
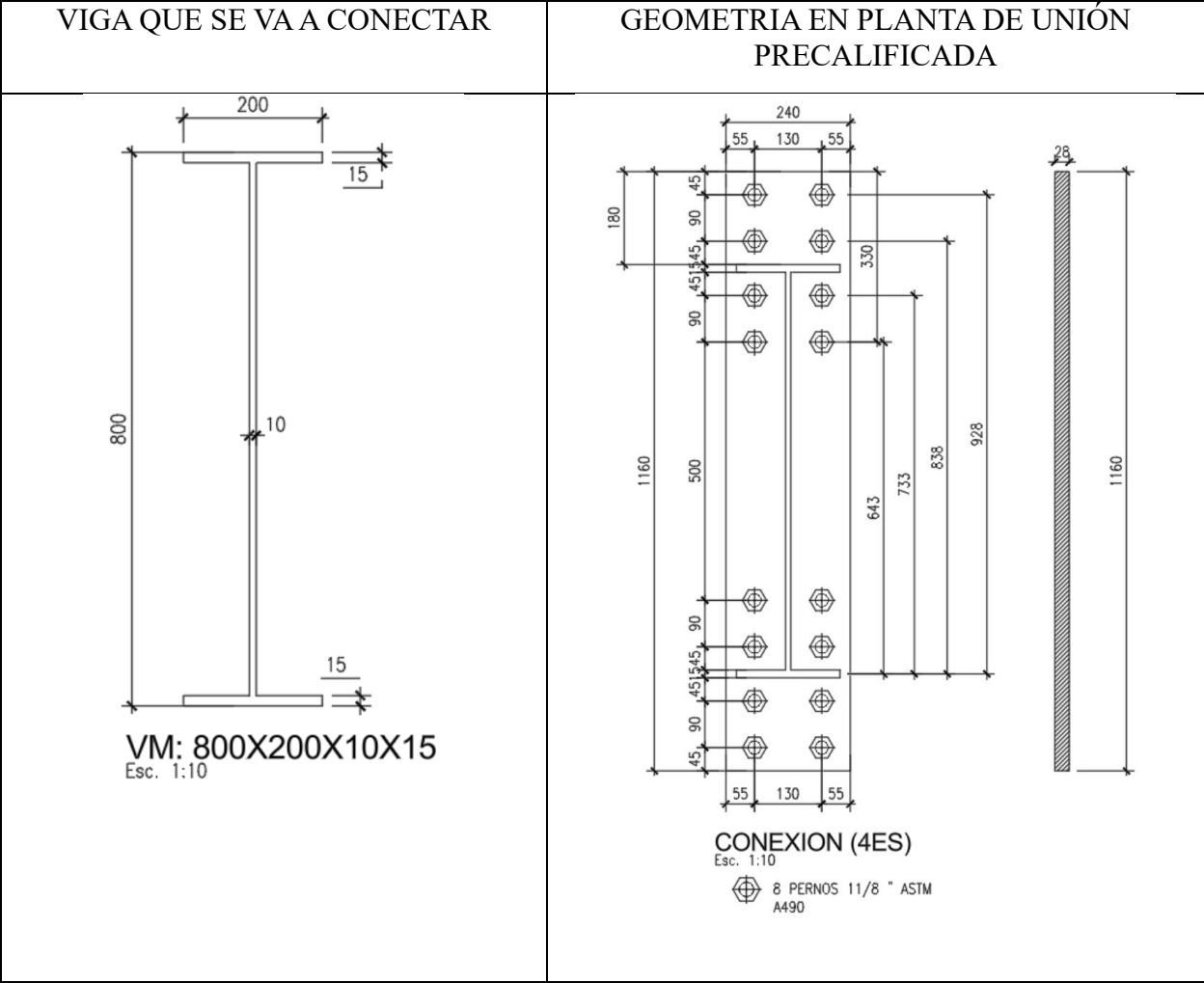


Ilustración 39: Rigidizador de unión

CONCLUSION DEL DISEÑO DE UNIONES: De esta manera se ha diseñado las uniones apernadas de los elementos pórticos IMF a momento todos conectados, garantizando que la resistencia de la unión es más fuerte en capacidad que la viga, se ha diseñado considerando todos los requerimientos dados en la normativa AISC 358-22 del capítulo 6 y referencias indicadas del capítulo 2, junto con información externa referente a los pernos dados en el AISC-360-22 respectivamente.

RESUMEN DE CONEXIONES [4ES y 8ES] PARA LAS VIGAS:			
VIGA PARA CONECTAR (mm)	END PLATE (mm)	PERNOS (A490)	RIGIDIZADOR (e=mm)
VM: 450X200X10X15	210X630X27	8 Φ de 1 1/8 in	12
VM: 450X180X8X15	210X630X25	8 Φ de 1 in	12
VM: 400x150x5x10	200x580x20	8 Φ de 3/4 in	10
VM: 800X200X10X15	240X1160X28	16 Φ de 1 1/8 in	12

2.1.2 Diseño de uniones precalificadas soldada

CÁLCULO DE UNIÓN PRECALIFICADA WUF-W

Las mismas vigas de la sección anterior que se diseñaron para conexión atornillada, ahora en este caso se les calculará la segunda alternativa que es tipo de conexión soldada.

PARA LA VIGA VM: 450X200X10X15

Datos de la viga

$$F_{exx} = 70 * 70.307 = 4900 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$D = 4 * 25.4 = 100 \text{ mm}$$

$$h_p = 390 \text{ mm} \text{ Altura de la placa}$$

$$T = 15 \text{ mm} \text{ Espesor de la placa de conexi3n}$$

$$F_{up} = 4077.804 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$l_b = 7.8 \text{ m} \text{ Longitud del vano de cara a cara de viga}$$

$$d_b = 450$$

$$b_{bf} = 200$$

$$t_{wf} = 10$$

$$t_{bf} = 15$$

$$z_{xb} = 1746$$

$$F_{yb} = 3515.348 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$F_{ub} = 4569.952 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$d_c = 500$$

$$b_{cf} = 500$$

$$t_{wc} = 22$$

$$t_{cf} = 30$$

$$Z_{xc} = 8114.8$$

$$P_u = 0 \text{ T}$$

$$M_u = 43 \text{ t} - m$$

$$V_u = 30 \text{ t} - m$$

#1 Resistencia a Flexión de viga

$$b = b_{bf} - t_{wf} \text{ mm}$$

$$b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

$$h = d_b - 2 * t_{bf} \text{ mm}$$

$$h = 450 - 2 * 15 = 420 \text{ mm}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{b_{bf}}{10} * \frac{d_b}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{b}{10} * \frac{h}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{d_b}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{200}{10} * \frac{450}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{190}{10} * \frac{420}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{450}{10} \right)}$$

$$= 1791.13$$

$$M_d = 0.9 * F_{ub} * S_{xx}$$

$$M_d = 0.9 * 4569.952 * 1791.13$$

$$M_d = 147336.80 \text{ t} - \text{m}$$

$$R_9 = \frac{M_u}{M_d}$$

$$R_9 = \frac{43}{147336.80}$$

$$R_9 = 0.6804$$

#2 Resistencia de soldadura

$$R_s = 0.75 * 0.6 * F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{h_p}{\frac{10 * 2}{1000}} \text{ t}$$

$$R_s = 0.75 * 0.6 * 4900 * \frac{100}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{390}{\frac{10 * 2}{1000}}$$

$$R_s = 3439800000 \text{ t}$$

$$R_{10} = \frac{V_u}{R_s}$$

$$R_{10} = \frac{30}{3439800000}$$

$$R_{10} = 0.38677$$

#3 Resistencia de alma de columna a soldadura

$$T_{wmin} = F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 4900 * \frac{100}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 58800$$

$$R_{11} = T_{wmin} * \frac{10}{t_{cf}}$$

$$R_{11} = 58800 * \frac{10}{30}$$

$$R_{11} = 0.2182$$

#4 Fuerza en ala de columna

$$R_{uc} = \frac{M_u}{\frac{d_b}{1000} - \frac{t_{wf}}{1000}} t$$

$$R_{uc} = \frac{43}{\frac{450}{1000} - \frac{10}{1000}} t$$

$$R_{uc} = 97.72 t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{t_{cf}}{10}\right) * 2 * \frac{F_{yb}}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{30}{10}\right) * 2 * \frac{3515}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 118.63 t$$

$$R_{12} = \frac{R_{uc}}{R_{nd1}}$$

$$R_{12} = \frac{97.72}{118.63}$$

$$R_{12} = 0.5491$$

#5 Fluencia local en el alma de la columna

$$K = t_{cf} + 0.6 * 25.4$$

$$K = 30 + 0.6 * 25.4$$

$$K = 45.24$$

$$L_b = t_{bf}$$

$$L_b = 15$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{K}{10} + \frac{L_b}{10} \right) * F_{yb} * \frac{t_{wc}}{1000} t$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{45.24}{10} + \frac{15}{10} \right) * 3515 * \frac{22}{1000} t$$

$$R_{nd} = 186519 t$$

$$R_{13} = \frac{R_{uc}}{R_{nd}}$$

$$R_{13} = \frac{97.72}{186519}$$

$$R_{13} = 0.52389$$

#6 columna local

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{t_{wc}}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{l_b * t_{wc}}{d_b * t_{cf}} * 1.5 * \frac{F_{yb} * t_{cf}}{t_{wc}}}{1000} t$$

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{22}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{7.8}{450} * \frac{22}{30} * 1.5 * \frac{3515 * 30}{22}}{1000}$$

$$R_{nw} = 122.58 t$$

$$R_{14} = \frac{R_{uc}}{R_{nw}}$$

$$R_{14} = \frac{97.72}{122.58}$$

$$R_{14} = 0.0391$$

#7 demanda axial en la columna

$$P_u = V_u$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * F_{yb} * \frac{d_c}{10} * \frac{t_{wc}}{10} * \frac{1}{1000} \text{ t}$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * 3515 * \frac{500}{10} * \frac{22}{10} * \frac{1}{1000}$$

$$R_{ncp} = 208.791 \text{ t}$$

$$R_{15} = \frac{R_{uc}}{R_{ncp}}$$

$$R_{15} = \frac{97.72}{208.791}$$

$$R_{15} = 0.4680$$

PARA LA VIGA VM: 450X180X8X15

Datos de la viga

$$F_{exx} = 70 * 70.307 = 4900 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$D = 4 * 25.4 = 100 \text{ mm}$$

$$h_p = 390 \text{ mm} \text{ Altura de la placa}$$

$$T = 15 \text{ mm} \text{ Espesor de la placa de conexión}$$

$$F_{up} = 4077.804 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$l_b = 7.8 \text{ m} \text{ Longitud del vano de cara a cara de viga}$$

$$d_b = 450$$

$$b_{bf} = 180$$

$$t_{wf} = 8$$

$$t_{bf} = 15$$

$$z_{xb} = 1527.3$$

$$F_{yb} = 3515.348 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$F_{ub} = 4569.952 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$d_c = 500$$

$$b_{cf} = 500$$

$$t_{wc} = 22$$

$$t_{cf} = 30$$

$$Z_{xc} = 8114.8$$

$$P_u = 0 \text{ T}$$

$$M_u = 43 \text{ t} - m$$

$$V_u = 30 \text{ t} - m$$

#1 Resistencia a Flexión de viga

$$b = b_{bf} - t_{wf} \text{ mm}$$

$$b = 180 - 8 = 172 \text{ mm}$$

$$h = d_b - 2 * t_{bf} \text{ mm}$$

$$h = 450 - 2 * 15 = 420 \text{ mm}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{b_{bf}}{10} * \frac{d_b}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{b}{10} * \frac{h}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{d_b}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{180}{10} * \frac{450}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{190}{10} * \frac{420}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{450}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = 1781.13$$

$$M_d = 0.9 * F_{ub} * S_{xx}$$

$$M_d = 0.9 * 4569.952 * 1781.13$$

$$M_d = 136336.80 \text{ t} - m$$

$$R_9 = \frac{M_u}{M_d}$$

$$R_9 = \frac{43}{136336.80}$$

$$R_9 = 0.771387$$

#2 Resistencia de soldadura

$$R_s = 0.75 * 0.6 * F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{h_p}{\frac{10 * 2}{1000}} t$$

$$R_s = 0.75 * 0.6 * 4900 * \frac{100}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{390}{\frac{10 * 2}{1000}}$$

$$R_s = 3439800000 t$$

$$R_{10} = \frac{V_u}{R_s}$$

$$R_{10} = \frac{30}{3439800000}$$

$$R_{10} = 0.386775$$

#3 Resistencia de alma de columna a soldadura

$$T_{wmin} = F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 4900 * \frac{100}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 58800$$

$$R_{11} = T_{wmin} * \frac{10}{t_{cf}}$$

$$R_{11} = 58800 * \frac{10}{30}$$

$$R_{11} = 0.218203$$

#4 Fuerza en ala de columna

$$R_{uc} = \frac{M_u}{\frac{d_b}{1000} - \frac{t_{wf}}{1000}} t$$

$$R_{uc} = \frac{43}{\frac{450}{1000} - \frac{10}{1000}} t$$

$$R_{uc} = 97.72 t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{t_{cf}}{10}\right) * 2 * \frac{F_{yb}}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{30}{10}\right) * 2 * \frac{3515}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 118.63 t$$

$$R_{12} = \frac{R_{uc}}{R_{nd1}}$$

$$R_{12} = \frac{97.72}{118.63}$$

$$R_{12} = 0.5466543$$

#5 Fluencia local en el alma de la columna

$$K = t_{cf} + 0.6 * 25.4$$

$$K = 30 + 0.6 * 25.4$$

$$K = 45.24$$

$$L_b = t_{bf}$$

$$L_b = 15$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{K}{10} + \frac{L_b}{10}\right) * F_{yb} * \frac{t_{wc}}{1000} t$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{45.24}{10} + \frac{15}{10}\right) * 3515 * \frac{22}{1000} t$$

$$R_{nd} = 186519 t$$

$$R_{13} = \frac{R_{uc}}{R_{nd}}$$

$$R_{13} = \frac{97.72}{186519}$$

$$R_{13} = 0.521528$$

#6 columna local

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{t_{wc}}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{l_b}{d_b} * \frac{t_{wc}}{t_{cf}} * 1.5 * \frac{F_{yb} * t_{cf}}{t_{wc}}}{1000} t$$

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{8}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{7.8}{450} * \frac{8}{30} * 1.5 * \frac{3515 * 30}{22}}{1000}$$

$$R_{nw} = 120.58 \text{ t}$$

$$R_{14} = \frac{R_{uc}}{R_{nw}}$$

$$R_{14} = \frac{97.72}{120.58}$$

$$R_{14} = 0.038966$$

#7 demanda axial en la columna

$$P_u = V_u$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * F_{yb} * \frac{d_c}{10} * \frac{t_{wc}}{10} * \frac{1}{1000} \text{ t}$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * 3515 * \frac{500}{10} * \frac{8}{10} * \frac{1}{1000}$$

$$R_{ncp} = 207.791 \text{ t}$$

$$R_{15} = \frac{R_{uc}}{R_{ncp}}$$

$$R_{15} = \frac{97.72}{207.791}$$

$$R_{15} = 0.465898$$

PARA LA VIGA VM: 450X180X8X15

Datos de la viga

$$F_{exx} = 70 * 70.307 = 4900 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$D = 4 * 25.4 = 100 \text{ mm}$$

$$h_p = 740 \text{ mm} \text{ Altura de la placa}$$

$$T = 15 \text{ mm} \text{ Espesor de la placa de conexi3n}$$

$$F_{up} = 4077.804 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$l_b = 7.8 \text{ m} \text{ Longitud del vano de cara a cara de viga}$$

$$d_b = 450$$

$$b_{bf} = 180$$

$$t_{wf} = 8$$

$$t_{bf} = 15$$

$$z_{xb} = 1527.3$$

$$F_{yb} = 3515.348 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$F_{ub} = 4569.952 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$d_c = 500$$

$$b_{cf} = 500$$

$$t_{wc} = 22$$

$$t_{cf} = 30$$

$$Z_{xc} = 8114.8$$

$$P_u = 0 \text{ T}$$

$$M_u = 41 \text{ t} - m$$

$$V_u = 27 \text{ t} - m$$

#1 Resistencia a Flexión de viga

$$b = b_{bf} - t_{wf} \text{ mm}$$

$$b = 180 - 8 = 172 \text{ mm}$$

$$h = d_b - 2 * t_{bf} \text{ mm}$$

$$h = 450 - 2 * 15 = 420 \text{ mm}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{b_{bf}}{10} * \frac{d_b}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{b}{10} * \frac{h}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{d_b}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{180}{10} * \frac{450}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{190}{10} * \frac{420}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{450}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = 1781.13$$

$$M_d = 0.9 * F_{ub} * S_{xx}$$

$$M_d = 0.9 * 4569.952 * 1781.13$$

$$M_d = 136336.80 \text{ t} - \text{m}$$

$$R_9 = \frac{M_u}{M_d}$$

$$R_9 = \frac{41}{136336.80}$$

$$R_9 = 0.305572$$

#2 Resistencia de soldadura

$$R_s = 0.75 * 0.6 * F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{h_p}{\frac{10 * 2}{1000}} \text{ t}$$

$$R_s = 0.75 * 0.6 * 4900 * \frac{100}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{390}{\frac{10 * 2}{1000}}$$

$$R_s = 3439800000 \text{ t}$$

$$R_{10} = \frac{V_u}{R_s}$$

$$R_{10} = \frac{27}{3439800000}$$

$$R_{10} = 0.183456$$

#3 Resistencia de alma de columna a soldadura

$$T_{wmin} = F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 4900 * \frac{100}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 58800$$

$$R_{11} = T_{wmin} * \frac{10}{t_{cf}}$$

$$R_{11} = 58800 * \frac{10}{30}$$

$$R_{11} = 0.218203$$

#4 Fuerza en ala de columna

$$R_{uc} = \frac{M_u}{\frac{d_b}{1000} - \frac{t_{wf}}{1000}} t$$

$$R_{uc} = \frac{41}{\frac{450}{1000} - \frac{10}{1000}} t$$

$$R_{uc} = 96.72 t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{t_{cf}}{10}\right) * 2 * \frac{F_{yb}}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{30}{10}\right) * 2 * \frac{3515}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 118.63 t$$

$$R_{12} = \frac{R_{uc}}{R_{nd1}}$$

$$R_{12} = \frac{96.72}{118.63}$$

$$R_{12} = 0.291624$$

#5 Fluencia local en el alma de la columna

$$K = t_{cf} + 0.6 * 25.4$$

$$K = 30 + 0.6 * 25.4$$

$$K = 45.24$$

$$L_b = t_{bf}$$

$$L_b = 15$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{K}{10} + \frac{L_b}{10} \right) * F_{yb} * \frac{t_{wc}}{1000} \quad t$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{45.24}{10} + \frac{15}{10} \right) * 3515 * \frac{22}{1000} \quad t$$

$$R_{nd} = 186519 \quad t$$

$$R_{13} = \frac{R_{uc}}{R_{nd}}$$

$$R_{13} = \frac{96.72}{186519}$$

$$R_{13} = 0.2782200$$

#6 columna local

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{t_{wc}}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{l_b}{d_b} * \frac{t_{wc}}{t_{cf}} * 1.5 * \frac{F_{yb} * t_{cf}}{t_{wc}}}{1000} \quad t$$

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{8}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{7.8}{450} * \frac{8}{30} * 1.5 * \frac{3515 * 30}{22}}{1000}$$

$$R_{nw} = 120.58 \quad t$$

$$R_{14} = \frac{R_{uc}}{R_{nw}}$$

$$R_{14} = \frac{96.72}{120.58}$$

$$R_{14} = 0.0213389$$

#7 demanda axial en la columna

$$P_u = V_u$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * F_{yb} * \frac{d_c}{10} * \frac{t_{wc}}{10} * \frac{1}{1000} \text{ t}$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * 3515 * \frac{500}{10} * \frac{8}{10} * \frac{1}{1000}$$

$$R_{ncp} = 207.791 \text{ t}$$

$$R_{15} = \frac{R_{uc}}{R_{ncp}}$$

$$R_{15} = \frac{96.72}{207.791}$$

$$R_{15} = 0.248543$$

PARA LA VIGA VM: 400X150X5X10

Datos de la viga

$$F_{exx} = 70 * 70.307 = 4900 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$D = 4 * 25.4 = 100 \text{ mm}$$

$$h_p = 390 \text{ mm} \text{ Altura de la placa}$$

$$T = 15 \text{ mm} \text{ Espesor de la placa de conexion}$$

$$F_{up} = 4077.804 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$l_b = 7.8 \text{ m} \text{ Longitud del vano de cara a cara de viga}$$

$$d_b = 400$$

$$b_{bf} = 150$$

$$t_{wf} = 5$$

$$t_{bf} = 10$$

$$z_{xb} = 765.5$$

$$F_{yb} = 3515.348 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$F_{ub} = 4569.952 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$d_c = 500$$

$$b_{cf} = 500$$

$$t_{wc} = 22$$

$$t_{cf} = 30$$

$$Z_{xc} = 8114.8$$

$$P_u = 0 \text{ T}$$

$$M_u = 5 \text{ t} - m$$

$$V_u = 10 \text{ t} - m$$

#1 Resistencia a Flexión de viga

$$b = b_{bf} - t_{wf} \text{ mm}$$

$$b = 150 - 5 = 145 \text{ mm}$$

$$h = d_b - 2 * t_{bf} \text{ mm}$$

$$h = 400 - 2 * 15 = 370 \text{ mm}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{b_{bf}}{10} * \frac{d_b}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{b}{10} * \frac{h}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{d_b}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{150}{10} * \frac{400}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{145}{10} * \frac{370}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{400}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = 1193.293$$

$$M_d = 0.9 * F_{ub} * S_{xx}$$

$$M_d = 0.9 * 4569.952 * 1193.293$$

$$M_d = 4907962.559 \text{ t} - m$$

$$R_9 = \frac{M_u}{M_d}$$

$$R_9 = \frac{5}{4907962.559}$$

$$R_9 = 0.177517$$

#2 Resistencia de soldadura

$$R_s = 0.75 * 0.6 * F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{h_p}{\frac{10 * 2}{1000}} t$$

$$R_s = 0.75 * 0.6 * 4900 * \frac{100}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{390}{\frac{10 * 2}{1000}}$$

$$R_s = 3439800000 t$$

$$R_{10} = \frac{V_u}{R_s}$$

$$R_{10} = \frac{10}{3439800000}$$

$$R_{10} = 0.12892$$

#3 Resistencia de alma de columna a soldadura

$$T_{wmin} = F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 4900 * \frac{100}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 58800$$

$$R_{11} = T_{wmin} * \frac{10}{t_{cf}}$$

$$R_{11} = 58800 * \frac{10}{30}$$

$$R_{11} = 0.218203$$

#4 Fuerza en ala de columna

$$R_{uc} = \frac{M_u}{\frac{d_b}{1000} - \frac{t_{wf}}{1000}} t$$

$$R_{uc} = \frac{5}{\frac{450}{1000} - \frac{10}{1000}} t$$

$$R_{uc} = 86.72 \text{ t}$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{t_{cf}}{10}\right) * 2 * \frac{F_{yb}}{1000} \text{ t}$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{30}{10}\right) * 2 * \frac{3515}{1000} \text{ t}$$

$$R_{nd1} = 118.63 \text{ t}$$

$$R_{12} = \frac{R_{uc}}{R_{nd1}}$$

$$R_{12} = \frac{86.72}{118.63}$$

$$R_{12} = 0.071127$$

#5 Fluencia local en el alma de la columna

$$K = t_{cf} + 0.6 * 25.4$$

$$K = 30 + 0.6 * 25.4$$

$$K = 45.24$$

$$L_b = t_{bf}$$

$$L_b = 15$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{K}{10} + \frac{L_b}{10}\right) * F_{yb} * \frac{t_{wc}}{1000} \text{ t}$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{45.24}{10} + \frac{15}{10}\right) * 3515 * \frac{22}{1000} \text{ t}$$

$$R_{nd} = 186519 \text{ t}$$

$$R_{13} = \frac{R_{uc}}{R_{nd}}$$

$$R_{13} = \frac{86.72}{186519}$$

$$R_{13} = 0.06929$$

#6 columna local

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{t_{wc}}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{l_b}{d_b} * \frac{t_{wc}}{t_{cf}} * 1.5 * \frac{F_{yb} * t_{cf}}{t_{wc}}}{1000} \quad t$$

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{8}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{7.8}{450} * \frac{8}{30} * 1.5 * \frac{3515 * 30}{22}}{1000}$$

$$R_{nw} = 120.58 \quad t$$

$$R_{14} = \frac{R_{uc}}{R_{nw}}$$

$$R_{14} = \frac{86.72}{120.58}$$

$$R_{14} = 0.005146$$

#7 demanda axial en la columna

$$P_u = V_u$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * F_{yb} * \frac{d_c}{10} * \frac{t_{wc}}{10} * \frac{1}{1000} \quad t$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * 3515 * \frac{500}{10} * \frac{8}{10} * \frac{1}{1000}$$

$$R_{ncp} = 207.791 \quad t$$

$$R_{15} = \frac{R_{uc}}{R_{ncp}}$$

$$R_{15} = \frac{86.72}{207.791}$$

$$R_{15} = 0.0606203$$

PARA LA VIGA VM: 800X20010X15

DATOS DE LA VIGA

$$F_{exx} = 70 * 70.307 = 4900 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$D = 4 * 25.4 = 100 \text{ mm}$$

$$h_p = 740 \text{ mm} \text{ Altura de la placa}$$

$$T = 15 \text{ mm} \text{ Espesor de la placa de conexion}$$

$$F_{up} = 4077.804 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$l_b = 7.8 \text{ m} \text{ Longitud del vano de cara a cara de viga}$$

$$d_b = 800$$

$$b_{bf} = 200$$

$$t_{wf} = 10$$

$$t_{bf} = 15$$

$$z_{xb} = 4426$$

$$F_{yb} = 3515.348 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$F_{ub} = 4569.952 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$d_c = 500$$

$$b_{cf} = 500$$

$$t_{wc} = 22$$

$$t_{cf} = 30$$

$$Z_{xc} = 8114.8$$

$$P_u = 0 \text{ T}$$

$$M_u = 41 \text{ t} - m$$

$$V_u = 27 \text{ t} - m$$

#1 Resistencia a Flexión de viga

$$b = b_{bf} - t_{wf} \text{ mm}$$

$$b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

$$h = d_b - 2 * t_{bf} \text{ mm}$$

$$h = 800 - 2 * 15 = 770 \text{ mm}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{b_{bf}}{10} * \frac{d_b}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{b}{10} * \frac{h}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{d_b}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = \left(\frac{200}{10} * \frac{800}{10} \right) * 2 - \frac{\left(\frac{190}{10} * \frac{770}{10} * 3 \right)}{\left(6 * \frac{400}{10} \right)}$$

$$S_{xx} = 1253.293$$

$$M_d = 0.9 * F_{ub} * S_{xx}$$

$$M_d = 0.9 * 4569.952 * 1253.293$$

$$M_d = 4907962.559 \text{ t} - \text{m}$$

$$R_9 = \frac{M_u}{M_d}$$

$$R_9 = \frac{41}{4907962.559}$$

$$R_9 = 0.30557$$

#2 Resistencia de soldadura

$$R_s = 0.75 * 0.6 * F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{h_p}{\frac{10 * 2}{1000}} \text{ t}$$

$$R_s = 0.75 * 0.6 * 4900 * \frac{100}{\frac{10}{16}} * 2 * \frac{0.5}{2} * \frac{390}{\frac{10 * 2}{1000}}$$

$$R_s = 3439800000 \text{ t}$$

$$R_{10} = \frac{V_u}{R_s}$$

$$R_{10} = \frac{27}{3439800000}$$

$$R_{10} = 0.18345$$

#3 Resistencia de alma de columna a soldadura

$$T_{wmin} = F_{exx} * \frac{D}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 4900 * \frac{100}{\frac{10}{6}} * 2 * \frac{0.2}{2}$$

$$T_{wmin} = 58800$$

$$R_{11} = T_{wmin} * \frac{10}{t_{cf}}$$

$$R_{11} = 58800 * \frac{10}{30}$$

$$R_{11} = 0.218203$$

#4 Fuerza en ala de columna

$$R_{uc} = \frac{M_u}{\frac{d_b}{1000} - \frac{t_{wf}}{1000}} t$$

$$R_{uc} = \frac{41}{\frac{800}{1000} - \frac{10}{1000}} t$$

$$R_{uc} = 86.72 t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{t_{cf}}{10}\right) * 2 * \frac{F_{yb}}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 0.9 * 6.25 * \left(\frac{30}{10}\right) * 2 * \frac{3515}{1000} t$$

$$R_{nd1} = 118.63 t$$

$$R_{12} = \frac{R_{uc}}{R_{nd1}}$$

$$R_{12} = \frac{86.72}{118.63}$$

$$R_{12} = 0.291624$$

#5 Fluencia local en el alma de la columna

$$K = t_{cf} + 0.6 * 25.4$$

$$K = 30 + 0.6 * 25.4$$

$$K = 45.24$$

$$L_b = t_{bf}$$

$$L_b = 15$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{K}{10} + \frac{L_b}{10} \right) * F_{yb} * \frac{t_{wc}}{1000} \quad t$$

$$R_{nd} = 1 * \left(5 * \frac{45.24}{10} + \frac{15}{10} \right) * 3515 * \frac{22}{1000} \quad t$$

$$R_{nd} = 186519 \quad t$$

$$R_{13} = \frac{R_{uc}}{R_{nd}}$$

$$R_{13} = \frac{86.72}{186519}$$

$$R_{13} = 0.2782200$$

#6 columna local

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{t_{wc}}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{l_b}{d_b} * \frac{t_{wc}}{t_{cf}} * 1.5 * \frac{F_{yb} * t_{cf}}{t_{wc}}}{1000} \quad t$$

$$R_{nw} = 0.75 * 135 * \frac{8}{10} * 2 * \frac{1 + 3 \frac{7.8}{450} * \frac{8}{30} * 1.5 * \frac{3515 * 30}{22}}{1000}$$

$$R_{nw} = 120.58 \quad t$$

$$R_{14} = \frac{R_{uc}}{R_{nw}}$$

$$R_{14} = \frac{86.72}{120.58}$$

$$R_{14} = 0.0213389$$

#7 demanda axial en la columna

$$P_u = V_u$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * F_{yb} * \frac{d_c}{10} * \frac{t_{wc}}{10} * \frac{1}{1000} \quad t$$

$$R_{ncp} = 0.9 * 0.6 * 3515 * \frac{500}{10} * \frac{8}{10} * \frac{1}{1000}$$

$$R_{ncp} = 207.791 \text{ t}$$

$$R_{15} = \frac{R_{uc}}{R_{ncp}}$$

$$R_{15} = \frac{86.72}{207.791}$$

$$R_{15} = 0.248543$$

Resumen de resultados de conexión soldada:

RESUMEN DE CONEXIONES [WUF-W] PARA LAS VIGAS:	
VIGA PARA CONECTAR (mm)	PLACA CORTE (mm)
VM: 450X200X10X15	100X390X15
VM: 450X180X8X15	100X390X15
VM: 400x150x5x10	100X340X10
VM: 800X200X10X15	100X740X15

El diseño de estas uniones soldadas se fundamenta en la misma filosofía aplicada a los tres tipos de vigas utilizadas, las cuales están conectadas a momento en todos los pórticos. En consecuencia, se presenta un esquema representativo de la unión. Además, en la tabla titulada “Placas de Cortante PC”, ubicada en las páginas siguientes, se detallan las especificaciones de cada una de las placas correspondientes a las vigas involucradas en el proyecto.

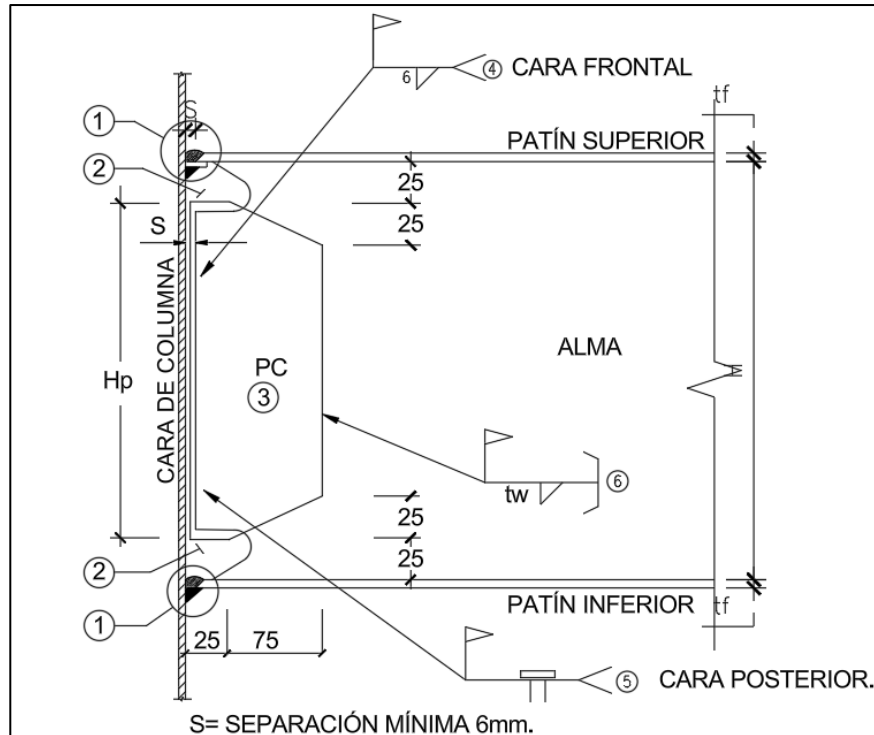


Ilustración 40: Unión general WUF-W

INDICACIONES:

- ① SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) EN LOS PATINES SUPERIOR E INFERIOR.
EN EL PATÍN SUPERIOR DEJAR LA PLATINA DE RESPALDO PR 20x6mm Y COLOCAR UNA SOLDADURA DE FILETE DE 5mm DEBAJO LA PLATINA.
EN EL PATÍN INFERIOR RETIRAR LA PLATINA DE RESPALDO O USAR UNA PLATINA DE RESPALDO NO FUSIBLE, ESMERILAR LA PARTE INFERIOR DEL CORDÓN Y AÑADIR UNA SOLDADURA DE FILETE. NO SE ACEPTARÁ NINGÚN TIPO DE RESPALDO FIJO.
EL TAMAÑO DEL FILETE ADYACENTE A LA COLUMNA SERA DE UN MÍNIMO DE 10mm Y EL TAMAÑO DEL FILETE ADYACENTE AL PATÍN DE LA VIGA SERA TAL QUE ESTÉ LOCALIZADO EN EL METAL BASE DEL PATÍN.
- ② AGUJEROS DE ACCESO SÍSMICOS.
SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) A LO ALTO DE LA LONGITUD DEL ALMA, ENTRE LOS AGUJEROS DE ACCESO, EN LA RANURA DEJADA ENTRE LA PLACA DE CORTE (PC) Y LA CARA DE LA COLUMNA.
LIMPIAR LA ESCORIA CON ESMERIL ENTRE PASES DE SOLDADURA.
- ③ PLACA DE CORTE (PC).
EL ESPESOR DE LA PC ES IGUAL A LA DEL ALMA DE LA VIGA.
- ④ SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL (FILETE) DE 6mm DE ESPESOR A TODO LO ALTO DE LA UNIÓN ENTRE LA PLACA DE CORTE Y LA PARED DE LA COLUMNA (CARA FRONTAL).
- ⑤ SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) ENTRE EL ALMA DE LA VIGA Y LA CARA DE LA COLUMNA, UTILIZANDO LA PLACA DE CORTE COMO RESPALDO. (CARA POSTERIOR).
- ⑥ SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL (FILETE) ENTRE LA PLACA DE CORTE Y EL ALMA DE LA VIGA (CARA POSTERIOR).

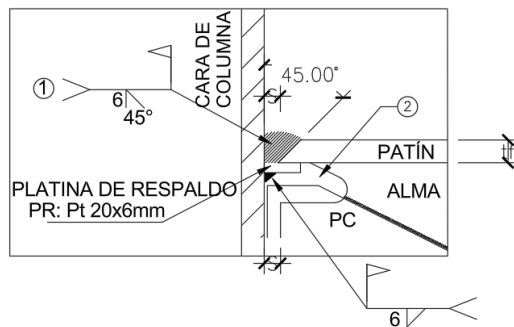
Ilustración 41: Indicaciones por cada ítem

INDICACIONES:

7. SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) EN LOS PATINES SUPERIOR E INFERIOR.

- En el patín superior dejar la platina de respaldo PR 20x6mm y colocar una soldadura de filete de 5mm debajo de la platina.
- En el patín inferior retirar la platina de respaldo o usar una platina de respaldo no fusible, esmerilar la parte inferior del cordón y añadir una soldadura de filete. **No se aceptará ningún tipo de respaldo fijo.**
- El tamaño del filete adyacente a la columna será de un mínimo de 10mm y el tamaño del filete adyacente al patín de la viga será tal que esté localizado en el metal base del patín.

1A. PATÍN SUPERIOR.



1B. PATÍN INFERIOR

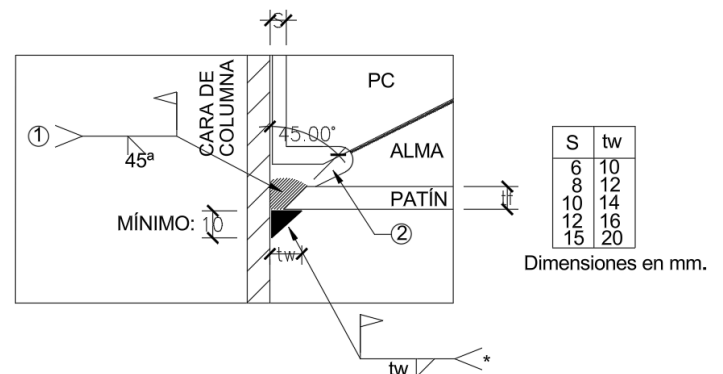


Ilustración 42: Detalles de soldadura Patín de vigas

8. AGUJEROS DE ACCESO SÍSMICOS.

- Soldadura de ranura de penetración completa (SRPC) a lo alto de la longitud del alma, entre los agujeros de acceso, en la ranura dejada entre la placa de corte (PC) y la cara de la columna.
- Limpiar la escoria con esmeril entre pases de soldadura.

② AGUJEROS DE ACCESO SÍSMICOS

NORMA: ANSI/AISC 360-16
MEDIDAS EN MILÍMETROS
Esc. 1:5

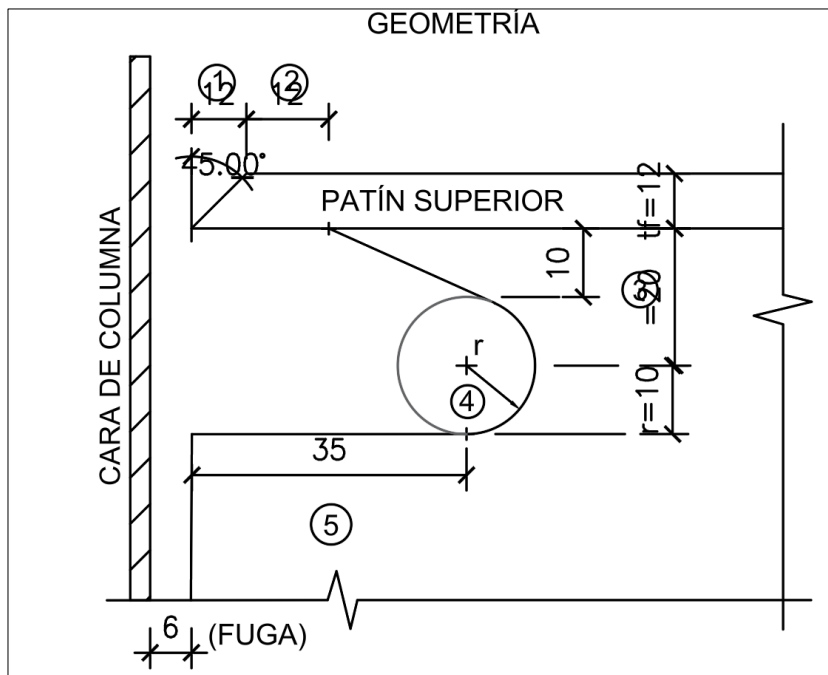


Ilustración 43: Agujero patín superior

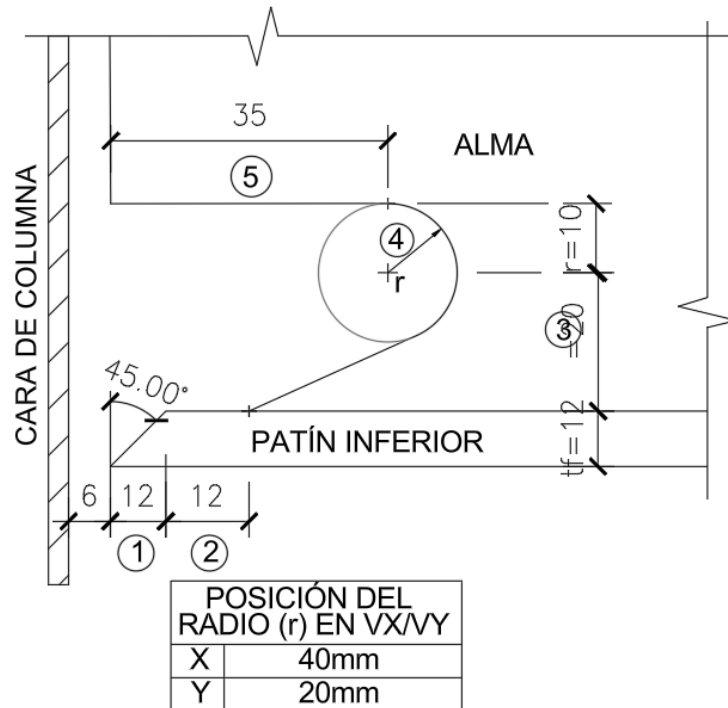


Ilustración 44: Agujero patín inferior

NOMENCLATURA:

- ① ANGULO DE BISEL 45°, SEGUN A.W.S. D1.1.
- ② EL MAYOR VALOR ENTRE t_f ó 1/2" (12.5mm)
- ③ EL MAYOR VALOR ENTRE t_f ó 3/4" (19mm)+/- 6mm
- ④ RADIO MÍNIMO 3/8" (10mm)
- ⑤ 3 t_f . +/- 13mm

* UTILIZAR TALADRO PARA EJECUTAR EL RADIO $r=10\text{mm}$.

* UTILIZAR DISCO Y AMOLADORA PARA LOS CORTES RECTOS.

Ilustración 45: Nomenclatura

9. PLACA DE CORTE (PC).

- El espesor de la PC es igual al del alma de la viga, también se puede usar un poco mayor, en este caso por criterio de autor y recomendaciones externas se usará espesor igual al patín de la viga, todo con el fin de garantizar que la unión sea más fuerte que la viga y columna.

PLACAS DE CORTANTE PC

VIGA	ALMA	PC - ASTM A572 Gr50
VM: 450X200X10X15	10.00 mm	PL 100x390x15mm
VM: 450X180X8X15	8.00 mm	PL 100x390x15mm
VM: 400X150X5X10	5.00 mm	PL 100x340x10mm
VM: 800X200X10X15	10.00 mm	PL 100x740x15mm

Ilustración 46: Placas de corte unión WUF-W

10. SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL (FILETE) DE 6mm DE ESPESOR a todo lo alto de la unión entre la placa de corte y la pared de la columna (cara frontal).

11. SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA (SRPC) entre el alma de la viga y la cara de la columna, utilizando la placa de corte como respaldo.

12. SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL (FILETE) entre la placa de corte y el alma de la viga (cara posterior).

3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se puede observar, se han diseñado dos tipos de uniones es metálicas. La primera es una unión apernada y soldada con placa final (4ES), mientras que la segunda corresponde a una unión tipo WUF-W (Welded Unreinforced Flange - Welded Web), la cual, aunque contempla inicialmente pernos en el alma de la viga, en este caso será implementada exclusivamente mediante soldadura, convirtiéndose en una unión completamente soldada.

Para la unión tipo 4ES, se contempla una altura máxima de 610 mm y una altura mínima de 360 mm. En casos donde las alturas superen este rango, se deberá emplear una configuración distinta, reemplazando la disposición de 4 pernos superiores y 4 pernos inferiores por una de 8 pernos en ambas posiciones (superior e inferior). Por lo tanto, en este proyecto es necesario considerar ambos tipos de uniones con sus respectivas configuraciones.

Para la unión soldada, no se requieren tantos cálculos como en el caso anterior; en cambio, es fundamental comprender la lectura técnica de las especificaciones de soldadura, conocer los límites y seguir todas las recomendaciones aplicables, tanto para los agujeros sísmicos como para las soldaduras en sí. En este contexto, el procedimiento se basa principalmente en las directrices proporcionadas por la *American Welding Society (AWS)* (2020). Por ello, se ha elaborado un esquema que incluye todas las recomendaciones y valores específicos, el cual será aplicado a los tres tipos de vigas que deben conectarse en el proyecto.

Se realizó el modelado de la estructura y la revisión del diseño de los elementos estructurales para garantizar que cumplieran con los criterios de resistencia y rigidez establecidos. Tanto las vigas como las columnas fueron evaluadas, asegurando su correcto desempeño dentro del

sistema estructural.

Se verificó la configuración estructural, compuesta por pórticos resistentes conformados por vigas y columnas de sección tipo “I”. Estos elementos estructurales fueron seleccionados como los principales componentes para el diseño y análisis de uniones. Para la configuración estructural se diseñaron dos tipos de uniones metálicas precalificadas, según el estándar **AISC 358 (2022)**:

Unión atornillada con placa final soldada 4ES: Consta de una placa final soldada a la viga y atornillada al ala de la columna, con rigidizadores en el patín superior e inferior.

Unión WUF-W (Welded Unreinforced Flange-Welded Web): Incluye soldadura completa CJP del ala y el alma de la viga a la columna, según los procedimientos establecidos en el capítulo 8 del **AISC 358 (2022)** y las directrices del **AWS (2020)**.

Las dimensiones y características de las uniones diseñadas para las diferentes vigas son las siguientes:

Unión atornillada:

RESUMEN DE CONEXIONES [4ES y 8ES] PARA LAS VIGAS:			
VIGA PARA CONECTAR (mm)	END PLATE (mm)	PERNOS (A490)	RIGIDIZADOR (e=mm)
VM: 450X200X10X15	210X630X27	8 Φ de 1 1/8 in	12
VM: 450X180X8X15	210X630X25	8 Φ de 1 in	12
VM: 400x150x5x10	200x580x20	8 Φ de 3/4 in	10
VM: 800X200X10X15	240X1160X28	16 Φ de 1 1/8 in	12

Unión soldada WUF-W: Ideal cuando las condiciones permiten un control adecuado de los procesos de soldadura.

RESUMEN DE CONEXIONES [WUF-W] PARA LAS VIGAS:	
<i>VIGA PARA CONECTAR (mm)</i>	<i>PLACA CORTE (mm)</i>
VM: 450X200X10X15	100X390X15
VM: 450X180X8X15	100X390X15
VM: 400x150x5x10	100X340X10
VM: 800X200X10X15	100X740X15

Alternativas de diseño y recomendaciones:

Se han planteado dos alternativas de uniones:

Unión atornillada: Recomendable en contextos donde las condiciones climáticas adversas (lluvia) o laborales (trabajos nocturnos) puedan comprometer la calidad de la soldadura. La placa puede ser soldada previamente a la viga y luego montada en obra, asegurándose con pernos a la columna.

Unión soldada WUF-W: Requiere soldadura de penetración completa tanto en el alma como en el ala de la viga. Se siguen los procedimientos del **AISC 358 (2022)** y del **AWS (2020)**.

CONCLUSIONES

Para ambas alternativas de diseño de conexiones, se aplicaron las recomendaciones y especificaciones establecidas en la normativa **AISC 358 (2022)**, complementadas con las directrices de soldadura proporcionadas por el **American Welding Society (AWS, 2020)**. Estas normativas garantizan que los diseños cumplan con los estándares actuales de seguridad y desempeño estructural.

En el caso de las conexiones **4ES** y **8ES**, con placa de extremo y rigidizador respectivamente, se realizó el cálculo del espesor de la placa final (grado GR50), el diámetro de los pernos tipo A490 y las especificaciones de soldadura necesarias entre el alma y las alas de la viga con la placa de extremo. El diseño incluyó el análisis manual y automatizado, utilizando herramientas como **SAP 200** y **Python**, para garantizar precisión y eficiencia en los resultados.

La conexión **WUF-W** se diseñó completamente soldada, utilizando una placa de extremo en la viga, unida al ala de la columna mediante soldadura. Este diseño se desarrolló siguiendo las especificaciones del **AISC 358 (2022)**, complementadas con las indicaciones del **AWS (2020)**. Este último documento proporcionó información detallada sobre aspectos técnicos clave, como las geometrías de los agujeros sísmicos, espesores de soldadura, restricciones y recomendaciones específicas. Todas estas directrices fueron incluidas de manera clara y precisa en los detalles del diseño, garantizando que puedan ser ejecutadas correctamente en taller.

Al comparar los diseños obtenidos, se observa que las conexiones apernadas requieren placas más gruesas y pernos de mayor diámetro que las conexiones soldadas. La elección entre estos tipos depende del contexto de la obra. Por ejemplo, en zonas con lluvias constantes o en trabajos nocturnos, donde la calidad de la soldadura podría verse comprometida, las conexiones

apernadas son más recomendables. Asimismo, en lugares elevados donde el transporte de equipos es complejo, las conexiones apernadas resultan más prácticas. Estos factores resaltan la importancia de considerar las condiciones del entorno y las necesidades específicas del proyecto para garantizar la calidad y viabilidad del diseño estructural.

Después de estudiar el tema del comportamiento de estas conexiones en los pórticos, se nota que las conexiones soldadas desarrollan capacidades significativamente mayores en comparación con las apernadas. Esto se debe, en primer lugar, a que la resistencia de la soldadura es mucho mayor que la del material base, y en segundo lugar, a que la soldadura, al ser continua, distribuye los esfuerzos de manera uniforme, evitando concentraciones de tensiones. Por el contrario, las conexiones apernadas están limitadas por la capacidad de los pernos y son susceptibles a fallas como el desgarre de placas, el aplastamiento y el deslizamiento. Además, el diseño de conexiones apernadas requiere un control más riguroso y la evaluación de diversos estados límite de falla, mientras que, en las conexiones soldadas, el principal desafío se reduce a garantizar la calidad en su ejecución.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que se realice el diseño en algún software de cálculo estructural, para comparar con el que se presenta en este proyecto, a ver si es eficiente como hacer en Python.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

Acura, G. (2023). SMAW: La soldadura más popular en los tanques industriales. *Grupo Acura*.

AISC 358. (2022). AISC 358-22: Prequalified connections for steel moment frames: Part 1 – Connections for common applications. Chicago: American Institute of Steel Construction.

AISC, A. I. (2017). *Manual of Steel Construction*.

American Welding Society (AWS). (2020). AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural Welding Code – Steel. Miami, FL: American Welding Society.

American Welding Society. (2020). [AWS], (2020). *American Welding Society*. Obtenido de https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D1.1-D1.1M-2015-PV.pdf?srsId=AfmBOoxF9Kj77u4HP7DC7iXjeNqk5vRhdOKLRFfnRrBghGNKW90PQSb

Azuero, Á. E. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8), 110-127. Recuperado el 8 de julio de 2024, de <https://www.redalyc.org/journal/5768/576861156005/html/>

Bustamante, M. A. (2022). DISEÑO DE CONEXIONES EMPERNADAS Y SOLDADAS EN LA ESTRUCTURA METÁLICA DE SOLDADAS EN LA ESTRUCTURA METÁLICA DE. *Universidad Nacional del centro de Perú*, 9.

Carigliano, S. (2019). ¿Qué es el análisis estructural? *skyciv*.

- Carlos, C. R. (2021). Tipos de conexiones para estructuras de Acero. *Gerdau Corsa*.
- Cházaro Rosario. (2021). Tipos de conexiones para estructuras de Acero. *Gerdau Corsa*.
- Córdova, B. (2021). PROTOTIPO DE VIVIENDA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CRITERIOS.
- Cruz, A. D. (2021). Corrosión en uniones soldadas. *Zonadepinturas*.
- Díaz, M. C. (2023). Capitulo 7 Conexiones Empernadas Acero Estructural. *SCRIBD*.
- Direct., R. (2024). Una guía de los tipos más comunes de uniones soldadas. *RD*.
- Estolaza, I., & Omar, J. (2019). Procedimiento de diseño de conexiones estructurales aplicado a edificios industriales y mineros de acero. *Repositorio Academico - Universidad de Chile*.
- Guevara, G., & Verdesoto, A. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas,. *Babahoyo: Saberes del*.
- Hernandez, R. (2024). Metodología de la Investigación. *INTERAMERICANA EDITORES S.A*.
- Ingenieros Asesores . (2021). ¿Cómo han evolucionado las estructuras de acero? *IAC*.
- Instituto Politecnico Superior . (2019). *Procesos en Soldadura* . IPN.
- Italo Q. (2024). ¿Qué son las estructuras metálicas? *Arcux*.
- Merino Mora, V. J. (2022). “ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONEXIONES PRECALIFICADAS CON TIPOLOGÍA SOLDADAS Y EMPERNADAS PARA UN SISTEMA SMF EN UN EDIFICIO DE ESTRUCTURA METÁLICA”. Ambato.
- Montaño, M. (2021). *01 Dic CONEXIONES DE ACERO SOLDADAS*. INCIDE A.C.

- Mora, M., & Jackeline, V. (2022). Análisis comparativo de conexiones precalificadas con tipología soldadas y empernadas para un sistema SMF en un edificio de estructura metálica. *Repositorio UTA*.
- Muñoz, C. (2019). Metodología de la Investigación. (*P. S. . de C.V (ed.)*). .
- Oluwafemi et al, J. O. (2021). Una revisión sobre las conexiones de acero y el comportamiento estructural Una revisión sobre las conexiones de acero y el comportamiento estructural. doi:10.1088/1757-899X/1107/1/012083
- Picazo Iranzo, Á. (2019). Medios de unión de estructuras metálicas. *oa.upm*.
- Ramírez, S. P. (2020). Corrosion protection in bolted joints. 59(5).
- Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. (2020). *Stell Structures- Design and behavior*. Pearson Education .
- Serbusa. (2024). Tecnologías avanzadas en soldadura para mantenimiento industrial. *Serbusa.net*.
- Trahair, Bradford, & Gardner, D. N. (2019). *Comportamiento y diseño de estructuras de acero según EC3 (4.ª ed.)*. doi:https://doi.org/10.1201/9781315273518
- Willian T Segui. (2017). *Steel Design*.

ANEXOS DE CALCULOS

ANEXO A: CODIGO DE CALCULO DE UNIÓN PRECALIFICADA

Para la Viga VM: 450X200X10x15

```
## Fecha: 10/10/2024

# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE*****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
# from calculos_4ES import end_plate
import numpy as np
import opsviz as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****

try:
    imagen = Image.open('ENDPLATE01.png')
    alex = Image.open('ENDPLATE02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
    imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE
```

```
# =====
#DATA INPUT MANUALLY FOR USUARIO
# *****

#BEAM Dimensiones (d mm, bbf mm, twb mm, tbf mm, Zxb cm3)
Lh = 7.80 #m Distancia libre que va entre las rotulas plasticas
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 450, 200, 10, 15, 1746
#COLUMN Dimensiones (dc mm, bcf mm, twc mm, tcf mm, Zxc cm3)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

Ry = 1.2 # TABLE A3.2 AISC 341 22
Fy = 3515.348 # kgf/cm2 (Esfuerzo de fluencia)
Fu = 4569.952 # kgf/cm2 (Esfuerzo último)
Fnt = 7953 # kgf/cm2 A490 Tensión nominal a tracción del perno TABLE J3.2 AISC 360 22
#fnt = 6322.241 # kgf/cm2 A325
Fnv = 4792.666 # kgf/cm2 A490
#Fnv = 3772.95 # kgf/cm2 A325
```

```
Vg = 26 # tonnef 1.2*D + 1.6*L
hst = 90 # mm altura de rigidizador
tp = 25 # mm espesor de placa de conexion
bp = 210 # mm minimo 180mm
g = 110 # mm minimo 80mm
de = 45 #mm distancia al borde
pfo = 45 #mm minimo 44mm
tbf = 15 #mm minimo 10mm
pfi = 45 #mm minimo 44mm
h1 = 487 #mm minimo 388mm
h2 = 383 #mm minimo 290mm
dp = 25 #mm diametro de perno
```

```
# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****

def end_plate(Ry, Fy, Fu, Fnt, Fnv, Zxc, Zxb, db, bbf, hst, tp, Vg, Lh, h1, h2, bp, g, dp):
    #Step 1
    Cpr = min((Fy + Fu) / (2 * Fy), 1.2) # (2.4-2) AISC 358
    Mpr = Cpr * (Ry * Fy * Zxb) / 10**5 # (2.4-1) AISC 358

    #Step 2
    lst = hst / (np.tan(30 * np.pi / 180)) #mm
    Sh = lst + tp # (6.7-2) AISC 358 mm

    #Step 3 Shear Force at plating Hinge
    Vh = (2 * Mpr) / Lh + Vg # (2.4-3) AISC 358 Cortante de demanda t

    #Step 4
    Mf = Mpr + Vh * Sh / 1000 #t-

    #Step 5
    #4ES
```

```
#Step 6
db_req = (2 * Mf * 10**5 / (3.1416 * 0.9 * Fnt * (h1/10 + h2/10)))**0.5 * 10 #mm

#Step 7 TABLE J3.3 AISC 360 22
#Adoptar un diametro [1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8] in
#diámetros_mm = [12.70, 15.88, 19.05, 22.23, 25.40, 28.58]

#Step 8
#Espesor de placa de conexión
S = 1/2 * (bp * g)**0.5 #mm
if de <= S:
    # Código dentro del bloque if (asegúrate de que esté correctamente indentado)
    Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/pfo + 1/(2*de))) + 2/g * (h2 * (pfi + S) + h1 * (de + pfo)) #mm
else:
    # Código dentro del bloque else (también asegurándote de que esté correctamente indentado)
    Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/S + 1/pfo)) + 2/g * (h2 * (pfi + S) + h1 * (S + pfo)) #mm

tp_req = ((1.11 * Mf * 10**5) / (0.9 * Fy * (Yp/10)))**0.5
```

```

#Step 9
# Adoptar un espesor mayor al calculado
#Step 10
#Step 11 es para 4E nomas
#Step 12 es para 4E nomas
#Step 13
ts = twf*(Fy/Fy)
#Step 14
#Es el Vh
#Step 15
#Es el Vh
#Step 16
Ab = np.pi/4 *(dp/10)**2
Vu = 0.75*4*Fnt*Ab /1000 #t Capacidad de resistencia dada por los pernos 4
#Step 17
#Falla por aplastamiento y desgarre en la placa de conexion
rni = min(1.2*((de/10)-dp/10/2)*tp/10*Fu,2.4*dp/10*tp/10*Fu)*2 /1000 #t
#rni = min(1.2*((pfo+phi+tbfb)-dp/2)*tp*Fu,2.4*dp*tp*Fu)*2 /1000 #kgf
#Step 18
#Disene la soldadura CJP estas son soldaduras criticas para la union de las alas y
la placa extremo,
#se debe colocar una soldadura de 8mm en el ala en zona interna de la viga.

return Cpr, Mpr,lst, Sh, Vh, Mf, db_req,S,Yp,tp_req,ts,Vu,rni

```

```

# =====
# CALCULATE AUTOMATIC # Call the function with the provided values
# *****

Cpr, Mpr, lst, Sh, Vh, Mf, db_req,S,Yp,tp_req,ts,Vu,rni = end_plate(Ry, Fy, Fu,Fnt,Fnt,
Zxc, Zxb, db,bbf,hst,tp, Vg, Lh,h1,h2,bp,g,dp)
print(f"El momento probable en la viga es: {Mpr}")
print(f"El cortante de sollicitacion es: {Vh} t")
print(f"El diametro requerido para la conexion es de: {db_req} mm")
print(f"El espesor de la placa es: {tp_req} cm")
print(f"El esepor del rigidizador es: {ts} mm")
print(f"El cortante proporcionado por cuatro pernos es: {Vu} t")
print(f"La resistencia rni a desgarre en placa es: {rni}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
El momento probable en la viga es: 84.70160280000002
El cortante de sollicitacion es: 47.7183596923077 t
El diametro requerido para la conexion es de: 30.889513513008254 mm
El espesor de la placa es: 2.6209549783877364 cm
El esepor del rigidizador es: 10.0 mm
El cortante proporcionado por cuatro pernos es: 70.57783264082614 t
La resistencia rni a desgarre en placa es: 89.114064

```

Para la Viga VM: 450X180X8X15

```
## Fecha: 10/10/2024
```

```
# *****  
# ***** CONECTION PRECALIFICATE EJE B*****  
# *****  
# =====  
# '1. Importacion de las librerias'  
# from calculos_4ES import end_plate  
import numpy as np  
import opsvis as opsv  
from PIL import Image  
import matplotlib.pyplot as plt  
# =====  
# *****
```

```
try:  
    imagen = Image.open('ENDPLATE01.png')  
    alex = Image.open('ENDPLATE02.png')  
except FileNotFoundError:  
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los  
archivos.")  
    imagen = alex = None  
  
if imagen and alex:  
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana  
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1  
    plt.imshow(imagen)  
    plt.axis('off')  
    plt.title('VISTA LATERAL')  
  
    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2  
    plt.imshow(alex)  
    plt.axis('off')  
    plt.title('VISTA EN PLANTA')  
  
    plt.show()  
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")  
else:  
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
```

```

#BEAM Dimensiones (d mm, bbf mm, twb mm, tbf mm, Zxb cm3)
Lh = 7.80 #m Distancia libre que va entre las rotulas plasticas
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 450, 180, 8, 15, 1527.3
#COLUMN Dimensiones (dc mm, bcf mm, twc mm, tcf mm, Zxc cm3)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

Ry = 1.2 # TABLE A3.2 AISC 341 22
Fy = 2549 # kgf/cm2 (Esfuerzo de fluencia)
Fu = 4070 # kgf/cm2 (Esfuerzo último)
Fnt = 7953 # kgf/cm2 A490 Tensión nominal a tracción del perno TABLE J3.2 AISC 360 22
#fnt = 6322.241 # kgf/cm2 A325
Fnv = 4792.666 # kgf/cm2 A490
#Fnv = 3772.95 # kgf/cm2 A325

Vg = 17 # tonnef 1.2*D + 1.6*L
hst = 90 # mm altura de rigidizador
tp = 25 # mm espesor de placa de conexion
bp = 210 # mm minimo 180mm
g = 110 # mm minimo 80mm
de = 45 #mm distancia al borde
pfo = 45 #mm minimo 44mm
tbf = 15 #mm minimo 10mm
pfi = 45 #mm minimo 44mm
h1 = 487 #mm minimo 388mm
h2 = 383 #mm minimo 290mm
dp = 28 #mm diametro de perno

```

```

#Step 8
#Espesor de placa de conexión
S = 1/2 *(bp*g)**0.5 #mm
if de <= S:
    # Código dentro del bloque if (asegúrate de que esté correctamente indentado)
    Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/pfo + 1/(2*de))) + 2/g * (h2 * (pfi + S) + h1 * (de + pfo)) #mm
else:
    # Código dentro del bloque else (también asegurándote de que esté correctamente indentado)
    Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/S + 1/pfo)) + 2/g * (h2 * (pfi + S) + h1 * (S + pfo)) #mm

tp_req = ((1.11*Mf*10**5)/(0.9*Fy*(Yp/10)))**0.5

```

```

#Step 9
# Adoptar un espesor mayor al calculado
#Step 10
#Step 11 es para 4E nomas
#Step 12 es para 4E nomas
#Step 13
ts = twf*(Fy/Fy)
#Step 14
#Es el Vh
#Step 15
#Es el Vh
#Step 16
Ab = np.pi/4 *(dp/10)**2
Vu = 0.75*4*Fnv*Ab /1000 #t Capacidad de resistencia dada por los pernos 4
#Step 17
#Falla por aplastamiento y desgarre en la placa de conexion
rni = min(1.2*((de/10)-dp/10/2)*tp/10*Fu,2.4*dp/10*tp/10*Fu)*2 /1000 #t
#rni = min(1.2*((pfo+phi+tbfi)-dp/2)*tp*Fu,2.4*dp*tp*Fu)*2 /1000 #kgf
#Step 18
#Disene la soldadura CJP estas son soldaduras criticas para la union de las alas y la
placa extremo,
#se debe colocar una soldadura de 8mm en el ala en zona interna de la viga.

```

```

# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****

def end_plate(Ry, Fy, Fu,Fnt,Fnv, Zxc, Zxb, db,bbf,hst,tp, Vg, Lh,h1,h2,bp,g,dp):
    #Step 1
    Cpr = min((Fy + Fu) / (2 * Fy),1.2) # (2.4-2) AISC 358
    Mpr = Cpr *(Ry*Fy*Zxb)/10**5 # (2.4-1) AISC 358

    #Step 2
    lst = hst/(np.tan(30*np.pi/180)) #mm
    Sh = lst + tp # (6.7-2) AISC 358 mm

    #Step 3 Shear Force al plasting Hinge
    Vh = (2*Mpr)/Lh + Vg #(2.4-3) AISC 358 Cortante de demanda t

    #Step 4
    Mf = Mpr + Vh*Sh/1000 #t-

    #Step 5
    #4ES

    #Step 6
    db_req = (2*Mf*10**5 /(3.1416*0.9*Fnt*(h1/10 +h2/10)))*0.5 *10 #mm

    #Step 7 TABLE J3.3 AISC 360 22
    #Adoptar un diametro [1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8]in
    #diámetros_mm = [12.70, 15.88, 19.05, 22.23, 25.40, 28.58]

```

```

try:
    imagen = Image.open('ENDPLATE01.png')
    alex = Image.open('ENDPLATE02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
    imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE

# =====
#DATA INPUT MANUALLY FOR USUARIO
# *****

```

```

# =====
# CALCULATE AUTOMATIC # Call the function with the provided values
# *****

```

```

Cpr, Mpr, lst, Sh, Vh, Mf, db_req,S,Yp,tp_req,ts,Vu,rni = end_plate(Ry, Fy, Fu,Fnt,Fnv,
Zxc, Zxb, db,bbf,hst,tp, Vg, Lh,h1,h2,bp,g,dp)
print(f"El momento probable en la viga es: {Mpr} t")
print(f"El cortante de solicitacion es: {Vh} t")
print(f"El diametro requerido para la conexion es de: {db_req} mm")
print(f"El espesor de la placa es: {tp_req} cm")
print(f"El esepor del rigidizador es: {ts} mm")
print(f"El cortante proporcionado por cuatro pernos es: {Vu} t")
print(f"La resistencia rni a desgarre en placa es: {rni}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
El momento probable en la viga es: 56.06046287999999
El cortante de solicitacion es: 31.374477661538457 t
El diametro requerido para la conexion es de: 25.122398197597544 mm
El espesor de la placa es: 2.5032765542137283 cm
El esepor del rigidizador es: 8.0 mm
El cortante proporcionado por cuatro pernos es: 88.53283326465231 t
La resistencia rni a desgarre en placa es: 75.702

```

Para la viga VM: 400X150X5X10

```
## Fecha: 10/10/2024

# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE EJE B*****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
# from calculos_4ES import end_plate
import numpy as np
import opsvi as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****
```

```

try:
    imagen = Image.open( 'ENDPLATE01.png' )
    alex = Image.open( 'ENDPLATE02.png' )
except FileNotFoundError:
    print( "Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos." )
    imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print( "Las imágenes se mostraron correctamente." )
else:
    print( "No se pudieron cargar las imágenes." )

```

```
# =====
# DATA INPUT MANUALLY FOR USUARIO
# *****

#BEAM Dimensiones (d mm, bbf mm, twb mm, tbf mm, Zxb cm3)
Lh = 7.80 #m Distancia libre que va entre las rotulas plasticas
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 450, 150, 5, 10, 765.5
#COLUMN Dimensiones (dc mm, bcf mm, twc mm, tcf mm, Zxc cm3)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

Ry = 1.2 # TABLE A3.2 AISC 341 22
Fy = 2549 # kgf/cm2 (Esfuerzo de fluencia)
Fu = 4070 # kgf/cm2 (Esfuerzo último)
Fnt = 7953 # kgf/cm2 A490 Tensión nominal a tracción del perno TABLE J3.2 AISC 360 22
#fnt = 6322.241 # kgf/cm2 A325
Fnv = 4792.666 # kgf/cm2 A490
#Fnv = 3772.95 # kgf/cm2 A325

Vg = 5 # tonnef 1.2*D + 1.6*L
hst = 90 # mm altura de rigidizador
tp = 25 # mm espesor de placa de conexion
bp = 200 # mm minimo 180mm
g = 110 # mm minimo 80mm
de = 45 #mm distancia al borde
pfo = 45 #mm minimo 44mm
tbf = 10 #mm minimo 10mm
pfi = 45 #mm minimo 44mm
h1 = 440 #mm minimo 388mm
h2 = 340 #mm minimo 290mm
dp = 20 #mm diametro de perno
```

```
# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****

def end_plate(Ry, Fy, Fu, Fnt, Fnv, Zxc, Zxb, db, bbf, hst, tp, Vg, Lh, h1, h2, bp, g, dp):
    #Step 1
    Cpr = min((Fy + Fu) / (2 * Fy), 1.2) # (2.4-2) AISC 358
    Mpr = Cpr * (Ry * Fy * Zxb) / 10**5 # (2.4-1) AISC 358

    #Step 2
    lst = hst / (np.tan(30 * np.pi / 180)) #mm
    Sh = lst + tp # (6.7-2) AISC 358 mm

    #Step 3 Shear Force al plating Hinge
    Vh = (2 * Mpr) / Lh + Vg # (2.4-3) AISC 358 Cortante de demanda t

    #Step 4
    Mf = Mpr + Vh * Sh / 1000 #t-
```

```

#Step 5
#4ES

#Step 6
db_req = (2*Mf*10**5 / (3.1416*0.9*Fnt*(h1/10 + h2/10)))*0.5 *10 #mm

#Step 7 TABLE J3.3 AISC 360 22
#Adoptar un diametro [1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8]in
#diámetros_mm = [12.70, 15.88, 19.05, 22.23, 25.40, 28.58]

#Step 8
#Espesor de placa de conexión
S = 1/2 *(bp*g)**0.5 #mm
if de <= S:
    # Código dentro del bloque if (asegúrate de que esté correctamente indentado)
    Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/pfo + 1/(2*de))) + 2/g * (h2 * (pfi + S) + h1 * (de + pfo)) #mm
else:
    # Código dentro del bloque else (también asegurándote de que esté correctamente indentado)
    Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/S + 1/pfo)) + 2/g * (h2 * (pfi + S) + h1 * (S + pfo)) #mm

tp_req = ((1.11*Mf*10**5)/(0.9*Fy*(Yp/10)))*0.5

```

```

#Step 9
# Adoptar un espesor mayor al calculado
#Step 10
#Step 11 es para 4E nomas
#Step 12 es para 4E nomas
#Step 13
ts = twf*(Fy/Fy)
#Step 14
#Es el Vh
#Step 15
#Es el Vh
#Step 16
Ab = np.pi/4 *(dp/10)**2
Vu = 0.75*4*Fv*Ab /1000 #t Capacidad de resistencia dada por los pernos 4
#Step 17
#Falla por aplastamiento y desgarre en la placa de conexión
rni = min(1.2*((de/10)-dp/10/2)*tp/10*Fu, 2.4*dp/10*tp/10*Fu)*2 /1000 #t
#rni = min(1.2*((pfo+pfi+tbfb)-dp/2)*tp*Fu, 2.4*dp*tp*Fu)*2 /1000 #kgf
#Step 18
#Disene la soldadura CJP estas son soldaduras criticas para la union de las alas y la placa extremo,
#se debe colocar una soldadura de 8mm en el ala en zona interna de la viga.

return Cpr, Mpr, lst, Sh, Vh, Mf, db_req, S, Yp, tp_req, ts, Vu, rni

```

```
# =====
# CALCULATE AUTOMATIC # Call the function with the provided values
# *****

Cpr, Mpr, lst, Sh, Vh, Mf, db_req,S,Yp,tp_req,ts,Vu,rni = end_plate(Ry, Fy, Fu,Fnt,Fnv,
Zxc, Zxb, db,bbf,hst,tp, Vg, Lh,h1,h2,bp,g,dp)
print(f"El momento probable en la viga es: {Mpr}")
print(f"El cortante de solicitacion es: {Vh} t")
print(f"El diametro requerido para la conexion es de: {db_req} mm")
print(f"El espesor de la placa es: {tp_req} cm")
print(f"El esepor del rigidizador es: {ts} mm")
print(f"El cortante proporcionado por cuatro pernos es: {Vu} t")
print(f"La resistencia rni a desgarre en placa es: {rni}")
```

```
Las imágenes se mostraron correctamente.
El momento probable en la viga es: 28.098136799999995
El cortante de solicitacion es: 12.20465046153846 t
El diametro requerido para la conexion es de: 18.589519585439092 mm
El espesor de la placa es: 1.882602530817899 cm
El esepor del rigidizador es: 5.0 mm
El cortante proporcionado por cuatro pernos es: 45.16981289012873 t
La resistencia rni a desgarre en placa es: 85.47
```

UNIÓN 8ES PARA VIGA: 800X200X10X15

```
## Fecha: 15/1/2025

# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE 8ES*****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
import numpy as np
import opsviz as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****
```

```

try:
    imagen = Image.open('ENDPLATE03.png')
    alex = Image.open('ENDPLATE04.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
    imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE

#BEAM Dimensiones (d mm, bbf mm, twb mm, tbf mm, Zxb cm3)
Lh = 7.80 #m Distancia libre que va entre las rotulas plasticas
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 800, 200, 10, 15, 4426
#COLUMN Dimensiones (dc mm, bcf mm, twc mm, tcf mm, Zxc cm3)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

Ry = 1.2 # TABLE A3.2 AISC 341 22
Fy = 3515.348 # kgf/cm2 (Esfuerzo de fluencia)
Fu = 4569.952 # kgf/cm2 (Esfuerzo último)
Fnt = 7953 # kgf/cm2 A490 Tensión nominal a tracción del perno TABLE J3.2 AISC 360 22
#fnt = 6322.241 # kgf/cm2 A325
Fnv = 4792.666 # kgf/cm2 A490
#Fnv = 3772.95 # kgf/cm2 A325

```

```

Vg = 28 # tonnef 1.2*D + 1.6*L
hst = 180 # mm altura de rigidizador
tp = 28 # mm espesor de placa de conexion
bp = 240 # mm minimo 180mm
g = 130 # mm minimo 80mm
de = 45 #mm distancia al borde
pfo = 45 #mm minimo 44mm
tbf = 15 #mm minimo 10mm
pfi = 45 #mm minimo 44mm
h1 = 928 #mm minimo 388mm
h2 = 838 #mm minimo 290mm
h3 = 733 #mm
h4 = 643 #mm
dp = 28 #mm diametro de perno
pb = 90 # mm 2.67*db (diametro de perno)
hcp = 375 #mm altura de placa equivalente en cada extremo
# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****

def end_plate(Ry, Fy, Fu, Fnt, Fnv, Zxc, Zxb, db, bbf, hst, tp, Vg, Lh, h1, h2, bp, g, dp):
    #Step 1
    Cpr = min((Fy + Fu) / (2 * Fy), 1.2) # (2.4-2) AISC 358
    Mpr = Cpr * (Ry * Fy * Zxb) / 10**5 # (2.4-1) AISC 358

    #Step 2
    lst = hst / (np.tan(30 * np.pi / 180)) #mm
    Sh = lst + tp # (6.7-2) AISC 358 mm

    #Step 3 Shear Force al plasting Hinge
    Vh = (2 * Mpr) / Lh + Vg # (2.4-3) AISC 358 Cortante de demanda t

    #Step 4
    Mf = Mpr + Vh * Sh / 1000 #t-

    #Step 5
    #4ES

    #Step 6 8ES
    db_req = (2 * Mf * 10**5 / (3.1416 * 0.9 * Fnt * ((h1/10 + h2/10 + h3/10 + h4/10)))**0.5 * 10 #mm

    #Step 7 TABLE J3.3 AISC 360 22
    #Adoptar un diametro [1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8]in
    #diámetros_mm = [12.70, 15.88, 19.05, 22.23, 25.40, 28.58]

```

```

#Step 8 8ES
#Espesor de placa de conexión
S = 1/2 *(bp*g)**0.5 #mm
if de <= S:
    # Código dentro del bloque if (asegúrate de que esté correctamente indentado)
    #Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/pfo + 1/(2*de))) + 2/g * (h2 * (pfi
+ S) + h1 * (de + pfo)) #mm
    Yp = bp/2 * (h1 * (1/(2*de)) + h2 * (1/pfo) + h3 * (1/pfi) + h4 * (1/S)) + 2/g*
(h1*(de + 3*pb/4) + h2*(pfo + pb/4) + h3*(pfi + 3*pb/4) + h4*(S+pb/4)) + g #mm
else:
    # Código dentro del bloque else (también asegurándote de que esté correctamente
indentado)
    #Yp = bp/2 * (h2 * (1/pfi + 1/S) + h1 * (1/S + 1/pfo)) + 2/g * (h2 * (pfi + S)
+ h1 * (S + pfo)) #mm
    Yp = bp/2 * (h1 * (1/S) + h2 * (1/pfo) + h3*(1/pfi) + h4*(1/S)) + 2/g * (h1 *
(S + pb/4) + h2 * (pfo + 3*pb/4) + h3*(pfi + pb/4) + h4*(S + 3*pb/4)) #mm

tp_req = ((1.11*Mf*10**5)/(0.9*Fy*(Yp/10)))*0.5

```

```

#Step 9
# Adoptar un espesor mayor al calculado
#Step 10
#Step 11 es para 4E nomas
#Step 12 es para 4E nomas
#Step 13
ts = twf*(Fy/Fy)
Landa = hst/ts
Lmax = 0.56*(2100000/Fy)
if Landa <= Lmax:
    print(f"cumple rigidizador pandeo local")
else:
    print(f"no cumple el rigidizador pandeo local")
    # La soldadura ente el rigidizador y la viga debe diseñarse para soportar
    #la demanda por corte se puede usar filete o CJP mejor CJP cuando e mayor a
10mm
    # La soldadura entre el rigidizador y la placa entrema debe diseñarse para
soportar
    #la tension en dicha union y se debe usar CJP

```

```

#Step 14
#Es el Vh
#Step 15
#Es el Vh
#Step 16
Ab = np.pi/4 *(dp/10)**2
Vu = 0.75*8*Fnv*Ab /1000 #t Capacidad de resistencia dada por los pernos 8
#Step 17
#Falla por aplastamiento y desgarre en la placa de conexi3n
Anv = (hcp/10 - 4*(dp/10 + 1/16))*tp/10 #cm2
RCp = 0.75*0.9*Fu*Anv*2/1000 #t Capacidad de cortante vertical
rni = min(1.2*((de/10)-dp/10/2)*tp/10*Fu,2.4*dp/10*tp/10*Fu)*2 /1000 #t
#rni = min(1.2*((pfo+pfi+tbfi)-dp/2)*tp*Fu,2.4*dp*tp*Fu)*2 /1000 #kgf
#Step 18
#Disene la soldadura CJP estas son soldaduras criticas para la union de las alas y
la placa extremo,
#se debe colocar una soldadura de 8mm en el ala en zona interna de la viga.

return Cpr, Mpr,lst, Sh, Vh, Mf, db_req,S,Yp,tp_req,ts,Vu,rni,RCp

# =====
# CALCULATE AUTOMATIC # Call the function with the provided values
# *****

Cpr, Mpr, lst, Sh, Vh, Mf, db_req,S,Yp,tp_req,ts,Vu,rni,RCp = end_plate(Ry, Fy,
Fu,Fnt,Fnv, Zxc, Zxb, db,bbf,hst,tp, Vg, Lh,h1,h2,bp,g,dp)
print(f"El momento probable en la viga es: {Mpr}")
print(f"El cortante de sollicitacion es: {Vh} t")
print(f"El diametro requerido para la conexi3n es de: {db_req} mm")
print(f"El espesor de la placa es: {tp_req} cm")
print(f"El esepor del rigidizador es: {ts} mm")
print(f"la resistencia a cortante de la placa es: {RCp} t")
print(f"El cortante proporcionado por ocho pernos es: {Vu} t")
print(f"La resistencia rni a desgarre en placa es: {rni}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
cumple rigidizador pandeo local
El momento probable en la viga es: 214.7132268
El cortante de sollicitacion es: 83.05467353846154 t
El diametro requerido para la conexi3n es de: 26.223620680808402 mm
El espesor de la placa es: 2.74983094304806 cm
El esepor del rigidizador es: 10.0 mm
la resistencia a cortante de la placa es: 449.9986034880001 t
El cortante proporcionado por ocho pernos es: 177.06566652930462 t
La resistencia rni a desgarre en placa es: 95.20124006400002

```

ANEXO B: CODIGO DE CALCULO DE UNIÓN PRECALIFICADA WUF-W

Para la Viga VM: 450X200X10X15

```
## Fecha: 10/01/2024

# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE *****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
# from calculos_4ES import end_plate
import numpy as np
import opsvis as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****

try:
    imagen = Image.open('WUF01.png')
    alex = Image.open('WUF02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
# %
    imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE
```

```

# =====
#DATA INPUT MANUALLY FOR  USUARIO
# *****
#-----

# g = 76.2 #mm espacio vertical entre lineas
# # no use stiffner
# G = 12.7 #mm
# Leh = 50.8 #mm distancia horizontal hacia el brode de la placa
# Lev = 38.1 #mm  distancia externa hacia borde de placa desde centro de perno
# S = 76.2 # mm separacion interna vertical de pernos
# n = 3 # numero de pernos verticales
# # TIPO DE PERNO A325
# d = 7/8*25.4 # mm diametro de perno
# Fnv = 3796.576 #kgf/cm2
#-----

#HOLE TYPE STD
#WELD MATERIAL E70XX
Fexx = 70*70.307 #ksi a kgf/cm2
#WELD THICKNESS (1/16*D)
D = 4*25.4 # mm
#PLATE MATERIAL
hp = 390 #mm altura de la placa
T = 15 #mm espesor de la placa de conexion
Fup = 4077.804 # kgf/cm2


#BEAM
Lb = 7.8 #m longitud del vano de cara a cara de viga
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 450, 200, 10, 15, 1746
Fyb = 3515.348 #Kg/cm2 A50
Fub = 4569.952 #kgf/cm2 A50
Ry = 1.1 #GR50
#Fyb = 2531.05 #Kg/cm2 A36
#Fub = 4077.804 #kgf/cm2 A36
#COLUMN Dimensiones (dc mm,bcf mm,twc mm, tcf mm, Zxc cm3)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8


# SOLICITACIONES
Pu = 0 #t
#-----Mpr-----
# Cpr = 1.4 #Segun datos expermentales muestran un alto grado de endurecimiento
# Mpr = Cpr *(Ry*Fyb*Zxb)/10**5 # t (2.4-1) AISC 358
# MuD= 34.84 #t-m
# Mu = max(MuD,Mpr)
Mu = 43# t-m
#-----Vp-----
# Vg = 25 #t
# Vu = 2*Mpr/Lb + Vg
Vu = 30#t

```

```

#9. Resistencia a flexion de viga F13
#Modulo elástico de la sección
b = bbf - twf #mm
h = db - 2*tb #mm
Sxx = (bbf/10 *(db/10)**2)/6 - (b/10 *(h/10)**3)/(6*db/10)
#Resistencia a flexión de viga
Md = 0.9*Fub*Sxx /10**5 #de kgf*cm a t-m
R9 = Mu/Md #Ratio demanda sobre capacidad (Momento de diseño/Momento resistente de viga)
print(f"La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es: {R9}")

#10. Resistencia de soldadura
Rs = 0.75*0.6*Fexx*D/10/16 *(2)**0.5/2 *hp/10*2 /1000 #t
R10 = Vu/Rs
print(f"el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: {R10}")

#11. Resistencia de alma de columna a soldadura
#Espesor requerido de alma de viga
Twmin = Fexx*D/10/16 *(2)**0.2/2 /(0.6*Fub)
R11 = Twmin*10/tcf
print(f"El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: {R11}")

#12. Fuerza en ala de columna
Ruc = Mu /(db/1000 -twf/1000) #t
Rnd1 = 0.9*6.25*(tcf/10)**2 *Fyb /1000 #t
R12 = Ruc/Rnd1

print(f"La relacion R12 es: {R12}")

#13. Fluencia local en el alma de la columna (J10.2)
K = tcf + 0.6*25.4 #
#Resistencia disponible
lb = tbf #Length of bearing
Rnd = 1*(5*K/10 + lb/10)*Fyb*twc/10 /1000 #t
R13 = Ruc/Rnd
print(f"La relacion R13 es: {R13}")

#14. Column web Local crippling Rnw (J10.3)
#Deformación en el alma de la columna
Rnw = 0.75*135*(twc/10)**2 *(1 + 3*(lb/db)*(twc/tcf)**1.5)*(Fyb*tcf/twc) /1000 #t
R14 = Ruc/Rnw
print(f"la relacion R14 es: {R14}")

#15. Web panel- Zone Shear (J10.6)
#Cortante en zona de panel del alma
Agc = (dc/10 *twc/10) + (bcf/10 *tcf/10)*2 #cm2
Py = Fyb*Agc/1000 #t

#Demanda axial en la columna
Pu = Vu
#Resistencia
Rncp = 0.9*0.6*Fyb*dc/10*twc/10 *1/1000 #t
R15 = Ruc/Rncp
print(f"la relacion R15 es: {R15}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es:
0.6804716075393948
el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: 0.3867753642465089
El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: 0.21820374101852452
La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es:
0.5491391645289733
La relacion R13 es: 0.5238988806776586
la relacion R14 es: 0.039143295385230883
la relacion R15 es: 0.4680163334053749

```

Para la Viga VM: 450X180X8X15

```

## Fecha: 10/10/2024

# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE EJE B*****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
# from calculos_4ES import end_plate
import numpy as np
import opsviz as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****

try:
    imagen = Image.open('WUF01.png')
    alex = Image.open('WUF02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
# %
imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE

```

```

#HOLE TYPE STD
#WELD MATERIAL E70XX
Fexx = 70*70.307 #ksi a kgf/cm2
#WELD THICKNESS (1/16*D)
D = 4*25.4 # mm
#PLATE MATERIAL
hp = 390 #mm altura de la placa
T = 15 #mm espesor de la placa de conexion
Fup = 4077.804 # kgf/cm2

#BEAM
Lb = 7.8 #m longitud del vano de cara a cara de viga
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 450, 180, 8, 15, 1527.3
Fyb = 3515.348 #Kg/cm2 A50
Fub = 4569.952 #kgf/cm2 A50
Ry = 1.1 #GR50
#Fyb = 2531.05 #Kg/cm2 A36
#Fub = 4077.804 #kgf/cm2 A36
#COLUMN Dimensiones (dc mm,bcf mm,twc mm, tcf mm, Zxc cm³)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

```

```

# SOLICITACIONES
Pu = 0 #t
#-----Mpr-----
# Cpr = 1.4 #Segun datos experimentales muestran un alto grado de endurecimiento
# Mpr = Cpr *(Ry*Fyb*Zxb)/10**5 # t (2.4-1) AISC 358
# MuD= 34.84 #t-m
# Mu = max(MuD,Mpr)
Mu = 43# t-m
#-----Vp-----
# Vg = 25 #t
# Vu = 2*Mpr/Lb + Vg
Vu = 30#t
# =====

```

```

# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****
# -----

```

```

#-----
#9. Resistencia a flexion de viga F13
#Modulo elástico de la sección
b = bbf - twf #mm
h = db - 2*tbf #mm
Sxx = (bbf/10 *(db/10)**2)/6 - (b/10 *(h/10)**3)/(6*db/10)
#Resistencia a flexión de viga
Md = 0.9*Fub*Sxx /10**5 #de kgf*cm a t-m
R9 = Mu/Md #Ratio demanda sobre capacidad (Momento de diseño/Momento resistente de viga)
print(f"La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es: {R9}")

#10. Resistencia de soldadura
Rs = 0.75*0.6*Fexx*D/10/16 *(2)**0.5/2 *hp/10*2 /1000 #t
R10 = Vu/Rs
print(f"el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: {R10}")

#11. Resistencia de alma de columna a soldadura
#Espesor requerido de alma de viga
Twmin = Fexx*D/10/16 *(2)**0.2/2 /(0.6*Fub)
R11 = Twmin*10/tcf
print(f"El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: {R11}")

#12. Fuerza en ala de columna
Ruc = Mu /(db/1000 -twf/1000) #t
Rnd1 = 0.9*6.25*(tcf/10)**2 *Fyb /1000 #t
R12 = Ruc/Rnd1

print(f"La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es: {R12}")

#13. Fluencia local en el alma de la columna (J10.2)
K = tcf + 0.6*25.4 #
#Resistencia disponible
lb = tbf #Length of bearing
Rnd = 1*(5*K/10 + lb/10)*Fyb*twc/10 /1000 #t
R13 = Ruc/Rnd
print(f"La relacion R13 es: {R13}")

#14. Column web Local crippling Rnw (J10.3)
#Deformación en el alma de la columna
Rnw = 0.75*135*(twc/10)**2 *(1 + 3*(lb/db)*(twc/tcf)**1.5)*(Fyb*tcf/twc) /1000 #t
R14 = Ruc/Rnw
print(f"la relacion R14 es: {R14}")

#15. Web panel-Zone Shear (J10.6)
#Cortante en zona de panel del alma
Agc = (dc/10 *twc/10) + (bcf/10 *tcf/10)*2 #cm2
Py = Fyb*Agc/1000 #t

#Demanda axial en la columna
Pu = Vu
#Resistencia
Rncp = 0.9*0.6*Fyb*dc/10*twc/10 *1/1000 #t
R15 = Ruc/Rncp
print(f"la relacion R15 es: {R15}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es:
0.7713872574916074
el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: 0.3867753642465089
El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: 0.21820374101852452
La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es:
0.5466543719292946
La relacion R13 es: 0.5215282975071713
la relacion R14 es: 0.0389661764015873
la relacion R15 es: 0.4658986124397397

```

Para la Viga VM: 400x150x5x10

```

# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE EJE B*****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
# from calculos_4ES import end_plate
import numpy as np
import opsviz as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****

try:
    imagen = Image.open('WUF01.png')
    alex = Image.open('WUF02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
# %
    imagen = alex = None

```

```

try:
    imagen = Image.open('WUF01.png')
    alex = Image.open('WUF02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
# %
    imagen = alex = None

if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE

```

```

-----
#HOLE TYPE STD
#WELD MATERIAL E70XX
Fexx = 70*70.307 #ksi a kgf/cm2
#WELD THICKNESS (1/16*D)
D = 4*25.4 # mm
#PLATE MATERIAL
hp = 390 #mm altura de la placa
T = 15 #mm espesor de la placa de conexion
Fup = 4077.804 # kgf/cm2

#BEAM
Lb = 7.8 #m longitud del vano de cara a cara de viga
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 400, 150, 5, 10, 765.5
Fyb = 3515.348 #Kgf/cm2 A50
Fub = 4569.952 #kgf/cm2 A50
Ry = 1.2 #GR50
#Fyb = 2531.05 #Kgf/cm2 A36
#Fub = 4077.804 #kgf/cm2 A36
#COLUMN Dimensiones (dc mm,bcf mm,twc mm, tcf mm, Zxc cm³)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

```

```

# SOLICITACIONES
Pu = 0 #t
#-----Mpr-----
# Cpr = 1.4 #Segun datos experimentales muestran un alto grado de endurecimiento
# Mpr = Cpr *(Ry*Fyb*Zxb)/10**5 # t (2.4-1) AISC 358
# MuD= 34.84 #t-m
# Mu = max(MuD,Mpr)
Mu = 5# t-m
#-----Vp-----
# Vg = 25 #t
# Vu = 2*Mpr/Lb + Vg
Vu = 10#t
# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****

```

#9. Resistencia a flexion de viga F13

#Modulo elástico de la sección

b = bbf - twf #mm

h = db - 2*tb #mm

Sxx = (bbf/10 *(db/10)**2)/6 - (b/10 *(h/10)**3)/(6*db/10)

#Resistencia a flexión de viga

Md = 0.9*Fub*Sxx /10**5 #de kgf*cm a t-m

R9 = Mu/Md #Ratio demanda sobre capacidad (Momento de diseño/Momento resistente de viga)

print(f"La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es: {R9}")

#10. Resistencia de soldadura

Rs = 0.75*0.6*Fexx*D/10/16 *(2)**0.5/2 *hp/10*2 /1000 #t

R10 = Vu/Rs

print(f"el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: {R10}")

#11. Resistencia de alma de columna a soldadura

#Espesor requerido de alma de viga

Twmin = Fexx*D/10/16 *(2)**0.2/2 /(0.6*Fub)

R11 = Twmin*10/tcf

print(f"El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: {R11}")

#12. Fuerza en ala de columna

Ruc = Mu /(db/1000 -twf/1000) #t

Rnd1 = 0.9*6.25*(tcf/10)**2 *Fyb /1000 #t

R12 = Ruc/Rnd1

print(f"La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es: {R12}")

```

#13. Fluencia local en el alma de la columna (J10.2)
K = tcf + 0.6*25.4 #
#Resistencia disponible
lb = tbf #Length of bearing
Rnd = 1*(5*K/10 + lb/10)*Fyb*twc/10 /1000 #t
R13 = Ruc/Rnd
print(f"La relacion R13 es: {R13}")

#14. Column web Local crippling Rnw (J10.3)
#Deformación en el alma de la columna
Rnw = 0.75*135*(twc/10)**2 *(1 + 3*(lb/db)*(twc/tcf)**1.5)*(Fyb*tcf/twc) /1000 #t
R14 = Ruc/Rnw
print(f"la relacion R14 es: {R14}")

#15. Web panel- Zone Shear (J10.6)
#Cortante en zona de panel del alma
Agc = (dc/10 *twc/10) + (bcf/10 *tcf/10)*2 #cm2
Py = Fyb*Agc/1000 #t

#Demanda axial en la columna
Pu = Vu
#Resistencia
Rncp = 0.9*0.6*Fyb*dc/10*twc/10 *1/1000 #t
R15 = Ruc/Rncp
print(f"la relacion R15 es: {R15}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es: 0.17751764793443717
el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: 0.12892512141550297
El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: 0.21820374101852452
La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es: 0.07112782819921938
La relacion R13 es: 0.06929501775431994
la relacion R14 es: 0.005146094949449749
la relacion R15 es: 0.060620308124334686

```

Para la Viga VM: 800X200X10X15

Fecha: 15/01/2025

```
# *****
# ***** CONECTION PRECALIFICATE *****
# *****
# =====
# '1. Importacion de las librerias'
# from calculos_4ES import end_plate
import numpy as np
import opsviz as opsv
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# *****

try:
    imagen = Image.open('WUF01.png')
    alex = Image.open('WUF02.png')
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se pudo cargar alguna de las imágenes. Verifica las rutas y los archivos.")
# %
    imagen = alex = None
```

```
if imagen and alex:
    # Mostrar ambas imágenes en una sola ventana
    plt.subplot(1, 2, 1) # Subgráfico 1
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA LATERAL')

    plt.subplot(1, 2, 2) # Subgráfico 2
    plt.imshow(alex)
    plt.axis('off')
    plt.title('VISTA EN PLANTA')

    plt.show()
    print("Las imágenes se mostraron correctamente.")
else:
    print("No se pudieron cargar las imágenes.")
# DESIGN PROCEDURE
```

```
# =====
# DATA INPUT MANUALLY FOR USUARIO
# *****
# =====
```

```

#-----
#HOLE TYPE STD
#WELD MATERIAL E70XX
Fexx = 70*70.307 #ksi a kgf/cm2
#WELD TICKNESS (1/16*D)
D = 4*25.4 # mm
#PLATE MATERIAL
hp = 740 #mm altura de la placa
T = 15 #mm espesor de la placa de conexion
Fup = 4077.804 # kgf/cm2

#BEAM
Lb = 7.8 #m longitud del vano de cara a cara de viga
db, bbf, twf, tbf, Zxb = 800, 200, 10, 15, 4426
Fyb = 3515.348 #Kgf/cm2 A50
Fub = 4569.952 #kgf/cm2 A50
Ry = 1.1 #GR50
#Fyb = 2531.05 #Kgf/cm2 A36
#Fub = 4077.804 #kgf/cm2 A36
#COLUMN Dimensiones (dc mm,bcf mm,twc mm, tcf mm, Zxc cm³)
dc, bcf, twc, tcf, Zxc = 500, 500, 22, 30, 8114.8

```

```

# SOLICITACIONES
Pu = 0 #t
#-----Mpr-----
# Cpr = 1.4 #Segun datos expermentales muestran un alto grado de endurecimiento
# Mpr = Cpr *(Ry*Fyb*Zxb)/10**5 # t (2.4-1) AISC 358
# MuD= 34.84 #t-m
# Mu = max(MuD,Mpr)
Mu = 41# t-m
#-----Vp-----
# Vg = 25 #t
# Vu = 2*Mpr/Lb + Vg
Vu = 27#t
# =====
# CALCULATE AUTOMATIC
# *****
#-----

```

```

#-----
#9. Resistencia a flexion de viga F13
#Modulo elástico de la sección
b = bbf - twf #mm
h = db - 2*tbf #mm
Sxx = (bbf/10 *(db/10)**2)/6 - (b/10 *(h/10)**3)/(6*db/10)
#Resistencia a flexión de viga
Md = 0.9*Fub*Sxx /10**5 #de kgf*cm a t-m
R9 = Mu/Md #Ratio demanda sobre capacidad (Momento de diseño/Momento resistente de
viga)
print(f"La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es: {R9}")

#10. Resistencia de soldadura
Rs = 0.75*0.6*Fexx*D/10/16 *(2)**0.5/2 *hp/10*2 /1000 #t
R10 = Vu/Rs
print(f"el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: {R10}")

#11. Resistencia de alma de columna a soldadura
#Espesor requerido de alma de viga
Twmin = Fexx*D/10/16 *(2)**0.2/2 /(0.6*Fub)
R11 = Twmin*10/tcf
print(f"El espesor minimo sobre el espesor de la viga es R11: {R11}")

#12. Fuerza en ala de columna
Ruc = Mu /(db/1000 -twf/1000) #t
Rnd1 = 0.9*6.25*(tcf/10)**2 *Fyb /1000 #t
R12 = Ruc/Rnd1

print(f"La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es: {R12}")

```

```

#13. Fluencia local en el alma de la columna (J10.2)
K = tcf + 0.6*25.4 #
#Resistencia disponible
lb = tbf #Length of bearing
Rnd = 1*(5*K/10 + lb/10)*Fyb*twc/10 /1000 #t
R13 = Ruc/Rnd
print(f"La relacion R13 es: {R13}")

#14. Column web Local crippling Rnw (J10.3)
#Deformación en el alma de la columna
Rnw = 0.75*135*(twc/10)**2 *(1 + 3*(lb/db)*(twc/tcf)**1.5)*(Fyb*tcf/twc) /1000 #t
R14 = Ruc/Rnw
print(f"la relacion R14 es: {R14}")

#15. Web panel-Zone Shear (J10.6)
#Cortante en zona de panel del alma
Agc = (dc/10 *twc/10) + (bcf/10 *tcf/10)*2 #cm2
Py = Fyb*Agc/1000 #t

#Demanda axial en la columna
Pu = Vu
#Resistencia
Rncp = 0.9*0.6*Fyb*dc/10*twc/10 *1/1000 #t
R15 = Ruc/Rncp
print(f"la relacion R15 es: {R15}")

```

```

Las imágenes se mostraron correctamente.
La relacion de momento demanda sobre momento capacidad R9 es: 0.3055726006643978
el ratio de cortante sobre resistencia a soldadura es R10: 0.18345696331151978
El espesor mínimo sobre el espesor de la viga es R11: 0.21820374101852452
La relacion de fuerza en ala de columna entre resistencia es: 0.2916240956167995
La relacion R13 es: 0.278220070869148
la relacion R14 es: 0.021338949162730343
la relacion R15 es: 0.24854326330977222

```