

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2021

INFORME DEL PROYECTO REF. SV-21-GIJON-1-10

1. Datos del proyecto

Título: Tablas de cálculo de sistema estructural desmontable para edificación con pilares tubulares.

Fechas inicial y final del proyecto: 11/10/2021 - 31/12/2021

Investigador/a Principal: Carlos López-Colina Pérez

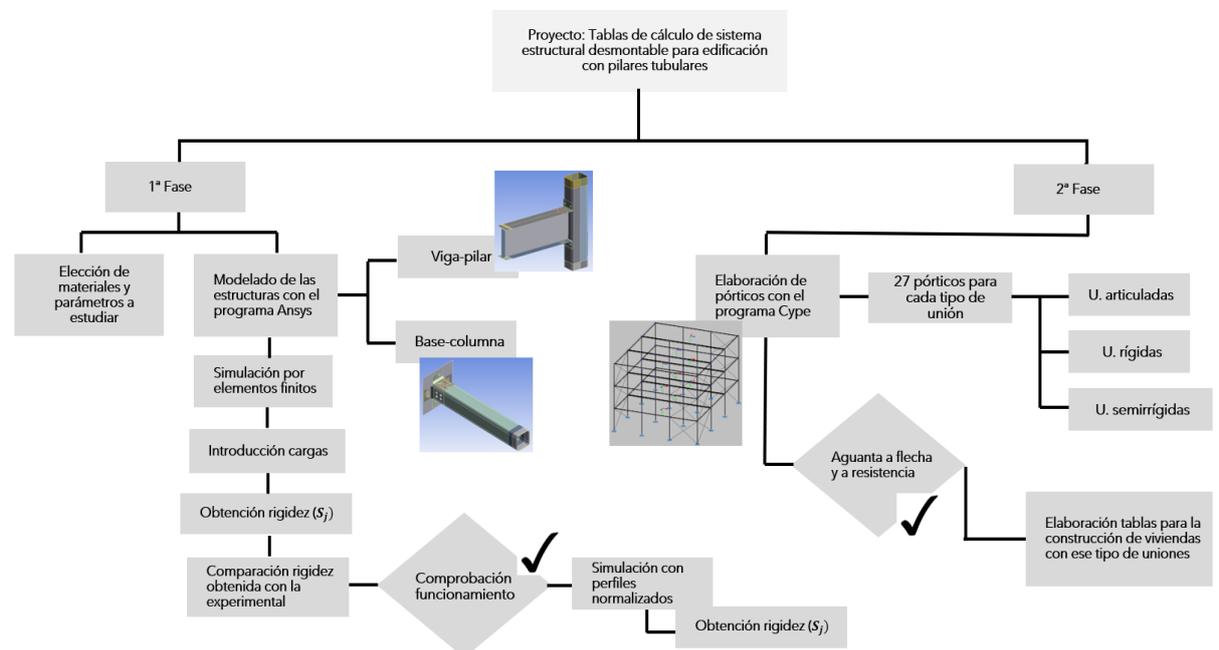
Otros investigadores: Javier Gracia Rodríguez, Miguel Ángel Serrano López

Personal contratado: Sara Otero Vega

Fechas inicial y final de contratación: 11/10/2021 - 31/12/2021

Empresas o instituciones colaboradoras: ArcelorMittal Tubular Products Europe

2. Resumen Gráfico



3. Memoria descriptiva del proyecto

3.1 Resumen ejecutivo

El trabajo consistió en la elaboración de un estudio paramétrico de estructuras porticadas con uniones semirrígidas con pernos soldados a pilares tubulares rectangulares. Se modelizaron las uniones mediante elementos finitos, validando las simulaciones con resultados experimentales previos obtenidos en la Universidad de Oviedo. Después, se analizó, con CYPE 3D y Ansys [1], el comportamiento de diversos pórticos en los que se fue variando las dimensiones de estos, número de plantas, número de vanos, distancia entre pilares y separación entre pórticos. También se analizaron diferentes configuraciones de carga.

El objetivo del estudio consistió en identificar los valores de los parámetros para los que las uniones propuestas eran óptimas y elaborar una tabla de dimensionamiento rápido de estructuras sencillas teniendo en cuenta la rigidez parcial de las uniones.

Se trataba de la validación de un sistema estructural completo para estructuras porticadas de poca altura para viviendas u oficinas. El uso de perfiles tubulares cuadrados o rectangulares como pilares tiene múltiples ventajas. La principal es el mejor aprovechamiento del material a pandeo y la ausencia de pandeo lateral por flexión, lo que permite un ahorro considerable de acero. Sin embargo, uno de los problemas con los que debe tratarse en estos perfiles es la dificultad de realizar uniones viga-pilar desmontables [2], al no poder acceder al interior del pilar tubular para apretar tuercas o tornillos. La solución más sencilla y económicamente eficiente es la que se estudió en este trabajo: el uso de pernos soldados al pilar y unidos a la viga en doble T mediante casquillos angulares a las alas. Estas uniones se comportan como semirrígidas [3], lo cual permite también un mejor aprovechamiento del material, repartiendo mejor los momentos flectores entre vigas y pilares que la opción perfectamente rígida o articulada. Combinando estas uniones completamente desmontables con uniones a cimentación, también con casquillos y pernos soldados [4], y un sistema de arriostramiento mediante cables, se ha podido definir un sistema estructural sencillo, ligero, económico y desmontable. Este trabajo sienta las bases para desarrollar una guía de cálculo simplificada (mediante fórmulas o tablas) para casos típicos de predimensionamiento o dimensionamiento del lado de la seguridad para edificaciones de poca altura. El sistema permite el diseño muy rápido para casos de emergencia o necesidad de plazos cortos de construcción de estructuras ligeras que no necesitan apenas de trabajo en taller, pues todos los cortes, taladrados y las soldaduras de los pernos pueden realizarse con maquinaria portátil en obra.

3.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Conseguir soporte teórico suficiente para llegar a elaborar tablas de cálculo directo de un sistema constructivo ligero, desmontable y que no necesita trabajos complejos en taller del tipo fresado o soldaduras. El sistema está pensado para que sea posible realizar la fabricación de las piezas exclusivamente con sierra, taladro y la pistola de soldadura de pernos roscados (del tipo de la utilizada para los conectores de cortante en piezas mixtas). Todo esto evita otro tipo de operaciones más delicadas y que requieren de personal especialmente formado. El estudio está limitado a pequeñas edificaciones, dos o tres plantas, destinadas a oficinas o viviendas y distancia entre pilares de alrededor de 5 metros.

3.3 Tareas realizadas

- Estudio de estado del arte y recogida de datos experimentales previos (de Universidad de Lieja y Universidad de Oviedo) para las uniones viga-pilar estudiadas.
- Evaluación de la rigidez experimental de las uniones del apartado anterior mediante su curva momento-rotación.

- Desarrollo de un modelo de elementos finitos simplificado (con elementos tipo lámina) y paramétrico de las uniones estudiadas. Se mejoraron modelos previos existentes en Ansys.

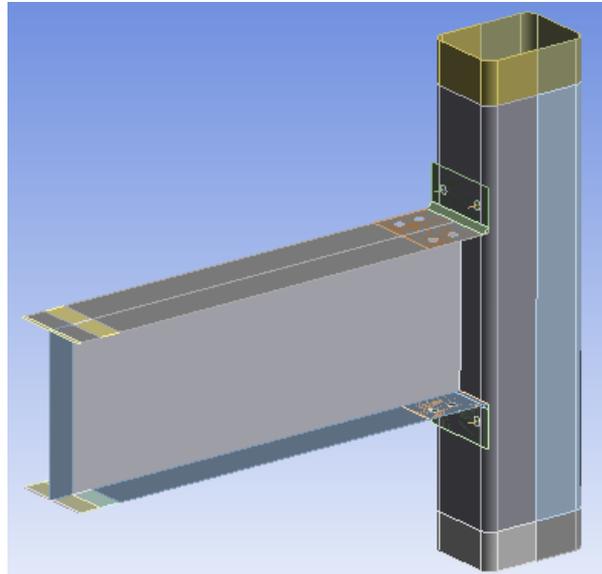


Ilustración 3.1. Modelo viga-pilar

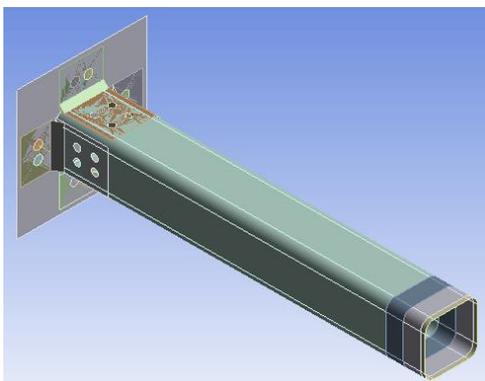


Ilustración 3.2. Modelo base-columna

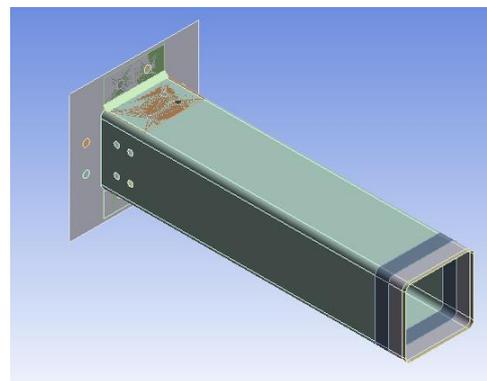


Ilustración 3.3. Modelo base columna sin L lateral

El procedimiento consiste en parametrizar los datos que varían en las distintas geometrías (aquellos valores que se han introducido manualmente y que en el modelo no están calculados a partir de una fórmula) para poder introducir los distintos valores dependiendo del caso, analizando así un único modelo.

- Determinación de los materiales utilizados para cada elemento.

Como único material se ha utilizado acero estructural de grado S275, el cual tiene distintas características dependiendo del elemento al que se aplique.

1. Acero estructural para los tornillos (studs):

Structural Steel Stud

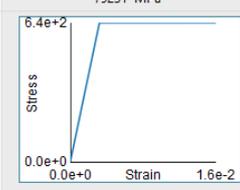
Density: 7,85e-06 kg/mm³

Structural

▼ Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,06e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	1,7167e+05 MPa
Shear Modulus	79231 MPa

Bilinear Isotropic Hardening



Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion: 1,2e-05 1/°C

Thermal

Specific Heat Constant Pressure: 4,34e+05 mJ/kg·°C

Ilustración 3.4. Propiedades acero estructural tornillos (studs) (1)

Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	640	MPa
Tangent Modulus	20,6	MPa

Ilustración 3.5. Propiedades acero estructural tornillos (studs) (2)

2. Acero estructural para las vigas:

Structural Steel Beam

Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

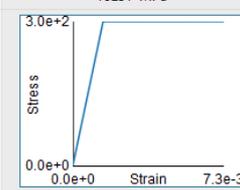
Density: 7,85e-06 kg/mm³

Structural

▼ Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,06e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	1,7167e+05 MPa
Shear Modulus	79231 MPa

Bilinear Isotropic Hardening



Thermal

Specific Heat Constant Pressure: 4,34e+05 mJ/kg·°C

Ilustración 3.6. Propiedades acero estructural vigas (1)

Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	299	MPa
Tangent Modulus	20,6	MPa

Ilustración 3.7. Propiedades acero estructural vigas (2)

3. Acero estructural para los pilares:

Structural Steel Column
fatigue data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPS Code, Section 8, Div 4, Table 3-11U.1

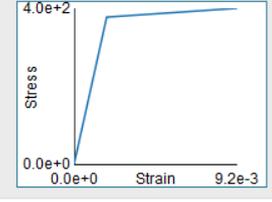
Density	7,85e-06 kg/mm ³
---------	-----------------------------

Structural

▼ Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,06e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	1,7167e+05 MPa
Shear Modulus	79231 MPa

Bilinear Isotropic Hardening



Thermal

Specific Heat Constant Pressure	4,34e+05 mJ/kg·°C
---------------------------------	-------------------

Ilustración 3.8. Propiedades acero estructural pilares (1)

Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	377,2	MPa
Tangent Modulus	3090	MPa

Ilustración 3.9. Propiedades acero estructural pilares (2)

4. Acero estructural para las L:

Structural Steel L
fatigue data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPS Code, Section 8, Div 4, Table 3-11U.1

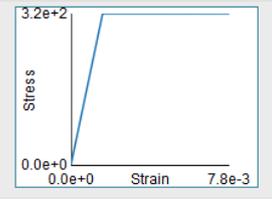
Density	7,85e-06 kg/mm ³
---------	-----------------------------

Structural

▼ Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,06e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	1,7167e+05 MPa
Shear Modulus	79231 MPa

Bilinear Isotropic Hardening



Thermal

Specific Heat Constant Pressure	4,34e+05 mJ/kg·°C
---------------------------------	-------------------

Ilustración 3.10. Propiedades acero estructural L (1)

 Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	319,55	MPa
Tangent Modulus	20,6	MPa

Ilustración 3.11. Propiedades acero estructural L (2)

- Validación del modelo de elementos finitos del apartado anterior por ajuste con las curvas experimentales momento-rotación.
- Establecimiento de una tabla de estructuras objetivo según el interés definido para el proyecto: estructuras de edificación ligeras.

Tabla 1. Combinaciones perfiles para simulaciones viga-pilar y base-columna

IPE	SHS	t_0
240	120	6,8,10
270	140	6,8,10
300	160	6,8,10
330	160	6,8,10
360	175	6,8,10
400	180	6,8,10

- Dimensionado de acuerdo con la normativa de las estructuras modelo para establecer los perfiles necesarios para vigas (IPE) y pilares (SHS).
- Extensión del modelo de elementos finitos a las uniones obtenidas en el apartado anterior. Obteniendo la rigidez inicial de las mismas.
- Realización de 27 pórticos diferentes para cada tipo de unión (articuladas, rígidas y semirrígidas) con el programa Cype-3D.

Para ello se tendrá en cuenta una resistencia al fuego de R30, ya que es la específica para el tipo de pórtico estudiado, lo cual permitirá saber la cantidad de pintura intumescente que se deberá aplicar a cada grupo de componentes de la estructura.

También habrá que tener en cuenta una serie de cargas como: acción del viento, sobrecarga de uso en las plantas y en la cubierta, peso propio del forjado y de cerramiento (las cuales se introducirán sobre unos paños).

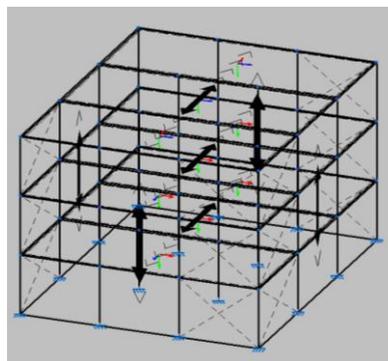


Ilustración 3.12. Dirección aplicación cargas en paños

Otro dato a tener en cuenta es la flecha que se debe aplicar a cada perfil. En el caso de los pilares será de $H/500$ y para las vigas de $L/300$, según el Eurocódigo 3 EN 1993-1-1.

A la hora de analizar cómo se comportaban los distintos perfiles, se optó por introducir láminas en cada uno de los forjados, las cuales se eligieron de hormigón C25/30 con un espesor de 100mm, introduciendo para ello una vinculación interior articulada.

Para hacer que la estructura fuese más resistente, se añadieron unos arriostramientos y se articularon las vigas del plano Y.

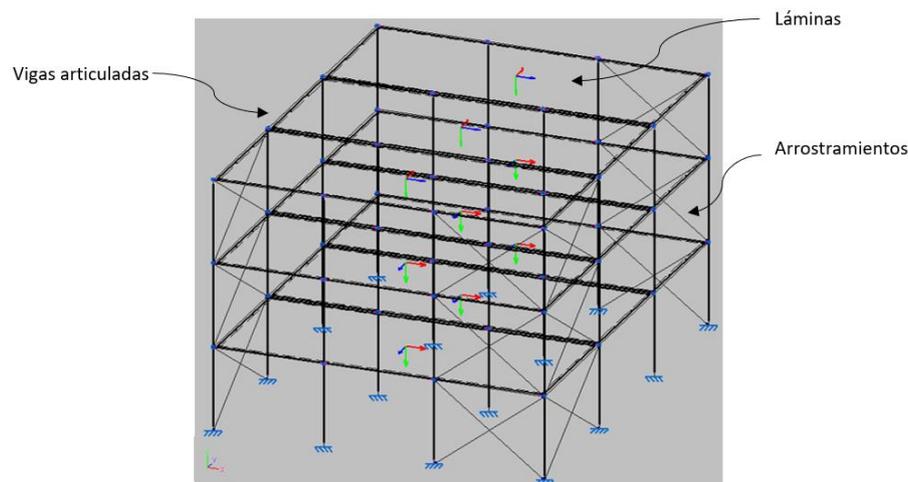


Ilustración 3.13. Pórtico de PB+2

En el caso de las uniones articuladas (habrá que articular cada una de las barras) no hay pandeo lateral, por lo que solo se tendrá en cuenta el pandeo (siendo 0 en el plano xy).

Para las uniones rígidas y semirrígidas, a parte del pandeo, habrá que tener en cuenta el pandeo lateral en las vigas (con un coeficiente $\beta_v = 1$ para el ala inferior y un valor de $C_1 = 1.235$).

El valor de C_1 se obtiene de hacer la inversa de K_c^2 , y puesto que tanto para la viga biapoyada con uniones rígidas como semi-rígidas el valor de $K_c = 0,9$, se tiene que:

$$C_1 = \frac{1}{K_c^2} = \frac{1}{0,9^2} = 1,235$$

En el caso de las uniones semirrígidas habrá que estudiar por separado la flecha y la resistencia.

Para estudiar si aguanta al valor de la flecha, habrá que introducir en las vigas el valor de rigidez del caso más desfavorable entre los valores obtenidos de las uniones articuladas y rígidas para cada tipo de estructura.

Por otro lado, para ver si aguanta al valor de resistencia requerido, se dividirá a la mitad dicha rigidez obtenida, comprobando que todas las barras resistan ese valor.

- Recálculo con CYPE 3D de las estructuras modelo incluyendo las rigideces iniciales obtenidas en el paso anterior.
- Evaluación de la resistencia de las uniones.
- Elaboración de la tabla final que proponga vigas, pilares y uniones correctamente dimensionadas para los casos típicos establecidos en el paso 5º.

3.4 Resultados obtenidos

A continuación, en las tablas que van de la 2 a la 20 se presentan los principales resultados del proyecto, obtenidos de la simulación por elementos finitos de las uniones y del cálculo global de las estructuras de varias plantas. Las tablas finales requieren de un formateo adicional para facilitar su uso a los calculistas.

- Valores de rigidez obtenidos con el programa Ansys, comparados con los valores experimentales:

Es importante tener en cuenta que las dimensiones de los angulares varían en función del ancho del perfil tubular, ya que un requisito estructural es que el ancho de la viga y de la columna sean iguales [5], por lo que variará la separación de los agujeros en los angulares.

Tabla 2 – Rigidez experimental y calculada viga-pilar.

	$S_{j_{exp}}$ [Nmm/rad]	Sj ANSYS [Nmm/rad]
SMS1	1973000000	2066200000
SMS2	2801000000	2862800000
SMS3	3671000000	3817200000
SMS4	2050000000	1726400000
SMS5	3795000000	3230900000
SMS6	4945000000	5056700000
SMS7	3827900000	3986600000
SMS8	5885000000	5976500000
SMS9	9303000000	7671100000

En el caso de la base-columna se ha realizado el estudio en dos de ellas sin angulares laterales (BM1-SA y BM2-SA) y el resto con angulares (BM1 a BM6) [6].

Tabla 3 – Rigidez experimental y calculada base-columna.

	$S_{j_{exp}}$ [Nmm/rad]	Sj ANSYS [Nmm/rad]
BM1-SA	3,68E+09	3,76E+09
BM2-SA	4,39E+09	4,30E+09
BM1	5,66E+09	5,31E+09
BM2	5,98E+09	5,87E+09
BM3	6,92E+09	6,20E+09
BM4	5,18E+09	5,09E+09
BM5	5,79E+09	5,47E+09
BM6	6,55E+09	5,90E+09

- Valores de rigidez obtenidos en la extensión de la simulación con elementos finitos a otras configuraciones no ensayadas experimentalmente:

Tabla 4 – Rigideces obtenidas en la extensión de simulaciones viga-pilar.

	Sj ANSYS [Nmm/rad]
FEBC01	2,54E+09
FEBC02	3,32E+09
FEBC03	4,03E+09
FEBC04	3,19E+09
FEBC05	4,45E+09
FEBC06	5,17E+09
FEBC07	3,93E+09
FEBC08	5,50E+09
FEBC09	6,49E+09
FEBC10	4,90E+09
FEBC11	6,45E+09
FEBC12	7,93E+09
FEBC13	5,71E+09
FEBC14	8,05E+09
FEBC15	9,35E+09
FEBC16	7,12E+09
FEBC17	9,51E+09
FEBC18	1,17E+10

Tabla 5 – Rigideces obtenidas en la extensión de simulaciones base-columna.

	Sj ANSYS [Nmm/rad]
FECB01	1,70E+09
FECB02	1,81E+09
FECB03	2,20E+09
FECB04	2,56E+09
FECB05	2,72E+09
FECB06	2,72E+09
FECB07	3,64E+09
FECB08	3,83E+09

FECB09	3,97E+09
FECB10	4,49E+09
FECB11	4,78E+09
FECB12	5,05E+09
FECB13	4,79E+09
FECB14	5,12E+09
FECB15	5,29E+09

- Tablas con los perfiles necesarios para los pórticos creados con el programa Cype 3D:

Se ha realizado el estudio teniendo en cuenta diferentes limitaciones:

- Pórticos de PB, PB+1 y PB+2.
- Separaciones entre pórticos de 4, 5 y 6 m (P4, P5, P6)
- Separaciones entre vanos de 4, 5 y 6 m (V4, V5, V6).

1 - Uniones articuladas:

Tabla 6 – Valores perfiles PB articulados

PB	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostramientos
P4/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 10
P4/V5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P4/V6	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 20
P5/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P5/V5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 19
P5/V6	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 20
P6/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16
P6/V5	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 14
P6/V6	SHS 160x6	SHS 160x8	IPE 300	IPE 240	R 18

Tabla 7 – Valores perfiles PB+1 articulados

PB+1	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostramientos
P4/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16
P4/V5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 19
P4/V6	SHS 120x8	SHS 120x10	IPE 240	IPE 270	R 20
P5/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 19
P5/V5	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 15

P5/V6	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 270	R 17
P6/V4	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 22
P6/V5	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 18
P6/V6	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 270	R 14

Tabla 8 – Valores perfiles PB+2 articulados

PB+2	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostramientos
P4/V4	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 22
P4/V5	SHS 120x8	SHS 120x10	IPE 240	IPE 200	R 23,6
P4/V6	SHS 140x8	SHS 140x10	IPE 270	IPE 240	R 24
P5/V4	SHS 120x6	SHS 120x10	IPE 240	IPE 200	R 23,6
P5/V5	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 200	R 22
P5/V6	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 270	R 22
P6/V4	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 200	R 25
P6/V5	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 200	R 22
P6/V6	SHS 180x6	SHS 180x10	IPE 400	IPE 270	R 18

2 - Uniones rígidas:

Tabla 9 – Valores perfiles PB rígidos

PB	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostramientos
P4/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 10
P4/V5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P4/V6	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 240	R 17
P5/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P5/V5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16
P5/V6	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 220	R 16
P6/V4	SHS 160x6	SHS 160x6	IPE 330	IPE 200	R 12
P6/V5	SHS 175x6	SHS 175x6	IPE 360	IPE 200	R 10
P6/V6	SHS 175x6	SHS 175x8	IPE 360	IPE 220	R 10

Tabla 10 – Valores perfiles PB+1 rígidos

PB+1	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostramientos
P4/V4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16

P4/V5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 18
P4/V6	SHS 120x8	SHS 120x10	IPE 240	IPE 270	R 19
P5/V4	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 200	R 17
P5/V5	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 15
P5/V6	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 270	R 15
P6/V4	SHS 175x6	SHS 175x6	IPE 360	IPE 200	R 14
P6/V5	SHS 175x6	SHS 175x6	IPE 360	IPE 200	R 14
P6/V6	SHS 180x6	SHS 180x8	IPE 400	IPE 270	R 14

Tabla 11– Valores perfiles PB+2 rígidos

PB+2	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostramientos
P4/V4	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 22
P4/V5	SHS 120x8	SHS 120x10	IPE 240	IPE 200	R 23,6
P4/V6	SHS 140x8	SHS 140x10	IPE 270	IPE 240	R 23,6
P5/V4	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 22,25
P5/V5	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 200	R 22
P5/V6	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 270	R 18
P6/V4	SHS 175x6	SHS 175x8	IPE 360	IPE 200	R 22
P6/V5	SHS 175x6	SHS 175x10	IPE 360	IPE 200	R 22
P6/V6	SHS 180x6	SHS 180x10	IPE 400	IPE 270	R 20

3 - Uniones semirrígidas:

En el caso de modelo para la evaluación de la resistencia, se obtienen del cálculo global los momentos máximos en los nudos para luego compararlos con la resistencia calculada de las uniones.

Tabla 12 – Valores perfiles PB semirrígidos (flecha)

PB (flecha)	Rigidez [kNm/rad]	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostram.
P4/V4	2542,1	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 10
P4/V5	2542,1	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P4/V6	3320	SHS 120x6	SHS 120x10	IPE 240	IPE 240	R 15
P5/V4	2542,1	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P5/V5	2542,1	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 15

P5/V6	4446,5	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 220	R 14
P6/V4	4897,7	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 200	R 10
P6/V5	5710,9	SHS 160x6	SHS 160x8	IPE 300	IPE 200	R 10
P6/V6	8048,9	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 220	R 10

Tabla 13 – Valores perfiles PB semirrígidos (resistencia)

PB (rsist)	Rigidez [kNm/rad]	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostram.
P4/V4	1271,05	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 10
P4/V5	1271,05	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P4/V6	1660	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 14
P5/V4	1271,05	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P5/V5	1271,05	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 12
P5/V6	2223,25	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 10
P6/V4	2448,85	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 200	R 12
P6/V5	2855,45	SHS 160x6	SHS 160x6	IPE 300	IPE 200	R 10
P6/V6	4024,45	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 200	R 10

Tabla 14 – Valores momentos perfiles PB semirrígidos (resistencia)

PB (rsist)	Momento Vigas X [kNm]	Momento Vigas Y [kNm]
P4/V4	13.5	7.93
P4/V5	14.95	13.34
P4/V6	15.7	19.46
P5/V4	22.71	9.53
P5/V5	24.99	15.58
P5/V6	32.55	22.21
P6/V4	41.14	10.05
P6/V5	55.27	16.49
P6/V6	58.69	23.65

Tabla 15 – Valores perfiles PB+1 semirrígidos (flecha)

PB+1 (flich)	Rigidez [kNm/rad]	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostram.

P4/V4	2542,1	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 12
P4/V5	2542,1	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 14
P4/V6	4034	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 270	R 14
P5/V4	3186,4	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 14
P5/V5	4446,5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16
P5/V6	5167	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 270	R 15
P6/V4	5710,9	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 14
P6/V5	5710,9	SHS 160x6	SHS 160x8	IPE 300	IPE 200	R 12
P6/V6	9510,8	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 270	R 12

Tabla 16 – Valores perfiles PB+1 semirrígidos (resistencia)

PB+1 (rsist)	Rigidez [kNm/rad]	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostam.
P4/V4	1271,05	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16
P4/V5	1271,05	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 19
P4/V6	2017	SHS 120x6	SHS 120x10	IPE 240	IPE 270	R 20
P5/V4	1593,2	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 19
P5/V5	2223,25	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 17
P5/V6	2583,5	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 240	R 17
P6/V4	2855,45	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 200	R 20
P6/V5	2855,45	SHS 160x6	SHS 160x8	IPE 300	IPE 200	R 14
P6/V6	4755,4	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 240	R 14

Tabla 17 – Valores momentos perfiles PB+1 semirrígidos (resistencia)

PB+1 (rsist)	Momento Vigas X [kNm]	Momento Vigas Y [kNm]
P4/V4	15.54	12.37
P4/V5	16.85	19.57
P4/V6	16.94	48.25
P5/V4	24.5	14.22
P5/V5	26.39	22.55
P5/V6	31.45	44.71
P6/V4	40.26	14.41

P6/V5	52.86	22.44
P6/V6	57.11	46.49

Tabla 18 – Valores perfiles PB+2 semirrígidos (flecha)

PB+2 (flch)	Rigidez [kNm/rad]	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostram.
P4/V4	3320	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 15
P4/V5	4034	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 16
P4/V6	5167	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 270	R 17
P5/V4	4446,5	SHS 120x6	SHS 120x6	IPE 240	IPE 200	R 19
P5/V5	5167	SHS 120x6	SHS 120x8	IPE 240	IPE 200	R 20
P5/V6	6485,8	SHS 120x6	SHS 120x10	IPE 240	IPE 300	R 20
P6/V4	8048,9	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 200	R 19
P6/V5	9354,7	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 20
P6/V6	11708	SHS 160x6	SHS 160x8	IPE 300	IPE 300	R 20

Tabla 19– Valores perfiles PB+2 semirrígidos (resistencia)

PB+2 (rsist)	Rigidez [kNm/rad]	Pilares ext	Pilares int	Vigas X	Vigas Y	Arriostram.
P4/V4	1660	SHS 140x6	SHS 140x6	IPE 270	IPE 200	R 20
P4/V5	2017	SHS 140x6	SHS 140x8	IPE 270	IPE 200	R 22,25
P4/V6	2583,5	SHS 140x8	SHS 140x8	IPE 270	IPE 220	R 24,5
P5/V4	2223,25	SHS 120x6	SHS 120x10	IPE 240	IPE 200	R 24
P5/V5	2583,5	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 200	R 22
P5/V6	3242,9	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 240	R 20
P6/V4	4024,45	SHS 140x6	SHS 140x10	IPE 270	IPE 200	R 25
P6/V5	4677,35	SHS 160x6	SHS 160x10	IPE 300	IPE 200	R 22
P6/V6	5854	SHS 180x6	SHS 180x10	IPE 400	IPE 240	R 19

Tabla 20 – Valores momentos perfiles PB+2 semirrígidos (resistencia)

PB+2 (rsist)	Momento Vigas X [kNm]	Momento Vigas Y [kNm]
P4/V4	17.56	12.05
P4/V5	18.85	19.11

P4/V6	18.95	32.29
P5/V4	24.12	14.18
P5/V5	30.24	22.05
P5/V6	36.49	43.75
P6/V4	39.19	14.39
P6/V5	52.49	22.49
P6/V6	84.83	46.14

3.5 Trabajos o necesidades futuras

1. *Cálculo de la huella de carbono para ver su impacto.*
2. *Estudio de tolerancias para determinar su uso una vez desmontado.*
3. *Estudio y comprobación de la sujeción de los arriostramientos.*

3.6 Divulgación de los resultados

Se han publicado los resultados en uno de los foros técnicos internacionales más importantes de estructuras de acero.

- Congreso CIDECT Report 5CF.

También se pretenden publicar los resultados en algunos de los próximos foros técnicos internacionales más importantes de estructuras de acero.

- Congreso Eurosteel: referente mundial en estructuras de acero.
- Congreso ISTS: referente mundial en estructuras de acero con perfiles tubulares.

El objetivo final será la publicación en revistas indexadas de prestigio:

- Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, ISSN: 0143-974X
- Engineering Structures, Elsevier, ISSN: 0141-0296.

- Steel and Composite Structures, Techno Press, ISSN: 1229-9367.

El principal resultado práctico del proyecto (las tablas de cálculo), tras su formateado final, será de acceso libre y se publicará en tantos foros y páginas web destinadas al uso de ingenieros calculistas de estructuras como sea posible. Ejemplos: Soloarquitectura.com, Estructurando.net, Soloingeniería.com...

4. Memoria económica

4.1 Gastos:

Tabla 30. Tabla de gastos

CONCEPTO	GASTOS
Personal	3000
Fungibles	-
Amortización	-
TOTAL GASTOS	3000

4.2 Ingresos:

Tabla 21. Tabla de ingresos

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Personal	TOTAL INGRESOS
-	-	-
-	-	-

5. Bibliografía

1. *Manual del programa Cype.*
2. Serrano-López, M. A., López-Colina, C., Wang, Y. C., Lozano, M., García, I. and Gayarre, F. L. (2021). "An experimental study of I beam-RHS column demountable joints with welded studs". *Journal of Constructional Steel Research*, 182, 106651 pp. 1-14.
3. CEN. EN-1993-1-8: (2005). *Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-8: Design of Joints.* European Committee for Standardization.
4. Serrano-López, M. A., López-Colina, C., González, J. and López-Gayarre, F. (2016). "A Simplified FE Simulation of Welded I Beam-to-RHS Column Joints". *International Journal of Steel Structures*, 16(4), pp. 1095-1105.
5. López-Colina, C., Serrano-López, M. A., Lozano, M., Gayarre, F. L., Suárez, J.M. and Wilkinson T. (2019). "Characterization of the main component of equal width welded I-beam-to-RHS-column connections". *Steel and Composite Structures*, 32(3) pp. 337-346.
6. Serrano-López, M. A., López-Colina, C., Wang, Y. C., Lozano, M. and Gayarre, F. L. (2019). "Comparative behaviour of „I beam-RHS column” joints with and without web Weld". *Journal of Constructional Steel Research*, 159, pp. 330-340.