

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CONEXIONES  
SEMI-RÍGIDAS PARA REDUCIR EL PESO DE ESTRUCTURAS DE  
ACERO MEDIANTE EL ANÁLISIS ELÁSTICO DE SEGUNDO ORDEN**

**Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería Civil**

**Presentado por:**

**José Emilio Díaz Escobedo**

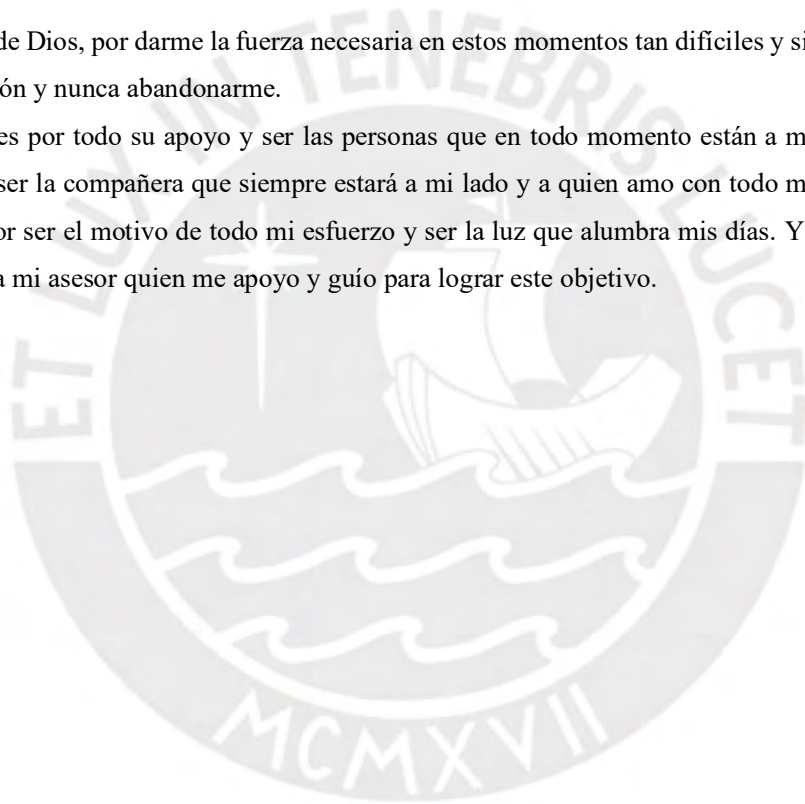
**ASESOR:**

**Dr. Víctor Ivan Fernández-Dávila Gonzales**

**Lima, 2021.**

A la gloria de Dios, por darme la fuerza necesaria en estos momentos tan difíciles y siempre vivir en mi corazón y nunca abandonarme.

A mis padres por todo su apoyo y ser las personas que en todo momento están a mi lado, a mi esposa por ser la compañera que siempre estará a mi lado y a quien amo con todo mi corazón, a mis hijos por ser el motivo de todo mi esfuerzo y ser la luz que alumbra mis días. Y finalmente, las gracias a mi asesor quien me apoyo y guío para lograr este objetivo.



## Resumen

Esta tesis se enfoca a en el comportamiento estructural de cuatro tipos de conexiones Semi-rígidas Ángulo simple en el alma (SWA), Ángulo doble en el alma (DWA), Ángulo superior e inferior en las alas (TSFA) y Ángulo superior e inferior en las alas con doble ángulo en el alma (TSFA-DWA), para determinar su influencia en el comportamiento de pórticos arriostrados en sus extremos. Tomando en cuenta el modelo matemático de Hasan, Kishi y Chen (1998) que permite identificar el comportamiento no lineal de estas conexiones y con la ayuda de un programa en Matlab, se ha evaluado el comportamiento no lineal de 4832 casos de conexiones con distinta geometría, cargas y peraltes de viga; estos resultados se presentan el Anexo A. De igual forma se elaboró otro programa en Matlab que permite ingresar el comportamiento no lineal de la conexión e incorporarlo al análisis no lineal de toda la estructura, en este caso se evaluaron 360 casos de pórticos arriostrados con distinta geometría, parámetros sísmicos, cargas y el grado de rigidez de acuerdo al tipo de conexión. De la evaluación de conexiones se puede decir que, las conexiones Simples en alma (SWA) resisten el 50% de las conexiones doble en el alma (DWA), las conexiones TSFA conectadas a las alas de la viga, su resistencia depende más del espesor de los ángulos que de la longitud, y en conexiones TSFA-DWA el comportamiento es variable, cuando los ángulos conectados en el alma son esbeltos, su aporte se reduce y el aporte de los ángulos conectados en las alas de la viga aumenta. Y, de la evaluación de pórticos se concluyó que el grado de rigidez  $m = 11$  permite reducir el peso de estructuras hasta en 20% y si el grado de rigidez es mayor a 11, sólo permite reducir el peso de la estructura hasta 22%. Finalmente, se aplicó el análisis de regresión múltiple con la data recolectada de la evaluación de pórticos para plantear cuatro fórmulas analíticas que determinan en forma rápida el peso de la estructura, el momento sísmico transmitido a la cimentación por los arriostres, el drift en el último nivel y el periodo fundamental con un margen de error de 10%.

## Abstract

This thesis focuses on the structural behavior of four types of semi-rigid connections: Simple angle in the web (SWA), Double angle in the web (DWA), Upper and lower angle in the wings (TSFA) and Upper and lower angle on wings with double web angle (TSFA-DWA), to determine its influence on the behavior of frames braced at their ends. Taking into account the mathematical model of Hasan, Kishi and Chen (1998) that allows to identify the non-linear behavior of these connections and with the help of a Matlab program, the non-linear behavior of 4832 cases of connections with different geometry has been evaluated. , beam loads and superelevations; These results are presented in Annex A. In the same way, another program was developed in Matlab that allows entering the non-linear behavior of the connection and incorporating it into the non-linear analysis of the entire structure. In this case, 360 cases of braced frames with different geometry, seismic parameters, loads and the degree of rigidity according to the type of connection. From the evaluation of connections it can be said that, Simple connections in web (SWA) resist 50% of double connections in web (DWA), TSFA connections connected to the beam flanges, their resistance depends more on the thickness of the angles than of the length, and in TSFA-DWA connections the behavior is variable, when the angles connected in the web are slender, their contribution is reduced and the contribution of the angles connected in the flanges of the beam increases. And, from the evaluation of frames, it was concluded that the degree of stiffness  $m = 6$  allows reducing the weight of structures by up to 20% and if the degree of stiffness is greater than 6, it only allows reducing the weight of the structure by up to 22%. Finally, multiple regression analysis was applied with the data collected from the evaluation of frames to propose four analytical formulas that quickly determine the weight of the structure, the seismic moment transmitted to the foundation by the braces, the drift in the last level and the fundamental period with a margin of error of 10%.

## Índice de Contenido

	Página
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES.....	3
1.1. Justificación y motivación .....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Antecedentes .....	5
1.4. Alcance .....	6
1.5. Reseña histórica.....	7
1.6. Análisis estructural de pórticos de acero según la norma E090 Estructuras de Acero ...	11
1.7. Modelos de diseño de conexiones semi-rígidas .....	14
1.7.1. Modelos Experimentales.....	15
1.7.2. Modelos Analíticos.....	15
1.7.3. Modelos empíricos.....	18
1.7.4. Modelos con elementos finitos .....	24
1.7.5. Modelos mecánicos.....	27
1.7.6. Método de componentes.....	28
2. ESTADO DEL ARTE.....	30
2.1. Conexiones semi-rígidas.....	31
2.1.1. Curva Momento – Rotación .....	32
2.1.2. Comportamiento de conexiones Semi-Rígidas.....	34
2.1.3. Conexiones en vigas con cargas de gravedad.....	34
2.2. Ejemplo Ilustrativo 1 .....	36
2.3. Clasificación de conexiones.....	38

2.3.1.	Conexiones según la Norma E090 del RNE.....	38
2.3.2.	Clasificación según AISC .....	40
2.3.3.	Clasificación según Eurocódigo .....	42
2.3.4.	Clasificación según Bjorhovde.....	42
2.3.5.	Clasificación según Astaneh.....	43
2.4.	Descripción de conexiones semi-rígidas.....	45
a.	Conexión con ángulo simple en el alma. ....	46
b.	Conexión con doble ángulo en el alma. ....	46
c.	Conexión con ángulo superior e inferior con ángulo doble en el alma.....	47
d.	Conexión con ángulo superior e inferior sin ángulo doble en el alma.....	47
e.	Conexión con plancha extendida y plancha alineada .....	48
f.	Conexión con plancha cabecera. ....	49
2.5.	Propiedades mecánicas de conexiones semi-rígidas (momento último $M_u$ , rigidez inicial $R_{ki}$ y parámetro de forma $n$ ) (Chen, Goto, & Liew, 1996) .....	49
2.5.1.	Propiedades geométricas de conexiones .....	50
2.5.2.	Modelo de potencia de tres parámetros.....	52
2.5.3.	Conexiones con ángulo simple y doble en el alma. ....	54
2.5.4.	Conexiones con ángulo superior e inferior sin ángulo en el alma. ....	59
2.5.5.	Conexiones con ángulo superior e inferior con ángulo en el alma. ....	62
2.6.	Análisis estructural elástico de segundo orden.....	69
2.6.1.	Método de Análisis Directo (Direct Analysis Method - DAM).....	69
2.6.2.	Modelo computacional de Conexiones Semi-rígidas.....	74
2.6.3.	Comportamiento de Zona de Panel.....	74
2.6.4.	Ejemplo ilustrativo 2.....	74
3.	EVALUACIÓN PARAMÉTRICA - CONEXIONES .....	80
3.1.	Metodología.....	80
3.2.	Criterios para los parámetros de diseño conexiones.....	81
3.2.1.	Esfuerzo de fluencia.....	81
3.2.2.	Cargas.....	81
3.2.3.	Longitud del ángulo de conexión.....	81

3.2.4.	Peralte de las vigas.....	83
3.2.5.	Espesores de ángulos .....	84
3.2.6.	Dimensión W para pernos .....	84
3.2.7.	Dimensión g.....	84
3.2.8.	Dimensión k.....	85
3.3.	Resumen de parámetros geométricos .....	86
3.4.	Programa para el cálculo de conexiones .....	88
3.5.	Resultados de la evaluación de conexiones .....	90
4.	<b>ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA</b> .....	91
4.1.	Metodología .....	91
4.2.	Parámetros de evaluación .....	95
4.2.1.	Tipos de conexión (grado de rigidez).....	95
4.2.2.	Zonificación sísmica .....	95
4.2.3.	Parámetros de suelo .....	96
4.2.4.	Carga viva .....	96
4.2.5.	Geometría de los pórticos.....	96
4.2.6.	Factor de reducción de ductilidad.....	96
4.3.	Principales características evaluadas .....	97
4.3.1.	Peso de la estructura.....	97
4.3.2.	Momento Máximo .....	97
4.3.3.	Drift.....	97
4.3.4.	Periodo de la estructura.....	97
4.4.	Evaluación de pórticos arriostrado con conexiones semi-rígidas.....	98
4.5.	Ejemplo ilustrativo 3 .....	101
5.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	109
5.1.	Resultados de evaluación de conexiones .....	109
5.1.1.	Conexiones con ángulo en el alma (SWA) y doble ángulo en el alma (DWA). 109	
5.1.2.	Conexiones con Ángulo Superior e Inferior en el Ala de la Viga (TSFA).....	113
5.1.3.	Conexiones con Ángulo Superior e Inferior en el Ala de la Viga y Doble Ángulo en el Alma (TSFA-DWA) .....	115

5.2.	Resultados de evaluación de pórticos .....	120
5.2.1.	Peso de la estructura.....	120
5.2.2.	Momento máximo de la estructura.....	121
5.2.3.	Desplazamiento lateral último piso.....	122
5.2.4.	Periodo de la estructura .....	123
5.2.5.	Ratio de esfuerzos axiales sobre los arriostres.....	124
5.2.6.	Esfuerzos sobre columnas .....	124
5.3.	Método simplificado para obtener el porcentaje de reducción del peso de la estructura utilizando conexiones semi-rígidas.....	124
5.3.1.	Condiciones para la aplicación de fórmulas.....	125
5.3.2.	Metodología.....	128
5.4.	Ejemplo ilustrativo 3 .....	129
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	134
4.1.	CONCLUSIONES .....	134
A.	RECOMENDACIONES.....	135
5.	REFERENCIAS .....	137
6.	ANEXOS.....	140
A.	GEOMETRÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONEXIONES SEMI-RÍGIDAS 141	
B.	PROCEDIMIENTO Y ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE CUATRO TIPOS DE CONEXIONES SEMI-RÍGIDAS .....	170
C.	ALGORITMO PARA LA EVALUACIÓN DE PÓRTICOS CON EL PROGRAMA SAP2000 .....	208
D.	HOJA DE EXCEL CON DATOS DE ENTRADA Y SALIDA PARA EVALUACIÓN DE PÓRTICO ARRIOSTRADO DE ACERO.....	221

## Índice de Figuras

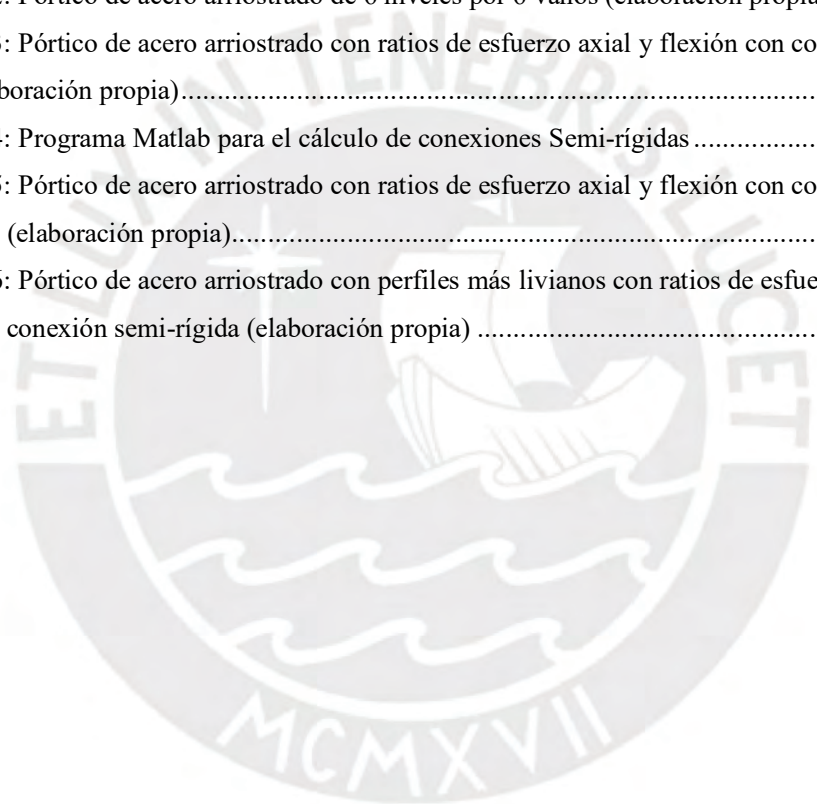
Figura 1-1. Comportamiento No Lineal de varios tipos de conexiones semi-rígidas.....	3
Figura 1-2. Redistribución de momentos flectores en conexiones Simples (a) y Semi-rígidas (b) .....	4
Figura 1-3. Giro del nudo cuando tiene conexión semi-rígida .....	9
Figura 1-4: Desplazamiento unitarios (izquierda) en una barra empotrada y solicitaciones asociadas (derecha). (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014).....	12
Figura 1-5: Matriz local de rigidez de elemento barra. (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014) .....	12
Figura 1-6: Reacciones de apoyos en vigas tomando en cuenta que son rígidos. (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014).....	13
Figura 1-7: Reacciones de los apoyos de viga con apoyos rígido y articulado. (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014).....	13
Figura 1-8: Curva Momento Rotación, (Chen, Goto, & Liew, 1996).....	16
Figura 1-9: Comparación de curvas M- $\theta$ , según datos experimentales y de predicción (Lee & Moon, 2001) .....	17
Figura 1-10: Clasificación de conexiones de acuerdo con el modelo de Frye-Morris.....	19
Figura 1-11: Valores de constantes para diferentes tipos de conexión estudiados como los parámetros K, C1, C2 y C3. (figura 2.6: Curve fitting constants and standardization constants for Frye-Morris polynomial model, all size parameters are in inches (1 in = 2.54 cm), Movahedi Rad 2011).....	20
Figura 1-12: Conexión tipo plancha frontal extendida con cuatro pernos en la zona de tracción. .....	21
Figura 1-13: Conexión tipo plancha frontal. ....	22
Figura 1-14: Diagrama de momento curvatura para diferentes valores de n.....	23
Figura 1-15: Curva Momento Rotación, modelo de Ramberg - Osgood. ....	24
Figura 1-16: Curva de momento rotación y deformación plástica de Von Mises (amplificada x5) Ensayo experimental T101.007 .....	26
Figura 1-17: Distribución de esfuerzos de Von Mises para conexiones con plancha en el extremo (Bahaz et al. 2018).....	27
Figura 1-18: Modelo mecánico de Del Sabio 2009 .....	28
Figura 2-1: Tipos de conexiones.....	30
Figura 2-2: Clasificación según el tipo de apoyo de la conexión (a) articulada, (b) Rígida, (c) Semi-rígida.....	31
Figura 2-3: Efecto del tipo de soporte en la distribución de momentos flectores y deflexiones de vigas. ....	32

Figura 2-4: Deformación rotacional de la conexión. ....	32
Figura 2-5: Curvas de momento rotación de distintos tipos de conexiones semi-rígidas.....	33
Figura 2-6: Clasificación de la respuesta de momento rotación de conexiones Rígidas, Semi-rígidas y Simples.....	34
Figura 2-7: Curva de momento rotación de la conexión y la viga.....	35
Figura 2-8: Momento en conexión de viga según el grado de rigidez de la conexión (N.m).....	37
Figura 2-9: Definición de rigidez, esfuerzo y características de ductilidad de la conexión (AISC, 2016).....	40
Figura 2-10: Clasificación de las conexiones según Bjorhovde 1999.....	43
Figura 2-11: Curva de momento rotación de conexiones (Astaneh-Asl. 1995).....	45
Figura 2-12: Conexión con ángulo simple en el alma o placa simple (Single web plate).....	46
Figura 2-13: Conexión con ángulo doble en el alma o placa doble (Double web plate).....	47
Figura 2-14: Conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma (Top and seat angle and double web plate).....	47
Figura 2-15: Conexión con ángulo superior e inferior sin ángulo doble en el alma (Top and seat angle without double web plate).....	48
Figura 2-16: Conexión con plancha extendida. ....	48
Figura 2-17: Conexión con plancha alineada.....	49
Figura 2-18: Conexión con plancha cabecera.....	49
Figura 2-19: Dimensiones estándar para una conexión.....	51
Figura 2-20: Dimensiones estándar para una conexión con ángulo.....	51
Figura 2-21: Conexión con ángulo simple en el alma o placa simple (Single web plate).....	53
Figura 2-22: Conexión semi-rígida con ángulo simple.....	54
Figura 2-23: Conexión semi-rígida con ángulo doble.....	54
Figura 2-24: Rigidez inicial de la conexión para ángulo simple en el alma (single web-angle). 56	
Figura 2-25: Capacidad última de momento para ángulo simple en el alma (single web-angle). .....	57
Figura 2-26: Curvas características para calcular la capacidad de momento último de una conexión de ángulo simple. ....	58
Figura 2-27: Conexión con ángulo superior e inferior.....	59
Figura 2-28: Coeficiente $D_t$ para $R_{kts}$ de una conexión con ángulo superior e inferior sin conexión doble en el alma. ....	60
Figura 2-29: Capacidad de $M_u$ en conexiones con ángulo superior e inferior sin ángulo doble en el alma (a) modificando $\gamma_t$ para $\delta_t = 40$ a $80$ . (b) modificando $\gamma_t$ para $\delta_t = 5$ a $40$ . ....	61
Figura 2-30: Conexión con ángulo superior e inferior con ángulo doble en el alma.....	63
Figura 2-31: Curva característica $\beta^* t$ para calcular la rigidez inicial en la conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma. (9.12 Chen).....	65

Figura 2-32: Curva característica $\beta'w$ para calcular la rigidez inicial en la conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma. ....	65
Figura 2-33: Curva característica con $\beta*t$ para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma $\delta t = 10.0$ (Fig 9.14, Chen). ....	67
Figura 2-34: Curva característica con $\beta w$ para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma $\delta t = 10.0$ (Fig 9.15, Chen). ....	67
Figura 2-35: Curva característica con $\beta*t$ para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma $\delta t = 20.0$ (Fig 9.16, Chen). ....	68
Figura 2-36: Curva característica con $\beta w$ para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma $\delta t = 20.0$ (Fig 9.17, Chen). ....	68
Figura 2-37: Efectos de segundo orden de una columna AISC 2016. ....	72
Figura 2-38: Modelo idealizado de elementos viga-columna. (Deierlein, Reinhorn, & Willford, 2010). ....	74
Figura 2-39: Pórtico plano de acero con conexiones Semi-rígidas. ....	75
Figura 2-40: Programa Matlab para la evaluación de Conexiones Semi-rígidas con carga uniforme sobre la viga (kips-in) ....	77
Figura 2-41: Curva no lineal de momento rotación de conexión SR-2. ....	77
Figura 2-42: Curva no lineal de momento rotación de conexión SR-2 en programa Sap2000 ...	78
Figura 2-43: Definición de cargas teóricas para carga muerta DL y carga viva LL. ....	78
Figura 2-44: Reducción de rigidez de vigas – Método de Análisis Directo Sap2000. ....	79
Figura 3-1: Diagrama de flujo Programa de cálculo de Conexiones ....	81
Figura 3-2: Dimensión T para un perfil W de acuerdo a las Tablas 1-1 del AISC ....	82
Figura 3-3: Figura AISC para conexiones con ángulos superior e inferior. ....	83
Figura 3-4: Gráfico AISC para conexiones con ángulos superior e inferior. ....	83
Figura 3-5: Dimensiones de pernos según AISC 2005. ....	84
Figura 3-6: Longitudes libres para conexiones con pernos. ....	85
Figura 3-7: Dimensiones estándar para ángulos. ....	86
Figura 3-8: Programa en Matlab – Elaboración propia Input de Datos. ....	89
Figura 3-9: Programa en Matlab – Elaboración propia – Resultados de evaluación ....	90
Figura 4-1: Pórtico de acero arriostrado en sus extremos con 5 niveles y 5 vanos. ....	91
Figura 4-2: Diagrama de Evaluación de pórticos ....	94
Figura 4-3: Diagrama de flujo Programas para evaluación de Pórticos. ....	95
Figura 4-4: Tipos de conexiones a evaluar de acuerdo a clasificación del AISC (2016). ....	95
Figura 4-5: Tipos de conexiones a evaluar de acuerdo a clasificación del AISC (2016). ....	96
Figura 4-6: Factor de ductilidad para diferentes sistemas estructurales – Norma E030 Diseño Sismo Resistente). ....	97
Figura 4-7: Pórtico de tres niveles con viga con apoyos simples ....	101

Figura 4-8: Respuesta del pórtico con vigas W10X39, Izquierda) Ratios de resistencia, Derecha) Momento flector por combinación DSTL 3:1.2DL+1.6LL.....	102
Figura 4-9: Diseño de viga W10X39 con AISC 360-16 .....	102
Figura 4-10: Comportamiento no lineal de la conexión y viga de soporte (kip.in) Programa Elaboración Propia.....	103
Figura 4-11: Comportamiento no lineal de la conexión (Azul) y viga de soporte W10X39 (Naranja) en N.m .....	104
Figura 4-12: Curva de comportamiento no lineal en Link/Support en Sap2000 .....	104
Figura 4-13: Respuesta del pórtico con vigas W10X39 y Conexión Semi-Rígida., Izquierda) Ratios de resistencia, Derecha) Momento flector por combinación DSTL 3:1.0DL+1.6LL ....	105
Figura 4-14: Diagrama de momento flector y cortante de viga W10X39.....	105
Figura 4-15: Respuesta del pórtico, Izquierda) Ratios de resistencia, Derecha) Momento flector por combinación DSTL 3:1.0DL+1.6LL .....	106
Figura 4-16: Diagrama de momento flector y cortante de viga W10X26.....	107
Figura 4-17: Curva de momento rotación de conexión y curva de momento de viga W10X39 (Naranja) y viga W10X26 (Gris).....	107
Figura 5-1: Conexión DWA – Momento último según longitud del ángulo lw y Fy .....	110
Figura 5-2: Conexión DWA - Momento último según el espesor del ángulo tw. ....	111
Figura 5-3: Conexión DWA: Conexión DWA - Momento último según la distancia de la cara del ángulo al eje del perno gw y el espesor del ángulo. ....	112
Figura 5-4: Conexión TSFA - Momento último según la longitud del ángulo lw y lt y el peralte de la viga D.....	114
Figura 5-5: Conexión TSFA – Momento último según espesor del ángulo tt y tw. ....	115
Figura 5-6: Conexión TSFA-DWA. Momento último según longitud del ángulo lw y lt y el peralte de viga D.....	116
Figura 5-7: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo tw y tt y el peralte de viga (1 de 2).....	117
Figura 5-8: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo tw y tt y el peralte de viga (2 de 2).....	118
Figura 5-9: Comportamiento de conexiones con distintos tipos de viga y carga constante .....	119
Figura 5-10: Comportamiento de conexiones con distintos tipos de viga carga gravitacional variable.....	119
Figura 5-11: Variación del peso de la estructura de 5 niveles x 5 vanos en base al tipo de conexión y el esfuerzo de fluencia del material.....	120
Figura 5-12: Peso de la estructura de acuerdo al grado de rigidez, numero de niveles y vanos	121
Figura 5-13: Momento sísmico en el arriostre de acuerdo al grado de rigidez y la geometría del pórtico .....	122

Figura 5-14: Desplazamiento relativo en último nivel según grado de rigidez y la geometría del pórtico .....	123
Figura 5-15: Periodo de la estructura de acuerdo al grado de rigidez y la geometría del pórtico .....	123
Figura 5-16: Ratios de esfuerzos axiales sobre los arriostres. ....	124
Figura 5-17: Porcentaje de peso de columnas (Elaboración propia).....	126
Figura 5-18: Porcentaje de peso de vigas (Elaboración propia) .....	126
Figura 5-19: Porcentaje de peso de arriostres (Elaboración propia) .....	127
Figura 5-20: Ratio de columnas (Elaboración propia) .....	127
Figura 5-21: Ratio de arriostres (Elaboración propia) .....	128
Figura 5-22: Pórtico de acero arriostrado de 6 niveles por 6 vanos (elaboración propia).....	130
Figura 5-23: Pórtico de acero arriostrado con ratios de esfuerzo axial y flexión con conexión simple (elaboración propia).....	131
Figura 5-24: Programa Matlab para el cálculo de conexiones Semi-rígidas .....	132
Figura 5-25: Pórtico de acero arriostrado con ratios de esfuerzo axial y flexión con conexión semi-rígida (elaboración propia).....	132
Figura 5-26: Pórtico de acero arriostrado con perfiles más livianos con ratios de esfuerzo axial y flexión con conexión semi-rígida (elaboración propia) .....	133



## Índice de Tablas

Tabla 2-1: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga W14x53.....	36
Tabla 2-2: Geometría de conexiones Semi-rígidas con viga W14x53 .....	36
Tabla 2-3: Propiedades mecánicas de las conexiones.....	37
Tabla 2-4: Clasificación de la conexión de acuerdo con su rigidez. (AISC 2016) .....	41
Tabla 2-5: Clasificación de las conexiones según el Eurocódigo (Monfort, 1999). .....	42
Tabla 2-6: Clasificación de las conexiones de acuerdo a su rigidez (Astaneh-Asl, 1995).....	44
Tabla 2-7: Clasificación de las conexiones de acuerdo con su rigidez y la relación de resistencia (Astaneh-Asl, 1995).....	45
Tabla 2-8: Comparación de metodologías para verificación de estabilidad AISC .....	70
Tabla 2-9: Ejemplo 1. Cargas y combinación de cargas sobre viga W14x53 .....	75
Tabla 2-10: Ejemplo 1. Propiedades de viga W14x53.....	75
Tabla 2-11: Ejemplo 1. Propiedades geométricas de Conexiones Semi-rígidas.....	75
Tabla 2-12: Ejemplo 1. Propiedades mecánicas de Conexiones Semi-rígidas (kip.in).....	76
Tabla 2-13: Ejemplo 1. Momento equivalente (Me), Rigidez Equivalente (Req) y Relación de rigidez de conexión y viga (m) kip.in. ....	77
Tabla 2-14: Ejemplo 1. Resultados de Momentos flectores. ....	79
Tabla 2-15: Ejemplo 1. Resultados de Momentos flectores. ....	79
Tabla 3-1: Longitud de ángulo para conexión simple y doble .....	82
Tabla 3-2: Valor mínimo de g para conexiones.....	85
Tabla 3-3: Parámetros de evaluación para conexiones DWA .....	86
Tabla 3-4: Parámetros de evaluación para conexiones TSFA .....	86
Tabla 3-5: Parámetros de evaluación para conexiones TSFA - DWA.....	87
Tabla 3-6: Total de casos con conexiones evaluadas.....	88
Tabla 3-7: Datos de entrada para calcular las propiedades de la conexión. ....	88
Tabla 4-1: Parámetros de pórticos evaluados. ....	92
Tabla 4-2: Parámetros de pórticos con diferentes tipos de conexiones.....	93
Tabla 4-3: Geometría de conexiones para viga W10 y W12.....	98
Tabla 4-4: Resultados de evaluación de conexión Mu, Ri, n, para viga W10.....	98
Tabla 4-5: Resultados de evaluación de conexión Mu, Ri, n, para viga W12.....	99
Tabla 4-6: Cálculo del momento último Mu, rigidez inicial Rki y parámetro de forma n para obtener el momento equivalente en la conexión para la viga W10 (kip.in y N.m).....	99
Tabla 4-7: Cálculo del momento último Mu, rigidez inicial Rki y parámetro de forma n para obtener el momento equivalente en la conexión para la viga W12. (kip.in y N.m).....	99
Tabla 4-8: Resultados de evaluación de conexión.....	103

Tabla 4-9: Propiedades de la viga W10x26.....	106
Tabla 5-1: Conexión DWA - Momento último de la conexión según longitud del ángulo $l_w$ y $F_y$ .....	109
Tabla 5-2: Conexión DWA - Momento último según el espesor del ángulo $t_w$ .....	111
Tabla 5-3: Conexión DWA - Momento último según la distancia de la cara del ángulo al eje del perno $g_w$ y el espesor del ángulo.....	112
Tabla 5-4: Conexión TSFA - Momento último según la longitud del ángulo $l_w$ y $l_t$ y el peralte de la viga $D$ .....	113
Tabla 5-5: Conexión TSFA – Momento último según espesor del ángulo $t_t$ y $t_w$ .....	114
<i>Tabla 5-6: Conexión TSFA-DWA. Momento último según longitud del ángulo <math>l_w</math> y <math>l_t</math> y el peralte de viga <math>D</math>.....</i>	<i>115</i>
Tabla 5-7: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo $t_w$ y $t_t$ y el peralte de viga (1 de 2).....	117
Tabla 5-8: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo $t_w$ y $t_t$ y el peralte de viga (2 de 2).....	118
Tabla 5-9: Datos de pórtico arriostrado de acero con conexiones simples.....	130
Tabla 5-10: Propiedades de la viga de soporte.....	131
Tabla 5-11: Propiedades geométricas de la conexión.....	131
Tabla 5-11: Propiedades mecánicas de la conexión.....	131
Tabla 5-12: Ratios de esfuerzo para elementos estructurales.....	133
Tabla 5-13: Datos de entrada para aplicación del Método Simplificado.....	133
Tabla 5-14: Datos de pórtico arriostrado de acero con conexiones simples.....	134

## Lista de Símbolos

$A_b$	: Área de la sección transversal del perno [pulg <sup>2</sup> , mm <sup>2</sup> ].
$A_B$	: Área de la sección transversal de la viga [pulg <sup>2</sup> , mm <sup>2</sup> ].
$b_c$	: Ancho del ala de la columna [mm].
$b_b$	: Ancho del ala de la viga [mm].
$b_{ep}$	: Ancho de la placa End-plate [pulg, mm].
$C_j$	: Parámetro de ajuste de la curva, Modelo de Kishi y Chen.
$C_{kr}$	: Parámetro del modelo de Krishnamurthy [adimensional].
$C_{ku}$	: Parámetro del modelo de Kukreti [adimensional].
$C_y$	: Constante empírica, Modelo de Yee y Melchers.
$D_k$	: Parámetro de ajuste de la curva, Modelo de Kishi y Chen.
$d_b$	: Diámetro del perno [mm].
$D_o$	: Diámetro del agujero del tornillo [mm].
$e, e_c$	: Mínima distancia desde el centro del perno al borde de un perfil.
$E$	: Módulo de elasticidad.
$E_t$	: Módulo tangente.
$F_y$	: Esfuerzo de Fluencia del material [kN/m <sup>2</sup> ].
$F_{by}$	: Esfuerzo de Fluencia de la viga [kN/m <sup>2</sup> ].
$F_{yb}$	: Esfuerzo de Fluencia de perno [kN/m <sup>2</sup> ].
$g$	: Gramil [mm].
$G_b$	: Parámetro, Modelo de Kukreti [adimensional].
$h_b$	: Peralte de la viga [mm].
$H_c$	: Peralte de la columna [mm].
$I_b$	: Momento de inercia de la viga.
$I_c$	: Momento de inercia de la columna
$i_b$	: Radio de giro de la viga [mm].
$i_c$	: Radio de giro de la columna [mm].
$K$	: Constante de estandarización.
$R_{ki}$	: Rigidez inicial de la conexión, AISC.
$K_s$	: Rigidez secante bajo cargas de servicio, AISC.
$L_b$	: Longitud de la viga [m].
$L_c$	: Longitud de la columna [m].
$M$	: Momento de la conexión.
$M_i$	: Momento inicial, Modelo de Kishy y Chen.
$M_j, E_d$	: Momento resistente, correspondiente a $S_j$ , Eurocódigo.
$M_j, R_d$	: Momento resistente de diseño de la conexión, Eurocódigo.

- MRd : Momento resistente plástico, Eurocódigo.  
Ms : Momento de servicio, AISC.  
Mn : Momento último, AISC.  
Mo : Momento de referencia [kNm].  
Mp : Capacidad de Momento plástico [kNm].  
Mu : Momento último [kNm].  
nt : Número de filas de pernos entre alas de viga.  
n : Parámetro de ajuste de la curva Momento-rotación.  
p : Separación entre pernos [mm].



## INTRODUCCIÓN

El diseño de estructuras de acero en Perú se rige en base a la Norma E090 De Estructuras de Acero, la última actualización de esta Norma se publicó en agosto 2018. La Norma peruana no considera el tipo de conexiones semi-rígidas, las cuales han sido largamente estudiadas en otros países desde hace muchos años mediante ensayos en laboratorio, métodos empíricos y modelos analíticos con la finalidad de poder representar de manera numérica el comportamiento real de las conexiones.

En la práctica de análisis y diseño de estructuras de acero se idealizan dos tipos de comportamiento de las conexiones de las vigas unidas a las columnas, estos dos tipos se definen como conexiones rígidas o articuladas. Las conexiones rígidas no permiten el giro de la conexión ya que se asume su rigidez infinita y las conexiones articuladas permiten la rotación infinita de la viga y tienen rigidez igual a cero. Esta hipótesis es la forma de simplificar el análisis de estructuras de acero y el diseño de conexiones

En la realidad las conexiones de acero tienen un comportamiento intermedio, por tanto, no es real idealizar una conexión como totalmente rígida o totalmente articulada, ya que en base a pruebas experimentales y diversos estudios, las conexiones se comportan en su mayoría como semi-rígidas con comportamiento no lineal. De acuerdo a los estudios desarrollados, las recomendaciones de los códigos y a los ensayos experimentales, se han determinado diferentes tipos de conexiones semi-rígidas de las cuales cuatro tipos se evalúan en esta tesis.

Las propiedades geométricas de las conexiones determinan su rigidez no lineal y esta afecta el comportamiento global de la estructura y para ello es necesario desarrollar el análisis no lineal de la estructura.

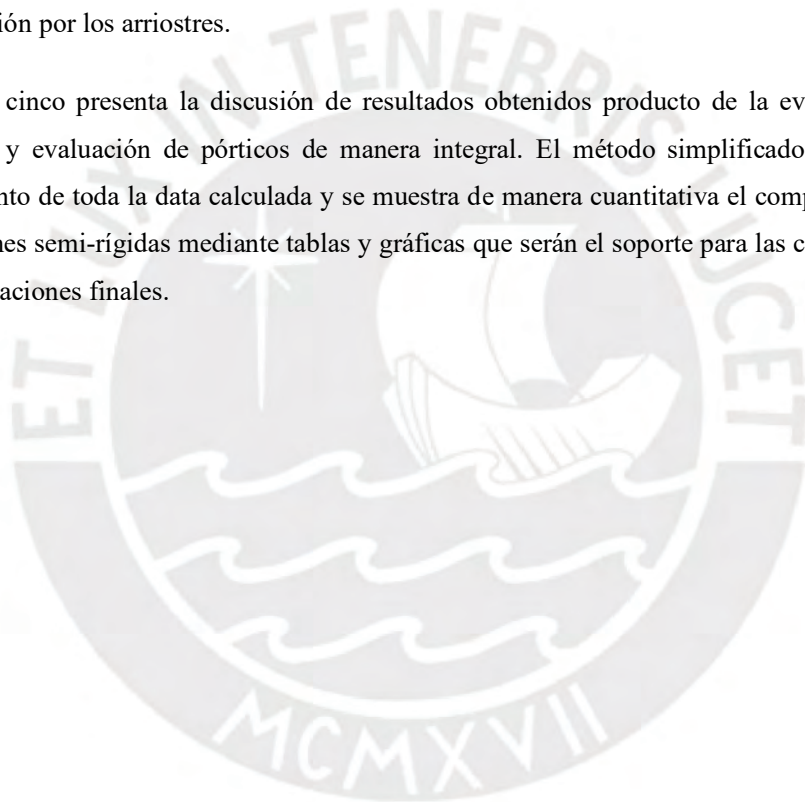
El capítulo uno, presenta la justificación, los objetivos y la reseña histórica de como se han evaluado las conexiones y su influencia en el comportamiento de la estructura durante los últimos 100 años y como es que se han desarrollado diversas metodologías para poder predecir el comportamiento real de las conexiones y algunos modelos de diseño de conexiones.

En el capítulo dos se presenta los modelos de conexiones con comportamiento semi-rígido desarrollados por Kishi y Chen, los cuales están basados en una gran cantidad de ensayos experimentales y que representan, con gran aproximación, el comportamiento real de las conexiones mediante ecuaciones analíticas que permiten determinar las propiedades mecánicas y el comportamiento no lineal de la conexión.

En el capítulo tres se desarrolló la evaluación de conexiones donde se puede observar los distintos comportamientos de la conexión en base a sus características geométricas, estas características se tomaron en cuenta las condiciones del mercado local, así como las recomendaciones propuestas por el AISC. con la finalidad de poder comprender con claridad su comportamiento y como afecta el comportamiento global de la estructura.

El capítulo cuatro presenta una evaluación de pórticos con diferentes parámetros sísmicos y geométricos, distintos casos de carga y tomando en cuenta el grado de rigidez de la conexión para poder determinar el comportamiento de los pórticos arriostrados con conexiones semi-rígidas y estimar la cantidad de peso que se puede reducir, así como una estimación de los desplazamientos en el último nivel, el periodo principal de la estructura y los momentos máximos transmitidos a la cimentación por los arriostres.

El capítulo cinco presenta la discusión de resultados obtenidos producto de la evaluación de conexiones y evaluación de pórticos de manera integral. El método simplificado en base al procesamiento de toda la data calculada y se muestra de manera cuantitativa el comportamiento de conexiones semi-rígidas mediante tablas y gráficas que serán el soporte para las conclusiones y recomendaciones finales.



## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Justificación y motivación

En el análisis convencional de estructuras de acero se idealizan dos tipos de comportamiento de las conexiones, los cuales se definen como rígidas o simples (articuladas), las conexiones rígidas restringen el giro de la conexión ya que asume rigidez infinita y las conexiones simples permiten la rotación de la viga debido a que se considera rigidez nula. (Hadianfard & Razani, 2001).

Sin embargo, se ha demostrado que las conexiones de acero según su geometría desarrollan un comportamiento no lineal intermedio que no se clasifica ni rígido ni articulado intermedio. En la Figura 1-1 se muestra los distintos tipos de comportamiento intermedio de las conexiones que se clasifican como Semi-rígidas. (Chen et al, 2011).

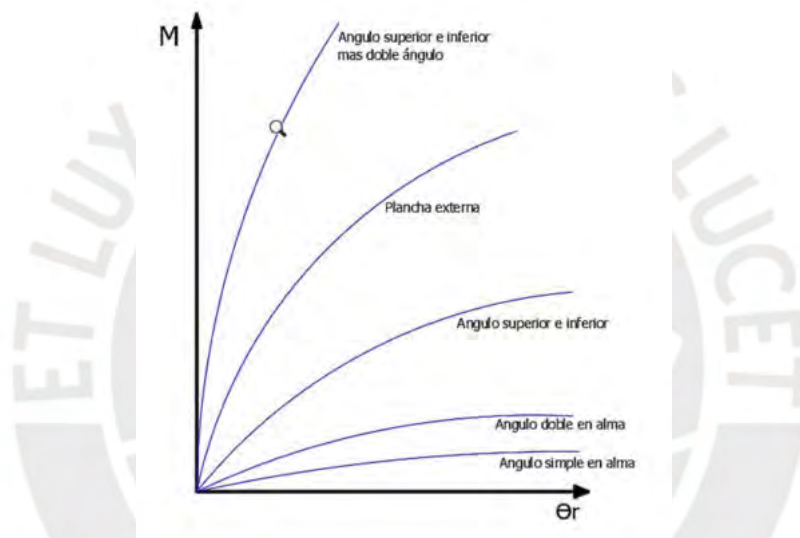


Figura 1-1. Comportamiento No Lineal de varios tipos de conexione semi-rígidas

En la Figura 1-2 a) se muestra una viga simplemente apoyada en sus extremos con momento máximo positivo ( $M_A$ ) y momento nulo en la conexión y en la Figura 1-2 b) se muestra el efecto de la rigidez de la conexión semi-rígida sobre la viga, que produce una redistribución de momentos actuantes que reduce momento positivo ( $M_B$ ) y genera momento negativo ( $M_C$ ) en el extremo del elemento.



Los objetivos específicos de esta tesis son:

- Identificar cuatro tipos de conexiones Semi-rígidas de acero y en base a su geometría, evaluar como varían sus características mecánicas en base a su comportamiento no lineal en la curva momento rotación.
- Evaluar el comportamiento de un tipo de pórtico de acero arriostrado con análisis elástico de segundo orden tomando en cuenta la rigidez de las conexiones simples, rígidas y tres tipos de conexiones semi-rígidas tomando en cuenta variación en la altura de la estructura, fuerza lateral y carga viva sobre las vigas.
- Tomando en cuenta el aporte de rigidez de las conexiones semi-rígidas, se presentará cinco fórmulas analíticas para poder estimar de manera rápida y aproximada el peso que se puede reducir, los desplazamientos en el último nivel, cargas en la base, periodo de vibración, con el fin de que puedan ser utilizadas de manera práctica

### **1.3. Antecedentes**

El estudio de conexiones semi-rígidas se ha venido desarrollando desde inicios del siglo XX y muchos autores han desarrollado modelos analíticos y experimentales para poder descifrar su comportamiento y como influencia en el comportamiento estructural, uno de los primeros en analizar la influencia de las conexiones en el comportamiento de pórticos de acero es Monforton, que fue el primero en incluir la rigidez de las conexiones en la matriz global de rigidez, y que luego fue tomado como base para el análisis e investigación de muchos autores hasta el momento.

De igual forma autores como Kishi, Chen, en base a modelos experimentales han desarrollado modelos analíticos para poder determinar y evaluar el comportamiento de este tipo de conexiones, sin embargo, este tipo de conexiones han sido evaluados por muchos autores hasta el día de hoy.

Al incluir las propiedades de conexiones semi-rígidas se debe evaluar la estabilidad de la estructura, es por ello que se han desarrollado diversos métodos para el análisis y diseño por estabilidad de manera de determinar la resistencia estructural adecuada que deberá tener cada uno de los miembros que componga la estructura. Durante años, se ha empleado el Método de la Longitud Efectiva para el análisis por estabilidad de columnas, este método no considera las imperfecciones iniciales de los miembros que conforman la estructura ni los efectos de la inelasticidad de dichos miembros; esto, genera una subestimación de la demanda de los miembros, ya que estos factores generan un desplazamiento lateral de la estructura que no es incorporado en el análisis, pero esa subestimación se compensa usando un valor del factor de longitud efectiva  $K > 1$ . Sin embargo, hay que tener en cuenta que este factor es aproximado, complicado de

determinar y que el método de cálculo para su determinación aplica solo para estructuras que cumplen con ciertas condiciones geométricas, resultando ser poco confiable y conllevando a diseños muy conservadores.

Además, el uso del análisis no lineal es cada vez más común en la resolución de problemas de Ingeniería estructural. A pesar de ello, la norma vigente carece de provisiones para realizar este tipo de análisis estructural y considera únicamente los resultados derivados del análisis estático y dinámico para edificaciones considerando comportamiento en el rango elástico.

La formulación del Método de Análisis Directo es exclusiva de las Especificaciones AISC, y fue incorporado en el capítulo C de su versión AISC-360-10, como sustitución del Método de la Longitud Efectiva y del Método de Primer orden.

En la actualidad uno de los métodos que está siendo empleado ampliamente en el diseño por estabilidad de estructuras de acero es el Método de Análisis Directo, también conocido como el DAM (Direct Analysis Method), ya que puede ser empleado en todo tipo de estructuras obteniendo diseños óptimos y confiables sin tener que calcular el factor K.

#### **1.4. Alcance**

El desarrollo de esta tesis se encuentra enmarcado en el siguiente alcance:

- Se tomó los cuatro tipos de conexiones semi-rígidas (Chen, Goto, & Liew, 1996) los cuales se han definido por medio de ensayos experimentales y que se acercan al comportamiento real de las conexiones.
- Se analizaron varios pórticos planos arriostrados en ambos extremos, con vigas simplemente apoyadas, dicho pórtico se evaluó con distintos tipos de conexiones semi-rígidas con el fin de evaluar su comportamiento y a la vez evaluar si es posible reducir el peso de sus elementos.
- Se consideró el comportamiento de conexiones semi-rígidas entre viga y columna y no toma en consideración el comportamiento de las bases de columna los cuales se idealizan como simplemente apoyados.
- No se consideró la verificación del diseño con el código sísmico AISC 341-10 para el análisis en Sap2000. Ya que este trabajo evaluó los esfuerzos en la estructura y como afecta a los elementos estructurales. No incluye el diseño detallado de vigas, arriostres ni columnas.
- Se considera el efecto de conexiones semi-rígidas sobre la estructura global y sobre los elementos, no se verifica el comportamiento dúctil de los arriostres. No se verifica las fallas locales de los elementos en vigas.

- La aplicación del estudio de conexiones semi-rígidas sobre un pórtico de acero para estructuras, incluye el cálculo de cargas permanentes, cargas laterales, desplazamientos laterales, deflexiones y esfuerzos sobre los elementos y conexiones y culmina con la elección de perfiles estructurales y diseño de conexiones.
- No se evaluó los efectos de pandeo lateral o torsional sobre los elementos y no se consideró secciones compactas que desarrollan momento plástico sin pandeo local.
- No se considera el diseño con el código sísmico del ANSI/AISC 341-10. El código sísmico presenta en su capítulo G4. Composite Partially Restrained Moment Frames.
- Esta tesis se puede aplicar para ángulos soldados al alma de la viga.

### 1.5. Reseña histórica

El interés en las propiedades de conexiones Semi-rígidas y su efecto en el comportamiento de las estructuras se remonta a la década de 1930, cuando se publican los primeros informes del Steel Structures Research Committee 5 en Londres.

Desde entonces, se han realizado un gran número de trabajos teóricos y experimentales tanto sobre el modelado del comportamiento de conexiones semi-rígidas, como sobre su influencia en el comportamiento del resto de la estructura.

En 1934 Batho y Rowan publican un artículo en el que proponen un método de cálculo gráfico que permite obtener las restricciones en extremo de barra generadas por las conexiones. Para poder aplicar este método, conocido como “beam-line”, era necesario conocer la curva  $M-\theta$  de la conexión, la cual se debía obtener experimentalmente.

En 1936, J. P. Baker, y J. C. Rathbun, aplicaron, por primera vez, en el análisis de estructuras de barras con nudos semi-rígidos, el método conocido como pendiente-deflexión (Slope-Deflection) desarrollado para estructuras de barras con conexiones rígidas por Axel Bendixen y el método de la distribución de momentos desarrollado por Hardy Cross.

Desde entonces, son numerosos los autores que han contribuido a la aplicación de estos métodos en el análisis de estructuras con nudos semi-rígidos. Sirva citar los trabajos de J. F. Baker, y E. L. Williams, “The effect of wind loads on frames with semi-rigid connections”, (1936); B. Johnston, y E. H. Mount, “Analysis of building frames with semi-rigid connections”, (1942); R. W. Stewart, “Analysis of frames with elastic joints” (1949) y B. Surochnikoff, “Wind stresses in semirigid connections of steel framework”, (1950).

El desarrollo de computadores desde principios de los años 50 ha constituido una formidable aportación al análisis y diseño estructural. La facilidad del computador para resolver sistemas de

ecuaciones, junto con la creciente complejidad de los sistemas estructurales que demandaban para su análisis una mayor sistematización y una notación más eficiente y compacta, condujo directamente al nacimiento de los métodos matriciales, siendo el método de las rigideces, o el de los desplazamientos, el más utilizado, por ser el más fácil de automatizar. Su uso se generaliza durante los años 60 y pronto se hará extensivo a las estructuras de barras con uniones semi-rígidas.

Mientras tanto en Estados Unidos desde 1910 se inició el estudio de conexiones de acero y tal como lo señala Louis F. Geschwindner y R. Disque en su artículo: Flexible Moment Connections for Unbraced Frames Subject to Lateral Forces – A Return to Simplicity.

Se presume que ha habido una confusión en los ingenieros estructurales sobre el tipo de construcción referida para el AISC Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, desde 1986, como parcialmente restringida.

Este concepto particular ha sido objeto de interés de muchos autores por muchos años y ha sido el tema principal de muchos trabajos de investigación.

La metodología de conexiones flexibles a momento ha sido estudiada desde los 1910s, específicamente con Fleming en 1915, los principios básicos para esta aproximación era considerar la viga como simplemente apoyada con cargas de gravedad.

Esta aproximación fue utilizada en conexiones con las siguientes denominaciones “Tipo 2 con viento”, “Semi-rígidas”, “Conexiones inteligentes” y “Conexiones flexibles con viento”. Estas aproximaciones fueron reconocidas en Estados Unidos a través de las especificaciones del AISC en 1946, como conexión Tipo 2 con viento”. Señala que Rathbun en 1935 quizás fue el primero en enfocarse en la capacidad de momento rotación de la conexión y sugerir una metodología para el tipo de conexiones Tipo 2.

Luego en 1950, Sourochnikoff, sería el primero en investigar la respuesta de pórticos diseñados con el Tipo 2 de conexiones.

Monforton en 1962 propone modificar la matriz de rigidez de una barra con conexiones rígidas, introduciendo las propiedades de las conexiones semi-rígidas para tener en cuenta su influencia y efectos en el análisis de la estructura. En este método, se asume una relación lineal entre el momento que llega al nudo y el giro en extremo de barra, de modo que es el valor del cociente  $\Theta/M$ , el que se utiliza para modificar la matriz de rigidez de las barras.

En ese mismo artículo, definen el concepto de grado de rigidez, factor que relaciona la rigidez de la viga con la de la conexión, y que se expresa en la ecuación ( 1-1 )

$$m = \frac{\alpha}{\beta} \quad (1-1)$$

El grado de rigidez  $m$  define la rigidez relativa de una conexión respecto de la barra, y puede interpretarse como la relación que existe, cuando se aplica un momento unidad al nudo, entre el giro  $\alpha$  del extremo de la barra respecto al giro  $\phi$  del nudo, tal y como se muestra en la Figura 1-3 y ecuación ( 1-1 ).

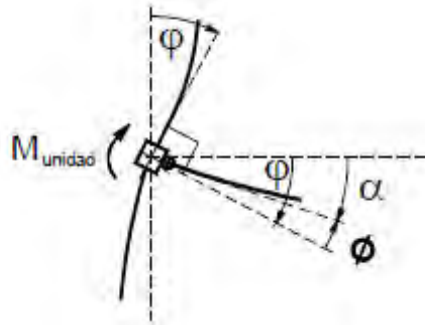


Figura 1-3. Giro del nudo cuando tiene conexión semi-rígida

La introducción del grado de rigidez simplifica significativamente el análisis de estructuras de barras con conexiones semi-rígidas, y lo que es más importante, hace más comprensible el procedimiento de análisis cuando se aplica el modelo matemático que sustituye a las condiciones de enlace de los elementos. Este concepto de grado de rigidez es muy importante en el diseño, ya que dota de sentido físico a la "cantidad de rigidez" disponible de una conexión, permitiendo a los diseñadores evaluar la respuesta de la estructura a partir de un análisis aproximado en las fases previas de diseño.

$$m = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha}{\beta - \phi} \quad (1-2)$$

Procedimientos de cálculo de estructuras de barras con uniones semi-rígidas similares a la modificación de la matriz de rigidez propuesta por (Monforton, 1962) fueron publicados (Livesley, 1964) y por J. M. Gere, y W. Weaver, en "Analysis of Frame Structures" (1965). El comportamiento dinámico de las uniones semi-rígidas fue investigado por S. R. Lionberger, y W. Weaver, "Dynamic response of frames with non-rigid connections" (1969) y por M. Suko, y P. F. Adams, "Dynamic analysis of multibay multistory frames" (1971). En este análisis, el comportamiento elásto-plástico de la conexión se modeliza mediante un resorte equivalente.

En 1978 con el fin de armonizar los criterios y procedimientos de diseño y análisis estructural de los países europeos, la European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) publica unas

recomendaciones para la construcción en acero: "European recommendations for steel construction", cuyo contenido será la base del futuro Eurocódigo 3.

Estas recomendaciones suponen un avance importante respecto a las normas y especificaciones de los países miembros, ya que sustituyen el método de las tensiones admisibles por el de los estados límite, basado en el concepto probabilístico de seguridad que introduce el uso de coeficientes de mayoración de cargas.

En cuanto al diseño de conexiones, recomienda, por resultar más económica su ejecución, las articulaciones y las conexiones sin rigidizar, aunque sin incluir criterio alguno para modelizar su comportamiento.

En 1981 P. D. Moncelrz, y K. H. Gerstle, proponen una nueva aproximación del análisis de estructuras de barras con conexiones semi-rígidas basada en la matriz de rigidez, y en 1984, basándose en los estudios de la ECCS, la *Commission des Communautés Européennes publica la primera versión del Eurocódigo 3: "Eurocode n° 3: règles unifiées communes pour les constructions en acier"*.

Esta norma se publica con una invitación a ser comentada por parte de las organizaciones técnicas, científicas y profesionales, así como de las organizaciones de normalización y los posibles usuarios a título personal aunque sin olvidar que, uno de sus objetivos prioritarios es la armonización del diseño, cálculo y ejecución de las estructuras, lo cual implica llegar a un acuerdo común sobre los principios generales del proyecto compuestos por una serie de reglas de aplicación que deberán ser aceptadas como una alternativa a las reglas nacionales existentes.

En cuanto a la consideración de las conexiones, este documento las clasifica como articuladas, rígidas y flexibles para el análisis elástico, y de resistencia completa o parcial para el análisis plástico, sin incluir criterios acerca de su uso y modelización.

Tras la investigación, recopilación y publicación (Kirby, y Nethercot 1982) de distintos procedimientos de análisis de estructuras de barras con conexiones semi-rígidas propuestos por diversos autores, D.A. Nethercot publica en 1985 "Joint action and the design of steel frames" y en 1986 "The behaviour of steel frame structures allowing for semi-rigid joint action". Por su parte, en 1987, W. F. Chen, publica, junto con M. E. Lui "Steel frame analysis with flexible joints" y con Y. Goto "On the computer-based design analysis for the flexibly jointed frames". Todas ellas publicaciones que proponen, a partir de la matriz de rigidez, métodos de análisis de estructuras con conexiones semi-rígidas.

En 1987, la ECCS crea, bajo la supervisión de D.A. Nethercot el subgrupo de trabajo TWG 8.2, con el fin de estudiar la respuesta de las estructuras de barras teniendo en cuenta el comportamiento de las conexiones.

Una de las primeras conclusiones a la que llegan sus miembros es la necesidad de profundizar en el estudio de las deformaciones y resistencias locales de las conexiones, con objeto de modelarlas, permitir su clasificación e idealizar su respuesta para poder incluirla en el análisis, lo que propicia la creación del comité técnico nº 10 de la ECCS -TC 10 Structural connections- dedicado al estudio del comportamiento de los nudos estructurales.

Es evidente que mediante ensayos de laboratorio puede obtenerse información muy precisa acerca de las deformaciones y resistencia de las conexiones, pero no lo es menos que dicha técnica resulta demasiado costosa para la práctica diaria, por lo que se limita normalmente a la investigación.

No obstante, la utilización de resultados experimentales será posible gracias a la creación de bancos de datos en los que se han venido almacenando y organizando los resultados obtenidos en numerosos ensayos con distintas configuraciones de uniones viga-soporte.

En base a lo descrito anteriormente se debe señalar que el estudio de conexiones semi-rígidas no es un tema nuevo, por el contrario, es un tema que se ha venido desarrollando con gran énfasis en Europa y Estados Unidos que se pueden ver

#### **1.6. Análisis estructural de pórticos de acero según la norma E090 Estructuras de Acero**

El análisis estructural elástico de estructuras de acero se ha desarrollado tomando en cuenta la hipótesis de que las conexiones pueden ser articulada o rígidas con la finalidad de simplificar el análisis.

Actualmente el diseño de estructuras de acero se realiza de la siguiente manera.

- Se pre dimensiona los elementos
- Se introducen las cargas y combinaciones de diseño
- Se analiza la estructura verificando reacciones en la base, deformaciones de la estructura, y se diseña los elementos finales
- Se diseñan las conexiones

El análisis elástico de primer orden considera el ensamble de la matriz global de rigidez a través del aporte de rigidez local de cada elemento tomando en cuenta que los apoyos en las vigas son articulados (simples) o empotrados (rígidos) tal como se presenta en la Figura 1-4 y Figura 1-5.

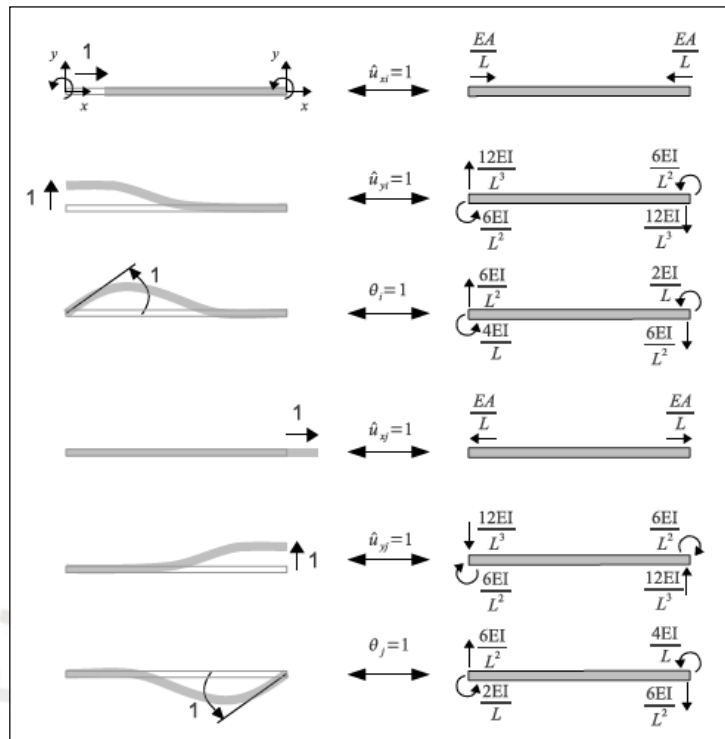


Figura 1-4: Desplazamiento unitarios (izquierda) en una barra empotrada y solicitaciones asociadas (derecha). (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014)

$$[k]_{6 \times 6} = \begin{matrix} & \delta_i & \Delta_i & \theta_i & \delta_j & \Delta_j & \theta_j \\ \begin{matrix} N_i \\ V_i \\ M_i \\ N_j \\ V_j \\ M_j \end{matrix} & \begin{bmatrix} AE/L & 0 & 0 & -AE/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -AE/L & 0 & 0 & AE/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Figura 1-5: Matriz local de rigidez de elemento barra. (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014)

La matriz de rigidez local de cada elemento considera en su análisis dos condiciones principales para determinar la rigidez del elemento, esas condiciones consideran que el elemento está completamente rígido y no permite la rotación del elemento o que está completamente liberado a la rotación.

De igual forma, las reacciones debido a los diferentes tipos de carga se basan en que la viga se encuentra simplemente apoyada o rígida en sus apoyos tal como se aprecia en la Figura 1-6 y Figura 1-7.

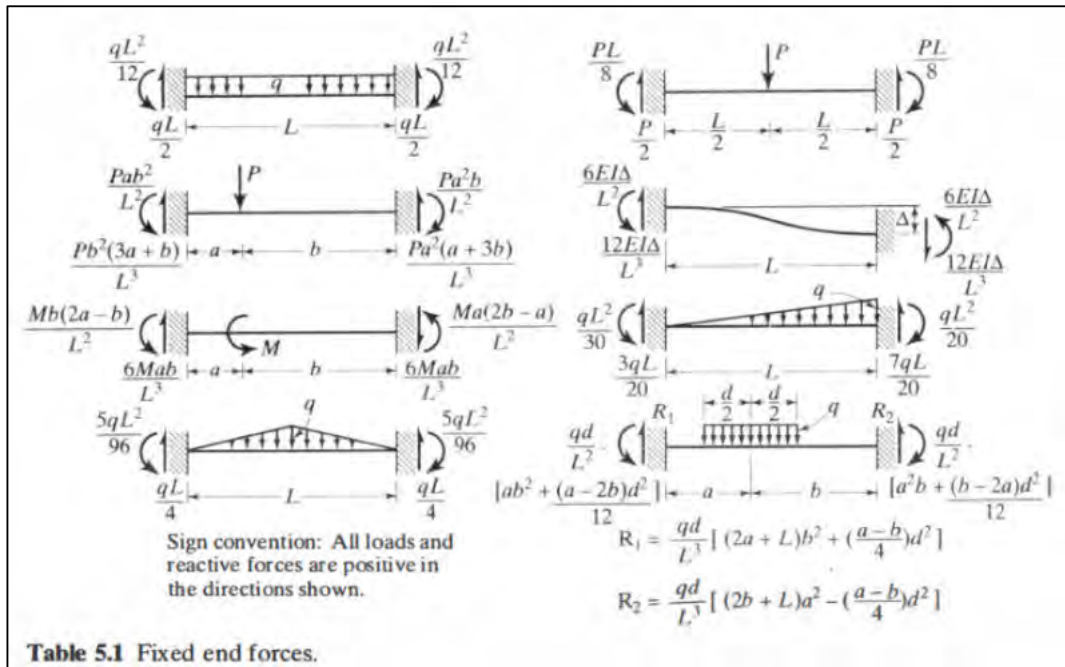


Figura 1-6: Reacciones de apoyos en vigas tomando en cuenta que son rígidos. (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014).

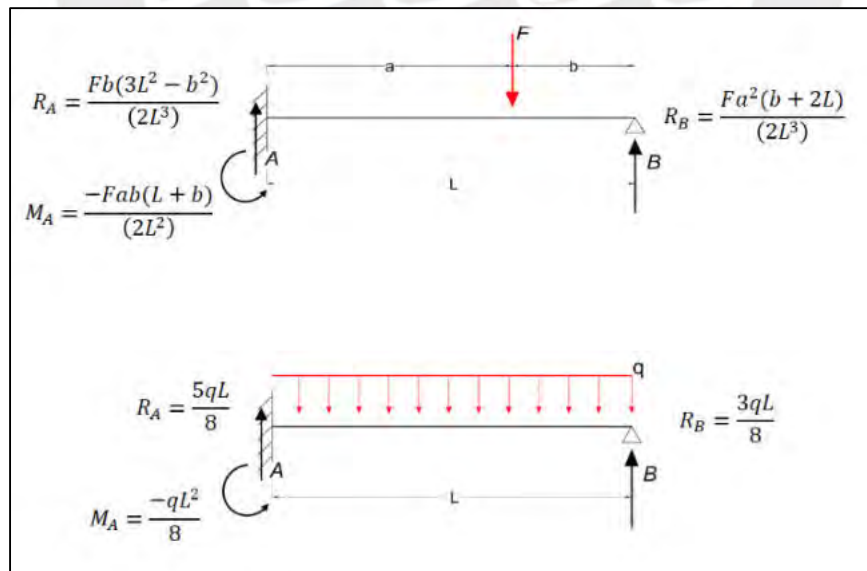


Figura 1-7: Reacciones de los apoyos de viga con apoyos rígido y articulado. (McGuire, Gallagher, & Ziemian, 2014)

Las estructuras se diseñan por la teoría elástica tomando en cuenta valores de esfuerzos admisibles del material e imponiendo límites a las deformaciones para los requerimientos de cargas en servicio.

Todas las estructuras se deforman ante la acción de una carga, pero en general el efecto de esta deformación sobre la geometría de la estructura puede ser ignorado. Sin embargo, en estructuras altas, las deflexiones laterales pueden producir un momento adicional. Este efecto es conocido como el momento  $P-\Delta$  o efecto  $P-\delta$ .

Para cubrir este comportamiento, las ecuaciones que gobiernan el equilibrio pueden ser escritas tomando en cuenta la geometría deformada de la estructura, este análisis se refiere al Análisis de segundo orden.

La necesidad por un análisis de segundo orden de estructuras de acero se ha incrementado y en el código AISC-LRFD Especificaciones de 1993, donde permiten al diseñador calcular las fuerzas de los elementos de una manera directa. A pesar de que los factores  $B_1$  y  $B_2$  proporcionados por las especificaciones del LRFD para calcular las fuerzas de segundo orden en las estructuras utilizando el análisis de primer orden es más sencillo que realizar una metodología de segundo orden.

La estabilidad de los elementos individuales de la estructura y la estabilidad del sistema estructural como un todo son considerados independientes en el proceso de diseño. Por tanto, la interacción de los dos (elementos y estructura) es tomado en cuenta con aproximación por el uso de la longitud efectiva.

Una vez que se calcula el factor de longitud efectiva  $K$ , los momentos de segundo orden en cada elemento se calculan con los factores de amplificación  $B_1$  y  $B_2$  como lo propone el AISC LRFD. Multiplicando el momento máximo del análisis de primer orden  $B_1$ , se puede obtener el momento máximo en un elemento tomando en cuenta el efecto de deformación lateral conocido como efecto  $P-\delta$ . Mientras multiplicamos el momento de la estructura desplazada por el factor  $B_2$ , tomamos en cuenta los efectos  $P-\Delta$  debido al desplazamiento lateral de la estructura.

### **1.7. Modelos de diseño de conexiones semi-rígidas**

Debido a la gran cantidad de estudios realizados sobre conexiones semi-rígidas, no es posible indicar cual o que procedimiento es el correcto para la evaluación de conexiones. Autores han desarrollado diferentes modelos los cuales se presentan a continuación con la finalidad de que al momento de determinar el comportamiento no lineal de la conexión se pueda evaluar varias

alternativas de solución. A continuación, se presentan los modelos desarrollados por distintos autores que se extrajeron de la tesis de Llatas (2018)

### **1.7.1. Modelos Experimentales**

Es la forma más precisa de predecir el comportamiento de una conexión, constituyéndose en la principal fuente de información para validar modelos hechos con otras metodologías, su desventaja radica en que son costosos de realizar, además el diseñador raramente encontrará una conexión que se ajuste a sus requerimientos.

El primer experimento fue realizado en la Universidad de Illinois por Wilson y Moore (1917). Desde entonces numerosos estudios han sido realizados por diversos autores para distintos tipos de conexión, ensayos que han sido reunidos en grandes bases de datos como los registradas por Goverdhan A. (1983), el cual reúne ensayos realizados en EE.UU. entre los años 1950 y 1983. Posteriormente Nethercot (1985a, 1985b) publicó el primer banco de Datos de Europa con ensayos realizados entre los años 1915 y 1985. Kishi y Chen (1986a, 1986b), desarrollaron el programa SCDB (Steel Connection Data Bank) registrando más de 300 ensayos realizados desde 1936. Las bases de datos SERICON y SERICON II reúne ensayos europeos de conexiones en acero y compuestas.

### **1.7.2. Modelos Analíticos**

Se fundamentan en el análisis estructural, empleando el equilibrio de fuerzas, relaciones deformación-desplazamiento y esfuerzo-deformación, así como también de mecanismos de falla. Su exactitud depende de la cantidad de simplificaciones hechas en su análisis.

#### **1.7.2.1. Modelo de Kishi y Chen (Three-parameter power model)**

Kishi y Chen (1990), obtuvieron expresiones semi-analíticas para conexiones con ángulos. Representaron la curva  $M-\theta$  empleando la expresión de Richard y Abbott considerando la rigidez plástica  $R_{kp}$  como cero, la rigidez inicial  $R_{ki}$  (kNm/rad. o kip-in/rad.) y el momento último  $M_u$  (kNm o kip-in) se determinó analíticamente empleando un simple mecanismo de falla, la rotación de referencia  $\theta_0$  (rad.) es igual a  $M_u/R_{ki}$ , el parámetro de forma  $n$  fue determinado aplicando el método de mínimos cuadrados comparando los resultados obtenidos con datos disponibles en la literatura. El modelo se validó contra datos de ensayos experimentales, además no considera deformación en la columna. Ver Figura 1-8.

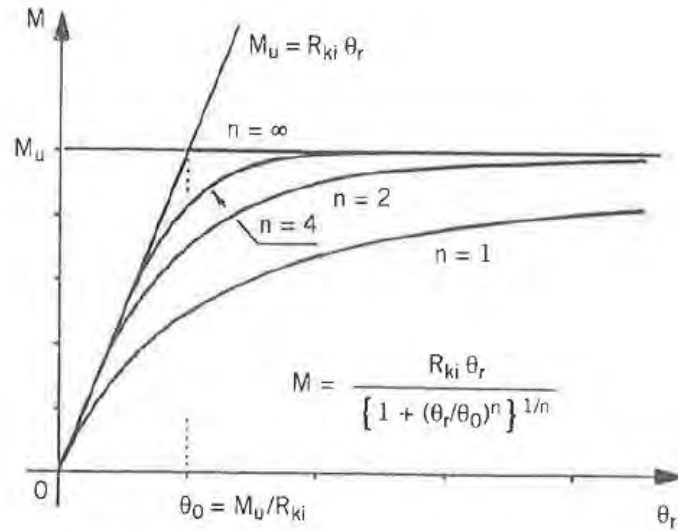


Figura 1-8: Curva Momento Rotación, (Chen, Goto, & Liew, 1996)

### 1.7.2.2. Modelo de Yee y Melchers

Yee y Melchers (1986), propusieron una formulación matemática para predecir el comportamiento de la curva Momento-Rotación de la conexión con plancha frontal extendida. El modelo analítico se basó en seis modelos de falla y cinco deformaciones relacionadas con las propiedades de la conexión. La rigidez rotacional se obtuvo de la combinación de las deformaciones elásticas de cada elemento de la junta, el valor del momento último depende de la resistencia del elemento más débil, el modelo se expresa según la Ecuación (1-3):

$$M = M_p \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{(R_{ki} - R_{kp} + C_y \theta_r) \theta_r}{M_p} \right] \right\} + R_{kp} \theta_r \quad (1-3)$$

Donde:

- $R_{ki}$  : Rigidez inicial
- $R_{kp}$  : Rigidez plástica
- $M_p$  : Máximo momento que puede transmitir la conexión sin que aparezca endurecimiento por deformación
- $C_y$  : Constante empírica que depende de la configuración de la conexión

### 1.7.2.3. Modelo de Lee y Moon

Lee y Moon (2002), desarrollaron un modelo semi-analítico para describir el comportamiento no-lineal de la curva Momento-rotación la cual depende de dos parámetros  $\gamma$  y  $n$ , los cuales son

derivados en términos de la rigidez inicial ( $R_{ki}$ ) y la rigidez plástica ( $R_{kp}$ ) aplicando análisis de regresión. Se desarrollaron expresiones para las conexiones con doble ángulo en el alma Ecuación (1-4) y tipo ángulo superior y de asiento. Sin embargo, este modelo brinda aceptables ajustes de la curva  $M-\theta_r$  aun para diferentes tipos de conexiones como puede observarse en la Figura 1-9.

$$M = \gamma [\ln(10^2 n \theta_r + 1)]^n$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.499E - 0.3R_{ki} + 1.449E - 0.3R_{kp} + 0.704 \\ n &= -3.594E - 0.5R_{ki} - 3.496E - 0.5R_{kp} + 1.170 \\ \gamma &= 9.689E - 0.4R_{ki} + 9.562E - 0.4R_{kp} + 3.850 \\ n &= 4.500E - 0.6R_{ki} + 4.400E - 0.6R_{kp} + 0.601 \end{aligned} \quad (1-4)$$

El parámetro  $\gamma$  tiene efectos sobre la rigidez inicial y momento último, mientras  $n$  gobierna la forma de la curva. Las unidades de  $R_{ki}$  y  $R_{kp}$  están en  $\text{kNm/rad}$ ,  $E$  en  $\text{N/mm}^2$ .

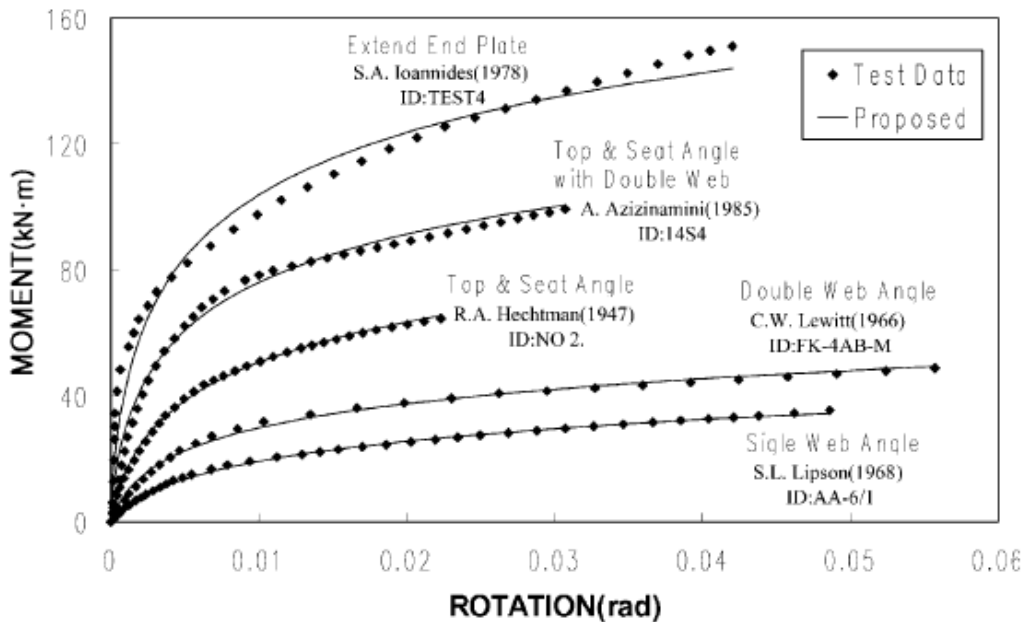


Figura 1-9: Comparación de curvas  $M-\theta$ , según datos experimentales y de predicción (Lee & Moon, 2001)

Entre otras investigaciones tenemos a Kennedy y Hafez (1984), quienes aplicaron los principios de T-equivalente (T-stub) a fin de caracterizar los elementos en compresión y tracción de la conexión con plancha frontal parcial, considerando cargas de corte y momento. Pirmoz et al. (2009), propusieron ecuaciones semi-analíticas para la conexión con ángulo superior y de asiento

apoyándose en parametrizaciones en elementos finitos y en bancos de datos realizados por Azizinamini (1982) y Komuro et al. (2004), su estudio demuestra que la tracción axial reduce la rigidez elástica y la capacidad de momento de la conexión, el modelo tiene la capacidad de predecir el comportamiento de la conexión considerando tanto carga axial como momento.

Ribeiro et al. (2015), en base a estudios de modelos analíticos y a la metodología presente en el Eurocódigo, propusieron un modelo analítico para evaluar la respuesta de juntas empleando T-equivalente bajo carga de impacto. Ahmed y Kishi (2017) mejoraron las expresiones propuestas por Kishi y Chen (1990) considerando en su modelo rigidez en los pernos y la acción de palanca entre pernos (prying action).

### **1.7.3. Modelos empíricos**

Se basan en formulaciones matemáticas, pudiendo obtenerse mediante métodos de regresión estadística tomando como fuente de datos los resultados de ensayos experimentales, parametrizaciones en elementos finitos, modelos analíticos o mecánicos, su precisión depende de la calidad y cantidad de estas fuentes. La principal desventaja de este tipo de modelo es que sólo es aplicable a conexiones cuyas características son similares con las utilizadas en los estudios.

Idealizan el comportamiento de la conexión empleando una combinación de elementos flexibles (resortes) y elementos rígidos (barras), el comportamiento no lineal de la conexión se obtiene empleando las leyes constitutivas inelásticas de los resortes, la respuesta global de la conexión se obtiene de la contribución de cada elemento (Faella et al. 2000). La exactitud del modelo depende en gran medida del número de elementos considerados y de la caracterización e interacción entre estos. Debido a su flexibilidad se aplica a diferentes configuraciones de uniones y donde se requiera evaluar el efecto de algún elemento en particular como el pretensionamiento en pernos, endurecimiento plástico, comportamiento a elevadas temperaturas, entre otros. Estos modelos han servido de base para el desarrollo del método de los componentes propuesto por el Eurocódigo 3 (EN 1993-1.8:2010).

#### **1.7.3.1. Modelo de Frye – Morris**

Frye y Morris (1975), representaron la curva Momento-Rotación mediante una expresión polinómica obtenida mediante el método de los mínimos cuadrados para distintos tipos de conexiones, ver ecuación ( 1-5 )

$$\theta r = C1(KM)^1 + C2(KM)^3 + C3(KM)^5 \quad (1-5)$$

Donde:

$\theta_r$  : ángulo de rotación de la conexión (rad).

M : momento aplicado en la conexión (kN.m)

K : constante que depende de las propiedades geométricas y mecánicas de la conexión.

C1, C2 y C3 : constantes de ajuste de la curva obtenidos por regresión.

El principal inconveniente de esta formulación es que, para algunos valores de momento, la rigidez presenta valor negativo, algo físicamente inaceptable, para resolver este problema Azizinamini et al. (1985), propusieron una modificación para la constante K, dada por la ecuación (1-6), donde  $\theta_i$  son parámetros geométricos de la conexión y  $\alpha_i$  son coeficientes que mejoran el ajuste de la curva.

$$K = P_1\alpha_1 \times P_2\alpha_2 \dots P_n\alpha_n \quad (1-6)$$

Diversos estudios de distintos investigadores han permitido ampliar su campo de aplicación. Tanto los tipos de conexión estudiados como los parámetros K, C1, C2 y C3 se muestran en la Figura 1-10 y la Figura 1-11:

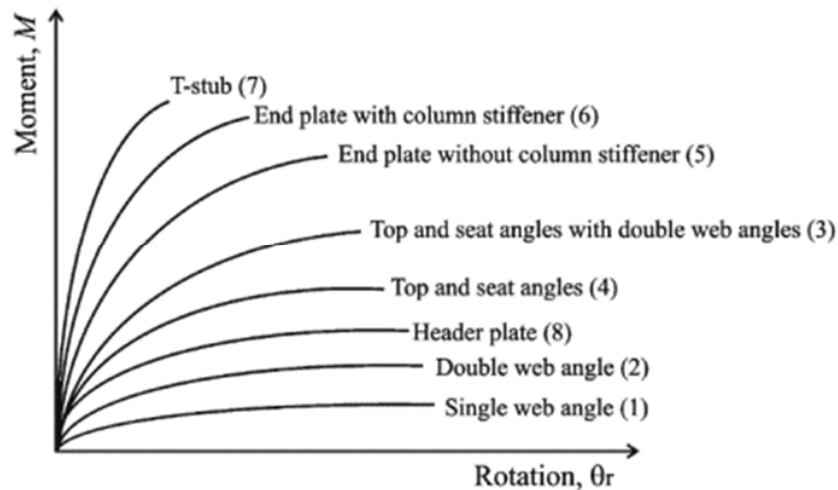


Figura 1-10: Clasificación de conexiones de acuerdo con el modelo de Frye-Morris

Connection types	Curve fitting constants			Standardization constants
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	
1	$4.28 \times 10^{-3}$	$1.45 \times 10^{-9}$	$1.51 \times 10^{-16}$	$\kappa = d_a^{-2.4} t_a^{-1.81} g^{0.15}$
2	$3.66 \times 10^{-4}$	$1.15 \times 10^{-6}$	$4.57 \times 10^{-8}$	$\kappa = d_a^{-2.4} t_a^{-1.81} g^{0.15}$
3	$2.23 \times 10^{-5}$	$1.85 \times 10^{-8}$	$3.19 \times 10^{-12}$	$\kappa = d^{-1.287} t^{-1.128} t_c^{-0.415} t_a^{-0.694} g^{1.35}$
4	$8.46 \times 10^{-4}$	$1.01 \times 10^{-4}$	$1.24 \times 10^{-8}$	$\kappa = d^{-1.5} t^{-0.5} t_a^{-0.7} d_b^{-1.5}$
5	$1.83 \times 10^{-3}$	$1.04 \times 10^{-4}$	$6.38 \times 10^{-6}$	$\kappa = d_g^{-2.4} t_p^{-0.4} d_b^{-1.5}$
6	$1.79 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-4}$	$2.04 \times 10^{-4}$	$\kappa = d_g^{-2.4} t_p^{-0.6}$
7	$2.10 \times 10^{-4}$	$6.20 \times 10^{-6}$	$-7.60 \times 10^{-9}$	$\kappa = d^{-1.5} t^{-0.5} t_r^{-0.7} d_b^{-1.1}$
8	$5.10 \times 10^{-5}$	$6.20 \times 10^{-10}$	$2.40 \times 10^{-13}$	$\kappa = t_p^{-1.6} g^{1.6} d_p^{-2.3} t_w^{-0.5}$

Figura 1-11: Valores de constantes para diferentes tipos de conexión estudiados como los parámetros  $K$ ,  $C1$ ,  $C2$  y  $C3$ . (figura 2.6: Curve fitting constants and standardization constants for Frye-Morris polynomial model, all size parameters are in inches (1 in = 2.54 cm), Movahedi Rad 2011)

### 1.7.3.2. Modelo de Krishnamurthy

Krishnamurthy et al. (1976, 1978, 1979), desarrollaron un amplio estudio paramétrico en elementos finitos de la conexión tipo plancha frontal extendida con cuatro pernos en la zona de tracción, ver Figura 1-12, empleando un modelo bi-dimensional. Se realizaron ensayos experimentales para ajustar los valores obtenidos numéricamente, finalmente las expresiones que definen el modelo fueron encontradas por un análisis de regresión, ecuaciones ( 1-7 ).

$$\theta_r = C_{kr} M^{1.58}$$

$$C_{kr} = \frac{1.4\beta\tau Pk^{2.03}}{hb^{0.36}t_{ep}^{1.38}}$$

$$\beta = \frac{0.0056b_{ep}^{0.61}t_{fb}^{1.03}}{h_b^{1.3}t_{wb}^{0.26}W_b^{1.58}} \quad (1-7)$$

$$\tau = \frac{1}{F_{by}^{0.38}F_{yb}^{1.2}}$$

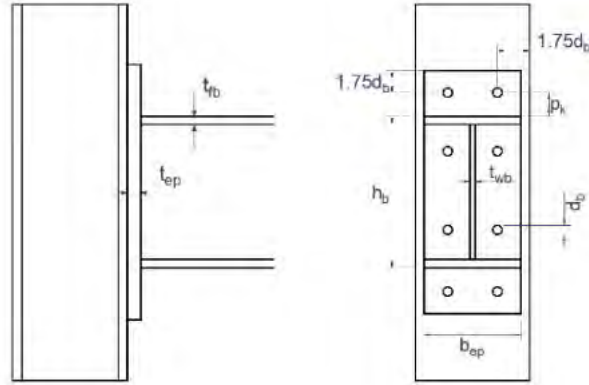


Figura 1-12: Conexión tipo plancha frontal extendida con cuatro pernos en la zona de tracción.

Donde:

- $W_b$  : módulo de sección de la viga;
- $F_{by}$  : esfuerzo de fluencia del material
- $F_{yb}$  : esfuerzo de fluencia del perno
- $t_{ep}$  : espesor de la plancha frontal;
- $b_{ep}$  : ancho de la plancha, igual al ancho de la viga;
- $h_b$  : peralte de la viga;
- $t_{fb}, t_{wb}$  : espesor del ala y alma de la viga;
- $d_b$  : diámetro del perno
- $A_b$  : área bruta de la sección transversal del perno.

El estudio no consideró deformación en la columna, por lo que estos parámetros son independientes de la geometría de la columna.

### 1.7.3.3. Modelo de Kukreti

Kukreti et al. (1987) realizaron un amplio estudio paramétrico en elementos finitos de la conexión con plancha frontal, Figura 1-13. El modelo fue calibrado con ensayos experimentales, los resultados del análisis sirvieron para predecir mediante análisis de regresión ecuaciones que caractericen el comportamiento de la conexión, ecuación ( 1-8 ).

$$\theta_r = C_{ku} M^{1.354}$$

$$C_{ku} = \frac{359 \times 10^{-6} p_f^{2.227}}{h_b^{2.616} t_{wb}^{0.501} t_{fb}^{0.038} d_b^{0.849} g_b^{0.519} b_{ep}^{0.218} t_{ep}^{1.539}} \quad (1-8)$$

$$g_b = C_{ku} M^{1.354}$$

Donde:

- $A_b$  : área de la sección transversal de la viga (in<sup>2</sup>),
- $F_{by}$  y  $F_{yb}$  : esfuerzo de fluencia de la viga y del perno (ksi),
- $M$  : momento (kip-ft),

Y las longitudes están dadas en pulgadas. El modelo solo consideró carga de momento y se despreció deformaciones en la columna. Similares estudios fueron presentados por Kukreti et al. (1990) para la conexión tipo plancha frontal de gran capacidad.

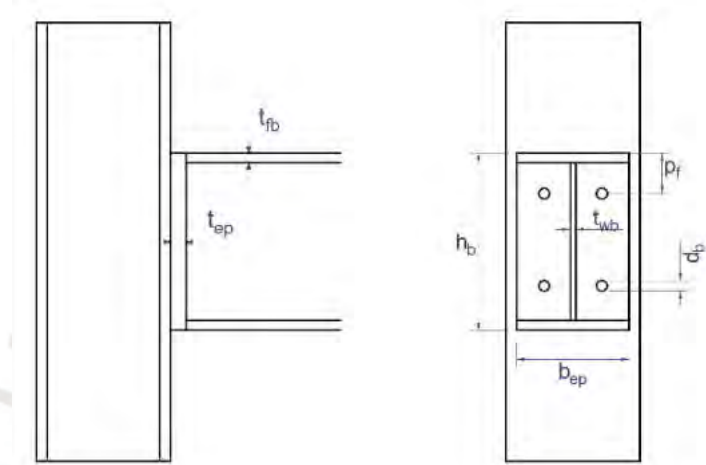


Figura 1-13: Conexión tipo plancha frontal.

#### 1.7.3.4. Modelo de Richard – Abbott (Four parameter power model)

Richard y Abbott (1975), caracterizaron la curva Momento-rotación mediante una expresión que depende de 4 parámetros los que permiten un mejor control de la curva  $M-\theta_r$ . Es empleada por muchos investigadores por su alta precisión y además por incluir la rigidez plástica en su expresión, ecuación ( 1-9 ).

$$M = \frac{(R_{ki} - R_{kp})\theta_r}{\left[1 + \left(\frac{(R_{ki} - R_{kp})\theta_r}{M_0}\right)^n\right]^{1/n}} + R_{kp}\theta_r \quad (1-9)$$

Donde:

- $R_{ki}$  : rigidez inicial de la conexión,
- $R_{kp}$  : rigidez de endurecimiento por deformación,
- $M_0$  : momento de referencia,
- $\theta_0$  : rotación relativa de referencia y

n : parámetro de forma de la curva obtenido por regresión.

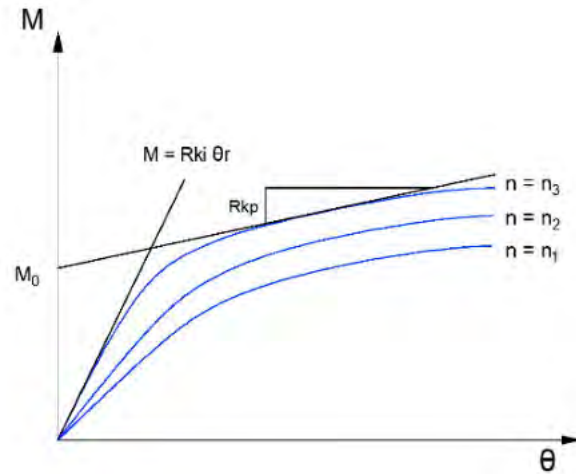


Figura 1-14: Diagrama de momento curvatura para diferentes valores de n.

#### 1.7.3.5. Modelo de Ang y Morris

Ang y Morris (1984) caracterizaron la curva M-θr de cinco conexiones viga-columna empleando la función propuesta por Ramberg - Osgood (1943), ver ecuación ( 1-10 ).

$$\frac{\theta_r}{\theta_0} = \frac{KM}{[KM]_0} \left[ 1 + \left( \frac{KM}{[KM]_0} \right)^{n-1} \right] \quad (1-10)$$

$$\theta_0 = \frac{[KM]_0}{R_{ki}}$$

Donde: [KM]0 y θ0 son constantes que definen la ubicación del punto A, ver Figura 1-15, K constante de estandarización que depende del tipo de conexión y de su geometría; n factor de forma de la curva; θr la capacidad rotacional y M el momento resistente, notar que si n ⇒ ∞, la curva se convierte en un modelo bilineal (modelo elástico-perfectamente plástico). El principal inconveniente de esta formulación es que todas las curvas pasan por el punto A, este comportamiento no es real.

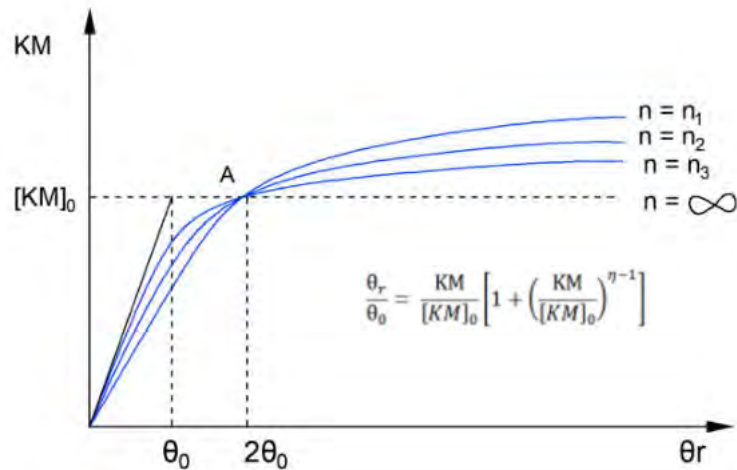


Figura 1-15: Curva Momento Rotación, modelo de Ramberg - Osgood.

Entre otras investigaciones tenemos las realizadas por Attiogbe y Morris (1991) quienes basados en resultados experimentales compararon los modelos propuestos por Richard - Abbott y Ramberg - Osgood, encontrando que el primer modelo brinda mejores ajustes, además empleando análisis de regresión múltiple obtuvieron ecuaciones de predicción de la conexión con doble ángulo en el alma a fin de evaluar los cuatro parámetros dados en el modelo de Richard - Abbott. Sherbourne y Bahaari (1997) lograron obtener expresiones empíricas para caracterizar la curva M-θr de la conexión con plancha frontal extendida con 4 pernos en la zona de tracción y compresión, valiéndose de parametrizaciones en elementos finitos y de ensayos experimentales realizados por otros autores, también emplearon el modelo de Richard - Abbott. Fengfeng Zhou (2005) mediante modelos de elementos finitos y ensayos experimentales encontró expresiones matemáticas obtenidas por regresión a fin de evaluar la curva M-θr de la conexión tipo plancha frontal no extendida. Syahril Taufit (2013) realizó estudios similares para la conexión tipo plancha frontal no extendida, encontrando que el uso de rigidizadores en la columna puede aumentar la capacidad de momento hasta un 15%.

#### 1.7.4. Modelos con elementos finitos

Método utilizado a partir de 1988 por C. Poggi para predecir la curva M-θ de las conexiones semi-rígidas, y que según O.S. Bursi y J.P. Jaspart resulta poco eficaz para estudiar conexiones empernadas debido a la discontinuidad material de los elementos que constituyen la conexión y los problemas de contacto y ajuste que aparecen a lo largo del proceso de carga del nudo. Por todo ello, el modelo no lineal resultante es extremadamente complejo.

Además, los resultados obtenidos con simulaciones numéricas basadas en elementos finitos son muy sensibles al tipo de ecuación constitutiva implementada, al tipo de elemento finito utilizado, al número de puntos de integración tomados en cada uno de ellos y a la finura de la discretización aplicada.

La simulación numérica comenzó a ser utilizada por varias razones (Díaz et al. 2011a): (1) como un medio para superar la falta de resultados experimentales; (2) para comprender los efectos locales importantes que son difíciles de medir con suficiente precisión; (3) la posibilidad de generar extensos estudios paramétricos. Si bien los modelos en elementos finitos son una herramienta económica y confiable de cálculo, requieren de un modelo adecuado para predecir el comportamiento de la conexión de manera confiable, esto debido a que interactúan diferentes factores tales como la no linealidad del material, pretensión en los pernos, interacción entre pernos y placas, fuerzas de fricción, deslizamientos entre otras imperfecciones.

Entre las principales investigaciones tenemos: Bose et al. (1972), aplicaron los elementos finitos a fin de estudiar la conexión viga-columna soldada, el modelo consideró deformación elástica y plástica, además de pandeo en el alma de la columna, dando nuevas formulaciones y recomendaciones para el diseño estructural aplicado en ese entonces, la precisión del modelo fue evaluada con resultados experimentales. Krishnamurthy y Graddy (1976), trabajaron en la conexión con plancha frontal desarrollando el primer estudio 3D en elementos finitos, consideraron pretensión en pernos y contactos entre planchas y pernos, apoyaron sus resultados en modelos simplificados en 2D. Chasten et al. (1992), estudiaron el efecto de la fuerza de corte y la acción de palanca en la conexión con plancha frontal extendida con 8 pernos en la zona de tracción. Sherbourne y Bahaari (1994), evaluaron el comportamiento de la conexión tipo plancha frontal extendida, también consideraron el efecto de la acción de palanca. Swanson et al. (2002), usaron modelos en 2D y 3D en elementos finitos a fin de simular el comportamiento de conexiones empleando T-equivalente, los modelos incorporaron características no lineales del material, comportamiento geométrico no lineal, pretensión en pernos, contacto y fricción entre elementos. Moreno (2005), desarrollo un modelo 3D para las uniones tipo plancha frontal extendida y no extendida, proponiendo una mejora en los métodos de análisis de la conexión con el objetivo de predecir su comportamiento rotacional, la característica principal del modelo es la no linealidad alta de sus componentes y la compleja interacción entre ellos. Abolmaali et al. (2005) también desarrollaron ecuaciones de predicción para la conexión con plancha frontal no extendida empleando modelos numéricos y análisis de regresión, evaluaron la curva  $M-\theta_r$  empleando los modelos de Ramberg - Osgood y de Kishi y Chen. Cabrero (2006), presento un extenso estudio sobre la conexión con plancha frontal extendida cargada tanto en el eje mayor como en el eje menor (cargas tridimensionales). Díaz et al. (2011b), desarrollaron un modelo

numérico a fin de predecir el comportamiento de la conexión tipo plancha extendida, Figura 1-10, los resultados fueron calibrados y validados con bases de datos de ensayos experimentales y con el modelo propuesto por el Eurocódigo 3, encontrando que el endurecimiento por deformación del material y parámetros de contacto tienen gran influencia en el comportamiento de la conexión. Girão Coelho (2013), realizó un estudio paramétrico para evaluar la resistencia y capacidad rotacional de la conexión con plancha frontal.

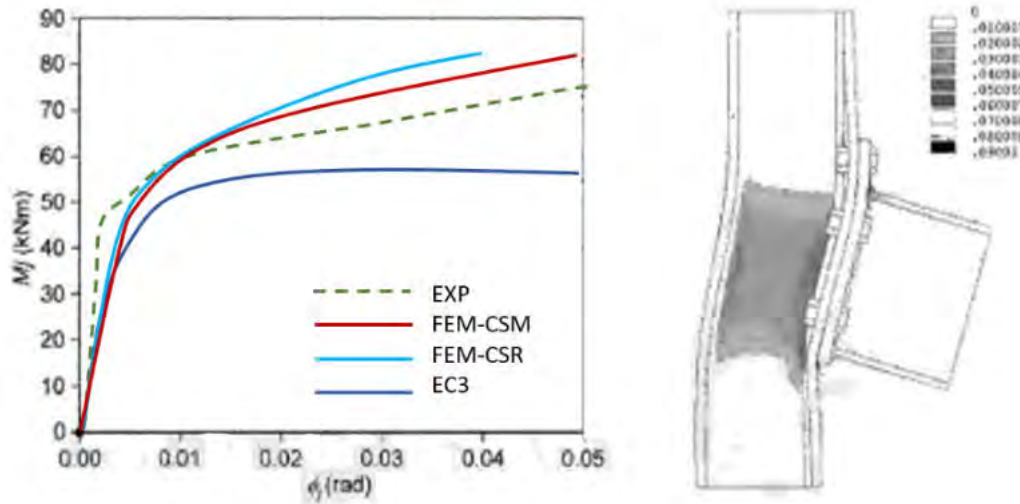
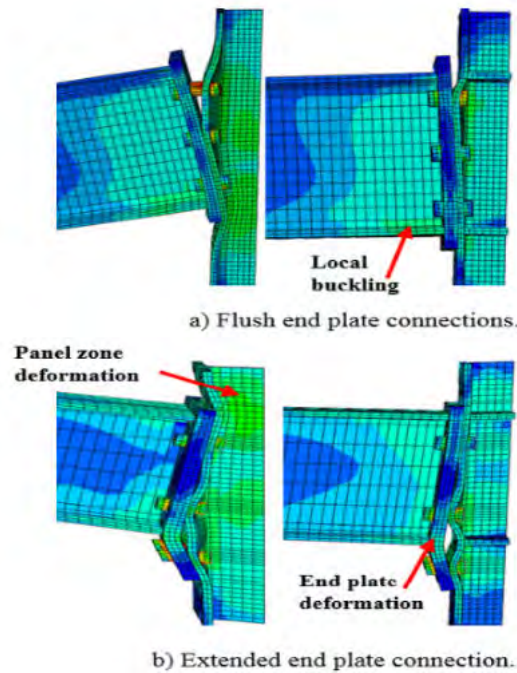


Figura 1-16: Curva de momento rotación y deformación plástica de Von Mises (amplificada x5)  
Ensayo experimental T101.007



*Figura 1-17: Distribución de esfuerzos de Von Mises para conexiones con plancha en el extremo (Bahaz et al. 2018)*

### **1.7.5. Modelos mecánicos**

Idealizan el comportamiento de la conexión empleando una combinación de elementos flexibles (resortes) y elementos rígidos (barras), el comportamiento no lineal de la conexión se obtiene empleando las leyes constitutivas inelásticas de los resortes, la respuesta global de la conexión se obtiene de la contribución de cada elemento (Faella et al. 2000). La exactitud del modelo depende en gran medida del número de elementos considerados y de la caracterización e interacción entre estos. Debido a su flexibilidad se aplica a diferentes configuraciones de uniones y donde se requiera evaluar el efecto de algún elemento en particular como el pretensionamiento en pernos, endurecimiento plástico, comportamiento a elevadas temperaturas, entre otros. Estos modelos han servido de base para el desarrollo del método de los componentes propuesto por el Eurocódigo 3 (EN 1993-1.8:2010).

Los primeros en utilizar este tipo de modelo fueron Wales y Rossow (1983), su modelo simuló el comportamiento de la conexión con doble ángulo en el alma sometido a cargas axiales y momentos flectores, encontrándose que la fuerza axial tiene gran influencia en el comportamiento de la conexión. Faella et al. (2000), en base al método de los componentes desarrolló el software JMRC (Joint Moment- Rotation Curve) a fin de evaluar el comportamiento de las conexiones viga-columna soldadas, conexiones empernadas con plancha frontal y con ángulos. Simões da Silva et al. (2000), en base a modelos elásticos post-pandeo desarrollaron expresiones analíticas a fin de evaluar el comportamiento de la conexión viga-columna soldada. Posteriormente Simões da Silva y Girão Coelho (2001), evaluaron la respuesta de la conexión viga-columna soldada sometida a carga axial y momento flector, encontrando que la carga axial disminuye la capacidad de momento de la conexión.

Cabrero y Bayo (2007a, 2007b), apoyados en parametrizaciones en elementos finitos, ensayos experimentales y principalmente en el método de los componentes del Eurocódigo 3, desarrollaron nuevas formulaciones analíticas para predecir el comportamiento de la conexión tipo plancha frontal extendida, considerando carga en ambos ejes de la columna (eje mayor y menor), concluyendo que con el aumento de espesor de la plancha se logra mejorar su rigidez y resistencia a flexión, además se pudo comprobar que las formulaciones propuestas en el Eurocódigo 3 sobreestiman la capacidad rotacional si se comparan con los resultados experimentales realizados, mientras que para la resistencia de la junta se dan resultados más cercanos.

Lemonis y Gantes (2009), presentaron una metodología para estimar la totalidad de la curva  $M-\theta_r$  de las conexiones tipo plancha frontal y tipo ángulo superior y de asiento con doble ángulo en el alma, caracterizando su comportamiento mediante el modelo de T-equivalente, emplearon el método de los componentes a fin de obtener el correspondiente modelo mecánico, validaron su modelo mediante pruebas experimentales y modelos numéricos. Del Sabio et al. (2009), basados en el método de los componentes propusieron un modelo mecánico para estimar el comportamiento de la conexión tipo plancha frontal sometida a cargas axiales y de momento simultáneamente, ver fig. 1.10. Hu et al. (2011) y Hu et al. (2012), lograron predecir con una elevada precisión el comportamiento de la conexión viga-columna con T-equivalente bajo cargas cíclicas. Shi y Chen (2017) evaluaron el comportamiento de la curva Momento-rotación de la conexión con plancha frontal de gran capacidad basados en el método de los compontes del Eurocódigo 3.

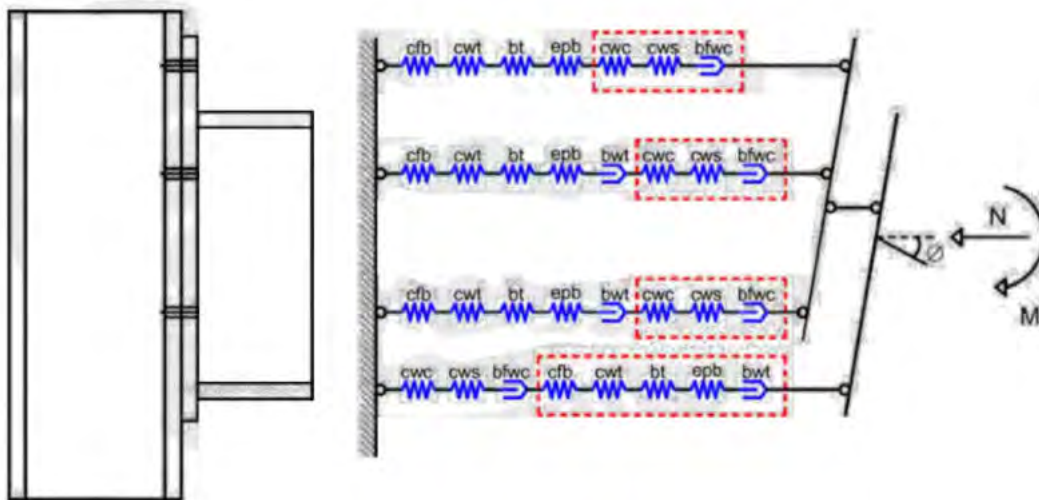


Figura 1-18: Modelo mecánico de (Del Savio et al, 1876-1895)

### 1.7.6. Método de componentes

Durante los años siguientes se llevaron a cabo numerosas investigaciones a propósito de las uniones resistentes a flexión y su influencia en la respuesta global de la estructura. Ello contribuyó a que, paulatinamente, se fuera acrecentando el conocimiento que se tenía del comportamiento de las uniones, y al mismo tiempo se desarrollaron herramientas de análisis que permitían calcular sus propiedades mecánicas y se establecieron una serie de directrices y recomendaciones para el diseño de estructuras de barras considerando el comportamiento de los nudos.

Así, en 1993 D.B. Moore, D.A. Nethercot y P.A. Kirby realizan nuevos ensayos en uniones a escala real. Los resultados obtenidos se utilizarán para ajustar las expresiones que permiten evaluar la resistencia y rigidez de los distintos componentes posibilitando la aplicación del método a nuevos tipos de unión viga-soporte.

En 1994, J.P. Jaspart publica junto a R. Maquoi "Prediction of the semi-rigid and partial strength properties" y con F.C.T. Gomes "Experimental research of minor-axis joint, comparison with theoretical predictions". Por otro lado O. Bursi y L. Leonelli presentaron "A finite element model for the rotational behavior of end plates connections" y F. Wald aplicó el método de los componentes para modelar las bases de soportes incluyendo como un componente adicional la interacción suelo-cimentación.

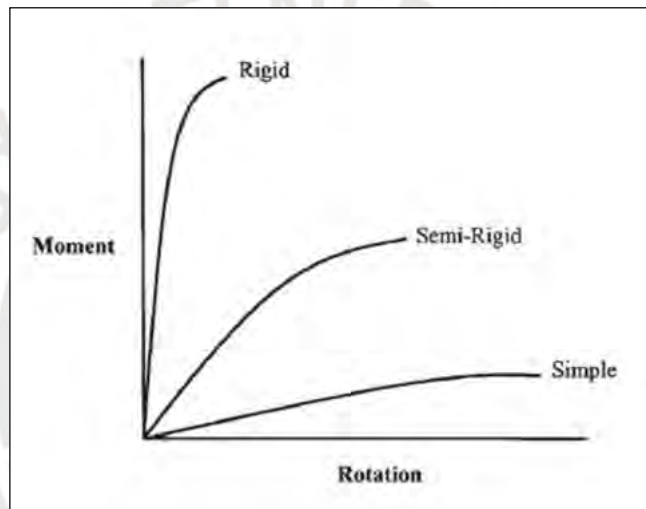
Ese mismo año, el CEN aprueba el documento final de la versión revisada del Anejo J titulado "Joints in building frames". Sus autores: Klaus Weynand, Jean-Pierre Jaspart y Martin Steenhuis, aportaron en este documento un conjunto de criterios y procedimientos para calcular la rigidez y la resistencia a flexión de las uniones que estaban basados en los resultados de las investigaciones más recientes. Poco después publicaron una serie de artículos en los que presentaban el nuevo método de cálculo de la rigidez al giro, su justificación teórica, las simplificaciones adoptadas, la aplicación práctica y la validez del mismo comparando los resultados teóricos con los datos experimentales tomados de la base de datos SERICON.

Estos valores de la resistencia y rigidez de la conexión se obtenían a partir de las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos de enlace y de las barras a unir. Ello implicaba conocer de antemano el dimensionado de las barras y de las uniones. Como quiera que dicha información sólo es suficientemente válida cuando se deduce del análisis global de la estructura cuando ésta se modela teniendo en cuenta la rigidez de las uniones (desconocida a priori), el procedimiento planteado daba lugar a un proceso iterativo que tenía un final incierto.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Para comprender las conexiones semi-rígidas, es necesario comprender el comportamiento general de una conexión viga-columna. La Figura 2-1 ilustra el comportamiento de rotación de momento de los tres tipos de conexiones en estructuras de acero.

- a. Las conexiones rígidas presentan una pequeña cantidad de rotación con una gran cantidad de momento de momento.
- b. Las conexiones articuladas presentan una gran cantidad de rotación con una pequeña cantidad de momento.
- c. Las conexiones semi-rígidas proporcionan cierta restricción de momento al tiempo que permite cierta rotación.



*Figura 2-1: Tipos de conexiones*

Las conexiones semi-rígidas pueden caer en cualquier lugar entre simple y rígido como se muestra. En general, las conexiones que son capaces de resistir al menos el 90% del momento fijo de la viga se denominan rígidas y aquellas que ofrecen suficiente ductilidad para acomodar la rotación del extremo de la viga resisten no más del 20% del momento del extremo fijo se denominan simples. Cualquier conexión que sea capaz de resistir un momento entre estos límites al tiempo que permite alguna rotación debe tratarse como semi-rígida.

El código del AISC 360-16 considera la conexión rígida como FR (fully restrainty) todas las demás conexiones, tanto semirrígidas como simples, se conocieron como parcialmente restringida o PR.

## 2.1. Conexiones semi-rígidas

Las conexiones son los elementos más vulnerables en una estructura de acero y tienen un papel vital en el desempeño sísmico de la estructura. (Smitha & Babu, 2014).

Una conexión es un medio en cual las fuerzas y momentos son transmitidos de un elemento a otro. Una conexión viga columna es generalmente sometida a fuerzas axiales, corte, momento flector y torsión. Para estudios en el plano las fuerzas torsionales serán excluidas. Además, los efectos de fuerzas axiales y fuerzas de corte son pequeños comparados con los momentos flectores. En vista de ello, por razones prácticas solo el efecto del momento flector y su influencia en la deformación rotacional de la conexión serán considerados.

Teóricamente se considera como conexión completamente rígida aquella que permite transferir cargas axiales, de corte y momento de la viga a la columna sin presentar ningún giro relativo entre sus elementos (rigidez infinita), en cambio las conexiones perfectamente articuladas solo son capaces de transmitir carga axial y de cortante, mas no de momento y permiten el giro relativo de la conexión. Estas dos consideraciones son ideales, sin embargo, en la práctica hay conexiones que debido a su acercamiento a estos dos comportamientos pueden ser modeladas como tales, existe otro tipo de conexiones que presentan un comportamiento intermedio entre ambas, considerarlas en su análisis como articuladas o rígidas sería incorrecto, a este tipo de conexiones se les denomina semi-rígidas. En la Figura 2-2 se muestran estas tres formas de comportamiento en conexiones viga-columna. (Llatas, 2018)

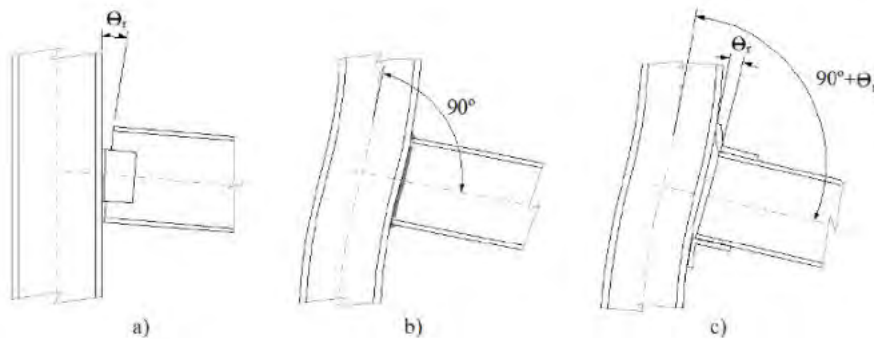


Figura 2-2: Clasificación según el tipo de apoyo de la conexión (a) articulada, (b) Rígida, (c) Semi-rígida

En la Figura 2-3 se aprecia que la distribución de momentos varía notablemente según la elección del tipo de apoyo, puede notarse que para un apoyo semi-rígido el momento en su extremo es inferior si se compara con un apoyo empotrado. (Llatas, 2018)

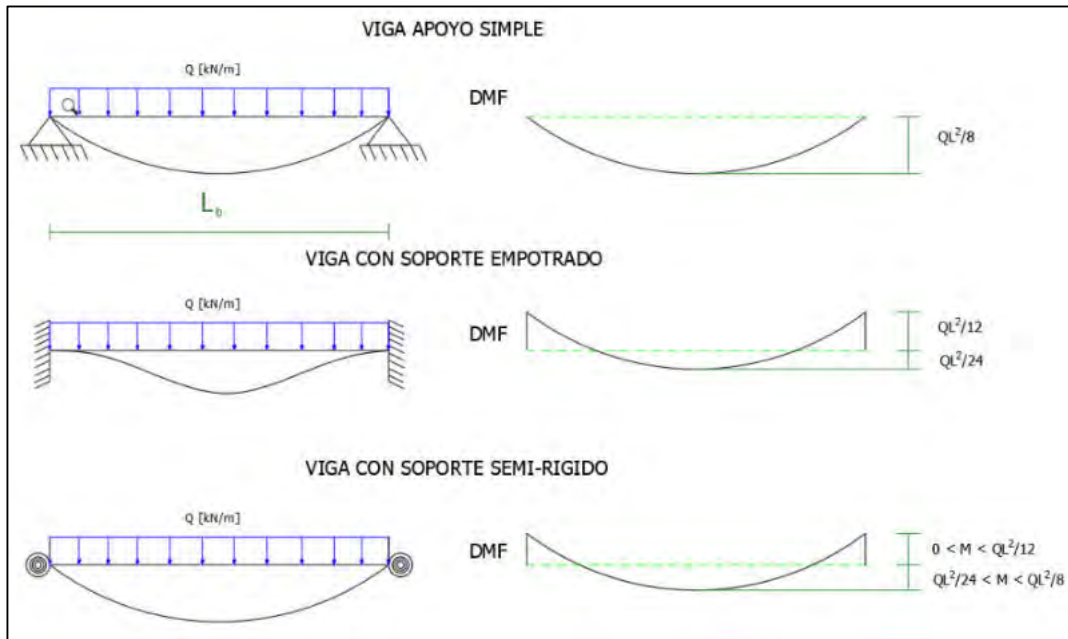


Figura 2-3: Efecto del tipo de soporte en la distribución de momentos flectores y deflexiones de vigas.

### 2.1.1. Curva Momento – Rotación

El comportamiento en el plano de la conexión semi rígida está representado por la relación  $M-\theta_r$ , como se muestra en la Figura 2-4, la conexión gira un valor  $\theta_r$  cuando un momento  $M$  es aplicado. El ángulo  $\theta_r$  corresponde a la rotación relativa entre la viga y la columna.

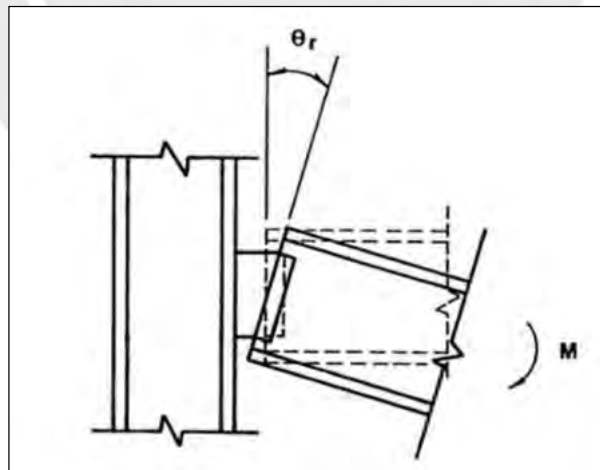


Figura 2-4: Deformación rotacional de la conexión.

Todos los tipos de conexiones muestran comportamiento no lineal de momento rotación que se encuentra dentro del rango de conexiones articuladas y rígidas. Figura 2-5 Las curvas de momento

rotación de todos los tipos de conexiones son no lineales en el rango entero de carga. (Chen, Kishi, & Komuro, 2011). En el numeral 2.4 se detalla las características de cada conexión.

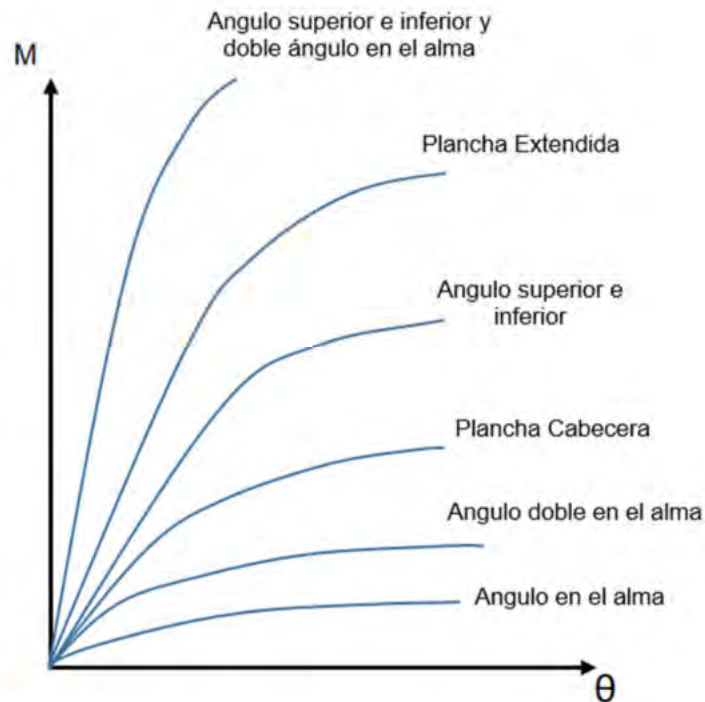


Figura 2-5: Curvas de momento rotación de distintos tipos de conexiones semi-rígidas.

Es importante resaltar que la no linealidad de la conexión es debido a factores como:

- La discontinuidad del material del subsistema de conexión,
- Fluencia local de algún componente de la conexión,
- Pandeo local de algún elemento placa, etc.

La ductilidad en la conexión es una calidad significativa en tanto que la capacidad última es considerada, especialmente para aquellas estructuras diseñadas para resistir cargas sísmicas. Las conexiones semi rígidas son por lo general muy dúctiles, siempre y cuando no existan defectos en la fabricación de la conexión.

En la práctica de ingeniería es importante conocer en qué casos las conexiones son consideradas rígidas, semi rígidas o flexibles. Por tanto, se han presentado varios criterios de clasificación de conexiones. En la Figura 2-6 se muestra la clasificación de conexiones de acuerdo con el código del AISC 360-16. Donde  $\theta_s$  es el ángulo de rotación de la conexión y  $M_n$  es el momento nominal de la conexión.

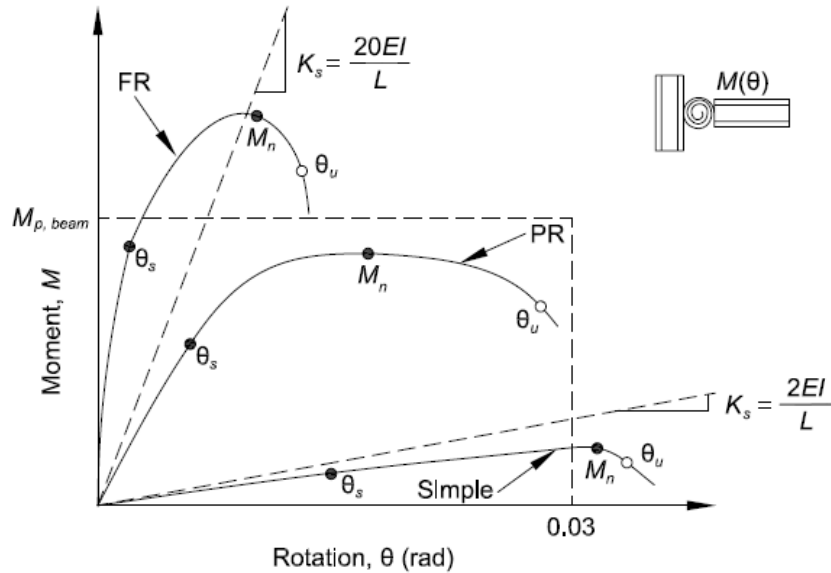


Figura 2-6: Clasificación de la respuesta de momento rotación de conexiones Rígidas, Semi.rígidas y Simples

### 2.1.2. Comportamiento de conexiones Semi-Rígidas

De todos los modelos presentados en el acápite 1.7, se eligió el modelo de Richard Abot que define la ecuación ( 2-1 ) que representa el comportamiento no lineal de la conexión tomando como base los estudios realizados por Hazan, Kishi y Chen en años anteriores.

$$M = \frac{Rk_i\theta}{\left[1 + \left(\frac{\theta}{\theta_o}\right)^n\right]^{1/n}} \quad (2-1)$$

Donde:

- $R_{ki}$  = Rigidez inicial de conexión
- $n$  = Parámetro de forma
- $\theta_o$  = Rotación plástica  $M_u / R_{ki}$
- $M_u$  = Capacidad de momento último de la conexión

### 2.1.3. Conexiones en vigas con cargas de gravedad

Para una viga simétrica, cargada uniformemente, conectada a soportes rígidos y que se supone que se comporta elásticamente, la rotación final del miembro está directamente relacionada con la magnitud de la carga.

Esto se describe más fácilmente mediante el uso de la clásica ecuación de pendiente-deflexión de tal manera que

$$M = \frac{wL^2}{12} - \frac{2EI}{L}\theta \quad (2-2)$$

Donde:

- M = Momento en el extremo de la viga
- $\Theta$  = Rotación en el extremo de la viga
- w = Carga uniforme sobre la viga
- I = Inercia de la viga
- L = Longitud de la viga

Esta ecuación se muestra como una línea recta en la Figura 2-7 y se conoce como la "línea de la viga" o "beam line" según la bibliografía.

La superposición de una curva de conexión de momento PR de la Figura 2-1 con la línea de la viga en la Figura 2-7. El equilibrio se alcanza en la intersección de estas dos curvas, que se muestra como el punto a. Para la curva de conexión no lineal que se muestra, este punto no se obtiene fácilmente. Sin embargo, si la conexión se modelara como una línea recta, entonces se podría encontrar fácilmente una solución matemática simple.

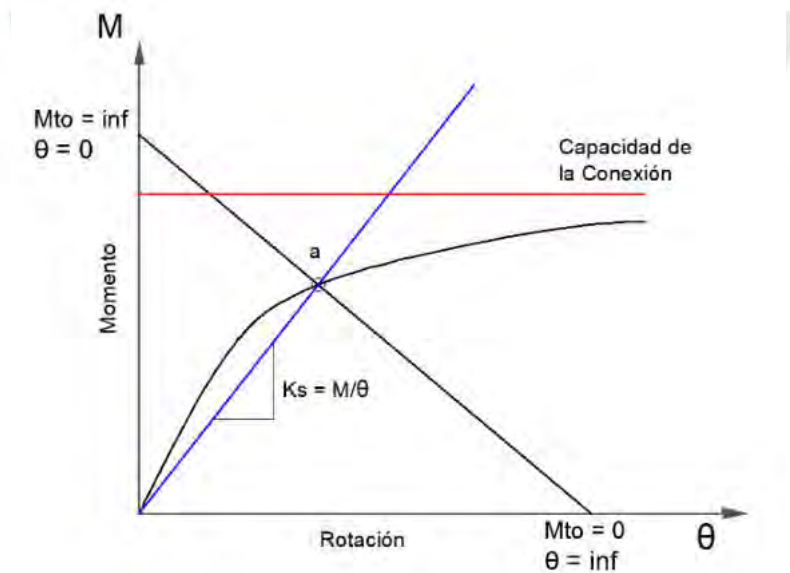


Figura 2-7: Curva de momento rotación de la conexión y la viga.

El modelo de conexión en línea recta que se muestra en la Figura 2-7 tiene una pendiente de  $K_s = M/\theta$  que intercepta la línea de la viga en el mismo punto que la curva de conexión real.

Resolviendo la rotación de la conexión a partir de esta relación y sustituyéndola en la ecuación ( 2-2 ), el momento en la conexión y en el extremo de la viga en equilibrio es:

$$M = \frac{\frac{wL^2}{12}}{1 + \frac{2EI}{KL}} \quad (2-3)$$

$$m = \frac{EI}{KL} \quad (2-4)$$

Donde:

m : grado de rigidez de la conexión

E : Modulo de elasticidad de la viga

Ks : Rigidez secante de la conexión

L : Longitud de la viga

Debido a la simetría, el momento en el centro de la viga se puede encontrar restando el momento final del momento de la viga simple. En la Figura 2-8 se muestra una gráfica de los momentos final y medio del tramo en función de la relación de rigidez. Se puede ver que a medida que el momento final disminuye, el momento medio del tramo aumenta. Los límites máximos son el momento de extremo fijo para el extremo de la viga y el momento de la viga en el tramo medio. En la intersección de estas curvas, los momentos finales y de la línea central son los mismos.

A continuación, se presenta como varían los momentos flectores en función del grado de rigidez de la conexión.

## 2.2. Ejemplo Ilustrativo 1

Se considera una viga con apoyo simple, rígido y conexiones semi-rígidas con una carga viva de 0.1125 kip/in.

Tabla 2-1: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga W14x53

Viga	Fy	E	D	Lb	Iviga	Sx	Zx	DL	LL	Rigidez viga
	ksi	ksi	in	in	in <sup>4</sup>	in <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	kip/in	kip/in	
W14X53	50	29000	14	288	541	77.8	87.1	0.1125	0.1125	54,475.69

Tabla 2-2: Geometría de conexiones Semi-rígidas con viga W14x53

Datos de la conexión	Diametro de perno d (in)	Ancho de tuerca W (in)	Angulo superior e inferior en alas				Angulo doble en alma			
			tt (in)	lt (in)	gct (in)	kt (in)	lw (in)	gcw (in)	kw (in)	tw (in)
SR-1 (simple)	0.875	1.438								
SR-2	0.875	1.438	0.500	8.0	3.0	1.250	8.0	3.0	1.250	0.500
SR-3	0.875	1.438	0.625	8.0	3.0	1.250	8.0	3.0	1.250	0.625
SR-4	0.875	1.438	0.750	8.0	3.0	1.250	8.0	3.0	1.250	0.750
SR-5	0.875	1.438	0.750	10.0	2.5	1.250	10.0	2.5	1.250	0.750
SR-6 (rigida)	0.875	1.438								

Tabla 2-3: Propiedades mecánicas de las conexiones

Fy = 50 ksi	Mu kip.in	Rki kip.in/rad	n	DL + LL			Mto (+)	Mto (-)	Mto optimo
				Me	Rs	m			
SR-1 (simple)							3,265.92	-	- 1,632.96
SR-2	1,770.00	260,974.37	1.60	1,262.00	150,248.60	2.76	2,003.92	-1,262.00	- 1,632.96
SR-3	2,524.00	552,971.15	1.36	1,602.02	303,412.25	5.57	1,663.90	-1,602.02	- 1,632.96
SR-4	3,326.58	1,030,469.59	1.15	1,811.20	539,048.61	9.90	1,454.72	-1,811.20	- 1,632.96
SR-5	4,855.28	2,944,448.39	0.74	1,981.00	1,100,648.60	20.20	1,284.92	-1,981.00	- 1,632.96
SR-6 (rigida)						50.00	1,088.64	-2,177.28	- 1,632.96

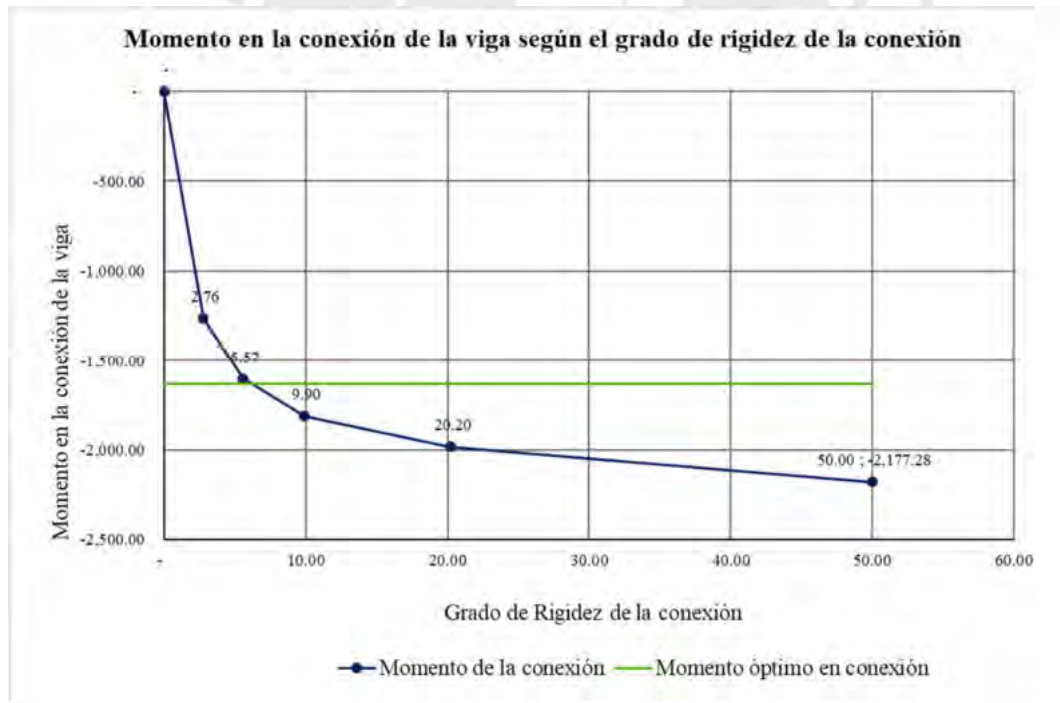


Figura 2-8: Momento en conexión de viga según el grado de rigidez de la conexión (N.m)

Como se aprecia en la Figura 2-8, el momento óptimo de la conexión es aquel que permite que el momento positivo en el medio de la viga y el momento negativo en el extremo sean iguales.

### 2.3. Clasificación de conexiones

Los códigos y autores han clasificado las conexiones de acero con la finalidad de que se tenga conocimiento y una mejor visión de que no existe una sola clasificación general de las conexiones, sino que estas pueden ser clasificadas de diferente manera de acuerdo a su rigidez y resistencia.

A continuación, se presentan los criterios de clasificación de conexiones de acuerdo con la Norma E090 de Estructuras de Acero, el código AISC, Eurocódigo 3 y propuestas de distintos autores.

#### 2.3.1. Conexiones según la Norma E090 del RNE

El diseño de estructuras de acero en Perú se basa en la norma E090 del Reglamento Nacional de Edificaciones y señala tres tipos de construcciones de acero en el acápite 1.2.2.

- **Tipo 1**  
Comúnmente denominado pórtico rígido (pórtico continuo), el cual asume que las conexiones entre vigas y columnas son suficientemente rígidas para mantener sin cambios los ángulos entre elementos que se interceptan.
- **Tipo 2**  
Conocido como pórtico simple (no restringido), que asume una condición de apoyo simple en sus extremos mediante conexiones sólo por corte y que se encuentran libres de rotar por cargas de gravedad.
- **Tipo 3**  
Denominado pórtico semirrígido (parcialmente restringido) que asume que las conexiones entre elementos poseen cierta capacidad conocida de rotación, que se encuentra entre la conexión rígida del Tipo 1 y la conexión simple del Tipo 2.

Indica también que el diseño de conexiones debe ser consistente con lo asumido en cada tipo de sistema estructural, y debe plasmarse en los planos de diseño.

Las conexiones para edificios tipo 2 deben cumplir con lo siguiente:

- Las conexiones y los elementos conectados serán adecuados para resistir las cargas de gravedad como vigas simplemente apoyadas.
- Las conexiones y elementos conectados serán adecuados para resistir cargas laterales.
- Las conexiones tendrán una adecuada capacidad de rotación inelástica que evite sobre cargar a los conectores o soldaduras frente a la acción combinada de fuerzas horizontales y de gravedad.

Las construcciones semi-rígidas del Tipo 3 pueden necesitar una deformación inelástica, pero auto limitada, de alguna zona de acero estructural.

Así también, la norma E.090 en el acápite 10.1.1. Bases de diseño, señala que las conexiones están formadas por las partes involucradas de los miembros que se conectan (por ejemplo, las almas de las vigas), los elementos de conexión (por ejemplo, planchas de nudo, ángulos, cartelas) y los conectores (soldaduras y pernos). Estos componentes deben ser dimensionados de manera que su resistencia iguale o exceda la determinada por el análisis estructural para las cargas actuantes en la estructura o una proporción especificada de la capacidad de los elementos conectados, la que sea adecuada.

Por último, la presente Norma define las conexiones de la siguiente manera en los acápites 10.1.2. y 10.1.3.

a) Conexiones Simples

Salvo que en los planos aparezca una indicación en contrario, las conexiones de vigas o armaduras deben de diseñarse como flexibles para resistir solamente las reacciones de corte. Las conexiones flexibles de las vigas deben permitir los giros de ellas como simplemente apoyadas. Para cumplir esto, se permite una deformación inelástica limitada.

b) Conexiones de Momento

Las conexiones de vigas o armaduras restringidas en sus extremos, deben diseñarse para la acción combinada de fuerzas resultantes de la acción de cortantes y momentos inducidos por la rigidez de las conexiones.

Por otro lado, el acápite 10.1.6. Resistencia mínima de Conexiones indica que excepto para elementos secundarios, como enlaces o arriostres de viguetas o viguetas de revestimiento, las conexiones que transmiten esfuerzos de diseño deberán ser diseñadas para soportar una carga amplificada no menor a 45 kN para el método LRFD o a 27 kN para el método ASD.

Las conexiones en los extremos de elementos en tracción o compresión de armaduras deben transmitir las fuerzas debidas a las cargas de diseño, pero no menos del 50% de la resistencia efectiva del elemento, a menos que se justifique un porcentaje menor por un análisis de ingeniería que considere otros factores como el manipuleo, transporte y montaje.

### 2.3.2. Clasificación según AISC

En las especificaciones del manual de construcciones de acero del AISC 360-2016, la clasificación de acuerdo con la rigidez de la conexión se presenta con algunas variaciones. La diferencia consiste en que el valor de  $m$  está dado por:

$$m = \frac{K_S}{\left(\frac{EI}{L}\right)} \quad (2-5)$$

Donde  $K_S$  es la rigidez secante en carga de servicio:

$$K_S = \frac{M_S}{\theta_s} \quad (2-6)$$

$M_S$  y  $\theta_s$  son el momento y rotación de carga de servicio, respectivamente, Figura 2-9

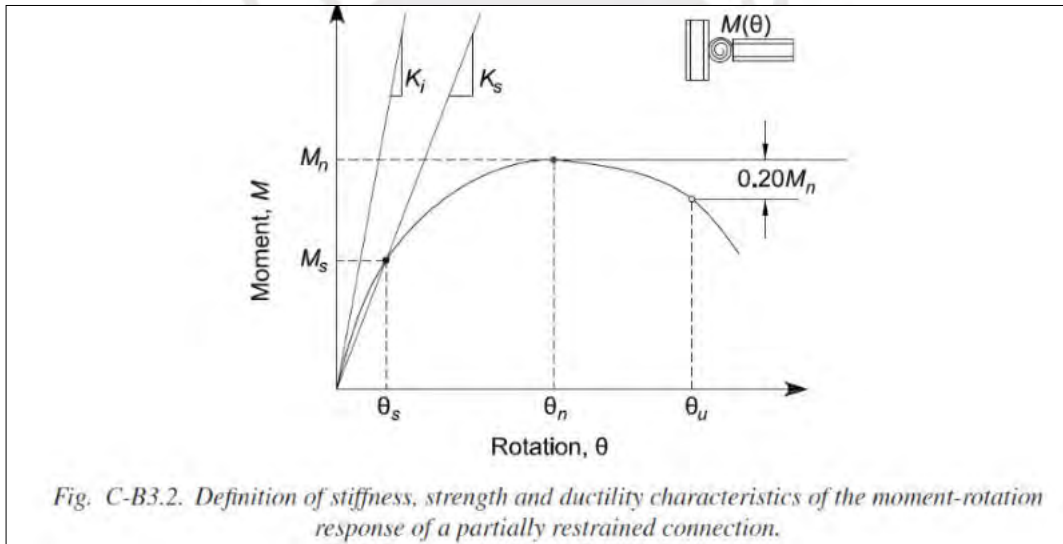


Figura 2-9: Definición de rigidez, esfuerzo y características de ductilidad de la conexión (AISC, 2016)

Los valores que se especifican para  $m$  están dado en la Tabla 2-4

Tabla 2-4: Clasificación de la conexión de acuerdo con su rigidez. (AISC 2016)

Parámetro de rigidez	Conexión
$m \geq 20$	Rígida
$20 > m > 2$	Semi-rígida
$m \leq 2$	Flexible

Además, las especificaciones del AISC, describen el comportamiento dúctil de las estructuras de acuerdo con la capacidad de la conexión y la viga. Cuando la capacidad de la conexión es mayor que la de la viga, la ductilidad del sistema estructural se encuentra controlada por ésta y la conexión sufre deformaciones elásticas. Cuando la capacidad de la conexión es ligeramente mayor que la de la viga, la conexión puede experimentar sustancialmente deformaciones inelásticas. Si la capacidad de la viga excede a la de la conexión, las deformaciones se concentran en esta última.

Conexiones con rigidez entre estos dos límites de rigidez, esfuerzo y ductilidad, la conexión debe ser considerada en el diseño (Leon 1994)

### Ductilidad de la conexión

Si los esfuerzos en la conexión exceden el momento total plástico de la viga, entonces la ductilidad del sistema estructural es controlada por la viga y la conexión puede ser considerada elástica. Si el esfuerzo de la conexión es similar al momento plástico de la viga, entonces la conexión puede experimentar deformaciones inelásticas sustanciales antes de que la viga alcance su esfuerzo total. Si el esfuerzo en la viga excede el esfuerzo en la conexión, entonces las deformaciones pueden concentrarse en la conexión.

Por ejemplo, los requerimientos de ductilidad para un pórtico arriostrado en zona no sísmica serán generalmente menores que la ductilidad requerida en una zona sísmica. Los requerimientos de ductilidad a la rotación para zonas sísmicas dependerán del sistema estructural. (341-16, 2016)

La capacidad de rotación disponible  $\Theta_u$ , debe ser comparada con la rotación requerida en el estado de esfuerzo límite, tal como se ha determinado por el análisis que toma en cuenta el comportamiento no lineal de la conexión. (Nótese que para el diseño AS, la rotación requerida en el estado de esfuerzo límite deberá ser evaluada usando análisis de hasta 1.6 las combinaciones ASD). En la ausencia de un análisis preciso, la capacidad de rotación de 0.03 es considerado adecuado. Esta rotación es igual a la capacidad mínima de la conexión viga-columna tal como se

especifica en las provisiones de diseño sísmico para pórticos especiales resistentes a momento (341-16, 2016).

### 2.3.3. Clasificación según Eurocódigo

Según los criterios del Eurocódigo 3 (Monfort 1999), las conexiones se clasifican de acuerdo con su rigidez y resistencia, como se indica en la Tabla 2-5

Tabla 2-5: Clasificación de las conexiones según el Eurocódigo (Monfort, 1999).

Parámetro para pórticos	Conexión
$m \geq 25$ no arriostrados $m \geq 8$ arriostrados	Rígida
$25 \geq m \geq 0.5$ no arriostrados $8 \geq m \geq 0.5$ arriostrados	Semi-rígida
$m < 0.5$	Flexible

### 2.3.4. Clasificación según Bjorhovde

El sistema de clasificación de Bjorhovde (Christopher & Bjorhovde, 1999), en comparación al EC3, no considera el comportamiento global del pórtico. Este sistema de clasificación establece límites más exigentes que otras clasificaciones por la consideración del límite de ductilidad de la conexión en cuestión.

En la Figura 2-10 se muestra la clasificación según *Bjorhovde*. Se aprecia que las condiciones de borde resultan de graficar la Ecuación ( 2-2 ) tanto para  $\alpha = 2$  como para  $\alpha = 10$ . Nótese también que estas condiciones de borde varían según la longitud ( $L_{viga}$ ) y el peralte ( $d_{viga}$ ) de la viga conectada.

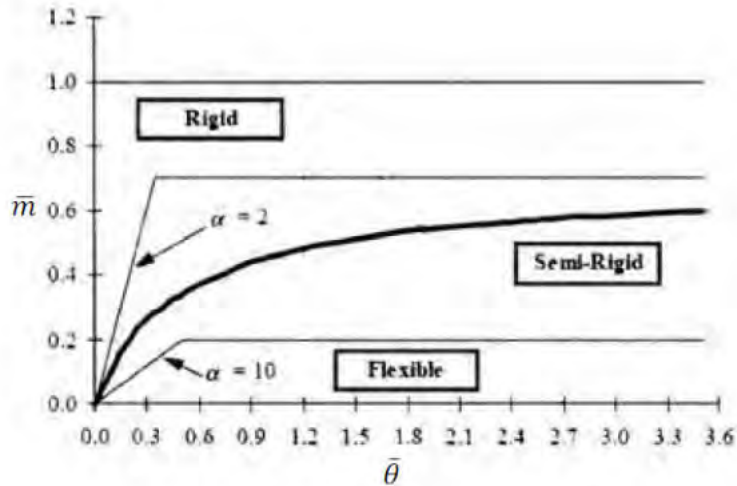


Figura 2-10: Clasificación de las conexiones según BJORHOVDE 1999

Si la curva momento-rotación cae por encima de la condición de borde cuyo factor de rigidez es 2, la conexión será considerada como rígida; si cae por debajo de la condición de borde cuyo factor de rigidez es 10, será tomada como flexible; y si la curva momento rotación cae en la zona comprendida entre las dos condiciones de borde, la conexión será considerada semirrígida.

Cabe destacar que tanto el sistema de clasificación propuesto por el Eurocódigo 3 y el propuesto por BJORHOVDE fueron analizados por J.Y. Richard Liew, D.W.White y Wai Fah Chen (1993) quienes concluyeron que la aproximación del Eurocódigo 3 es más precisa.

### 2.3.5. Clasificación según Astaneh

Además de transmitir las solicitaciones entre los elementos concurrentes en los nodos, debe asegurarse que las conexiones desarrollen y subsecuentemente mantengan la capacidad de carga requerida. Así, de acuerdo con el criterio de diseño columna fuerte viga débil, el comportamiento de una estructura depende de la capacidad de rotación de sus conexiones y de la capacidad a flexión de sus vigas y columnas.

La clasificación cuantitativa de las conexiones que se utilizan en las estructuras de acero se basa en el concepto de rigidez a flexión. Así se tiene:

- Estructuras de marcos rígidos. Las conexiones pueden desarrollar el momento de empotramiento  $M_f$  de las vigas que se conectan.
- Estructuras con conexiones semi-rígidas. Las conexiones pueden desarrollar un porcentaje del momento de empotramiento.

- Estructuras que teóricamente permiten la rotación libre en los nodos con conexiones a cortante. Generalmente no se usan en la conexión viga-columna sólo en conexiones de vigas y largueros secundarios.

El parámetro  $m$  para definir la rigidez de la conexión viga-columna es (Astaneh-Asl, 1995)

$$m = \frac{K_s}{\left(\frac{EI}{L}\right)} \quad (2-7)$$

Donde  $K_s$  es la rigidez rotacional de la conexión viga-columna y depende del tipo de conexión;  $E$ ,  $I$  y  $L$  son el modulo de elasticidad, el momento de inercia y la longitud de la viga, respectivamente. Dependiendo del valor de  $m$  la conexión se clasifica como se indica en la *Tabla 2-6* (Astaneh-Asl, 1995)

Tabla 2-6: Clasificación de las conexiones de acuerdo a su rigidez (Astaneh-Asl, 1995)

$m$	Conexión
$m \geq 18$	rígida
$18 > m \geq 0.5$	semi-rígida
$m < 0.5$	flexible

En la Figura 2-11, con base en la curva momento-rotación, se muestran las tres regiones del comportamiento del momento basado en la rigidez rotacional relativa de una conexión. La clasificación se basa en la rigidez rotacional elástica de las conexiones de vigas. Esta categorización ha sido utilizada en el diseño elástico de vigas bajo carga gravitacional

En diseño sísmico, la capacidad de momento plástico de las conexiones y vigas también debe ser clasificada. Por ejemplo, en una conexión rígida,  $m > 18$ , con capacidad de momento plástico menor que la capacidad de momento plástico de la viga. Después de que la conexión alcanza su capacidad de momento plástico y desarrolla articulaciones plásticas, la conexión se comporta como semi-rígida. Para definir el comportamiento de una conexión como rígido, semi-rígido o flexible, además del parámetro  $m$ , se utiliza el parámetro  $\alpha$  que se define como la relación entre la capacidad de carga de la conexión y la viga, esto es (Astaneh-Asl, 1995):

$$\alpha = \frac{(Mp)_{Conexión}}{(Mp)_{Viga}} \quad (2-8)$$

Donde  $(Mp)_{Conexión}$  y  $(Mp)_{Viga}$  son la capacidad de momento plástico de la conexión y de la viga, respectivamente.

Así, al incorporar los efectos de plastificación de la viga y la conexión, la definición de conexiones rígidas, semi-rígidas y flexibles se presenta en la Tabla 2-7

Tabla 2-7: Clasificación de las conexiones de acuerdo con su rigidez y la relación de resistencia (Astaneh-Asl, 1995)

Parámetros		Conexión
$m \geq 18$	y $\alpha \geq 1.0$	rígida
$m > 18$	y $0.2 < \alpha < 1.0$	semi-rígida
$18 > m \geq 0.5$	y $\alpha > 0.2$	flexible
$m \leq 0.5$	$\alpha < 0.2$	

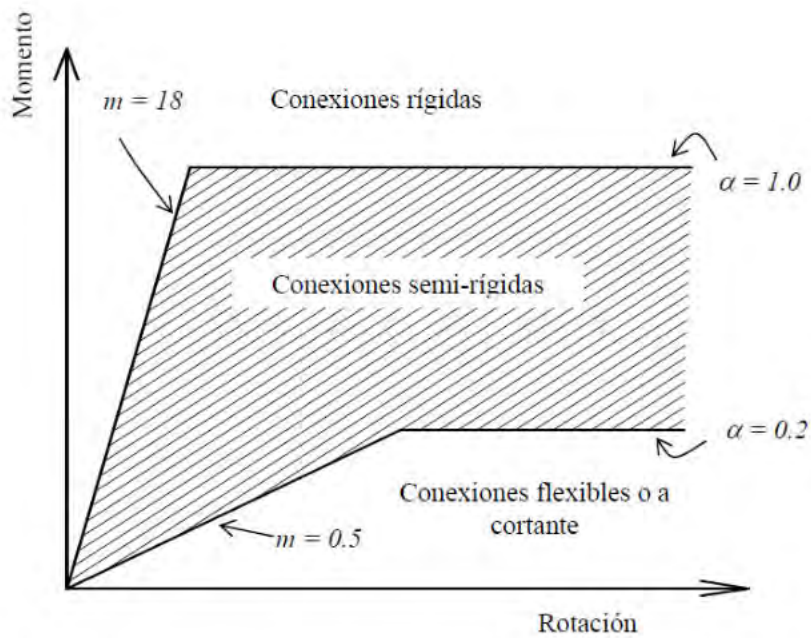


Figura 2-11: Curva de momento rotación de conexiones (Astaneh-Asl, 1995)

#### 2.4. Descripción de conexiones semi-rígidas

A continuación, se describen los tipos de conexiones semi-rígidas obtenidos del libro (Chen, Kishi, & Komuro, 2011), cuyo comportamiento se puede ver en la Figura 2-5.

Los ángulos en la viga pueden ser soldados ya que debido al mecanismo de falla de la conexión el alma de la viga y ese lado de la conexión trabajan juntos (Ahmed, 2017)

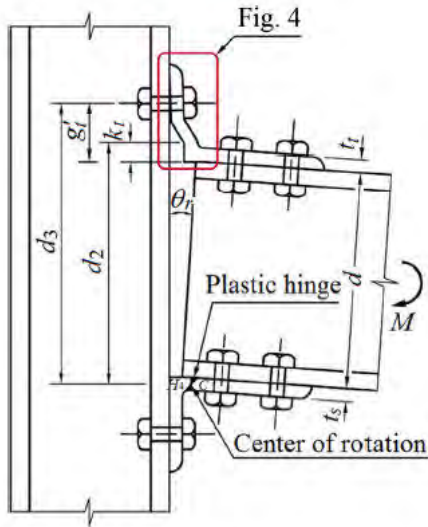


Fig. 3 Deformed configuration of top- and seat-angle connection

**a. Conexión con ángulo simple en el alma.**

En un ángulo empernado o soldado en el alma de la viga, el ángulo puede ser reemplazado por una plancha soldada. Este tipo de conexión requiere menos material que la conexión con ángulo. La conexión con plancha simple tiene mayor rigidez que la conexión de ángulo simple debido a que la plancha es totalmente soldada a la columna. Ver Figura 2-12.

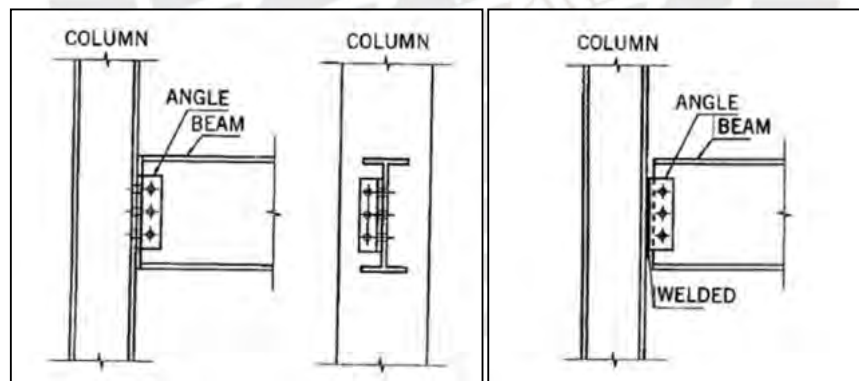


Figura 2-12: Conexión con ángulo simple en el alma o placa simple (Single web plate).

**b. Conexión con doble ángulo en el alma.**

Compuesta por dos ángulos empernados o soldados en el alma de la columna y la viga, la rigidez de esta conexión es mayor que la rigidez de conexión con ángulo o plancha simples. Se considera que tiene el doble de su capacidad. Según el AISC 1989 considera este tipo de conexión como Tipo 2. Ver Figura 2-13

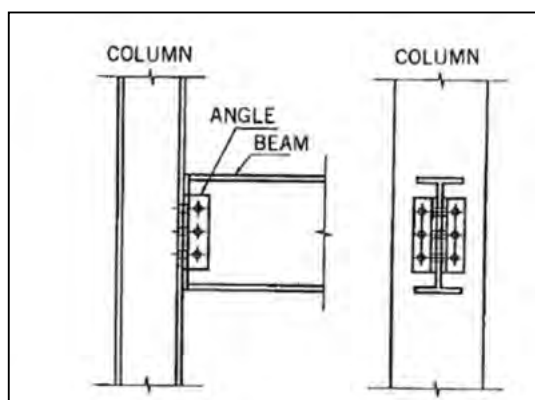


Figura 2-13: Conexión con ángulo doble en el alma o placa doble (Double web plate).

**c. Conexión con ángulo superior e inferior con ángulo doble en el alma.**

Esta conexión es una combinación de la conexión con ángulo superior e inferior y la conexión con doble ángulo en el alma. Este tipo de conexión se muestra en la Figura 2-14. Los ángulos dobles se utilizan para mejorar las características de restricción de la conexión. Este tipo de conexión es considerado como Tipo 3.

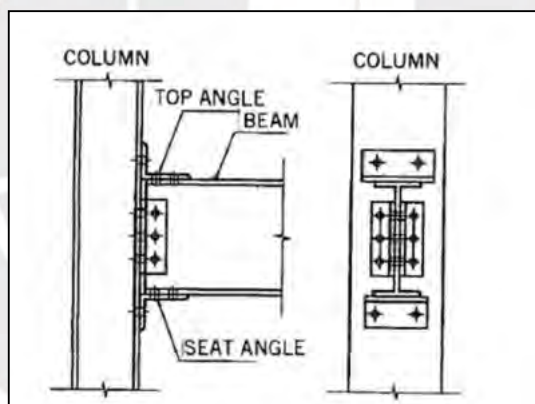


Figura 2-14: Conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma (Top and seat angle and double web plate).

**d. Conexión con ángulo superior e inferior sin ángulo doble en el alma.**

En esta conexión, el ángulo superior es usado para proporcionar soporte lateral a compresión del ala de la viga y el ángulo inferior transfiere solo la reacción vertical de la viga a la columna y no debería proporcionar rigidez significativa para el momento en el extremo de la viga. Sin embargo, de acuerdo a pruebas experimentales esta conexión puede transferir no solo reacciones verticales sino también momento en el extremo de la viga a la columna. Ver Figura 2-15

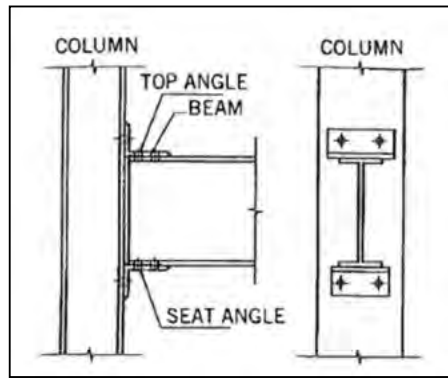


Figura 2-15: Conexión con ángulo superior e inferior sin ángulo doble en el alma (Top and seat angle without double web plate).

#### e. Conexión con plancha extendida y plancha alineada

Generalmente, la plancha al extremo es soldada al extremo de la viga a lo largo de las dos alas y el alma. La conexión con plancha extendida ha sido utilizada desde 1960. Las conexiones con plancha extendida son clasificadas en dos tipos de conexiones. Como conexión con plancha para tracción y como conexión para tracción y compresión tal como se muestra en la Figura 2-16

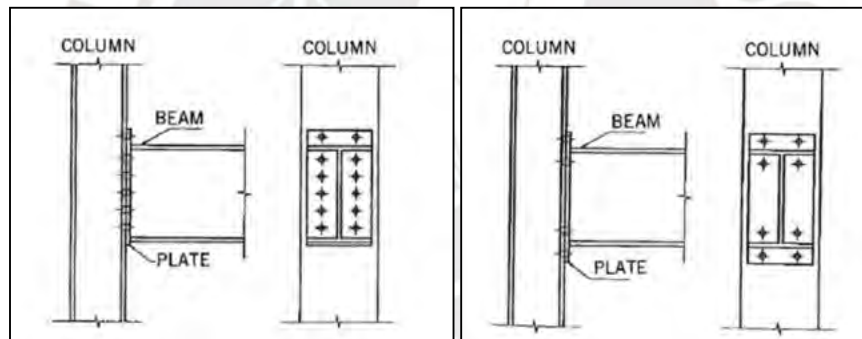


Figura 2-16: Conexión con plancha extendida.

Una conexión con plancha alineada se muestra en la Figura 2-17. Algunas de las conexiones con plancha extendida son consideradas como totalmente restringidas TR en vez de ser consideradas PR, a estas se les considera que transfieren momentos del extremo de la viga a la columna. La conexión con plancha extendida en ambos lados es preferible cuando la conexión está sujeta a momento inverso como por ejemplo durante la acción de cargas durante un sismo severo. Además, las conexiones con planchas alineadas son más débiles que las conexiones con plancha extendida. Este tipo de conexión se utiliza para detalles de losa de techo. El comportamiento de la conexión con plancha extendida depende en si el alma de la columna cerca a la conexión está rigidizada o no. El atiesador de las alas de la columna actúan para prevenir la deformación por flexión en el ala de la columna.

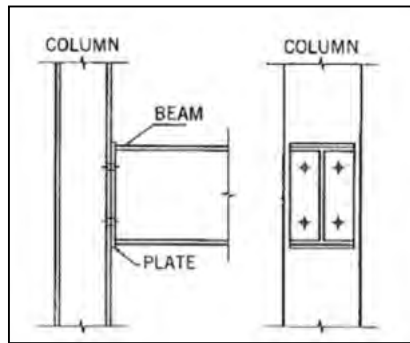


Figura 2-17: Conexión con plancha alineada

**f. Conexión con plancha cabecera.**

La conexión con plancha cabecera consiste en una plancha al extremo, cuya longitud es menor al peralte de la viga, soldada al alma de la viga y empernada a la columna, como se muestra en la Figura 2-18. Las características de momento rotación de esta conexión son similares a aquellas con doble ángulo en el alma. Este tipo de conexión se utiliza para transmitir la reacción de la viga a la columna y se clasifica como tipo 3.

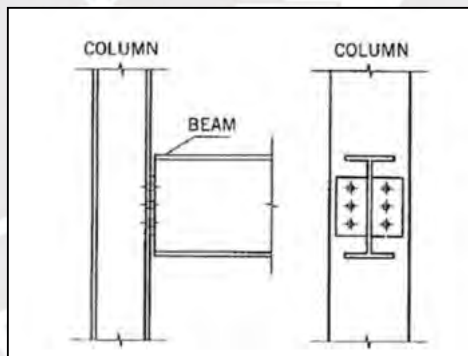


Figura 2-18: Conexión con plancha cabecera.

**2.5. Propiedades mecánicas de conexiones semi-rígidas (momento último  $M_u$ , rigidez inicial  $R_{ki}$  y parámetro de forma  $n$ ) (Chen, Goto, & Liew, 1996)**

Lui y Chen (1986) usaron una función exponencial para encajar curva de la data experimental  $M-\theta$ . Este modelo representa la conexión no lineal monótonica. (Monotonic). Sin embargo si hay cambios de la forma de la pendiente de la curva  $M-\theta$ , este modelo no puede representar adecuadamente la conexión (Wu 1989). Kishi y Chen (1986a, 1986b) refinaron el modelo exponencial de Lui y Chen para acomodar adecuadamente cualquier cambio en la curva de  $M-O$ . El modelo de Kishi y Chen que es referenciado como la exponencial modificada, puede ser utilizado en lugar de la data experimental  $M-\theta$

(Chen, Kishi, & Komuro, 2011) señalan que para conocer el comportamiento y establecer una guía de diseño para pórticos semi-rígidos, es necesario conocer el momento y el ángulo de rotación de la conexión. En los últimos años, varios investigadores han publicado investigaciones evaluando la influencia de la rigidez de la conexión en pórticos de acero para varios tipos de conexiones. Por ejemplo, (Goverdhan, 1983) y (Nethercot, 1985) recolectaron información experimental para predecir el comportamiento de las conexiones con data desde 1915 a 1985. Posteriormente (Komuro & Kishi, 2009), (Kishi & Chen, 1986b) y (Kishi & Chen, 1986a) actualizaron la base de datos de esta data experimental teniendo un total de 486 ensayos experimentales.

A continuación, se presentan los cálculos propuestos por (Chen, Kishi, & Komuro, 2011) para representar el comportamiento no lineal de la conexión

### 2.5.1. Propiedades geométricas de conexiones

En esta sección se presenta el procedimiento para el cálculo de rigidez inicial, capacidad de momento último y factor de forma de 4 conexiones con comportamiento semi-rígido.

- a. Conexión con ángulo simple en alma (SWA)
- b. Conexión con ángulo doble en alma (DWA)
- c. Conexión con ángulo superior e inferior en alas (TSFA)
- d. Conexión con ángulo superior e inferior y en ángulo doble en alma (TSFA y DWA)

El manual de LRFD incluye varias tablas para diseñar este tipo de conexiones de manera sencilla. El objetivo de esta sección es proporcionar paso a paso el procedimiento para calcular la rigidez inicial y la capacidad de momento último, así como el parámetro  $n$  para poder obtener el comportamiento de la conexión.

Parámetros estándar para conexiones con ángulos.

$$\begin{aligned} \beta &= g_c / l, & \gamma &= l / t, & \delta &= d / t, \\ \kappa &= k / t, & \omega &= W / t, & \rho &= t_w / t_t \end{aligned} \quad (2-9)$$

Dónde:

- $d$  = altura de la viga
- $g_c$  = Distancia del extremo del ángulo al eje del perno
- $k$  = Distancia de la esquina del ángulo hacia el término de curvatura interna
- $l$  = Longitud del ángulo
- $t$  = Espesor del ángulo superior e inferior

W = Diámetro de la tuerca

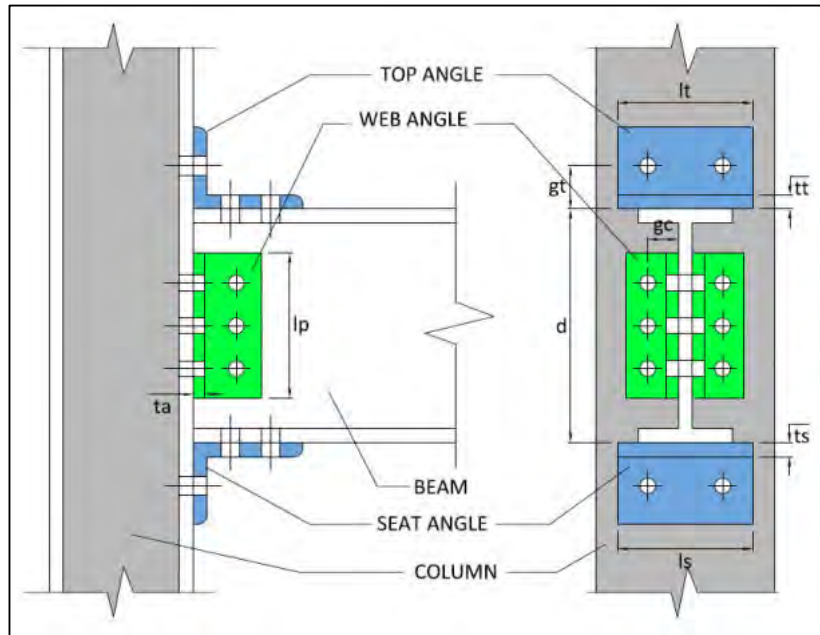


Figura 2-19: Dimensiones estándar para una conexión.

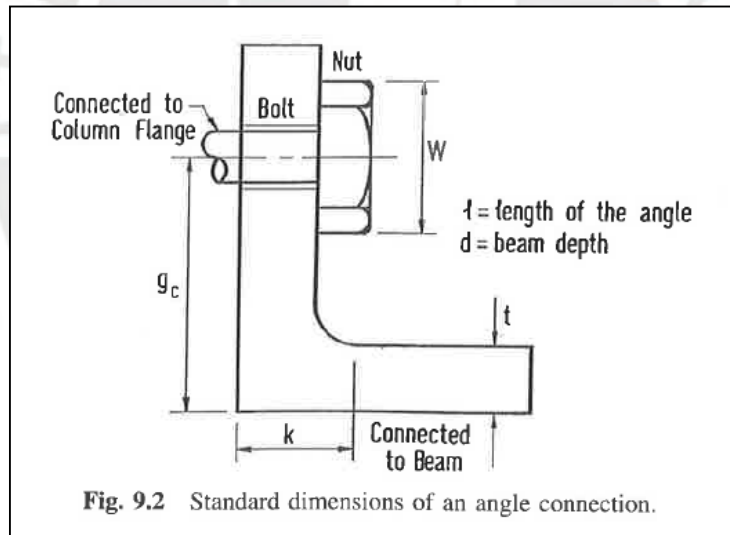


Fig. 9.2 Standard dimensions of an angle connection.

Figura 2-20: Dimensiones estándar para una conexión con ángulo.

Los siguientes parámetros definen la rigidez y resistencia del ángulo.

$I_o$  =  $t^3 / 12$ , Momento de inercia por unidad de longitud.

$M_o$  =  $F_y t^2 / 4$ , Momento plástico por unidad de longitud

V = Fuerza cortante

$V_o$  =  $F_y t / 2$ , Capacidad de cortante plástico por unidad de longitud

$\xi = V / V_o$ , parámetro adimensional de fuerza de corte.

Los subíndices t, s, y w hacen referencia a superior (top), inferior (seat) de la conexión y alma (web) del perfil y se aplica en la mayoría de bibliografía encontrada.

A continuación, se presentan las fórmulas para hallar la rigidez inicial de conexión  $R_{ki}$  y la capacidad de momento último  $M_u$ .

### 2.5.2. Modelo de potencia de tres parámetros

Los resultados experimentales recolectados de la base de datos de Kishi and Chen (1986<sup>a</sup>, 1986b) fue utilizada como punto de inicio al procedimiento de evaluación de métodos analíticos encontrados en la literatura. Para cada tipo de conexión se tiene resultados experimentales tomados de la base de datos indicada.

Desde un punto de vista distinto Chen and Kishi (1987) y Kishi (1988 a, 1989 b) desarrolló otro procedimiento para predecir las características del M- $\theta$ , en este procedimiento, la rigidez inicial de la conexión y la capacidad última a momento de la conexión son determinados a través de un modelo analítico simple.

Al usar estas cantidades un modelo de tres parámetros dado por Richard y Abbot (1975) fue adoptado para representar el comportamiento de M- $\theta$  de la conexión.

$$M = \frac{R_{ki} * \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\theta_r}{\theta_o}\right)^n\right]^{1/n}} \quad (2-10)$$

Dónde:

$M_u$  = capacidad de momento último

n = parámetro de forma

$R_{ki}$  = rigidez inicial de la conexión

$\theta_o$  = rotación plástica referencial

La ecuación ( 2-10 ) tiene la forma mostrada en la Figura 2-21, el parámetro n puede ser determinado utilizando el método de menos cuadrado para diferencias entre los momentos estimados y los de los datos experimentales.

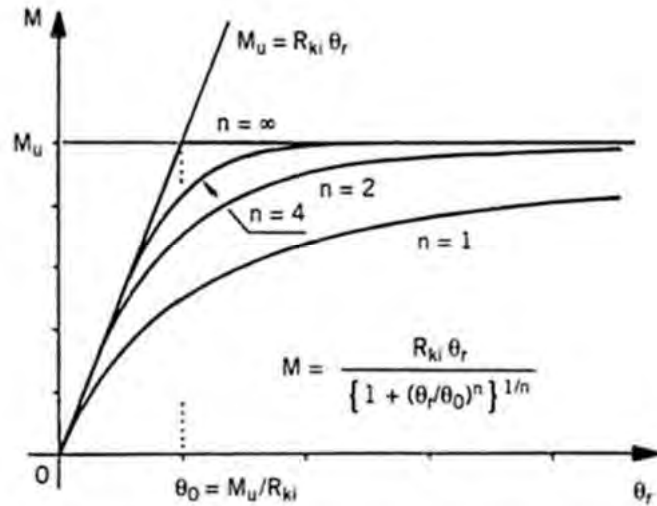


Figura 2-21: Conexión con ángulo simple en el alma o placa simple (Single web plate).

Este modelo de potencia es una herramienta efectiva para diseñadores para ejecutar análisis estructurales de segundo orden de una forma rápida y aproximada.

Esto es porque la rigidez tangente de la conexión  $R_{kt}$  y la rotación relativa  $\theta_r$  pueden ser determinadas directamente de la ecuación 2.4.5, sin iteración en donde la rigidez tangente de la conexión  $R_{kt}$  es:

$$R_{kt} = \frac{dM}{d\theta_r} = \frac{R_{ki}}{\left[1 + \left(\frac{\theta_r}{\theta_0}\right)^n\right]^{(n+1)/n}} \quad (2-11)$$

Y la rotación  $\theta_r$  es:

$$\theta_r = \frac{M}{R_{ki} \left[1 - \left(\frac{M}{M_u}\right)^n\right]^{1/n}} \quad (2-12)$$

Los valores de la rigidez inicial de la conexión  $R_{ki}$ , la capacidad de momento ultimo y el parámetro de forma  $n$ , se obtienen para 4 tipos de conexiones.

- $g$  = Distancia entre el talón al alma o ala de la viga
- $I_o$  =  $t^2 / 12$  = Momento de inercia geométrico
- $k$  = distancia del talón hacia el final de curvatura
- $l$  = longitud del ángulo
- $M_o$  =  $G_y t^2 / 4$  = Momento flector elástico del ángulo
- $t$  = espesor del ángulo

$W$  = ancho de la tuerca  
 $\sigma_y$  = Esfuerzo de fluencia del ángulo

A continuación, se presenta los cálculos para determinar el momento último  $M_u$ , rigidez inicial  $R_{ki}$ , y factor de forma  $n$  en sistema inglés ya que las fórmulas se encuentran en esas unidades. Ver referencia (Chen, Goto, & Liew, 1996)

### 2.5.3. Conexiones con ángulo simple y doble en el alma.

Las conexiones con ángulo simple en el alma (single web angle) SWA consisten en un ángulo soldado o empernado al ala de la columna y al alma de la viga tal como se muestra en la Figura 2-22. y la conexión con ángulo doble en el alma (doble web angle) DWA tal como se muestra en la Figura 2-23. El diseño de este tipo de conexión asume que los componentes (pernos, ángulos, soldadura y atiesadores) son capaces de resistir las fuerzas aplicadas a la viga.

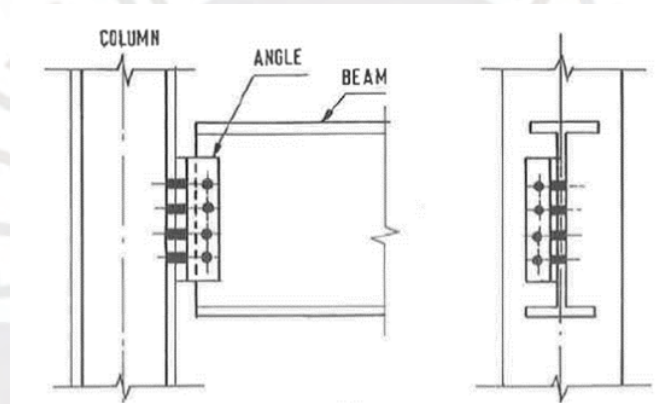


Figura 2-22: Conexión semi-rígida con ángulo simple.

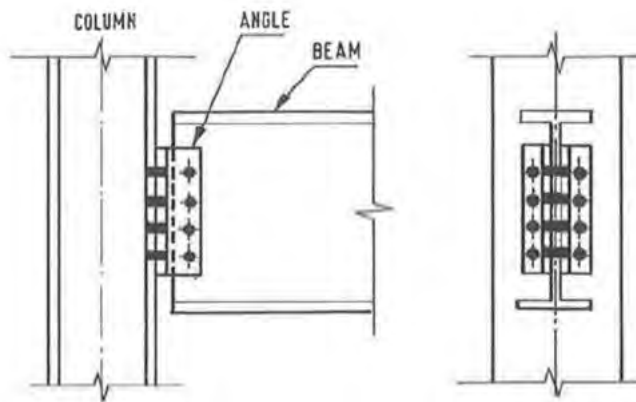


Figura 2-23: Conexión semi-rígida con ángulo doble.

El procedimiento para dimensionar este tipo de conexión doble es el que se presenta a continuación.

- a. De las reacciones de la viga, determinar el número de pernos requeridos (LRFD Specification, Section J3.3), el diseño debe asegurar que el total de fuerza cortante dividida entre el número de pernos no debe exceder la resistencia de diseño del grupo de pernos.
- b. Verificar si el alma de la viga resiste la compresión debido a los pernos con la Especificación J3.6). La resistencia a compresión es determinada por cada perno y en conjunto. La resistencia de la viga y los pernos debe ser mayor a la carga factorada aplicada a la viga. Los pernos al costado deberán tener menor capacidad debido a que puede ocasionar el desgarro del alma de la viga en lugar de la compresión del alma.
- c. Se deberá verificar la compresión en el ángulo de conexión similar al que se realiza en la viga.
- d. Verificar que el alma de la viga no falle en bloque de cortante.
- e. Chequear los ángulos a fractura por corte con sección neta.
- f. Si la sección está sometida a tracción se deberá verificar los esfuerzos de manera conjunta.

#### A. Rigidez inicial - $R_{kiw}$

La rigidez inicial del ángulo en el alma puede derivarse basado en las siguientes suposiciones (Kishi 1988a, 1988b).

- Los efectos de fuerza de corte en la deformación de la conexión no son tomados en cuenta.
- La parte del ángulo anclada al alma de la viga se comporta de manera lineal y la pata del ángulo conectado a la viga se comporta como un cuerpo rígido.
- La deformación de la conexión es despreciable.
- La parte del ángulo anclada a la columna actúa moderadamente como una plancha de acero, el anclaje se encuentra en la tuerca.

Basado en las siguientes hipótesis y al aplicar la teoría de flexión torsional aplicada al ángulo conectado a la columna, la rigidez inicial normalizada de un ángulo simple puede ser derivada como (Kishi 1993, Liew 1993a).

$$\frac{R_{kiw}}{EI_{ow}} = \frac{12\alpha \cosh(\alpha\beta'w)}{7.8[\alpha\beta'w \cosh(\alpha\beta'w) - \sinh(\alpha\beta'w)]} \quad (2-13)$$

Donde  $EI_{ow}$  es la rigidez flexionante por unidad de longitud de la pata del ángulo adyacente a la cara de la columna,  $\alpha = 4.2967$  cuando el valor de módulo de Poisson es igual a 0.3 y  $\beta'w$  se define como:

$$\frac{M_{uw}}{M_{ow}t_w} = \frac{(2\varepsilon_w + 1)}{3} \gamma_w^2 \quad (2-14)$$

Donde  $\alpha = 4$  y  $\beta'_w$  se define de la siguiente manera.

$$\beta'_w = \beta_w - \frac{1}{\gamma_w} \left( k_w + \frac{\omega_w}{2} \right) \quad (2-15)$$

En la ecuación ( 2-16 )  $\xi_w$  se define al resolver la ecuación, que deriva de combinar la ecuación de interacción de Drucker entre el momento flector y la fuerza de corte según el criterio de Tresca.

$$\varepsilon_w^4 + \beta_w^* \varepsilon_w - 1 = 0 \quad (2-16)$$

La rigidez inicial de la conexión es adimensional como función de  $\beta'_w$  para una conexión de ángulo simple. Así como el momento último de la conexión se muestra en la Figura 2-25, donde  $B_w$  es tomado como la abscisa y  $y_w$  es variado de 5 a 20 en un incremento de 5 para  $k_w = 1.5$  y 2.0

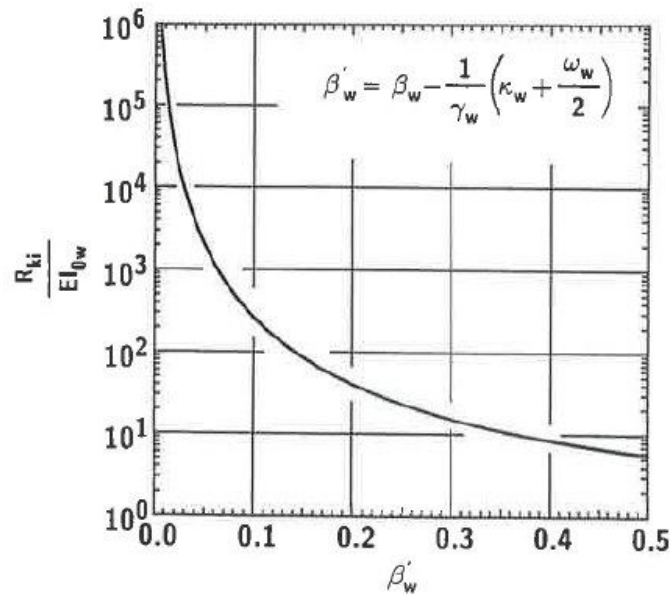


Figura 2-24: Rigidez inicial de la conexión para ángulo simple en el alma (single web-angle).

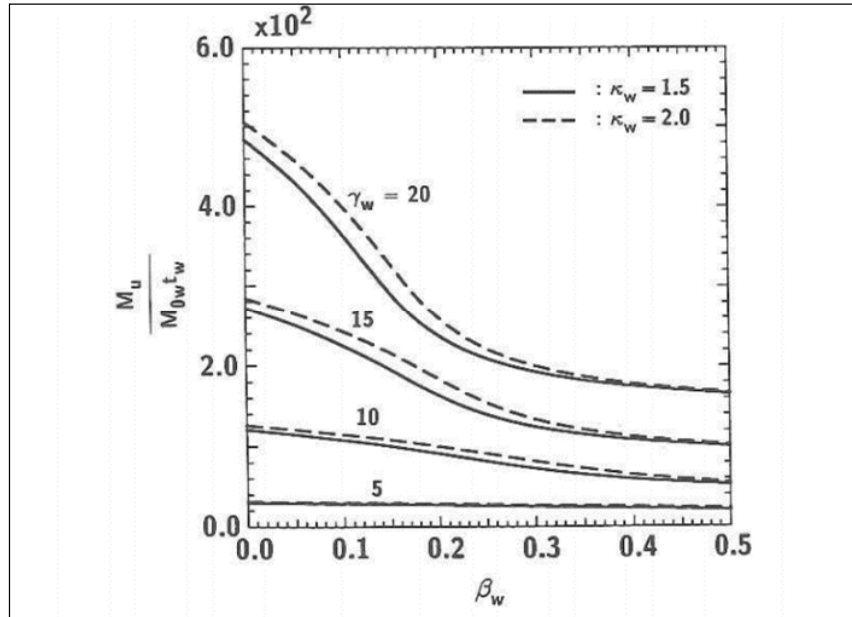


Figura 2-25: Capacidad última de momento para ángulo simple en el alma (single web-angle).

### B. Capacidad de momento último - Muw

La capacidad de momento último de una conexión de ángulo al alma de una viga es derivada de la hipótesis de que se desarrolla un mecanismo elástico plástico en los ángulos ensamblados. La capacidad de conexión a momento se basa en la teoría elástico-plástica que considera la interacción de momento flector y fuerza cortante. La relación entre el momento flector y la fuerza cortante puede ser obtenida basado en el criterio de fluencia de Tresca. El resultado luego de la simplificación de la ecuación de cuarto grado se describe en la siguiente fórmula.

Donde:

$$\beta_w^* = \beta_w' \gamma_w + \frac{\omega_w}{2} \quad (2-17)$$

Sustituyendo la ecuación ( 2-17 ) en la ecuación ( 2-16 ), resulta:

$$\beta_w^* = \beta_w \gamma_w - k_w \quad (2-18)$$

Si la hipótesis se basa en que la fuerza cortante es distribuida linealmente en la altura del ángulo, la capacidad de momento último puede derivarse de la siguiente manera de acuerdo a lo propuesto por Kishi en 1993.

$$\frac{M_{uw}}{M_{ow} t_w} = \frac{(\epsilon_w + 1)}{3} \times \gamma_w^2 \quad (2-19)$$

El valor de  $\varepsilon_w$  se resuelve con la ecuación ( 2-16 ) para un valor conocido de  $\beta_w^*$ .

Basado en los procedimientos indicados, las curvas mostradas en la Figura 2-26 se muestra la relación entre el momento último y el valor  $\beta_w$ , en donde se muestra los valores para  $k_w = 1.50$  y  $2.00$  y  $\gamma_w$  desde  $3.0$  hasta  $21.0$ .

Se observa que la capacidad de momento último no es sensible a  $\gamma_w$  mayor a  $9.0$  y  $\gamma_w$  menor a  $0.4$ . Estas curvas pueden ser utilizadas para determinar la capacidad de momento último una vez que se determina el parámetro  $\gamma_w$ .

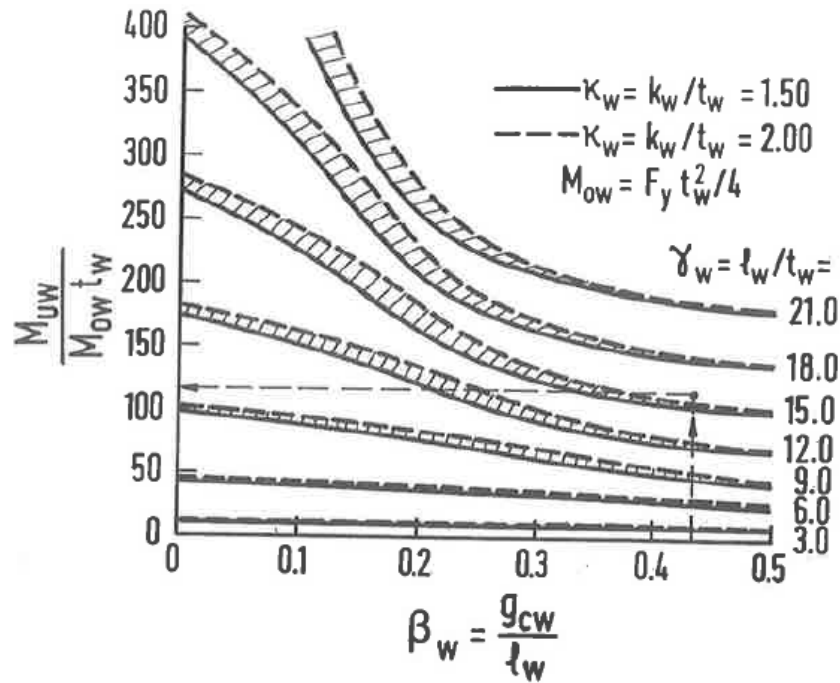


Figura 2-26: Curvas características para calcular la capacidad de momento último de una conexión de ángulo simple.

### C. Parámetro de forma n

Para conexiones SWA y DWA el parámetro de forma se define con las ecuaciones ( 2-20 ) y ( 2-21 ) respectivamente. (Singh & Lui, 2014)

$$n = 0.520 \log 10 \theta_o + 2.291 \geq 0.695 \quad (2-20)$$

$$n = 1.322 \log 10 \theta_o + 3.952 \geq 0.573 \quad (2-21)$$

#### 2.5.4. Conexiones con ángulo superior e inferior sin ángulo en el alma.

Una conexión tipo ángulo superior e inferior la cual se muestra en la Figura 2-27. La especificación AISC ASD describe este tipo de conexiones de la siguiente manera: 1. El ángulo inferior transfiere solo reacciones verticales y no proporciona restricción a momento a la viga y; 2. El ángulo superior proporciona estabilidad lateral a la viga, no soporta cargas de gravedad. No se supone que carguen ninguna carga de gravedad. Las cargas de diseño para estas conexiones se encuentran en el manual LRFD.

Para conexiones no rigidizadas, se deben revisar dos estados límite para el cálculo de la resistencia de la conexión: (1) flexión del ángulo inferior (2) fluencia del alma de la viga.

Para vigas con alma esbelta, se requiere una verificación adicional para falla del alma de la viga (LRFD Especificación Eq K1-5)

Las conexiones de ángulo superior inferior son comúnmente utilizadas para aportarar una viga dentro del eje débil de la columna. Puede rotar lo suficiente con carga última sin transmitir un momento considerable a la columna. Sin embargo, las pruebas experimentales realizadas por Hechtman y Johnson (1947) han mostrado que este tipo de conexiones pueden resistir algo de momento flector. Por tanto, este tipo de conexión puede ser utilizada como semi-rígida.

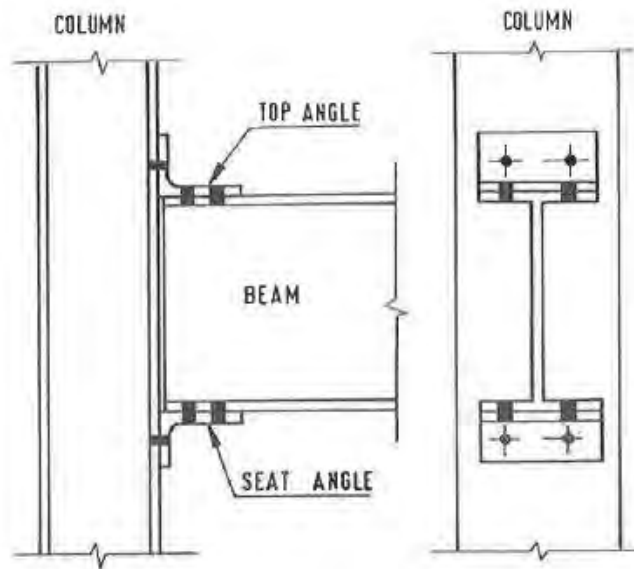


Figura 2-27: Conexión con ángulo superior e inferior

La rigidez inicial se calcula tomando como base las pruebas experimentales realizadas por Hechtman y Johnson (1947), Altman (1982) y Azizinamini, Bradburn y Radziminski (1985), la

rigidez inicial elástica  $R_{kits}$  de este tipo de conexiones puede asumir un comportamiento de la siguiente manera:

- El centro de rotación de la conexión está al extremo de la pata del ángulo anclada al ala en compresión de la viga y localizada al extremo de la viga.
- EL ángulo superior actúa como viga en voladizo en donde un soporte rígido es asumido como que el agujero más cerca al ala de la viga y en la pata del ángulo anclado a la cara de la columna.
- La rigidez a flexión de la pata del ángulo al centro de rotación es tan pequeña que puede ser despreciado.

Considerando estas hipótesis, se puede normalizar la rigidez inicial de la conexión de la siguiente manera:

$$D_{ts} = \frac{R_{kits}}{EI_{0t}} \cdot \frac{1}{(1 + \delta_t^2)} = \frac{3}{\beta'_t [\gamma_t^2 (\beta'_t)^2 + 0.78]} \quad (2-22)$$

$$\beta'_t = \beta_t - \frac{1}{\gamma_t} (1 + \omega_t) \quad (2-23)$$

Donde

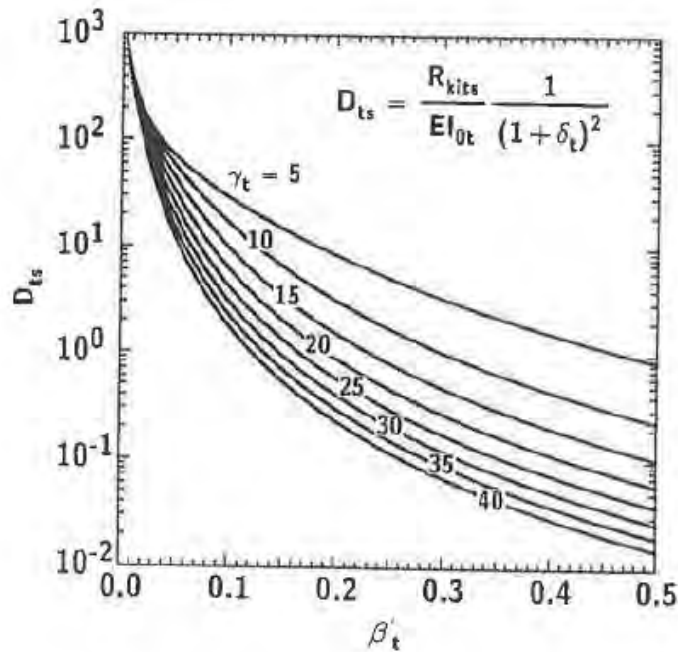


Figura 2-28: Coeficiente  $D_{ts}$  para  $R_{kits}$  de una conexión con ángulo superior e inferior sin conexión doble en el alma.

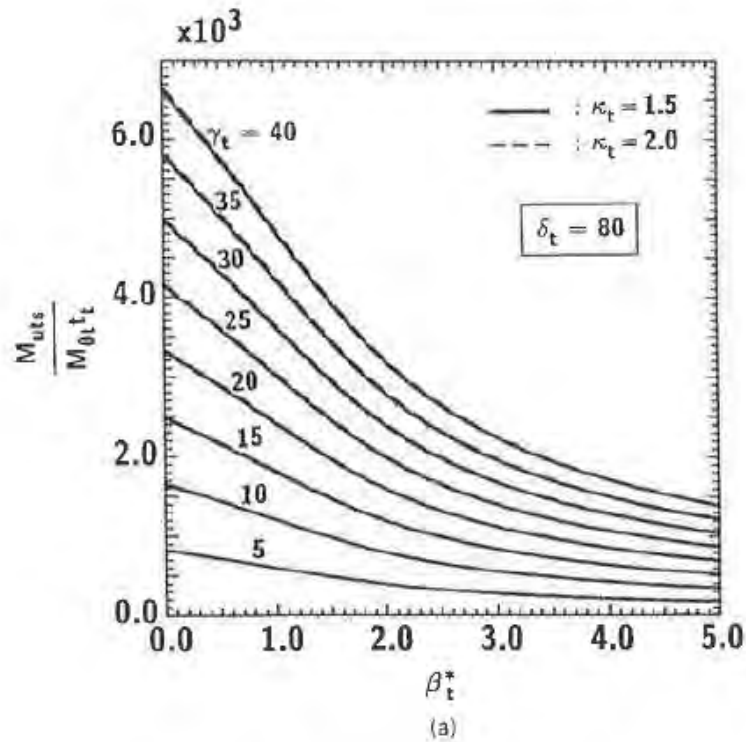
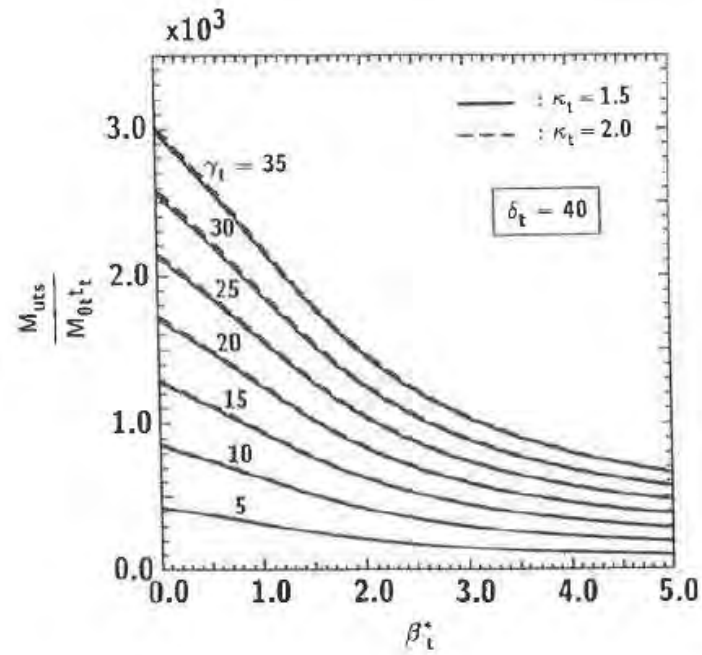


Figura 2-29: Capacidad de Mu en conexiones con ángulo superior e inferior sin ángulo doble en el alma (a) modificando  $\gamma_t$  para  $\delta_t = 40$  a 80. (b) modificando  $\gamma_t$  para  $\delta_t = 5$  a 40.

### A. Rigidez Inicial $R_{kts}$

Asumiendo que el centro de la rotación está localizado en la cara del ángulo adyacente a la compresión del ala de la viga y el ángulo superior actúa como viga en voladizo para resistir el momento, la rigidez inicial de la conexión se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{R_{kts}}{EI\theta_t} = (1 + \delta_t)^2 \cdot D_{ts} \quad (2-24)$$

### B. Capacidad de momento último $M_{uts}$

La capacidad de momento último  $M_{uts}$  se obtiene al asumir un mecanismo simple de falla.

$$\frac{M_{uts}}{M_{ot}t_t} = \gamma_t \{1 + \varepsilon [1 + \beta_t^* + 2(k_t + \delta_t)]\} \quad (2-25)$$

Donde  $\zeta_t$  es la fuerza de corte última adimensional actuando en la rótula plástica. Aquí, así como en el caso de ángulo simple y doble en el alma, se obtiene de la siguiente forma:

$$\varepsilon_t^4 + \beta_t^* \varepsilon_t - 1 = 0 \quad (2-26)$$

Dónde:  $\beta_t^*$  se define como:

$$\beta_t^* t = \beta_t \times y_t - k_t \quad (2-27)$$

### C. Parámetro de forma $n$

Para conexiones TSFA el parámetro de forma se define con la ecuación ( 2-34 ) . (Singh & Lui, 2014)

$$n = 2.003 \log 10 \theta_o + 6.070 \geq 0.302 \quad (2-28)$$

#### 2.5.5. Conexiones con ángulo superior e inferior con ángulo en el alma.

Los ángulos sujetos al alma de la viga son utilizados para incrementar la rigidez de la conexión, en el diseño convencional los ángulos superior e inferior se utilizan para restringir los momentos flectores y donde los ángulos sujetos al alma de la viga son diseñados únicamente para resistir fuerzas cortantes sobre la viga.

El desempeño rotacional de la conexión depende principalmente del desprendimiento del ángulo superior, además un elemento importante es el ángulo en el alma que aporta cierta rigidez para la rotación.

Los ángulos superiores están sujetos a fuerzas de tracción, que resisten fuerzas de cortante y momento sobre la viga sobre todo en la pata del ángulo anclada a la columna.

En este tipo de conexión, la rigidez inicial de la conexión  $R_{ki}$  y la capacidad de momento último  $M_u$ , pueden ser evaluadas separando la parte de ángulo superior e inferior y la parte de ángulo simple o doble en el alma.

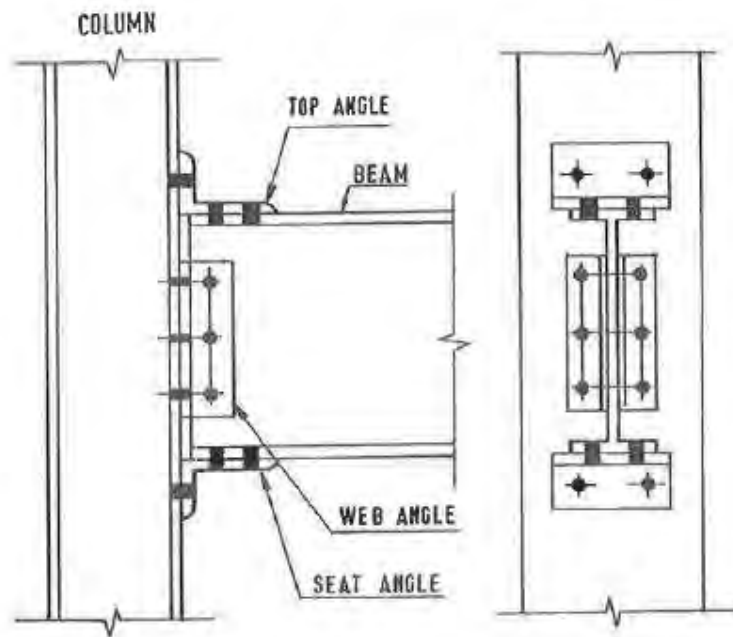


Figura 2-30: Conexión con ángulo superior e inferior con ángulo doble en el alma

#### A. Rigidez Inicial - $R_{ki}$

Basado en las pruebas experimentales de Altman (1982) y Azizinamini (1985), la rigidez inicial para este tipo de conexión puede ser modelada tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- La viga y las patas del ángulo ancladas a la viga actúan como elementos rígidos
- El centro de rotación de la conexión se ubica en la cara de la pata del ángulo anclado al ala en compresión de la viga, y al final de la viga.
- El ángulo superior actúa como una viga en voladizo de manera similar a la conexión con ángulo superior e inferior.
- El alma de la viga como una viga en voladizo de manera similar al ángulo superior
- El momento resistente del ángulo en el centro de rotación es despreciable.

Basado en las siguientes consideraciones, el cálculo de rigidez inicial se puede escribir de la siguiente manera:

$$\frac{R_{ki}}{EI_{0t}} = \frac{R_{kits}}{EI_{0t}} + \frac{R_{kiw}}{EI_{0t}} \quad (2-29)$$

El primer término en el lado derecho de la ( 2-29 ) es la rigidez inicial de la conexión normalizada para conexión de ángulo superior e inferior en donde Rkits puede ser obtenida mediante la ecuación ( 2-12 ).

El segundo término de la ecuación es la rigidez inicial de la conexión con ángulo doble en el alma y el valor Rkiw de la ecuación ( 2-13 ).

$$D_w = \frac{3}{2\beta'_w[\gamma_w^2(\beta'_w)^2 + 0.78]} \quad (2-30)$$

Se debe notar que  $\beta'_w$  en la ecuación ( 2-15 ) debe calcularse de la misma manera que se calcula  $\beta'_t$  en la ecuación ( 2-23 ).

$$\frac{R_{kiw}}{EI_{0t}} = (D_{ts} + \rho D_w) \cdot (1 + \delta_t)^2 \quad (2-31)$$

El procedimiento para determinar la rigidez inicial se presenta a continuación (Liew, 1983)

- Para los valores conocidos de  $g_{ct}$ ,  $l_t$ ,  $t_t$  y  $W_t$  para las conexiones con ángulo superior e inferior, determinar los valores adimensionales  $\beta_t$ ,  $\gamma_t$  y  $\omega_t$ .
- De manera similar con los valores conocidos de  $g_{cw}$ ,  $l_w$ ,  $t_w$ ,  $k_w$  y  $W_w$  para conexiones con ángulo doble en el alma, se calcula  $\beta_w$ ,  $\gamma_w$ ,  $k_w$  y  $\omega_w$ .
- Calcular  $\beta'_t$  y  $\beta'_w$  de las ecuaciones
- Determinar los valores de  $D_{ts}$  y  $D_w$  de las ecuaciones
- Finalmente, determinar  $R_{ki}$  de la ecuación
- Además, se pueden utilizar las curvas características mostradas en las Figura 2-31 y Figura 2-32 para poder determinar la rigidez inicial de la conexión una vez detallada la geometría de la conexión.

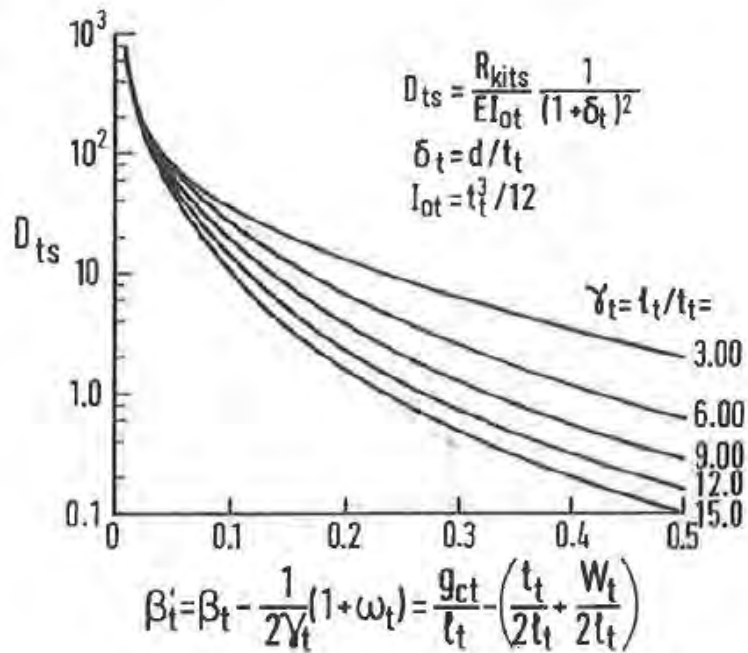


Figura 2-31: Curva característica  $\beta'_t$  para calcular la rigidez inicial en la conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma. (9.12 Chen)

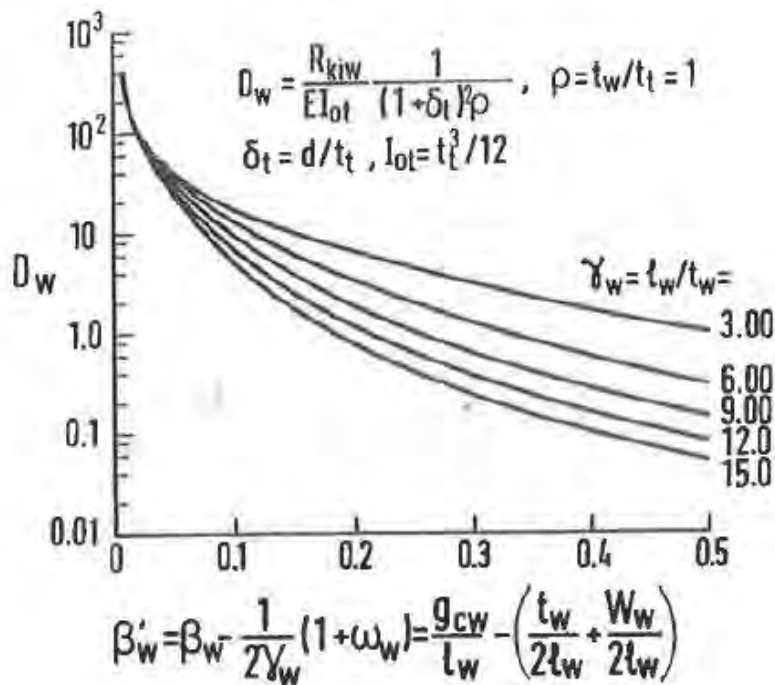


Figura 2-32: Curva característica  $\beta'_w$  para calcular la rigidez inicial en la conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma..

## B. Capacidad de Momento último - Mu

El mecanismo de colapso de una conexión con ángulo superior e inferior y ángulo doble en el alma de la viga se asume que es una combinación de los mecanismos de colapso de la conexión con ángulo superior e inferior y el mecanismo de colapso de la conexión con ángulo doble en el alma. Esta suma de esfuerzos se presenta en la siguiente ecuación:

$$\frac{M_u}{M_{ot}t_t} = \frac{M_{uts}}{M_{ot}t_t} + \frac{M_{uw}}{M_{ot}t_t} \quad (2-32)$$

El primer término en el lado derecho de la ecuación representa la contribución de la capacidad de momento último de los ángulos superior e inferior y puede ser determinado mediante la ecuación de momento último para conexión con ángulo superior e inferior

El segundo término a la mano derecha de la ecuación corresponde a la contribución del ángulo doble sujeto al alma de la viga, y ambos términos se suman y resultan en el momento final de la conexión.

$$\frac{M_{uw}}{M_{ot}t_t} = \gamma_w * (1 + \varepsilon_w) * \left[ \frac{\varepsilon_w - 1}{3 * (\varepsilon_w + 1)} * \gamma_w + \delta_w + \frac{1}{\rho} \right] * \rho^3 \quad (2-33)$$

Donde  $\varepsilon_w$  es obtenido al resolver la ecuación.

Asimismo, la capacidad de momento último que aporta los ángulos superior e inferior, así como los ángulos sujetos al alma de la viga pueden ser determinados mediante Figura 2-33, Figura 2-34, Figura 2-35, Figura 2-36.

- Para valores de  $\beta_w$ ,  $\gamma_w$  y  $k_w$ , determinar  $\beta_w^*$  de la ecuación
- Evaluar  $\varepsilon_w$  de la ecuación
- Resolver  $M_{uw} / M_{ot}t_t$  para los valores conocidos de  $\rho$  y  $\delta_w$ .
- Similarmente para los valores conocidos de  $\beta_t$ ,  $\gamma_t$  y  $w_t$ , determinar  $\beta_t^*$
- Resolver  $\beta_t^*$ .
- Resolver para  $M_{uts} / M_{ott}$  para los valores conocidos de  $k_t$  y  $\delta_t$
- Finalmente Evaluar  $EI_{ot}$  y resolver  $M_u$  de la ecuación.

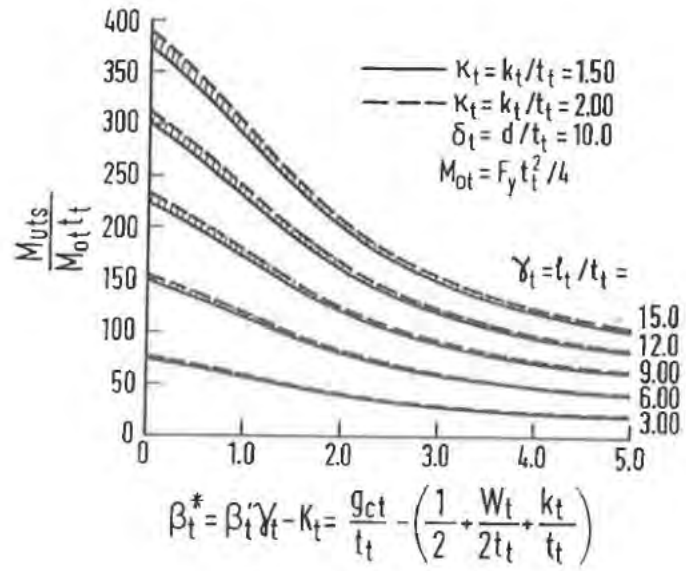


Figura 2-33: Curva característica con  $\beta^*t$  para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma  $\delta t = 10.0$  (Fig 9.14, Chen).

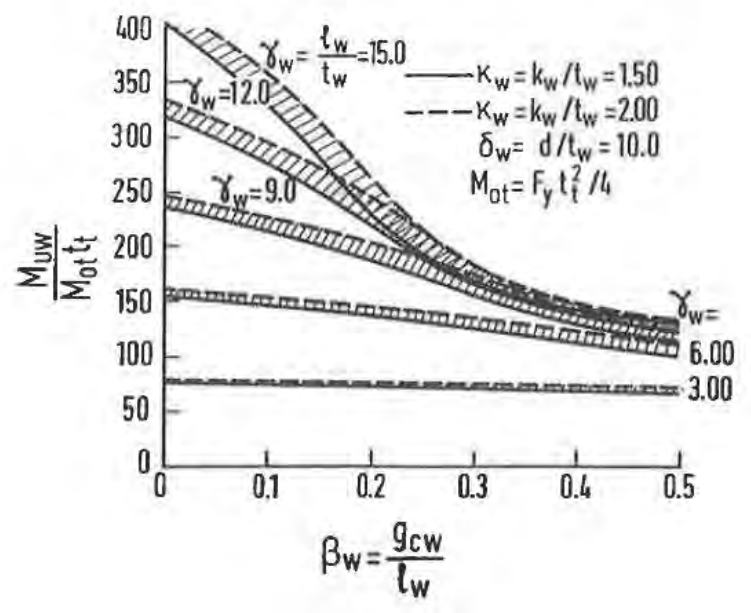


Figura 2-34: Curva característica con  $\beta_w$  para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma  $\delta t = 10.0$  (Fig 9.15, Chen).

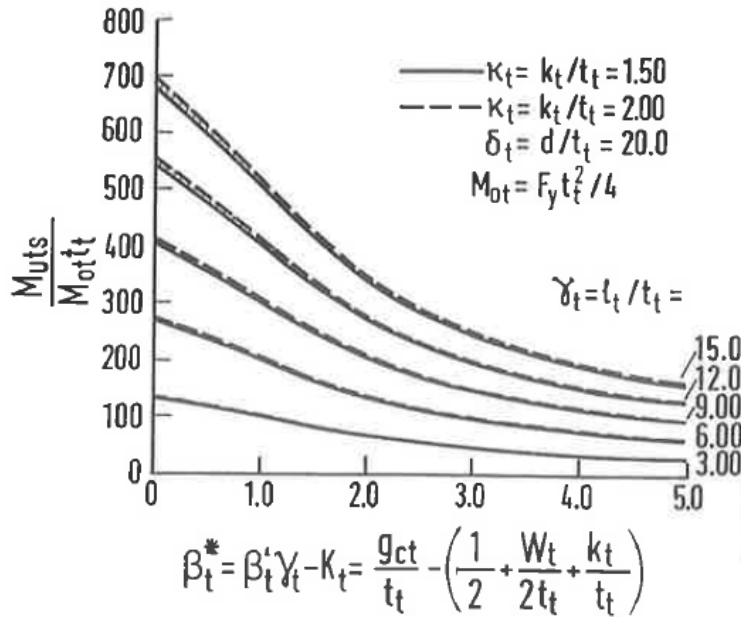


Figura 2-35: Curva característica con  $\beta^*t$  para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma  $\delta_t = 20.0$  (Fig 9.16, Chen).

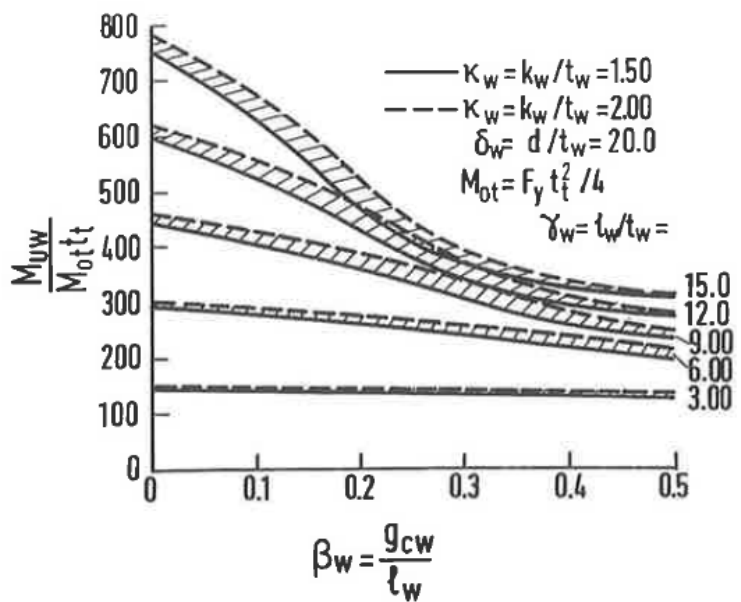


Figura 2-36: Curva característica con  $\beta_w$  para calcular la capacidad de momento último de ángulos superior e inferior con doble ángulo en el alma  $\delta_t = 20.0$  (Fig 9.17, Chen).

### C. Parámetro de forma

Para conexiones TSFA-DWA el parámetro de forma se define con la ecuación ( 2-34 ) . (Singh & Lui, 2014)

$$n = 1.398 \log 10 \theta_o + 4.631 \geq 0.827 \quad (2-34)$$

## **2.6. Análisis estructural elástico de segundo orden**

### **2.6.1. Método de Análisis Directo (Direct Analysis Method - DAM)**

El diseño en acero requiere de un estudio adecuado de estabilidad debido a imperfecciones geométricas o imperfecciones del material que se producen al momento de la fabricación o al momento del montaje (soldadura, erección, montaje y verticalidad).

En la actualidad, el AISC propone el Método de Análisis Directo para la verificación de Estabilidad de estructuras, conocido como DAM (Direct Analysis Method) ya que puede ser empleado en todo tipo de estructuras.

El Método de Análisis Directo se introdujo por primera vez en el Anexo 7 de AISC-360-05 como un método alternativo para el análisis por estabilidad, y fue desarrollado por el comité del AISC con la meta de determinar de manera más precisa los efectos de las cargas en la estructura en la etapa de análisis y eliminar la necesidad de calcular la longitud efectiva de pandeo (factor K) para columnas. En la Norma E090 Estructuras de Acero se propone este método, pero debido a la complejidad de este, es que se va a tomar en cuenta lo indicado por el AISC 360-16.

Posteriormente en el AISC-360-10, el Método de Análisis Directo es incorporado en su Capítulo C (Análisis y diseño para estabilidad) pasando a ser el principal método para el análisis por estabilidad de estructuras de acero.

Aunque la formulación precisa del Método de Análisis Directo es exclusiva de las Especificaciones AISC, algunas de sus características tienen similitudes con otras especificaciones de diseño importantes alrededor del mundo incluyendo los Eurocodes, Australian Standard, Canadian Standard y ACI 318.

En comparación con métodos convencionales, como el Método de la Longitud Efectiva, el Método de Análisis Directo, cuenta con factores que afectan la estabilidad del sistema estructural de una manera más transparente.

El AISC presenta los requerimientos para la estabilidad de estructuras. Métodos alternativos se presentan en el apéndice 1 y 7 de este código. El apéndice 1 proporciona alternativas que permiten considerar las imperfecciones del elemento y/o inelasticidad directamente dentro del análisis y puede ser particularmente útil para estructuras más complejas. El apéndice 7 proporciona el método de longitud efectiva y el método elástico de primer orden.

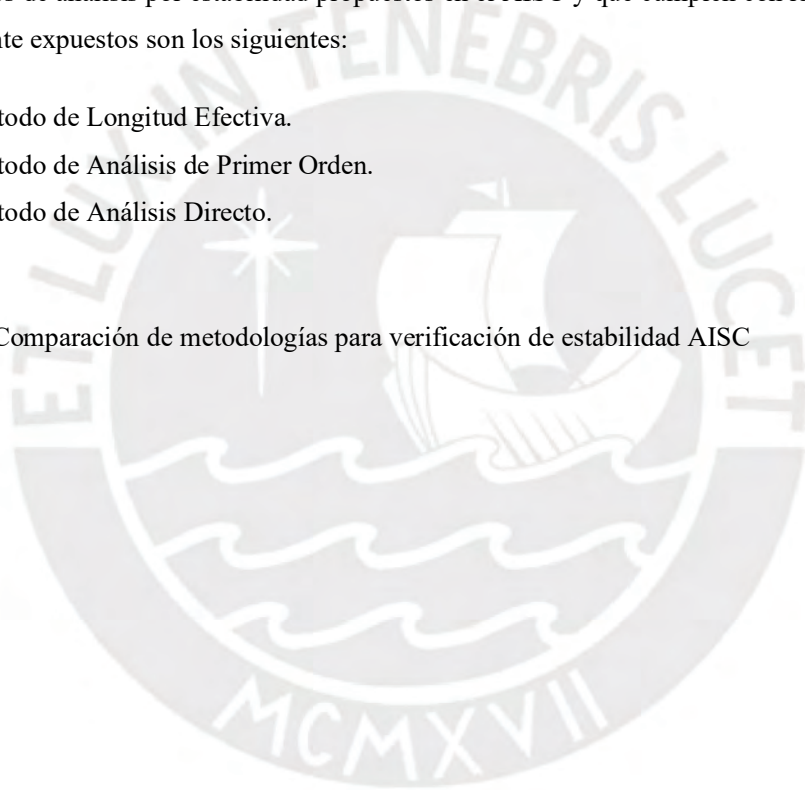
Según se establece en el capítulo “C” del AISC 360-16, a fin de suministrar estabilidad tanto para la estructura como para todos y cada uno de sus elementos se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Deformaciones por flexión, corte y esfuerzo axial y cualquier otra deformación que pueda contribuir al desplazamiento de la estructura.
2. Efectos de segundo Orden (efectos P- $\Delta$  y P- $\delta$ )
3. Imperfecciones Geométricas iniciales
4. Reducciones de Rigidez debido a comportamiento Inelástico.  
Deformaciones en elementos y conexiones.

Los Métodos de análisis por estabilidad propuestos en el AISC y que cumplen con los requisitos anteriormente expuestos son los siguientes:

1. Método de Longitud Efectiva.
2. Método de Análisis de Primer Orden.
3. Método de Análisis Directo.

Tabla 2-8: Comparación de metodologías para verificación de estabilidad AISC



	<b>Método de Análisis Directo</b>	<b>Método de Longitud Efectiva</b>	<b>Método de Análisis de Primer Orden</b>
<b>AISC 2005</b>	Anexo 7	Sección C.2.2a	Sección C2.2b
<b>AISC 2010</b>	Capítulo C	Método Alternativo Anexo 7	Método Alternativo Anexo 7
<b>AISC 2016</b>	Capítulo C	Método Alternativo Anexo 7	Método Alternativo Anexo 7
<b>Limitaciones para su aplicabilidad</b>	No	$\Delta 2do / \Delta 1er \leq 1.5$ (Para todos los niveles)  $\alpha Pr / Py = \text{Cualquiera}$ (Para todas las columnas)	$\Delta 2do / \Delta 1er \leq 1.5$ (Para todos los niveles)  $\alpha Pr / Py = 0.5$ (Para todas las columnas)
<b>Tipo de Análisis</b>	Segundo Orden	Segundo Orden	Primer Orden
<b>Rigidez de los elementos</b>	Reducida EI & EA	Nominal EI & EA	Nominal EI & EA
<b>Incorporación de Cargas Laterales ficticias</b>	Si	Si	Carga Lateral Adicional
<b>Factor de Longitud Efectiva en Columnas</b>	$K = 1$	Se obtiene mediante análisis de pandeo lateral	$K = 1$

El análisis estructural por sí mismo no es suficiente para proporcionar estabilidad a la estructura como un todo. La estabilidad global de la estructura, así como la estabilidad local de sus elementos individuales es suministrada por la combinación del cálculo de la resistencia requerida mediante el análisis estructural y el cumplimiento de las disposiciones de diseño de elementos y conexiones.

Para desarrollar un adecuado análisis por estabilidad es esencial realizar un análisis de segundo orden de la estructura. El análisis debiera considerar la influencia de los efectos de segundo orden P- $\Delta$  y P- $\delta$ , y las deformaciones de flexión, corte y esfuerzo axial. El Método de Análisis Directo permite mejorar y simplificar el diseño por estabilidad. En ese caso al incluir las imperfecciones geométricas y los efectos de reducción de la rigidez de los elementos directamente en el análisis, se permite el uso de  $K = 1$  para el cálculo de la resistencia de la columna en el plano.  $P_n$ , dentro de las ecuaciones de interacción Viga-Columna. Esta simplificación se puede aplicar porque el Método de Análisis Directo estima de forma más transparente los efectos de carga verdadera en la estructura. Por el contrario, el Método de Longitud Efectiva, incluye los efectos anteriores indirectamente en las ecuaciones de resistencia del elemento.

El método de análisis directo es el método recomendado por el AISC para usar en el análisis de estabilidad y el diseño de estructuras aperticadas, tiene las siguientes características.

El Método de Análisis Directo permite mejorar y simplificar el diseño por estabilidad. En ese caso al incluir las imperfecciones geométricas y los efectos de reducción de la rigidez de los elementos directamente en el análisis, se permite el uso de  $K = 1$  para el cálculo de la resistencia de la columna en el plano.  $P_n$ , dentro de las ecuaciones de interacción Viga-Columna. Esta simplificación se puede aplicar porque el Método de Análisis Directo estima de forma más transparente los efectos de carga verdadera en la estructura, a diferencia del Método de Longitud Efectiva que incluye los efectos anteriores indirectamente en las ecuaciones de resistencia del elemento.

Se requiere que en el análisis se considere las deformaciones por flexión, corte y esfuerzo axial, así como también toda deformación en componentes y conexiones que contribuyan al desplazamiento de la estructura. El método de Análisis Directo considera la influencia de los efectos de segundo orden  $P-\Delta$  y  $P-\delta$ . Los efectos  $P-\Delta$  se deben a las cargas actuando en la posición desplazada de uniones o nodos de la estructura. Los efectos  $P-\delta$  se deben a las cargas actuando en la posición deformada de un elemento entre uniones y nodos, tal como se observa en la **¡Error!**  
**No se encuentra el origen de la referencia..**

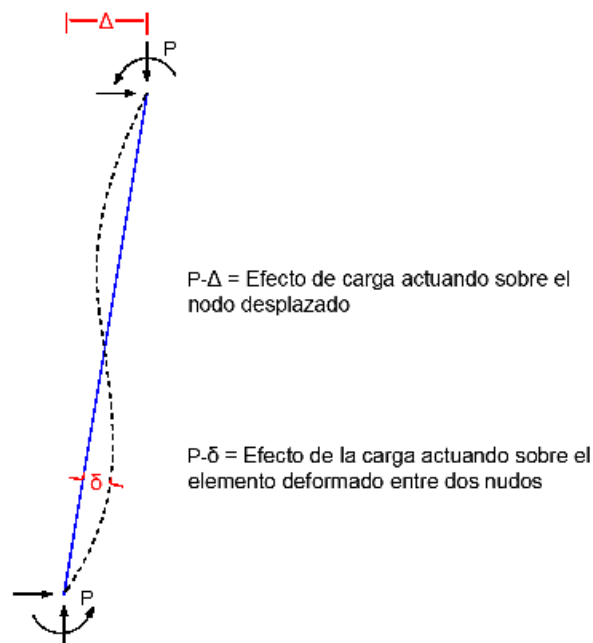


Figura 2-37: Efectos de segundo orden de una columna AISC 2016.

Las disposiciones modernas de diseño por estabilidad se basan en la premisa de que las fuerzas en los elementos son calculadas mediante un análisis elástico de segundo orden, donde se satisface el equilibrio en la geometría de la estructura deformada. Cuando los efectos de inestabilidad sean importantes se debe tener especial consideración con las imperfecciones geométricas iniciales en la estructura debido a tolerancias de fabricación y montaje. En el desarrollo y calibración del Método de Análisis Directo las imperfecciones geométricas iniciales son supuestas conservadoramente iguales a las tolerancias de fabricación y montaje permitidas por el Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges (AISC, 2010). Para columnas y pórticos, esto implica aceptar una excentricidad del elemento igual a  $L/1000$ , donde  $L$  es la longitud del elementos entre puntos de arriostramiento y un desaplomo del material igual a  $H/500$ , donde  $H$  es la altura del piso.

A fin de tomar en cuenta los efectos desestabilizadores de las imperfecciones iniciales y otras condiciones que pueden introducir desplazamientos transversales no modelados explícitamente en la estructura se requiere la aplicación de una carga ficticia  $N_i = 0.002 \cdot Y_i$ , donde  $Y_i$  es la carga gravitacional de la combinación de carga apropiada actuando en el nivel  $i$ , Nótese que el coeficiente de carga teórica 0.002 se basa en una razón de desaplomo inicial por todos los efectos de  $1/500$ . Donde se justifique otro valor el coeficiente puedes ser ajustado proporcionalmente.

El Método de Análisis Directo también está calibrado contra análisis elástico de plasticidad distribuida que toman en cuenta la propagación de plasticidad a través de la sección transversal del elemento y a lo largo de su longitud. La rigidez axial reducida  $EA^* = 0.8 \cdot EA$  y la rigidez a flexión reducida  $EI^* = 0.8 \cdot \tau_b \cdot EI$  se debe aplicar a todos los elementos que contribuyen con la estabilidad del pórtico, y para los elementos con rigidez a flexión se multiplicará por  $0.8 \cdot \tau_b$ .

El valor  $\tau_b$  se aplica de la siguiente manera:

$$\tau_b = 1 \text{ cuando } \alpha P_r / P_y \leq 0.5$$

$$\tau_b = 4(\alpha P_r / P_y) [1 - \alpha P_r / P_y] \text{ cuando } \alpha P_r / P_y \geq 0.5$$

$$\alpha = 1 \text{ (LRFD); } \alpha = 1.6 \text{ (ASD)}$$

Donde  $P_y$  es la carga axial de fluencia y  $P_r$  es la carga requerida

Para el análisis estructural de los pórticos se utilizó la herramienta computacional Sap2000 (CSI-2018)

### 2.6.2. Modelo computacional de Conexiones Semi-rígidas

En la actualidad se cuenta con el apoyo de programas computacionales capaces de representar el comportamiento no lineal de las conexiones de varias maneras tal como se presenta en la Figura 2-38. En este trabajo de tesis se modeló las conexiones con resortes no lineales con plasticidad concentrada.

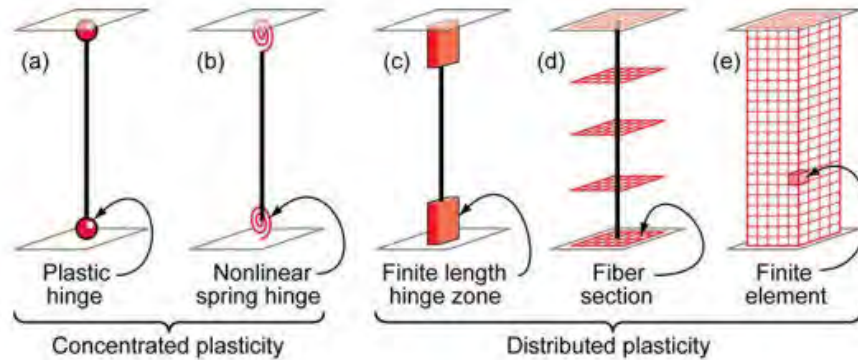


Figura 2-38: Modelo idealizado de elementos viga-columna. (Deierlein, Reinhorn, & Willford, 2010).

### 2.6.3. Comportamiento de Zona de Panel

Cuando se realiza el diseño de Pórticos resistentes a momento, tanto intermedios como especiales, es fundamental plantear la revisión de la zona de panel, que representa la parte interna de la junta viga-columna en las conexiones, a fin de determinar que se produzca una falla frágil por una inadecuada resistencia al corte en dicha zona, debido a la acción de fuerzas de sismo.

El propósito de la verificación de esta zona es propiciar que las fallas se produzcan en las vigas, desarrollando las rótulas plásticas por flexión en las mismas.

### 2.6.4. Ejemplo ilustrativo 2

Se considera un pórtico con conexiones Semi-rígidas para diseñar. El pórtico está sujeto a las siguientes cargas mostradas en la Figura 2-39. La deflexión de la viga bajo cargas vivas de servicio se limita a  $L/360$ , donde  $L$  es la longitud de la viga, y el desplazamiento lateral no deberá exceder  $H/200$ , donde  $H$  es la altura de cada nivel.

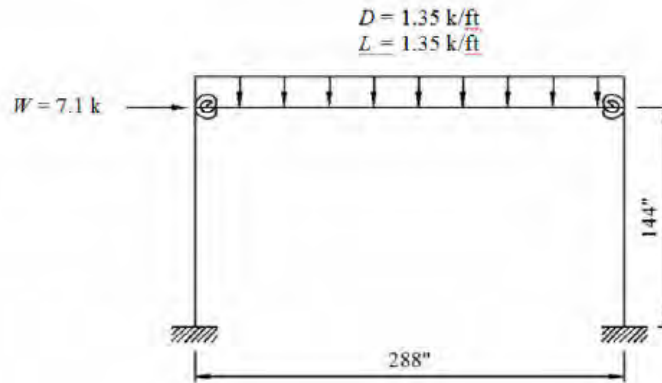


Figura 2-39: Pórtico plano de acero con conexiones Semi-rígidas..

**a. DATOS**

Se considera las siguientes combinaciones de carga que son las que probablemente controlen el diseño.

Tabla 2-9: Ejemplo 1. Cargas y combinación de cargas sobre viga W14x53

Combinación de cargas		DL	LL	E	wu	pu
		kip/in	kip/in	kip	kip/in	kip
1.2DL + 1.6LL	Comb-1	0.1125	0.1125		0.315	
1.2DL + 0.5LL 1.0W	Comb-2	0.1125	0.1125	7.1	0.191	7.1

La viga considerada para este ejemplo es un perfil W14x53. La capacidad a flexión de esta sección es 2462 kip.in.

Tabla 2-10: Ejemplo 1. Propiedades de viga W14x53

Fy	E	Peralte	Longitud	Inercia	Sx	Zx
ksi	ksi	in	in	in <sup>4</sup>	in <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>
50	29000	14	288	541	77.8	87.1

**b. SELECCIÓN DE LA CONEXIÓN**

A continuación, se presenta varias opciones para la elección de la conexión óptima para este pórtico.

Tabla 2-11: Ejemplo 1. Propiedades geométricas de Conexiones Semi-rígidas

Datos de la conexión	Diametro de perno d (in)	Ancho de tuerca W (in)	Angulo superior e inferior en alas				Angulo doble en alma			
			tt (in)	lt (in)	gct (in)	kt (in)	lw (in)	gcw (in)	kw (in)	tw (in)
SR-1	0.875	1.438	0.625	7.0	3.0	1.125	8.0	3.0	0.688	0.500
SR-2	0.875	1.438	0.750	7.0	3.0	1.250	8.0	3.0	0.688	0.500
SR-3	0.875	1.438	0.875	7.0	3.0	1.375	8.0	3.0	0.688	0.500

Tabla 2-12: Ejemplo 1. Propiedades mecánicas de Conexiones Semi-rígidas (kip.in)

Fy = 50 ksi	Mu kip.in	Rki kip.in/rad	n
SR-1	1,906.0	411,100.0	1.370
SR-2	2,435.0	691,100.0	1.200
SR-3	2,975.0	1,114,000.0	1.030

Con ayuda del programa en Matlab, se presentó el comportamiento de la curva en Kips.in y el cálculo del momento equivalente que desarrolla la conexión.



Resultados			
Mn =	3890	Mto último conexión (kips-in) =	2435
Mp =	4355	Rigidez Inicial Rki (kips-in) =	6.911e+05
		Rigidez de Conx Rks (kips-in) =	3.13e+05
		Facto de forma n =	1.202
		Mto Equivalente Me (kips-in) =	1615
		Giro (rad) =	0.00516
<input type="button" value="Ver parámetros"/> <input type="button" value="Output Conexion"/>		Codigo <input type="text"/>	
<input type="button" value="Procesar Data"/> <input type="button" value="Procesar"/> <input type="button" value="Output Viga"/>		Codigo <input type="text"/>	

Figura 2-40: Programa Matlab para la evaluación de Conexiones Semi-rígidas con carga uniforme sobre la viga (kips-in)

Tabla 2-13: Ejemplo 1. Momento equivalente (Me), Rigidez Equivalente (Req) y Relación de rigidez de conexión y viga (m) kip.in.

Fy = 50 ksi	DL + LL		
	Me	Rs	m
Conexión SR-2	1,615.00	313,000.00	5.75

De acuerdo a la distribución de momentos, el diseño de vigas de acero se optimiza cuando el momento negativo es igual al momento positivo. Por tanto, la conexión que más se acerca a cumplir con esta hipótesis es la conexión SR-2.

Seguidamente, con los datos iniciales de la conexión SR-2 se elabora la curva del comportamiento de la conexión.

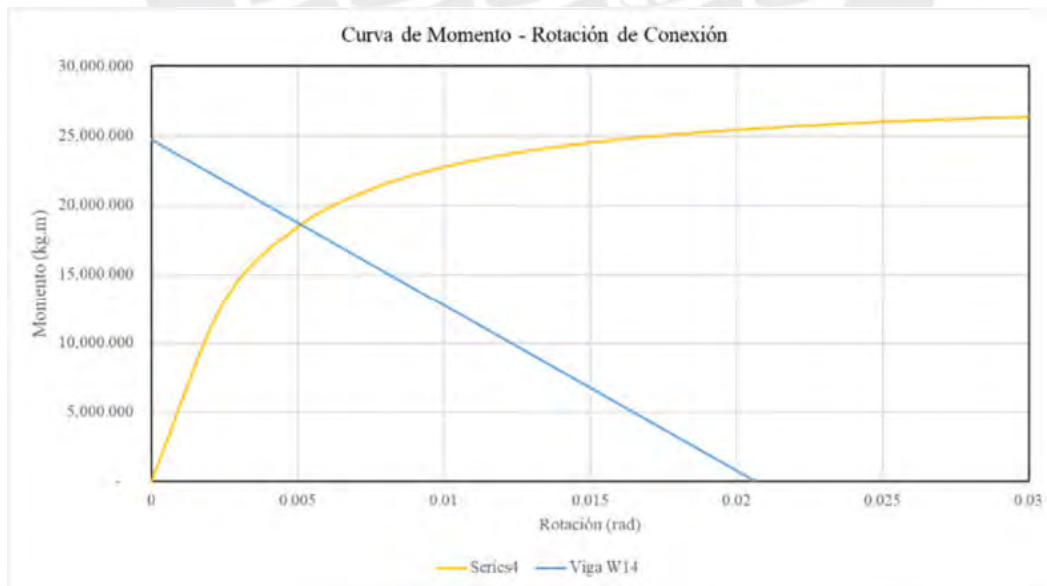


Figura 2-41: Curva no lineal de momento rotación de conexión SR-2.

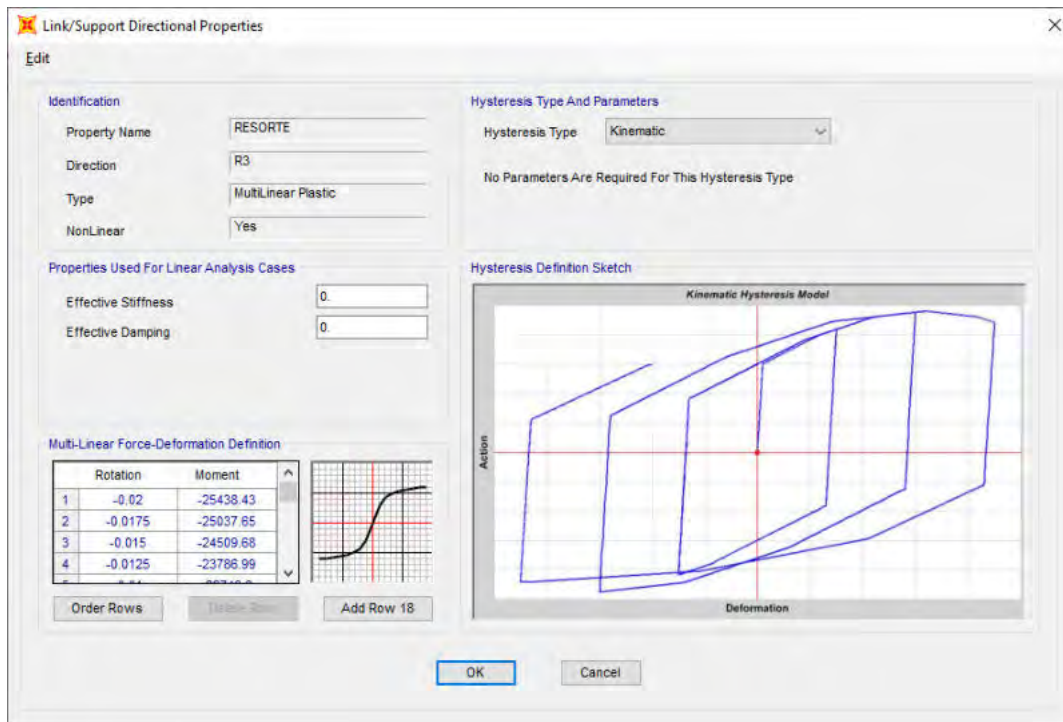


Figura 2-42: Curva no lineal de momento rotación de conexión SR-2 en programa Sap2000

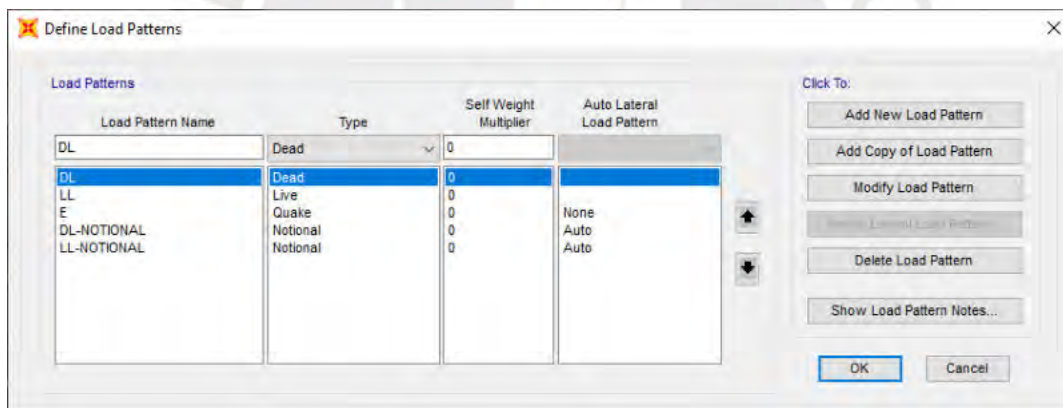


Figura 2-43: Definición de cargas teóricas para carga muerta DL y carga viva LL.

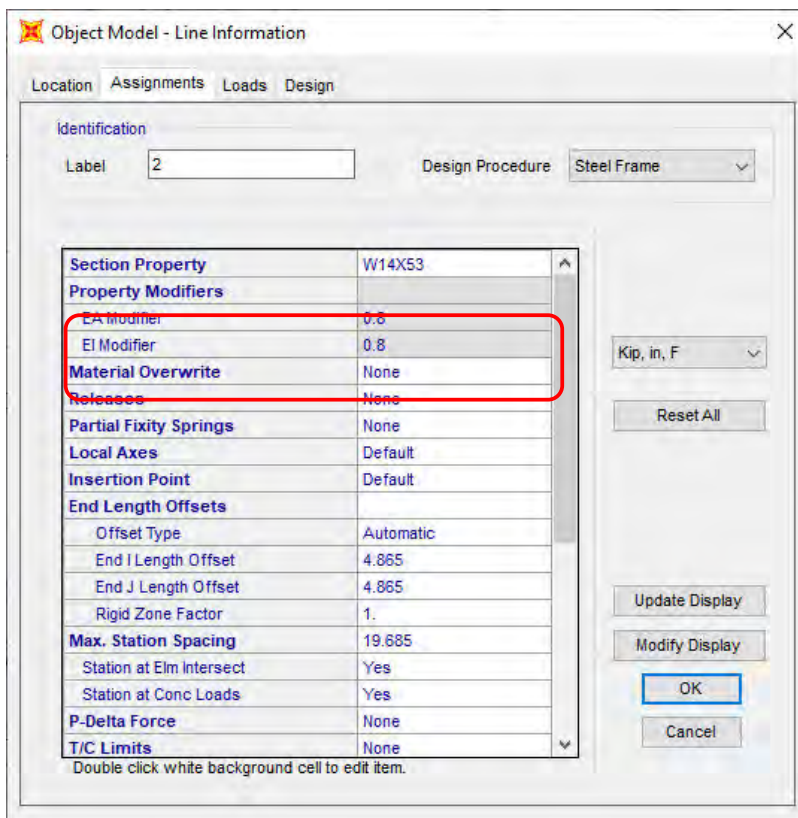


Figura 2-44: Reducción de rigidez de vigas – Método de Análisis Directo Sap2000.

Tabla 2-14: Ejemplo 1. Resultados de Momentos flectores.

CASO 1	Fuerza Axial			Momento flector			Ratio de Resistencia			
	Elemento	Singh	Elastico 2do Orden	Tesis	Singh	Elastico 2do Orden	Tesis	Singh	Elastico 2do Orden	Tesis
Col. Izquierda		45.3	45.3	45.3	1029	992	1066	0.75	0.73	0.70
Col. derecha		45.4	45.4	45.6	1040	1004	1077	0.76	0.73	0.70
Viga					2246	2280	2160	0.91	0.93	0.91

Tabla 2-15: Ejemplo 1. Resultados de Momentos flectores.

CASO 2	Fuerza Axial			Momento flector			Relación de Resistencia			
	Elemento	Singh	Elastico 2do Orden	Tesis	Singh	Elastico 2do Orden	Tesis	Singh	Elastico 2do Orden	Tesis
Col. Izquierda		26	26	27	404	392	446	0.33	0.3	0.29
Col. derecha		29	29	30	809	778	850	0.57	0.56	0.56
Viga					1382	1406	1348	0.56	0.57	0.55

### 3. EVALUACIÓN PARAMÉTRICA - CONEXIONES

El proceso de cálculo de las propiedades mecánicas mostrado en el numeral 2.5 requiere el uso de varias fórmulas y/o gráficos complejos en base a la geometría de la conexión y al tipo de material y el peralte de la viga. Se desarrolló un algoritmo que permite calcular estas propiedades de manera automática y los resultados se presentan en el numeral 5 y las tablas con el Momento último, rigidez inicial y parámetro de forma  $n$  se presentan en el Anexo A.

El proceso de evaluación de conexiones consistió en utilizar las ecuaciones presentadas en el capítulo 2.4 para estos cuatro tipos de conexiones:

- A. Conexión con ángulo simple en el alma (Simple web angle o SWA)
- B. Conexión con doble ángulo en el alma (Duble Web Angle o DWA)
- C. Conexión con Ángulo Superior e Inferior en el ala (Top and Seat Flange Angle – TSFA)
- D. Conexión con Ángulo Superior e Inferior más Doble Ángulo en el Alma (Top and Seat Flange Angle and Double Web Angle o TSFA-DWA)

#### 3.1. Metodología

- a. Los parámetros que se consideraron para esta evaluación de conexión se presentan en la Figura 2-19 y Figura 2-20 y son los siguientes.
  - ✓ Esfuerzo de fluencia de la conexión ( $F_y$ )
  - ✓ Longitud del ángulo de conexión ( $l$ )
  - ✓ Peralte de viga ( $d$ )
  - ✓ Espesor del ángulo de conexión ( $t$ )
  - ✓ Diámetro del perno ( $W$ )
  - ✓ Distancia de la cara del ángulo al eje del perno ( $g$ )
  - ✓ Distancia de la cara del ángulo a la tuerca ( $k$ )

En el archivo Excel “InputDataC.xlsx” se colocan todas las propiedades geométricas de la conexión y seguidamente con el programa MATLAB se obtienen sus propiedades mecánicas  $\mu$ ,  $R_k$  y  $n$ . Ver Figura 3-1.

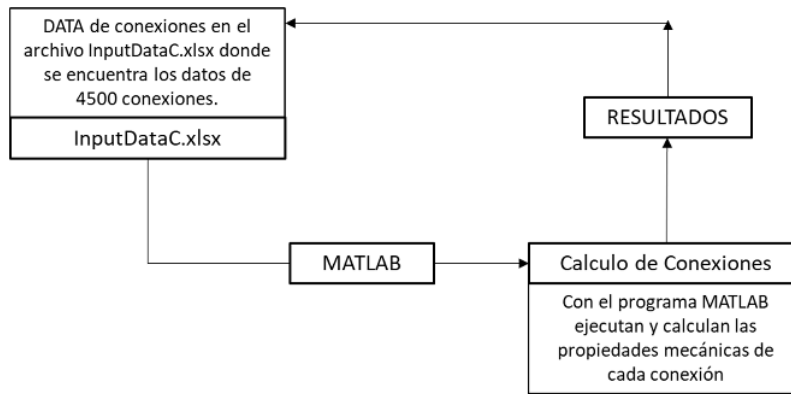


Figura 3-1: Diagrama de flujo Programa de cálculo de Conexiones

### 3.2. Criterios para los parámetros de diseño conexiones

#### 3.2.1. Esfuerzo de fluencia

Actualmente en el mercado se está produciendo ángulos de alta resistencia con  $F_y = 50$  ksi. Por tanto, para la evaluación se tomó en cuenta  $F_y = 36$  y  $F_y = 50$  ksi.

#### 3.2.2. Cargas

##### a) Carga Muerta.

La carga muerta se considera 0.005 kip/in (1000 N/m) de una losa colaborante.

##### b) Carga Viva

Se consideró dos casos de cargas gravitacionales permanentes sobre las vigas de acuerdo a lo indicado en la Norma E020 Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- Oficinas 0.0125 kip/in (2500 N/m)
- Almacenes 0.05 kip/in (5000 N/m)

##### c) Cargas laterales

La carga lateral depende de los parámetros sísmicos considerados y de la carga viva LL (para el cálculo de la carga lateral sísmica, se consideró el 25% de la carga gravitacional LL), la cual se aplicará directamente al nodo lateral de cada entrepiso.

#### 3.2.3. Longitud del ángulo de conexión

##### A. Conexiones en el alma de la viga

Se consideró que la longitud de la conexión debe ser menor que el valor T de la viga. Ver Figura 3-2

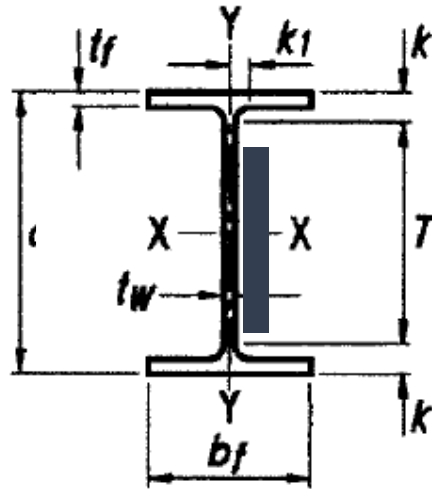


Figura 3-2: Dimensión T para un perfil W de acuerdo a las Tablas 1-1 del AISC

Tabla 3-1: Longitud de ángulo para conexión simple y doble

W (in)	Min valor de T (in)	Lmáx de ángulo de conexión (in)
18	15.5	15
16	13.625	13
14	11.625	11.000
12	10.375	9.000
10	8.375	8.0

#### B. Conexiones en el ala de la viga

Se consideró longitudes de ángulos de 6", 8" y 10" tal como se muestra en la Figura 3-3 (American Institute of Steel Construction., 2010).

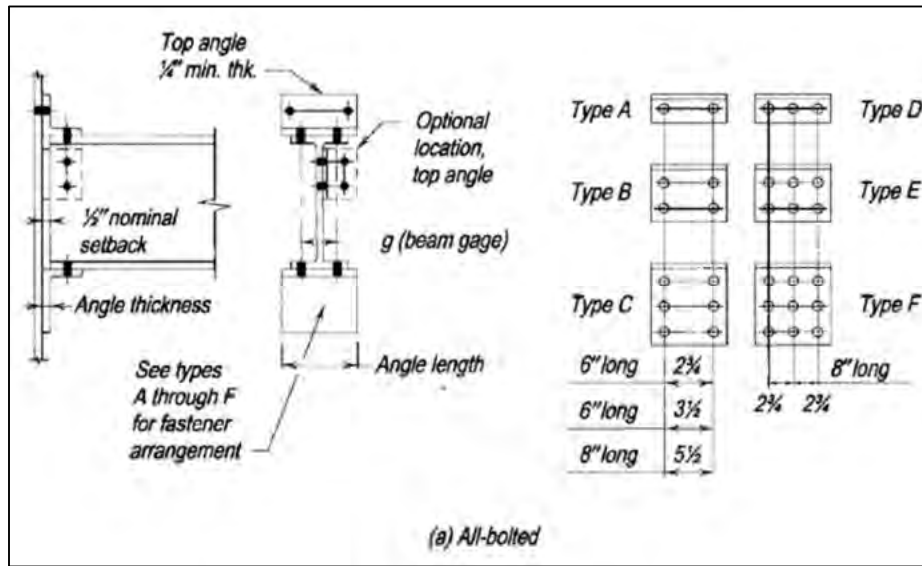


Figura 3-3: Figura AISC para conexiones con ángulos superior e inferior.

En la Figura 3-4 se define el peralte del ángulo de conexión 4" y el espesor mínimo de 1/4".

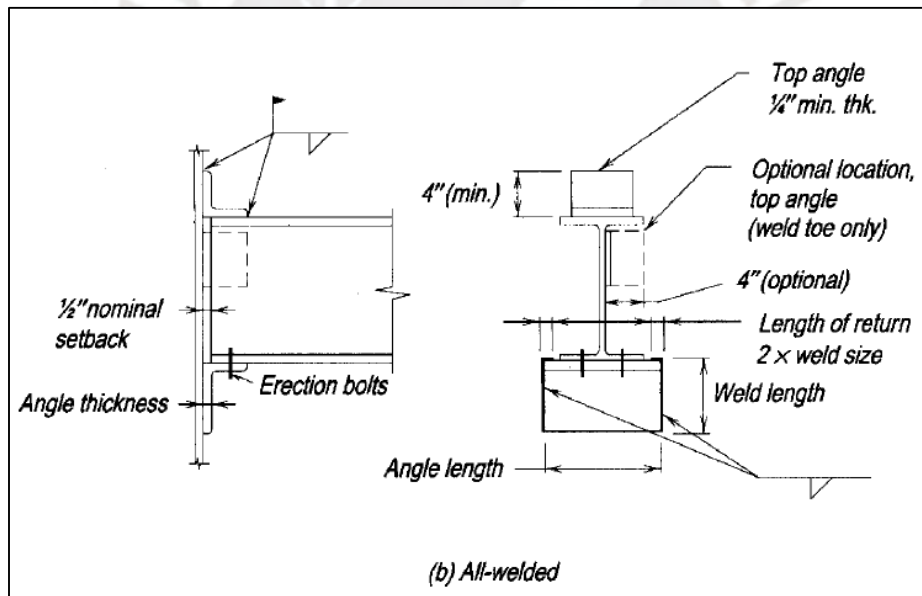


Figura 3-4: Gráfico AISC para conexiones con ángulos superior e inferior.

### 3.2.4. Peralte de las vigas

Se consideró peraltes de viga de 10, 12, 14, 16 y 18 in, y longitud de vigas igual a 6 m (240 in). Y de acuerdo con (Socrates & Ruddy, 2000), el peralte de la viga (in) es 0.5 a 0.6 la longitud de la viga (ft)

### 3.2.5. Espesores de ángulos

Los espesores de ángulos se toman de la Tabla 1-7 Propiedades de ángulos (Ver Figura 3-7), los espesores que se consideraron para este análisis son los siguientes: 1/4", 5/16", 3/8", 1/2". Así también los ángulos serán de 4"x4".

### 3.2.6. Dimensión W para pernos

El diámetro de la cabeza del perno se muestra en la Figura 3-5 (American Institute of Steel Construction., 2010). Para esta tesis se considera únicamente pernos de 3/4", que son los que se utilizan en el mercado nacional.

**Table 7-15  
Dimensions of High-Strength Fasteners, in.**

Measurement		Nominal Bolt Diameter, in.									
		1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	
A325 and A490 Bolts <sup>a</sup>	Width Across Flats, <i>F</i>	7/8	1 1/16	1 1/4	1 7/16	1 5/8	1 13/16	2	2 3/16	2 3/8	
	Height, <i>H</i>	5/16	25/64	15/32	35/64	39/64	11/16	25/32	27/32	15/16	
	Thread Length	1	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 3/4	2	2	2 1/4	2 1/4	
	Bolt Length = Grip + Washer Thickness + →	1 1/16	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 1/2	1 5/8	1 3/4	1 7/8	
A563 Nuts <sup>b</sup>	Width Across Flats, <i>W</i>	7/8	1 1/16	1 1/4	1 7/16	1 5/8	1 13/16	2	2 3/16	2 3/8	
	Height, <i>H</i>	31/64	39/64	47/64	55/64	63/64	17/64	17/32	111/32	115/32	

Figura 3-5: Dimensiones de pernos según AISC 2005.

### 3.2.7. Dimensión g

En la Figura 3-6 se presenta la Tabla 7-16 de (American Institute of Steel Construction., 2010) donde se presenta la distancia para pernos y se definió el valor de  $g = 2.5$  y  $3$  ya que es el más conservador. Ver Tabla 3-2

Tabla 3-2: Valor mínimo de g para conexiones

Espesor t (in)	H1 (in)	C1 (in)	t + H1 + C1 (in)	g (in)
1/4	1/2	1 1/4	1.969	2.500
1/3	1/2	1 1/4	2.031	2.500
3/8	1/2	1 1/4	2.094	2.500
1/2	1/2	1 1/4	2.219	2.500

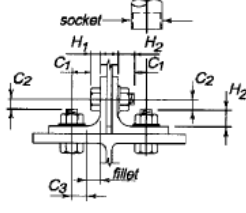
Table 7-16 Entering and Tightening Clearance, in. Conventional ASTM A325 and A490 Bolts								
Aligned Bolts								
	Nominal Bolt Dia.	Socket Dia.	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	
							Circular	Clipped
5/8	1 3/4	25/64	1 1/4	1	1 11/16	1 1/16	9/16	
3/4	2 1/4	15/32	1 3/8	1 1/4	3/4	3/4	1 1/16	
7/8	2 1/2	35/64	1 1/2	1 3/8	7/8	7/8	1 3/16	
1	2 5/8	39/64	1 5/8	1 7/16	15/16	1	7/8	
1 1/8	2 7/8	1 1/16	1 7/8	1 9/16	1 1/16	1 1/8	1	
1 1/4	3 1/8	25/32	2	1 11/16	1 1/8	1 1/4	1 1/8	
1 3/8	3 1/4	27/32	2 1/8	1 3/4	1 1/4	1 3/8	1 1/4	
1 1/2	3 1/2	15/16	2 1/4	1 7/8	1 5/16	1 1/2	1 5/16	

Figura 3-6: Longitudes libres para conexiones con pernos.

### 3.2.8. Dimensión k

Los espesores de ángulos se toman de la Figura 3-7, pero se consideraron los espesores más comerciales en Perú, 1/4", 3/8", 7/16" y 1/2".

**Table 1-7 (continued)**  
**Angles**  
**Properties**

Shape	k	Wt. lb/ft	Area, A in. <sup>2</sup>	Axis X-X						Flexural-Torsional Properties		
				I	S	r	$\bar{y}$	Z	$y_p$	J	$C_w$	$\bar{r}_o$
				in. <sup>4</sup>	in. <sup>3</sup>	in.	in.	in. <sup>3</sup>	in.	in. <sup>4</sup>	in. <sup>6</sup>	in.
L4×4×3/4	1 1/8	18.5	5.44	7.62	2.79	1.18	1.27	5.02	0.679	1.02	1.12	2.10
×5/8	1	15.7	4.61	6.62	2.38	1.20	1.22	4.28	0.576	0.610	0.680	2.13
×1/2	7/8	12.8	3.75	5.52	1.96	1.21	1.18	3.50	0.468	0.322	0.366	2.16
×7/16	11/16	11.3	3.31	4.93	1.73	1.22	1.15	3.10	0.413	0.220	0.252	2.18
×3/8	3/4	9.80	2.86	4.32	1.50	1.23	1.13	2.69	0.357	0.141	0.162	2.19
×5/16	11/16	8.20	2.40	3.67	1.27	1.24	1.11	2.26	0.300	0.0832	0.0963	2.21
×1/4	5/8	6.60	1.94	3.00	1.03	1.25	1.08	1.82	0.242	0.0438	0.0505	2.22

Note: For compactness criteria, refer to the end of Table 1-7.

Figura 3-7: Dimensiones estándar para ángulos.

### 3.3. Resumen de parámetros geométricos

El momento último y rigidez inicial de las conexiones DWA son el doble de las conexiones SWA. Por lo tanto, solo se evaluará conexiones DWA.

Tabla 3-3: Parámetros de evaluación para conexiones DWA

W	Fy	lw	t	gw	Ww	kw	Total casos
10.00	36.00	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
12.00	50.00	7.00	0.31	3.00	1.63	0.69	
14.00	----	8.00	0.38	----	----	0.75	
16.00	----	9.00	0.50	----	----	0.88	
18.00	----	10.00	----	----	----	----	
----	----	11.00	----	----	----	----	
----	----	12.00	----	----	----	----	
----	----	13.00	----	----	----	----	
----	----	14.00	----	----	----	----	
----	----	15.00	----	----	----	----	
----	2.00	10.00	4.00	2.00	2.00	4.00	320.00

Tabla 3-4: Parámetros de evaluación para conexiones TSFA

W	Fy	lw	t	gw	Ww	kw	Total casos
10.00	36.00	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
12.00	50.00	8.00	0.31	3.00	1.63	0.69	
14.00	----	10.00	0.38	----	----	0.75	
16.00	----	----	0.50	----	----	0.88	
18.00	----	----	----	----	----	----	
5.00	2.00	3.00	4.00	2.00	2.00		480.00

Tabla 3-5: Parámetros de evaluación para conexiones TSFA - DWA

d	Fy	lw	tw	gw	Ww	kw	lt	tt	gt	Wt	kt	Total casos
10.00	36.00	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
----	50.00	7.00	0.31	3.00	----	0.69	8.00	0.31	----	----	0.69	
----	----	----	0.38	----	----	----	10.00	0.38	----	----	0.75	
----	----	----	0.50	----	----	----	----	0.50	----	----	0.88	
1.00	2.00	2.00	4.00	2.00	1.00		3.00	4.00	1.00	1.00		384.00
12.00	36.00	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
----	50.00	7.00	0.31	3.00	----	0.69	8.00	0.31	----	----	0.69	
----	----	8.00	0.38	----	----	0.75	10.00	0.38	----	----	0.75	
----	----	9.00	0.50	----	----	0.88	----	0.50	----	----	0.88	
1.00	2.00	4.00	4.00	2.00	1.00		3.00	4.00	1.00	1.00		768.00
14.00	36.00	9.00	0.25	2.50	1.25	0.63	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
----	50.00	10.00	0.31	3.00	----	0.69	8.00	0.31	----	----	0.69	
----	----	11.00	0.38	----	----	0.75	10.00	0.38	----	----	0.75	
----	----		0.50	----	----	----	----	0.50	----	----	0.88	
1.00	2.00	3.00	4.00	2.00	1.00		3.00	4.00	1.00	1.00		576.00
16.00	36.00	9.00	0.25	2.50	1.25	0.63	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
----	50.00	10.00	0.31	3.00	----	0.69	8.00	0.31	----	----	0.69	
----	----	11.00	0.38	----	----	0.75	10.00	0.38	----	----	0.75	
----	----	12.00	0.50	----	----	0.88	----	0.50	----	----	0.88	
----	----	13.00	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
1.00	2.00	5.00	4.00	2.00	1.00		3.00	4.00	1.00	1.00		960.00
18.00	36.00	9.00	0.25	2.50	1.25	0.63	6.00	0.25	2.50	1.25	0.63	
----	50.00	10.00	0.31	3.00	----	0.69	8.00	0.31	----	----	0.69	
----	----	11.00	0.38	----	----	0.75	10.00	0.38	----	----	0.75	
----	----	12.00	0.50	----	----	0.88	----	0.50	----	----	0.88	
----	----	13.00	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
----	----	14.00	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
----	----	15.00	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
1.00	2.00	7.00	4.00	2.00	1.00		3.00	4.00	1.00	1.00		1344.00
Total de casos												4032.00

Tabla 3-6: Total de casos con conexiones evaluadas.

Conexión Ángulo doble en el alma (DWA)	320.00
Conexión Ángulo superior e inferior en el ala de la viga (TSFA)	480.00
Conexión Ángulo superior e inferior en el ala de la viga y ángulo doble en el alma (TSFA - DWA)	4032.00
<b>Total de casos evaluados</b>	<b>4832.00</b>

### 3.4. Programa para el cálculo de conexiones

Se utilizó la herramienta computacional (MATLAB, 2000), el programa utiliza el método analítico representa de manera gráfica el comportamiento de la conexión y el comportamiento de la viga en el extremo tal como se muestra en la Figura 2-7 y las ecuaciones presentadas en el Capítulo 2.

#### A. Datos de entrada

Para el calcular el Momento último, rigidez inicial y el parámetro de forma de la conexión se tiene que ingresar los siguientes datos

Tabla 3-7: Datos de entrada para calcular las propiedades de la conexión.

Descripción	Numeral
Tipo de conexión.	2.5
Geometría de la conexión	3.2.5, 3.2.6, 3.2.7, 3.2.8, 3.2.4
Propiedades del material de la conexión	3.2.1

Para calcular el momento equivalente de la conexión y la rigidez secante se tienen que ingresar datos de la viga como la longitud  $L$ , carga  $w$ ,  $F_y$ , peralte  $d$ , e inercia  $I$  de la viga

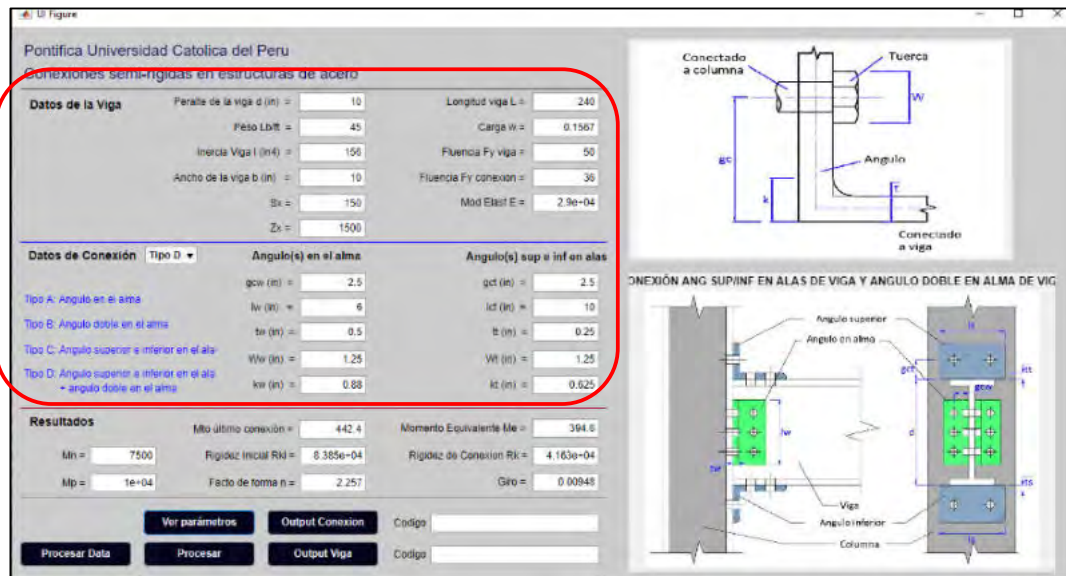


Figura 3-8: Programa en Matlab – Elaboración propia Input de Datos.

## B. Datos de salida

Estos tres primeros parámetros con los necesarios para poder graficar la curva de comportamiento no lineal que relaciona el momento y la rotación de la conexión.

- Momento último
- Rigidez Inicial
- Factor de forma
- Momento equivalente con la línea de la viga
- Rigidez Secante de la conexión
- Giro de la conexión con momento equivalente
- Grado de Rigidez de la conexión

Así también, el programa calcula el momento equivalente cuando la conexión soporta una viga con carga uniforme, y determina el momento de la conexión, así como la rigidez de la misma que servirá para iniciar el proceso de diseño de la conexión junto con la estructura.

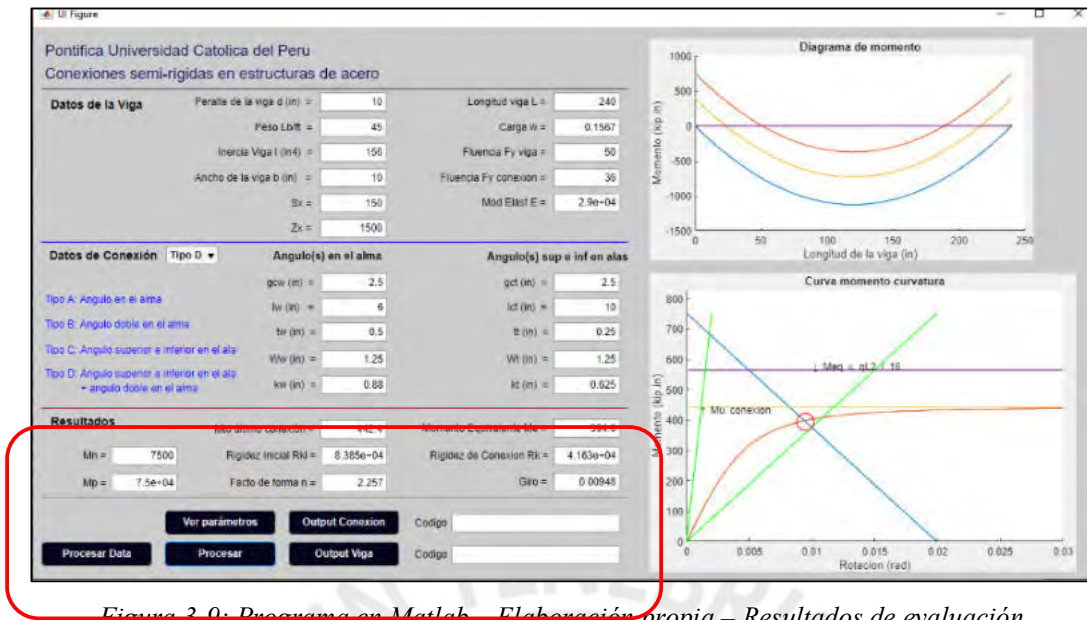


Figura 3-9: Programa en Matlab – Elaboración propia – Resultados de evaluación

### 3.5. Resultados de la evaluación de conexiones

Los resultados se presentan en el numeral 5 y en el Anexo A

## 4. ANALISIS PARAMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA

El comportamiento no lineal de la conexión afecta el comportamiento de la estructura. Por tanto, se realizó un análisis no lineal de la estructura incluyendo las propiedades mecánicas de las conexiones con la finalidad de evaluar la influencia de las conexiones en el comportamiento global del pórtico

### 4.1. Metodología

Esta metodología se basó en el análisis y diseño experimental de 360 casos, procesados y evaluados con ayuda de la herramienta computacional (CSI-2018) y creando un algoritmo para que se puedan ejecutar “n” casos de manera automática con el programa (Mathworks-2009) que toma el input de un archivo Excel donde se introducen todos los datos geométricos de la estructura, cargas y propiedades mecánicas de la conexión. Y en el mismo archivo se vierten los resultados obtenidos para su mejor procesamiento y análisis. Sin embargo, tomando en cuenta la infinidad de posibles casos a analizar se delimitó el número de casos de acuerdo a las siguientes características.

- a) Se definió un pórtico de acero arriostrado típico con una configuración geométrica 5 niveles de altura igual a 3.6 m y 5 vanos de longitud igual a 6 m. (Figura 4-1: Pórtico de acero arriostrado en sus extremos con 5 niveles y 5 vano)

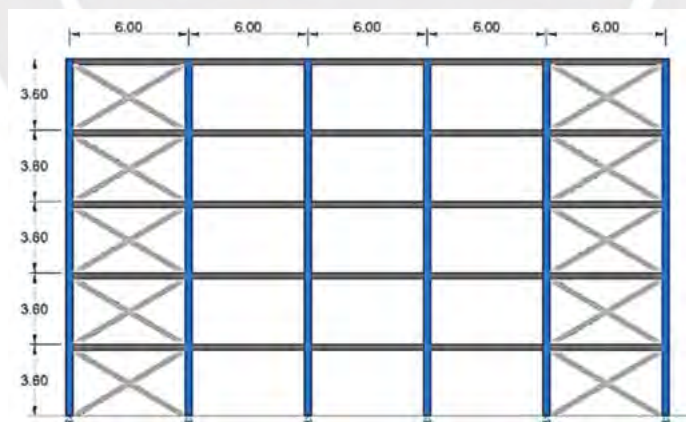


Figura 4-1: Pórtico de acero arriostrado en sus extremos con 5 niveles y 5 vanos

- b) Se consideró los casos incrementando y disminuyendo el número de niveles y el número de vanos
- c) Se definió el tipo de conexión (Simple, Rígida o Semi-rígida)
- d) Se definieron 2 estados de carga viva

- e) Las fuerzas laterales se calcularon en base a parámetros sísmicos de la Norma Peruana de Edificaciones con valores variables de Z entre 0.45 y 0.35 y el parámetro de clasificación del suelo S entre 1.0 para Z = 1 y 2, S = 1.05 para Z = 0.45 y S = 1.15 para Z = 0.35.

A continuación, se presenta la Tabla 4-1 con el resumen de los casos considerados

Tabla 4-1: Parámetros de pórticos evaluados.

Tipo de conexión	Parámetros Sísmicos Z - S	q (N/m)	Vanos (L=6.00 m)	Niveles (h=3.60 m)
Simple	0.35 - 1	2500	3	3
SR m = 2	0.45 - 1	5000	5	5
SR m = 11	0.35 - 1.15	---	8	8
SR m = 20	0.45 - 1.05	---	---	---
Rígida	---	---	---	---
5	4	2	3	3

1. Se realizó el análisis y diseño de 72 casos de pórticos de acero arriostrado de manera convencional con conexiones simples (rigidez a la rotación nula y con un grado de rigidez de la conexión  $m < 0$ )
2. Estos 72 pórticos indicados en el numeral anterior se evaluaron tomando en cuenta los parámetros sísmicos, las condiciones de carga viva, y modificando la cantidad de niveles y el número de vanos del pórtico base.
3. Los ratios de resistencia por combinación de esfuerzos en flexión y axial de diseño para las vigas, arriostres y columnas se definieron con valores igual a 0.6, 0.5 y 0.2 respectivamente.
4. Se analizaron 288 casos de pórticos de acero arriostrado tomando en cuenta los parámetros indicados y considerando conexiones Semi-rígidas y Rígidas.
5. Se obtuvo una base de datos en base a la respuesta del pórtico con los perfiles más livianos.
6. Con la base de datos obtenida, mediante el método de regresión lineal múltiple se definieron las fórmulas para obtener el peso de la estructura, los desplazamientos laterales máximos, momento sísmico en la base de los arriostres y periodo fundamental de vibración, con los datos iniciales de geometría, porcentaje de pesos, ratios de esfuerzos requeridos, cargas gravitacionales, parámetros sísmicos de zona y clasificación de suelo y el tipo de conexión.

Se evaluó 360 casos de pórticos tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- a. Se analizarán dichos pórticos con diferentes tipos de conexión de acuerdo a la clasificación del AISC. Desde conexiones Semi-rígidas flexibles hasta conexiones totalmente restringidas

Tabla 4-2: Parámetros de pórticos con diferentes tipos de conexiones.

Tipo de conexión	Z	S	q (N/m)	Vanos (m)	Niveles (m)	Numero de caso
m = 2	0.45	1	250	3-5-8	3-5-8	73 al 81
m = 2	0.35	1	250	3-5-8	3-5-8	82 al 90
m = 2	0.45	1.05	250	3-5-8	3-5-8	91 al 99
m = 2	0.35	1.15	250	3-5-8	3-5-8	100 al 108
m = 2	0.45	1	500	3-5-8	3-5-8	109 al 117
m = 2	0.35	1	500	3-5-8	3-5-8	118 al 126
m = 2	0.45	1.05	500	3-5-8	3-5-8	127 al 135
m = 2	0.35	1.15	500	3-5-8	3-5-8	136 al 144
m = 11	0.45	1	250	3-5-8	3-5-8	145 al 153
m = 11	0.35	1	250	3-5-8	3-5-8	154 al 162
m = 11	0.45	1.05	250	3-5-8	3-5-8	163 al 171
m = 11	0.35	1.15	250	3-5-8	3-5-8	172 al 180
m = 11	0.45	1	500	3-5-8	3-5-8	181 al 189
m = 11	0.35	1	500	3-5-8	3-5-8	190 al 198
m = 11	0.45	1.05	500	3-5-8	3-5-8	199 al 207
m = 11	0.35	1.15	500	3-5-8	3-5-8	208 al 216
m = 20	0.45	1	250	3-5-8	3-5-8	217 al 225
m = 20	0.35	1	250	3-5-8	3-5-8	226 al 234
m = 20	0.45	1.05	250	3-5-8	3-5-8	235 al 243
m = 20	0.35	1.15	250	3-5-8	3-5-8	244 al 252
m = 20	0.45	1	500	3-5-8	3-5-8	253 al 261
m = 20	0.35	1	500	3-5-8	3-5-8	262 al 270
m = 20	0.45	1.05	500	3-5-8	3-5-8	271 al 279
m = 20	0.35	1.15	500	3-5-8	3-5-8	280 al 288
Rígido	0.45	1	250	3-5-8	3-5-8	289 al 297
Rígido	0.35	1	250	3-5-8	3-5-8	298 al 306
Rígido	0.45	1.05	250	3-5-8	3-5-8	307 al 315
Rígido	0.35	1.15	250	3-5-8	3-5-8	316 al 324
Rígido	0.45	1	500	3-5-8	3-5-8	325 al 333
Rígido	0.35	1	500	3-5-8	3-5-8	334 al 342
Rígido	0.45	1.05	500	3-5-8	3-5-8	343 al 351
Rígido	0.35	1.15	500	3-5-8	3-5-8	352 al 360

- b. Para crear todos los casos de análisis de pórticos se ha creado un algoritmo en el programa Matlab para poder crear los archivos Excel con toda la data necesaria para poder importarlo al programa Sap2000 y ejecutar todos los casos de manera automática. Los algoritmos del programa de automatización de casos se encuentran en el Anexo B.
- c. Con la data obtenida del análisis y diseño con los diferentes tipos de conexiones se obtendrán los pesos reducidos de los pórticos, los desplazamientos, las reacciones en la base y los periodos de vibración principales.
- d. Finalmente con toda la data obtenida, mediante métodos estadísticos se obtiene las fórmulas necesarias para poder encontrar la respuesta de los pórticos, siempre y cuando sus características se encuentren dentro de los límites establecidos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 4-2.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo donde se representa los pasos seguidos para la evaluación de conexiones semi-rígidas.

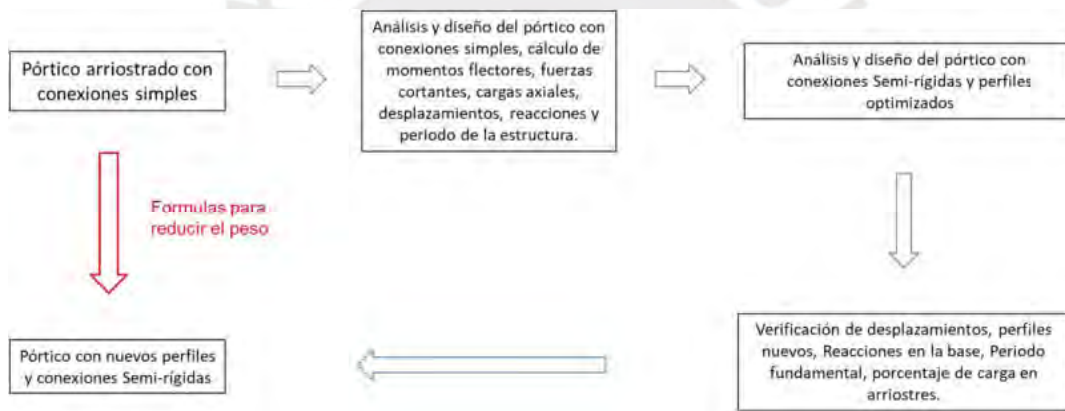


Figura 4-2: Diagrama de Evaluación de pórticos

El proceso de evaluación se realizó con la ayuda de los programas comerciales Excel, Sap2000 y Matlab, y a continuación se presenta el diagrama de flujo de cómo interactúan estos programas para poder analizar y diseñar los 360 casos indicados.

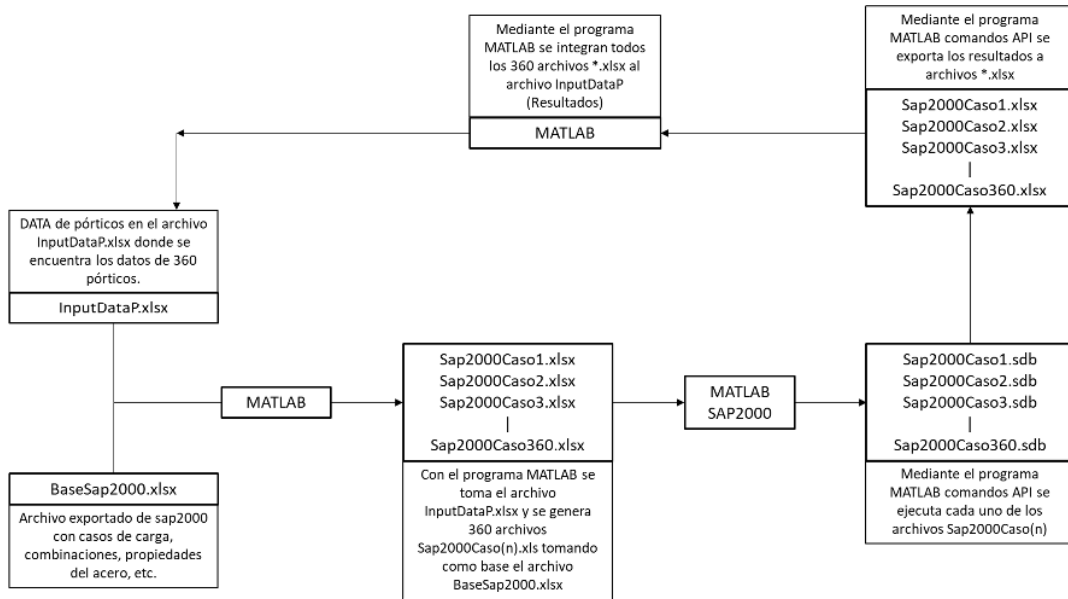


Figura 4-3: Diagrama de flujo Programas para evaluación de Pórticos

## 4.2. Parámetros de evaluación

### 4.2.1. Tipos de conexión (grado de rigidez)

Se evaluó los pórticos arriostrados de acero con conexiones articuladas, conexiones semi-rígidas con grado de rigidez  $m = 2, 11, 20$ ; y conexiones rígidas

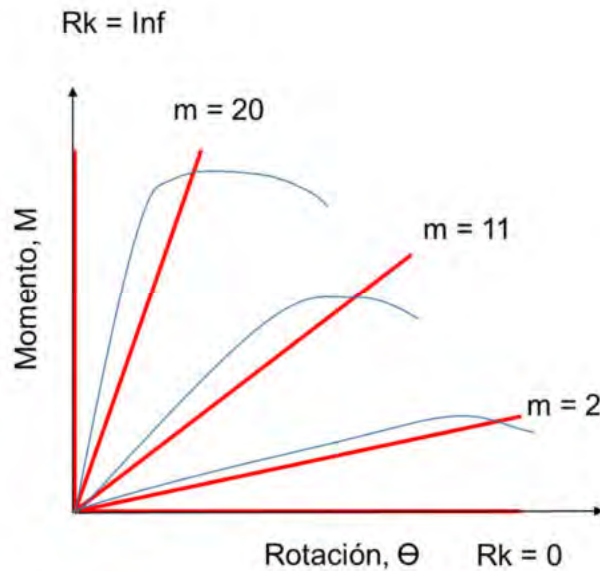


Figura 4-4: Tipos de conexiones a evaluar de acuerdo a clasificación del AISC (2016)

### 4.2.2. Zonificación sísmica

Se consideró que el pórtico se ubica en la zona 4 y 3 según la norma (E030, 2006)

#### 4.2.3. Parámetros de suelo

Se consideró que la estructura se soporta sobre suelos tipo S1 y S2. (E030, 2006)

SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>P</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Figura 4-5: Tipos de conexiones a evaluar de acuerdo a clasificación del AISC (2016)

#### 4.2.4. Carga viva

Se consideró como límite inferior y superior la carga viva de 2500 y 5000 N/m<sup>2</sup> para oficinas y para almacenes (E020, 2006).

#### 4.2.5. Geometría de los pórticos

Se evaluó geometrías de pórticos arriostrados en sus extremos desde 3 niveles con 3 vanos hasta 8 niveles con 8 vanos, con longitudes entre columna de 6 m y para que los arriostres sean efectivos se tomó en consideración una altura de entrepiso de 3.75 m (Donswell, Brice, & Blain, 2010)

#### 4.2.6. Factor de reducción de ductilidad

Para esta evaluación se consideró el valor de R igual a 7 para Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF), Ver Tabla N°7 de (E030, 2006).

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción $R_r$ (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	
	3
<b>Madera</b>	7(**)

(\*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(\*\*) Para diseño por esfuerzos admisibles.

Figura 4-6: Factor de ductilidad para diferentes sistemas estructurales – Norma E030 Diseño Sismo Resistente)

### 4.3. Principales características evaluadas

#### 4.3.1. Peso de la estructura

Se evaluó el peso de la estructura, ya que las conexiones semi-rígidas permiten una reducción del peso de las vigas y reducir los esfuerzos en los arriostres. Este es uno de los objetivos iniciales

#### 4.3.2. Momento Máximo

Se evaluó el momento máximo que se transmite a la cimentación por medio de los arriostres ya que, al incrementar la rigidez en las conexiones, la energía de sismo se disipa a través de la rigidez de las conexiones, por tanto, los arriostres en los extremos no recibirán el par de fuerzas sísmico.

#### 4.3.3. Drift

Se analizará el Drift de las estructuras en el último donde la carga es aplicada, debido a que el desplazamiento relativo es un parámetro con el cual se mide la respuesta global de la estructura y si cumple con la normativa nacional.

#### 4.3.4. Periodo de la estructura

Debido a que el pórtico se rigidiza, pero a la vez se hace más liviano el periodo de la estructura se ve afectado, es importante notar que se en los casos analizados se tiene un pórtico con diferentes

dimensiones, y podemos ver la respuesta para estructuras esbeltas y estructuras larga y de poca altura.

#### 4.4. Evaluación de pórticos arriostrado con conexiones semi-rígidas

Los resultados de la evaluación de pórticos es importante analizar las siguientes propiedades

- Se realizó el análisis y diseño de los pórticos tomando en cuenta que las conexiones son articuladas. Caso del 1 al 72
- Se estima las vigas del caso 1 al 72 y la geometría de las conexiones para obtener los grados de rigidez requeridos.

Tabla 4-3: Geometría de conexiones para viga W10 y W12

Datos de la viga	Fy Mpa	E Mpa	Peralte m	Longitud m	Inercia m4	Sx m3	Zx m3
W10X45	3.45E+02	2.00E+05	10	6	9.69E-05	7.67E-04	8.58E-04
W12X65	3.45E+02	2.00E+05	12	6	2.08E-04	1.37E-03	1.51E-03

- Se obtiene la respuesta de los pórticos en cuanto a peso, momento en la base de los arriostres, drift en el último nivel y periodo fundamental de vibración, y finalmente se obtienen las relaciones de esfuerzos de todos los elementos.
- Del caso 73 al 360, se define los tipos de conexión para cada tipo de viga definido en el paso A con la ayuda del programa propuesto o con las tablas del Anexo A.

Tabla 4-4: Resultados de evaluación de conexión Mu, Ri, n, para viga W10

Conexiones para viga W10x45										
Datos de la conexión	Diametro de perno d (in)	Ancho de tuerca W (in)	Angulo superior e inferior en alas				Angulo doble en alma			
			tt (in)	lt (in)	gct (in)	kt (in)	tw (in)	lw (in)	gcw (in)	kw (in)
Conexión SR-1	0.875	1.438	N/A	N/A	N/A	N/A	0.750	7.0	2.4	1.125
Conexión SR-2	0.875	1.438	0.750	10.0	2.5	1.125	N/A	N/A	N/A	N/A
Conexión SR-3	0.875	1.438	0.750	8.0	2.5	1.125	0.625	7.0	3.0	1.000

Tabla 4-5: Resultados de evaluación de conexión Mu, R<sub>i</sub>, n, para viga W12

Conexiones para viga W12x65										
Datos de la conexión	Diámetro de perno d (in)	Ancho de tuerca W (in)	Angulo superior e inferior en alas				Angulo doble en alma			
			tt (in)	lt (in)	gct (in)	kt (in)	tw (in)	lw (in)	gcw (in)	kw (in)
Conexión SR-4	0.875	1.438	N/A	N/A	N/A	N/A	0.8	9.0	2.400	1.125
Conexión SR-5	0.875	1.438	0.625	10.0	2.5	1.000	0.8	9.0	2.500	1.125
Conexión SR-6	0.875	1.438	0.750	8.0	2.3	1.125	0.8	8.0	2.250	1.125

- e. Se dimensionaron las conexiones con la finalidad de obtener los grados de rigidez 2, 11 y 20 tal como se muestra en la Tabla 4-6 y Tabla 4-7, para vigas W10 y W12 respectivamente para proceder a graficar la curva no lineal de momento rotación de la conexión. En este paso se procede a trabajar con el momento último, rigidez inicial en unidades del sistema internacional.

Tabla 4-6: Cálculo del momento último Mu, rigidez inicial R<sub>ki</sub> y parámetro de forma n para obtener el momento equivalente en la conexión para la viga W10 (kip.in y N.m)

Conexiones para viga W10x45						
Fy = 50 ksi	Mu kip.in	R <sub>ki</sub> kip.in/rad	n	Me kip.in	Rs kip.in/rad	m
Conexión SR-1	617.9	66,240.0	0.573	386.9	62,870.0	2.10
Conexión SR-2	947.8	257,500.0	1.195	573.9	329,000.0	10.98
Conexión SR-3	2,314.0	921,300.0	0.996	760.9	576,400.0	19.23

Fy = 345 Mpa	Mu N.m	R <sub>ki</sub> N.m/rad	n	Me N.m	Rs N.m/rad	m
Conexión SR-1	68,710.48	7,365,888.00	0.573	43,023.28	6,991,144.00	2.16
Conexión SR-2	105,395.36	28,634,000.00	1.195	63,817.68	36,584,800.00	11.32
Conexión SR-3	257,316.80	102,448,560.00	0.996	84,612.08	64,095,680.00	19.84

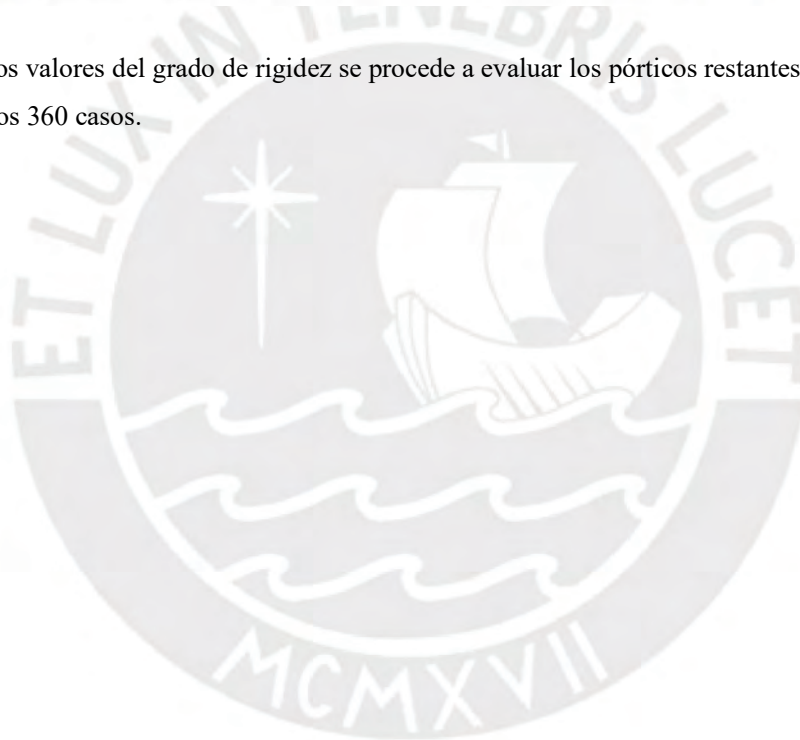
Tabla 4-7: Cálculo del momento último Mu, rigidez inicial R<sub>ki</sub> y parámetro de forma n para obtener el momento equivalente en la conexión para la viga W12. (kip.in y N.m)

Conexiones para viga W12x65

Fy = 50 ksi	Mu kip.in	Rki kip.in/rad	n	Me kip.in	Rs kip.in/rad	m
Conexión SR-4	1,052.0	223,500.0	0.573	715.2	119,200.0	1.85
Conexión SR-5	3,219.0	1,429,000.0	0.930	1272.0	756,900.0	11.75
Conexión SR-6	3,468.0	2,717,000.0	0.827	1349.0	1,249,000.0	19.39

Fy = 345 Mpa	Mu N.m	Rki N.m/rad	n	Me N.m	Rs N.m/rad	m
Conexión SR-4	116,982.40	24,853,200.00	0.573	79,530.24	13,255,040.00	1.91
Conexión SR-5	357,952.80	158,904,800.00	0.930	141,446.40	84,167,280.00	12.12
Conexión SR-6	385,641.60	302,130,400.00	0.827	150,008.80	138,888,800.00	20.00

Definidos los valores del grado de rigidez se procede a evaluar los pórticos restantes hasta completar los 360 casos.



#### 4.5. Ejemplo ilustrativo 3

Se considera un pórtico con apoyos rígidos y con carga viva LL uniforme en todos los niveles, por tanto, la carga lateral es la misma en todos los niveles y es aplicada al nudo.

##### A. Análisis y diseño de pórtico con conexiones simples.

###### Datos de pórtico

Niveles	= 3
Altura de piso	= 144 in
Distancia columnas	= 288 in
Vigas	= W10x39
Columnas	= W12x79
Fy	= 50 ksi
E	= 29000
DL	= 0.05 kip/in
LL	= 0.125 kip/in

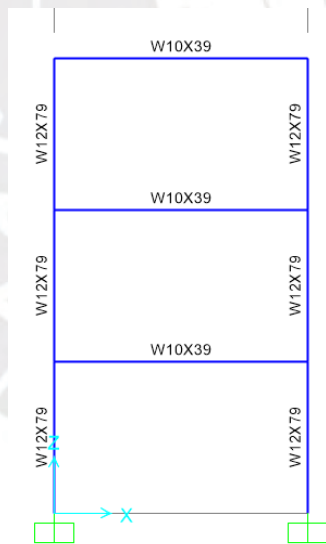


Figura 4-7: Pórtico de tres niveles con viga con apoyos simples

En la Figura 4-7 se muestra un pórtico de tres niveles con apoyos rígidos, y en la Figura 4-8, al utilizar conexiones simples en los extremos de las vigas, los momentos positivos son los máximos actuantes, y por tanto la viga de acero se diseña tomando en cuenta este momento, tal como se muestra con los ratios de resistencia del pórtico. El momento máximo es el producido por la combinación DSTL3: 1.2 DL +1.6 LL

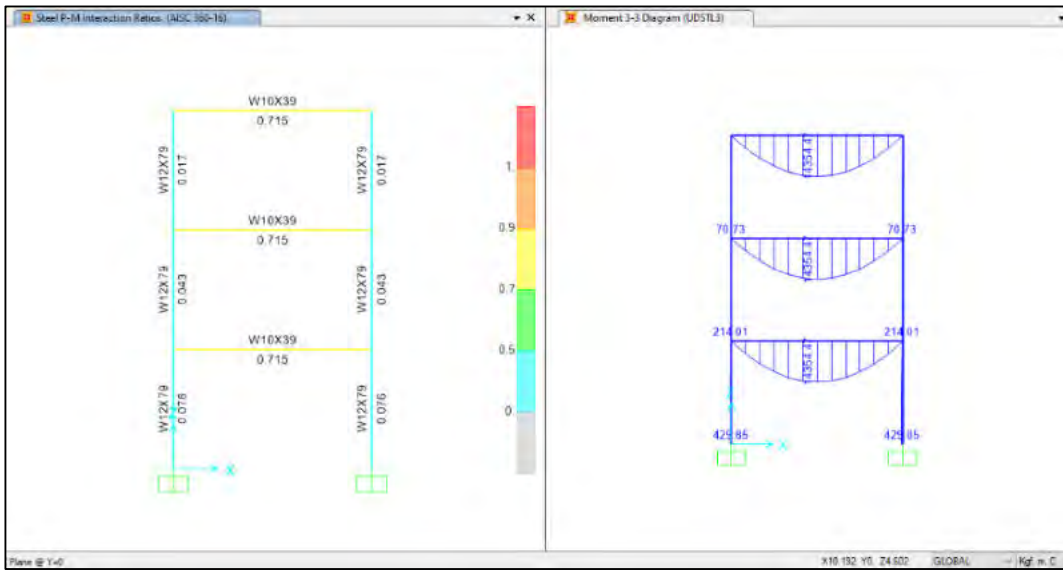


Figura 4-8: Respuesta del pórtico con vigas W10X39, Izquierda) Ratios de resistencia, Derecha) Momento flector por combinación DSTL 3:1.2DL+1.6LL

Steel Stress Check Data AISC 360-16						
File						
A=0.007	I33=8.699E-05	r33=0.108	S33=6.905E-04	Av3=0.005	Units	Kgf, m, C
J=0.	I22=1.873E-05	r22=0.05	S22=1.846E-04	Av2=0.002		
E=2.039E+10	Fy=35153481.3	Ry=1.1	s33=7.669E-04	Cw=0.		
RLLF=1.	Fu=45699525.7		z22=2.819E-04			
<b>STRESS CHECK FORCES &amp; MOMENTS (Combo DSTL3)</b>						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
3.	0.	14354.468	0.	0.	0.	0.
<b>PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)</b>						
D/C Ratio: 0.715 = 0. + 0.715 + 0.						
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)						
<b>AXIAL FORCE &amp; BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)</b>						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
<b>LTB</b>						
	Lltb	Kltb	Cb			
	1.	1.	1.136			
<b>Axial</b>						
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
	0.	82638.621	234734.067			
<b>Major Moment</b>						
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
	14354.468	20064.268	24263.746	17656.556		
<b>Minor Moment</b>						
	0.	8917.446				
<b>SHEAR CHECK</b>						
			Vu	phi*Vn	Stress	Status
			Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.	42521.566	0.	OK		
Minor Shear	0.	103724.689	0.	OK		
<b>CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS</b>						
	VMajor	VMajor				
	Left	Right				
Major (V2)	9569.645	9569.645				

Figura 4-9: Diseño de viga W10X39 con AISC 360-16

## Resultados

- ✓ Los elementos estructurales poseen ratios de resistencia similares a los ratios obtenidos con conexiones simples.
- ✓ El peso de la estructura es 3586 kg

### B. Análisis y diseño de pórtico con conexiones Semi-rígidas.

- a. Para determinar la curva característica de momento rotación de la conexión es necesario primero determinar tres parámetros principales que son el Momento último, Rigidez Inicial y el factor de forma n. Para lo cual se utilizó el programa desarrollado en el programa MATLAB con las características geométricas de la conexión y de la viga.

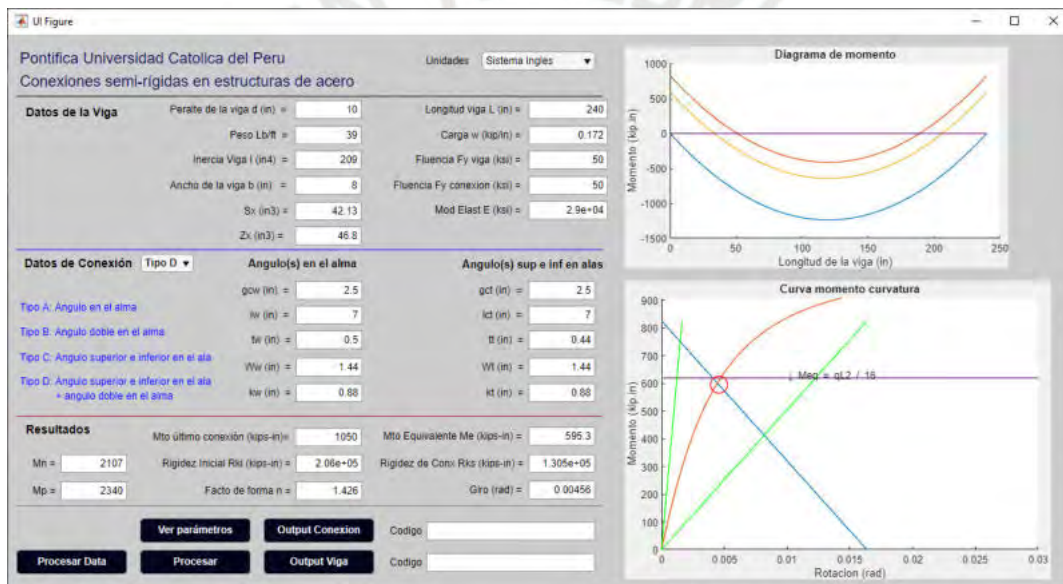


Figura 4-10: Comportamiento no lineal de la conexión y viga de soporte (kip.in) Programa Elaboración Propia

Tabla 4-8: Resultados de evaluación de conexión

Fy = 50 ksi	Mu kip.in	Rki kip.in/rad	n	Me kip.in	Rs kip.in/rad	m
Conexión SR-1	1,050.0	206,000.0	1.426	595.3	130,500.0	5.17

- b. Estos tres parámetros permitieron trazar la curva de momento rotación de la conexión y la curva del momento rotación del extremo de la viga.



Figura 4-11: Comportamiento no lineal de la conexión (Azul) y viga de soporte W10X39 (Naranja) en N.m

- c. En la Figura 4-11 la intersección de ambas curvas será el momento y giro que desarrolle la conexión al soportar la carga de la viga. Son los valores de  $M_e$  (Momento equivalente) y  $R_s$  (Rigidez de la conexión).
- d. La curva de momento rotación de la conexión se introduce en el programa Sap2000 como un resorte con rigidez no lineal en la dirección del giro de la conexión.
- e. Luego esa propiedad del resorte se asigna a la opción Panel Zone en los nodos que soportan las vigas. Ver Figura 4-12

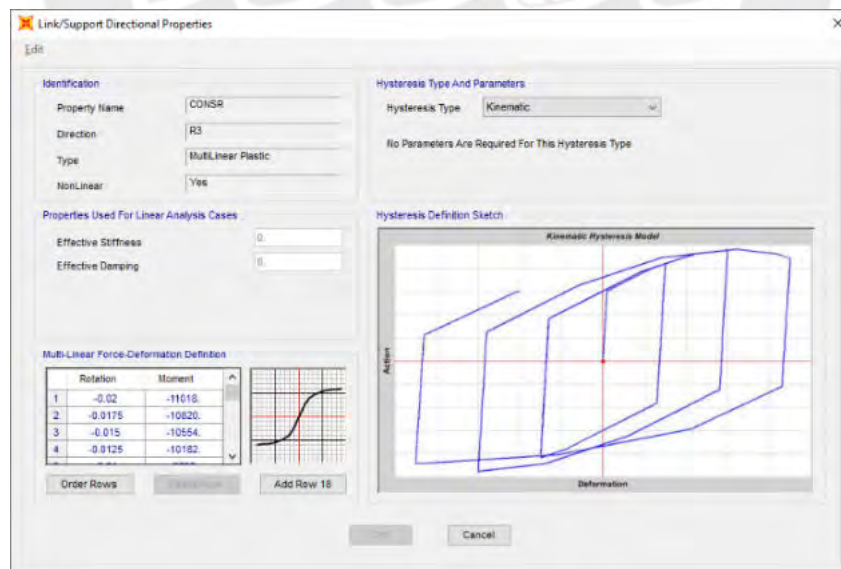


Figura 4-12: Curva de comportamiento no lineal en Link/Support en Sap2000

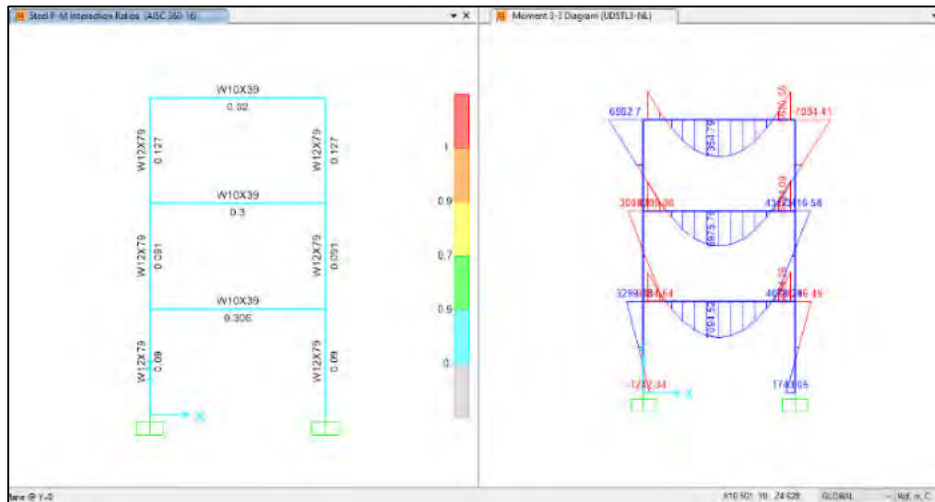


Figura 4-13: Respuesta del pórtico con vigas W10X39 y Conexión Semi-Rígida., (Izquierda) Ratios de resistencia, (Derecha) Momento flector por combinación DSTL 3:1.0DL+1.6LL

- f. Se evalúa el pórtico con el análisis no lineal y efecto p-delta y como se puede apreciar en la Figura 4-13, los momentos negativos y positivos se han redistribuido de tal forma que el momento positivo de la viga es menor.

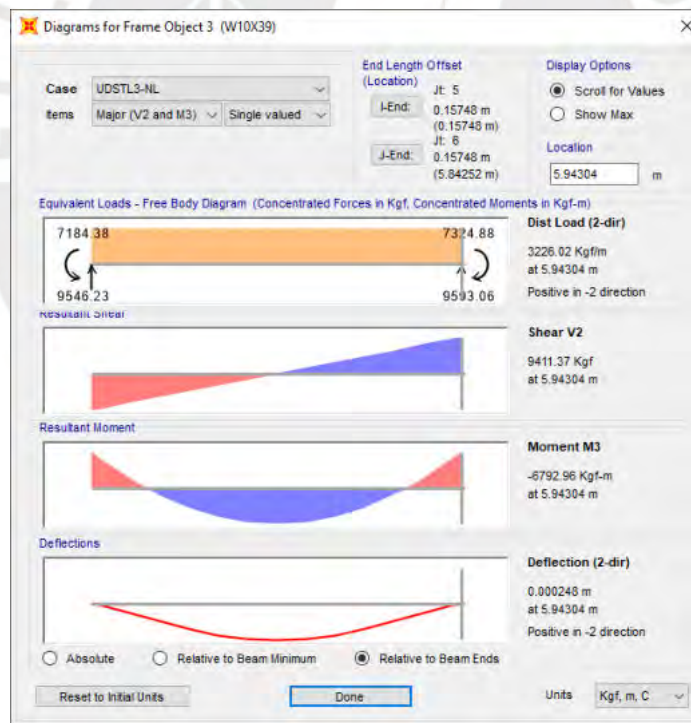


Figura 4-14: Diagrama de momento flector y cortante de viga W10X39

- g. El momento en el extremo de la viga calculado con el programa Sap2000 es similar al momento calculado en el pre dimensionamiento en el extremo de la viga aproximadamente 68000 N.m

- h. El ratio de momento de la viga disminuye y permite cambiar de perfil a una viga de menor peso.
- i. En este caso se cambiará por una viga W10X26.

Tabla 4-9: Propiedades de la viga W10x26

Datos de la viga	Fy ksi	E ksi	Peralte in	Longitud in	Inercia in <sup>4</sup>	Sx in <sup>3</sup>	Zx in <sup>3</sup>	DL kip/in	LL kip/in	E*I / L
W10X39	50	29000	10	240	209	42.1371	46.8	0.03305	0.0826	25,254.17
W10X26	50	29000	10	240	144	27.96	31.3	0.03305	0.0826	17,400.00

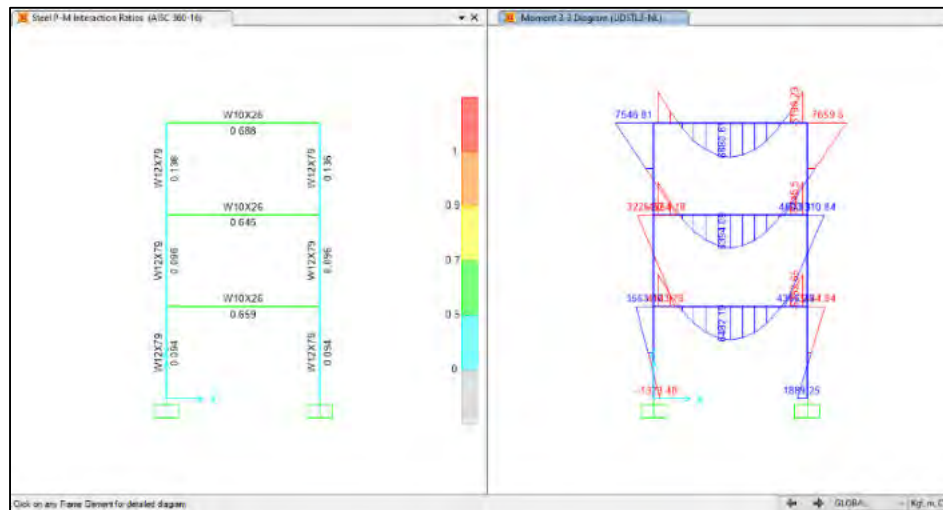


Figura 4-15: Respuesta del pórtico, Izquierda) Ratios de resistencia, Derecha) Momento flector por combinación DSTL 3:1.0DL+1.6LL

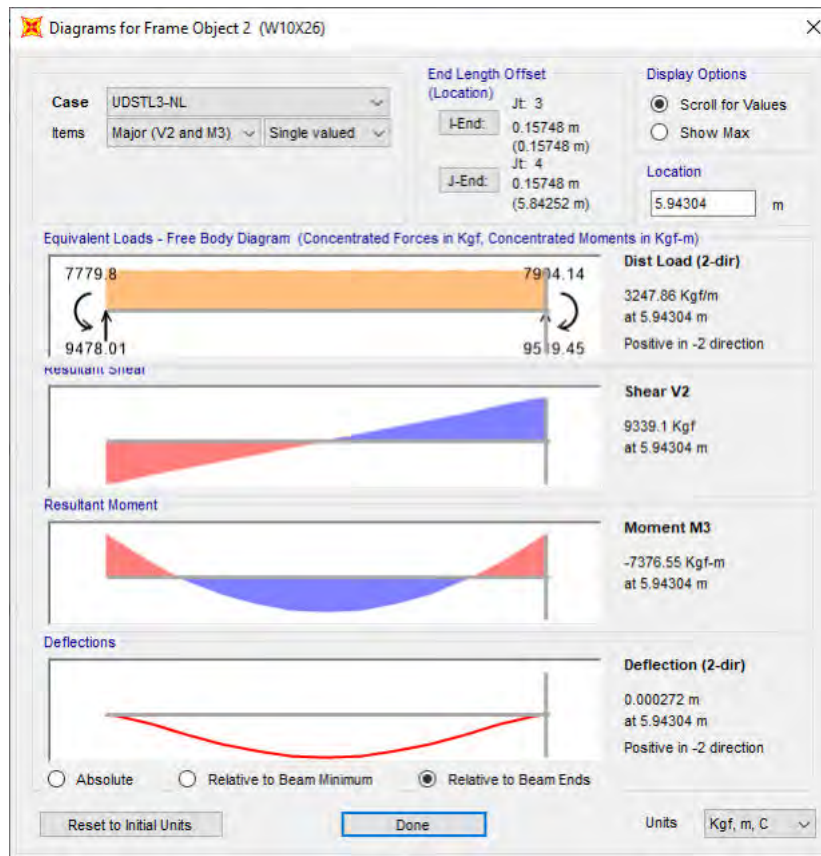


Figura 4-16: Diagrama de momento flector y cortante de viga W10X26

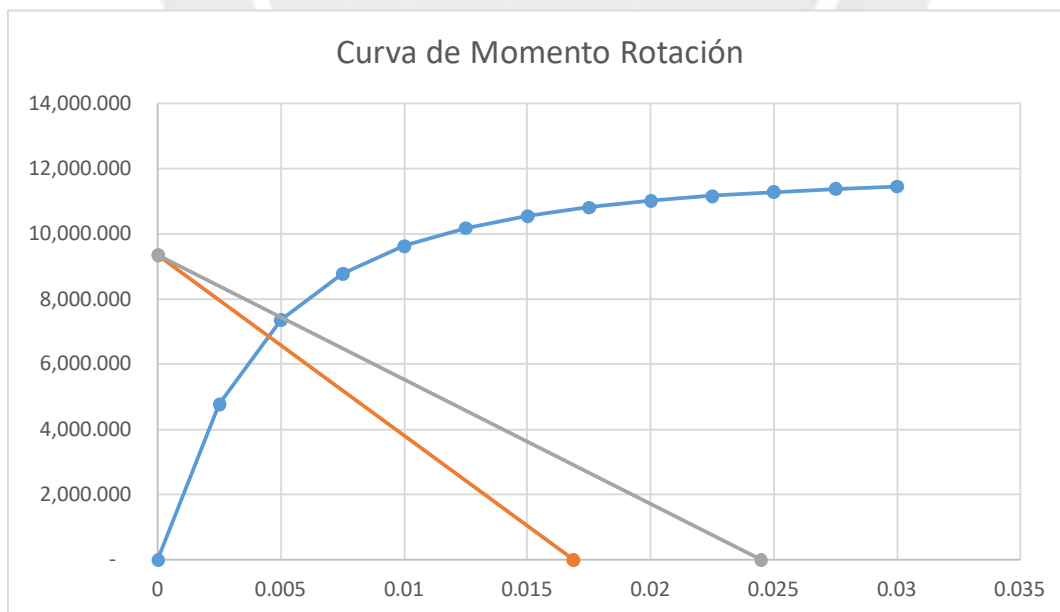


Figura 4-17: Curva de momento rotación de conexión y curva de momento de viga W10X39 (Naranja) y viga W10X26 (Gris)

## **Resultados**

- ✓ El peso de la estructura con los nuevos perfiles en las vigas es 3231.3 kg.
- ✓ Finalmente, la conexión a corte que en la práctica actual se considera como articulada, pero que al incluir su rigidez y su comportamiento no lineal en el análisis global de la estructura global permite reducir el peso del pórtico en aproximadamente 10%.



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

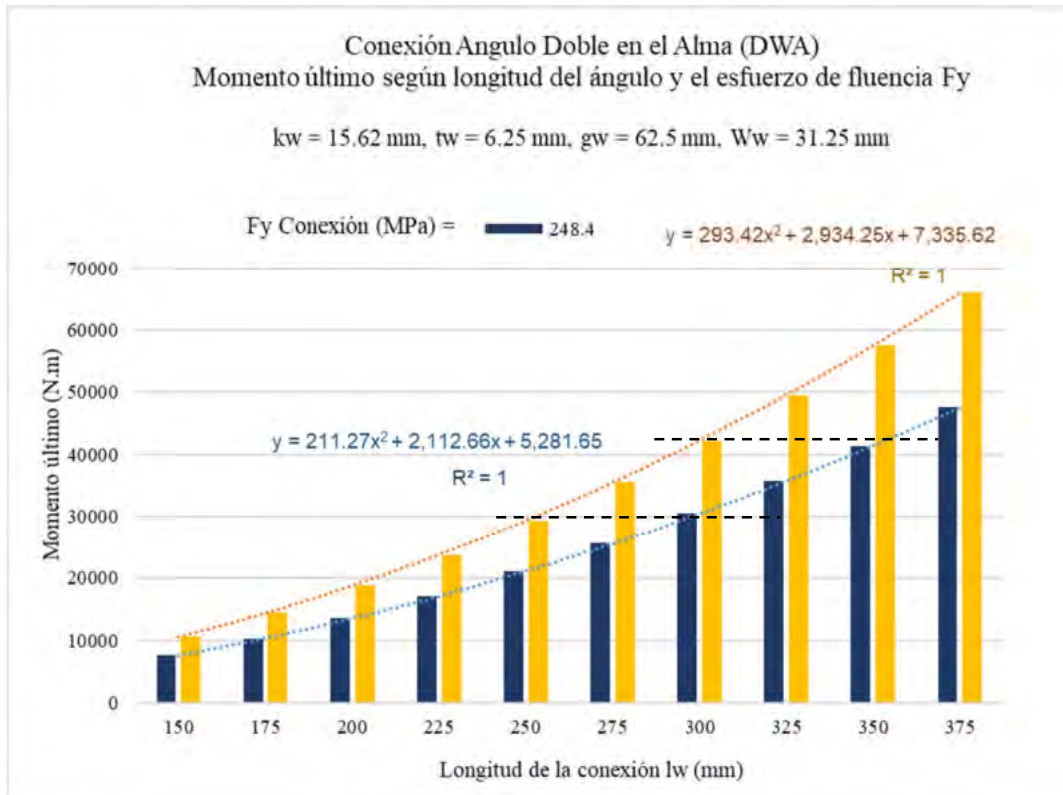
### 5.1. Resultados de evaluación de conexiones

#### 5.1.1. Conexiones con ángulo en el alma (SWA) y doble ángulo en el alma (DWA).

- ✓ El Momento último de la conexión y la Rigidez Inicial para conexiones DWA es el doble de las conexiones SWA.
- ✓ La variación del momento último en relación a la longitud del ángulo de conexión no es lineal y su variación es polinómica, Ver Figura 5-1 y Tabla 5-1
- ✓ Se observa también que para desarrollar el momento último de la conexión es posible tener varias opciones de geometría.

Tabla 5-1: Conexión DWA - Momento último de la conexión según longitud del ángulo  $l_w$  y  $F_y$

$l_w$ (mm)	248 Mpa	345 Mpa	% Incremento de $F_y$ = 248 a 345 Mpa	Diferencia entre $M_u$ según $l_w$	% de Incremento de $l_w$
150	7,605.57	10,563.30	39%	-	0
175	10,352.03	14,377.82	39%	2,746.46	36%
200	13,521.02	18,779.20	39%	3,168.99	31%
225	17,112.54	23,767.42	39%	3,591.52	27%
250	21,126.60	29,342.49	39%	4,014.05	23%
275	25,563.18	35,504.42	39%	4,436.59	21%
300	30,422.30	42,253.19	39%	4,859.12	19%
325	35,703.95	49,588.82	39%	5,281.65	17%
350	41,408.13	57,511.29	39%	5,704.18	16%
375	47,534.84	66,020.61	39%	6,126.71	15%



*Figura 5-1: Conexión DWA – Momento último según longitud del ángulo  $l_w$  y  $F_y$*

- ✓ Para cualquier longitud de ángulo  $l_w$ , el incremento del Momento último de la conexión es proporcional al incremento del espesor del ángulo  $t_w$ . Ver Tabla 5-2: Conexión DWA - Momento último según el espesor del ángulo  $t_w$ . Tabla 5-2 y Figura 5-2
- ✓ Se puede observar que al utilizar ángulos con espesor de 12.5 mm el momento aumenta drásticamente en 50%.

Tabla 5-2: Conexión DWA - Momento último según el espesor del ángulo tw.

tw (mm)	% Incremento de tw	lw (mm)							
		Mu (N.mm)				% de Incremento de Mto Último según tw			
		150	225	300	375	150	225	300	375
6.25	0%	7,606	17,113	30,422	47,535	-	-	-	-
7.8125	25%	10,092	22,707	40,368	63,075	33%	33%	33%	33%
9.375	20%	12,859	28,934	51,437	80,371	27%	27%	27%	27%
12.5	33%	19,336	43,506	77,345	120,851	50%	50%	50%	50%

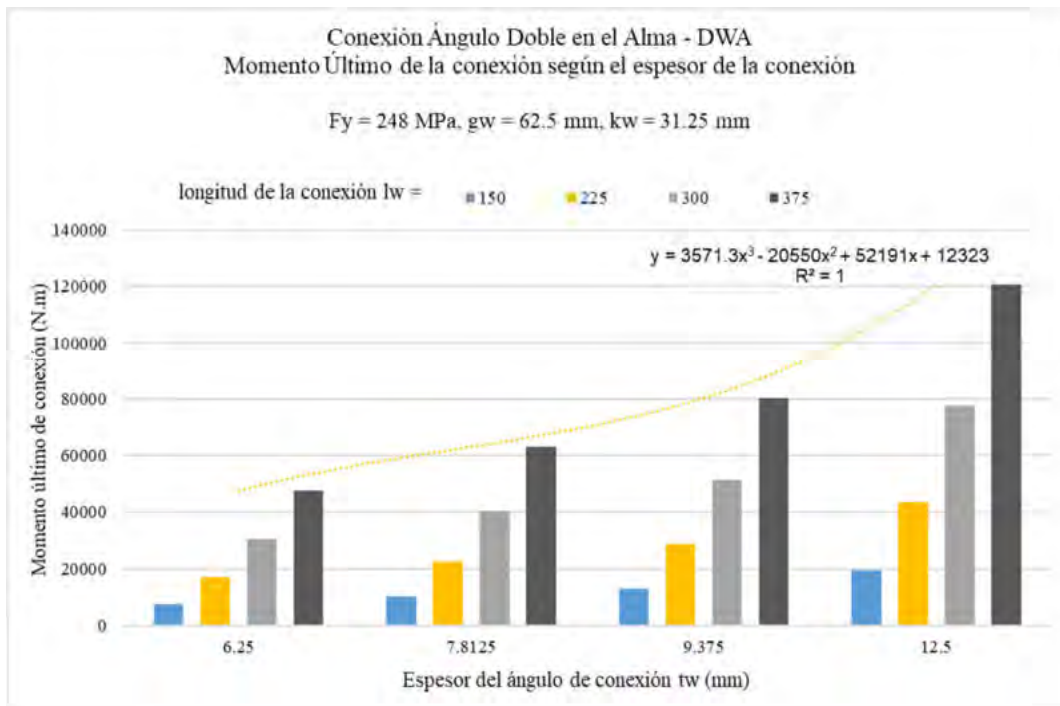


Figura 5-2: Conexión DWA - Momento último según el espesor del ángulo tw.

- ✓ A medida que se reduce la distancia de la cara del ángulo al eje del perno, la capacidad de momento último se incrementa. El mayor porcentaje que se incrementa es 9.60% para ángulos de espesor tw = 12.5 mm. Ver Tabla 5-3 y Figura 5-3

Tabla 5-3: Conexión DWA - Momento último según la distancia de la cara del ángulo al eje del perno gw y el espesor del ángulo.

Espesor del ángulo tw (mm)	lw (mm)	gw (mm)		% de Incremento
		75.00	62.50	
6.25	150.00	7,268.81	7,605.57	4.63%
	225.00	16,354.83	17,112.54	4.63%
	300.00	29,075.25	30,422.30	4.63%
	375.00	45,430.08	47,534.84	4.63%
7.81	150.00	9,533.97	10,092.00	5.85%
	225.00	21,451.44	22,706.99	5.85%
	300.00	38,135.89	40,367.99	5.85%
	375.00	59,587.33	63,074.98	5.85%
9.38	150.00	12,007.29	12,859.36	7.10%
	225.00	27,016.40	28,933.55	7.10%
	300.00	48,029.16	51,437.43	7.10%
	375.00	75,045.57	80,370.98	7.10%
12.50	150.00	17,644.06	19,336.14	9.59%
	225.00	39,699.14	43,506.32	9.59%
	300.00	70,576.25	77,344.58	9.59%
	375.00	110,275.39	120,850.90	9.59%

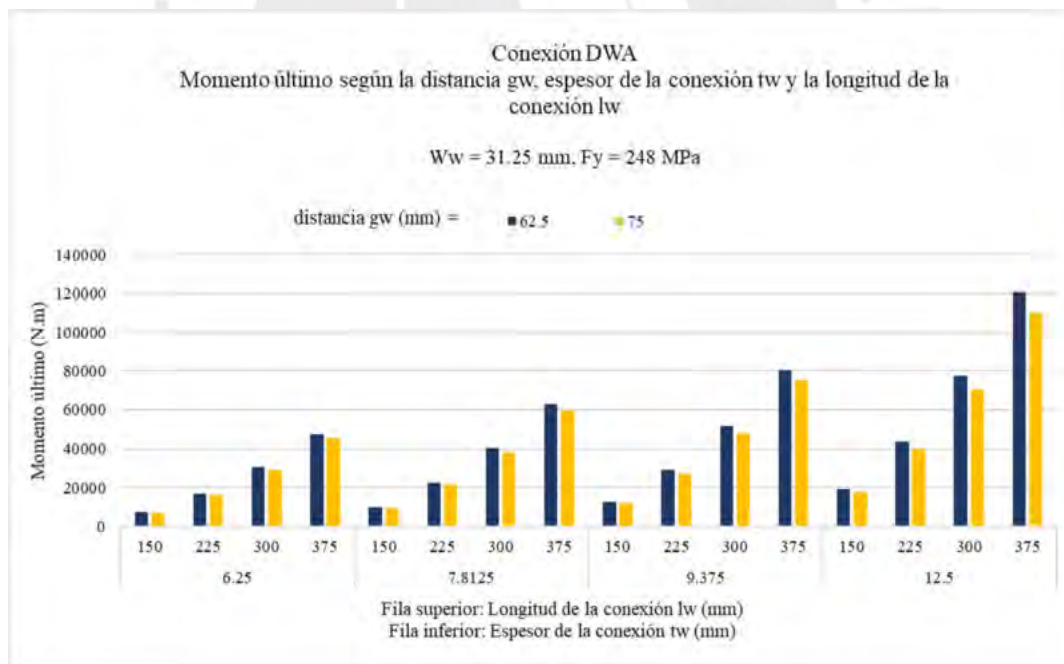


Figura 5-3: Conexión DWA: Conexión DWA - Momento último según la distancia de la cara del ángulo al eje del perno gw y el espesor del ángulo.

### 5.1.2. Conexiones con Ángulo Superior e Inferior en el Ala de la Viga (TSFA)

- ✓ La variación del momento cuando se incrementa de 6 a 8 pulgadas es 33% y cuando se incrementa de 8 a 10 pulgadas es 25%. Ver Tabla 5-4 y Figura 5-4.
- ✓ El momento decrece a medida que se aumenta que se aumenta el peralte de la viga. Ver Tabla 5-4 y Figura 5-4
- ✓ En base a la Figura 5-4 se observa que se para un momento último se tiene varias opciones de conexiones con distinta longitud  $l_t$  o distinto espesor  $t_t$ .

Tabla 5-4: Conexión TSFA - Momento último según la longitud del ángulo  $l_w$  y  $l_t$  y el peralte de la viga D.

Fy (Mpa)	Peralte D viga (mm)	Mto Último (N.m)			% Incremento de Mto Último según incremento de D			% Incremento de Mto Último según incremento de $l_t$	
		$l_t$ (mm)			$l_t$ (mm)			150 a 200	200 a 250
		150	200	250	150	200	250		
248	250	13,617.9	18,157.2	22,696.5	0	0	0	33%	25%
	300	15,872.4	21,163.2	26,453.9	16.6%	16.6%	16.6%	33%	25%
	350	18,126.8	24,169.1	30,211.4	14.2%	14.2%	14.2%	33%	25%
	400	20,381.3	27,175.1	33,968.9	12.4%	12.4%	12.4%	33%	25%
	450	22,635.8	30,181.1	37,726.3	11.1%	11.1%	11.1%	33%	25%
345	250	18,913.7	25,218.3	31,522.9	0	0	0	33%	25%
	300	22,045.0	29,393.3	36,741.6	16.6%	16.6%	16.6%	33%	25%
	350	25,176.2	33,568.2	41,960.3	14.2%	14.2%	14.2%	33%	25%
	400	28,307.4	37,743.2	47,179.0	12.4%	12.4%	12.4%	33%	25%
	450	31,438.6	41,918.1	52,397.7	11.1%	11.1%	11.1%	33%	25%



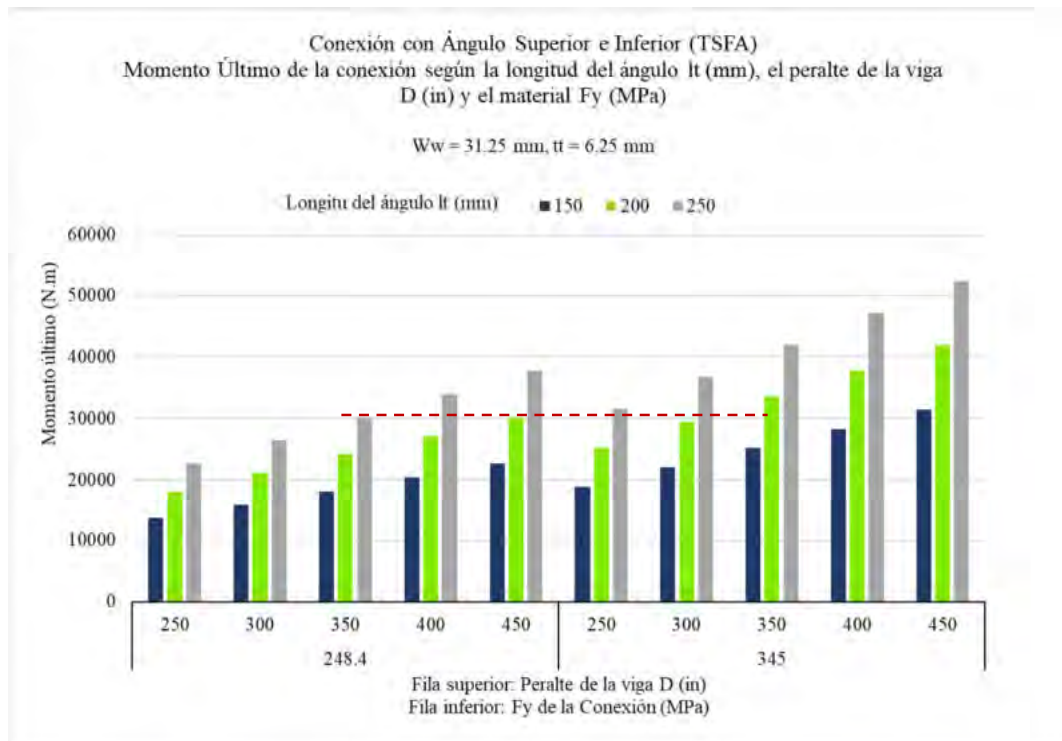


Figura 5-4: Conexión TSFA - Momento último según la longitud del ángulo  $l_w$  y  $l_t$  y el peralte de la viga D.

- ✓ El Momento de la conexión se incrementó de forma exponencial cuando se incrementó el espesor del ángulo, llegando a aumentar en 101% cuando se tienen espesores de  $\frac{1}{2}$ ". Ver Tabla 5-5 y Figura 5-5.
- ✓ El Momento de la conexión se incrementó de forma decreciente cuando se aumenta el peralte de la viga. Ver Tabla 5-5 y Figura 5-5

Tabla 5-5: Conexión TSFA – Momento último según espesor del ángulo  $t_t$  y  $t_w$ .

Peralte de la viga D (mm)	Espesor del ángulo $t_t$ (mm)				% de Incremento de Peralte de viga D				% Incremento de espesor de ángulo $t_t$		
	6.25	7.81	9.38	12.50	6.25	7.81	9.38	12.50	6.25 a 7.81	7.81 a 9.38	9.38 a 12.50
250.00	43,376	72,822	112,723	226,549	0%	0%	0%	0%	68%	55%	101%
300.00	50,556	84,878	131,382	263,961	17%	17%	17%	17%	68%	55%	101%
350.00	57,737	96,935	150,041	301,373	14%	14%	14%	14%	68%	55%	101%
400.00	64,918	108,991	168,700	338,785	12%	12%	12%	12%	68%	55%	101%
450.00	72,099	121,048	187,358	376,197	11%	11%	11%	11%	68%	55%	101%

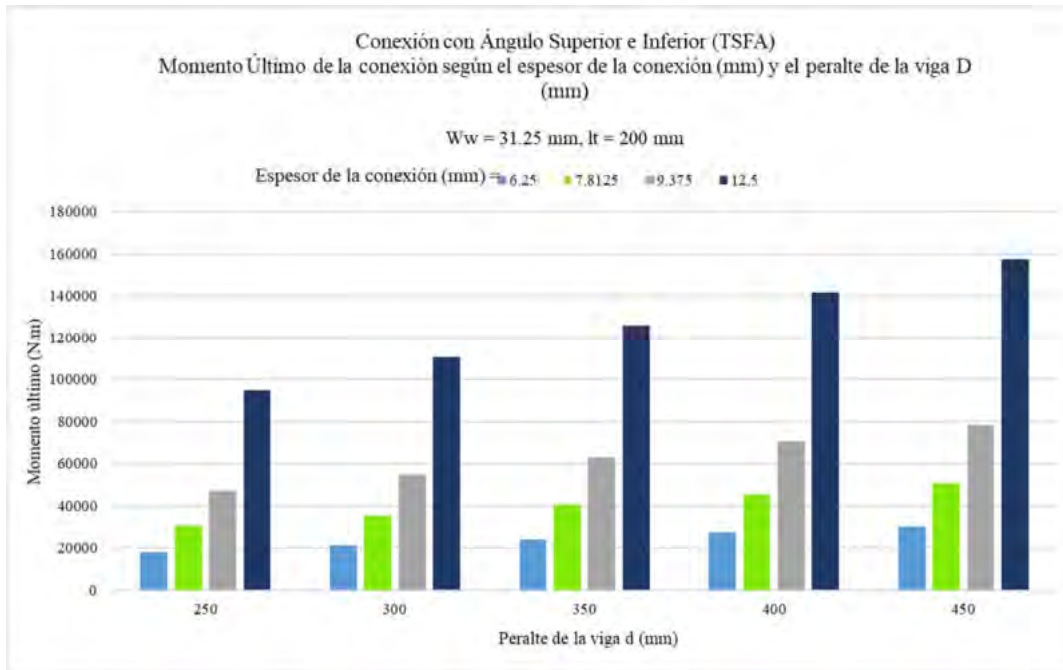


Figura 5-5: Conexión TSFA – Momento último según espesor del ángulo  $t$  y  $t_w$ .

### 5.1.3. Conexiones con Ángulo Superior e Inferior en el Ala de la Viga y Doble Ángulo en el Alma (TSFA-DWA)

- ✓ A medida que se incrementó el espesor del ángulo de conexión, se incrementa el  $\mu$  de la conexión, sin embargo, este incremento no se produce en forma lineal, sobre todo cuando se aumenta el espesor de 0.375 in a 0.50 el porcentaje de aumento es aproximadamente 40% para cualquiera de los ángulos de conexión. Ver *Tabla 5-6* y *Figura 5-6*.

*Tabla 5-6: Conexión TSFA-DWA. Momento último según longitud del ángulo  $l_w$  y  $l_t$  y el peralte de viga  $D$*

Peralte de la viga D (mm)	Longitud del ángulo lw (mm)	Momento último (N.m)			% de Incremento de lw			% de Incremento de lt	
		Longitud del ángulo lt (mm)							
		150.00	200.00	250.00	150.00	200.00	250.00	150 a 200	200 a 250
250.00	150.00	22,741	25,376	28,011	0.0%	0.0%	0.0%	11.6%	10.4%
	175.00	24,708	27,342	29,977	8.6%	7.8%	7.0%	10.7%	9.6%
300.00	150.00	27,475	30,553	33,632	0.0%	0.0%	0.0%	11.2%	10.1%
	175.00	30,008	33,087	36,166	9.2%	8.3%	7.5%	10.3%	9.3%
	200.00	32,398	35,476	38,555	8.0%	7.2%	6.6%	9.5%	8.7%
	225.00	34,642	37,721	40,800	6.9%	6.3%	5.8%	8.9%	8.2%
350.00	225.00	41,077	44,600	48,122	0.0%	0.0%	0.0%	8.6%	7.9%
	250.00	43,745	47,267	50,789	6.5%	6.0%	5.5%	8.1%	7.5%
	275.00	46,267	49,790	53,312	5.8%	5.3%	5.0%	7.6%	7.1%
400.00	225.00	47,512	51,479	55,445	2.7%	3.4%	4.0%	8.3%	7.7%
	250.00	50,747	54,713	58,679	6.8%	6.3%	5.8%	7.8%	7.2%
	275.00	53,836	57,803	61,769	6.1%	5.6%	5.3%	7.4%	6.9%
	300.00	56,782	60,748	64,714	5.5%	5.1%	4.8%	7.0%	6.5%
	325.00	59,582	63,548	67,514	4.9%	4.6%	4.3%	6.7%	6.2%
450.00	225.00	53,948	58,357	62,767	0.0%	0.0%	0.0%	8.2%	7.6%
	250.00	57,749	62,159	66,569	7.0%	6.5%	6.1%	7.6%	7.1%
	275.00	61,406	65,816	70,225	6.3%	5.9%	5.5%	7.2%	6.7%
	300.00	64,918	69,328	73,738	5.7%	5.3%	5.0%	6.8%	6.4%
	325.00	68,286	72,696	77,105	5.2%	4.9%	4.6%	6.5%	6.1%
	350.00	71,509	75,919	80,328	4.7%	4.4%	4.2%	6.2%	5.8%
	375.00	74,587	78,997	83,407	4.3%	4.1%	3.8%	5.9%	5.6%

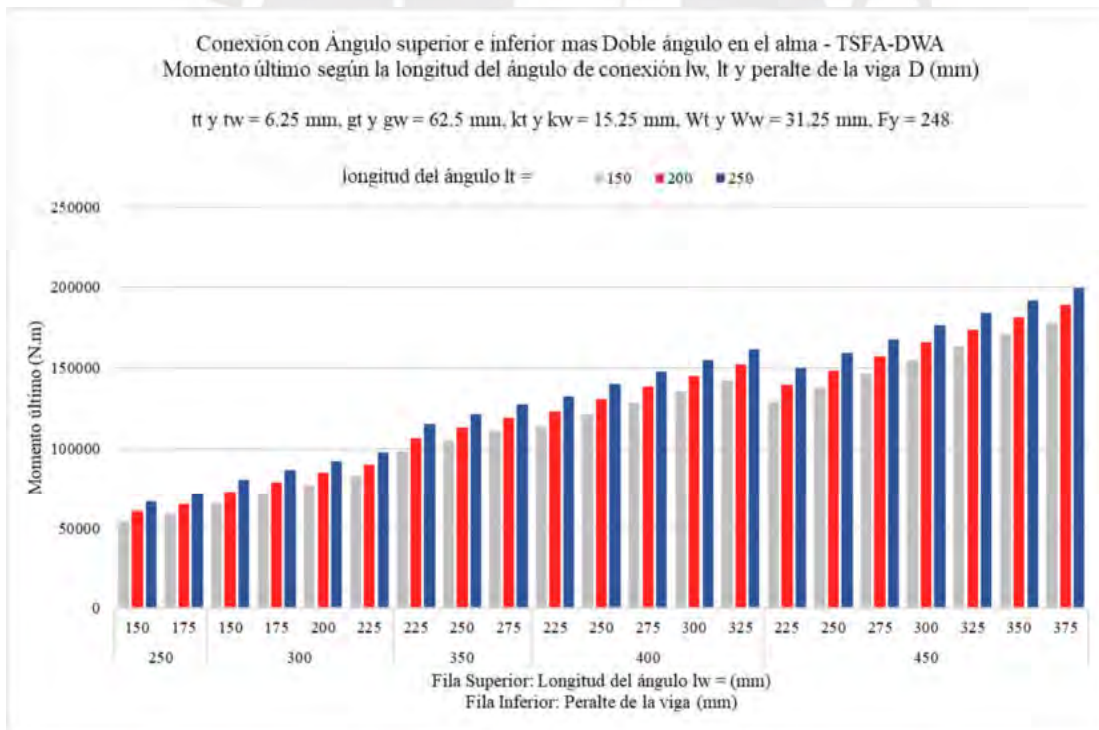


Figura 5-6: Conexión TSFA-DWA. Momento último según longitud del ángulo lw y lt y el peralte de viga D.

Tabla 5-7: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo tw y tt y el peralte de viga (1 de 2)

Peralte de la viga D (mm)	Longitud del ángulo lw (mm)	Espesor del ángulo tw (mm)	Momento Último (N.m)				% de Incremento de tw				% de Incremento de tt		
			Espesor del ángulo tt (mm)				Espesor del ángulo tt (mm)						
			6.25	7.8125	9.375	12.5	6.25	7.8125	9.375	12.5	6.25 a 7.8125	7.8125 a 9.375	9.375 a 12.5
250	175	6.25	27,342	34,793	44,935	73,379							
		7.8125	32,617	40,104	50,282	78,798	19.3%	15.3%	11.9%	7.4%	27.2%	29.2%	63.3%
		9.375	38,407	45,932	56,150	84,744	17.8%	14.5%	11.7%	7.5%	23.0%	25.4%	56.7%
		12.5	51,715	59,327	69,631	98,398	34.7%	29.2%	24.0%	16.1%	19.6%	22.2%	50.9%
300	175	6.25	33,087	41,771	53,597	86,753					26.2%	28.3%	61.9%
		7.8125	39,524	48,244	60,107	93,336	19.5%	15.5%	12.1%	7.6%	22.1%	24.6%	55.3%
		9.375	46,559	55,318	67,220	100,526	17.8%	14.7%	11.8%	7.7%	18.8%	21.5%	49.5%
		12.5	62,632	71,478	83,466	116,945	34.5%	29.2%	24.2%	16.3%	14.1%	16.8%	40.1%
350	225	6.25	37,721	46,440	58,302	91,529					23.1%	25.5%	57.0%
		7.8125	45,745	54,511	66,420	99,740	21.3%	17.4%	13.9%	9.0%	19.2%	21.8%	50.2%
		9.375	54,573	63,389	75,347	108,768	19.3%	16.3%	13.4%	9.1%	16.2%	18.9%	44.4%
		12.5	74,922	83,849	95,919	129,561	37.3%	32.3%	27.3%	19.1%	11.9%	14.4%	35.1%
350	225	6.25	44,600	54,552	68,098	106,038					22.3%	24.8%	55.7%
		7.8125	54,120	64,118	77,711	115,744	21.3%	17.5%	14.1%	9.2%	18.5%	21.2%	48.9%
		9.375	64,548	74,597	88,239	126,373	19.3%	16.3%	13.5%	9.2%	15.6%	18.3%	43.2%
		12.5	88,452	98,612	112,365	150,721	37.0%	32.2%	27.3%	19.3%	11.5%	13.9%	34.1%
350	275	6.25	49,790	59,777	73,358	111,369					20.1%	22.7%	51.8%
		7.8125	61,117	71,161	84,800	122,925	22.7%	19.0%	15.6%	10.4%	16.4%	19.2%	45.0%
		9.375	73,597	83,703	97,403	135,650	20.4%	17.6%	14.9%	10.4%	13.7%	16.4%	39.3%
		12.5	102,426	112,668	126,503	165,022	39.2%	34.6%	29.9%	21.7%	10.0%	12.3%	30.4%

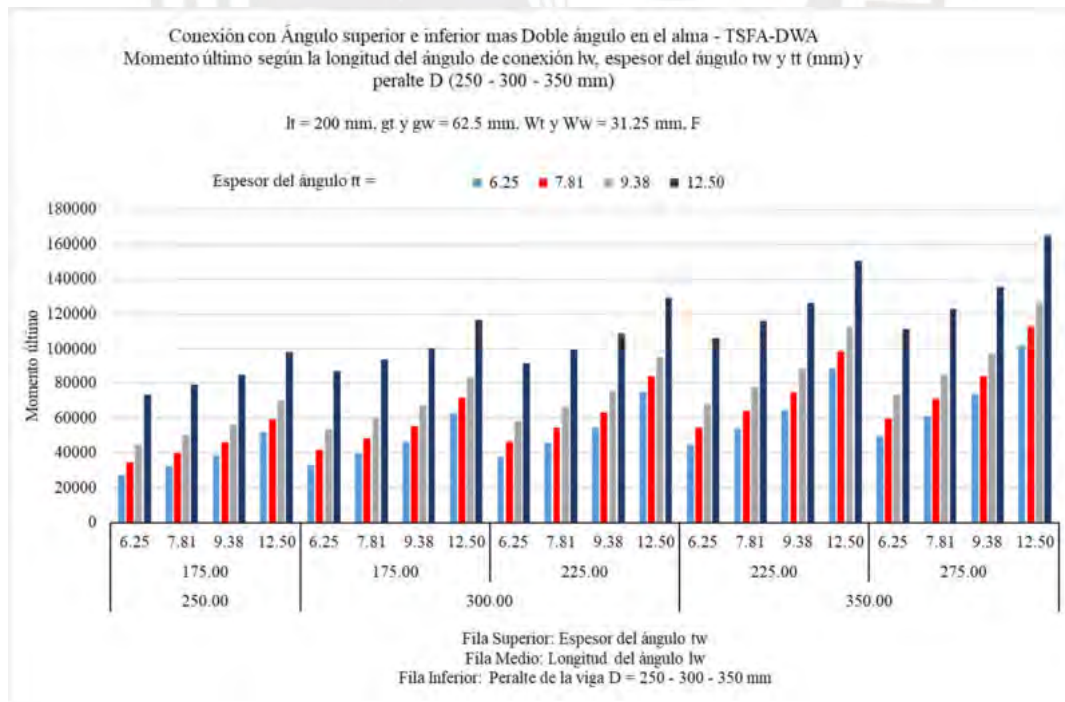


Figura 5-7: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo tw y tt y el peralte de viga (1 de 2).

Tabla 5-8: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo tw y tt y el peralte de viga (2 de 2).

Peralte de la viga D (mm)	Longitud del ángulo lw (mm)	Espesor del ángulo tw (mm)	Momento Último (N.m)				% de Incremento de tw				% de Incremento de tt		
			Espesor del ángulo tt (mm)				Espesor del ángulo tt (mm)				6.25 a 7.8125	7.8125 a 9.375	9.375 a 12.5
			6.25	7.8125	9.375	12.5	6.25	7.8125	9.375	12.5			
400	275	6.25	57803	67528	79674	110745					16.8%	18.0%	39.0%
		7.8125	70957	80740	92943	124129	22.8%	19.6%	16.7%	12.1%	13.8%	15.1%	33.6%
		9.375	85394	95238	107502	138810	20.3%	18.0%	15.7%	11.8%	11.5%	12.9%	29.1%
		12.5	118568	128548	140947	172527	38.8%	35.0%	31.1%	24.3%	8.4%	9.6%	22.4%
	325	6.25	63548	73310	85490	116633					15.4%	16.6%	36.4%
		7.8125	78731	88559	100807	132085	23.9%	20.8%	17.9%	13.2%	12.5%	13.8%	31.0%
		9.375	95479	105380	117700	149123	21.3%	19.0%	16.8%	12.9%	10.4%	11.7%	26.7%
		12.5	134228	144289	156770	188513	40.6%	36.9%	33.2%	26.4%	7.5%	8.6%	20.2%
450	275	6.25	65816	76607	90088	124584					16.4%	17.6%	38.3%
		7.8125	80798	91647	105185	139794	22.8%	19.6%	16.8%	12.2%	13.4%	14.8%	32.9%
		9.375	97191	108101	121701	156432	20.3%	18.0%	15.7%	11.9%	11.2%	12.6%	28.5%
		12.5	134710	145756	159491	194494	38.6%	34.8%	31.1%	24.3%	8.2%	9.4%	21.9%
	325	6.25	72696	83523	97039	131605					14.9%	16.2%	35.6%
		7.8125	90038	100933	114516	149218	23.9%	20.8%	18.0%	13.4%	12.1%	13.5%	30.3%
		9.375	109098	120065	133722	168567	21.2%	19.0%	16.8%	13.0%	10.1%	11.4%	26.1%
		12.5	152981	164109	177926	213092	40.2%	36.7%	33.1%	26.4%	7.3%	8.4%	19.8%
	375	6.25	78997	89860	103412	138049					13.8%	15.1%	33.5%
		7.8125	98587	109528	123158	157950	24.8%	21.9%	19.1%	14.4%	11.1%	12.4%	28.3%
		9.375	120219	131242	144956	179915	21.9%	19.8%	17.7%	13.9%	9.2%	10.4%	24.1%
		12.5	170326	181535	195433	230763	41.7%	38.3%	34.8%	28.3%	6.6%	7.7%	18.1%

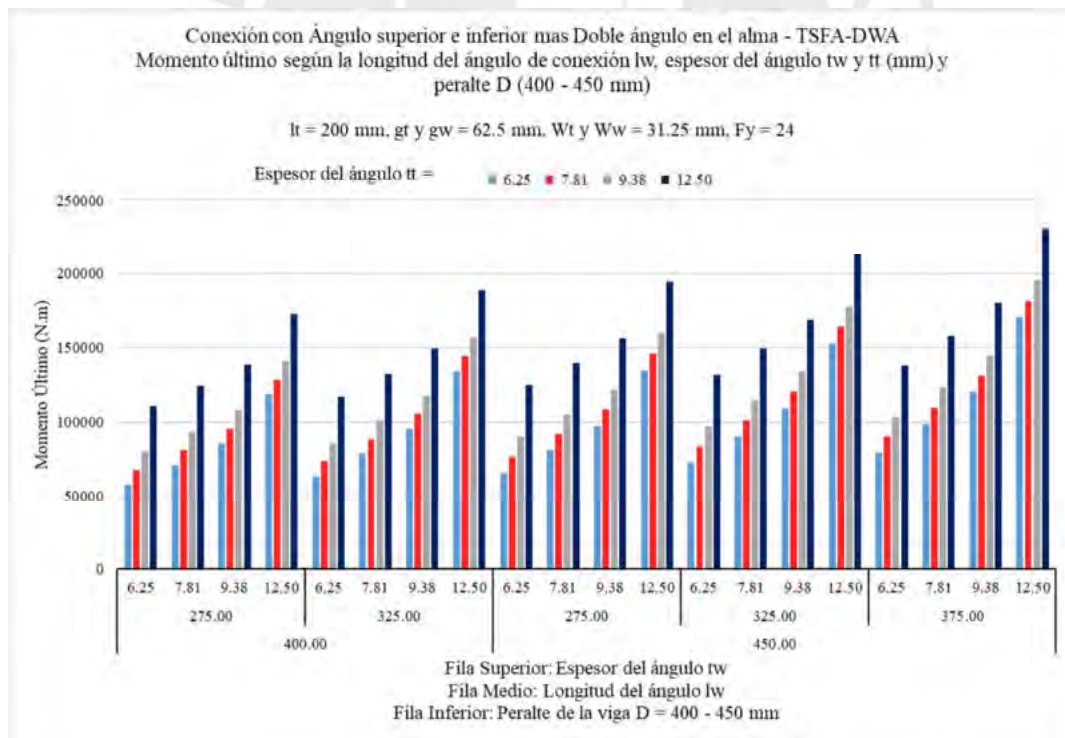


Figura 5-8: Conexión TSFA-DWA. Momento último según el espesor del ángulo tw y tt y el peralte de viga (2 de 2).

- ✓ Las conexiones tienen un comportamiento variable y dependen de la carga que soporta la viga. Si la carga es constante y se modifica la sección de la viga, el giro en el extremo de la viga varía debido al aporte de la inercia Ver Figura 5-9. Y cuando se varía la carga y también se varía el perfil de la viga, la línea de comportamiento de la viga varía en forma paralelas de acuerdo a la Figura 5-10.

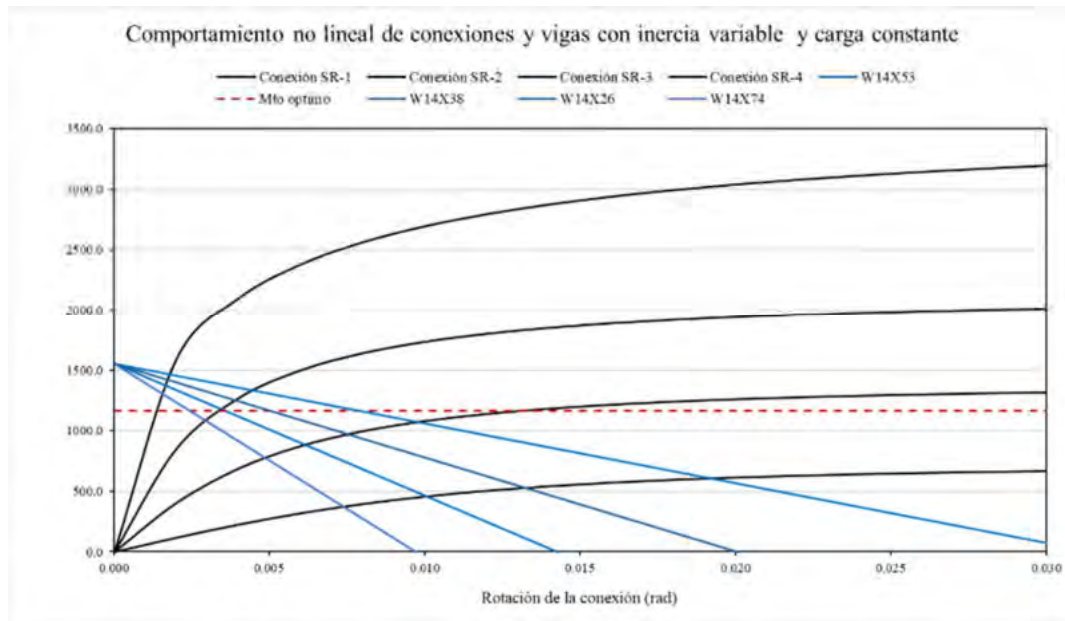


Figura 5-9: Comportamiento de conexiones con distintos tipos de viga y carga constante

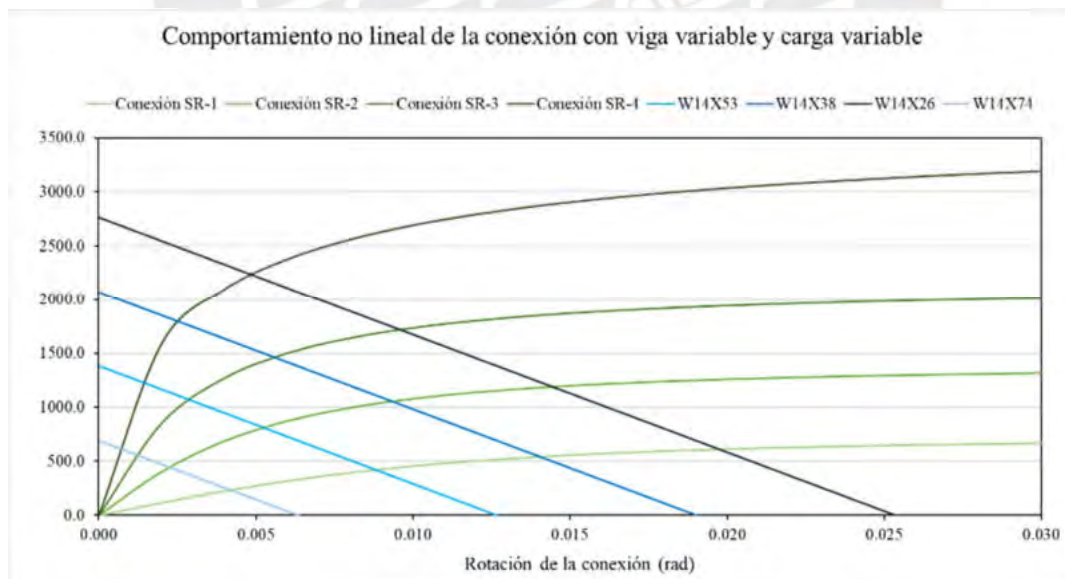


Figura 5-10: Comportamiento de conexiones con distintos tipos de viga carga gravitacional variable

## 5.2. Resultados de evaluación de pórticos

### 5.2.1. Peso de la estructura

Debido a la modificación del factor de zona  $Z$  el peso del pórtico varía ligeramente en un porcentaje menor a 2%, se e modifica el parámetro de suelo  $S$  el peso del pórtico no varía y lo que varía son los esfuerzos en los arriostres

La variación del peso de la estructura es polinómica en relación al grado de rigidez de la conexión dependiendo del tipo de conexión. Ver Figura 5-11

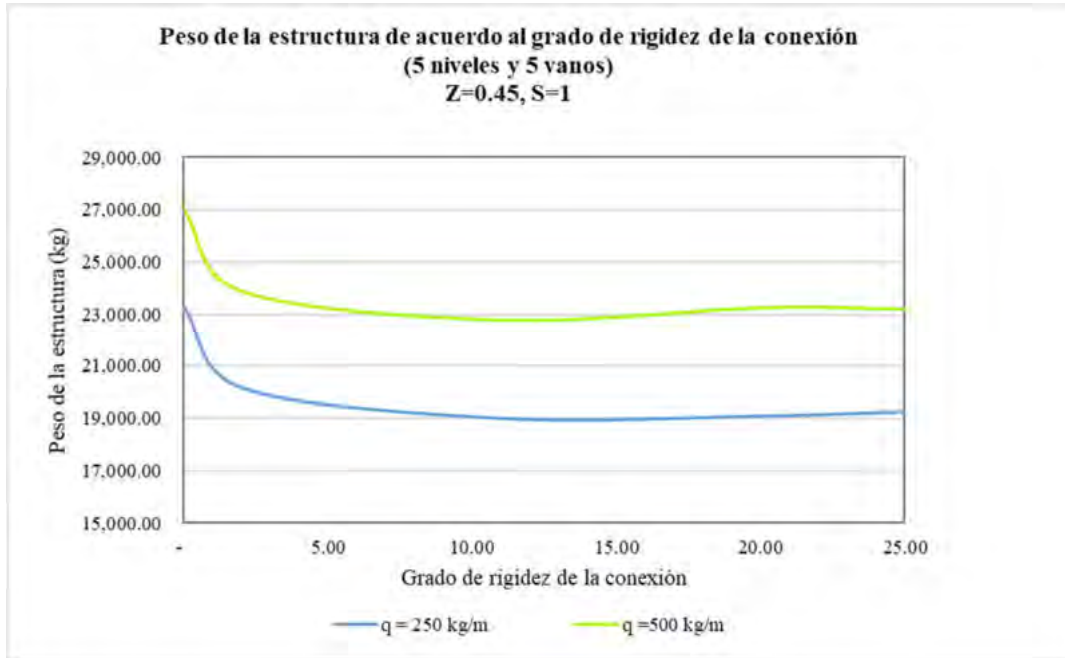


Figura 5-11: Variación del peso de la estructura de 5 niveles x 5 vanos en base al tipo de conexión y el esfuerzo de fluencia del material.

- ✓ Se puede observar en la Figura 5-12 y Figura 2-8 que la variación del peso en pórticos no es lineal y se parece mucho a la variación del momento en función del grado de rigidez. Cuando se tiene un grado de rigidez igual a 11, la curva comienza a decrecer y tiende a un límite horizontal.

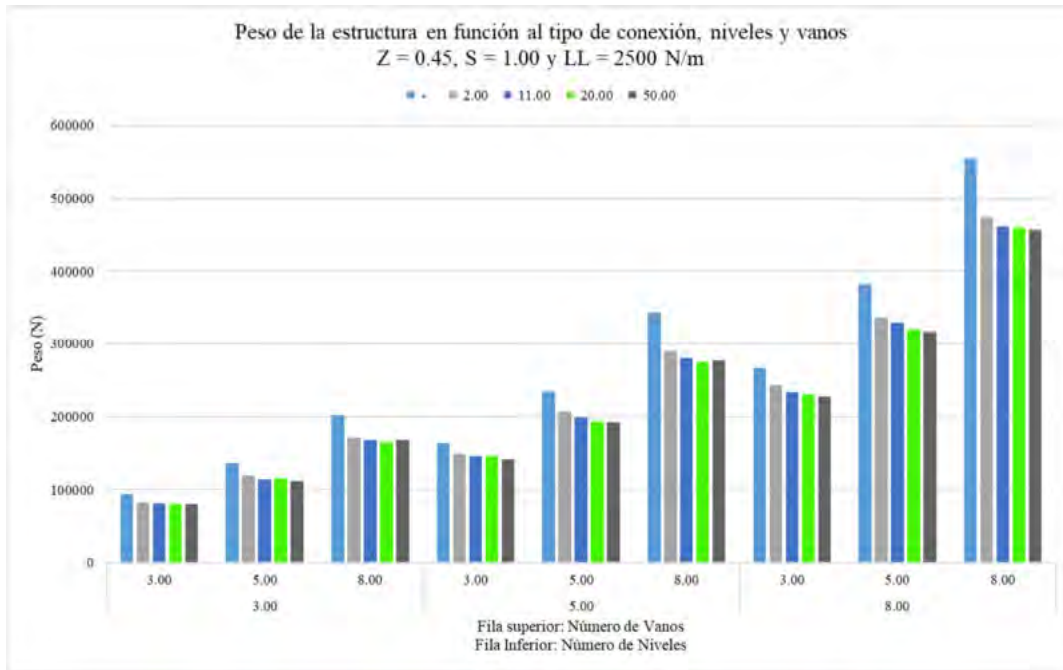
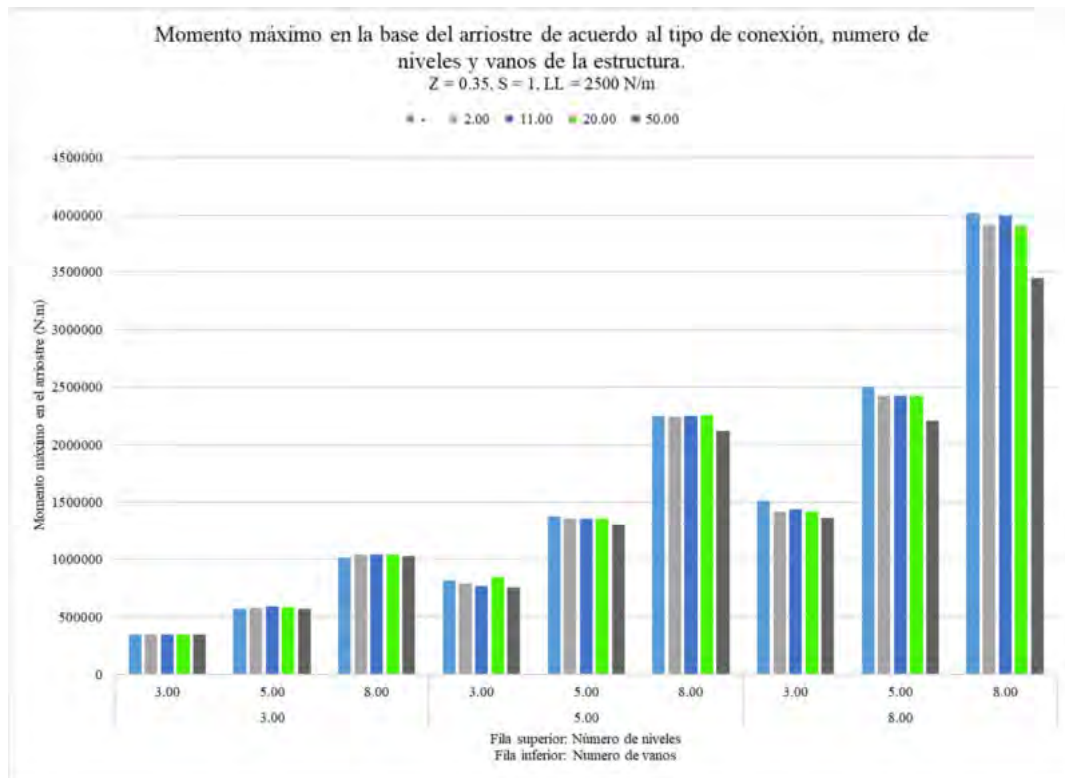


Figura 5-12: Peso de la estructura de acuerdo al grado de rigidez, numero de niveles y vanos

### 5.2.2. Momento máximo de la estructura

- ✓ Al utilizar las conexiones semi-rígidas, la energía de sismo se disipa en las conexiones y por lo tanto, el par sísmico transferido por los arriostres a su cimentación disminuye ver Figura 5-13. Cabe señalar que a mayor cantidad de conexiones semi-rígidas mayor es la reducción del momento sísmico en la base de los arriostres.
- ✓ Al reducir el momento sísmico en los arriostres, es posible reducir las dimensiones de las cimentaciones, lo cual sería un aporte adicional del uso de este tipo de conexiones.



*Figura 5-13: Momento sísmico en el arrioste de acuerdo al grado de rigidez y la geometría del pórtico*

### 5.2.3. Desplazamiento lateral último piso

- ✓ Se puede observar que a medida que se rigidizan las conexiones, el pórtico también se rigidiza y, por tanto, los desplazamientos relativos laterales disminuyen, por lo que cumplió los límites permisibles determinados en el artículo 31.- Determinación de Desplazamientos Laterales de la Norma E030 Diseño Sismo Resistente.

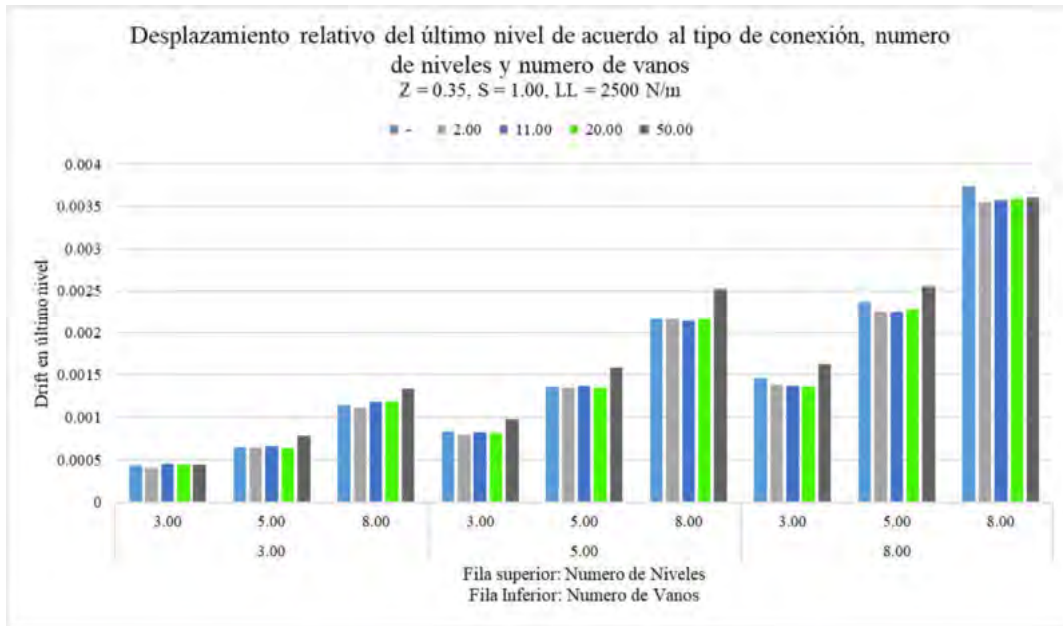


Figura 5-14: Desplazamiento relativo en último nivel según grado de rigidez y la geometría del pórtico

#### 5.2.4. Periodo de la estructura

- ✓ El periodo de la estructura disminuyó al incrementar la rigidez en los nodos.

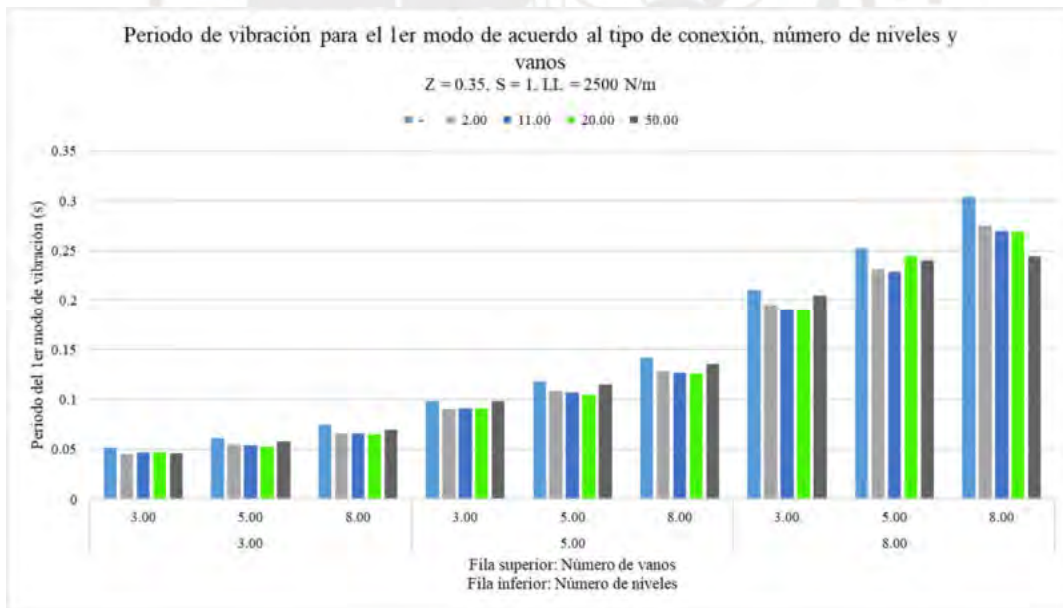


Figura 5-15: Periodo de la estructura de acuerdo al grado de rigidez y la geometría del pórtico

### 5.2.5. Ratio de esfuerzos axiales sobre los arriostres

- ✓ Las ratios de esfuerzos sobre los arriostres se mantienen similares para todos los tipos de conexión, esto permitió reducir los perfiles de arriostres.

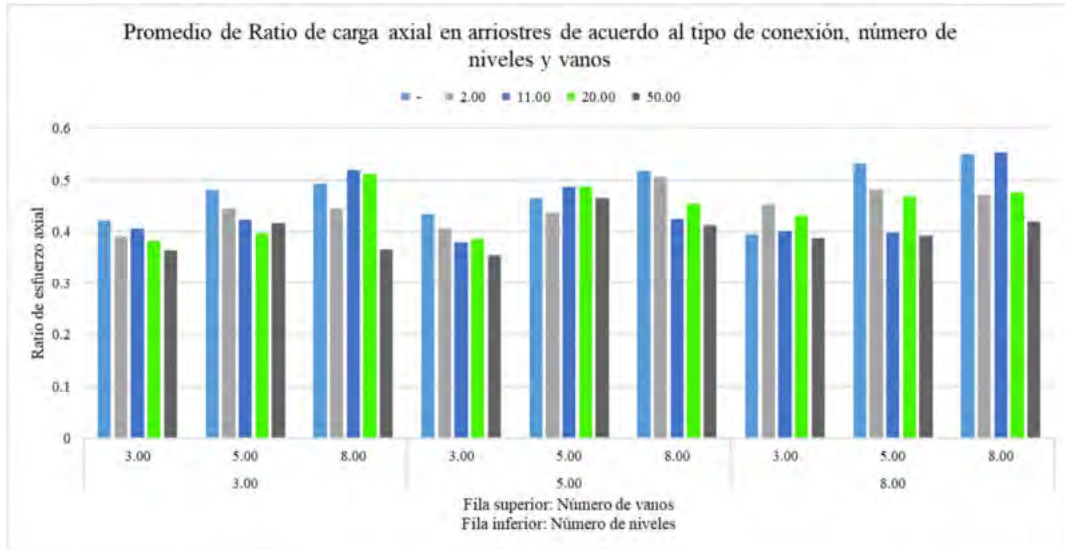


Figura 5-16: Ratios de esfuerzos axiales sobre los arriostres.

- ✓ En la figura se puede observar que los esfuerzos axiales de los arriostres son prácticamente constantes debido a que se tienen que verificar.

### 5.2.6. Esfuerzos sobre columnas

- ✓ El uso de conexiones simples permite que las columnas reciban solo carga axiales, sin embargo, cuando se incluye la rigidez de las conexiones, las columnas entre los arriostres desarrollan esfuerzos a flexión, que a manera que se incrementa la rigidez de la conexión se incrementa los esfuerzos a flexión sobre la columna. Ver Figura 5-20

### 5.3. Método simplificado para obtener el porcentaje de reducción del peso de la estructura utilizando conexiones semi-rígidas.

Para la estimación del peso de la estructura tomando en cuenta los efectos de conexión semi-rígida, es necesario incluir los esfuerzos en las vigas, arriostres y columnas, así como la distribución de los arriostres la longitud y la altura de la estructura. A diferencia de los pórticos su comportamiento es más predecible a medida que se aumentan el número de niveles o el número de vanos. En estructuras con arriostres en extremos, a medida que

se incorpora la rigidez en las vigas por la conexión, las vigas junto a los arriostres transmiten mayores esfuerzos de los arriostres.

### 5.3.1. Condiciones para la aplicación de fórmulas

Las fórmulas presentadas de acuerdo a la metodología propuesta solo son aplicables si cumplen las siguientes condiciones.

- ✓ El pórtico inicial se encuentra arriostrado en sus extremos.
- ✓ La geometría del pórtico debe estar contenida entre 3 niveles con 3 vanos hasta 8 niveles con 8 vanos arriostrados en sus extremos y procurar mantener la relación de dimensiones viga y columna

Porcentaje de peso de los elementos estructurales

- ✓ Porcentaje de peso de columnas entre 35% y 45%
- ✓ Porcentaje de peso de vigas entre 30% y 50%.
- ✓ Porcentaje de peso de arriostres entre 12% y 30%

Ratio de esfuerzos de elementos estructurales

- ✓ Ratio de esfuerzo en columnas entre 0.15 y 0.40.
- ✓ Ratio de esfuerzo en vigas entre 0.55 y 0.60.
- ✓ Ratio de esfuerzos en arriostres entre 0.40 y 0.50.

Se puede observar los valores con mayor detalle Figura 5-17, Figura 5-18, Figura 5-19, Figura 5-20, Figura 5-21.

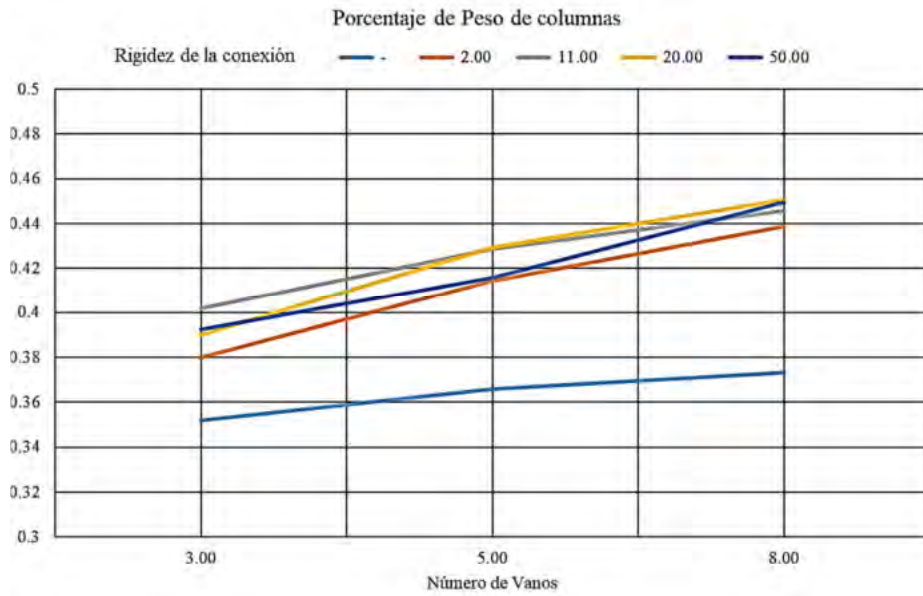


Figura 5-17: Porcentaje de peso de columnas (Elaboración propia)

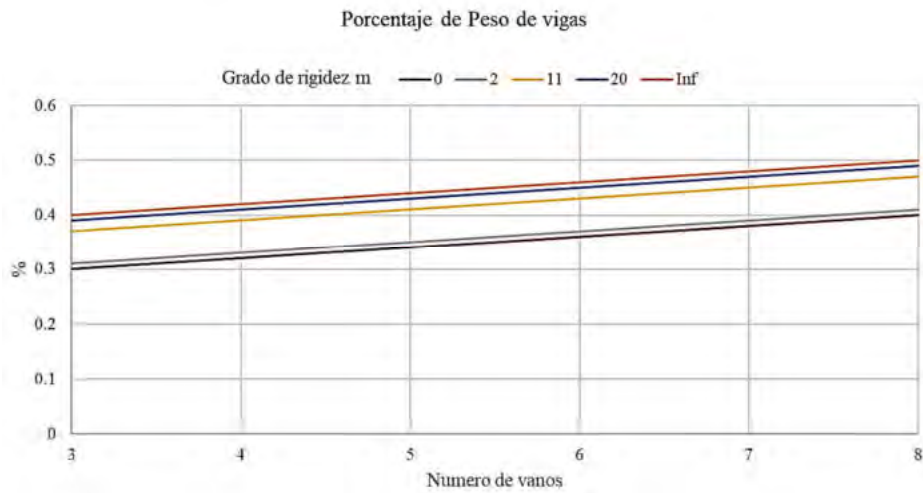


Figura 5-18: Porcentaje de peso de vigas (Elaboración propia)

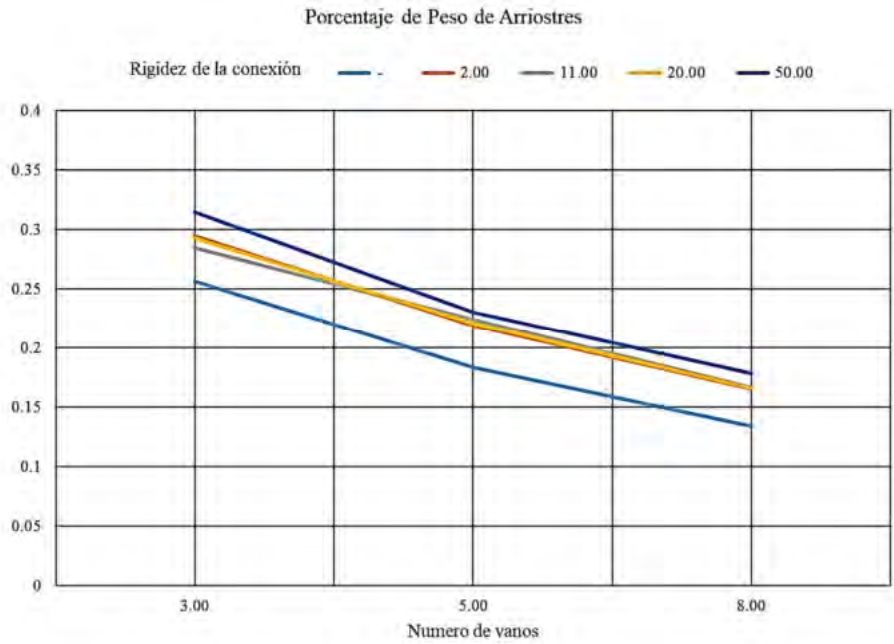


Figura 5-19: Porcentaje de peso de arriostres (Elaboración propia)

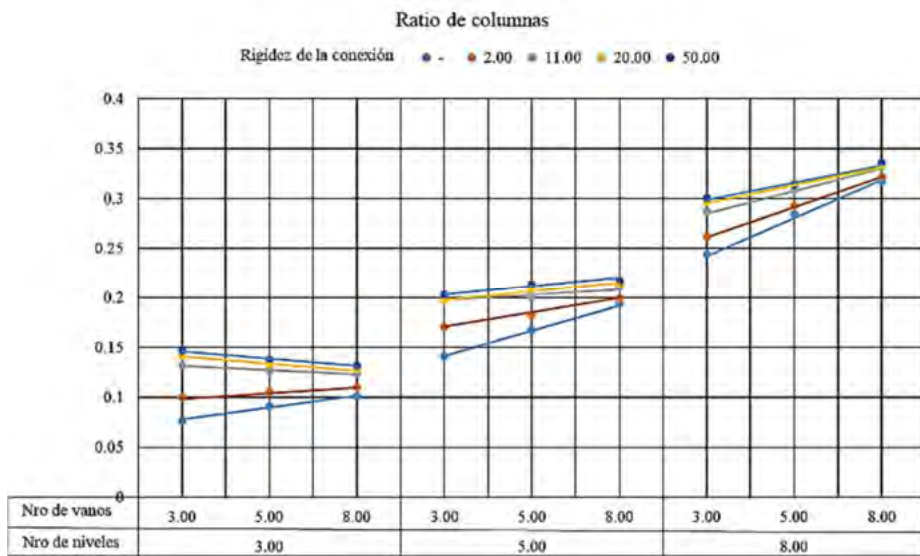


Figura 5-20: Ratio de columnas (Elaboración propia)

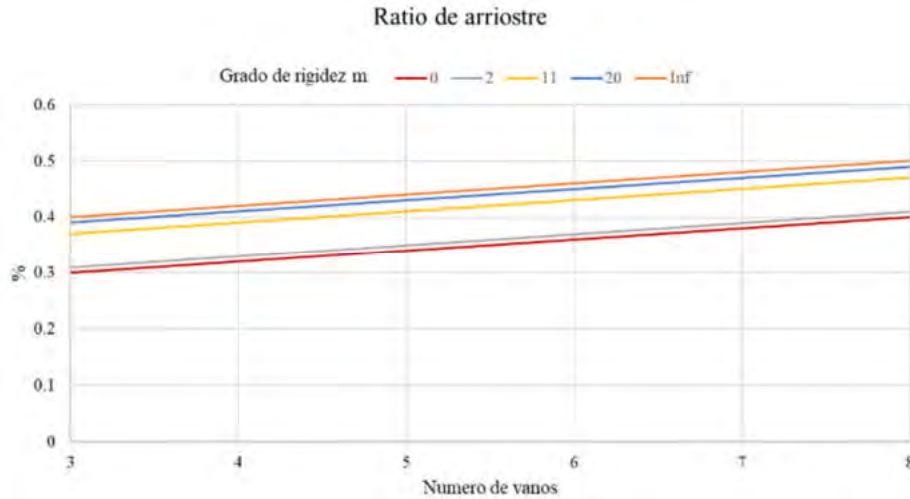


Figura 5-21: Ratio de arriostres (Elaboración propia)

### 5.3.2. Metodología

- ✓ Se debe tomar la data del pórtico arriostrado en sus extremos y vigas con conexiones simple.
- ✓ Se debe considerar la data de diseño inicial Z, S, Número de Niveles, Número de Vanos, Carga viva
- ✓ Definir el grado de rigidez de las conexiones a utilizar
- ✓ Con el uso de los valores de las figuras Figura 5-17, Figura 5-18, y Figura 5-19 determinar el ratio de los elementos estructurales esperado.
- ✓ Con el uso de los valores de las figuras Figura 5-20, Figura 5-21 determinar el porcentaje de peso de los elementos estructurales esperado.
- ✓ Finalmente aplicar las ecuaciones que se presentan a continuación

Para conexiones con  $m < 6$ , si el número de niveles o el número de vanos es menor o igual a 3 entonces el valor obtenido se multiplicará 1.3. y si el número de vanos es menor igual a 3 y el número de niveles es menor a 5 y mayor que 3, entonces el valor obtenido se multiplicará por 1.15.

#### a. Peso de la estructura (t)

$$\begin{aligned}
 P = & 1328 - 46.5 \cdot m + 10813.4 \cdot Z + 5245.7 \cdot S + 6315.7 \cdot nN + 1902 \cdot \\
 & nV + 31.6 \cdot w - 19709.8 \cdot RaCol - 9515.7 \cdot RaBr - 9693.5 \cdot PCol - \\
 & 17992.3 \cdot PBeam - 89308.7 \cdot PBr
 \end{aligned} \tag{35}$$

#### b. Momento máximo de la estructura (t.m)

$$\begin{aligned}
M_{max} = & -902979.9 - 204.6 \cdot m + 615694 \cdot Z + 427807 \cdot S + 47948.7 \cdot \\
& nN + 30477 \cdot nV + 300 \cdot w - 46971.7 \cdot RaCol + 168600.2 \cdot RaBr - 8809 \cdot \\
& PCol - 331507.9 \cdot PBeam - 408980 \cdot PBr
\end{aligned} \tag{36}$$

**c. Desplazamiento relativo en el último nivel**

$$\begin{aligned}
D_{rn} = & -0.01 - 1.5 \times 10^{-6} \cdot m + 0.00696 \cdot Z + 0.00509 \cdot S + 0.00037 \cdot nN + \\
& 0.000345 \cdot nV + 2.05 \times 10^{-6} \cdot w + 0.0046 \cdot RaCol + 0.0018 \cdot RaBr - \\
& 0.0032 \cdot PCol - 0.0022 \cdot PBeam - 0.0029 \cdot PBr
\end{aligned} \tag{37}$$

**d. Periodo fundamental de vibración de la estructura (s)**

$$\begin{aligned}
T_1 = & 0.015 - 1.04 \times 10^{-5} \cdot m + 0.024 \cdot Z + 0.017 \cdot S + 0.033 \cdot nN + 0.0041 \cdot \\
& nV + 0.0001 \cdot w + 0.09 \cdot RaCol - 0.020 \cdot RaBr - 0.15 \cdot PCol - 0.014 \cdot \\
& PBeam - 0.24 \cdot PBr
\end{aligned} \tag{38}$$

Donde  $m$  es el grado de rigidez de la conexión,  $Z$  es el parámetro de zona,  $S$  es el parámetro de clasificación del suelo,  $nN$  es el número de niveles del pórtico,  $nV$  es el número de vanos del pórtico,  $w$  es la carga viva, estos se aprecian en la Tabla 4-1: Parámetros de pórticos evaluados.

$RaCol$  es el ratio de esfuerzos en columnas,  $RaBr$  es el ratio de esfuerzos en arriostres,  $PCol$  es el porcentaje de peso de columnas,  $PBeam$  es el porcentaje de peso de vigas y  $PBr$  es el porcentaje de peso de arriostres y se obtienen de las Figuras 9 a la 13 en base al número de vanos, niveles y al grado de rigidez de la conexión.

Se analizó un pórtico de acero arriostrado en sus extremos con vigas simplemente apoyadas de manera convencional con herramienta computacional (CSI-2018) y se realiza el diseño de

### 5.4. Ejemplo ilustrativo 3

Se analizó un pórtico de acero arriostrado en sus extremos con vigas simplemente apoyadas de manera convencional con herramienta computacional (CSI-2018) y se realiza el diseño de elementos estructurales de acuerdo a ratios de diseño predefinidos.

Seguidamente, se analizó el mismo pórtico modificando el grado de rigidez de las conexiones que permite la reducción de momentos de diseño en las vigas, reduce los esfuerzos axiales en

arriostres y modifica los esfuerzos sobre las columnas, se verifica los ratios de diseño definidos en el método convencional.

Este método permite estimar el peso (t) y la respuesta del pórtico plano utilizando las fórmulas analíticas, con ayuda de los gráficos en las Figura 5-17 a la Figura 5-21. Y simplifica en análisis y diseño de pórticos con conexiones semi-rígidas en herramientas computacionales.

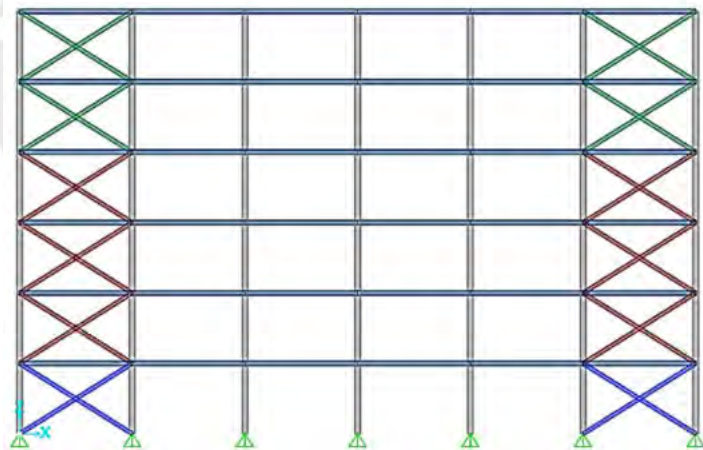
**a. Análisis de pórticos arriostrados con conexiones Semi-rígidas**

1. Pórtico inicial con conexiones simples

Se tiene un pórtico de acero arriostrado en sus extremos, con vigas simplemente apoyadas, apoyos simples, columnas W12x53, vigas 10x60 y Arriostres distribuidos de la siguiente manera Nivel 1 con perfiles W8x31, niveles del 2 al 4 con perfiles W8x24 y niveles del 5 al 6 con perfiles W8x21 y se ha diseñado en base a los parámetros indicados en la Tabla 5-9.

*Tabla 5-9: Datos de pórtico arriostrado de acero con conexiones simples*

Z	U	C	S	R	DL (kN/m)	LL (kN/m)	Altura nivel (m)	Longitud de vano (m)
0.45	1	2	1	7	1000	4000	3.75	6.00



*Figura 5-22: Pórtico de acero arriostrado de 6 niveles por 6 vanos (elaboración propia)*

Se realizó el análisis de la estructura tomando en cuenta las vigas liberadas de momentos flectores en el eje perpendicular al plano del pórtico y se obtienen los siguientes ratios de resistencia a carga axial y flexión.



Figura 5-23: Pórtico de acero arriostrado con ratios de esfuerzo axial y flexión con conexión simple (elaboración propia)

## 2. Pórtico inicial con conexiones semi-rígidas

Se reemplaza las conexiones simples por conexiones semi-rígidas y para ello, se realiza un predimensionamiento de la conexión con las cargas gravitacionales en servicio y la curva de momento rotación de la conexión. Para tal fin se utiliza el programa desarrollado para esta tesis.

Tabla 5-10: Propiedades de la viga de soporte

Viga	Fy	E	D	Lv	Iviga	Sx	Zx	DL	LL	Rigidez viga
	ksi	ksi	in	in	in <sup>4</sup>	in <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	kip/in	kip/in	
W14X53	50	29000	10	288	341	66.7	74.6	0.034	0.1344	34,336.81

Tabla 5-11: Propiedades geométricas de la conexión

Datos de la conexión	Ancho de tuerca W (in)	Angulo superior e inferior en alas				Angulo doble en alma			
		tt (in)	lt (in)	gct (in)	kt (in)	lw (in)	gcw (in)	kw (in)	tw (in)
Conexión SR-1 (simple)	0.875								
Conexión SR-3	0.875	0.500	8.0	2.5	1.250	8.0	2.5	1.250	0.500

Tabla 5-12: Propiedades mecánicas de la conexión.

Fy = 50 ksi	Mu kip.in	Rki kip.in/rad	n	DL + LL			Mto (+)
				Me	Rs	m	
Conexión SR-1 (simple)						-	
Conexión SR-3	1,664.03	309,018.38	1.46	1,089.62	174,617.84	5.09	2,652.55

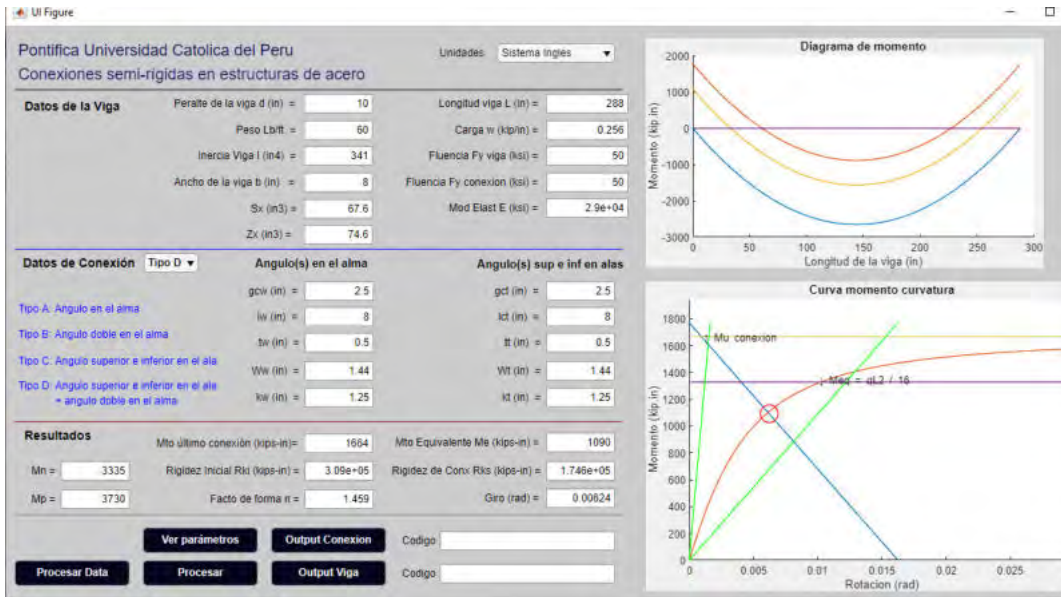


Figura 5-24: Programa Matlab para el cálculo de conexiones Semi-rígidas

Se consideró conexiones semi-rígidas con un grado de rigidez igual a 5 en carga de servicio y se obtiene los siguientes ratios de carga axial y flexión.

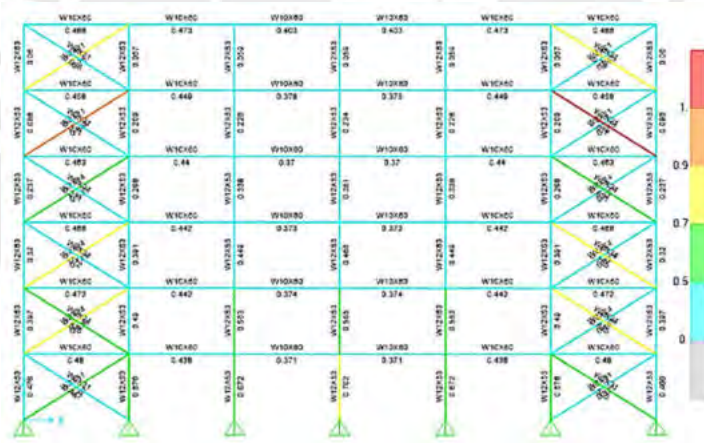


Figura 5-25: Pórtico de acero arriostrado con ratios de esfuerzo axial y flexión con conexión semi-rígida (elaboración propia)

### 3. Pórtico final con conexiones Semi-rígidas

El pórtico de acero arriostrado en sus extremos ahora tiene vigas con rigidez en las conexiones, mantiene los apoyos simples, columnas W12x53, vigas 10x45 y W10x39 y Arriostres distribuidos de la siguiente manera Nivel 1 con perfiles W8x31, niveles del 2 al 5 con perfiles W8x24 y el nivel 6 con perfiles W8x21 y los ratios de esfuerzo axial y de flexión se resumen en la Tabla 5-13 y se muestran en la Figura 5-26.

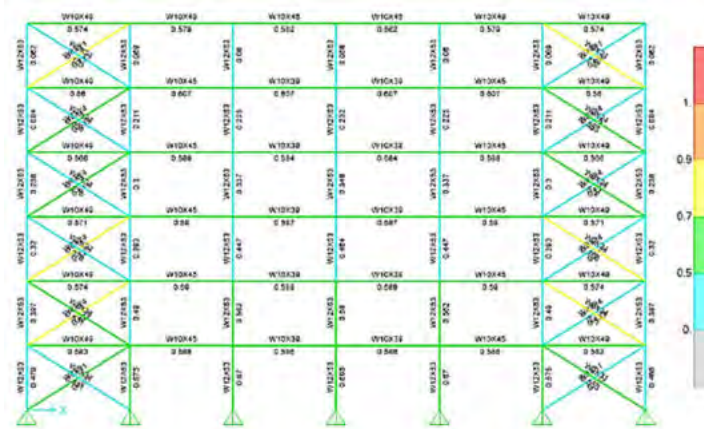


Figura 5-26: Pórtico de acero arriostrado con perfiles más livianos con ratios de esfuerzo axial y flexión con conexión semi-rígida (elaboración propia)

A continuación, se presenta la tabla resumen con ratios de esfuerzos en los elementos estructural y el peso de cada pórtico

Tabla 5-13: Ratios de esfuerzo para elementos estructurales

Descripción	Vigas	Columnas	Arriostres	Peso (t)
Conexión simple	0.56	0.33	0.51	37809.7
Semi-rígida sin optimizar	0.43	0.34	0.43	37809.7
Semi-rígida optimizado	0.58	0.34	0.48	33159.2

#### b. Datos para la aplicación del método simplificado

El primer paso para la estimación del peso del pórtico es determinar los datos de entrada para la metodología simplificada, los cuales se muestran en las seis primeras filas de la Tabla 5-14.

Con el número de vanos, niveles y el grado de rigidez de la conexión que se desea incluir en el pórtico se definen los porcentajes de pesos de columnas, vigas y arriostres y se obtienen de las Figs. 9 a 11. De la misma forma se define los ratios de resistencia de las Figs 12 y 13. Y Se definen los valores de la fila 7 a la 11 de la Tabla 5-14

Tabla 5-14: Datos de entrada para aplicación del Método Simplificado

Fila	Datos	Valor
1	Grado de rigidez Conexión	5.00
2	Factor de Zona Z	0.45
3	Clasificación del suelo S	1.05
4	Niveles	6.00

5	Vanos	6.00
6	Carga viva (Kn/m)	4000.00
7	Promedio de Ratio Columna	0.33
8	Promedio de Ratio Arriostres	0.46
9	% de Peso de Columnas	0.40
10	% de Peso de Viga	0.35
11	% de Peso de Arriostre	0.19

Luego de utilizar las fórmulas planteadas en base a los datos iniciales se obtiene la respuesta de la estructura aproximada. El peso (P), el Momento Máximo flector en la base (M), el desplazamiento relativo en el último nivel (D) y el periodo fundamental de la estructura (T). y se aprecian los resultados en la Tabla 5-15. Los cuales son similares a los resultados obtenidos mediante el proceso de cálculo mediante el herramienta computacional (CSI-2018).

*Tabla 5-15: Datos de pórtico arriostrado de acero con conexiones simples*

Propiedad	Conexiones Simples	Conexiones semi-rígidas		% Error	Variación	
		Herramienta computacional	Fórmula Propuesta		Herramienta computacional	Fórmula Propuesta
Peso del pórtico	37,690.00	33,159.20	34,149.40	2.90%	14%	10%
Momento máximo	364,230	272,749.00	268,990.60	1.40%	34%	35%
Periodo 1er Modo	0.199	0.184	0.174	5.80%	8%	14%
Drift último nivel	0.00387	0.0031	0.0033	6.46%	25%	17%

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### 4.1. CONCLUSIONES

Se desarrolló un programa en Matlab que permite graficar el comportamiento no lineal de las cuatro conexiones planteadas y calcular las propiedades mecánicas de la conexión (Anexo A), de igual forma se elaboró un programa en Matlab que permite incluir el comportamiento no lineal de la conexión en el programa Sap2000 para evaluar el pórtico con el Análisis de Método Directo y obtener su respuesta. Finalmente, del cálculo de 4832 casos de conexiones y 360 pórticos se puede decir que:

1. En conexiones con Ángulo Doble en el Alma (DWA) de longitud  $l_w$  entre 150 y 200 mm se tiene que, si se incrementa esta longitud  $l_w$  en 25 mm, el momento último  $M_u$  aumenta

- entre 27% a 36%; además, si se aumenta el espesor  $t_w$  al inmediato superior (6.25 – 7.81 – 9.25 – 12.5) mm,  $M_u$  aumenta entre 27% y 50%.
2. En conexiones con Ángulo Doble en el Alma (DWA) de longitud  $l_w$  entre 225 y 325 mm se tiene que, si se incrementa esta longitud en 25 mm, el momento último  $M_u$  aumenta entre 16% y 23%; además, si se considera el espesor  $t_w$  inmediato superior (6.25 – 7.81 – 9.25 – 12.5) mm, el  $M_u$  aumenta entre 27 y 50%.
  3. En conexiones con Ángulo Superior e Inferior en el Ala (TSFA) de longitud  $l_t$  entre 150 y 250 mm se tiene que, si se incrementa la longitud  $l_t$  del ángulo en 25 mm, el momento último  $M_u$  aumenta entre 25% y 33%; si se incrementa el espesor del ángulo de la conexión  $t_t$  al inmediato superior (6.25 – 7.81 – 9.25 – 12.5) mm,  $M_u$  aumenta entre 68% a 101%. Y si incrementamos el peralte de la viga  $D$  en 50 mm,  $M_u$  aumenta entre 13 y 10%.
  4. En conexiones con Ángulo Superior e Inferior con Doble Ángulo en el Alma (TSFA-DWA) con espesores iguales ( $t_w = t_t$ ) se tiene que, para vigas con peralte  $D$  entre 250 y 350 mm y  $l_w$  entre = 175 y 225 mm, el aporte de los ángulos superior e inferior es mayor en 10% a 40% mayor al aporte de los ángulos en el alma; y para vigas con peralte  $D$  mayor o igual a 350 mm y  $l_w \geq 250$  mm, el aporte de los ángulos en el alma de la viga es mayor en 1% a 25% mayor al aporte de los ángulos superior e inferior.
  5. Si el grado de rigidez de una conexión es  $m = 6$  ( $M^+ = M^-$ ), se observó que el diseño de la viga es eficiente y se obtiene el peso mínimo de la viga, sin embargo, si a un pórtico arriostrado en sus extremos con vigas con conexiones simples e incorporamos a los elementos viga-columna el grado de rigidez  $0 \leq m \leq 11$ , entonces, se puede reducir el peso de estructuras hasta en 20%. Pero, si el grado de rigidez es  $m > 11$ , se observó que el porcentaje de reducción del peso se observó que no supera el 22%.
  6. En pórticos arriostrados en sus extremos, al incrementar el grado de rigidez  $m$  de las conexiones, desde conexiones simples hasta rígidas, el incremento del ratio de esfuerzos a flexión y axial sobre las columnas es máximo 20%.
  7. El método simplificado propuesto para pórticos arriostrados con vigas que tienen conexiones simples estima las respuestas tales como el peso de la estructura, el momento sísmico, el drift en el último nivel y el periodo fundamental de vibración del pórtico con un margen de error menor a 10%.

#### a. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el comportamiento del pórtico y de la conexión tomando en cuenta los efectos de la estructura en tres dimensiones.

2. Realizar ensayos experimentales sobre otros tipos de conexiones que tienen diferente geometría como es el caso de plancha soldada al extremo de la viga y plancha soldada extendida al extremo de la viga y conectada a la columna con pernos.
3. Se debe actualizar la Norma E090. Estructuras de Acero tomando en cuenta el comportamiento de conexiones, su clasificación y el giro que deben desarrollar con la finalidad de permitir el comportamiento dúctil según los parámetros sísmicos de la Norma E030. Así también, actualizar la metodología de análisis no lineal y los criterios de estabilidad y utilizar el Análisis de Método Directo que utiliza el código AISC 360-16 vigente
4. Realizar un modelo y ensayos experimentales a escala real de un pórtico arriostrado en sus extremos con la finalidad de evaluar su comportamiento integral con conexiones semi-rígidas y compararlo con la metodología de Zona de Panel y la metodología de rótula plástica del programa Sap2000.
5. Cuando se realiza el análisis y diseño de estructuras de acero arriostradas y los desplazamientos relativos se encuentran al límite, es decir cerca de 0.01, entonces por el lado de seguridad se garantiza que los desplazamientos relativos no serán mayores a 0.01 porque en los modelos convencionales no se considera el aporte de rigidez de la conexión simple, que tal como se ha presentado en este trabajo de tesis, su aporte de rigidez influye directamente en la respuesta de la estructura.

## 5. REFERENCIAS

- 341-16, A. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois.
- Ahmed, A. (2017). Prediction of Moment-Rotation characteristic of top and seat angle bolted connection incorporating prying action. *Int J Adv Struct Eng*, 79-93. doi:DOI 10.1007/s40091-017-0150-4
- AISC. (2010). *AISC 360-16 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *AISC 360-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*.
- Arunraj, E., & Hemalatha, G. (2018). Performance Analysis of Semi-rigid connection over rigid and hinged connections. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 1749-1755.
- Aydin, A. C., Kilic, M., Maali, M., & Sagiroglu, M. (2015). Experimental assessment of the semi-rigid connections behaviour with angles and stiffeners. *ELSEVIER*, 10.
- Bahaz, A., Amara, S., Jaspert, J. P., & Demonceau, J. F. (2018). Analysis of the Behaviour of Semi Rigid Steel End Plate Connections. *MATEC Web of Conferences*. doi:https://doi.org/10.1051/mateconf/201814902058
- Chen, W. F. (2000). *Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design*. London: World Scientific.
- Chen, W. F., Kishi, N., & Komuro, M. (2011). *Semi-Rigid Connections Handbook*. Fort Lauderdale: J. Ross.
- Chen, W.-F., Goto, Y., & Liew, R. (1996). *Stability design of semirigid frames*. John Wiley & Sons Inc.
- CSI-2018. (n.d.). SAP2000 v17 CSI. Berkeley, CA, USA.
- Cuneyt Aydin, A., Kilic, M., Maali, M., & Sagiroglu, M. (n.d.). Experimental assessment of semi-rigid connections behaviour with angles and stiffeners.
- Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R. (2010). *Nonlinear structural analysis for seismic design. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4*.
- Del Savio, A. A., Nethercot, D. A., Vellasco, P. C., & Andrade, S. A. (1876-1895). Generalized component-based model for beam-to-column connections including axial versus moment interaction. *Journal of Constructional Steel Research*.
- Diaz, C., Marti, P., Victoria, M., & Querin, O. (2011). Review on the modelling of joint behaviour in steel frames. *ELSEVIER*, 741-758.
- Donswell, P. E., Brice, A., & Blain, B. (2010). An overview of lateral load resisting systems and how to implement them. *Steelwise*.
- Drucker, C. (2004). 30 Good Rules for Connection Design. *Modern Steel Construction*.

- E020, R. (2006). *Norma E.020 Cargas*. Lima.
- E030, R. (2006). *E030 Diseño Sismo Resistente*. Lima.
- E090, R. (2006). *Norma E090 Diseño Estructuras de Acero*. Lima.
- Faridmehr, I., Tahir, M., & Lahmer, T. (2016). Classification System for Semi-Rigid Beam-to-Column Connections. *Latin American Journal of Solids and Structures*. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1679-78252595>
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Technical report, American Society of Civil Engineers*. Washington, DC.
- Geschwindner, L. F., & Disque, R. O. (2005). Flexible Momento Connections for Unbraced Frames Subject to Lateral Forces - A Return to Simplicity. *ENGINEERING JOURNAL / SECOND QUARTER 2005-99*.
- Ghodajkar, V., & Sawant, R. (2018). A Review on Analysis of Steel Beam-Column Joint. *Journal of Structural Engineering its Applications and Analysis*, 33-40.
- Girao Coelho, A. M., & Bijlaard, F. (2007). Ductility oh High Performance Steel Momento Connections. *Advanced Steel Construction Vol. 3. No 4.*, pp 765 - 783.
- Gonzalez, A. P. (2009). *Analisis Comparativo de Métodos de Cálculo de Estructuras formadas por barras, considerando efectos de Segundo Orden*. Valdivia.
- Goverdhan, A. V. (1983). *A collection of experimental moment-rotation curves and evaluation of prediction equations for semi-rigid connections*. Nashville, TN.
- Griffis, L., & White, D. (2013). *AISC - 28 Steel Design Guide - Stability Design of Steel Buildings*.
- Hadianfard, M. A., & Razani, R. (2001). Effects of semi-rigid behavior of connections in the reliability. *ELSEVIER*.
- Hasan, M., Ashraf, M., & Uy, B. (2017). Moment Rotation behaviour of top-seat angle bolted connections produced from austenitic stainless steel. *ELSEVIER*, 149-161. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.05.014>
- Iu, C. K., Chen, W. F., Chan, S. L., & Ma, T. W. (2008). Direct Second Order Elastic Analysis for Steel Frame Design. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 379-389. doi:DOI 10.1007/s12205-008-0379-3
- Kartal, M. E. (2010). Effects of Semi-Rigid Connection on Structural Responses. *Electronic Journal of Structural Engineering (10)*.
- Kishi, N., & Chen, W. F. (1986a). *Steel Connection data bank program, Structural Engineering, CE-STR-86-18*. West Lafayette IN.
- Kishi, N., & Chen, W. F. (1986b). *Data Base of steel beam-to-column connections, Structural Engineering CE-STR 86-26*. West Lafayette, IN.

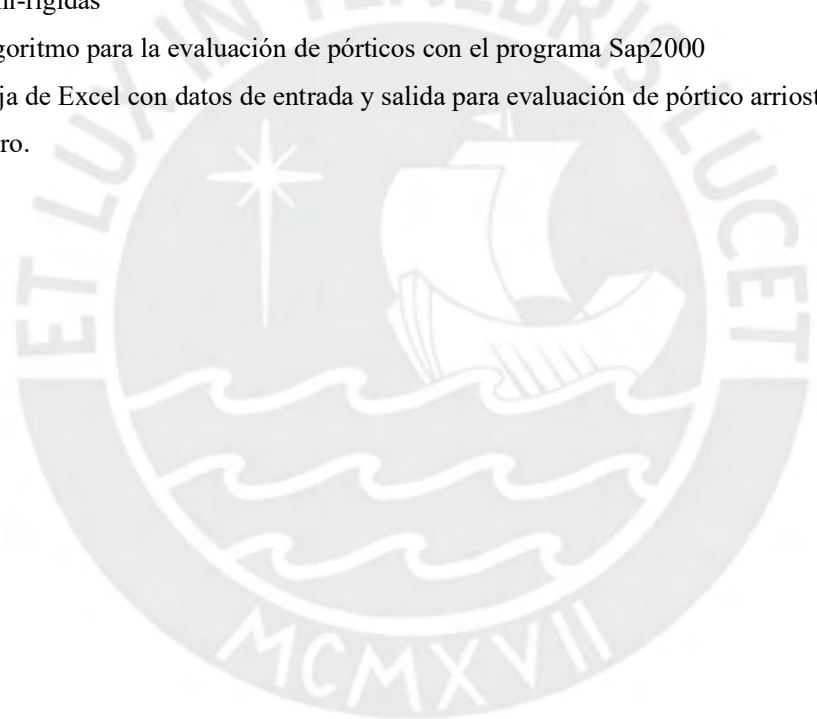
- Koirala, B., & Suwal, R. (2020). Seismic Performance Evaluation of Steel Frame Structure Considering Semi-rigid Connections. *American Journal of Sciences and Engineering Research*.
- Komuro, M., & Kishi, N. (2009). *Update of bolted semi-rigid connection database, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting*. CD-ROM.
- Lee, S.-S., & Moon, T.-S. (2001). *Momento-rotation model of semi-rigid connections with angles*. Seoul. doi:PII: S0141-0296(01)00066-9
- Livesley, R. K. (1964). *Matrix Methods of Structural Analysis*.
- Llatas, Y. D. (2018). *Desarrollo de Modelos Matemáticos para predecir el comportamiento de conexiones viga-columna tipo chapa frontal extendida basados en datos obtenidos mediante FEA*. Lima.
- Mathworks-2009. (n.d.). Inc. 2009 MATLAB and Statistics Toolbox Release 2009a. Natick, Massachusetts, USA.
- MATLAB. (2000).
- McGuire, W., Gallagher, R. H., & Ziemian, R. D. (2014). *Matrix Structural Analysis 2nd Edition*.
- Monforton, G. R. (1962). *Matrix Analysis of Frames with Semi-rigid Connections*. Ontario Canada.
- Nethercot, D. A. (1985). *Steel beam-to-column connections A review of test Data, CIRIA Project 338*. London.
- Prabha, P., Rekha, S., Marimuthu, V., Saravanan, M., Palani, G. S., & Surendram, M. (2015). Modified Frye-Morris polynomial model for double web-angle connections. 295-360. doi:DOI 10.1007/s40091-015-0100-y
- Sang-Sup, L., & Tae-Sup, M. (2001). Moment-rotation model of semi-rigid connections with angles. *ELSEVIER*.
- Shneur, V. (2006). 24 Tips for Simplifying Braced Frame Connections. *Modern Steel Construction*.
- Singh, R., & Lui, E. M. (2014). Design of PR Frames with Top and Seat angle Connections using the Direct Analysis Method. *Advanced Steel Construction Vol 10 No 2*, 116-138.
- Smitha, M. S., & Babu, S. (2014). Behaviour of Top and Seat Angle Semi-rigid Connections. *The Institution of Engineers*. doi:DOI 10.1007/s40030-014-0050-6
- Socrates, A., & Ruddy, J. L. (2000). Rules of Thumb for Steel Design. *North American Steel Construction Conference*.
- Turker, T., Kartal, M., Bayraktar, A., & Muvafik, M. (2009). Assessment of Semi-rigid connections in steel structures by modal testing. *ELSEVIER*, 1538-1542. doi:doi:10.1016/j.jcsr.2009.03.002

Vatin, N., Bagautdinov, R., & Andreew, K. (2014). Advanced Method For Semi-Rigid Joints Design.

Wang, F., Yang, J., & Pan, Z. (2020). Progressive collapse behaviour of steel framed substructures with various beam-column connections. *ELSEVIER*, 109.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104399>

## 6. ANEXOS

- A. Geometría y Propiedades Mecánicas de Conexiones Semi-rígidas.
- B. Algoritmo para el cálculo de propiedades mecánicas de cuatro tipos de conexiones semi-rígidas
- C. Algoritmo para la evaluación de pórticos con el programa Sap2000
- D. Hoja de Excel con datos de entrada y salida para evaluación de pórtico arriostrado de acero.



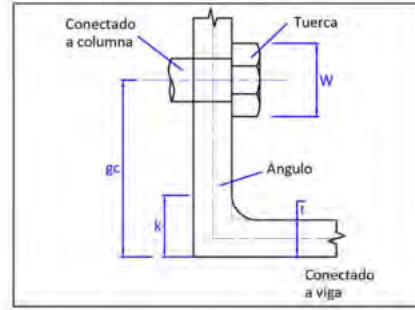
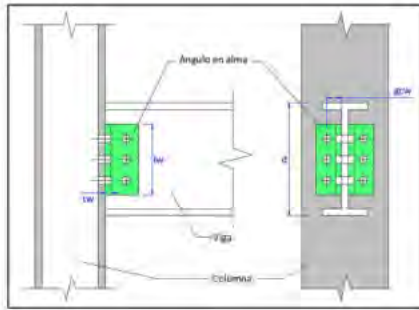
**A. GEOMETRÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONEXIONES SEMI-RÍGIDAS**





**TABLA 1A**  
**ÁNGULO DOBLE EN EL ALMA (DWA)**

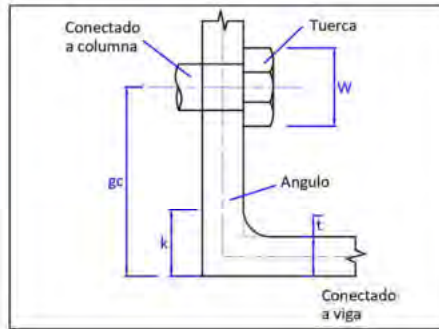
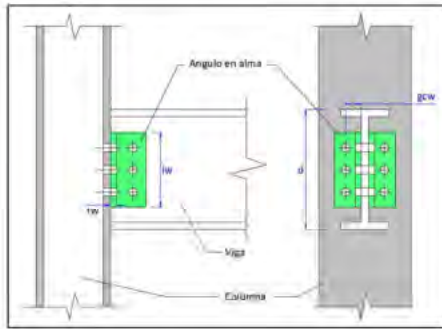
**Casos 160.00**  
**kips.in**



Angulo		D=3/4"	Mu		Rki		n	
lw	gc	tw	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	68.40	94.99	2,754.75	2,754.75	1.83	2.02
		0.31	90.76	126.05	6,127.80	6,127.80	1.53	1.72
		0.38	115.64	160.61	12,168.69	12,168.69	1.28	1.47
		0.50	173.89	241.51	39,301.17	39,301.17	0.84	1.03
	3.00	0.25	65.37	90.79	1,235.61	1,235.61	2.26	2.45
		0.31	85.74	119.08	2,619.40	2,619.40	1.99	2.18
		0.38	107.98	149.97	4,934.40	4,934.40	1.76	1.95
7.00	2.50	0.50	158.67	220.37	14,104.83	14,104.83	1.38	1.56
		0.25	93.09	129.30	4,094.29	4,094.29	1.78	1.97
		0.31	123.53	171.57	9,154.38	9,154.38	1.48	1.67
		0.38	157.40	218.61	18,271.61	18,271.61	1.22	1.41
	3.00	0.50	236.68	328.72	59,600.95	59,600.95	0.78	0.97
		0.25	88.97	123.57	1,763.10	1,763.10	2.24	2.43
		0.31	116.70	162.08	3,756.15	3,756.15	1.96	2.15
8.00	2.50	0.38	146.97	204.13	7,111.25	7,111.25	1.72	1.91
		0.50	215.97	299.95	20,535.11	20,535.11	1.34	1.53
		0.25	121.59	168.88	5,839.74	5,839.74	1.73	1.92
		0.31	161.34	224.09	13,105.69	13,105.69	1.43	1.62
	3.00	0.38	205.59	285.54	26,253.89	26,253.89	1.17	1.36
		0.50	309.13	429.35	86,243.92	86,243.92	0.72	0.91
		0.25	116.21	161.40	2,438.47	2,438.47	2.20	2.39
9.00	2.50	0.31	132.42	211.70	5,215.00	5,215.00	1.92	2.11
		0.38	191.96	266.62	9,911.50	9,911.50	1.69	1.88
		0.50	282.08	391.78	28,844.31	28,844.31	1.30	1.48
		0.25	153.89	213.74	8,049.13	8,049.13	1.68	1.87
	3.00	0.31	204.20	283.61	18,113.90	18,113.90	1.38	1.57
		0.38	260.19	361.38	36,384.15	36,384.15	1.12	1.30
		0.50	391.24	543.39	120,136.50	120,136.50	0.66	0.85
10.00	2.50	0.25	147.08	204.27	3,282.86	3,282.86	2.17	2.36
		0.31	192.91	267.93	7,042.07	7,042.07	1.89	2.08
		0.38	242.95	337.44	13,424.31	13,424.31	1.65	1.84
		0.50	357.01	495.84	39,301.17	39,301.17	1.25	1.44
	3.00	0.25	189.99	263.87	10,780.49	10,780.49	1.63	1.82
		0.31	252.10	350.14	24,311.17	24,311.17	1.33	1.52
		0.38	321.23	446.15	48,930.95	48,930.95	1.07	1.25
10.00	3.00	0.50	483.02	670.86	162,185.03	162,185.03	0.61	0.80
		0.25	181.58	252.19	4,317.43	4,317.43	2.13	2.32
		0.31	238.16	330.78	9,283.42	9,283.42	1.85	2.04
		0.38	299.94	416.59	17,738.85	17,738.85	1.61	1.80
		0.50	440.75	612.15	52,174.32	52,174.32	1.21	1.40

**TABLA 1B**  
**ÁNGULO DOBLE EN EL ALMA (DWA)**

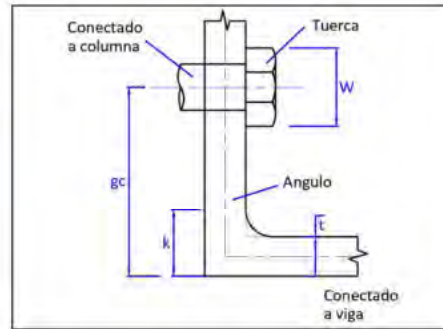
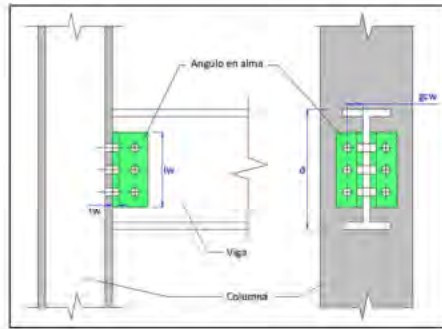
**Casos 160.00**  
**kips.in**



Angulo		D=3/4"	Mu		Rki		n	
lw	gc	tw	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
11.00	2.50	0.25	229.88	319.28	14,091.81	14,091.81	1.59	1.78
		0.31	305.04	423.67	31,829.63	31,829.63	1.28	1.47
		0.38	388.68	539.84	64,162.83	64,162.83	1.02	1.21
		0.50	584.45	811.74	213,295.83	213,295.83	0.56	0.75
	3.00	0.25	219.71	305.15	5,563.34	5,563.34	2.10	2.29
		0.31	288.17	400.24	11,985.12	11,985.12	1.81	2.00
		0.38	362.93	504.07	22,944.26	22,944.26	1.57	1.76
12.00	2.50	0.50	533.31	740.70	67,732.38	67,732.38	1.17	1.36
		0.25	273.58	379.97	18,041.11	18,041.11	1.55	1.74
		0.31	363.02	504.20	40,801.42	40,801.42	1.24	1.43
		0.38	462.57	642.45	82,348.33	82,348.33	0.98	1.17
	3.00	0.50	695.54	966.03	274,375.18	274,375.18	0.57	0.71
		0.25	261.47	363.15	7,041.72	7,041.72	2.06	2.25
		0.31	342.95	476.32	15,193.23	15,193.23	1.78	1.96
13.00	2.50	0.38	431.92	599.88	29,129.65	29,129.65	1.53	1.72
		0.50	634.68	881.50	86,243.92	86,243.92	1.13	1.32
		0.25	321.08	445.94	22,686.39	22,686.39	1.51	1.70
		0.31	426.05	591.73	51,358.69	51,358.69	1.20	1.39
	3.00	0.38	542.87	753.99	103,755.98	103,755.98	0.94	1.12
		0.50	816.30	1,133.75	346,329.37	346,329.37	0.57	0.67
		0.25	306.86	426.20	8,773.72	8,773.72	2.03	2.22
14.00	2.50	0.31	402.49	559.01	18,953.80	18,953.80	1.74	1.93
		0.38	506.90	704.03	36,384.15	36,384.15	1.50	1.69
		0.50	744.87	1,034.54	107,977.51	107,977.51	1.09	1.28
		0.25	372.38	517.19	28,085.65	28,085.65	1.47	1.66
	3.00	0.31	494.11	686.27	63,633.55	63,633.55	1.16	1.35
		0.38	629.60	874.45	128,654.32	128,654.32	0.90	1.09
		0.50	946.71	1,314.88	430,064.67	430,064.67	0.57	0.63
15.00	2.50	0.25	355.89	494.29	10,780.49	10,780.49	1.99	2.18
		0.31	466.79	648.32	23,312.88	23,312.88	1.71	1.90
		0.38	587.89	816.51	44,796.88	44,796.88	1.46	1.65
		0.50	863.87	1,199.82	133,201.70	133,201.70	1.06	1.25
	3.00	0.25	427.47	593.71	34,296.90	34,296.90	1.43	1.62
		0.31	567.22	787.81	77,758.15	77,758.15	1.13	1.32
		0.38	722.76	1,003.83	157,311.86	157,311.86	0.86	1.05
15.00	3.00	0.50	1,086.79	1,509.43	526,487.33	526,487.33	0.57	0.59
		0.25	408.54	567.42	13,083.16	13,083.16	1.96	2.15
		0.31	535.86	744.25	28,316.52	28,316.52	1.67	1.86
		0.38	674.87	937.32	54,456.93	54,456.93	1.43	1.62
		0.50	991.69	1,377.34	162,185.03	162,185.03	1.03	1.21

**TABLA 1C**  
**ÁNGULO DOBLE EN EL ALMA (DWA)**

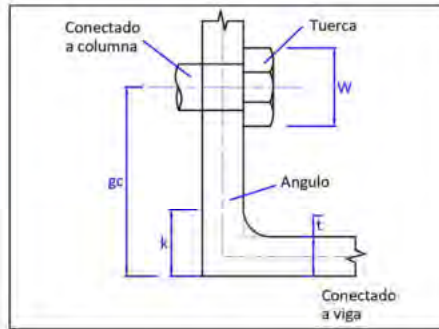
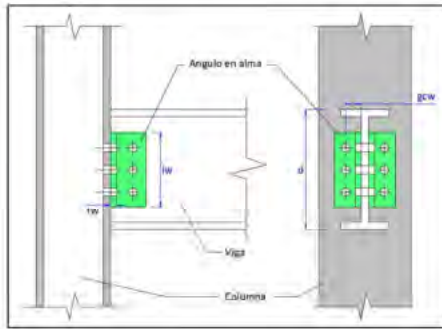
**Casos** 160.00  
kips.in



Angulo		D=1"	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
lw	gc	tw	Mu	Mu	Rki	Rki	n	n
6.00	2.50	0.25	68.40	94.99	4,185.16	4,185.16	1.59	1.78
		0.31	90.76	126.05	9,595.01	9,595.01	1.28	1.46
		0.38	115.64	160.61	19,709.12	19,709.12	1.00	1.19
	3.00	0.50	173.89	241.51	69,048.06	69,048.06	0.57	0.70
		0.25	65.37	90.79	1,601.41	1,601.41	2.12	2.30
		0.31	85.74	119.08	3,443.56	3,443.56	1.83	2.02
7.00	2.50	0.38	107.98	149.97	6,588.07	6,588.07	1.59	1.78
		0.50	158.67	220.37	19,507.73	19,507.73	1.19	1.38
		0.25	93.09	129.30	6,315.71	6,315.71	1.53	1.72
	3.00	0.31	123.53	171.57	14,551.01	14,551.01	1.21	1.40
		0.38	157.40	218.61	30,033.20	30,033.20	0.94	1.13
		0.50	236.68	328.72	106,185.19	106,185.19	0.57	0.63
8.00	2.50	0.25	88.97	123.57	2,319.60	2,319.60	2.08	2.27
		0.31	116.70	162.08	5,013.45	5,013.45	1.79	1.98
		0.38	146.97	204.13	9,640.99	9,640.99	1.55	1.74
	3.00	0.50	215.97	299.95	28,844.31	28,844.31	1.14	1.33
		0.25	121.59	168.88	9,107.29	9,107.29	1.47	1.66
		0.31	161.34	224.09	21,055.64	21,055.64	1.16	1.34
9.00	2.50	0.38	205.59	285.54	43,605.06	43,605.06	0.88	1.06
		0.50	309.13	429.35	155,148.86	155,148.86	0.57	0.57
		0.25	116.21	161.40	3,245.57	3,245.57	2.04	2.23
	3.00	0.31	152.42	211.70	7,042.07	7,042.07	1.75	1.94
		0.38	191.96	266.62	13,594.58	13,594.58	1.51	1.69
		0.50	282.08	391.78	40,985.98	40,985.98	1.09	1.28
10.00	2.50	0.25	153.89	213.74	12,654.37	12,654.37	1.42	1.61
		0.31	204.20	283.61	29,330.20	29,330.20	1.10	1.29
		0.38	260.19	361.38	60,888.75	60,888.75	0.82	1.01
	3.00	0.50	391.24	543.39	217,628.78	217,628.78	0.57	0.57
		0.25	147.08	204.27	4,409.05	4,409.05	2.00	2.19
		0.31	192.91	267.93	9,595.01	9,595.01	1.71	1.90
10.00	2.50	0.38	242.95	337.44	18,577.64	18,577.64	1.46	1.65
		0.50	357.01	495.84	56,333.76	56,333.76	1.05	1.23
		0.25	189.99	263.87	17,051.40	17,051.40	1.37	1.56
	3.00	0.31	252.10	350.14	39,595.95	39,595.95	1.05	1.24
		0.38	321.23	446.15	82,348.33	82,348.33	0.77	0.96
		0.50	483.02	670.86	295,314.59	295,314.59	0.57	0.57
10.00	2.50	0.25	181.58	252.19	5,839.74	5,839.74	1.96	2.15
		0.31	238.16	330.78	12,737.87	12,737.87	1.67	1.86
		0.38	299.94	416.59	24,718.92	24,718.92	1.42	1.61
	3.00	0.50	440.75	612.15	75,288.58	75,288.58	1.00	1.19

**TABLA 1D**  
**ÁNGULO DOBLE EN EL ALMA (DWA)**

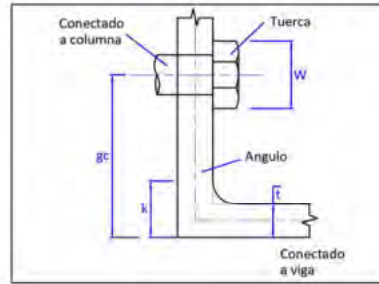
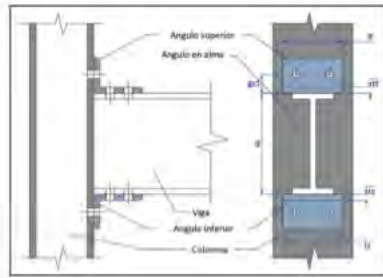
**Casos 160.00**  
**kips.in**



Angulo		D=1"	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
lw	gc	tw	Mu	Mu	Rki	Rki	n	n
11.00	2.50	0.25	229.88	319.28	22,392.83	22,392.83	1.32	1.32
		0.31	305.04	423.67	52,074.18	52,074.18	1.00	1.00
		0.38	388.68	539.84	108,447.80	108,447.80	0.72	0.72
	3.00	0.50	584.45	811.74	389,895.94	389,895.94	0.57	0.57
		0.25	219.71	305.15	7,567.36	7,567.36	1.92	1.92
		0.31	288.17	400.24	16,536.22	16,536.22	1.63	1.63
		0.38	362.93	504.07	32,147.18	32,147.18	1.38	1.38
12.00	2.50	0.50	533.31	740.70	98,251.36	98,251.36	0.96	0.96
		0.25	273.58	379.97	28,773.12	28,773.12	1.28	1.28
		0.31	363.02	504.20	66,986.13	66,986.13	0.96	0.96
	3.00	0.38	462.57	642.45	139,651.19	139,651.19	0.67	0.67
		0.50	695.54	966.03	503,062.41	503,062.41	0.57	0.57
		0.25	261.47	363.15	9,621.60	9,621.60	1.88	1.88
		0.31	342.95	476.32	21,055.64	21,055.64	1.59	1.59
13.00	2.50	0.38	431.92	599.88	40,991.15	40,991.15	1.34	1.34
		0.50	634.68	881.50	125,622.95	125,622.95	0.92	0.92
		0.25	321.08	445.94	36,286.71	36,286.71	1.24	1.24
	3.00	0.31	426.05	591.73	84,553.07	84,553.07	0.91	0.91
		0.38	542.87	753.99	176,422.51	176,422.51	0.63	0.63
		0.50	816.30	1,133.75	636,503.61	636,503.61	0.57	0.57
		0.25	306.86	426.20	12,032.17	12,032.17	1.85	1.85
14.00	2.50	0.31	402.49	559.01	26,361.70	26,361.70	1.55	1.55
		0.38	506.90	704.03	51,379.54	51,379.54	1.30	1.30
		0.50	744.87	1,034.54	157,804.23	157,804.23	0.88	0.88
	3.00	0.25	372.38	517.19	45,028.04	45,028.04	1.20	1.20
		0.31	494.11	686.27	104,996.26	104,996.26	0.88	0.88
		0.38	629.60	874.45	219,225.77	219,225.77	0.59	0.59
		0.50	946.71	1,314.88	791,909.13	791,909.13	0.57	0.57
15.00	2.50	0.25	355.89	494.29	14,828.78	14,828.78	1.81	1.81
		0.31	466.79	648.32	32,519.95	32,519.95	1.52	1.52
		0.38	587.89	816.51	63,441.10	63,441.10	1.26	1.26
	3.00	0.50	863.87	1,199.82	195,196.03	195,196.03	0.84	0.84
		0.25	427.47	593.71	55,091.56	55,091.56	1.16	1.16
		0.31	567.22	787.81	128,536.95	128,536.95	0.84	0.84
		0.38	722.76	1,003.83	268,524.96	268,524.96	0.55	0.55
16.00	2.50	0.50	1,086.79	1,509.43	970,968.55	970,968.55	0.57	0.57
		0.25	408.54	567.42	18,041.11	18,041.11	1.78	1.78
		0.31	535.86	744.25	39,595.95	39,595.95	1.48	1.48
	3.00	0.38	674.87	937.32	77,304.52	77,304.52	1.23	1.23
		0.50	991.69	1,377.34	238,199.21	238,199.21	0.80	0.80

**TABLA 2A**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

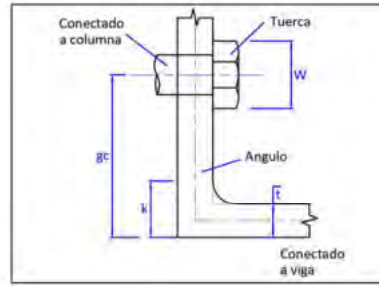
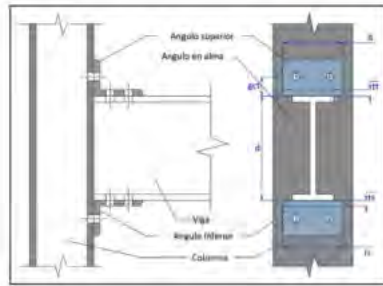
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W10					
lt	gcf		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	71.09	98.73	13,115.48	13,115.48	1.53	1.82
		0.31	120.50	167.36	27,106.45	27,106.45	1.36	1.64
		0.38	188.07	261.21	49,478.18	49,478.18	1.22	1.51
		0.50	378.23	525.33	130,099.52	130,099.52	0.99	1.28
	3.00	0.25	51.38	71.36	6,209.37	6,209.37	1.90	2.18
		0.31	85.10	118.19	12,728.40	12,728.40	1.71	2.00
8.00	2.50	0.38	130.18	180.81	23,060.69	23,060.69	1.57	1.85
		0.50	261.39	363.04	59,888.08	59,888.08	1.34	1.63
		0.25	94.78	131.64	17,487.30	17,487.30	1.53	1.82
		0.31	160.67	223.15	36,141.94	36,141.94	1.36	1.64
	3.00	0.38	250.76	348.28	65,970.90	65,970.90	1.22	1.51
		0.50	504.31	700.43	173,466.03	173,466.03	0.99	1.28
		0.25	68.50	95.14	8,279.16	8,279.16	1.90	2.18
		0.31	113.46	157.59	16,971.20	16,971.20	1.71	2.00
		0.38	173.58	241.08	30,747.59	30,747.59	1.57	1.85
		0.50	348.52	484.05	79,850.78	79,850.78	1.34	1.63
10.00	2.50	0.25	118.48	164.55	21,859.13	21,859.13	1.53	1.82
		0.31	200.83	278.94	45,177.42	45,177.42	1.36	1.64
		0.38	313.45	435.35	82,463.63	82,463.63	1.22	1.51
		0.50	630.39	875.54	216,832.54	216,832.54	0.99	1.28
	3.00	0.25	85.63	118.93	10,348.95	10,348.95	1.90	2.18
		0.31	141.83	196.99	21,213.99	21,213.99	1.71	2.00
		0.38	216.97	301.35	38,434.49	38,434.49	1.57	1.85
		0.50	435.65	605.06	99,813.47	99,813.47	1.34	1.63

**TABLA 2B**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

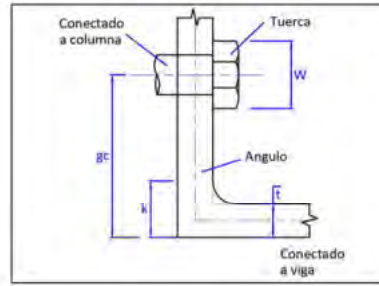
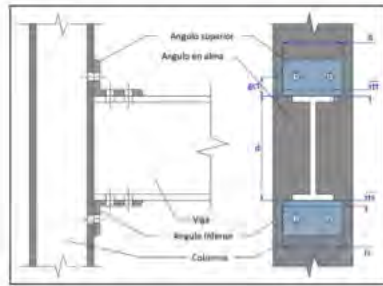
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W12					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	83.06	115.36	18,733.05	18,733.05	1.36	1.64
		0.31	140.79	195.54	38,640.01	38,640.01	1.19	1.47
		0.38	219.72	305.16	70,392.74	70,392.74	1.05	1.34
	3.00	0.50	441.67	613.43	184,381.41	184,381.41	0.82	1.11
		0.25	59.68	82.89	8,868.94	8,868.94	1.72	2.01
		0.31	98.85	137.29	18,144.22	18,144.22	1.54	1.82
8.00	2.50	0.38	151.22	210.03	32,808.52	32,808.52	1.39	1.68
		0.50	303.58	421.64	84,875.40	84,875.40	1.17	1.46
		0.25	110.74	153.81	24,977.40	24,977.40	1.36	1.64
	3.00	0.31	187.72	260.72	51,520.02	51,520.02	1.19	1.47
		0.38	292.95	406.88	93,856.99	93,856.99	1.05	1.34
		0.50	588.89	817.90	245,841.88	245,841.88	0.82	1.11
10.00	2.50	0.25	79.57	110.52	11,825.26	11,825.26	1.72	2.01
		0.31	131.80	183.06	24,192.29	24,192.29	1.54	1.82
		0.38	201.63	280.03	43,744.69	43,744.69	1.39	1.68
	3.00	0.50	404.77	562.19	113,167.20	113,167.20	1.17	1.46
		0.25	138.43	192.26	31,221.75	31,221.75	1.36	1.64
		0.31	234.65	325.90	64,400.02	64,400.02	1.19	1.47
	3.00	0.38	366.19	508.60	117,321.24	117,321.24	1.05	1.34
		0.50	736.11	1,022.38	307,302.35	307,302.35	0.82	1.11
		0.25	99.47	138.15	14,781.57	14,781.57	1.72	2.01
		0.31	164.75	228.82	30,240.36	30,240.36	1.54	1.82
		0.38	252.03	350.04	54,680.86	54,680.86	1.39	1.68
		0.50	505.97	702.73	141,459.00	141,459.00	1.17	1.46

**TABLA 2C**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

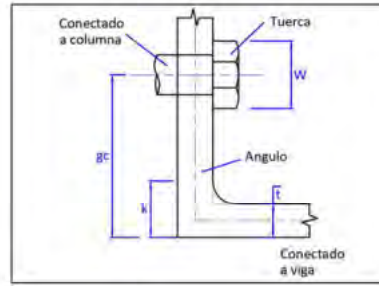
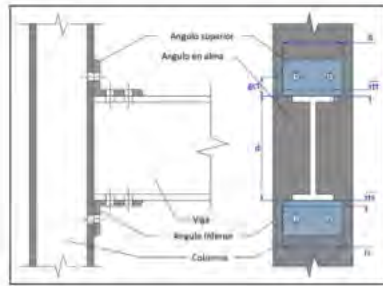
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W14					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	95.03	131.98	25,349.30	25,349.30	1.21	1.50
		0.31	161.08	223.72	52,212.66	52,212.66	1.04	1.33
		0.38	251.36	349.11	94,984.60	94,984.60	0.91	1.19
		0.50	505.10	701.53	248,103.63	248,103.63	0.68	0.97
	3.00	0.25	67.98	94.42	12,001.33	12,001.33	1.57	1.86
		0.31	112.60	156.39	24,517.53	24,517.53	1.39	1.67
8.00	2.50	0.38	172.25	239.24	44,270.24	44,270.24	1.24	1.53
		0.50	345.77	480.24	114,208.34	114,208.34	1.02	1.31
		0.25	126.70	175.98	33,799.07	33,799.07	1.21	1.50
		0.31	214.77	298.29	69,616.88	69,616.88	1.04	1.33
	3.00	0.38	335.15	465.48	126,646.13	126,646.13	0.91	1.19
		0.50	673.47	935.37	330,804.84	330,804.84	0.68	0.97
		0.25	90.64	125.89	16,001.77	16,001.77	1.57	1.86
		0.31	150.14	208.52	32,690.04	32,690.04	1.39	1.67
		0.38	229.67	318.99	59,026.99	59,026.99	1.24	1.53
		0.50	461.03	640.32	152,277.78	152,277.78	1.02	1.31
10.00	2.50	0.25	158.38	219.97	42,248.84	42,248.84	1.21	1.50
		0.31	268.46	372.86	87,021.09	87,021.09	1.04	1.33
		0.38	418.93	581.85	158,307.66	158,307.66	0.91	1.19
	3.00	0.50	841.83	1,169.21	413,506.04	413,506.04	0.68	0.97
		0.25	113.31	157.37	20,002.22	20,002.22	1.57	1.86
		0.31	187.67	260.65	40,862.56	40,862.56	1.39	1.67
		0.38	287.09	398.73	73,783.73	73,783.73	1.24	1.53
		0.50	576.29	800.40	190,347.23	190,347.23	1.02	1.31

**TABLA 2D**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

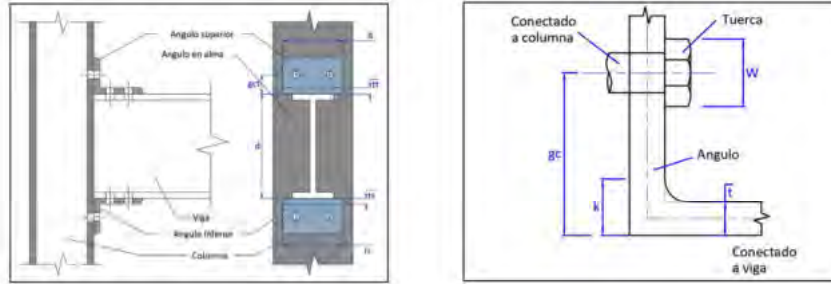
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W16					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	107.00	148.61	32,964.24	32,964.24	1.09	1.37
		0.31	181.36	251.89	67,824.38	67,824.38	0.92	1.20
		0.38	283.01	393.06	123,253.73	123,253.73	0.78	1.07
		0.50	568.53	789.63	321,266.17	321,266.17	0.83	0.84
	3.00	0.25	76.29	105.95	15,606.53	15,606.53	1.44	1.73
		0.31	126.35	175.49	31,848.34	31,848.34	1.26	1.55
0.38		193.29	268.45	57,445.87	57,445.87	1.12	1.40	
8.00	2.50	0.25	142.67	198.15	43,952.32	43,952.32	1.09	1.37
		0.31	241.82	335.86	90,432.51	90,432.51	0.92	1.20
		0.38	377.34	524.08	164,338.31	164,338.31	0.78	1.07
		0.50	758.04	1,052.84	428,354.89	428,354.89	0.83	0.84
	3.00	0.25	101.71	141.27	20,808.71	20,808.71	1.44	1.73
		0.31	168.47	233.99	42,464.46	42,464.46	1.26	1.55
0.38		257.72	357.94	76,594.49	76,594.49	1.12	1.40	
10.00	2.50	0.25	178.33	247.68	54,940.40	54,940.40	1.09	1.37
		0.31	302.27	419.82	113,040.64	113,040.64	0.92	1.20
		0.38	471.68	655.11	205,422.89	205,422.89	0.78	1.07
		0.50	947.55	1,316.04	535,443.62	535,443.62	0.83	0.84
	3.00	0.25	127.14	176.59	26,010.88	26,010.88	1.44	1.73
		0.31	210.59	292.49	53,080.57	53,080.57	1.26	1.55
0.38		322.15	447.42	95,743.11	95,743.11	1.12	1.40	
		0.50	646.61	898.07	246,478.16	246,478.16	0.90	1.19

**TABLA 2E**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

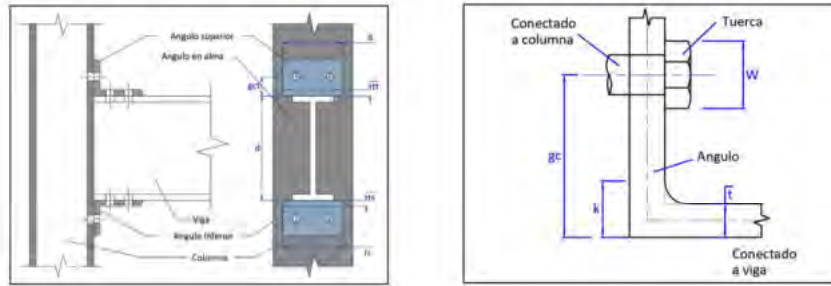
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W18					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	118.97	165.24	41,577.85	41,577.85	0.98	1.26
		0.31	201.65	280.07	85,475.19	85,475.19	0.81	1.09
		0.38	314.65	437.02	155,200.16	155,200.16	0.68	0.96
	3.00	0.50	631.96	877.73	403,869.04	403,869.04	0.83	0.74
		0.25	84.59	117.48	19,684.54	19,684.54	1.33	1.62
		0.31	140.11	194.59	40,136.64	40,136.64	1.15	1.43
8.00	2.50	0.38	214.32	297.67	72,335.40	72,335.40	1.01	1.29
		0.50	430.16	597.45	185,911.07	185,911.07	0.79	1.08
		0.25	158.63	220.32	55,437.14	55,437.14	0.98	1.26
	3.00	0.31	268.87	373.43	113,966.92	113,966.92	0.81	1.09
		0.38	419.53	582.69	206,933.55	206,933.55	0.68	0.96
		0.50	842.62	1,170.30	538,492.06	538,492.06	0.83	0.74
10.00	2.50	0.25	112.79	156.65	26,246.06	26,246.06	1.33	1.62
		0.31	186.81	259.45	53,515.53	53,515.53	1.15	1.43
		0.38	285.76	396.89	96,447.19	96,447.19	1.01	1.29
	3.00	0.50	573.55	796.60	247,881.43	247,881.43	0.79	1.08
		0.25	198.28	275.39	69,296.42	69,296.42	0.98	1.26
		0.31	336.09	466.79	142,458.65	142,458.65	0.81	1.09
3.00	0.38	524.42	728.36	258,666.93	258,666.93	0.68	0.96	
	0.50	1,053.27	1,462.88	673,115.07	673,115.07	0.83	0.74	
	0.25	140.98	195.81	32,807.57	32,807.57	1.33	1.62	
	0.31	233.51	324.32	66,894.41	66,894.41	1.15	1.43	
		0.38	357.20	496.12	120,558.99	120,558.99	1.01	1.29
		0.50	716.94	995.74	309,851.79	309,851.79	0.79	1.08

**TABLA 2A**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

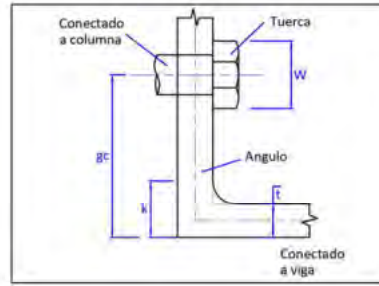
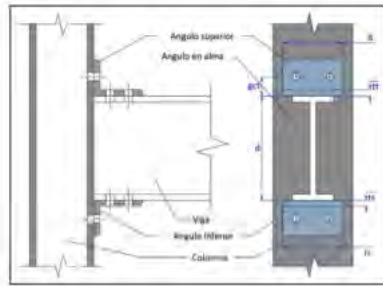
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		W10						
lt	gct	D=1"	Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	83.75	116.32	18,353.14	18,353.14	1.38	1.67
		0.31	143.62	199.48	38,084.18	38,084.18	1.22	1.50
		0.38	225.05	312.57	69,761.13	69,761.13	1.08	1.37
		0.50	437.76	608.00	184,412.95	184,412.95	0.81	1.10
	3.00	0.25	57.18	79.42	8,046.86	8,046.86	1.77	2.05
		0.31	95.40	132.49	16,539.88	16,539.88	1.59	1.87
		0.38	146.98	204.13	30,041.42	30,041.42	1.44	1.73
		0.50	297.44	413.11	78,353.67	78,353.67	1.22	1.51
8.00	2.50	0.25	111.67	155.09	24,470.85	24,470.85	1.38	1.67
		0.31	191.50	265.97	50,778.90	50,778.90	1.22	1.50
		0.38	300.06	416.75	93,014.84	93,014.84	1.08	1.37
		0.50	583.68	810.66	245,883.94	245,883.94	0.81	1.10
	3.00	0.25	76.24	105.89	10,729.15	10,729.15	1.77	2.05
		0.31	127.20	176.66	22,053.18	22,053.18	1.59	1.87
		0.38	195.97	272.18	40,055.23	40,055.23	1.44	1.73
		0.50	396.59	550.82	104,471.56	104,471.56	1.22	1.51
10.00	2.50	0.25	139.58	193.86	30,588.57	30,588.57	1.38	1.67
		0.31	239.37	332.47	63,473.63	63,473.63	1.22	1.50
		0.38	375.08	520.94	116,268.55	116,268.55	1.08	1.37
		0.50	729.60	1,013.33	307,354.92	307,354.92	0.81	1.10
	3.00	0.25	95.30	132.36	13,411.43	13,411.43	1.77	2.05
		0.31	158.99	220.82	27,566.47	27,566.47	1.59	1.87
		0.38	244.96	340.22	50,069.04	50,069.04	1.44	1.73
		0.50	495.73	688.52	130,589.45	130,589.45	1.22	1.51

**TABLA 2A**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

**Casos** **144.00**  
kips.in

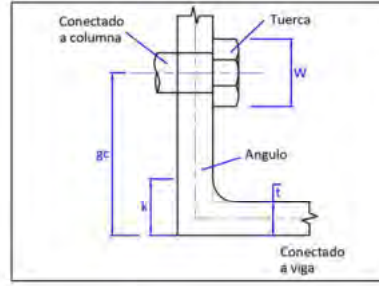
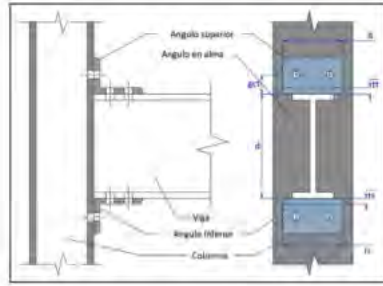


Angulo		D=3/4"	W12					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	98.08	136.22	26,214.09	26,214.09	1.21	1.49
		0.31	168.19	233.59	54,288.66	54,288.66	1.04	1.33
		0.38	263.49	365.96	99,249.36	99,249.36	0.91	1.20
		0.50	512.15	711.32	261,356.23	261,356.23	0.65	0.93
	3.00	0.25	66.56	92.45	11,493.46	11,493.46	1.59	1.87
		0.31	111.05	154.23	23,577.46	23,577.46	1.41	1.69
0.38		171.08	237.62	42,740.02	42,740.02	1.27	1.55	
8.00	2.50	0.25	130.77	181.63	34,952.12	34,952.12	1.21	1.49
		0.31	224.25	311.46	72,384.88	72,384.88	1.04	1.33
		0.38	351.32	487.95	132,332.48	132,332.48	0.91	1.20
		0.50	682.86	948.42	348,474.97	348,474.97	0.65	0.93
	3.00	0.25	88.75	123.26	15,324.62	15,324.62	1.59	1.87
		0.31	148.06	205.65	31,436.62	31,436.62	1.41	1.69
		0.38	228.11	316.82	56,986.69	56,986.69	1.27	1.55
		0.50	461.55	641.04	148,060.60	148,060.60	1.05	1.34
10.00	2.50	0.25	163.46	227.03	43,690.15	43,690.15	1.21	1.49
		0.31	280.31	389.32	90,481.10	90,481.10	1.04	1.33
		0.38	439.15	609.93	165,415.60	165,415.60	0.91	1.20
		0.50	853.58	1,185.53	435,593.71	435,593.71	0.65	0.93
	3.00	0.25	110.94	154.08	19,155.77	19,155.77	1.59	1.87
		0.31	185.08	257.06	39,295.77	39,295.77	1.41	1.69
		0.38	285.14	396.03	71,233.36	71,233.36	1.27	1.55
		0.50	576.93	801.29	185,075.75	185,075.75	1.05	1.34



**TABLA 2A**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

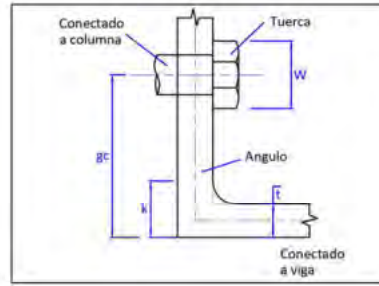
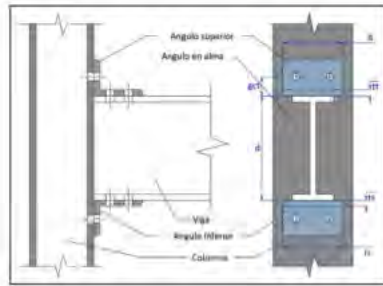
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W14					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	112.41	156.12	35,472.55	35,472.55	1.06	1.35
		0.31	192.75	267.71	73,358.03	73,358.03	0.90	1.19
		0.38	301.94	419.36	133,922.34	133,922.34	0.77	1.05
		0.50	586.54	814.64	351,680.94	351,680.94	0.83	0.79
	3.00	0.25	75.94	105.48	15,552.79	15,552.79	1.44	1.73
		0.31	126.70	175.97	31,859.25	31,859.25	1.26	1.55
8.00	2.50	0.38	195.19	271.10	57,671.33	57,671.33	1.12	1.41
		0.50	394.88	548.44	149,422.76	149,422.76	0.91	1.19
		0.25	149.88	208.16	47,296.73	47,296.73	1.06	1.35
		0.31	257.00	356.94	97,810.70	97,810.70	0.90	1.19
	3.00	0.38	402.58	559.14	178,563.11	178,563.11	0.77	1.05
		0.50	782.05	1,086.18	468,907.92	468,907.92	0.83	0.79
		0.25	101.26	140.64	20,737.06	20,737.06	1.44	1.73
		0.31	168.93	234.63	42,479.00	42,479.00	1.26	1.55
		0.38	260.26	361.47	76,895.11	76,895.11	1.12	1.41
		0.50	526.50	731.26	199,230.34	199,230.34	0.91	1.19
10.00	2.50	0.25	187.34	260.20	59,120.91	59,120.91	1.06	1.35
		0.31	321.25	446.18	122,263.38	122,263.38	0.90	1.19
		0.38	503.23	698.93	223,203.89	223,203.89	0.77	1.05
		0.50	977.57	1,357.73	586,134.90	586,134.90	0.83	0.79
	3.00	0.25	126.57	175.80	25,921.32	25,921.32	1.44	1.73
		0.31	211.17	293.29	53,098.75	53,098.75	1.26	1.55
		0.38	325.32	451.84	96,118.88	96,118.88	1.12	1.41
		0.50	658.13	914.07	249,037.93	249,037.93	0.91	1.19

**TABLA 2A**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

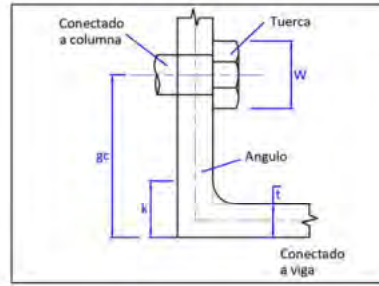
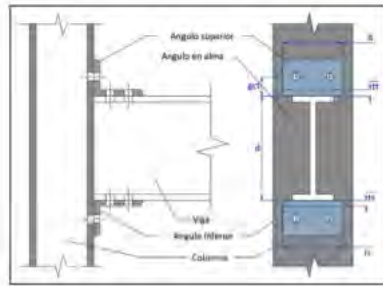
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W16					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	126.74	176.02	46,128.51	46,128.51	0.94	1.23
		0.31	217.31	301.82	95,292.28	95,292.28	0.78	1.06
		0.38	340.38	472.75	173,780.05	173,780.05	0.65	0.93
	3.00	0.50	660.93	917.96	455,387.09	455,387.09	0.83	0.67
		0.25	85.33	118.51	20,224.85	20,224.85	1.31	1.60
		0.31	142.35	197.71	41,385.25	41,385.25	1.14	1.42
8.00	2.50	0.38	219.30	304.59	74,835.37	74,835.37	1.00	1.28
		0.50	443.60	616.11	193,485.59	193,485.59	0.78	1.07
		0.25	168.98	234.70	61,504.67	61,504.67	0.94	1.23
	3.00	0.31	289.75	402.43	127,056.37	127,056.37	0.78	1.06
		0.38	453.84	630.34	231,706.74	231,706.74	0.65	0.93
		0.50	881.24	1,223.94	607,182.79	607,182.79	0.83	0.67
10.00	2.50	0.25	113.77	158.01	26,966.47	26,966.47	1.31	1.60
		0.31	189.80	263.62	55,180.34	55,180.34	1.14	1.42
		0.38	292.40	406.12	99,780.49	99,780.49	1.00	1.28
	3.00	0.50	591.46	821.48	257,980.79	257,980.79	0.78	1.07
		0.25	211.23	293.37	76,880.84	76,880.84	0.94	1.23
		0.31	362.18	503.03	158,820.46	158,820.46	0.78	1.06
10.00	3.00	0.38	567.30	787.92	289,633.42	289,633.42	0.65	0.93
		0.50	1,101.55	1,529.93	758,978.49	758,978.49	0.83	0.67
		0.25	142.21	197.52	33,708.09	33,708.09	1.31	1.60
		0.31	237.26	329.52	68,975.42	68,975.42	1.14	1.42
		0.38	365.51	507.65	124,725.61	124,725.61	1.00	1.28
		0.50	739.33	1,026.85	322,475.98	322,475.98	0.78	1.07

**TABLA 2A**  
**ANGULO SUPERIOR E INFERIOR EN EL ALA DE LA VIGA**

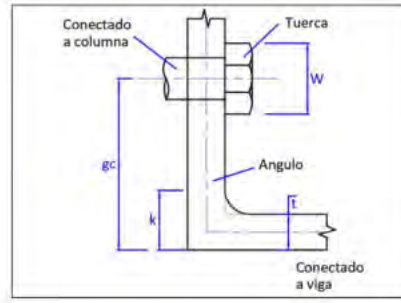
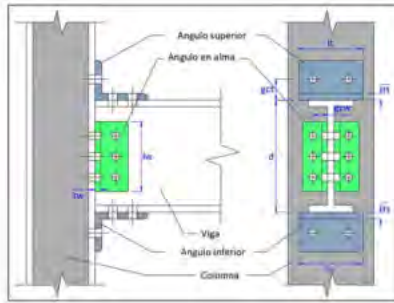
**Casos** **144.00**  
kips.in



Angulo		D=3/4"	W18					
lt	gct		Mu		Rki		n	
		tt	36.00	50.00	36.00	50.00	36.00	50.00
6.00	2.50	0.25	141.06	195.92	58,181.97	58,181.97	0.83	1.12
		0.31	241.87	335.93	120,091.40	120,091.40	0.67	0.96
		0.38	378.83	526.15	218,822.51	218,822.51	0.83	0.82
		0.50	735.32	1,021.28	572,474.68	572,474.68	0.83	0.83
	3.00	0.25	94.71	131.54	25,509.64	25,509.64	1.20	1.49
		0.31	158.01	219.45	52,155.47	52,155.47	1.03	1.31
		0.38	243.41	338.07	94,232.12	94,232.12	0.89	1.17
		0.50	492.32	683.77	243,233.95	243,233.95	0.67	0.96
8.00	2.50	0.25	188.09	261.23	77,575.96	77,575.96	0.83	1.12
		0.31	322.50	447.91	160,121.87	160,121.87	0.67	0.96
		0.38	505.10	701.53	291,763.35	291,763.35	0.83	0.82
		0.50	980.43	1,361.70	763,299.58	763,299.58	0.83	0.83
	3.00	0.25	126.28	175.39	34,012.86	34,012.86	1.20	1.49
		0.31	210.67	292.60	69,540.62	69,540.62	1.03	1.31
		0.38	324.55	450.76	125,642.83	125,642.83	0.89	1.17
		0.50	656.42	911.70	324,311.93	324,311.93	0.67	0.96
10.00	2.50	0.25	235.11	326.54	96,969.94	96,969.94	0.83	1.12
		0.31	403.12	559.89	200,152.34	200,152.34	0.67	0.96
		0.38	631.38	876.91	364,704.19	364,704.19	0.83	0.82
		0.50	1,225.53	1,702.13	954,124.47	954,124.47	0.83	0.83
	3.00	0.25	157.85	219.24	42,516.07	42,516.07	1.20	1.49
		0.31	263.34	365.75	86,925.78	86,925.78	1.03	1.31
		0.38	405.69	563.46	157,053.53	157,053.53	0.89	1.17
		0.50	820.53	1,139.62	405,389.92	405,389.92	0.67	0.96

**CONEXIÓN CON ANGULO SUPERIOR E INFERIOR Y DOBLE ANGULO EN EL ALMA**  
**VIGA W10**

kip/in



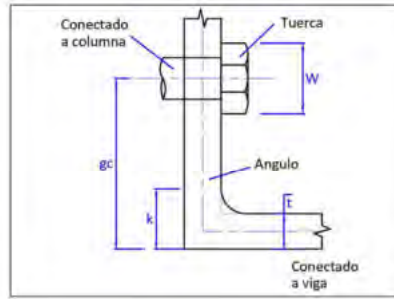
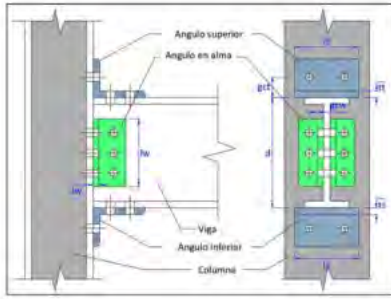
		Fy = 36	D=3/4"	D = 6											
W	tw	gc	tw	tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5		
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n
10	6	2.50	0.25	204.50	19,673.21	1.86	254.88	33,744.41	1.66	323.40	56,196.83	1.50	515.48	136,981.05	1.24
			0.31	245.91	26,504.92	1.79	296.57	40,659.68	1.64	365.37	63,196.18	1.50	558.01	144,150.08	1.26
			0.38	291.19	37,262.03	1.69	342.14	51,548.38	1.59	411.25	74,217.26	1.48	604.49	155,438.33	1.26
		3.00	0.50	394.72	75,104.51	1.44	446.34	89,853.75	1.41	516.11	112,988.35	1.36	710.68	195,149.29	1.22
			0.25	199.87	16,220.16	1.96	250.21	30,249.12	1.72	318.72	52,659.05	1.53	510.75	133,357.50	1.25
			0.31	238.23	19,402.77	1.96	288.84	33,470.65	1.75	357.61	55,919.75	1.56	550.17	136,697.25	1.28
	7	2.50	0.38	279.46	24,369.66	1.92	330.35	38,498.30	1.74	399.40	61,008.52	1.58	592.51	141,909.38	1.30
			0.50	371.42	41,650.59	1.77	422.92	55,990.61	1.66	492.57	78,713.51	1.55	686.91	160,043.56	1.32
			0.25	222.19	20,766.17	1.88	272.72	34,850.73	1.69	341.41	57,316.61	1.52	533.80	138,127.97	1.26
		3.00	0.31	269.62	28,736.49	1.80	320.48	42,918.55	1.66	389.49	65,482.52	1.52	582.54	146,491.83	1.28
			0.38	321.69	41,286.46	1.68	372.89	55,622.03	1.59	442.26	78,340.45	1.49	636.01	159,661.46	1.28
			0.50	441.37	85,436.01	1.43	493.35	100,311.64	1.40	563.49	123,573.38	1.36	758.79	205,990.91	1.23

		Fy = 36	D=3/4"	D = 8											
W	tw	gc	tw	tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5		
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n
10	6	2.50	0.25	228.20	24,045.04	1.80	295.04	42,779.89	1.61	386.09	72,689.56	1.45	641.56	180,347.56	1.21
			0.31	269.61	30,876.74	1.75	336.73	49,695.17	1.60	428.06	79,688.91	1.46	684.09	187,516.58	1.22
			0.38	314.89	41,633.86	1.67	382.31	60,583.86	1.56	473.94	90,709.99	1.44	730.57	198,804.83	1.23
		3.00	0.50	418.42	79,476.33	1.45	486.51	98,889.24	1.40	578.80	129,481.08	1.35	836.76	238,515.79	1.20
			0.25	223.56	20,591.99	1.88	290.38	39,284.60	1.65	381.41	69,151.77	1.47	636.82	176,724.01	1.22
			0.31	261.93	23,774.59	1.89	329.01	42,506.14	1.68	420.30	72,412.48	1.50	676.25	180,063.76	1.24
	7	2.50	0.38	303.16	28,741.48	1.87	370.52	47,533.78	1.68	462.09	77,501.25	1.52	718.59	185,275.89	1.26
			0.50	395.12	46,022.41	1.74	463.09	65,026.10	1.63	555.26	95,206.23	1.51	812.98	203,410.07	1.28
			0.25	245.89	25,138.00	1.82	312.89	43,886.22	1.63	404.10	73,809.34	1.47	659.88	181,494.48	1.22
		3.00	0.31	293.32	33,108.32	1.76	360.64	51,954.04	1.61	452.18	81,975.24	1.47	708.62	189,858.34	1.24
			0.38	345.38	45,658.28	1.67	413.06	64,657.52	1.56	504.95	94,833.17	1.45	762.08	203,027.97	1.24
			0.50	465.06	89,807.84	1.44	533.52	109,347.12	1.40	626.18	140,066.11	1.35	884.87	249,357.42	1.21

		Fy = 36	D = 10												
W	lw	gc	tw	tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5		
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n
10	6	2.50	0.25	251.89	28,416.86	1.76	335.21	51,815.38	1.57	448.78	89,182.28	1.42	767.63	223,714.07	1.19
			0.31	293.31	35,248.57	1.72	376.90	58,730.65	1.57	490.75	96,181.63	1.43	810.17	230,883.09	1.20
			0.38	338.58	46,005.68	1.65	422.48	69,619.35	1.53	536.63	107,202.71	1.41	856.64	242,171.34	1.20
		0.50	442.12	83,848.16	1.45	526.68	107,924.72	1.40	641.49	145,973.80	1.34	962.84	281,882.30	1.18	
		0.25	247.26	24,963.81	1.83	330.55	48,320.09	1.60	444.10	85,644.50	1.44	762.90	220,090.52	1.19	
		0.31	285.62	28,146.42	1.84	369.18	51,541.62	1.63	482.99	88,905.20	1.46	802.32	223,430.27	1.21	
	7	3.00	0.38	326.85	33,113.31	1.83	410.69	56,569.27	1.64	524.78	93,993.97	1.48	844.67	228,642.40	1.23
			0.50	418.81	50,394.24	1.72	503.26	74,061.58	1.60	617.95	111,698.96	1.48	939.06	246,776.58	1.25
			0.25	269.58	29,509.82	1.78	353.05	52,921.70	1.59	466.79	90,302.06	1.43	785.96	224,860.99	1.20
		0.31	317.01	37,480.14	1.73	400.81	60,989.52	1.58	514.87	98,467.97	1.44	834.70	233,224.85	1.21	
		0.38	369.08	50,030.11	1.65	453.23	73,693.00	1.54	567.64	111,325.90	1.43	888.16	246,394.47	1.22	
		0.50	488.76	94,179.66	1.44	573.68	118,382.61	1.40	688.87	156,558.83	1.34	1,010.95	292,723.93	1.19	
7	2.50	0.25	264.02	25,481.26	1.86	347.47	48,843.86	1.63	461.17	86,174.64	1.46	780.29	220,633.51	1.20	
		0.31	307.80	29,194.30	1.87	391.56	52,602.32	1.66	505.57	89,978.80	1.48	825.30	224,529.89	1.23	
		0.38	355.02	34,989.00	1.84	439.10	58,467.91	1.66	553.44	95,915.70	1.50	873.82	230,610.71	1.25	
	0.50	460.83	55,150.09	1.73	545.62	78,875.61	1.61	660.67	116,571.51	1.49	982.47	251,767.25	1.26		
	3.00	0.25	264.02	25,481.26	1.86	347.47	48,843.86	1.63	461.17	86,174.64	1.46	780.29	220,633.51	1.20	

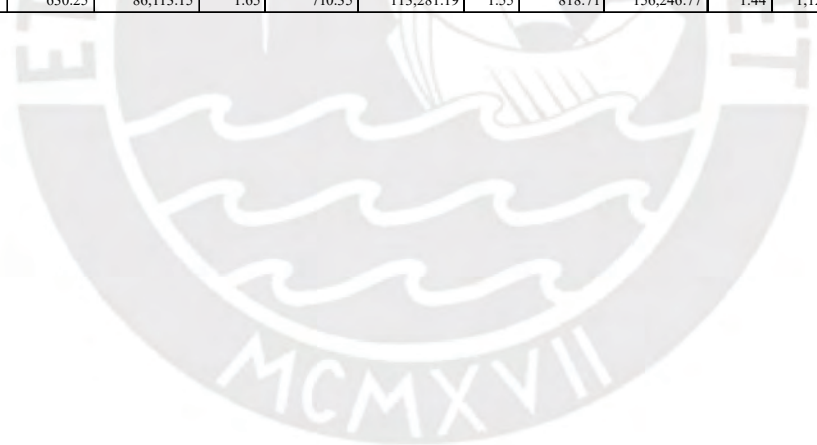


**CONEXIÓN CON ANGULO SUPERIOR E INFERIOR Y DOBLE ANGULO EN EL ALMA**  
**VIGA W12**



		Fy = 36	D=3/4"	D = 6											
W	Iw	gc	Iw	t = 0.25			t = 0.3125			t = 0.375			t = 0.5		
				Mu	RkI	n	Mu	RkI	n	Mu	RkI	n	Mu	RkI	n
12	6	2.50	0.25	247.07	28,099.58	1.76	305.76	48,102.36	1.56	385.64	79,951.40	1.39	609.51	194,134.14	1.13
			0.31	297.45	37,857.41	1.69	356.42	57,960.02	1.54	436.58	89,909.39	1.40	661.00	204,294.33	1.15
			0.38	352.33	53,221.97	1.58	411.59	73,481.76	1.48	492.06	105,589.11	1.37	717.08	220,292.41	1.15
		0.50	477.17	107,273.00	1.34	537.10	128,085.74	1.31	618.23	160,748.85	1.25	844.59	276,572.12	1.11	
		3.00	0.25	241.68	23,167.52	1.86	300.34	43,119.85	1.62	380.20	74,918.17	1.42	604.02	188,998.73	1.14
			0.31	288.51	27,713.29	1.86	347.44	47,712.12	1.64	427.56	79,557.19	1.46	651.91	193,731.93	1.17
	0.38		338.68	34,807.58	1.82	397.88	54,878.99	1.64	478.29	86,797.00	1.47	703.19	201,118.74	1.20	
	7	2.50	0.50	450.06	59,490.22	1.67	509.88	79,814.13	1.56	590.89	111,985.93	1.45	817.01	226,819.11	1.22
			0.25	269.86	29,660.66	1.78	328.71	49,679.42	1.58	408.75	81,544.51	1.42	632.93	195,759.60	1.15
			0.31	327.75	41,044.81	1.70	386.92	61,180.02	1.56	467.29	93,162.16	1.42	692.13	207,613.14	1.17
		3.00	0.38	391.01	58,970.13	1.59	450.54	79,288.72	1.49	531.26	111,455.18	1.39	756.79	226,277.58	1.17
			0.50	535.55	122,029.66	1.33	595.86	142,993.36	1.30	677.35	175,808.20	1.26	904.44	291,937.23	1.12
			0.25	263.42	23,906.60	1.89	322.24	43,866.49	1.65	402.25	75,672.41	1.45	626.38	189,768.28	1.16
	8	2.50	0.31	317.08	29,210.00	1.88	376.21	49,224.14	1.67	456.53	81,084.60	1.49	681.27	195,290.35	1.20
			0.38	374.72	37,486.67	1.83	434.17	57,585.49	1.66	514.82	89,531.04	1.50	740.22	203,908.30	1.22
			0.50	503.19	66,283.08	1.67	563.35	86,676.48	1.57	644.71	118,918.13	1.46	871.52	233,892.06	1.24
		3.00	0.25	291.35	31,221.75	1.79	350.35	51,256.48	1.60	430.55	83,137.61	1.44	655.06	197,385.06	1.17
			0.31	356.50	44,232.20	1.70	415.88	64,400.02	1.57	496.45	96,414.94	1.43	721.70	210,931.96	1.18
			0.38	427.93	64,718.28	1.58	487.71	85,095.68	1.50	568.69	117,321.24	1.40	794.73	232,262.74	1.18
	9	2.50	0.50	591.86	136,786.32	1.33	652.53	157,900.98	1.30	734.39	190,867.56	1.26	962.21	307,302.35	1.13
			0.25	283.82	24,645.68	1.92	342.79	44,613.13	1.68	422.96	76,426.65	1.48	647.40	190,537.83	1.18
			0.31	344.02	30,706.70	1.90	403.35	50,736.16	1.70	483.87	82,612.00	1.51	709.02	196,848.77	1.22
		3.00	0.38	408.88	40,165.76	1.85	468.58	60,291.98	1.68	549.48	92,265.09	1.52	775.36	206,697.85	1.24
			0.50	554.03	73,075.94	1.67	614.54	93,538.84	1.58	696.24	125,850.33	1.48	923.75	240,965.01	1.25
0.25			311.53	32,782.84	1.80	370.70	52,833.53	1.62	451.06	84,730.72	1.45	675.88	199,010.51	1.18	
12	2.50	0.31	383.69	47,419.59	1.71	443.28	67,620.03	1.58	524.06	99,667.71	1.44	749.72	214,250.78	1.20	
		0.38	463.08	70,466.44	1.58	523.12	90,902.64	1.50	604.35	123,187.30	1.40	830.91	238,247.91	1.20	
		0.50	646.08	151,542.98	1.32	707.11	172,808.61	1.29	789.34	205,926.91	1.25	1,017.90	322,667.47	1.13	
	3.00	0.25	302.87	25,384.76	1.94	362.00	45,359.77	1.70	442.33	77,180.89	1.50	667.08	191,307.39	1.20	
		0.31	369.34	32,203.41	1.92	428.87	52,248.18	1.72	509.59	84,139.41	1.53	735.14	198,407.19	1.23	
		0.38	441.17	42,844.85	1.85	501.12	62,998.48	1.70	582.26	94,999.13	1.54	808.64	209,487.41	1.26	
0.50	602.57	79,868.80	1.66	663.42	100,401.19	1.58	745.47	132,782.53	1.48	973.68	248,037.96	1.27			

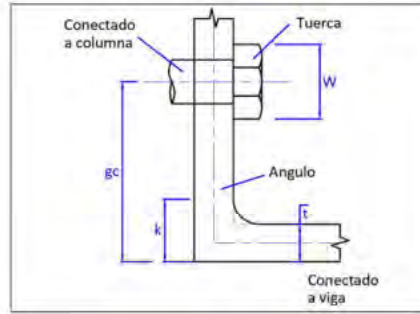
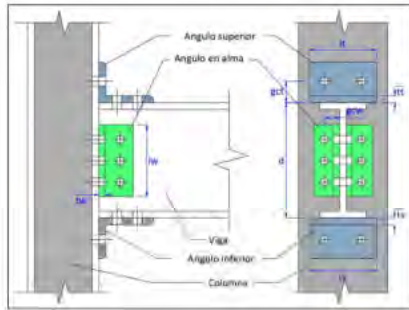
W	lw	gc	tw	D = 8												
				tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5			
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	
12	6	2.50	0.25	274.76	34,343.93	1.70	352.69	60,982.36	1.50	458.88	103,415.64	1.34	756.73	255,594.61	1.10	
			0.31	325.14	44,101.76	1.65	403.35	70,840.03	1.49	509.82	113,373.64	1.35	808.23	265,754.80	1.11	
			0.38	380.01	59,466.33	1.56	458.52	86,361.77	1.45	565.29	129,053.36	1.33	864.30	281,752.88	1.12	
			0.50	504.85	113,517.35	1.34	584.03	140,965.75	1.30	691.47	184,213.10	1.24	991.81	338,032.59	1.09	
		3.00	0.25	269.37	29,411.87	1.78	347.27	55,999.86	1.54	453.44	98,382.42	1.36	751.24	250,459.20	1.10	
			0.31	316.20	33,957.64	1.79	394.37	60,592.13	1.57	500.80	103,021.44	1.40	799.13	255,192.40	1.13	
	0.38		366.36	41,051.93	1.77	444.81	67,759.00	1.58	551.53	110,261.25	1.41	850.41	262,579.21	1.15		
	7	2.50	0.25	297.55	35,905.01	1.72	375.64	62,559.42	1.53	481.99	105,008.75	1.36	780.15	257,220.07	1.11	
			0.31	355.44	47,289.16	1.66	433.85	74,060.03	1.51	540.53	116,626.41	1.37	839.35	269,073.61	1.13	
			0.38	418.70	65,214.48	1.57	497.47	92,168.73	1.46	604.49	134,919.42	1.35	904.01	287,738.05	1.13	
			0.50	563.24	128,274.01	1.34	642.78	155,873.37	1.30	750.59	199,272.45	1.24	1,051.66	353,397.70	1.10	
		3.00	0.25	291.10	30,150.95	1.81	369.17	56,746.49	1.57	475.49	99,136.66	1.39	773.60	251,228.75	1.12	
			0.31	344.76	35,454.35	1.82	423.13	62,104.15	1.60	529.77	104,548.84	1.42	828.50	256,750.82	1.15	
	0.38		402.40	43,731.02	1.78	481.10	70,465.49	1.60	588.06	112,995.29	1.44	887.44	265,368.77	1.17		
	8	2.50	0.25	319.03	37,466.10	1.74	397.28	64,136.48	1.54	503.79	106,601.86	1.38	802.28	258,845.53	1.12	
			0.31	384.18	50,476.55	1.67	462.81	77,280.03	1.52	569.69	119,879.19	1.38	868.92	272,392.43	1.14	
			0.38	455.62	70,962.63	1.57	534.64	97,975.69	1.47	641.92	140,785.49	1.36	941.96	293,723.21	1.14	
			0.50	619.54	143,030.67	1.33	699.45	170,780.99	1.29	807.63	214,331.80	1.24	1,109.43	368,762.82	1.11	
			3.00	0.25	311.50	30,890.03	1.84	389.72	57,493.13	1.60	496.20	99,890.90	1.41	794.62	251,998.30	1.13
				0.31	371.71	36,951.05	1.84	450.28	63,616.16	1.63	557.11	106,076.25	1.44	856.24	258,309.24	1.16
		0.38		436.57	46,410.11	1.80	515.51	73,171.99	1.62	622.71	115,729.33	1.46	922.59	268,158.32	1.19	
		9	2.50	0.25	339.22	39,027.19	1.75	417.63	65,713.54	1.56	524.30	108,194.97	1.40	823.10	260,470.98	1.14
				0.31	411.38	53,663.94	1.67	490.21	80,500.03	1.53	597.30	123,131.96	1.40	896.94	275,711.25	1.15
				0.38	490.77	76,710.79	1.56	570.04	103,782.64	1.47	677.59	146,651.55	1.37	978.13	299,708.38	1.16
3.00			0.25	319.03	37,466.10	1.74	397.28	64,136.48	1.54	503.79	106,601.86	1.38	802.28	258,845.53	1.12	
			0.31	397.03	53,663.94	1.67	490.21	80,500.03	1.53	597.30	123,131.96	1.40	896.94	275,711.25	1.15	
	0.38		468.86	76,710.79	1.56	570.04	103,782.64	1.47	677.59	146,651.55	1.37	978.13	299,708.38	1.16		
12	2.50	0.25	339.22	39,027.19	1.75	417.63	65,713.54	1.56	524.30	108,194.97	1.40	823.10	260,470.98	1.14		
		0.31	411.38	53,663.94	1.67	490.21	80,500.03	1.53	597.30	123,131.96	1.40	896.94	275,711.25	1.15		
		0.38	490.77	76,710.79	1.56	570.04	103,782.64	1.47	677.59	146,651.55	1.37	978.13	299,708.38	1.16		
	3.00	0.25	330.56	31,629.11	1.86	408.93	58,239.77	1.62	515.57	100,645.14	1.43	814.30	252,767.86	1.15		
		0.31	397.03	38,447.76	1.85	475.80	65,128.18	1.64	582.83	107,603.66	1.46	882.36	259,867.66	1.18		
		0.38	468.86	49,089.20	1.81	548.05	75,878.48	1.64	655.50	118,463.38	1.48	955.86	270,947.88	1.20		
0.50	630.25	86,113.15	1.65	710.35	113,281.19	1.55	818.71	156,246.77	1.44	1,120.90	309,498.43	1.22				



W	lw	gc	tw	D = 10											
				tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5		
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n
12	6	2.50	0.25	302.45	40,588.28	1.66	399.62	73,862.37	1.46	532.12	126,879.89	1.31	903.95	317,055.09	1.07
			0.31	352.82	50,346.11	1.62	450.28	83,720.03	1.46	583.06	136,837.88	1.32	955.45	327,215.27	1.09
			0.38	407.70	65,710.68	1.55	505.45	99,241.77	1.43	638.53	152,517.61	1.31	1,011.52	343,213.35	1.09
		0.50	532.54	119,761.70	1.34	630.96	153,845.75	1.29	764.71	207,677.35	1.23	1,139.03	399,493.06	1.07	
		3.00	0.25	297.05	35,656.22	1.72	394.20	68,879.86	1.50	526.68	121,846.67	1.33	898.46	311,919.67	1.08
			0.31	343.88	40,201.99	1.74	441.30	73,472.13	1.53	574.04	126,485.68	1.36	946.35	316,652.87	1.10
	0.38		394.05	47,296.28	1.72	491.74	80,639.00	1.53	624.76	133,725.50	1.37	997.64	324,039.68	1.12	
	7	2.50	0.50	505.43	71,978.92	1.62	603.74	105,574.14	1.50	737.36	158,914.43	1.37	1,111.45	349,740.05	1.14
			0.25	325.23	42,149.36	1.68	422.57	75,439.43	1.48	555.23	128,473.00	1.33	927.38	318,680.54	1.09
			0.31	383.12	53,533.51	1.63	480.78	86,940.03	1.48	613.77	140,090.66	1.33	986.57	330,534.08	1.10
		3.00	0.38	446.38	71,458.83	1.55	544.39	105,048.73	1.44	677.73	158,383.67	1.32	1,051.24	349,198.52	1.11
			0.50	590.93	134,518.36	1.34	689.71	168,753.37	1.29	823.83	222,736.70	1.23	1,198.89	414,858.17	1.08
0.25			318.79	36,395.30	1.75	416.10	69,626.50	1.52	548.73	122,600.91	1.35	920.83	312,689.22	1.09	
8	2.50	0.31	372.45	41,698.70	1.77	470.06	74,984.15	1.55	603.01	128,013.09	1.38	975.72	318,211.29	1.12	
		0.38	430.09	49,975.37	1.74	528.03	83,345.50	1.56	661.30	136,459.54	1.40	1,034.66	326,829.24	1.14	
		0.50	558.56	78,771.78	1.63	657.21	112,436.49	1.51	791.19	165,846.63	1.39	1,165.97	356,813.00	1.16	
	3.00	0.25	346.72	43,710.45	1.69	444.21	77,016.48	1.50	577.03	130,066.11	1.34	949.50	320,306.00	1.10	
		0.31	411.87	56,720.90	1.64	509.74	90,160.03	1.49	642.93	143,343.43	1.35	1,016.15	333,852.90	1.11	
		0.38	483.30	77,206.98	1.55	581.57	110,855.69	1.44	715.16	164,249.73	1.33	1,089.18	355,183.69	1.12	
9	2.50	0.50	647.23	149,275.02	1.33	746.38	183,660.99	1.29	880.87	237,796.05	1.23	1,256.66	430,223.29	1.09	
		0.25	339.19	37,134.38	1.78	436.65	70,373.14	1.55	569.44	123,355.15	1.37	941.84	313,458.77	1.10	
		0.31	399.39	43,195.40	1.79	497.21	76,496.17	1.57	630.35	129,540.50	1.40	1,003.46	319,769.71	1.13	
	3.00	0.38	464.25	52,654.46	1.76	562.44	86,051.99	1.58	695.95	139,193.58	1.41	1,069.81	329,618.79	1.15	
		0.50	609.40	85,564.64	1.63	708.40	119,298.85	1.52	842.72	172,778.82	1.40	1,218.19	363,885.95	1.17	
		0.25	366.90	45,271.54	1.71	464.56	78,593.54	1.52	597.54	131,659.22	1.36	970.32	321,931.45	1.11	
10	2.50	0.31	439.06	59,908.29	1.65	537.14	93,380.03	1.50	670.54	146,596.21	1.36	1,044.17	337,171.72	1.12	
		0.38	518.45	82,955.14	1.55	616.97	116,662.65	1.45	750.82	170,115.79	1.34	1,125.35	361,168.85	1.13	
		0.50	701.45	164,031.68	1.32	800.97	198,568.61	1.28	935.82	252,855.40	1.23	1,312.34	445,588.41	1.09	
	3.00	0.25	358.24	37,873.46	1.80	455.86	71,119.78	1.56	588.81	124,109.39	1.38	961.52	314,228.33	1.12	
		0.31	424.72	44,692.11	1.80	522.73	78,008.19	1.59	656.07	131,067.91	1.41	1,029.58	321,328.13	1.14	
		0.38	496.54	55,333.55	1.77	594.97	88,758.49	1.59	728.73	141,927.62	1.43	1,103.08	332,408.35	1.17	
0.50	657.94	92,357.50	1.63	757.28	126,161.20	1.53	891.95	179,711.02	1.41	1,268.12	370,958.90	1.18			



**CONEXIÓN CON ANGULO SUPERIOR E INFERIOR Y DOBLE ANGULO EN EL ALMA**  
**VIGA W14**



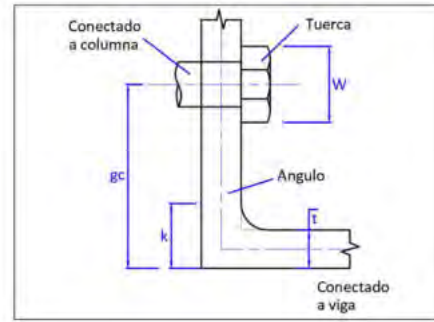
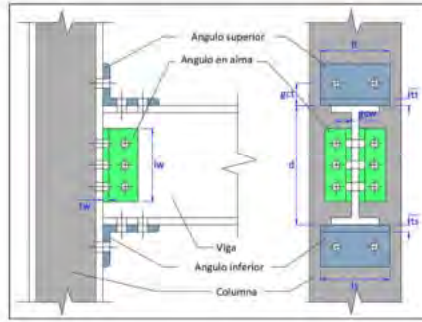
W	hw	D=34"		D=6													
		gc	tw	u=0.25			u=0.3125			u=0.375			u=0.5				
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n		
9	2.50	9	0.25	369.40	44,361.28	1.72	436.88	71,391.77	1.54	528.60	114,331.58	1.37	785.21	267,788.54	1.09		
			0.31	455.01	64,167.54	1.63	522.91	91,372.15	1.50	615.05	134,486.84	1.36	872.50	288,295.85	1.11		
			0.38	548.79	95,354.21	1.50	617.14	122,832.99	1.42	709.73	166,223.04	1.32	968.08	320,586.39	1.11		
			0.50	763.75	205,065.87	1.24	833.11	233,509.14	1.21	926.69	277,867.91	1.17	1,187.04	434,181.35	1.05		
			0.25	359.61	34,350.30	1.86	427.05	61,292.78	1.62	518.74	104,144.20	1.41	775.27	257,423.22	1.11		
			0.31	438.78	43,577.21	1.84	506.62	70,600.81	1.63	598.70	113,533.69	1.45	856.03	266,976.72	1.14		
	3.00	0.38	524.01	57,977.06	1.77	592.27	85,127.25	1.61	684.77	128,187.28	1.45	942.94	281,886.25	1.17			
		0.50	714.54	108,077.36	1.58	783.71	135,667.98	1.50	877.12	179,170.38	1.40	1,137.11	333,759.88	1.18			
		14	2.50	10	0.25	393.39	46,473.73	1.73	461.03	73,522.79	1.55	552.91	116,481.25	1.38	809.83	269,975.76	1.10
					0.31	487.25	68,480.68	1.63	555.36	95,723.20	1.50	647.70	138,875.98	1.37	905.56	292,761.66	1.12
					0.38	590.36	103,132.53	1.50	658.97	130,679.69	1.42	751.82	174,138.42	1.33	1,010.68	328,640.03	1.12
			3.00	0.50	827.63	225,034.37	1.23	897.35	253,653.19	1.20	991.31	298,188.28	1.17	1,252.38	454,856.65	1.05	
0.25	382.29			35,350.41	1.88	449.89	62,301.69	1.64	541.73	105,161.93	1.43	798.58	258,458.73	1.12			
0.31	468.87			45,602.53	1.85	536.91	72,643.93	1.65	629.19	115,594.70	1.47	886.92	269,073.73	1.16			
11	2.50	11	0.38	562.30	61,602.36	1.78	630.80	88,784.42	1.63	723.55	131,876.46	1.47	982.21	285,639.88	1.19		
			0.50	771.89	117,269.36	1.58	841.41	144,940.80	1.50	935.17	188,524.36	1.41	1,195.85	343,277.24	1.19		
			0.25	416.07	48,586.17	1.74	483.87	73,653.80	1.56	575.91	118,630.91	1.40	833.15	272,162.97	1.12		
	3.00	0.31	517.93	72,793.81	1.63	586.25	100,074.26	1.51	678.80	143,265.12	1.38	937.07	297,227.46	1.13			
		0.38	630.17	110,910.85	1.49	699.03	138,526.39	1.42	792.14	182,053.81	1.33	1,051.51	336,693.67	1.13			
		0.50	889.43	245,002.88	1.22	959.51	273,797.24	1.20	1,053.83	318,508.64	1.16	1,315.65	475,531.95	1.05			
14	3.00	11	0.25	403.64	36,350.52	1.90	471.40	63,310.59	1.66	563.39	106,179.66	1.45	820.55	259,494.24	1.14		
			0.31	497.33	47,627.86	1.86	565.57	74,687.06	1.67	658.05	117,655.71	1.48	916.18	271,170.74	1.18		
			0.38	598.71	65,227.67	1.78	667.46	92,441.60	1.64	760.45	135,565.65	1.48	1,019.61	289,393.51	1.20		
0.50	826.95	126,461.37	1.58	896.82	154,213.61	1.51	990.92	197,878.33	1.42	1,252.30	352,794.60	1.21					

W	hw	D=34"		D=8													
		gc	tw	u=0.25			u=0.3125			u=0.375			u=0.5				
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n		
9	2.50	9	0.25	401.08	52,811.05	1.67	490.58	88,795.99	1.47	612.39	145,993.11	1.31	953.58	350,489.75	1.04		
			0.31	486.69	72,617.31	1.59	576.60	108,776.37	1.45	698.84	166,148.37	1.31	1,040.87	370,997.06	1.06		
			0.38	580.47	103,803.98	1.48	670.84	140,237.20	1.39	793.52	197,884.57	1.28	1,136.45	403,287.60	1.07		
			0.50	795.43	213,515.63	1.24	886.80	250,913.36	1.20	1,010.48	309,529.44	1.16	1,355.40	516,882.56	1.02		
			0.25	391.28	42,800.07	1.78	480.74	78,697.00	1.54	602.52	135,805.73	1.34	943.64	340,124.43	1.06		
			0.31	470.46	52,026.98	1.77	560.32	88,005.03	1.56	682.49	145,195.22	1.38	1,024.40	349,677.93	1.09		
	3.00	0.38	553.68	66,426.83	1.73	645.96	102,531.46	1.55	768.56	159,848.81	1.39	1,111.30	364,587.46	1.11			
		0.50	746.21	116,527.12	1.56	837.40	153,072.20	1.47	960.91	210,831.91	1.36	1,305.47	416,461.09	1.13			
		14	2.50	10	0.25	425.06	54,923.49	1.68	514.72	90,927.00	1.49	636.69	148,142.78	1.32	978.20	352,676.97	1.06
					0.31	518.92	76,930.45	1.60	609.05	113,127.42	1.46	731.49	170,537.51	1.32	1,073.93	375,462.86	1.08
					0.38	622.04	111,582.30	1.48	712.67	148,083.91	1.39	835.61	205,799.96	1.29	1,179.04	411,341.24	1.08
			3.00	0.50	859.31	233,484.14	1.23	951.04	271,057.41	1.20	1,075.09	329,849.81	1.15	1,420.75	537,557.86	1.03	
0.25	413.97			43,800.18	1.80	503.59	79,705.91	1.56	625.52	136,823.46	1.36	966.95	341,159.94	1.07			
0.31	500.54			54,052.30	1.79	590.60	90,048.15	1.58	712.98	147,256.23	1.39	1,055.28	351,774.94	1.10			
11	2.50	11	0.38	593.97	70,052.13	1.73	684.50	106,188.64	1.57	807.34	163,537.99	1.41	1,150.58	368,341.09	1.13		
			0.50	803.57	125,719.13	1.56	895.10	162,345.02	1.47	1,018.95	220,185.89	1.37	1,364.22	425,978.45	1.14		
			0.25	447.75	57,035.94	1.69	537.57	93,058.02	1.50	659.70	150,292.44	1.34	1,001.52	354,864.18	1.07		
	3.00	0.31	549.61	81,243.58	1.60	639.94	117,478.48	1.47	762.59	174,926.65	1.33	1,105.44	379,928.67	1.09			
		0.38	661.85	119,360.62	1.48	752.73	155,930.61	1.39	875.92	213,715.34	1.29	1,219.87	419,394.88	1.09			
		0.50	921.10	253,452.65	1.22	1,013.20	291,201.46	1.19	1,137.62	350,170.18	1.15	1,484.01	558,233.16	1.03			
14	3.00	11	0.25	435.31	44,800.29	1.82	525.09	80,714.81	1.57	647.18	137,841.20	1.38	988.91	342,195.45	1.08		
			0.31	529.01	56,077.62	1.80	619.26	92,091.28	1.59	741.84	149,317.24	1.41	1,084.55	353,871.95	1.12		
			0.38	630.38	73,677.44	1.74	721.16	109,845.82	1.58	844.24	167,227.18	1.42	1,187.97	372,094.71	1.14		
0.50	858.62	134,911.14	1.56	950.51	171,617.83	1.48	1,074.71	229,539.87	1.37	1,420.66	435,495.81	1.15					

		Fy = 36	D = 10													
W	hw	gc	tw	tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5			
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki		Mu	Rki	n	
				14	9	2.50	0.25	432.75	61,260.82	1.62	544.27	106,200.21	1.43	696.18	177,654.64	1.27
0.31	518.36	81,067.08	1.56				630.30	126,180.59	1.41	782.63	197,809.90	1.27	1,209.23	453,698.27	1.03	
0.38	612.14	112,253.75	1.47				724.53	157,641.42	1.36	877.31	229,546.11	1.25	1,304.81	485,988.81	1.04	
3.00	0.50	827.11	221,965.40			1.24	940.49	268,317.57	1.20	1,094.27	341,190.97	1.14	1,523.77	599,583.76	1.00	
	0.25	422.96	51,249.84			1.72	534.44	96,101.22	1.48	686.31	167,467.26	1.29	1,112.00	422,825.64	1.02	
	0.31	502.13	60,476.75			1.72	614.01	105,409.24	1.51	766.28	176,856.76	1.33	1,192.77	432,379.14	1.05	
10	2.50	0.38	587.36			74,876.59	1.69	699.65	119,935.68	1.51	852.34	191,510.34	1.34	1,279.67	447,288.67	1.08
		0.50	777.89			124,976.89	1.55	891.09	170,476.42	1.44	1,044.69	242,493.45	1.32	1,473.84	499,162.30	1.09
		0.25	456.74			63,373.26	1.64	568.41	108,331.22	1.44	720.48	179,804.31	1.28	1,146.56	435,378.17	1.02
	3.00	0.31	550.60		85,380.21	1.57	662.74	130,531.64	1.42	815.28	202,199.04	1.28	1,242.29	458,164.07	1.04	
		0.38	653.72		120,032.07	1.47	766.36	165,488.13	1.37	919.39	237,461.49	1.26	1,347.41	494,042.45	1.05	
		0.50	890.98		241,933.91	1.23	1,004.73	288,461.63	1.19	1,158.88	361,511.34	1.14	1,589.12	620,259.07	1.01	
11	2.50	0.25	445.64		52,249.95	1.74	557.28	97,110.12	1.50	709.31	168,484.99	1.31	1,135.31	423,861.15	1.04	
		0.31	532.22		62,502.07	1.74	644.29	107,452.37	1.52	796.76	178,917.77	1.34	1,223.65	434,476.15	1.07	
		0.38	625.65		78,501.90	1.70	738.19	123,592.86	1.52	891.12	195,199.53	1.36	1,318.94	451,042.30	1.09	
	3.00	0.50	835.24		134,168.90	1.55	948.80	179,749.24	1.45	1,102.74	251,847.42	1.33	1,532.58	508,679.66	1.11	
		0.25	479.42		65,485.70	1.65	591.26	110,462.24	1.46	743.48	181,953.97	1.29	1,169.89	437,565.39	1.03	
		0.31	581.29		89,693.35	1.57	693.63	134,882.70	1.43	846.37	206,588.18	1.29	1,273.80	462,629.88	1.05	
11	2.50	0.38	693.52		127,810.39	1.46	806.42	173,334.83	1.37	959.71	245,376.87	1.27	1,388.24	502,096.09	1.05	
		0.50	952.78		261,902.42	1.22	1,066.89	308,605.68	1.19	1,221.41	381,831.71	1.14	1,652.38	640,934.37	1.01	
		0.25	466.99		53,250.06	1.76	578.78	98,119.03	1.51	730.96	169,502.73	1.32	1,157.28	424,896.66	1.05	
	3.00	0.31	560.68		64,527.39	1.75	672.96	109,495.50	1.54	825.63	180,978.78	1.36	1,252.91	436,573.16	1.08	
		0.38	662.06		82,127.21	1.70	774.85	127,250.04	1.53	928.03	198,888.71	1.37	1,356.34	454,795.92	1.10	
		0.50	890.30		143,360.90	1.55	1,004.20	189,022.05	1.45	1,158.49	261,201.40	1.34	1,589.03	518,197.02	1.12	

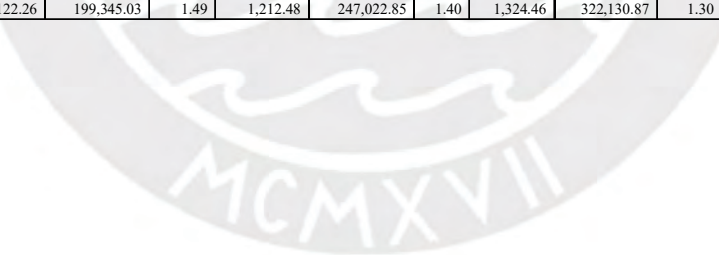


CONEXIÓN CON ANGULO SUPERIOR E INFERIOR Y DOBLE ANGULO EN EL ALMA  
VIGA W16



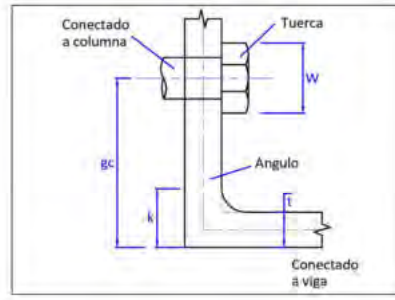
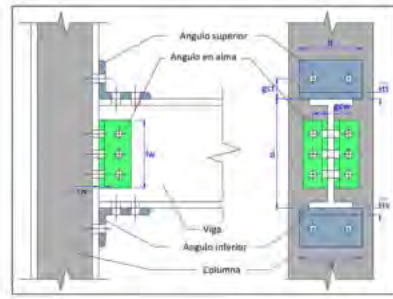
		Fy = 36		D = 6																	
W	hw	gc	tw	tt = 0.25									tt = 0.3125								
				tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5								
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n						
16	9	2.50	0.25	427.27	57.687.42	1.65	492.99	92,738.10	1.45	575.02	148,358.73	1.26	784.83	346,755.91	0.93						
			0.31	526.33	83,443.48	1.56	592.46	118,692.67	1.41	674.92	174,512.56	1.26	885.56	373,310.56	0.96						
			0.38	634.50	123,998.62	1.43	701.09	159,560.38	1.34	783.99	215,694.04	1.22	995.54	415,123.36	0.97						
		3.00	0.50	881.43	266,667.68	1.16	949.02	303,329.00	1.13	1,032.92	360,566.44	1.08	1,246.46	562,215.80	0.92						
			0.25	416.34	44,669.14	1.79	482.02	79,619.49	1.53	564.02	135,139.40	1.30	773.75	333,333.99	0.95						
			0.31	508.21	56,667.81	1.77	574.29	91,710.64	1.55	656.69	147,323.38	1.34	867.22	345,704.69	1.00						
	10	2.50	0.38	606.85	75,393.37	1.70	673.34	110,580.52	1.53	756.16	166,338.13	1.36	967.52	365,010.86	1.03						
			0.50	826.51	140,543.81	1.51	893.92	176,233.08	1.42	977.64	232,494.74	1.31	1,190.83	432,181.34	1.05						
			0.25	456.36	60,434.44	1.66	522.23	95,506.30	1.47	604.42	151,148.18	1.28	814.55	349,588.11	0.95						
		3.00	0.31	563.16	89,032.28	1.56	631.50	124,344.70	1.42	714.16	180,207.99	1.27	925.22	379,093.27	0.98						
			0.38	684.27	134,113.56	1.43	751.11	169,753.27	1.34	834.27	225,965.18	1.23	1,046.33	425,551.71	0.98						
			0.50	957.06	292,634.73	1.16	1,025.01	329,496.18	1.13	1,109.28	386,934.52	1.08	1,323.56	588,987.98	0.93						
		11	2.50	0.25	444.00	45,969.68	1.81	509.84	80,930.06	1.55	591.99	136,460.03	1.33	802.04	334,674.86	0.97					
				0.31	544.69	59,301.54	1.78	610.96	94,364.67	1.57	693.56	149,997.78	1.37	904.49	348,420.08	1.02					
				0.38	653.01	80,107.72	1.71	719.75	115,331.20	1.55	802.81	171,125.29	1.38	1,014.67	369,871.38	1.05					
			3.00	0.50	894.97	152,497.09	1.51	962.73	188,278.49	1.43	1,046.80	244,632.63	1.32	1,260.68	444,505.25	1.07					
				0.25	484.14	63,181.46	1.67	550.18	98,274.49	1.48	632.53	153,937.62	1.30	842.97	352,420.30	0.97					
				0.31	602.44	94,661.08	1.56	668.99	129,996.73	1.43	751.85	185,903.41	1.29	963.32	384,875.98	0.99					
	12	2.50	0.38	732.27	144,228.49	1.42	799.37	179,946.15	1.34	882.78	236,236.32	1.24	1,095.55	435,980.27	1.00						
			0.50	1,030.50	318,601.77	1.15	1,098.91	355,663.35	1.12	1,183.55	413,302.60	1.08	1,398.56	615,760.16	0.94						
			0.25	470.32	47,270.23	1.83	536.31	82,240.63	1.58	618.62	137,780.66	1.35	828.98	336,015.73	0.99						
		3.00	0.31	579.53	61,935.27	1.79	646.01	97,018.69	1.59	728.81	152,672.19	1.39	940.13	351,135.47	1.03						
			0.38	697.29	84,822.07	1.72	764.28	120,081.88	1.56	847.59	175,912.45	1.39	1,059.94	374,731.90	1.07						
			0.50	961.14	164,450.38	1.51	1,029.24	200,323.90	1.43	1,113.66	256,770.52	1.33	1,328.24	456,829.16	1.09						
13		2.50	0.25	510.63	65,928.48	1.68	576.82	101,042.68	1.49	659.33	156,727.07	1.31	870.10	355,252.50	0.98						
			0.31	638.17	100,269.89	1.56	704.92	135,648.76	1.44	787.99	191,598.84	1.30	999.88	390,658.69	1.01						
			0.38	778.50	154,343.42	1.42	845.85	190,139.04	1.34	929.52	246,507.47	1.24	1,142.61	446,408.82	1.01						
		3.00	0.50	1,102.05	344,568.82	1.14	1,170.73	381,830.53	1.12	1,255.74	439,670.67	1.07	1,471.49	642,532.34	0.94						
			0.25	495.29	48,570.77	1.85	561.44	83,551.19	1.59	643.91	139,101.29	1.37	854.57	337,356.60	1.00						
			0.31	612.76	64,569.00	1.80	679.44	99,672.72	1.60	762.43	155,346.59	1.40	974.16	353,850.87	1.05						
13	2.50	0.38	739.71	89,536.42	1.72	806.94	124,832.57	1.57	890.49	180,699.60	1.41	1,103.34	379,592.42	1.08							
		0.50	1,025.01	176,403.66	1.51	1,093.46	212,369.31	1.43	1,178.23	268,908.41	1.33	1,393.50	469,153.07	1.10							
		0.25	535.81	68,675.50	1.68	602.17	103,810.87	1.50	684.84	159,516.51	1.32	895.92	358,084.69	0.99							
	3.00	0.31	672.34	105,878.69	1.56	739.30	141,300.79	1.44	822.58	197,294.26	1.30	1,034.88	396,441.40	1.02							
		0.38	822.96	164,458.35	1.41	890.57	200,331.93	1.34	974.50	256,778.61	1.25	1,188.09	456,837.38	1.02							
		0.50	1,171.42	370,535.87	1.14	1,240.47	407,997.71	1.11	1,325.84	466,038.75	1.07	1,542.32	669,304.52	0.94							

W	lw	gc	tw	D = 8												
				tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5			
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	
16	9	2.50	0.25	462.94	68,675.50	1.60	550.08	115,346.23	1.39	658.98	189,443.31	1.19	937.77	453,844.64	0.88	
			0.31	561.99	94,431.56	1.52	649.56	141,300.79	1.36	758.88	215,597.14	1.20	1,038.50	480,399.29	0.91	
			0.38	670.17	134,986.70	1.41	758.18	182,168.51	1.30	867.95	256,778.61	1.18	1,148.48	522,211.88	0.92	
			0.50	917.10	277,655.76	1.16	1,006.11	325,937.12	1.12	1,116.88	401,651.02	1.06	1,399.40	669,304.52	0.88	
		3.00	0.25	452.01	55,657.22	1.71	539.11	102,227.62	1.45	647.98	176,223.98	1.23	926.69	440,422.71	0.89	
			0.31	543.88	67,655.89	1.70	631.39	114,318.76	1.47	740.65	188,407.96	1.27	1,020.16	452,793.42	0.93	
			0.38	642.51	86,381.45	1.66	730.44	133,188.65	1.47	840.12	207,422.71	1.29	1,120.46	472,099.58	0.96	
			0.50	862.18	151,531.89	1.49	951.01	198,841.20	1.39	1,061.60	273,579.32	1.26	1,343.77	539,270.07	0.99	
		10	2.50	0.25	492.02	71,422.52	1.61	579.33	118,114.42	1.40	688.38	192,232.76	1.21	967.49	456,676.83	0.89
				0.31	600.83	100,040.36	1.53	688.60	146,952.83	1.37	798.12	221,292.57	1.22	1,078.16	486,182.00	0.92
				0.38	719.94	145,101.64	1.41	808.21	192,361.39	1.31	918.23	267,049.76	1.19	1,199.27	532,640.44	0.93
				0.50	992.72	303,622.81	1.16	1,082.10	352,104.30	1.12	1,193.24	428,019.10	1.06	1,476.50	696,076.70	0.89
	3.00		0.25	479.67	56,957.76	1.73	566.93	103,538.19	1.47	675.95	177,544.61	1.25	954.98	441,763.58	0.91	
			0.31	580.35	70,289.62	1.72	668.06	116,972.79	1.49	777.52	191,082.36	1.29	1,057.43	455,508.81	0.95	
			0.38	688.67	91,095.80	1.67	776.84	137,939.33	1.49	886.77	212,209.87	1.31	1,167.61	476,960.10	0.98	
			0.50	930.64	163,485.17	1.49	1,019.82	210,886.61	1.39	1,130.76	285,717.21	1.27	1,413.62	551,593.97	1.01	
	11		2.50	0.25	519.81	74,169.54	1.62	607.27	120,882.61	1.42	716.49	195,022.20	1.23	995.91	459,509.03	0.91
				0.31	638.11	105,649.16	1.53	726.08	152,604.86	1.38	835.81	226,987.99	1.23	1,116.26	491,964.71	0.93
				0.38	767.93	155,216.57	1.41	856.46	202,554.28	1.31	966.74	277,320.90	1.20	1,248.29	543,068.99	0.94
				0.50	1,066.26	329,589.85	1.15	1,156.01	378,271.48	1.12	1,267.51	454,387.17	1.06	1,551.50	722,848.88	0.90
		3.00	0.25	505.98	58,258.31	1.75	593.40	104,848.75	1.49	702.58	178,865.24	1.27	981.92	443,104.45	0.92	
			0.31	615.20	72,923.35	1.73	703.11	119,626.82	1.51	812.77	193,756.77	1.31	1,093.07	458,224.20	0.96	
			0.38	732.96	95,810.15	1.67	821.38	142,690.01	1.50	931.55	216,997.02	1.32	1,212.88	481,820.62	1.00	
			0.50	996.81	175,438.46	1.49	1,086.34	222,932.02	1.40	1,197.62	297,855.10	1.28	1,481.18	563,917.88	1.02	
		12	2.50	0.25	546.29	76,916.56	1.63	633.91	123,650.81	1.43	743.29	197,811.64	1.24	1,023.03	462,341.22	0.92
				0.31	673.83	111,257.97	1.53	762.02	158,256.89	1.39	871.95	232,683.42	1.24	1,152.82	497,747.42	0.95
				0.38	814.16	165,331.50	1.40	902.95	212,747.17	1.31	1,013.48	287,592.05	1.20	1,295.55	553,497.55	0.95
				0.50	1,137.71	355,556.90	1.14	1,227.83	404,438.66	1.11	1,339.70	480,755.25	1.06	1,624.42	749,621.06	0.91
	3.00		0.25	530.96	59,558.85	1.77	618.54	106,159.32	1.51	727.87	180,185.87	1.28	1,007.51	444,445.32	0.93	
			0.31	648.43	75,557.08	1.74	736.53	122,280.85	1.53	846.39	196,431.17	1.32	1,127.10	460,939.59	0.98	
			0.38	775.37	100,524.50	1.68	864.04	147,440.69	1.51	974.45	221,784.18	1.34	1,256.28	486,681.14	1.01	
			0.50	1,060.68	187,391.74	1.49	1,150.56	234,977.43	1.40	1,262.19	309,992.99	1.29	1,546.44	576,241.79	1.04	
	13		2.50	0.25	571.48	79,663.58	1.63	659.26	126,419.00	1.44	768.80	200,601.09	1.25	1,048.86	465,173.41	0.93
				0.31	708.01	116,866.77	1.53	796.40	163,908.92	1.40	906.54	238,378.84	1.25	1,187.82	503,530.13	0.96
				0.38	858.62	175,446.43	1.40	947.66	222,940.06	1.32	1,058.46	297,863.19	1.21	1,341.03	563,926.10	0.96
				0.50	1,207.08	381,523.95	1.14	1,297.56	430,605.84	1.11	1,409.80	507,123.33	1.06	1,695.26	776,393.25	0.91
		3.00	0.25	554.60	60,859.39	1.78	642.33	107,469.89	1.52	751.81	181,506.50	1.30	1,031.77	445,786.19	0.95	
			0.31	680.03	78,190.81	1.75	768.34	124,934.88	1.54	878.40	199,105.58	1.34	1,159.50	463,654.98	0.99	
			0.38	815.91	105,238.84	1.68	904.82	152,191.38	1.52	1,015.48	226,571.33	1.35	1,297.80	491,541.66	1.03	
			0.50	1,122.26	199,345.03	1.49	1,212.48	247,022.85	1.40	1,324.46	322,130.87	1.30	1,609.40	588,565.70	1.05	



		Fy = 36	D=3/4"		D = 10											
W	lw	gc	tw	tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5			
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	
16	9	2.50	0.25	498.60	79,663.58	1.55	607.17	137,954.36	1.34	742.94	230,527.89	1.15	1,090.71	560,933.36	0.84	
			0.31	597.66	105,419.64	1.49	706.65	163,908.92	1.32	842.84	256,681.72	1.16	1,191.44	587,488.01	0.87	
			0.38	705.84	145,974.78	1.39	815.28	204,776.63	1.28	951.91	297,863.19	1.14	1,301.42	629,300.61	0.88	
			0.50	952.76	288,643.84	1.16	1,063.21	348,545.25	1.11	1,200.84	442,735.60	1.04	1,552.34	776,393.25	0.86	
		3.00	0.25	487.67	66,645.30	1.65	596.21	124,835.74	1.39	731.94	217,308.56	1.17	1,079.63	547,511.44	0.85	
			0.31	579.55	78,643.97	1.65	688.48	136,926.89	1.42	824.61	229,492.53	1.21	1,173.10	559,882.14	0.89	
			0.38	678.18	97,369.53	1.62	787.53	155,796.77	1.42	924.08	248,507.29	1.23	1,273.40	579,188.30	0.92	
			0.50	897.84	162,519.97	1.47	1,008.10	221,449.33	1.36	1,145.56	314,663.90	1.22	1,496.71	646,358.79	0.95	
		10	2.50	0.25	527.69	82,410.60	1.56	636.42	140,722.55	1.35	772.34	233,317.33	1.16	1,120.43	563,765.56	0.85
				0.31	636.49	111,028.44	1.50	745.69	169,560.95	1.34	882.08	262,377.14	1.17	1,231.10	593,270.72	0.88
				0.38	755.60	156,089.72	1.39	865.30	214,969.52	1.28	1,002.19	308,134.34	1.15	1,352.21	639,729.16	0.89
				0.50	1,028.39	314,610.89	1.16	1,139.20	374,712.43	1.11	1,277.20	469,103.67	1.05	1,629.44	803,165.43	0.87
	3.00		0.25	515.33	67,945.84	1.67	624.02	126,146.31	1.41	759.91	218,629.19	1.19	1,107.92	548,852.31	0.86	
			0.31	616.02	81,277.70	1.67	725.15	139,580.92	1.44	861.48	232,166.94	1.23	1,210.36	562,597.53	0.90	
			0.38	724.34	102,083.88	1.63	833.94	160,547.46	1.44	970.73	253,294.45	1.25	1,320.55	584,048.83	0.93	
			0.50	966.31	174,473.25	1.48	1,076.92	233,494.74	1.37	1,214.72	326,801.78	1.23	1,566.56	658,682.70	0.96	
	11		2.50	0.25	555.47	85,157.62	1.58	664.36	143,490.74	1.37	800.45	236,106.78	1.18	1,148.85	566,597.75	0.87
				0.31	673.77	116,637.24	1.50	783.18	175,212.99	1.35	919.77	268,072.57	1.19	1,269.20	599,053.43	0.89
				0.38	803.60	166,204.65	1.39	913.55	225,162.41	1.29	1,050.70	318,405.48	1.16	1,401.23	650,157.72	0.90
				0.50	1,101.93	340,577.93	1.15	1,213.10	400,879.61	1.11	1,351.47	495,471.75	1.05	1,704.44	829,937.61	0.87
		3.00	0.25	541.65	69,246.38	1.69	650.50	127,456.88	1.43	786.54	219,949.82	1.21	1,134.86	550,193.17	0.88	
			0.31	650.87	83,911.43	1.68	760.20	142,234.95	1.45	896.73	234,841.34	1.25	1,246.01	565,312.92	0.92	
			0.38	768.63	106,798.23	1.64	878.47	165,298.14	1.45	1,015.51	258,081.60	1.27	1,365.82	588,909.35	0.95	
			0.50	1,032.48	186,426.54	1.48	1,143.43	245,540.15	1.37	1,281.58	338,939.67	1.24	1,634.12	671,006.60	0.98	
		12	2.50	0.25	581.96	87,904.64	1.58	691.01	146,258.93	1.38	827.25	238,896.22	1.19	1,175.97	569,429.94	0.88
				0.31	709.50	122,246.05	1.50	819.11	180,865.02	1.35	955.91	273,768.00	1.20	1,305.76	604,836.14	0.90
				0.38	849.83	176,319.58	1.39	960.04	235,355.30	1.29	1,097.44	328,676.63	1.17	1,448.49	660,586.27	0.91
				0.50	1,173.38	366,544.98	1.14	1,284.92	427,046.79	1.11	1,423.66	521,839.83	1.05	1,777.36	856,709.79	0.88
	3.00		0.25	566.63	70,546.93	1.70	675.63	128,767.45	1.44	811.83	221,270.45	1.23	1,160.45	551,534.04	0.89	
			0.31	684.10	86,545.16	1.69	793.63	144,888.98	1.47	930.35	237,515.75	1.27	1,280.04	568,028.31	0.93	
			0.38	811.04	111,512.58	1.64	921.13	170,048.82	1.46	1,058.41	262,868.76	1.28	1,409.22	593,769.87	0.96	
			0.50	1,096.35	198,379.82	1.47	1,207.65	257,585.56	1.38	1,346.15	351,077.56	1.25	1,699.38	683,330.51	0.99	
	13		2.50	0.25	607.14	90,651.66	1.59	716.35	149,027.12	1.39	852.76	241,685.67	1.20	1,201.80	572,262.14	0.89
				0.31	743.68	127,854.85	1.51	853.49	186,517.05	1.36	990.50	279,463.42	1.21	1,340.76	610,618.85	0.91
				0.38	894.29	186,434.51	1.39	1,004.76	245,548.19	1.29	1,142.42	338,947.77	1.17	1,493.97	671,014.83	0.92
				0.50	1,242.75	392,512.03	1.14	1,354.66	453,213.97	1.10	1,493.76	548,207.91	1.05	1,848.20	883,481.97	0.89
		3.00	0.25	590.26	71,847.47	1.72	699.42	130,078.02	1.46	835.77	222,591.08	1.24	1,184.71	552,874.91	0.90	
			0.31	715.70	89,178.89	1.70	825.43	147,543.01	1.48	962.36	240,190.15	1.28	1,312.44	570,743.70	0.94	
			0.38	851.58	116,226.92	1.65	961.91	174,799.50	1.47	1,099.44	267,655.91	1.29	1,450.74	598,630.39	0.97	
			0.50	1,157.92	210,333.11	1.47	1,269.57	269,630.97	1.38	1,408.42	363,215.45	1.26	1,762.34	695,654.42	1.00	

**CONEXIÓN CON ANGULO SUPERIOR E INFERIOR Y DOBLE ANGULO EN EL ALMA**  
**VIGA W18**



W	I <sub>w</sub>	g <sub>c</sub>	I <sub>w</sub>	D = 6													
				F <sub>y</sub> = 36			D = 3/4"			D = 6							
				u = 0.25			u = 0.3125			u = 0.375			u = 0.5				
M <sub>u</sub>			R <sub>k1</sub>			n			M <sub>u</sub>			R <sub>k1</sub>			n		
18	9	2.50	0.25	485.14	72,761.24	1.59	558.05	116,872.53	1.39	649.09	186,812.18	1.19	881.98	435,912.62	0.86		
			0.31	597.64	105,247.41	1.49	670.97	149,581.58	1.35	762.43	219,744.88	1.19	996.17	469,294.91	0.89		
			0.38	720.21	156,399.69	1.36	793.99	201,084.82	1.27	885.90	271,600.28	1.15	1,120.54	521,858.22	0.90		
		3.00	0.50	999.11	336,348.41	1.10	1,073.89	382,268.18	1.06	1,166.80	454,022.50	1.01	1,403.43	706,770.82	0.85		
			0.25	473.07	56,341.26	1.73	545.94	100,339.89	1.47	636.95	170,166.50	1.24	869.78	419,039.70	0.88		
			0.31	577.65	71,475.21	1.71	650.92	115,577.67	1.49	742.32	185,508.47	1.28	975.94	434,591.11	0.93		
	10	2.50	0.38	689.68	95,093.79	1.64	763.37	139,358.30	1.47	855.19	209,451.71	1.29	1,089.65	458,861.22	0.96		
			0.50	938.48	177,268.15	1.45	1,013.08	222,096.47	1.36	1,105.81	292,755.60	1.24	1,342.09	543,302.35	0.99		
			0.25	519.32	76,226.06	1.60	592.39	120,361.12	1.40	683.59	190,324.63	1.21	916.81	439,473.02	0.88		
		3.40	0.31	643.07	112,321.80	1.50	716.60	156,704.51	1.36	808.27	226,916.52	1.21	1,042.42	476,564.45	0.91		
			0.38	778.18	169,157.67	1.36	852.21	213,930.33	1.28	944.38	284,533.63	1.17	1,179.52	534,968.13	0.92		
			0.50	1,086.48	369,100.70	1.09	1,161.62	415,245.18	1.06	1,254.90	487,224.99	1.01	1,492.27	740,426.58	0.86		
11	2.50	0.25	505.71	57,981.64	1.75	578.73	101,991.52	1.46	669.90	171,829.43	1.26	903.03	420,725.33	0.90			
		0.31	620.51	74,797.14	1.72	693.97	118,922.39	1.51	785.58	188,876.06	1.30	1,019.59	438,004.68	0.95			
		0.38	743.72	101,040.01	1.65	817.65	145,345.32	1.49	909.72	215,479.66	1.31	1,144.67	464,971.46	0.98			
	3.00	0.50	1,018.06	192,344.85	1.45	1,093.00	237,276.61	1.36	1,186.08	308,039.54	1.26	1,423.05	558,794.94	1.00			
		0.25	552.21	79,690.89	1.61	625.43	123,849.72	1.42	716.80	193,837.08	1.23	950.33	443,033.42	0.90			
		0.31	686.94	119,396.19	1.50	760.68	163,827.44	1.37	852.56	234,088.16	1.22	1,087.12	483,834.00	0.93			
12	2.50	0.38	834.37	181,915.65	1.36	908.65	226,775.85	1.28	1,001.08	297,466.97	1.17	1,236.74	548,078.04	0.93			
		0.50	1,171.76	401,852.98	1.09	1,247.27	448,222.18	1.06	1,340.92	520,427.47	1.01	1,579.02	774,082.33	0.87			
		0.25	537.00	59,622.02	1.77	610.18	103,643.16	1.51	701.50	173,492.35	1.29	934.95	422,410.96	0.92			
	3.00	0.31	661.74	78,119.07	1.73	735.41	122,267.11	1.53	827.21	192,243.65	1.32	1,061.63	441,418.24	0.97			
		0.38	795.88	106,986.23	1.66	870.06	151,332.33	1.50	962.38	221,507.61	1.33	1,197.82	471,081.70	1.00			
		0.50	1,095.34	207,421.55	1.45	1,170.63	252,456.75	1.37	1,264.06	323,323.47	1.26	1,501.72	574,287.53	1.02			
13	2.50	0.25	583.79	83,155.71	1.62	657.18	127,338.31	1.43	748.70	197,349.52	1.25	982.55	446,593.82	0.92			
		0.31	729.27	126,470.59	1.50	803.21	170,950.38	1.38	895.29	241,259.79	1.23	1,130.26	491,103.54	0.94			
		0.38	888.79	194,673.63	1.36	963.33	239,621.36	1.28	1,056.02	310,400.32	1.18	1,292.19	561,187.95	0.94			
	3.00	0.50	1,254.96	434,605.27	1.08	1,330.84	481,199.18	1.05	1,424.85	553,629.95	1.01	1,663.69	807,738.09	0.88			
		0.25	566.95	61,262.40	1.79	640.29	105,294.79	1.53	731.76	175,155.28	1.31	965.52	424,096.58	0.94			
		0.31	701.35	81,440.99	1.74	775.22	125,611.83	1.54	867.22	195,611.24	1.34	1,102.04	444,831.80	0.99			
14	2.50	0.38	846.17	112,932.44	1.66	920.59	157,319.34	1.51	1,013.15	227,535.56	1.34	1,249.09	477,191.94	1.02			
		0.50	1,170.32	222,498.25	1.44	1,245.96	267,636.89	1.37	1,339.73	338,607.41	1.27	1,578.09	589,780.12	1.03			
		0.25	614.08	86,620.53	1.63	687.62	130,826.90	1.44	779.30	200,861.97	1.26	1,013.47	450,154.22	0.93			
	3.00	0.31	770.04	133,544.98	1.50	844.19	178,073.31	1.38	936.47	248,431.43	1.24	1,171.86	498,373.08	0.96			
		0.38	941.44	207,431.61	1.36	1,016.24	252,466.88	1.28	1,109.18	323,333.67	1.19	1,345.87	574,297.86	0.95			
		0.50	1,336.08	467,357.55	1.07	1,412.32	514,176.18	1.05	1,506.70	586,832.43	1.01	1,746.27	841,393.84	0.88			
15	2.50	0.25	595.56	62,902.78	1.80	669.05	106,946.42	1.55	760.68	176,818.21	1.32	994.75	425,782.21	0.95			
		0.31	739.34	84,762.92	1.75	813.41	128,956.55	1.56	905.61	198,978.83	1.36	1,140.83	448,245.37	1.00			
		0.38	894.58	118,878.66	1.66	969.25	163,306.36	1.52	1,062.06	233,563.51	1.36	1,298.48	483,302.18	1.04			
	3.00	0.50	1,243.01	237,574.95	1.44	1,318.99	282,817.03	1.37	1,413.12	353,891.35	1.28	1,652.17	605,272.71	1.05			
		0.25	643.06	90,085.35	1.63	716.77	134,315.50	1.45	808.61	204,374.42	1.27	1,043.10	453,714.61	0.94			
		0.31	809.25	140,619.38	1.50	883.61	185,196.24	1.39	976.10	255,603.07	1.25	1,211.90	505,642.62	0.97			
16	2.50	0.38	992.33	220,189.59	1.35	1,067.38	265,312.39	1.28	1,160.58	336,267.01	1.19	1,397.78	587,407.77	0.96			
		0.50	1,415.11	500,109.84	1.07	1,491.72	547,153.18	1.05	1,586.46	620,034.92	1.01	1,826.77	875,049.59	0.88			
		0.25	622.82	64,543.16	1.81	696.47	108,598.06	1.57	788.26	178,481.13	1.34	1,022.63	427,467.84	0.97			
	3.00	0.31	775.71	88,084.85	1.76	849.98	132,301.27	1.57	942.38	202,346.42	1.37	1,177.99	451,658.93	1.02			
		0.38	941.11	124,824.87	1.66	1,016.03	169,293.37	1.53	1,109.08	239,591.46	1.37	1,346.00	489,412.42	1.05			
		0.50	1,313.40	252,651.65	1.44	1,389.73	297,997.18	1.37	1,484.20	369,175.29	1.28	1,723.95	620,765.30	1.06			
17	2.50	0.25	670.75	93,550.17	1.63	744.61	137,804.09	1.46	836.61	207,886.86	1.28	1,071.42	457,275.01	0.95			
		0.31	846.92	147,693.77	1.50	921.48	192,319.17	1.39	1,014.18	262,774.70	1.26	1,250.39	512,912.16	0.98			
		0.38	1,041.45	232,947.57	1.35	1,116.76	278,157.90	1.28	1,210.21	349,200.36	1.19	1,447.92	600,517.68	0.97			
	3.00	0.50	1,492.05	532,862.12	1.06	1,569.03	580,130.18	1.04	1,664.14	653,237.40	1.00	1,905.18	908,705.35	0.89			
		0.25	648.75	66,183.53	1.82	722.55	110,249.69	1.58	814.49	180,144.06	1.35	1,049.18	429,153.47	0.98			
		0.31	810.46	91,406.78	1.76	884.92	135,645.99	1.58	977.53	205,714.01	1.38	1,213.54	455,072.50	1.03			
18	3.00	0.38	985.77	130,771.09	1.66	1,060.93	175,280.38	1.53	1,154.23	245,619.40	1.38	1,391.64	495,522.67	1.06			
		0.50	1,381.49	267,728.35	1.43	1,458.17	313,177.32	1.37	1,552.99	384,459.22	1.28	1,793.43	636,257.89	1.07			

W	lw	gc	tw	Fy = 36	D = 8												
				D=3/4"	tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5			
					Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	
18	9	2.50	0.25	524.80	86,620.53	1.53	621.53	145,364.26	1.32	742.44	238,545.57	1.13	1,052.01	570,535.64	0.81		
			0.31	637.30	119,106.69	1.46	734.45	178,073.31	1.30	855.78	271,478.27	1.13	1,166.20	603,917.93	0.84		
			0.38	759.87	170,258.97	1.35	857.47	229,576.55	1.24	979.25	323,333.67	1.11	1,290.57	656,481.24	0.85		
			0.50	1,038.77	350,207.70	1.10	1,137.37	410,759.91	1.06	1,260.15	505,755.89	0.99	1,573.46	841,393.84	0.82		
		3.00	0.25	512.73	70,200.55	1.64	609.42	128,831.62	1.38	730.30	221,899.89	1.16	1,039.80	553,662.71	0.82		
			0.31	617.31	85,334.49	1.64	714.40	144,069.40	1.41	835.67	237,241.86	1.20	1,145.97	569,214.13	0.86		
	10	2.50	0.25	524.80	86,620.53	1.53	621.53	145,364.26	1.32	742.44	238,545.57	1.13	1,052.01	570,535.64	0.81		
				0.31	637.30	119,106.69	1.46	734.45	178,073.31	1.30	855.78	271,478.27	1.13	1,166.20	603,917.93	0.84	
				0.38	759.87	170,258.97	1.35	857.47	229,576.55	1.24	979.25	323,333.67	1.11	1,290.57	656,481.24	0.85	
				0.50	1,038.77	350,207.70	1.10	1,137.37	410,759.91	1.06	1,260.15	505,755.89	0.99	1,573.46	841,393.84	0.82	
			3.00	0.25	512.73	70,200.55	1.64	609.42	128,831.62	1.38	730.30	221,899.89	1.16	1,039.80	553,662.71	0.82	
				0.31	617.31	85,334.49	1.64	714.40	144,069.40	1.41	835.67	237,241.86	1.20	1,145.97	569,214.13	0.86	
		11	2.50	0.25	558.98	90,085.35	1.55	655.87	148,852.85	1.34	776.94	242,058.02	1.15	1,086.83	574,096.04	0.82	
					0.31	682.73	126,181.08	1.46	780.08	185,196.24	1.31	901.62	278,649.91	1.15	1,212.45	611,187.47	0.85
					0.38	817.83	183,016.95	1.35	915.69	242,422.06	1.24	1,037.73	336,267.01	1.12	1,349.55	669,591.15	0.86
0.50					1,126.14	382,959.98	1.09	1,225.10	443,736.91	1.05	1,348.25	538,958.37	0.99	1,662.29	875,049.59	0.83	
3.00				0.25	545.36	71,840.93	1.67	642.21	130,483.25	1.40	763.25	223,562.81	1.18	1,073.06	555,348.34	0.84	
				0.31	660.16	88,656.42	1.66	757.45	147,414.12	1.43	878.93	240,609.45	1.22	1,189.62	572,627.69	0.88	
12			2.50	0.25	591.87	93,550.17	1.56	688.92	152,341.45	1.35	810.15	245,570.46	1.16	1,120.36	577,656.43	0.84	
					0.31	726.60	133,255.48	1.47	824.16	192,319.17	1.32	945.91	285,821.54	1.16	1,257.14	618,457.01	0.87
					0.38	874.02	195,774.93	1.35	972.14	255,267.58	1.25	1,094.43	349,200.36	1.13	1,406.77	682,701.06	0.88
					0.50	1,211.42	415,712.27	1.09	1,310.75	476,713.91	1.05	1,434.27	572,160.86	0.99	1,749.05	908,705.35	0.83
				3.00	0.25	576.66	73,481.30	1.69	673.66	132,134.89	1.43	794.85	225,225.74	1.20	1,104.97	557,033.97	0.85
					0.31	701.40	91,978.35	1.67	798.89	150,758.84	1.45	920.56	243,977.04	1.24	1,231.65	576,041.26	0.90
13	2.50	0.25	623.45	97,014.99	1.57	720.66	155,830.04	1.37	842.05	249,082.91	1.18	1,152.58	581,216.83	0.86			
			0.31	768.92	140,329.87	1.47	866.69	199,442.11	1.33	988.64	292,993.18	1.18	1,300.29	625,726.55	0.88		
			0.38	928.45	208,532.91	1.34	1,026.81	268,113.09	1.25	1,149.37	362,133.71	1.14	1,462.21	695,810.97	0.89		
			0.50	1,294.62	448,464.55	1.08	1,394.32	509,690.91	1.05	1,518.20	605,363.34	1.00	1,833.71	942,361.10	0.84		
		3.00	0.25	606.61	75,121.68	1.71	703.77	133,786.52	1.44	825.11	226,888.67	1.22	1,135.54	558,719.60	0.87		
			0.31	741.01	95,300.28	1.68	838.70	154,103.56	1.47	960.57	247,344.63	1.26	1,272.06	579,454.82	0.91		
	14	2.50	0.25	653.74	100,479.81	1.57	751.10	159,318.63	1.38	872.65	252,593.36	1.19	1,183.50	584,777.23	0.87		
				0.31	809.69	147,404.27	1.47	907.67	206,565.04	1.34	1,029.82	300,164.82	1.19	1,341.88	632,996.09	0.89	
				0.38	981.10	221,290.89	1.34	1,079.72	280,958.61	1.25	1,202.53	375,067.05	1.14	1,515.89	708,920.88	0.90	
				0.50	1,375.73	481,216.84	1.07	1,475.80	542,667.91	1.04	1,600.05	638,565.82	0.99	1,916.30	976,016.85	0.85	
			3.00	0.25	635.21	76,762.06	1.72	732.53	135,438.15	1.46	854.03	228,551.59	1.24	1,164.77	560,405.23	0.88	
				0.31	779.00	98,622.21	1.69	876.89	157,448.28	1.48	998.96	250,712.22	1.28	1,310.85	582,868.38	0.93	
15	2.50	0.25	682.72	103,944.63	1.58	780.25	162,807.23	1.39	901.96	256,107.80	1.20	1,213.12	588,337.63	0.88			
			0.31	848.91	154,478.66	1.47	947.09	213,687.97	1.34	1,069.45	307,336.45	1.19	1,381.93	640,265.63	0.90		
			0.38	1,031.99	234,048.88	1.34	1,130.87	293,804.12	1.26	1,253.93	388,000.40	1.15	1,567.80	722,030.78	0.91		
			0.50	1,454.76	513,969.12	1.07	1,555.20	575,644.91	1.04	1,679.81	671,768.30	0.99	1,996.79	1,009,672.61	0.85		
		3.00	0.25	662.48	78,402.44	1.73	759.95	137,089.79	1.48	881.61	230,214.52	1.25	1,192.66	562,090.86	0.89		
			0.31	815.37	101,944.14	1.70	913.46	160,793.00	1.49	1,035.73	254,079.81	1.29	1,348.02	586,281.95	0.94		
	16	2.50	0.25	710.41	107,409.45	1.58	808.09	166,295.82	1.40	929.96	259,620.25	1.21	1,241.45	591,898.03	0.89		
				0.31	886.58	161,553.06	1.47	984.96	220,810.90	1.34	1,107.53	314,508.09	1.20	1,420.42	647,535.17	0.91	
				0.38	1,081.10	246,806.86	1.33	1,180.24	306,649.63	1.26	1,303.56	400,933.75	1.15	1,617.94	735,140.69	0.92	
				0.50	1,531.71	546,721.41	1.06	1,632.51	608,621.91	1.04	1,757.49	704,970.79	0.99	2,075.21	1,043,328.36	0.85	
			3.00	0.25	688.40	80,042.82	1.74	786.03	138,741.42	1.49	907.84	231,877.45	1.27	1,219.21	563,776.48	0.91	
				0.31	850.12	105,266.06	1.71	948.40	164,137.72	1.50	1,070.88	257,447.40	1.30	1,383.56	589,695.51	0.95	
17	2.50	0.25	710.41	107,409.45	1.58	808.09	166,295.82	1.40	929.96	259,620.25	1.21	1,241.45	591,898.03	0.89			
			0.31	886.58	161,553.06	1.47	984.96	220,810.90	1.34	1,107.53	314,508.09	1.20	1,420.42	647,535.17	0.91		
			0.38	1,081.10	246,806.86	1.33	1,180.24	306,649.63	1.26	1,303.56	400,933.75	1.15	1,617.94	735,140.69	0.92		
			0.50	1,531.71	546,721.41	1.06	1,632.51	608,621.91	1.04	1,757.49	704,970.79	0.99	2,075.21	1,043,328.36	0.85		
		3.00	0.25	688.40	80,042.82	1.74	786.03	138,741.42	1.49	907.84	231,877.45	1.27	1,219.21	563,776.48	0.91		
			0.31	850.12	105,266.06	1.71	948.40	164,137.72	1.50	1,070.88	257,447.40	1.30	1,383.56	589,695.51	0.95		
18	2.50	0.25	710.41	107,409.45	1.58	808.09	166,295.82	1.40	929.96	259,620.25	1.21	1,241.45	591,898.03	0.89			
			0.31	886.58	161,553.06	1.47	984.96	220,810.90	1.34	1,107.53	314,508.09	1.20	1,420.42	647,535.17	0.91		
			0.38	1,081.10	246,806.86	1.33	1,180.24	306,649.63	1.26	1,303.56	400,933.75	1.15	1,617.94	735,140.69	0.92		
			0.50	1,531.71	546,721.41	1.06	1,632.51	608,621.91	1.04	1,757.49	704,970.79	0.99	2,075.21	1,043,328.36	0.85		
		3.00	0.25	688.40	80,042.82	1.74	786.03	138,741.42	1.49	907.84	231,877.45	1.27	1,219.21	563,776.48	0.91		
			0.31	850.12	105,266.06	1.71	948.40	164,137.72	1.50	1,070.88	257,447.40	1.30	1,383.56	589,695.51	0.95		

W	lw	gc	tw	D = 10																	
				Fy = 36			D = 3/4"			tt = 0.25			tt = 0.3125			tt = 0.375			tt = 0.5		
				Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n	Mu	Rki	n			
9	2.50	0.25	564.45	100,479.81	1.48	685.01	173,855.99	1.27	835.79	290,278.96	1.08	1,222.04	705,158.65	0.77							
			0.31	676.96	132,965.97	1.43	797.93	206,565.04	1.26	949.13	323,211.66	1.09	1,336.22	738,540.94	0.80						
			0.38	799.53	184,118.25	1.33	920.95	258,068.28	1.21	1,072.60	375,067.05	1.07	1,460.59	791,104.25	0.81						
			0.50	1,078.42	364,066.98	1.10	1,200.85	439,251.64	1.05	1,353.50	557,489.28	0.98	1,743.48	976,016.85	0.79						
			3.00	0.25	552.39	84,059.83	1.58	672.90	157,323.35	1.32	823.65	273,633.27	1.11	1,209.83	688,285.73	0.78					
				0.31	656.96	99,193.78	1.58	777.88	172,561.13	1.35	929.02	288,975.25	1.15	1,315.99	703,837.14	0.82					
	0.38	769.00		122,812.36	1.55	890.33	196,341.76	1.35	1,041.89	312,918.48	1.17	1,429.70	728,107.24	0.85							
	10	2.50	0.25	598.64	103,944.63	1.50	719.35	177,344.58	1.29	870.29	293,791.40	1.10	1,256.86	708,719.05	0.78						
			0.31	722.38	140,040.37	1.43	843.56	213,687.97	1.27	994.97	330,383.29	1.11	1,382.47	745,810.48	0.81						
			0.38	857.49	196,876.24	1.33	979.17	270,913.79	1.22	1,131.08	388,000.40	1.09	1,519.58	804,214.16	0.82						
		3.00	0.25	1,165.79	396,819.27	1.09	1,288.58	472,228.64	1.05	1,441.60	590,691.76	0.98	1,832.32	1,009,672.61	0.80						
			0.31	585.02	85,700.21	1.60	705.69	158,974.98	1.34	856.60	275,296.20	1.13	1,243.08	689,971.36	0.79						
0.38			699.82	102,515.71	1.60	820.93	175,905.85	1.37	972.28	292,342.84	1.17	1,359.65	707,250.71	0.83							
10	2.50	0.25	631.52	107,409.45	1.51	752.40	180,833.17	1.30	903.50	297,303.85	1.11	1,290.38	712,279.45	0.80							
		0.31	766.26	147,114.76	1.44	887.64	220,810.90	1.28	1,039.26	337,554.93	1.12	1,427.17	753,080.02	0.83							
		0.38	913.68	209,634.22	1.33	1,035.62	283,759.31	1.22	1,187.78	400,933.75	1.10	1,576.79	817,324.07	0.84							
		0.50	1,251.08	429,571.55	1.09	1,374.23	505,205.64	1.04	1,527.62	623,894.24	0.98	1,919.07	1,043,328.36	0.81							
		3.00	0.25	616.31	87,340.59	1.62	737.14	160,626.62	1.36	888.20	276,959.13	1.14	1,275.00	691,656.98	0.81						
			0.31	741.05	105,837.63	1.62	862.37	179,250.57	1.39	1,013.91	295,710.43	1.19	1,401.68	710,664.27	0.85						
	0.38		875.19	134,704.79	1.57	997.02	208,315.79	1.39	1,149.08	324,974.38	1.20	1,537.87	740,327.73	0.88							
	11	2.50	0.25	1,174.65	235,140.12	1.41	1,297.59	309,440.21	1.31	1,450.76	426,790.25	1.18	1,841.77	843,533.56	0.91						
			0.31	663.11	110,874.28	1.52	784.14	184,321.77	1.32	935.40	300,816.30	1.13	1,322.60	715,839.85	0.81						
			0.38	808.58	154,189.16	1.44	930.17	227,933.84	1.29	1,081.99	344,726.57	1.13	1,470.32	760,349.57	0.84						
			0.50	968.10	222,392.20	1.33	1,090.29	296,604.82	1.23	1,242.72	413,867.09	1.10	1,632.24	830,433.98	0.85						
			3.00	0.25	1,334.28	462,323.84	1.08	1,457.80	538,182.64	1.04	1,611.55	657,096.73	0.98	2,003.74	1,076,984.11	0.81					
0.31				646.26	88,980.97	1.64	767.25	162,278.25	1.38	918.46	278,622.05	1.16	1,305.57	693,342.61	0.82						
0.38		780.67		109,159.56	1.63	902.18	182,595.29	1.41	1,053.92	299,078.02	1.20	1,442.09	714,077.83	0.86							
12		2.50	0.25	925.48	140,651.01	1.58	1,047.55	214,302.80	1.40	1,199.85	331,002.33	1.22	1,589.14	746,437.97	0.90						
			0.31	1,249.63	250,216.82	1.41	1,372.92	324,620.35	1.31	1,526.43	442,074.18	1.19	1,918.15	859,026.14	0.92						
			0.38	693.39	114,339.10	1.53	814.58	187,810.36	1.33	966.00	304,328.74	1.14	1,353.53	719,400.24	0.82						
			0.50	849.35	161,263.55	1.45	971.15	235,056.77	1.30	1,123.17	351,898.20	1.14	1,511.91	767,619.11	0.85						
			3.00	0.25	1,020.76	235,150.18	1.33	1,143.20	309,450.33	1.23	1,295.88	426,800.44	1.11	1,685.92	843,543.89	0.86					
	0.31			1,415.39	495,076.12	1.07	1,539.28	571,159.64	1.04	1,693.40	690,299.21	0.98	2,086.32	1,110,639.87	0.82						
	0.38	674.87		90,621.35	1.66	796.01	163,929.88	1.40	947.38	280,284.98	1.18	1,334.80	695,028.24	0.83							
	13	2.50	0.25	818.66	112,481.49	1.64	940.37	185,940.01	1.42	1,092.31	302,445.61	1.22	1,480.88	717,491.40	0.88						
			0.31	973.89	146,597.23	1.59	1,096.21	220,289.82	1.41	1,248.76	337,030.28	1.23	1,638.53	752,548.21	0.91						
			0.38	1,322.32	265,293.52	1.41	1,445.95	339,800.49	1.32	1,599.82	457,358.12	1.20	1,992.22	874,518.73	0.94						
			0.50	722.38	117,803.92	1.54	843.73	191,298.96	1.34	995.31	307,841.19	1.15	1,383.15	722,960.64	0.83						
			3.00	0.25	888.57	168,337.95	1.45	1,010.57	242,179.70	1.30	1,162.80	359,069.84	1.15	1,551.95	774,888.65	0.86					
0.31				1,071.64	247,908.16	1.33	1,194.35	322,295.85	1.23	1,347.28	439,733.79	1.12	1,737.83	856,653.80	0.87						
0.38		1,494.42		527,828.41	1.07	1,618.68	604,136.64	1.04	1,773.16	723,501.69	0.98	2,166.82	1,144,295.62	0.82							
14		2.50	0.25	702.14	92,261.72	1.67	823.43	165,581.52	1.41	974.96	281,947.91	1.19	1,362.69	696,713.87	0.84						
			0.31	855.03	115,803.42	1.65	976.94	189,284.73	1.43	1,129.08	305,813.20	1.23	1,518.05	720,904.96	0.89						
			0.38	1,020.43	152,543.44	1.59	1,142.99	226,276.83	1.42	1,295.78	343,058.23	1.24	1,686.05	758,658.45	0.92						
			0.50	1,392.71	280,370.22	1.41	1,516.69	354,980.63	1.32	1,670.90	472,642.06	1.20	2,064.00	890,011.32	0.95						
			3.00	0.25	750.06	121,268.74	1.54	871.57	194,787.55	1.35	1,023.31	311,353.64	1.16	1,411.47	726,521.04	0.84					
	0.31			926.23	175,412.34	1.45	1,048.44	249,302.63	1.31	1,200.88	366,241.47	1.16	1,590.44	782,158.19	0.87						
	0.38	1,120.76		260,666.14	1.32	1,243.72	335,141.36	1.23	1,396.91	452,667.13	1.12	1,787.97	869,763.71	0.87							
	15	2.50	0.50	1,571.36	560,580.69	1.06	1,695.99	637,113.64	1.03	1,850.84	756,704.17	0.98	2,245.23	1,177,951.37	0.83						
			0.25	728.06	93,902.10	1.68	849.51	167,233.15	1.42	1,001.19	283,610.83	1.20	1,389.23	698,399.50	0.85						
			0.31	889.77	119,125.35	1.66	1,011.88	192,629.45	1.44	1,164.23	309,180.79	1.24	1,553.59	724,318.52	0.90						
			0.38	1,065.09	158,489.66	1.59	1,187.90	232,263.84	1.43	1,340.94	349,086.18	1.25	1,731.70	764,768.69	0.93						
			3.00	0.50	1,460.81	295,446.92	1.41	1,585.13	370,160.78	1.32	1,739.69	487,926.00	1.21	2,133.49	905,503.91	0.96					
0.25				564.45	100,479.81	1.48	685.01	173,855.99	1.27	835.79	290,278.96	1.08	1,222.04	705,158.65	0.77						
0.31		676.96		132,965.97	1.43	797.93	206,565.04	1.26	949.13	323,211.66	1.09	1,336.22	738,540.94	0.80							

## B. PROCEDIMIENTO Y ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE CUATRO TIPOS DE CONEXIONES SEMI-RÍGIDAS

```

classdef AJEDE1 < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure                matlab.ui.Figure
        DatosdeConexinDropDownLabel  matlab.ui.control.Label
        DatosdeConexinDropDown    matlab.ui.control.DropDown
        ModElastEksiLabel         matlab.ui.control.Label
        E                         matlab.ui.control.NumericEditField
        UIAxes                    matlab.ui.control.UIAxes
        procesar                  matlab.ui.control.Button
        PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel
    matlab.ui.control.Label
        InerciaVigaIin4Label      matlab.ui.control.Label
        Inercia                   matlab.ui.control.NumericEditField
        UIAxes2                   matlab.ui.control.UIAxes
        LongitudvigalinLabel      matlab.ui.control.Label
        Long                      matlab.ui.control.NumericEditField
        CargawkipinLabel          matlab.ui.control.Label
        w                         matlab.ui.control.NumericEditField
        gcwinLabel                matlab.ui.control.Label
        gcw                       matlab.ui.control.NumericEditField
        lwinLabel                 matlab.ui.control.Label
        lw                         matlab.ui.control.NumericEditField
        FluenciaFyvigaksiLabel    matlab.ui.control.Label
        FyV                       matlab.ui.control.NumericEditField
        twinLabel                 matlab.ui.control.Label
        tw                         matlab.ui.control.NumericEditField
        WwinLabel                 matlab.ui.control.Label
        Ww                         matlab.ui.control.NumericEditField
        kwinLabel                 matlab.ui.control.Label
        kw                         matlab.ui.control.NumericEditField
        gctinLabel                matlab.ui.control.Label
        gct                       matlab.ui.control.NumericEditField
        lctinLabel                matlab.ui.control.Label
        lct                       matlab.ui.control.NumericEditField
        ttinLabel                 matlab.ui.control.Label
        tt                         matlab.ui.control.NumericEditField
        WtinLabel                 matlab.ui.control.Label
        Wt                         matlab.ui.control.NumericEditField
        ktinLabel                 matlab.ui.control.Label
        kt                         matlab.ui.control.NumericEditField
        PeraltedelavigadinLabel  matlab.ui.control.Label
        D                         matlab.ui.control.NumericEditField
        DatosdelaVigaLabel        matlab.ui.control.Label
        MtoEquivalenteMekipsinLabel  matlab.ui.control.Label
        Me                         matlab.ui.control.NumericEditField
        GiroradLabel              matlab.ui.control.Label
        Curv                       matlab.ui.control.NumericEditField
        RigidezdeConxRkskipsinLabel  matlab.ui.control.Label
    end
end

```

```

Rk matlab.ui.control.NumericEditField
MoltimoconexinkipsinLabel matlab.ui.control.Label
Mu matlab.ui.control.NumericEditField
RigidezInicialRkikipsinLabel matlab.ui.control.Label
Rki matlab.ui.control.NumericEditField
FactodeformanLabel matlab.ui.control.Label
n matlab.ui.control.NumericEditField
AngulosenelalmaLabel matlab.ui.control.Label
AngulosupeinfernalasLabel matlab.ui.control.Label
ResultadosLabel matlab.ui.control.Label
parametros matlab.ui.control.Button
exconexion matlab.ui.control.Button
AnchodelavigabinLabel matlab.ui.control.Label
bw matlab.ui.control.NumericEditField
CodigoLabel_2 matlab.ui.control.Label
hoja matlab.ui.control.EditField
Label matlab.ui.control.Label
Label_2 matlab.ui.control.Label
Label_3 matlab.ui.control.Label
PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2
matlab.ui.control.Label
expviga matlab.ui.control.Button
CodigoLabel matlab.ui.control.Label
hoja_2 matlab.ui.control.EditField
TipoAAnguloenelalmaLabel matlab.ui.control.Label
TipoBAngulodobleenelalmaLabel matlab.ui.control.Label
TipoCAngulosuperioreinferiorenelalalaLabel matlab.ui.control.Label
TipoDAngulosuperioreinferiorenelalalaLabel matlab.ui.control.Label
angulodobleenelalmaLabel matlab.ui.control.Label
MpLabel matlab.ui.control.Label
Mp matlab.ui.control.NumericEditField
MnLabel matlab.ui.control.Label
Mn matlab.ui.control.NumericEditField
linea1 matlab.ui.control.Label
PesoLbftLabel matlab.ui.control.Label
Peso matlab.ui.control.NumericEditField
Sxin3Label matlab.ui.control.Label
Sx matlab.ui.control.NumericEditField
Zxin3Label matlab.ui.control.Label
Zx matlab.ui.control.NumericEditField
FluenciaFyconexionksiLabel matlab.ui.control.Label
FyC matlab.ui.control.NumericEditField
ProcData matlab.ui.control.Button
UnidadesDropDownLabel matlab.ui.control.Label
Unidades matlab.ui.control.DropDown
end
properties (Access = private)
x;
y1;
y2;
Multimo;
Rkinicial;
nforma;

```

```

Mpl;
Mnom;

Meq;
Rkcon;
girocon;
end
methods (Access = private)
% Code that executes after component creation
function startupFcn(app)
% Inserta la imagen en la ventana parametros
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 375 450 260];
title(app.UIAxes, 'Parametros del angulo de conexion');
xlabel(app.UIAxes, []);
ylabel(app.UIAxes, []);
app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};

% Display image and stretch to fill axes
I = imshow('grafico1.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);
% Set limits of axes
app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

% Inserta la imagen en la ventana principal comportamiento no
lineal conexion
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
title(app.UIAxes, 'Detalle de conexion');
xlabel(app.UIAxes, []);
ylabel(app.UIAxes, []);
app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
% Display image and stretch to fill axes
I=imshow('grafico2.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);

% Set limits of axes
app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

app.E.Value = 29000;
app.FyV.Value = 50;
app.FyC.Value = 36;
app.Inercia.Value = 248;
app.Long.Value = 240;
app.w.Value = 0.15667;
app.D.Value = 10;
app.Peso.Value=45;
app.gcw.Value = 3;
app.lw.Value = 7;

```

```

    app.tw.Value = 0.44;
    app.Ww.Value = 1.44;
    app.kw.Value = 0.88;
    app.bw.Value = 8;
    app.Sx.Value = 49.1;
    app.Zx.Value = 54.9;

    app.gct.Value = 3;
    app.lct.Value = 7;
    app.tt.Value = 0.44;
    app.Wt.Value = 1.44;
    app.kt.Value = 0.88;

    app.gct.Enable = 'off';
    app.lct.Enable = 'off';
    app.tt.Enable = 'off';
    app.Wt.Enable = 'off';
    app.kt.Enable = 'off';
    app.exconexion.Enable = 'off';
    app.expviga.Enable = 'off';
end
% Value changed function: DatosdeConexinDropDown
function DatosdeConexinDropDownValueChanged(app, event)
    value = app.DatosdeConexinDropDown.Value;

    if value == 'Tipo A';

        app.gcw.Enable = 'on';
        app.lw.Enable = 'on';
        app.tw.Enable = 'on';
        app.Ww.Enable = 'on';
        app.kw.Enable = 'on';

        app.gct.Enable = 'off';
        app.lct.Enable = 'off';
        app.tt.Enable = 'off';
        app.Wt.Enable = 'off';
        app.kt.Enable = 'off';
        app.procesar.Enable = 'on';
        app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
        app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];

        title(app.UIAxes, 'CONEXIÓN ANGULO SIMPLE EN ALMA DE
VIGA');

        xlabel(app.UIAxes, []);
        ylabel(app.UIAxes, []);
        app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
        app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
        % Display image and stretch to fill axes
        I=imshow('grafico2.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);

```

```

    % Set limits of axes
    app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
    app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

elseif value == 'Tipo B'
    app.gcw.Enable = 'on';
    app.lw.Enable = 'on';
    app.tw.Enable = 'on';
    app.Ww.Enable = 'on';
    app.kw.Enable = 'on';
    app.procesar.Enable = 'on';

    app.gct.Enable = 'off';
    app.lct.Enable = 'off';
    app.tt.Enable = 'off';
    app.Wt.Enable = 'off';
    app.kt.Enable = 'off';

    app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
    app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];

    title(app.UIAxes, 'CONEXIÓN ANGULO DOBLE EN ALMA DE
VIGA');
    xlabel(app.UIAxes, []);
    ylabel(app.UIAxes, []);
    app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
    app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
    % Display image and stretch to fill axes
    I=imshow('grafico3.jpg','Parent',app.UIAxes,'XData',[1
app.UIAxes.Position(3)],'YData',[1 app.UIAxes.Position(4)]);

    % Set limits of axes
    app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
    app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

elseif value == 'Tipo C'

    app.gcw.Enable = 'off';
    app.lw.Enable = 'off';
    app.tw.Enable = 'off';
    app.Ww.Enable = 'off';
    app.kw.Enable = 'off';

    app.gct.Enable = 'on';
    app.lct.Enable = 'on';
    app.tt.Enable = 'on';
    app.Wt.Enable = 'on';
    app.kt.Enable = 'on';
    app.procesar.Enable = 'on';

    app.gct.Value=3;
    app.lct.Value=7;

```

```

app.tt.Value=0.44;
app.Wt.Value=1.44;
app.kt.Value=0.88;

% Grafica el tipo de conexion en la ventana principal

app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
title(app.UIAxes,'CONEXIÓN ANGULO SUPERIOR - INFERIOR EN
ALAS DE VIGA');
xlabel(app.UIAxes, []);
ylabel(app.UIAxes, []);
app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
% Display image and stretch to fill axes
I=imshow('grafico4.jpg','Parent',app.UIAxes,'XData',[1
app.UIAxes.Position(3)],'YData',[1 app.UIAxes.Position(4)]);

% Set limits of axes
app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

elseif value == 'Tipo D'
% Habilita las casillas donde se pueden ingresar los valores para ese
tipo de conexion

app.gcw.Enable = 'on';
app.lw.Enable = 'on';
app.tw.Enable = 'on';
app.Ww.Enable = 'on';
app.kw.Enable = 'on';

app.gct.Enable = 'on';
app.lct.Enable = 'on';
app.tt.Enable = 'on';
app.Wt.Enable = 'on';
app.kt.Enable = 'on';
app.procesar.Enable = 'on';

% Grafica el tipo de conexion en la ventana principal

app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
title(app.UIAxes,'CONEXIÓN ANG SUP/INF EN ALAS DE VIGA Y
ANGULO DOBLE EN ALMA DE VIGA');
xlabel(app.UIAxes, []);
ylabel(app.UIAxes, []);
app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
% Display image and stretch to fill axes
I=imshow('grafico5.jpg','Parent',app.UIAxes,'XData',[1
app.UIAxes.Position(3)],'YData',[1 app.UIAxes.Position(4)]);

```

```

        % Set limits of axes
        app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
        app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

    end
end
% Button pushed function: procesar
function procesarPushed(app, event)

    app.exconexion.Enable='on';
    app.expviga.Enable='on';

    value = app.DatosdeConexinDropDown.Value;

    if value=='Tipo A'

FyV=app.FyV.Value;
FyC=app.FyC.Value;
I=app.Inercia.Value;
E=app.E.Value;
L=app.Long.Value;
q=app.w.Value;
d=app.D.Value;
Zx=app.Zx.Value;
Sx=app.Sx.Value;
M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8 ;
% Mop es el momento optimo de la viga momento + es igual a moemento -
Mop=M1*0.75;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
app.x=x
y1=M1*(1-x/G1);
app.y1=y1
gcw = app.gcw.Value;
lw = app.lw.Value;
tw = app.tw.Value;
Ww = app.Ww.Value;
kw = app.kw.Value;
Iow = (tw^3)/12;
Bw=gcw/lw;
yw=lw/tw;
Kw=kw/tw;
ww=Ww/tw;
Bpw=Bw-1/yw*(Kw+ww/2);

```

```

Rkiw=12*4.2967*cosh(4.2967*Bpw)/(7.8*(4.2967*Bpw*cosh(4.2967*Bpw)-
sinh(4.2967*Bpw)))*E*Iow;
Baw=Bw*yw-Kw;
p=[1 0 0 Baw -1];
a=roots(p);
eps=a(4);
Mow=(FyC*tw^2)/4;
Muw=((2*eps+1)/3*yw^2)*Mow*tw;
teta=Muw/Rkiw;
if log10(teta)>-3.073
    n=0.520*log10(Muw/Rkiw)+2.291;
else
    n=0.695
end
y2=Rkiw*x./((1+(x/teta).^n).^(1/n));
app.y2=y2;
f1=Muw*x./x;
f2=Mop*x./x;
%limites de tipos de conexiones
ks1=20*E*I/L;
ks2=2*E*I/L;
z1=M1/ks1;
z2=M1/ks2;
intervalo=z1/250;
a1=0:intervalo:z1;
k5=ks1.*a1;
intervalo=z2/250;
a2=0:intervalo:z2;
k6=ks2.*a2;
idx=find(y1-y2<0.001,1);
px=x(idx);
py=y1(idx);
Mp=FyV*Zx;
Mn=FyV*Sx;
app.Meq=py;
app.girocon=px;
app.Rkcon=py/px;
app.Mpl=Mp;
app.Mnom=Mn;
% Grafico de comportamiento de conexion
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
plot(app.UIAxes,x,y1,'b',x,y2,x,f1,x,f2,a1,k5,'g',a2,k6,'g',px,py,'ro','M
arkerSize',15)
app.UIAxes.XLabel.String='Rotacion (rad)'
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)'
app.UIAxes.Title.String='Curva momento curvatura'
app.UIAxes.YLim=[0 (M1+M1/10)]
txt1='\downarrow Meq = qL2 / 16';
y5=Mop+10;
text(app.UIAxes,0.01,y5,txt1)
txt2='\uparrow Mu conexion';
y5=Muw-10;

```

```

text(app.UIAxes,0.001,y5,txt2);
% Grafico de comportamiento de viga
a1=L/250;
x1=0:a1:L;
a=q/12*L^2;
y1=-(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1);
y2=-(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-a);
f1=-(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-py);
f2=0.01.*x1./x1;
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 375 450 260];
plot(app.UIAxes,x1,y1,x1,y2,x1,f1,x1,f2)
app.UIAxes.XLabel.String='Longitud de la viga (in)'
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)'
app.UIAxes.Title.String='Diagrama de momento'
% Presenta los valores calculado, el momento Meq, la curvatura y la
rigidez de la conexión
    app.Me.Value=py;
    app.Curv.Value=px;
    app.Rk.Value=py/px;
    app.Mu.Value=Muw;
    app.Rki.Value=Rkiw;
    app.n.Value=n;
    app.Mp.Value=Mp;
    app.Mn.Value=Mn;
    app.Multimo=Muw;
    app.Rkinicial=Rkiw;
    app.nforma=n;

    app.Mpl;
    app.Mnom;

    app.Meq;
    app.Rkcon;
    app.girocon;

    elseif value=='Tipo B'
FyV=app.FyV.Value;
FyC=app.FyC.Value;
I=app.Inercia.Value;
E=app.E.Value;
L=app.Long.Value;
q=app.w.Value;
d=app.D.Value;
Zx=app.Zx.Value;
Sx=app.Sx.Value;
M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8 ;
Mop=M1*0.75;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
x=0:intervalo:0.03;

```

```

else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
app.x=x
y1=M1*(1-x/G1);
app.y1=y1
gcw = app.gcw.Value;
lw = app.lw.Value;
tw = app.tw.Value;
Ww = app.Ww.Value;
kw = app.kw.Value;
Iow = (tw^3)/12;
Bw=gcw/lw;
yw=lw/tw;
Kw=kw/tw;
ww=Ww/tw;
Bpw=Bw-1/yw*(Kw+ww/2);
Rkiw=12*4.2967*cosh(4.2967*Bpw)/(7.8*(4.2967*Bpw*cosh(4.2967*Bpw)-
sinh(4.2967*Bpw)))*E*Iow*2;
Baw=Bw*yw-Kw;
p=[1 0 0 Baw -1];
a=roots(p);
eps=a(4);
Mow=(FyC*tw^2)/4;
Muw=((2*eps+1)/3*yw^2)*Mow*tw*2;
teta=Muw/Rkiw;
if log10(teta)>-2.582
    n=1.322*log10(Muw/Rkiw)+3.952;
else
    n=0.573
end
y2=Rkiw*x./((1+(x/teta).^n).^(1/n));
app.y2=y2;
f1=Muw*x./x;
f2=Mop*x./x;
%limites de tipos de conexiones
ks1=20*E*I/L;
ks2=2*E*I/L;
z1=M1/ks1;
z2=M1/ks2;
intervalo=z1/250;
a1=0:intervalo:z1;
k5=ks1.*a1;
intervalo=z2/250;
a2=0:intervalo:z2;
k6=ks2.*a2;
idx=find(y1-y2<0.001,1);
px=x(idx);
py=y1(idx);
Mp=FyV*Zx;
Mn=FyV*Sx;
app.Meq=py;

```

```

app.girocon=px;
app.Rkcon=py/px;
app.Mp1=Mp;
app.Mnom=Mn;

app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
plot(app.UIAxes,x,y1,x,y2,x,f1,x,f2,a1,k5, 'g',a2,k6, 'g',px,py, 'ro', 'MarkerSize',15)
app.UIAxes.XLabel.String='Rotacion (rad)'
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)'
app.UIAxes.Title.String='Curva momento curvatura'
app.UIAxes.YLim=[0 (M1+M1/10)]
txt1='\downarrow Meq = qL2 / 16';
y5=Mop+10;
text(app.UIAxes,0.01,y5,txt1);
txt2='\uparrow Mu conexion';
y5=Muw-10;
text(app.UIAxes,0.001,y5,txt2);
% Grafico de comportamiento de viga
a1=L/250;
x1=0:a1:L;
a=q/12*L^2;
y1=(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1);
y2=(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-a);
f1=(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-py);
f2=0.01.*x1./x1;
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 375 450 260];
plot(app.UIAxes,x1,y1, x1,y2,x1,f1,x1,f2);
app.UIAxes.XLabel.String='Longitud de la viga (in)';
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)';
app.UIAxes.Title.String='Diagrama de momento';
% Presenta los valores calculado, el momento Meq, la curvatura y la
rigidez de la conexión
app.Me.Value=py;
app.Curv.Value=px;
app.Rk.Value=py/px;
app.Mu.Value=Muw;
app.Rki.Value=Rkiw;
app.n.Value=n;
app.Mp.Value=Mp;
app.Mn.Value=Mn;

app.Multimo=Muw
app.Rkinicial=Rkiw
app.nforma=n

app.Mp;
app.Mn;

app.Meq;

```

```

app.Rkcon;
app.girocon;

elseif value=='Tipo C'

% CONEXION ANGULO SUPERIOR E INFERIOR
%
FyV=app.FyV.Value;
FyC=app.FyC.Value;
I=app.Inercia.Value;
E=app.E.Value;
L=app.Long.Value;
q=app.w.Value;
d=app.D.Value;
Zx=app.Zx.Value;
Sx=app.Sx.Value;
gct = app.gct.Value;
lct = app.lct.Value;
tt = app.tt.Value;
Wt = app.Wt.Value;
kt = app.kt.Value;
Iot = (tt^3)/12;
Bt=gct/lct;
yt=lct/tt;
Kt=kt/tt;
wt=Wt/tt;
dt=d/tt;
M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8 ;
Mop=M1*0.75;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
app.x=x
y1=M1*(1-x/G1);
app.y1=y1
Bpt=Bt-1/(2*yt)*(1+wt);
Dts=3/(Bpt*((yt^2*(Bpt^2))+0.78));
Rkit=E*Iot*(1+dt)^2*Dts;
Bat=Bpt*yt-Kt;
p=[1 0 0 Bat -1];
a=roots(p);
eps=a(4);
Mot=(FyC*tt^2)/4;
Mut=yt*(1+eps*(1+Bat+2*(Kt+dt)))*Mot*tt;
teta=Mut/Rkit;
if log10(teta)>-2.721
    n=2.003*log10(Mut/Rkit)+6.070;

```

```

else
    n=0.302
end
a=0.03/250
x2=0:a:0.03
y2=Rkit*x2./((1+(x2/teta).^n).^(1/n));
app.y2=y2;
f1=Mut*x2./x2;
f2=Mop*x2./x2;
%limites de tipos de conexiones
ks1=20*E*I/L;
ks2=2*E*I/L;
z1=M1/ks1;
z2=M1/ks2;
intervalo=z1/250;
a1=0:intervalo:z1;
k5=ks1.*a1;
intervalo=z2/250;
a2=0:intervalo:z2;
k6=ks2.*a2;
idx=find(y1-y2<0.01,1);
px=x(idx);
py=y1(idx);
Mp=FyV*Zx
Mn=FyV*Sx
app.Meq=py;
app.girocon=px;
app.Rkcon=py/px;
app.Mpl=Mp
app.Mnom=Mn
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
plot(app.UIAxes,x,y1,x2,y2,x2,f1,x2,f2,a1,k5,'g',a2,k6,'g',px,py,'ro','MarkerSize',15)
app.UIAxes.XLabel.String='Rotacion (rad)'
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)'
app.UIAxes.YLim=[0 (M1+M1/10)]
txt1='\downarrow Meq = qL2 / 16';
y5=Mop+10;
text(app.UIAxes,0.01,y5,txt1);
txt2='\uparrow Mu conexion';
y5=Mut-10;
text(app.UIAxes,0.001,y5,txt2);
% Grafico de comportamiento de viga
a1=L/250;
x1=0:a1:L;
a=q/12*L^2;
y1=-(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1);
y2=-(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-a);
f1=-(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-py);
f2=0.01.*x1./x1;
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 375 450 260];

```

```

plot(app.UIAxes,x1,y1,x1,y2,x1,f1,x1,f2)
app.UIAxes.XLabel.String='Longitud de la viga (in)';
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)';
app.UIAxes.Title.String='Diagrama de momento';
% Presenta los valores calculado, el momento Meq, la curvatura y la
rigidez de la conexión
    app.Me.Value=py;
    app.Curv.Value=px;
    app.Rk.Value=py/px;
    app.Mu.Value=Mut;
    app.Rki.Value=Rkit;
    app.n.Value=n;
    app.Mp.Value=Mp;
    app.Mn.Value=Mn;
    app.Multimo=Mut
    app.Rkinicial=Rkit
    app.nforma=n

    app.Mp;
    app.Mn;

    app.Meq;
    app.Rkcon;
    app.girocon;
    else value=='Tipo D'
% CONEXION ANGULO DOBLE + ANGULO SUPERIOR E INFERIOR
% _____

FyV=app.FyV.Value;
FyC=app.FyC.Value;
I=app.Inercia.Value;
E=app.E.Value;
L=app.Long.Value;
q=app.w.Value;
d=app.D.Value;
Zx=app.Zx.Value;
Sx=app.Sx.Value;
M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8;
Mop=M1*0.75;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
app.x=x
y1=M1*(1-x/G1);
app.y1=y1
gcw = app.gcw.Value;
lw = app.lw.Value;

```

```

tw = app.tw.Value;
Ww = app.Ww.Value;
kw = app.kw.Value;
Iow = (tw^3)/12;
Bw=gcw/lw;
yw=lw/tw;
Kw=kw/tw;
ww=Ww/tw;
dw=d/tw;
gct = app.gct.Value;
lct = app.lct.Value;
tt = app.tt.Value;
Wt = app.Wt.Value;
kt = app.kt.Value;
Iot = (tt^3)/12;
Bt=gct/lct;
yt=lct/tt;
Kt=kt/tt;
wt=Wt/tt;
dt=d/tt;
Bpt=Bt-1/(2*yt)*(1+wt);
Bpw=Bw-(1/(2*yw)*(1+ww));
Dts=3/(Bpt*((yt^2*(Bpt^2))+0.78));
Dw=3/(2*Bpw*((yw^2*(Bpw^2))+0.78));
pi=tw/tt;
Rkiwt=E*Iot*(Dts+pi*Dw)*(1+dt)^2;
Baw=Bw*yw-Kw;
pw=[1 0 0 Baw -1];
a=roots(pw);
epsw=a(4);
Mot=(FyC*tt^2)/4;
Muw=yw*(1+epsw)*(pi^3)*((yw*(epsw-1)/(3*(epsw+1)))+dw+1/pi)*Mot*tt;
Bat=Bpt*yt-Kt;
pt=[1 0 0 Bat -1];
a=roots(pt);
epst=a(4);
Mut=yt*(1+epst*(1+Bat+2*(Kt+dt)))*Mot*tt;

Muwt=Muw+Mut;
teta=Muw/Rkiwt;
if log10(teta)>-2.88
    n=1.398*log10(Muw/Rkiwt)+4.631;
else
    n=0.827
end
y2=Rkiwt*x./((1+(x/teta).^n).^(1/n));
app.y2=y2;
f1=Muw*x./x;
f2=Mop*x./x;
%limites de tipos de conexiones
ks1=20*E*I/L;
ks2=2*E*I/L;
z1=M1/ks1;

```

```

z2=M1/ks2;
intervalo=z1/250;
a1=0:intervalo:z1;
k5=ks1.*a1;
intervalo=z2/250;
a2=0:intervalo:z2;
k6=ks2.*a2;
idx=find(y1-y2<0.01,1);
px=x(idx);
py=y1(idx);
Mp=FyV*Zx;
Mn=FyV*Sx;
app.Meq=py;
app.girocon=px;
app.Rkcon=py/px;
app.Mpl=Mp;
app.Mnom=Mn;
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
plot(app.UIAxes,x,y1,x,y2,x,f1,x,f2,a1,k5,'g',a2,k6,'g',px,py,'ro','Marke
rSize',15)
app.UIAxes.XLabel.String='Rotacion (rad)'
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)'
app.UIAxes.Title.String='Curva momento curvatura'
app.UIAxes.YLim=[0 (M1+M1/10)]
txt1='\downarrow Meq = qL2 / 16';
y5=Mop+10;
text(app.UIAxes,0.01,y5,txt1);
txt2='\uparrow Mu conexion';
y5=Muw-10;
text(app.UIAxes,0.001,y5,txt2);
% Grafico de comportamiento de viga
a1=L/250;
x1=0:a1:L;
a=q/12*L^2;
y1=(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1);
y2=(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-a);
f1=(-q/2*x1.^2+q*L/2*x1-py);
f2=0.01.*x1./x1;
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 375 450 260];
plot(app.UIAxes,x1,y1,x1,y2,x1,f1,x1,f2)
app.UIAxes.XLabel.String='Longitud de la viga (in)'
app.UIAxes.YLabel.String='Momento (kip.in)'
app.UIAxes.Title.String='Diagrama de momento'
% Presenta los valores calculado, el momento Meq, la curvatura y la
rigidez de la conexión
app.Me.Value=py;
app.Curv.Value=px;
app.Rk.Value=py/px;
app.Mu.Value=Muw;
app.Rki.Value=Rkiwt;
app.n.Value=n;

```

```

    app.Mp.Value=Mp;
    app.Mn.Value=Mn;

    app.Multimo=Muwrt
    app.Rkinicial=Rkiwrt
    app.nforma=n

    app.exconexion.Enable='on';
    app.expviga.Enable='on';
end

end
% Button pushed function: parametros
function parametrosButtonPushed(app, event)

    % Inserta la imagen en la ventana principal abajo
    app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
    app.UIAxes.Position = [725 375 450 260];
    title(app.UIAxes, []);
    xlabel(app.UIAxes, []);
    ylabel(app.UIAxes, []);
    app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
    app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};

    % Display image and stretch to fill axes
    I = imshow('grafico1.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);
    % Set limits of axes
    app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
    app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

    value = app.DatosdeConexinDropDown.Value;

if value == 'Tipo A'

    app.gcw.Enable = 'on';
    app.lw.Enable = 'on';
    app.tw.Enable = 'on';
    app.Ww.Enable = 'on';
    app.kw.Enable = 'on';

    app.gct.Enable = 'off';
    app.lct.Enable = 'off';
    app.tt.Enable = 'off';
    app.Wt.Enable = 'off';
    app.kt.Enable = 'off';
    app.procesar.Enable = 'on';

    app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
    app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];

    title(app.UIAxes, 'CONEXIÓN ANGULO SIMPLE EN ALMA DE
VIGA');
    xlabel(app.UIAxes, []);

```

```

        ylabel(app.UIAxes, []);
        app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
        app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
        % Display image and stretch to fill axes
        I=imshow('grafico2.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);

        % Set limits of axes
        app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
        app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

elseif value == 'Tipo B'

        app.gcw.Enable = 'on';
        app.lw.Enable = 'on';
        app.tw.Enable = 'on';
        app.Ww.Enable = 'on';
        app.kw.Enable = 'on';
        app.procesar.Enable = 'on';

        app.gct.Enable = 'off';
        app.lct.Enable = 'off';
        app.tt.Enable = 'off';
        app.Wt.Enable = 'off';
        app.kt.Enable = 'off';

        app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
        app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];

        title(app.UIAxes, 'CONEXIÓN ANGULO DOBLE EN ALMA DE
VIGA');

        xlabel(app.UIAxes, []);
        ylabel(app.UIAxes, []);
        app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
        app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
        % Display image and stretch to fill axes
        I=imshow('grafico3.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);

        % Set limits of axes
        app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
        app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

elseif value == 'Tipo C'

        app.gcw.Enable = 'off';
        app.lw.Enable = 'off';
        app.tw.Enable = 'off';
        app.Ww.Enable = 'off';
        app.kw.Enable = 'off';

        app.gct.Enable = 'on';

```

```

app.lct.Enable = 'on';
app.tt.Enable = 'on';
app.Wt.Enable = 'on';
app.kt.Enable = 'on';
app.procesar.Enable = 'on';

app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
title(app.UIAxes, 'CONEXIÓN ANGULO SUPERIOR - INFERIOR EN
ALAS DE VIGA');
xlabel(app.UIAxes, []);
ylabel(app.UIAxes, []);
app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
% Display image and stretch to fill axes
I=imshow('grafico4.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);

% Set limits of axes
app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

elseif value == 'Tipo D'

app.gcw.Enable = 'on';
app.lw.Enable = 'on';
app.tw.Enable = 'on';
app.Ww.Enable = 'on';
app.kw.Enable = 'on';

app.gct.Enable = 'on';
app.lct.Enable = 'on';
app.tt.Enable = 'on';
app.Wt.Enable = 'on';
app.kt.Enable = 'on';
app.procesar.Enable = 'on';

app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
title(app.UIAxes, 'CONEXIÓN ANG SUP/INF EN ALAS DE VIGA Y
ANGULO DOBLE EN ALMA DE VIGA');
xlabel(app.UIAxes, []);
ylabel(app.UIAxes, []);
app.UIAxes.XAxis.TickLabels = {};
app.UIAxes.YAxis.TickLabels = {};
% Display image and stretch to fill axes
I=imshow('grafico5.jpg', 'Parent', app.UIAxes, 'XData', [1
app.UIAxes.Position(3)], 'YData', [1 app.UIAxes.Position(4)]);

% Set limits of axes
app.UIAxes.XLim = [0 I.XData(2)];
app.UIAxes.YLim = [0 I.YData(2)];

```

```

        end

        app.Zx.Value=1500;
    end
    % Button pushed function: exconexion
    function exconexionButtonPushed(app, event)
        % Boton exportar datos conexion

        hoja=app.hoja.Value
        nombres={'Momento ultimo';'Rigidez inicial';'valor n';'Fy';'Carga'}
        resultados={app.Multimo;app.Rkinicial;app.nforma;app.FyC.Value;app.w.Valu
        e}
        Datosw={'gcw';'lw';'tw';'Ww';'kw'}
        Datosx={app.gcw.Value;app.lw.Value;app.tw.Value;app.Ww.Value;app.kw.Value
        }
        Datosz={'gct';'lt';'tt';'Wt';'kt'}
        Datosy={app.gct.Value;app.lct.Value;app.tt.Value;app.Wt.Value;app.kt.Valu
        e}

        Matriz=[transpose(app.x) transpose(app.y2)]
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Matriz,hoja,'A3')
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',nombres,hoja,'C3');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',resultados,hoja,'d3');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Datosw,hoja,'C8');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Datosx,hoja,'D8');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Datosz,hoja,'C13');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Datosy,hoja,'D13');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',hoja,hoja,'A1');

        app.exconexion.Enable='off';
    end
    % Button pushed function: expviga
    function expvigaButtonPushed(app, event)
        % Boton exportar datos VIGA

        hoja2=app.hoja_2.Value
        hoja=app.hoja.Value
        nombres={'Momento equivalente';'Rigidez de conexion';'giro
        conexion';'Momento plastico viga'}
        resultados={app.Meq;app.Rkcon;app.girocon;app.Mpl}
        Datosw={'Viga';'Peso';'Longitud';'Fy
        Viga';'carga';'b';'Inercia';'Sx';'Zx'}
        Datosx={app.D.Value;app.Peso.Value;app.Long.Value;app.FyV.Value;app.w.Val
        ue;app.bw.Value;app.Inercia.Value;app.Sx.Value;app.Zx.Value}

        Matriz=[transpose(app.x) transpose(app.y1)]
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Matriz,hoja2,'A3')
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',nombres,hoja2,'d3');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',resultados,hoja2,'e3');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Datosw,hoja2,'d7');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',Datosx,hoja2,'e7');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',hoja2,hoja2,'A1');
        xlswrite('ConexionesV1.xlsx',hoja2,hoja2,'A2');

```

```

        app.expviga.Enable='off';
    end
    % Button pushed function: ProcData
    function ProcDataButtonPushed(app, event)
% Nombre archivo InputDataC
% Numero de casos
m=xlsread('InputDataC','Input','d7');
E=29000;
% Matriz principal con data
nc=xlsread('InputDataC','Input','e10:z2209');
mMuw=zeros(m,1);
mRkiw=zeros(m,1);
mMut=zeros(m,1);
mRkit=zeros(m,1);
mMu=zeros(m,1);
mRki=zeros(m,1);
mteta=zeros(m,1);
mn=zeros(m,1);
mMeq=zeros(m,1)
mgiro=zeros(m,1)
mRk=zeros(m,1)
Mpviga=zeros(m,1)
Mpcon=zeros(m,1)
mx=zeros(m,251);
my1=zeros(m,251);
my2=zeros(m,251);
for i=1:m
L=nc(i,1);
FyV=nc(i,2);
d=nc(i,3);
peso=nc(i,4);
I=nc(i,5);
Sx=nc(i,6);
Zx=nc(i,7);
q=nc(i,8);
TIPO=nc(i,9)
FyC=nc(i,10);
L1=nc(i,11);
lw=nc(i,12);
tw=nc(i,13);
Ww=nc(i,14);
kw=nc(i,15);
gcw=nc(i,16)
L2=nc(i,17);
lct=nc(i,18);
tt=nc(i,19);
Wt=nc(i,20);
kt=nc(i,21);
gct=nc(i,22);
Iow = (tw^3)/12;
Bw=gcw/lw;
yw=lw/tw;

```

```

Kw=kw/tw;
ww=Ww/tw;
dw=d/tw;
Iot = (tt^3)/12;
Bt=gct/lct;
yt=lct/tt;
Kt=kt/tt;
wt=Wt/tt;
dt=d/tt;
        if nc(i,9)==1

M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8 ;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
y1=M1*(1-x/G1);

Bpw=Bw-1/yw*(Kw+ww/2);
Rkiw=12*4.2967*cosh(4.2967*Bpw)/(7.8*(4.2967*Bpw*cosh(4.2967*Bpw)-
sinh(4.2967*Bpw)))*E*Iow;
Baw=Bw*yw-Kw;
p=[1 0 0 Baw -1];
a=roots(p);
eps=a(4);
Mow=(FyC*tw^2)/4;
Muw=((2*eps+1)/3*yw^2)*Mow*tw;
teta=Muw/Rkiw;
if log10(teta)>-3.073
    n=0.520*log10(Muw/Rkiw)+2.291;
else
    n=0.695
end
y2=Rkiw*x./((1+(x/teta).^n).^(1/n));
idx=find(y1-y2<0.001,1);
giro=x(idx);
Meq=y1(idx);
Rk=Meq/giro;
Mpviga=Zx*FyV;
Mpcon=Muw*2;
Rki=Rkiw;
Mu=Muw;
        elseif nc(i,9)==2

M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8 ;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;

```

```

x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
y1=M1*(1-x/G1);
Bpw=Bw-1/yw*(Kw+ww/2);
Rkiw=12*4.2967*cosh(4.2967*Bpw)/(7.8*(4.2967*Bpw*cosh(4.2967*Bpw)-
sinh(4.2967*Bpw)))*E*Iow*2;
Baw=Bw*yw-Kw;
p=[1 0 0 Baw -1];
a=roots(p);
eps=a(4);
Mow=(FyC*tw^2)/4;
Muw=((2*eps+1)/3*yw^2)*Mow*tw*2;
teta=Muw/Rkiw;
if log10(teta)>-2.582
    n=1.322*log10(Muw/Rkiw)+3.952;
else
    n=0.573
end
y2=Rkiw*x./((1+(x/teta).^n).^(1/n));
idx=find(y1-y2<0.001,1);
giro=x(idx);
Meq=y1(idx);
Rk=Meq/giro;
Mpviga=Zx*FyV;
Mpcon=Muw*2;
Rki=Rkiw;
Mu=Muw;

elseif nc(i,9)==3
M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8 ;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
x=0:intervalo:G1;
end
y1=M1*(1-x/G1);
Bpt=Bt-1/(2*yt)*(1+wt);
Dts=3/(Bpt*((yt^2*(Bpt^2))+0.78));
Rkit=E*Iot*(1+dt)^2*Dts;
Bat=Bpt*yt-Kt;
p=[1 0 0 Bat -1];
a=roots(p);
eps=a(4);
Mot=(FyC*tt^2)/4;
Mut=yt*(1+eps*(1+Bat+2*(Kt+dt)))*Mot*tt;
teta=Mut/Rkit;

```

```

if log10(teta)>-2.721
    n=2.003*log10(Mut/Rkit)+6.070;
else
    n=0.827;
end
a=0.03/250;
x2=0:a:0.03;
y2=Rkit*x2./((1+(x2/teta).^n).^(1/n));
idx=find(y1-y2<0.001,1);
giro=x(idx);
Meq=y1(idx);
Rk=Meq/giro;
Mpviga=Zx*FyV;
Mpcon=Mut*2;
Rki=Rkit;
Mu=Mut;
else
M1=(q*L^2)/12;
M2=(q*L^2)/8;
G1=(q*L^3)/(24*E*I);
if G1<0.03
    intervalo=0.03/250;
    x=0:intervalo:0.03;
else
    intervalo=G1/250;
    x=0:intervalo:G1;
end
y1=M1*(1-x/G1);
Bpt=Bt-1/(2*yt)*(1+wt);
Bpw=Bw-1/(2*yw)*(1+ww);
Dts=3/(Bpt*((yt^2*(Bpt^2))+0.78));
Dw=3/(2*Bpw*((yw^2*(Bpw^2))+0.78));
pi=tw/tt;
Rkiwt=E*Iot*(Dts+pi*Dw)*(1+dt)^2;
Baw=Bw*yw-Kw;
pw=[1 0 0 Baw -1];
a=roots(pw);
epsw=a(4);
Mot=(FyC*tt^2)/4;
Muw=yw*(1+epsw)*(pi^3)*((yw*(epsw-1)/(3*(epsw+1)))+dw+1/pi)*Mot*tt;
Bat=Bpt*yt-Kt;
pt=[1 0 0 Bat -1];
a=roots(pt);
epst=a(4);
Mut=yt*(1+epst*(1+Bat+2*(Kt+dt)))*Mot*tt;

Muwt=Muw+Mut;
teta=Muwt/Rkiwt;
if log10(teta)>-2.88
    n=5.483*log10(Muwt/Rkiwt)+14.745;
else
    n=0.302
end

```

```

y2=Rkiwt*x./((1+(x/teta).^n).^(1/n));
idx=find(y1-y2<0.001,1);
giro=x(idx);
Meq=y1(idx);
Rk=Meq/giro;
Mpviga=Zx*FyV;
Mpcon=Muw*2;

Rki=Rkiwt;
Mu=Muw;

end

mMu(i,1)=Mu;
mRki(i,1)=Rki;
mteta(i,1)=teta;
mn(i,1)=n;
mx(i,:)=x;
my1(i,:)=y1;
my2(i,:)=y2;
mMeq(i,:)=Meq;
mgiro(i,:)=giro;
mRk(i,:)=Rk;
mMpviga(i,:)=Mpviga;
mMpcon(i,:)=Mpcon;
end
Matriz=[mMu mRki mteta mn mMeq mgiro mRk mMpviga mMpcon mx my1 my2];
xlswrite('InputDataC.xlsx',Matriz,'Input','AA10');

end
% Value changed function: Unidades
function UnidadesValueChanged(app, event)
    unidad = app.Unidades.Value

    if unidad == "Sistema Ingles";

        FyV1=app.FyV.Value
        app.FyV.Value=FyV1/703069.58
        app.FluenciaFyvigaksiLabel.Text = 'Fluencia Fy viga (ksi)

= ' ;

        FyC1=app.FyC.Value
        app.FyC.Value=FyC1/703069.58
        app.FluenciaFyconexionksiLabel.Text = 'Fluencia Fy
conexion (ksi) = ' ;

        Inercia1=app.Inercia.Value
        app.Inercia.Value=Inercia1/0.00000041623
        app.InerciaVigaIin4Label.Text = 'Inercia Viga I (in4)

= ' ;

```

```

    E1=app.E.Value
    app.E.Value=E1/703069.58
    app.ModElastEksiLabel.Text = 'Mod Elast E (ksi) ='

    Long1=app.Long.Value
    app.Long.Value=Long1/0.025
    app.LongitudvigalinLabel.Text = 'Longitud viga L (in) ';

    w1=app.w.Value
    app.w.Value=w1/17857.87
    app.CargawkipinLabel.Text = 'Carga w (kip/in) =';

    D1=app.D.Value
    app.D.Value=D1/0.025
    app.PeraltedelavigadinLabel.Text = 'Peralte de la viga d
(in) =';

    Peso1=app.Peso.Value
    app.Peso.Value=Peso1/1.48816
    app.PesoLbftLabel.Text = 'Peso Lb/ft =';

    bw1=app.bw.Value
    app.bw.Value=bw1/0.025
    app.AnchodelavigabinLabel.Text = 'Ancho de la viga b (in)
=';

    Sx1=app.Sx.Value
    app.Sx.Value=Sx1/(0.025^3)
    app.Sxin3Label.Text = 'Sx (in3) =';

    Zx1=app.Zx.Value
    app.Zx.Value=Zx1/(0.025^3)
    app.Zxin3Label.Text = 'Zx (in3) =';

    gcw1=app.gcw.Value
    app.gcw.Value=gcw1/0.025
    app.gcwinLabel.Text = 'gcw (in) =';

    Mu1c=app.Mu.Value
    app.Mu.Value=Mu1c/11.5212/1000
    app.MtoultimoconexinkipsinLabel.Text = 'Mto último conexión
(kip.in)=';

    Me1c=app.Me.Value;
    app.Me.Value=Me1c/11.5212/1000
    app.MtoEquivalenteMekipsinLabel.Text = 'Mto Equivalente Me
(kip.in) =';

```

```

Rk1c=app.Rk.Value;
app.Rk.Value=Rk1c/11.5212/1000
app.RigidezdeConxRkskipsinLabel.Text = 'Rigidez de Conx
Rks (kip.in) =';

Rki1c=app.Rki.Value;
app.Rki.Value=Rki1c/11.5212/1000
app.RigidezInicialRkikipsinLabel.Text = 'Rigidez Inicial
Rki (kip.in) =';

app.procesar.Enable='on';

elseif unidad == "Sistema Internacional";

FyV1=app.FyV.Value
app.FyV.Value=FyV1*703069.58
app.FluenciaFyvigaksiLabel.Text = 'Fluencia Fy viga
(kgf/m2) =';

FyC1=app.FyC.Value
app.FyC.Value=FyC1*703069.58
app.FluenciaFyconexionksiLabel.Text = 'Fluencia Fy
conexion (kfg/m2) =';

E1=app.E.Value
app.E.Value=E1*703069.58
app.ModElastEksiLabel.Text = 'Mod Elast E (kgf/m2) =';

Inercia1=app.Inercia.Value
app.Inercia.Value=Inercia1*0.00000041623
app.InerciaVigaIin4Label.Text = 'Inercia Viga I (m4) =';

Long1=app.Long.Value
app.Long.Value=Long1*0.025
app.LongitudvigalinLabel.Text = 'Longitud viga L (m) =';

w1=app.w.Value
app.w.Value=w1*17857.87
app.CargawkipinLabel.Text = 'Carga w (kgf/m) =';

D1=app.D.Value
app.D.Value=D1*0.025
app.PeraltedelavigadinLabel.Text = 'Peralte de la viga d
(m) =';

Peso1=app.Peso.Value
app.Peso.Value=Peso1*1.48816
app.PesoLbftLabel.Text = 'Peso kgf/m =';

```

```

        bw1=app.bw.Value
        app.bw.Value=bw1*0.025
        app.AnchodelavigabinLabel.Text = 'Ancho de la viga b (m)
= ' ;

        Sx1=app.Sx.Value
        app.Sx.Value=Sx1*(0.025^3)
        app.Sxin3Label.Text = 'Sx (m3) = ' ;

        Zx1=app.Zx.Value
        app.Zx.Value=Zx1*(0.025^3)
        app.Zxin3Label.Text = 'Zx (in3) = ' ;

        gcw1=app.gcw.Value
        app.gcw.Value=gcw1*0.025
        app.gcwinLabel.Text = 'gcw (m) = ' ;

        Mu1c=app.Mu.Value
        app.Mu.Value=Mu1c*11.5212*1000
        app.MtoultimoconexinkipsinLabel.Text = 'Mto último conexión
(kgf.m)=' ;

        Me1c=app.Me.Value;
        app.Me.Value=Me1c*11.5212*1000
        app.MtoEquivalentemekipsinLabel.Text = 'Mto Equivalente Me
(kgf.m) = ' ;

        Rk1c=app.Rk.Value;
        app.Rk.Value=Rk1c*11.5212*1000
        app.RigidezdeConxRkskipsinLabel.Text = 'Rigidez de Conx
Rks (kgf.m) = ' ;

        Rki1c=app.Rki.Value;
        app.Rki.Value=Rki1c*11.5212*1000
        app.RigidezInicialRkikipsinLabel.Text = 'Rigidez Inicial
Rki (kgf.m) = ' ;

        % app.Mp.Value=Mp;
        % app.Mn.Value=Mn;

        app.procesar.Enable='off';

        end
    end
end
% App initialization and construction

```

```

methods (Access = private)
    % Create UIFigure and components
    function createComponents(app)
        % Create UIFigure
        app.UIFigure = uifigure;
        app.UIFigure.Color = [0.8 0.8 0.8];
        app.UIFigure.Colormap = [0.2431 0.149 0.6588;0.251 0.1647
0.7059;0.2588 0.1804 0.7529;0.2627 0.1961 0.7961;0.2706 0.2157
0.8353;0.2745 0.2353 0.8706;0.2784 0.2549 0.898;0.2784 0.2784
0.9216;0.2824 0.302 0.9412;0.2824 0.3216 0.9569;0.2784 0.3451
0.9725;0.2745 0.3686 0.9843;0.2706 0.3882 0.9922;0.2588 0.4118
0.9961;0.2431 0.4353 1;0.2196 0.4588 0.9961;0.1961 0.4863 0.9882;0.1843
0.5059 0.9804;0.1804 0.5294 0.9686;0.1765 0.549 0.9529;0.1686 0.5686
0.9373;0.1529 0.5922 0.9216;0.1451 0.6078 0.9098;0.1373 0.6275
0.898;0.1255 0.6471 0.8902;0.1098 0.6627 0.8745;0.0941 0.6784
0.8588;0.0706 0.6941 0.8392;0.0314 0.7098 0.8157;0.0039 0.7216
0.7922;0.0078 0.7294 0.7647;0.0431 0.7412 0.7412;0.098 0.749
0.7137;0.1412 0.7569 0.6824;0.1725 0.7686 0.6549;0.1922 0.7765
0.6235;0.2157 0.7843 0.5922;0.2471 0.7922 0.5569;0.2902 0.7961
0.5176;0.3412 0.8 0.4784;0.3922 0.8039 0.4353;0.4471 0.8039 0.3922;0.5059
0.8 0.349;0.5608 0.7961 0.3059;0.6157 0.7882 0.2627;0.6706 0.7804
0.2235;0.7255 0.7686 0.1922;0.7725 0.7608 0.1647;0.8196 0.749
0.1529;0.8627 0.7412 0.1608;0.902 0.7333 0.1765;0.9412 0.7294
0.2118;0.9725 0.7294 0.2392;0.9961 0.7451 0.2353;0.9961 0.7647
0.2196;0.9961 0.7882 0.2039;0.9882 0.8118 0.1882;0.9804 0.8392
0.1765;0.9686 0.8627 0.1647;0.9608 0.8902 0.1529;0.9608 0.9137
0.1412;0.9647 0.9373 0.1255;0.9686 0.9608 0.1059;0.9765 0.9843 0.0824];
        app.UIFigure.Position = [100 100 1250 648];
        app.UIFigure.Name = 'UI Figure';
        % Create DatosdeConexinDropDownLabel
        app.DatosdeConexinDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.DatosdeConexinDropDownLabel.HorizontalAlignment =
'right';
        app.DatosdeConexinDropDownLabel.FontSize = 14;
        app.DatosdeConexinDropDownLabel.FontWeight = 'bold';
        app.DatosdeConexinDropDownLabel.Position = [15 370 132 22];
        app.DatosdeConexinDropDownLabel.Text = 'Datos de Conexión';
        % Create DatosdeConexinDropDown
        app.DatosdeConexinDropDown = uidropdown(app.UIFigure);
        app.DatosdeConexinDropDown.Items = {'Tipo A', 'Tipo B', 'Tipo
C', 'Tipo D'};
        app.DatosdeConexinDropDown.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @DatosdeConexinDropDownValueChanged, true);
        app.DatosdeConexinDropDown.FontWeight = 'bold';
        app.DatosdeConexinDropDown.Position = [157 370 62 22];
        app.DatosdeConexinDropDown.Value = 'Tipo A';
        % Create ModElastEksiLabel
        app.ModElastEksiLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.ModElastEksiLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.ModElastEksiLabel.Position = [450 432 153 22];
        app.ModElastEksiLabel.Text = 'Mod Elast E (ksi) =';
        % Create E
        app.E = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');

```

```

app.E.Position = [612 432 93 22];
% Create UIAxes
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAxes, 'CURVA MOMENTO - CURVATURA - VIGA Y
CONEXION')
xlabel(app.UIAxes, 'Curvatura')
ylabel(app.UIAxes, 'Momento M')
app.UIAxes.PlotBoxAspectRatio = [1 0.932885906040268
0.932885906040268];
app.UIAxes.XTick = [0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1];
app.UIAxes.XTickLabel = {'0'; '0.1'; '0.2'; '0.3'; '0.4';
'0.5'; '0.6'; '0.8'; '0.8'; '0.9'; '1'};
app.UIAxes.YTick = [0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1];
app.UIAxes.YTickLabel = {'0'; '100'; '200'; '300'; '400';
'500'; '600'; '700'; '800'; '900'; '1000'};
app.UIAxes.BackgroundColor = [0.8 0.8 0.8];
app.UIAxes.Position = [725 10 500 350];
% Create procesar
app.procesar = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.procesar.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@procesarPushed, true);
app.procesar.BackgroundColor = [0.0196 0.0196 0.1098];
app.procesar.FontName = 'Arial';
app.procesar.FontWeight = 'bold';
app.procesar.FontColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.procesar.Position = [156 16 130 29];
app.procesar.Text = 'Procesar';
% Create PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel.FontName =
'Bookman';
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel.FontSize = 18;
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel.FontColor =
[0.0196 0.0196 0.349];
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel.Position = [15
607 725 28];
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel.Text =
'Pontifica Universidad Catolica del Peru';
% Create InerciaVigaIin4Label
app.InerciaVigaIin4Label = uilabel(app.UIFigure);
app.InerciaVigaIin4Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.InerciaVigaIin4Label.Position = [176 491 153 22];
app.InerciaVigaIin4Label.Text = 'Inercia Viga I (in4) =';
% Create Inercia
app.Inercia = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Inercia.Position = [338 491 78 22];
% Create UIAxes2
app.UIAxes2 = uiaxes(app.UIFigure);
app.UIAxes2.PlotBoxAspectRatio = [1 0.782407407407407
0.782407407407407];
app.UIAxes2.BackgroundColor = [0.8 0.8 0.8];
app.UIAxes2.Position = [725 375 450 260];

```

```

% Create LongitudvigaLinLabel
app.LongitudvigaLinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.LongitudvigaLinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.LongitudvigaLinLabel.Position = [450 550 153 22];
app.LongitudvigaLinLabel.Text = 'Longitud viga L (in) =';
% Create Long
app.Long = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Long.Position = [612 550 93 22];
% Create CargawkipinLabel
app.CargawkipinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CargawkipinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CargawkipinLabel.Position = [450 520 153 22];
app.CargawkipinLabel.Text = 'Carga w (kip/in) =';
% Create w
app.w = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.w.Position = [612 520 93 22];
% Create gcwinLabel
app.gcwinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.gcwinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.gcwinLabel.Position = [270 338 61 22];
app.gcwinLabel.Text = 'gcw (in) =';
% Create gcw
app.gcw = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.gcw.Position = [339 338 78 22];
% Create lwinLabel
app.lwinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.lwinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.lwinLabel.Position = [280 309 51 22];
app.lwinLabel.Text = 'lw (in) =';
% Create lw
app.lw = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.lw.Position = [339 309 78 22];
% Create FluenciaFyvigaksiLabel
app.FluenciaFyvigaksiLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.FluenciaFyvigaksiLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.FluenciaFyvigaksiLabel.Position = [450 491 153 22];
app.FluenciaFyvigaksiLabel.Text = 'Fluencia Fy viga (ksi) =';
% Create FyV
app.FyV = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.FyV.Position = [612 491 93 22];
% Create twinLabel
app.twinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.twinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.twinLabel.Position = [281 280 52 22];
app.twinLabel.Text = 'tw (in) =';
% Create tw
app.tw = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.tw.Position = [339 280 78 22];
% Create WwinLabel
app.WwinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.WwinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.WwinLabel.Position = [273 248 60 22];
app.WwinLabel.Text = 'Ww (in) =';

```

```

% Create Ww
app.Ww = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Ww.Position = [339 248 78 22];
% Create kwinLabel
app.kwinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.kwinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.kwinLabel.Position = [278 218 55 22];
app.kwinLabel.Text = 'kw (in) =';
% Create kw
app.kw = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.kw.Position = [339 218 78 22];
% Create gctinLabel
app.gctinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.gctinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.gctinLabel.Position = [548 338 56 22];
app.gctinLabel.Text = 'gct (in) =';
% Create gct
app.gct = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.gct.Position = [612 338 78 22];
% Create lctinLabel
app.lctinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.lctinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.lctinLabel.Position = [552 309 52 22];
app.lctinLabel.Text = 'lct (in) =';
% Create lct
app.lct = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.lct.Position = [612 309 78 22];
% Create ttinLabel
app.ttinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ttinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ttinLabel.Position = [559 280 47 22];
app.ttinLabel.Text = 'tt (in) =';
% Create tt
app.tt = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.tt.Position = [612 280 78 22];
% Create WtinLabel
app.WtinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.WtinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.WtinLabel.Position = [551 248 55 22];
app.WtinLabel.Text = 'Wt (in) =';
% Create Wt
app.Wt = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Wt.Position = [612 248 78 22];
% Create ktinLabel
app.ktinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ktinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ktinLabel.Position = [557 218 49 22];
app.ktinLabel.Text = 'kt (in) =';
% Create kt
app.kt = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.kt.Position = [612 218 78 22];
% Create PeraltedelavigadinLabel
app.PeraltedelavigadinLabel = uilabel(app.UIFigure);

```

```

app.PeraltedelavigadinLabel.Position = [191 550 143 22];
app.PeraltedelavigadinLabel.Text = 'Peralte de la viga d (in)
=';
% Create D
app.D = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.D.Position = [338 550 78 22];
% Create DatosdeLaVigaLabel
app.DatosdeLaVigaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DatosdeLaVigaLabel.FontSize = 14;
app.DatosdeLaVigaLabel.FontWeight = 'bold';
app.DatosdeLaVigaLabel.Position = [22 547 113 22];
app.DatosdeLaVigaLabel.Text = 'Datos de la Viga';
% Create MtoEquivalenteMekipsinLabel
app.MtoEquivalenteMekipsinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.MtoEquivalenteMekipsinLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.MtoEquivalenteMekipsinLabel.Position = [436 167 168 22];
app.MtoEquivalenteMekipsinLabel.Text = 'Mto Equivalente Me
(kips-in) =';
% Create Me
app.Me = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Me.Position = [612 167 78 22];
% Create GiroradLabel
app.GiroradLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.GiroradLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.GiroradLabel.Position = [537 104 67 22];
app.GiroradLabel.Text = 'Giro (rad) =';
% Create Curv
app.Curv = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Curv.Position = [612 104 78 22];
% Create RigidezdeConxRkskipsinLabel
app.RigidezdeConxRkskipsinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.RigidezdeConxRkskipsinLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.RigidezdeConxRkskipsinLabel.Position = [432 135 174 22];
app.RigidezdeConxRkskipsinLabel.Text = 'Rigidez de Conx Rks
(kips-in) =';
% Create Rk
app.Rk = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Rk.Position = [612 135 78 22];
% Create MtoltimoconexinkipsinLabel
app.MtoltimoconexinkipsinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.MtoltimoconexinkipsinLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MtoltimoconexinkipsinLabel.Position = [166 166 165 22];
app.MtoltimoconexinkipsinLabel.Text = 'Mto último conexión
(kips-in)=';
% Create Mu
app.Mu = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Mu.Position = [338 166 78 22];
% Create RigidezInicialRkikipsinLabel
app.RigidezInicialRkikipsinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.RigidezInicialRkikipsinLabel.HorizontalAlignment =
'right';

```

```

app.RigidezInicialRkikipsinLabel.Position = [176 135 157 22];
app.RigidezInicialRkikipsinLabel.Text = 'Rigidez Inicial Rki
(kips-in) =';
% Create Rki
app.Rki = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Rki.Position = [339 135 78 22];
% Create FactodeformanLabel
app.FactodeformanLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.FactodeformanLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.FactodeformanLabel.Position = [226 103 107 22];
app.FactodeformanLabel.Text = 'Facto de forma n =';
% Create n
app.n = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.n.Position = [339 103 78 22];
% Create AngulosenelalmaLabel
app.AngulosenelalmaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.AngulosenelalmaLabel.FontSize = 13;
app.AngulosenelalmaLabel.FontWeight = 'bold';
app.AngulosenelalmaLabel.Position = [283 370 133 22];
app.AngulosenelalmaLabel.Text = 'Angulo(s) en el alma';
% Create AngulossupeinfenalasLabel
app.AngulossupeinfenalasLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.AngulossupeinfenalasLabel.FontSize = 13;
app.AngulossupeinfenalasLabel.FontWeight = 'bold';
app.AngulossupeinfenalasLabel.Position = [534 369 171 22];
app.AngulossupeinfenalasLabel.Text = 'Angulo(s) sup e inf en
alas';
% Create ResultadosLabel
app.ResultadosLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ResultadosLabel.FontSize = 14;
app.ResultadosLabel.FontWeight = 'bold';
app.ResultadosLabel.Position = [22 175 81 22];
app.ResultadosLabel.Text = 'Resultados';
% Create parametros
app.parametros = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.parametros.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@parametrosButtonPushed, true);
app.parametros.BackgroundColor = [0.0196 0.0196 0.1098];
app.parametros.FontName = 'Arial';
app.parametros.FontWeight = 'bold';
app.parametros.FontColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.parametros.Position = [156 53 130 29];
app.parametros.Text = 'Ver parámetros';
% Create exconexion
app.exconexion = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.exconexion.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@exconexionButtonPushed, true);
app.exconexion.BackgroundColor = [0.0196 0.0196 0.1098];
app.exconexion.FontName = 'Arial';
app.exconexion.FontWeight = 'bold';
app.exconexion.FontColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.exconexion.Position = [301 53 130 29];
app.exconexion.Text = 'Output Conexion';

```

```

% Create AnchodelavigabinLabel
app.AnchodelavigabinLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.AnchodelavigabinLabel.Position = [191 461 142 22];
app.AnchodelavigabinLabel.Text = 'Ancho de la viga b (in)
=';

% Create bw
app.bw = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.bw.Position = [338 461 78 22];
% Create CodigoLabel_2
app.CodigoLabel_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.CodigoLabel_2.HorizontalAlignment = 'right';
app.CodigoLabel_2.Position = [443 56 44 22];
app.CodigoLabel_2.Text = 'Codigo';
% Create hoja
app.hoja = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.hoja.Position = [492 56 198 22];
% Create Label
app.Label = uilabel(app.UIFigure);
app.Label.FontColor = [0 0 1];
app.Label.Position = [11 391 709 22];
app.Label.Text =
'
';

% Create Label_2
app.Label_2 = uilabel(app.UIFigure);
app.Label_2.FontColor = [0.6392 0.0784 0.1804];
app.Label_2.Position = [11 196 709 22];
app.Label_2.Text =
'
';

% Create Label_3
app.Label_3 = uilabel(app.UIFigure);
app.Label_3.FontColor = [0.502 0.502 0.502];
app.Label_3.Position = [11 91 709 22];
app.Label_3.Text =
'
';

% Create PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2 =
uilabel(app.UIFigure);
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2.FontName =
'Bookman';
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2.FontSize =
18;
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2.FontColor =
[0.0196 0.0196 0.349];
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2.Position =
[15 580 725 28];
app.PONTIFICIAUNIVERSIDADCATOLICADELPERULabel_2.Text =
'Conexiones semi-rígidas en estructuras de acero';
% Create expviga
app.expviga = uibutton(app.UIFigure, 'push');

```

```

        app.expviga.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@expvigaButtonPushed, true);
        app.expviga.BackgroundColor = [0.0196 0.0196 0.1098];
        app.expviga.FontName = 'Arial';
        app.expviga.FontWeight = 'bold';
        app.expviga.FontColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.expviga.Position = [301 16 130 29];
        app.expviga.Text = 'Output Viga';
        % Create CodigoLabel
        app.CodigoLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.CodigoLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.CodigoLabel.Position = [443 19 44 22];
        app.CodigoLabel.Text = 'Codigo';
        % Create hoja_2
        app.hoja_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
        app.hoja_2.Position = [492 19 198 22];
        % Create TipoAAnguloenelalmaLabel
        app.TipoAAnguloenelalmaLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.TipoAAnguloenelalmaLabel.FontColor = [0 0 1];
        app.TipoAAnguloenelalmaLabel.Position = [15 318 142 22];
        app.TipoAAnguloenelalmaLabel.Text = 'Tipo A: Angulo en el
alma';
        % Create TipoBAngulodobleenelalmaLabel
        app.TipoBAngulodobleenelalmaLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.TipoBAngulodobleenelalmaLabel.FontColor = [0 0 1];
        app.TipoBAngulodobleenelalmaLabel.Position = [15 289 175 22];
        app.TipoBAngulodobleenelalmaLabel.Text = 'Tipo B: Angulo
doble en el alma';
        % Create TipoCAngulosuperioreinferiorenelalaLabel
        app.TipoCAngulosuperioreinferiorenelalaLabel =
uilabel(app.UIFigure);
        app.TipoCAngulosuperioreinferiorenelalaLabel.FontColor = [0 0
1];
        app.TipoCAngulosuperioreinferiorenelalaLabel.Position = [15
259 232 22];
        app.TipoCAngulosuperioreinferiorenelalaLabel.Text = 'Tipo C:
Angulo superior e inferior en el ala';
        % Create TipoDAngulosuperioreinferiorenelalaLabel
        app.TipoDAngulosuperioreinferiorenelalaLabel =
uilabel(app.UIFigure);
        app.TipoDAngulosuperioreinferiorenelalaLabel.FontColor = [0 0
1];
        app.TipoDAngulosuperioreinferiorenelalaLabel.Position = [15
231 232 22];
        app.TipoDAngulosuperioreinferiorenelalaLabel.Text = 'Tipo D:
Angulo superior e inferior en el ala';
        % Create angulodobleenelalmaLabel
        app.angulodobleenelalmaLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.angulodobleenelalmaLabel.FontColor = [0 0 1];
        app.angulodobleenelalmaLabel.Position = [57 214 143 22];
        app.angulodobleenelalmaLabel.Text = '+ angulo doble en el
alma';
        % Create MpLabel

```

```

app.MpLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.MpLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MpLabel.Position = [24 103 33 22];
app.MpLabel.Text = 'Mp =';
% Create Mp
app.Mp = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Mp.Position = [63 103 78 22];
% Create MnLabel
app.MnLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.MnLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MnLabel.Position = [24 135 33 22];
app.MnLabel.Text = 'Mn =';
% Create Mn
app.Mn = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Mn.Position = [63 135 78 22];
% Create linea1
app.linea1 = uilabel(app.UIFigure);
app.linea1.Position = [11 571 709 22];
app.linea1.Text =
'
';
% Create PesoLbftLabel
app.PesoLbftLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.PesoLbftLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.PesoLbftLabel.Position = [176 520 153 22];
app.PesoLbftLabel.Text = 'Peso Lb/ft =';
% Create Peso
app.Peso = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Peso.Position = [338 520 78 22];
% Create Sxin3Label
app.Sxin3Label = uilabel(app.UIFigure);
app.Sxin3Label.Position = [278 431 57 22];
app.Sxin3Label.Text = 'Sx (in3) =';
% Create Sx
app.Sx = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Sx.Position = [338 431 78 22];
% Create Zxin3Label
app.Zxin3Label = uilabel(app.UIFigure);
app.Zxin3Label.Position = [273 402 57 22];
app.Zxin3Label.Text = 'Zx (in3) =';
% Create Zx
app.Zx = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Zx.Position = [338 402 78 22];
% Create FluenciaFyconexionksiLabel
app.FluenciaFyconexionksiLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.FluenciaFyconexionksiLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.FluenciaFyconexionksiLabel.Position = [432 461 171 22];
app.FluenciaFyconexionksiLabel.Text = 'Fluencia Fy conexion
(ksi) =';
% Create FyC
app.FyC = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.FyC.Position = [612 461 93 22];
% Create ProcData

```

```

        app.ProcData = uibutton(app.UIFigure, 'push');
        app.ProcData.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@ProcDataButtonPushed, true);
        app.ProcData.BackgroundColor = [0.0196 0.0196 0.1098];
        app.ProcData.FontName = 'Arial';
        app.ProcData.FontWeight = 'bold';
        app.ProcData.FontColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.ProcData.Position = [11 16 130 29];
        app.ProcData.Text = 'Procesar Data';
        % Create UnidadesDropDownLabel
        app.UnidadesDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
        app.UnidadesDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.UnidadesDropDownLabel.Position = [486 607 56 22];
        app.UnidadesDropDownLabel.Text = 'Unidades';
        % Create Unidades
        app.Unidades = uidropdown(app.UIFigure);
        app.Unidades.Items = {'Sistema Ingles', 'Sistema
Internacional'};
        app.Unidades.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@UnidadesValueChanged, true);
        app.Unidades.Position = [557 607 133 22];
        app.Unidades.Value = 'Sistema Ingles';
    end
end
methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = AJEDE1
        % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.UIFigure)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @startupFcn)
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
end
% Code that executes before app deletion
function delete(app)
    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)
end
end
end
end

```

### C. ALGORITMO PARA LA EVALUACIÓN DE PÓRTICOS CON EL PROGRAMA SAP2000

```
clear
    clc

    %Lee el numero de casos
    Ncasos=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','A6');

    % lee secciones y tipo de elemento
    M=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','a9:f35000');

    % lee secciones y tipo de elemento
    [num,txt,A]=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','o9:p35000');

    %lee geometria de nudos y elementos
    B1=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','g9:n35000');

    %lee la data desde longitud hasta las cargas en los elementos
    B2=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','q9:ab35000');
    B=[B1 B2];

    %cuenta es resumen de casos y códigos
    cuenta=zeros(Ncasos,3);
    N=0;
    n=1;
    f=0;
    p=0;
    q=0;

    % ALGORITMO PARA OBTENER TODA LA DATA DE EXCEL Y VERTIRLA EN MATRICES
    for i=1:Ncasos
        n=n+N;
        f=f+n;

        a=num2str(n);
        b=num2str(f);

        codigo=['a' a];
        nodos=['c' a];
        elem=['d' a];
        Codigoi(i,1)=M(n,1);
        Nodosi(i,1)=M(n,3);
        Elemi(i,1)=M(n,4);
        PZi(i,1)=M(n,6)

        % N es el valor maximo para poder pasar al siguiente caso
        N=max(Elemi(i,1),Nodosi(i,1));
        p=p+1;
        q=q+N;
    end
```

```

% Data con texto
    x{i}=A(p:q,:);

%Data con numeros
    y{i}=B(p:q,:);
    p=q;

end

    for i=1:Ncasos

        Elem=Elemi(i,1);
        Nodos=Nodosi(i,1);
       Codigo=Codigoi(i,1);
        PZ=PZi(i,1);

        file = 'C:\Users\user\Desktop\Tesis
2019\7.Tesis.Sap2000\1.Archivosap2000base\Sap2000Base.xlsx';
        % This must be full path name
        % Open Excel Automation server
        Excel = actxserver('Excel.Application');
        Workbooks = Excel.Workbooks;
        % Make Excel visible
        Excel.Visible=1;
        % Open Excel file
        Workbook=Workbooks.Open(file);

        % 110-114 ELIMINA LAS PESTAÑAS QUE NO LLEVAN PANEL ZONE
        PARA NODOS (CONEXIONES ARTICULADAS Y RIGIDAS)
        if PZ==0

            Workbook.Sheet.Item(30).Delete;
            Workbook.Sheet.Item(32).Delete;
            Workbook.Sheet.Item(32).Delete;
            end

            c=num2str(i);
            sap=['Sap2000caso' c];
            Workbook.SaveAs(['C:\Program Files\MATLAB\R2018b\bin' '\
num2str(sap) '.xlsx']);

            % TERMINA EXCEL
            invoke(Excel, 'Quit');
            % TERMINA EL PROCESO
            delete(Excel);

            v=num2str(i);
            archivo=['Sap2000caso' v '.xlsx'];

            %Se termina de crear todos los archivos para importar a
            sap2000

```

```

% SE OBTIENE LA DATA DEL ARCHIVO INPUTDATAP PARA
MODIFICAR LOS ARCHIVOS Sap2000cason

```

```

%Connectivity Frame

```

```

c1=y{i}(1:Elem,6:8);
cn1=y{i}(1:Nodos,1:4);
clear c1texto; clear c2texto; clear c3texto; clear
c4texto; clear c5texto
clear cs1texto
clear cs2texto
clear cs3texto
clear cs4texto
clear cs5texto

```

```

w1=1;x1=1;x2=1;y1=1;y2=1;ac1=1;ws1=1;ys1=1;cy2=1

```

```

%BUCLE PARA COMPLETAR LA INFORMACIÓN DE CADA ELEMENTOS Y ENVIARLA A LOS
ARCHIVOS EXCEL

```

```

for j=1:Elem

```

```

c1texto(j,1)="No";
c2texto(j,1:3)="Yes";
c2texto(j,4)="4";
c3texto(j,1)="From Material";
c4texto(j,1)="Yes";
c5texto(j,1)="MinNumSta";
c5texto(j,2)="3";
c5texto(j,3)="0.5";
c5texto(j,4:5)="Yes";

```

```

%Obtiene el numero de casos de carga muerta DL (se
supone que LL es el mismo)

```

```

DL=(y{i}(j,18));
cdl(j,1,i)=DL;
s=(cdl(:, :, i)>0);
nCDL(i,1)=sum(s);

```

```

u(i)=nCDL(i,1);

```

```

%CARGA MUERTA

```

```

if y{i}(j,18)>0;
t1(w1,1,i)=string(y{i}(j,6));
t1(w1,2,i)="DL";
t1(w1,3,i)="GLOBAL";
t1(w1,4,i)="Force";
t1(w1,5,i)="Gravity";
t1(w1,6,i)="RelDist";
t2(w1,1,i)=0;
t2(w1,2,i)=1;
t2(w1,3,i)=0;
t2(w1,4,i)=y{i}(j,9);
t2(w1,5,i)=y{i}(j,18);

```

```

        t2(w1,6,i)=y{i}(j,18);
        w1=w1+1;
    else
        w1=w1;
        %end de if linea 181
    end

    %CARGA VIVA
    if y{i}(j,19)>0;
        u1(x1,1,i)=string(y{i}(j,6));
        u1(x1,2,i)="LL";
        u1(x1,3,i)="GLOBAL";
        u1(x1,4,i)="Force";
        u1(x1,5,i)="Gravity";
        u1(x1,6,i)="RelDist";
        u2(x1,1,i)=0;
        u2(x1,2,i)=1;
        u2(x1,3,i)=0;
        u2(x1,4,i)=y{i}(j,9);
        u2(x1,5,i)=y{i}(j,19);
        u2(x1,6,i)=y{i}(j,19);

        x1=x1+1;
    else
        x1=x1;

        %end de if linea 201
    end

    %ASIGNACION DE RELEASES EN LOS EXTREMOS DE LAS VIGAS
    %Obtiene el numero de casos de carga muerta DL (se
    supone que LL es el mismo)
    RL=(y{i}(j,10));
    rdl(j,1,i)=RL;
    r=(rdl(:, :, i)>0);
    nRDL(i,1)=sum(r);
    r1(i)=nRDL(i,1);

    if y{i}(j,10)==1;
        v1(y1,1,i)=string(y{i}(j,6));
        v1(y1,2:6,i)="No";
        v1(y1,7,i)="Yes";
        v1(y1,8:12,i)="No";
        v1(y1,13:14,i)="Yes";
        y1=y1+1;
    else
        y1=y1;
        %end de if linea 231
    end

    %ASIGNACION DE CARGAS EN LAS VIGAS

```

```

%Obtiene el numero de casos de carga muerta DL (se
supone que LL es el mismo)
RsL=(y{i}(j,10));
rsdl(j,1,i)=RsL;
sr=(rsdl(:, :, i)>1);
nRsDL(i,1)=sum(sr);
r2(i)=nRsDL(i,1);

if r2(i)>0
    if y{i}(j,10)>1;
        v2(y2,1,i)=y{i}(j,6);
        % Se toma la rigidez elástica de la data
        v2(y2,7,i)=y{i}(j,11);
        v2(y2,13,i)=y{i}(j,11);
        % se toma los valores de rigidez no lineal de
la data
        y2=y2+1;
    else
        y2=y2;
        %end de if linea 252
    end
end

%ASIGNACION DE SECCIONES A CADA ELEMENTO
a1(j,1,i)="I/Wide Flange";
a1(j,2,i)="N.A.";
a1(j,3:4,i)=x{i}(j,1);
a1(j,5,i)="Default";
ws=a1(1:j, :, i);

%ASIGNACION DE MODIFICACION DE PROPIEDADES EN CADA
ELEMENTO

MPn1(x2,1,i)=y{i}(j,6);
MPn1(x2,2:9,i)=1;
MPn1(x2,10:11,i)=0.8;
x2=x2+1;

%end contador j ELEMENTOS
end

% INFORMACION DE NODOS

%=====
for k=1:Nodos;
    cs1texto(k,1)="GLOBAL";
    cs1texto(k,2)="Cartesian";
    cs3texto(k,1)="EX";
    cs4texto(k,1)="Yes";
    cs5texto(k,1)="No";

```

```

%SE OBTIENE LAS COORDENADAS
coord=y{i}(1:Nodos,2:4);

%SE DEFINE LAS CARGAS EN LOS NODOS
%Obtiene el numero de casos de carga sismica SL
SL=(y{i}(k,20));
s1(k,1,i)=SL;
sn=(s1(:, :, i)>0);
nCSL(i,1)=sum(sn);
us(i)=nCSL(i,1);

%CARGA LATERAL
if y{i}(k,20)>0;
    ts1(ws1,1,i)=string(y{i}(k,1));
    ts1(ws1,2,i)="EX";
    ts1(ws1,3,i)="GLOBAL";
    ts1(ws1,4,i)=string(y{i}(k,20));
    ts1(ws1,5:9,i)="0";
    ws1=ws1+1;
else
    ws1=ws1;
    %end de if linea 181
end

%ASIGNACION DE RESTRICCIONES EN LOS NODOS
%Obtiene el numero de casos de carga muerta DL (se
supone que LL es el mismo)

RsL=(y{i}(k,5));
ndl(k,1,i)=RsL;
ns=(ndl(:, :, i)>0);
nREL(i,1)=sum(ns);
rn1(i)=nREL(i,1);

if y{i}(k,5)==1;
    vs1(ys1,1,i)=string(y{i}(k,6));
    vs1(ys1,2:4,i)="Yes";
    vs1(ys1,5:7,i)="No";
    ys1=ys1+1;

elseif y{i}(k,5)==2;
    vs1(ys1,1,i)=string(y{i}(k,6));
    vs1(ys1,2:7,i)="Yes";
    ys1=ys1+1;

else
    ys1=ys1;
    %end de if linea 231
end

```

```

%ASIGNACION DE PANEL ZONE A LOS NODOS DONDE SE APOYAN
LAS VIGAS

Cn11=(y{i}(k,13));
Conex(k,1,i)=Cn11
csr=Conex(:, :, i)>1;
cL(i,1)=sum(csr);
cr2(i)=cL(i,1);

if cr2(i)>0
    if y{i}(k,13)>1;
        v2(cy2,1,i)=y{i}(k,1);
        v3(cy2,1,i)="Link"
        v3(cy2,2,i)="RESORTE1"
        v3(cy2,3,i)="Beams to Other Objects"
        v3(cy2,4,i)="Column"
        % Se toma la rigidez elástica de la data

        cnl(cy2,1,i)=y{i}(k,13);
        cnl(cy2,2,i)=y{i}(k,14);
        cnl(cy2,3,i)=y{i}(k,15);

        Rki=cnl(cy2,1,i);
        Mu=cnl(cy2,2,i);
        n=cnl(cy2,3,i);
        fi=Mu/Rki;

        % GENERA LA CURVA DE ROTACION DE LA CONEXION
EN BASE A RKI, MU Y n
        for m=1:17

            contador(m,1)=m;
            kcnl(m,1)=-0.0225+m/400;

            Mn1(m,1)=Rki*abs(kcnl(m,1))/((1+(abs(kcnl(m,1))/fi)^n)^(1/n));
            if kcnl(m,1)<0
                Mn1(m,1)=-Mn1(m,1)
            else
                Mn1(m,1)=Mn1(m,1)
            end

        end

link0=["RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";
"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORT
E1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1";"RE
SORTE1";"RESORTE1";"RESORTE1"];

```

```

link1=["U1";"U2";"U3";"R1";"R2";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"
R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3";"R3"];
link2=["Yes";"Yes";"Yes";"Yes";"Yes";"No"];
link3=["Yes" "0" "0" "Kinematic"];

link4=[contador Mnl kcnl];

link5=["RESORTE1" "Multilinear Plastic"];
link6=[0 0 0 0 1 1 0 0 0];
link7=["Effective from Zero" "Initial"];
link8=1;
link9=["Cyan"];

cy2=cy2+1;
else
cy2=cy2;
%end de if linea 252
end
end
%end contador k
end
%COMPLETA TODAS LAS PESTAÑAS CON LA INFORMACION DE LAS
VIGAS
if r2(i)>0;
releaseRsL=v2(1:r2(i),:,i);
%xlswrite(archivo,releaseRsL,'Frame Releases 2 - Part
Fivity','A4');
end

if r1(i)>0;
r3(i)=r1(i)-r2(i);
releaseRL=v1(1:r3(i),:,i);
xlswrite(archivo,releaseRL,'Frame Releases 1 -
General','A4');
end

cargaDL=t1(1:u(i),:,i);
cargaLL=u1(1:u(i),:,i);
carga=[cargaDL;cargaLL];
xlswrite(archivo,carga,'Frame Loads - Distributed','A4');

cargaDL=t2(1:u(i),:,i);
cargaLL=u2(1:u(i),:,i);
carga=[cargaDL;cargaLL];
xlswrite(archivo,carga,'Frame Loads - Distributed','g4');

Conectividad=[c1 c1texto];
xlswrite(archivo,Conectividad,'Connectivity -
Frame','A4');

```

```

frameam=[c1(:,1) c2texto];
xlswrite(archivo,frameam,'Frame Auto Mesh','A4');

framedp=[c1(:,1) c3texto];
xlswrite(archivo,framedp,'Frame Design Procedures','A4');

framelto=[c1(:,1) c4texto];
xlswrite(archivo,framelto,'Frame Load Transfer
Options','A4');

frameOSA=[c1(:,1) c5texto];
xlswrite(archivo,frameOSA,'Frame Output Station
Assigns','A4');

frameSF=[string(c1(:,1)) ws];
xlswrite(archivo,frameSF,'Frame Section
Assignments','A4');

framePM=[MPn1(1:Elem,:,i)];
%xlswrite(archivo,framePM,'Frame Property
Modifiers','A4');

if cr2(i)>0;

    xlswrite(archivo,link0,'Link Props 11 - MLP','A4');
    xlswrite(archivo,link1,'Link Props 11 - MLP','b4');
    xlswrite(archivo,link2,'Link Props 11 - MLP','C4');
    xlswrite(archivo,link3,'Link Props 11 - MLP','D9');
    xlswrite(archivo,link4,'Link Props 11 - MLP','H9');

    xlswrite(archivo,link5,'Link Props 01 -
General','A4');
    xlswrite(archivo,link6,'Link Props 01 -
General','C4');
    xlswrite(archivo,link7,'Link Props 01 -
General','N4');
    xlswrite(archivo,link8,'Link Props 01 -
General','P4');
    xlswrite(archivo,link9,'Link Props 01 -
General','Q4');

    Resorte=[v2 v3];
    Resorte1=Resorte(1:cr2(i),:,i);
    xlswrite(archivo,Resorte1,'Joint Panel Zone
Assignments','A4');

end

%COMPLETA LAS PESTAÑAS CON LA INFORMACION DE LOS NODOS

nodosjc=[cn1(:,1) cs1texto coord cs5texto];

```

```

xlswrite(archivo,nodosjc,'Joint Coordinates','A4');

if us(i)>0;
    nodoslf=ts1(1:us(i),:,i);
    xlswrite(archivo,nodoslf,'Joint Loads - Force','A4');
end

nodosR=vs1(1:rn1(i),:,i);
xlswrite(archivo,nodosR,'Joint Restraint
Assignments','A4');

    %end contador i
end

```

### Algoritmo Para Crear Y Analizar Los Archivos Sap2000

```

clear

clc

%Lee el numero de casos
Ncasos=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','A6');

for i=1:Ncasos

    % 'create ETABS object
    SapObject = actxserver('CSI.SAP2000.API.SapObject')
    % 'start ETABS application

    ret = SapObject.ApplicationStart()
    % 'create SapModel object

    SapModel = SapObject.SapModel

    c=num2str(i);
    sap=['Sap2000caso' c];

    Filepath=['C:\Program Files\MATLAB\R2018b\bin\' sap]
    ret= SapModel.File.OpenFile([Filepath '.xlsx'])

    filesave=['C:\Users\user\Desktop\Tesis
2019\7.Tesis.Sap2000\2.Porticos396\' sap]

    ret=SapModel.File.Save(filesave);

    ret = SapModel.Analyze.RunAnalysis;

    ret = SapModel.DesignSteel.SetCode("AISC360-05/IBC2006")

```

```

ret = SapModel.DesignSteel.StartDesign

ret = SapObject.ApplicationExit(false());

File = 0;
PropMaterial = 0;
PropFrame = 0;
FrameObj = 0;
PointObj = 0;
View = 0;
LoadPatterns = 0;
Analyze = 0;
AnalysisResults = 0;
AnalysisResultsSetup = 0;
SapModel = 0;
SapObject = 0;

end

```

ALGORITMO PARA LLEVAR LOS RESULTADOS A HOJA EXCEL PRINCIPAL CON DATOS DE PORTICOS

```

clear
clc

%Lee el numero de casos
Ncasos=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','A6');

% lee secciones y tipo de elemento
M=xlsread('InputDatosP.xlsx','Casos','a9:k35000');

% ALGORITMO PARA OBTENER TODA LA DATA EN MATRICES
%cuenta es resumen de casos y códigos
N=0;
n=1;

for i=1:Ncasos

    % Enpieza a leer la data de la hoja de excel InputDataP
    n=n+N;

    Codigoi(i,1)=M(n,1);
    Nodosi(i,1)=M(n,3);
    Elemi(i,1)=M(n,4);

    % N es el valor maximo para poder pasar al siguiente caso
    N=max(Elemi(i,1),Nodosi(i,1));
    contador(i)=N;

end

w=9;

```

```

%Cambiar 4 por el numero de casos

for i=1:Ncasos

    n1=num2str(i);
    xlsx='.xlsx';
    name=['RSap2000Caso' n1 xlsx];

    %LEE DATA EXCEL Sap2000Caso(n)
    %a=num2str(i);
    a=num2str(4);
    b=Nodosi(i,1);

    d(i,1)=b*57+4;
    % b=num2str(f);
    c=num2str(d(i));

    celda1=['b' a];
    celda2=['d' c];

    celda3=['f' a];
    celda4=['k' c];

    rango1=[celda1 ':' celda2];
    rango2=[celda3 ':' celda4];

    [num,txt,Aa]=xlsread(name,'Joint Displacements',rango1);
    Ab=xlsread(name,'Joint Displacements',rango2);

    Nodos=Nodosi(i);
    No=Nodos*57;
    A=zeros(Nodos,6);
    m=1;

    w1=num2str(w);

    celda5=['AN' w1];

    % LLENAR EL ARCHIVO BASE CON LA INFORMACION DE TODOS LOS
ARCHIVOS EXCEL
    for k=1:No;
        if Aa(k,1)=="EX";
            %if Aa(k,3)=="Max";
                A(m,:)=Ab(k,:);
                m=m+1;
            %end
        end
    end

    xlswrite('InputDatosP.xlsx',A,'Casos',celda5);
    w=w+contador(i);

end

```

```

% RECOGE LAS REACCIONES DE LAS BASES
p=1;
q=0;
w=9;
%Cambiar 4 por el numero de casos
for i=1:Ncasos

    q=q+contador(i)
    reac=M(p:q,11)
    sreac=(reac>0)
    mr(i)=sum(sreac)
    p=q+1
    q=q

    n1=num2str(i);
    xlsx='.xlsx';
    name=['RSap2000Caso' n1 xlsx];

    %LEE DATA EXCEL Sap2000Caso(n)
    %a=num2str(i);
    a=num2str(4);

    f1(i,1)=mr(i)*57+3;
    c=num2str(f1(i));

    celda1=['b' a];
    celda2=['d' c];

    celda3=['f' a];
    celda4=['h' c];

    celda5=['a' a]
    celda6=['a' c]

    rango1=[celda1 ':' celda2];
    rango2=[celda3 ':' celda4];
    rango3=[celda5 ':' celda6];

    [num,txt,Aa]=xlsread(name,'Joint Reactions',rango1);
    Ab=xlsread(name,'Joint Reactions',rango2);
    [num,txt,Ac]=xlsread(name,'Joint Reactions',rango3);

    No=mr(i)*57;
    A=zeros(mr(i),4);
    B=zeros(mr(i),4);
    C=zeros(mr(i),4);

    w1=num2str(w);

```

```

        celda7=['BE' w1];
        m=1
        % LLENAR EL ARCHIVO BASE CON LA INFORMACION DE TODOS LOS
ARCHIVOS EXCEL
        for k=1:No;
            if Aa(k,1)=="EX";
                %if Aa(k,3)=="Max";
                    A(m,2:4)=(Ab(k,:));
                    A(m,1)=str2double(Ac(k))
                    m=m+1;
                %end
            end
        end
        xlswrite('InputDatosP.xlsx',A,'Casos',celda7);

        celda8=['AW' w1];
        m=1
        for k=1:No;
            if Aa(k,1)=="DEAD";
                %if Aa(k,3)=="Max";
                    B(m,2:4)=(Ab(k,:));
                    B(m,1)=str2double(Ac(k));
                    m=m+1;
                %end
            end
        end
        xlswrite('InputDatosP.xlsx',B,'Casos',celda8);

        celda9=['BA' w1];
        m=1
        for k=1:No;
            if Aa(k,1)=="LL";
                %if Aa(k,3)=="Max";
                    C(m,2:4)=(Ab(k,:));
                    C(m,1)=str2double(Ac(k));
                    m=m+1;
                %end
            end
        end
        xlswrite('InputDatosP.xlsx',C,'Casos',celda9);

w=w+contador(i);
        end
w=9;
for i=1:Ncasos
    n1=num2str(i);
        xlsx='.xlsx';
        name=['RSap2000Caso' n1 xlsx];
        % RECOGE LA INFORMACION DE LAS HOJAS DE EXCEL Y LAS PLASMA EN LA HOJA
RESUMEN DE EXCEL

```

```

w1=num2str(w);

Elem=Elemi(i);
    Element=num2str(Element+3);

    rango3A=['b4:' 'e' Element];
    rango4A=['f4:' 'l' Element];
    rango5A=['m4:' 'm' Element];
    rango6A=['n4:' 'av' Element];
    rango7A=['aw4:' 'bc' Element];

[num,txt,E1A]=xlsread(name,'Steel PMM - AISC 360-
16',rango3A);
E2A=xlsread(name,'Steel PMM - AISC 360-16',rango4A);
[num,txt,E3A]=xlsread(name,'Steel PMM - AISC 360-
16',rango5A);
E4A=xlsread(name,'Steel PMM - AISC 360-16',rango6A);
[num,txt,E5A]=xlsread(name,'Steel PMM - AISC 360-
16',rango7A);

celda6A=['ea' w1];
celda7A=['ee' w1];
celda8A=['el' w1];
celda9A=['em' w1];
celda10A=['fv' w1];

xlswrite('InputDatosP.xlsx',E1A,'Casos',celda6A);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E2A,'Casos',celda7A);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E3A,'Casos',celda8A);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E4A,'Casos',celda9A);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E5A,'Casos',celda10A);

% RECOGE LA INFORMACION INFORMACION DE CORTE DE LAS HOJAS
DE EXCEL Y LAS PLASMA EN LA HOJA RESUMEN DE EXCEL
Elem=Elemi(i);
    Element=num2str(Element+3);

    rango3S=['b4:' 'e' Element];
    rango4S=['f4:' 'j' Element];
    rango5S=['k4:' 'k' Element];
    rango6S=['l4:' 'r' Element];
    rango7S=['s4:' 'u' Element];

[num,txt,E1S]=xlsread(name,'Steel Shear - AISC 360-
16',rango3S);
E2S=xlsread(name,'Steel Shear - AISC 360-16',rango4S);
[num,txt,E3S]=xlsread(name,'Steel Shear - AISC 360-
16',rango5S);
E4S=xlsread(name,'Steel Shear - AISC 360-16',rango6S);
[num,txt,E5S]=xlsread(name,'Steel Shear - AISC 360-
16',rango7S);

```

```

celda6S=['gd' w1];
celda7S=['gh' w1];
celda8S=['gm' w1];
celda9S=['gn' w1];
celda10S=['gu' w1];

xlswrite('InputDatosP.xlsx',E1S,'Casos',celda6S);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E2S,'Casos',celda7S);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E3S,'Casos',celda8S);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E4S,'Casos',celda9S);
xlswrite('InputDatosP.xlsx',E5S,'Casos',celda10S);

% RECOGE LA INFORMACION INFORMACION DE ARRIOSTRES DE LAS
HOJAS DE EXCEL Y LAS PLASMA EN LA HOJA RESUMEN DE EXCEL
Elem=Elemi(i);
Element=num2str(Elem+3);

rango3modal=['c4:' 'p' Element];

[num,txt,E1M]=xlsread(name,'Modal Participating Mass
Ratios',rango3modal);

celda6B=['BP' w1];

xlswrite('InputDatosP.xlsx',E1M,'Casos',celda6B);

w=w+contador(i);
end

```

**D. HOJA DE EXCEL CON DATOS DE ENTRADA Y SALIDA PARA EVALUACIÓN DE PÓRTICO ARRIOSTRADO DE ACERO.**

- Se ingresa los datos de los porticos de acero arriostrados

6	360	Numero de casos				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
7	Nro	Caso	Nodos	Elem	PZ	Nudos				Apoyo 1=Articulado 2=rigido	Elementos								
8						Nds	X	Y	Z		Elem	Nudo i	Nudo j	Sección	Tipo	long	0 = Rigido 1 = Articulado 2 = Parcial	Rigidez Elástica	Factor Rigidez AISC
6952										88.00	35.00	32.00	W8X21	Arriostre	7.075	1.00	-	-	-
6953	85	221121	24	45	20	1.00	-	-	-	1.00	1.00	2.00	W12X53	Col	3.75	-	-	-	-
6954						2.00	-	-	3.75	2.00	3.00	4.00	W12X53	Col	3.75	-	-	-	763,085.00
6955						3.00	6.00	-	-	1.00	3.00	5.00	6.00	W12X53	Col	3.75	-	-	-
6956			Tipo de conexión	2		4.00	6.00	-	3.75	-	4.00	7.00	8.00	W12X53	Col	3.75	-	-	763,085.00
6957						5.00	12.00	-	-	1.00	5.00	9.00	10.00	W12X53	Col	3.75	-	-	-
6958			Geometria			6.00	12.00	-	3.75	-	6.00	11.00	12.00	W12X53	Col	3.75	-	-	763,085.00
6959						7.00	18.00	-	-	1.00	7.00	2.00	4.00	W10X45	Viga	6	-	-	-
6960			Niveles	1	3.00	8.00	18.00	-	3.75	-	8.00	4.00	6.00	W10X45	Viga	6	-	-	763,085.00
6961			altura h		3.75	9.00	24.00	-	-	1.00	9.00	6.00	8.00	W10X45	Viga	6	-	-	763,085.00
6962			Vanos	2	5.00	10.00	24.00	-	3.75	-	10.00	8.00	10.00	W10X45	Viga	6	-	-	763,085.00
6963			longitud L		6.00	11.00	30.00	-	-	1.00	11.00	10.00	12.00	W10X45	Viga	6	-	-	763,085.00
6964						12.00	30.00	-	3.75	-	12.00	1.00	4.00	W8X24	Arriostre	7.075	1.00	-	763,085.00
6965						13.00	-	-	7.50	-	13.00	3.00	2.00	W8X24	Arriostre	7.075	1.00	-	763,085.00
6966			Parámetros sísmicos			14.00	6.00	-	7.50	-	14.00	9.00	12.00	W8X24	Arriostre	7.075	1.00	-	763,085.00
6967						15.00	12.00	-	7.50	-	15.00	10.00	11.00	W8X24	Arriostre	7.075	1.00	-	763,085.00
6968			Z =	2	0.35	16.00	18.00	-	7.50	-	16.00	2.00	13.00	W12X53	Col	3.75	-	-	763,085.00
6969			U =		1.00	17.00	24.00	-	7.50	-	17.00	4.00	14.00	W12X53	Col	3.75	-	-	763,085.00

- Se ingresa para conexiones semi-rígidas las propiedades mecánicas de las conexiones

- ✓ Rigidez inicial
- ✓ Momento último
- ✓ Factor de forma

	A	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	
6	360	13	14	15																	
7	Nro					Carga gravitacional			Carga lateral		Peso viga	Peso viga kg	Nivel	Peso por nivel	Peso DL	Peso LL	Peso Sísmico	Carga Sísmica nivel	Peso Estructura	Total carga sísmica	Nds
8		Rki	Mu	n	Factor Rigidez AISC	Nivel	DL	LL	Ex												
6952		-	-	-	-	8.00	-	-	-	31.25	221.10										
6953	85	-	-	-	-	1.00	-	-	-	78.87	295.77	Nivel 1	4794.405	18000	45000	34044.41	4255.55063	10,349.78	12,262.47	1.00	
6954		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	4,255.55	78.87	295.77	Nivel 2	4668.06	18000	45000	33918.06	4239.75754			2.00	
6955		-	-	-	-	1.00	-	-	-	78.87	295.77	Nivel 3	887.3154	18000	45000	30137.32	3767.16443			3.00	
6956		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	-	78.87	295.77									4.00	
6957		-	-	-	-	1.00	-	-	-	78.87	295.77									5.00	
6958		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	-	78.87	295.77									6.00	
6959		-	-	-	-	1.00	600.00	1,500.00	-	66.97	401.80									7.00	
6960		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	600.00	1,500.00	-	66.97	401.80									8.00	
6961		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	600.00	1,500.00	-	66.97	401.80									9.00	
6962		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	600.00	1,500.00	-	66.97	401.80									10.00	
6963		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	600.00	1,500.00	-	66.97	401.80									11.00	
6964		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	-	35.72	252.69									12.00	
6965		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	4,239.76	35.72	252.69									13.00	
6966		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	-	35.72	252.69									14.00	
6967		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	1.00	-	-	-	35.72	252.69									15.00	
6968		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	2.00	-	-	-	78.87	295.77									16.00	
6969		763,085.00	7,118.20	0.57	2.10	2.00	-	-	-	78.87	295.77									17.00	

• **Resultados (Gris)**

- ✓ Desplazamientos en ultimo nivel
- ✓ Reacciones en los apoyos para carga muerta, carga viva y carga de sismo

	A	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	
6	360																						
7				Deformacion EX						RNE			Reacciones DL				Reacciones LL				Reacciones		
8	Nro	Total carga sismica	Nds	dx (m)	dy (m)	dz (m)	giro x (m)	giro y (m)	giro z (m)	> 0.01	h		Nodo	Rx	Ry	Rz	Nodo	Rx	Ry	Rz	Nodo	Rx	
9	1	9,978.70	1.00	0	0	0	0	8.76E-05	0	0.00046	11.25		1	1366.5412	0	8754.0598	1	2524.5553	0	16387.228	1	-2296.6186	
10			2.00	0.000341	0	8.25E-05	0	9.87E-05	0				3	-634.48167	0	12185.487	3	-923.75172	0	24112.772	3	-2730.22	
11			3.00	0	0	0	0	7.13E-05	0				5	634.48167	0	12185.487	5	923.75172	0	24112.772	5	-1892.2234	
12			4.00	0.000291	0	-7.75E-05	0	9.2E-05	0				7	-1366.5412	0	8754.0598	7	-2524.5553	0	16387.228	7	-1997.0853	
13			5.00	0	0	0	0	6.14E-05	0														
14			6.00	0.000258	0	7.29E-05	0	8.52E-05	0														
15			7.00	0	0	0	0	5.79E-05	0														
16			8.00	0.000246	0	-7.17E-05	0	8.29E-05	0														
17			9.00	0.000716	0	0.00012	0	8.9E-05	0														
18			10.00	0.000662	0	-0.000108	0	8.85E-05	0														
19			11.00	0.000613	0	0.000107	0	8.67E-05	0														
20			12.00	0.000596	0	-0.000104	0	8.56E-05	0														
21			13.00	0.000996	0	0.000133	0	6.83E-05	0														
22			14.00	0.000931	0	-0.000113	0	6.43E-05	0														
23			15.00	0.00088	0	0.000117	0	6.43E-05	0														
24			16.00	0.000859	0	-0.000112	0	6.32E-05	0														
25			-																				
26			-																				

- Se calcula los momentos máximo sobre la cimentacion que soporta los arriostres (celdas color azul)

	A	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BQ	BR	BS	BT	BU		
6	360																				
7	Nro	Reacciones LL			Reacciones E			Sum Ex	Verificación	P	V	M	Axial Maximo	Mom Maximo	StepNum	Period (s)	UX	UY	UZ	Sum	
8		Rx	Ry	Rz	Nodo	Rx	Ry														Rz
9	1	2524.5553	0	16387.228	1	-2296.6186	0	-5956.2105	- 8,916.15	Revisar	61439.547	-4294.779	35737.263	61439.547	35737.263	1	0.0495906	0.7418063	0	3.216E-16	0.741
10		-923.75172	0	24112.772	3	-2730.22	0	5956.2105								2	0.0432005	3.017E-15	0	0.3092561	0.741
11		923.75172	0	24112.772	5	-1892.2234	0	-5180.8374			61439.547	-4621.368	31085.025			3	0.0427823	7.49E-06	0	1.013E-15	0.741
12		-2524.5553	0	16387.228	7	-1997.0853	0	5180.8374								4	0.0422508	1.764E-15	0	0.0163159	0.741
13																5	0.0422447	6.541E-15	0	0.0101556	0.741
14																6	0.0421896	3.769E-08	0	8.722E-18	0.741
15																7	0.042175	2.366E-17	0	0.0033917	0.741
16																8	0.0421477	4.083E-09	0	8.347E-17	0.741
17																9	0.0421329	1.248E-17	0	0.000646	0.741
18																10	0.0421212	1.199E-17	0	0.0001042	0.741
19																11	0.0197182	0.0247412	0	2.223E-18	0.76
20																12	0.0195061	4.544E-17	0	1.073E-05	0.76
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					

- Se obtiene los periodos de los modos de vibración

	A	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF		
6	360																						
7					Ratios de participación Modal																		
8	Nro	M	Axial Maximo	Mom Maximo	StepNum	Period (s)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ				Elem	Se
9	1	35737.263	61439.547	35737.263	1	0.0495906	0.7418063	0	3.216E-16	0.7418063	0	3.216E-16	0	0.0822471	0	0	0.0822471	0				1.00	W1
10					2	0.0432005	3.017E-15	0	0.3092561	0.7418063	0	0.3092561	0	4.111E-16	0	0	0.0822471	0				2.00	W1
11		31085.025			3	0.0427823	7.49E-06	0	1.013E-15	0.7418138	0	0.3092561	0	0.1601096	0	0	0.2423567	0				3.00	W1
12					4	0.0422508	1.764E-15	0	0.0163159	0.7418138	0	0.3255719	0	5.824E-14	0	0	0.2423567	0				4.00	W1
13					5	0.0422447	6.541E-15	0	0.0101556	0.7418138	0	0.3357276	0	1.111E-14	0	0	0.2423567	0				5.00	W1
14					6	0.0421896	3.769E-08	0	8.722E-18	0.7418138	0	0.3357276	0	0.0114923	0	0	0.2538491	0				6.00	W1
15					7	0.042175	2.366E-17	0	0.0033917	0.7418138	0	0.3391193	0	5.396E-17	0	0	0.2538491	0				7.00	W1
16					8	0.0421477	4.083E-09	0	8.347E-17	0.7418138	0	0.3391193	0	0.0017613	0	0	0.2556103	0				8.00	W1
17					9	0.0421329	1.248E-17	0	0.000646	0.7418138	0	0.3397652	0	6.737E-18	0	0	0.2556103	0				9.00	W1
18					10	0.0421212	1.199E-17	0	0.0001042	0.7418138	0	0.3398694	0	2.13E-18	0	0	0.2556103	0				10.00	W1
19					11	0.0197182	0.0247412	0	2.223E-18	0.766555	0	0.3398694	0	0.0233922	0	0	0.2790025	0				11.00	W1
20					12	0.0195061	4.544E-17	0	1.073E-05	0.766555	0	0.3398802	0	1.258E-16	0	0	0.2790025	0				12.00	W1
21																						13.00	W1
22																						14.00	W1
23																						15.00	W1
24																						16.00	W1
25																						17.00	W1
26																						18.00	W1

- Se obtiene los ratios de resistencia de flexión, axial y corte

Los colores son los mismos que utiliza sap2000

	A	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ
6	360																				
7	Nro	Mn Menor	Ratio Manual	Ratio Manual	Ratio Sap2000	Ratio Manual Total	Ratio Sap2000	Elem	Sección	Tipo	Nivel	Axial Arriostre					Promedio Axial	1	2	3	4
9	1	15087.07309	0.001949533	0	0.001950	0.0690	0.0690	1.00	W12X53	Col	1.00	0					0.6852137	0.3256	0.9750	0.7551	0.000
10		15087.07309	1.11418E-09	0	0.000000	0.1056	0.2113	2.00	W12X53	Col	1.00	0									
11		15087.07309	1.11418E-09	0	0.000000	0.1056	0.2113	3.00	W12X53	Col	1.00	0									
12		15087.07309	0.001949533	0	0.001950	0.0690	0.0690	4.00	W12X53	Col	1.00	0									
13		10524.6587	0.573263886	0	0.573264	0.5974	0.5820	5.00	W10X45	Viga	1.00	0									
14		10524.6587	0.584453379	0	0.584452	0.5865	0.5845	6.00	W10X45	Viga	1.00	0									
15		10524.6587	0.573263886	0	0.573264	0.5974	0.5820	7.00	W10X45	Viga	1.00	0									
16		4443.168732	0.004798866	0	0.004266	0.1655	0.3256	8.00	W8X24	Amiostre	1.00	0.3255943									
17		4443.168732	0.005453405	0	0.004847	0.1150	0.2239	9.00	W8X24	Amiostre	1.00	0.2238672									
18		4443.168732	0.007069368	0	0.007069	0.0962	0.0962	10.00	W8X24	Amiostre	1.00	0.0961533									
19		4443.168732	0.00531716	0	0.004726	0.1589	0.3118	11.00	W8X24	Amiostre	1.00	0.3118035									
20		15087.07309	0.001949533	0	0.001950	0.0479	0.0479	12.00	W12X53	Col	2.00	0									
21		15087.07309	0.000306132	0	0.000306	0.0728	0.0728	13.00	W12X53	Col	2.00	0									
22		15087.07309	0.000306132	0	0.000306	0.0728	0.0728	14.00	W12X53	Col	2.00	0									
23		15087.07309	0.001949533	0	0.001950	0.0479	0.0479	15.00	W12X53	Col	2.00	0									
24		10524.6587	0.578882289	0	0.578882	0.5903	0.5830	16.00	W10X45	Viga	2.00	0									
25		10524.6587	0.583300544	0	0.583301	0.5850	0.5839	17.00	W10X45	Viga	2.00	0									
26		10524.6587	0.578882289	0	0.578882	0.5903	0.5830	18.00	W10X45	Viga	2.00	0									