

Informe Final Practica Académica Modalidad Práctica Empresarial

Identificación del estudiante

Nombres y apellidos.	SANTIAGO ANDRÉS MORENO RAMÍREZ
Semestre académico.	10

Identificación del asesor interno (U. de A.)

Nombres y apellidos.	JUAN CARLOS OBANDO FUENTES
----------------------	----------------------------

Identificación del asesor externo (empresa)

Nombres y apellidos.	LEONARDO NOVOA
----------------------	----------------

Identificación de la empresa

Nombre de la empresa.	INDUSTRIAL CONCONCRETO
Dirección.	
Ciudad.	ANTIOQUIA
Teléfono.	
Actividad económica.	CONSTRUCTORA

HERRAMIENTAS PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE CONEXIONES EN ESTRUCTURA METALICA

Introducción

Cuando se realiza el análisis y diseño de estructuras en acero, se deben verificar los estados de falla que se pueden presentar en los elementos debidos a las cargas que actúan sobre ella. Este proceso puede ser largo y repetitivo ya que se deben chequear todos los elementos que hacen parte del sistema estructural.

Un software de análisis estructural permite realizar dichos procedimientos de forma más eficiente, ahorrando tiempo y permitiéndole al ingeniero calculista ver varias opciones. Cuando se tienen casos muy particulares, dichos chequeos no pueden realizarse por medio de un programa especializado ya que esta fuera del alcance del mismo, este caso es muy común en los elementos de conexión, por esto, es importante contar con una herramienta que le permita al ingeniero, verificar la no presencia de los diferentes estados de falla que se pueden dar, de forma rápida. La herramienta que se va a crear, es un conjunto de hojas de cálculo en Excel, las cuales verifican los diferentes estados de falla para el tipo de conexión a diseñar, haciendo uso de las ecuaciones detalladas en la norma NSR-10 título F, de manera que para realizar los cálculos, solo sea necesario ingresar algunos datos, como la carga de diseño y dimensiones tentativas del elemento estructural. En caso de que algún estado de falla se presente para las dimensiones dadas, se debe realizar nuevamente el dimensionamiento del elemento estructural hasta que este esté correctamente diseñado.

Objetivos

Realizar y aplicar hojas de cálculo en Excel que faciliten el diseño de elementos estructurales y de conexión de acero.

Objetivos específicos

- Programar una hoja de cálculo en Excel para el diseño de la conexión tipo Paleta y tipo Empalme de perfil en T.
- Programar una hoja de cálculo en Excel para el diseño de la conexión tipo Empalme de perfil H
- Generar un catálogo de conexiones tipo EndPlates.
- Apoyar el diseño de elementos estructurales y de conexión en edificaciones de acero por medio de herramientas que faciliten los cálculos.
- Aplicar las hojas de cálculo en diseños requeridos por la empresa.

Marco Teórico

Las conexiones son un conjunto de elementos que unen cada miembro a la zona de intersección de los miembros estructurales, conocida como junta. Se pueden clasificar por: tipo de conectores (tornillos, remaches o soldadura), rigidez de la conexión (flexible, semirrígida, rígida), por elementos de conexión (ángulos, placas y ángulos, ángulos de asiento y perfiles T), por fuerza que transmiten (cortante, momento, axial y combinaciones de las mismas) y por mecanismo de resistencia de la conexión (fricción o aplastamiento). Entre la clasificación por elementos de conexión, se utilizan principalmente las conexiones atornilladas y las soldadas, a continuación, se describen cada una de ellas haciendo referencia a sus ventajas y desventajas:

Las conexiones atornilladas se conocen por el poco tiempo en que se ejecutan en obra gracias a la rapidez del atornillado. Permiten una inspección visual sencilla y económica, no requiere una mano de obra especializada, presenta una mayor calidad de obra y gran facilidad para cambiar piezas dañadas. En cuanto a sus desventajas se caracterizan por requerir mayor tiempo de trabajo en el taller, mayor peso de la estructura y gran precisión en la elaboración de planos, montaje. Las formas típicas de falla en las estructuras atornilladas son: falla a cortante (tanto para el tornillo como para la placa), aplastamiento en los elementos conectados, desgarramiento y sección insuficiente de los elementos conectados. La presencia de uno u otro estado de falla, depende del tipo de conexión y la condición de carga del tornillo, el cual, puede estar a tensión, cortante o ambas. Verificar cada estado de falla consiste en calcular la resistencia que tiene el material a este y compararlos con las cargas requeridas. En caso que las cargas mayoradas actuantes sean mayores que las resistentes, se debe recalcular la resistencia para un nuevo elemento, el cual puede ser, más grande, de un material más resistente o incrementar la cantidad de elementos resistentes. La resistencia en una conexión atornillada depende entonces de la combinación de las resistencias de los elementos conectados y los tornillos. Para los elementos, conectados depende del material del que estén hechos y las dimensiones que tengan. En el caso de los tornillos se incluye además, el número de elementos utilizados y que las roscas del tornillo estén incluidas o no el plano de corte.

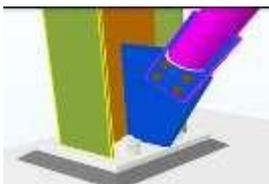
Las conexiones soldadas por su parte, ofrecen estructuras más rígidas, sencillas (se elimina material de más en elementos conectores como ángulos y placas), económicas ya que se realiza menor trabajo en el taller y se alcanza un mayor amortiguamiento que con otros tipos de conectores. En cuanto a sus desventajas se puede tener en cuenta que requieren mayor supervisión en obra ya que las condiciones climáticas pueden afectar la calidad final, la mano de obra debe ser calificada, es necesaria la asistencia de un laboratorio especializado ya que se deben inducir altas temperaturas en el acero durante la aplicación de la soldadura, todo esto se traduce en una inspección más costosa y detallada. Las conexiones se clasifican según la forma en que estén unidos los elementos (junta de esquina, junta en te, junta

traslapada), el tipo de soldadura utilizada (soldadura de penetración, soldadura de ranura, soldadura de tapón y soldadura en filete) y posición de la soldadura: plana, vertical, horizontal y sobre-cabeza, siendo las más difíciles de realizar las últimas.

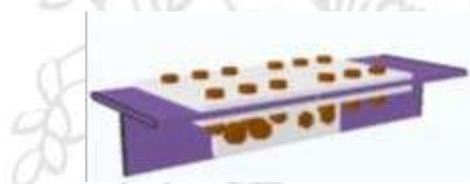
La resistencia de una conexión soldada, depende del tipo de electrodo utilizado durante el procedimiento y del área efectiva de soldadura aplicada. La norma NSR-10 en el título F, especifica las dimensiones mínimas que debe tener la soldadura para garantizar la integridad de la conexión. El área efectiva de la soldadura se calcula a partir de la longitud de soldadura y la dimensión de la garganta del filete. Cuando se seleccione la longitud de la soldadura, se debe tener en cuenta un factor de reducción de la misma, el cual depende del factor entre la longitud y el tamaño del filete. En cuanto al cálculo de la garganta del filete, este es la menor distancia entre el vértice de los lados del filete y la cara de la soldadura.

La mayoría de los elementos de conexión utilizados en la práctica, cuentan con una combinación de miembros conectados por medio de soldadura y tornillos. De manera que se alcance la mayor resistencia posible con el menor precio y cumpliendo con los estándares dados por la norma NSR-10. Normalmente, las soldaduras se realizan en el taller, lugar donde se pueden controlar las condiciones climáticas y se cuenta con un taller especializado para realizarlas correctamente y en campo se suelen hacer las conexiones atornilladas. Durante el proceso de dimensionamiento de los elementos a conexión, no solo se tiene en cuenta que el tamaño del elemento sea suficiente para resistir las cargas aplicadas, sino que también debe ser constructivamente viable, detalles como hacer los agujeros por los cuales pasaran los pernos en las conexiones atornilladas, con un diámetro más grande que el de los tornillos, o garantizar dimensiones máximas y mínimas en los elementos, para evitar que este sea imposible de manipular o genere desconfianza visual, son tan importantes como cumplir con la resistencia de diseño y se encuentran detallados en el título F de la norma sismo resistente colombiana. A continuación se presenta un esquema de los tipos de conexiones que se estudiarán en este proyecto.

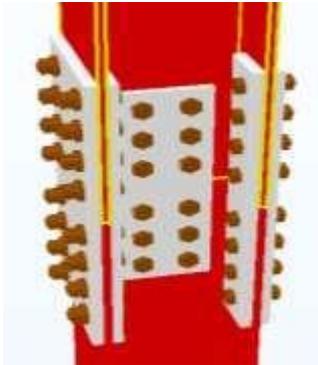
a) Conexión tipo paleta



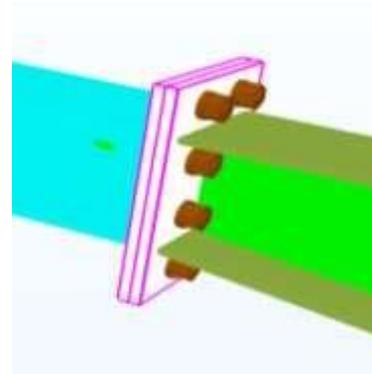
b) Conexión tipo Empalme perfil T



c) Conexión tipo empalme perfil H



d) Conexión tipo EndPlates



Metodología

1. Selección de los casos más comunes de elementos estructurales que no pueden ser verificados por medio de un software en la empresa. Las hojas de cálculo serán realizadas solo para estos casos.
2. Para cada uno de los casos, se debe analizar a qué tipo de cargas estará expuesto el elemento estructural.
3. Una vez conocido el estado de carga, se determina que tipos de falla se pueden presentar en este tipo de estructura.
4. Con ayuda del reglamento NSR-10 y los diferentes manuales de diseño, se procede a montar en Excel las diferentes ecuaciones necesarias para chequear cada uno de los estados de falla.
5. Una vez se tengan todas las ecuaciones programadas, se incluyen opciones de chequeo para las dimensiones que se están ingresando a la hoja de cálculo, esto con la intención de permitirle al ingeniero que esté haciendo uso de la herramienta, diseñar elementos resistentes, económicos y constructivamente viables. Este procedimiento se realiza nuevamente con ayuda de la norma NSR-10, ya que esta incluye para cada elemento estructural a diseñar, valores máximos y mínimos de sus dimensiones.
6. Con la hoja de cálculo lista, se procede a revisar la misma, por medio de diferentes casos que se diseñan en la herramienta y a mano. Los resultados obtenidos deben ser exactamente iguales en cada caso.
7. Se realiza el diseño del catálogo para conexiones tipo EndPlates.
8. De aquí en adelante se utilizan las hojas de cálculo en el análisis y diseño de estructuras requeridas por la empresa en sus diferentes proyectos.

Resultados y análisis

En la empresa INDUSTRIAL CONCRETO es utilizado un software llamado RAMCONNECTION para el diseño de conexiones en estructura metálica, existen algunos tipos de conexiones muy particulares los cuales no pueden ser diseñados en el software, casualmente, dichos tipos son los más comunes en la empresa, debido al tipo de estructuras que se diseñan y a las características de la planta de fabricación. Por esto, se decide desarrollar las hojas de cálculos para facilitar el diseño dichos elementos.

Como resultado del desarrollo de las hojas de cálculo, se cuenta con 4 herramientas que facilitan el diseño de conexiones en estructuras metálicas. La hoja de cálculo de la conexión tipo paleta permite realizar su diseño para cualquier tipo de perfil utilizado como riostra, además, se puede utilizar cuando la conexión es soldada, pernada o ambas. En cuanto a la hoja de cálculo EMPALME VIGA T, esta es muy confiable para elementos tipo cercha, ya que no tiene en cuenta momentos aplicados en las conexiones, es decir, solo está diseñada para soportar carga axial. Por su parte, la conexión EMPALME VIGA-COLUMNA H, se puede utilizar para columnas y vigas, la diferencia entre los dos casos, radica en la dirección de las cargas y su magnitud. El catálogo de ENDPLATES, debe ser solo utilizado como guía para el diseño de las mismas, ya que no se incluye las verificaciones del elemento que soporta la viga, dada la imposibilidad de saber qué perfil será utilizado en la edificación, por ende, se obtuvo un catálogo que cuenta con datos de pernos, soldadura y tamaño de platinas necesarias para soportar las cargas, pero, detalles como la separación de los pernos, deben ser realizados teniendo en cuenta el perfil que cumple la función de columna o soporte.

Durante la estancia en la empresa se realizaron diseños de conexiones para diferentes proyectos utilizando las hojas de cálculo, obteniendo resultados satisfactorios, la mayoría de proyectos consistían en naves industriales, sin embargo, también se calcularon conexiones para edificios destinados a ser utilizados como consultorios médicos y universidades como EAFIT.

Conclusiones

1. El tipo de estructura más común en la empresa son naves industriales con capacidad mínima de disipación de energía, en estas se utilizan principalmente conexiones tipo: Paleta, EndPlates, Splice, Platinas a corte, Ménsulas y Placas Bases. De estos, se seleccionaron los 3 primeros tipos para el desarrollo de las hojas de cálculo ya que el resto de ellos pueden ser diseñados mediante un software especializado.
2. La conexión tipo paleta y empalme viga t, se deben diseñar para cargas axiales y cortantes, mientras que la tercera, para soportar momentos.

3. El diseño de conexiones hace parte del proceso de detallamiento de una estructura, el cual, dependiendo de la complejidad de la misma puede tomar más tiempo que el diseño general de la misma. Por ende, contar con herramientas como esta y RAMCONNECTION puede mejorar los tiempos de diseño y detallamiento de los proyectos.
4. Realizar un catálogo de EndPlates sirve solo como guía a la hora de diseñar este tipo de conexión, ya que, entre las verificaciones que se deben realizar, se incluyen chequeos al elemento que soporta la conexión. Como se desconoce dicho perfil, se hace imposible realizar este chequeo, dejando el diseño incompleto. La principal razón es que se desconoce las dimensiones del perfil que será utilizado como apoyo, por ejemplo, si se desea calcular la conexión para un perfil IPE200 que cumple la función de viga, el procedimiento a seguir sería estimar las cargas máximas que puede soportar este perfil y con ellas, estimar parámetros como el tipo de pernos a utilizar y el espesor de la platina, pero parámetros como la separación entre los pernos y distancias al borde, dependen únicamente del tamaño de la columna, la cual puede ser de cualquier perfil, según las demandas del edificio, llegando a ser incluso un perfil armado a base de platinas, es decir, con medidas no comerciales. En otras palabras, se tendría que realizar un catálogo que incluya para cada perfil utilizado como viga, todos los perfiles que puedan ser utilizados como columnas, y aun si no se podría garantizar que tenga todos los posibles diseños ya que la columna puede ser un perfil armado.
5. Las estructuras metálicas requieren un gran detallamiento, ya que son fabricadas casi totalmente en talles, de donde son transportadas a obra y posteriormente montadas. Por ende, manejar softwares especializados y herramientas que faciliten el diseño, además de un grupo eficiente de detallamiento, es vital para tener un desarrollo de obra sin imprevistos.

Referencias bibliográficas

1. CONSTRUCTION, A. I. (2011). *DESIGN EXAMPLES Version 14.1* . United States of America : Copyright.
2. Mc Cormac, J. C.-S. (2012). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACEO*. MEXICO DF : Alfaomega .
3. NSR-10, C. A. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE* . BOGOTA : ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA .
4. Rodriguez, H. S. (agosto de 2005). Conexiones. Morelia, Mich., México

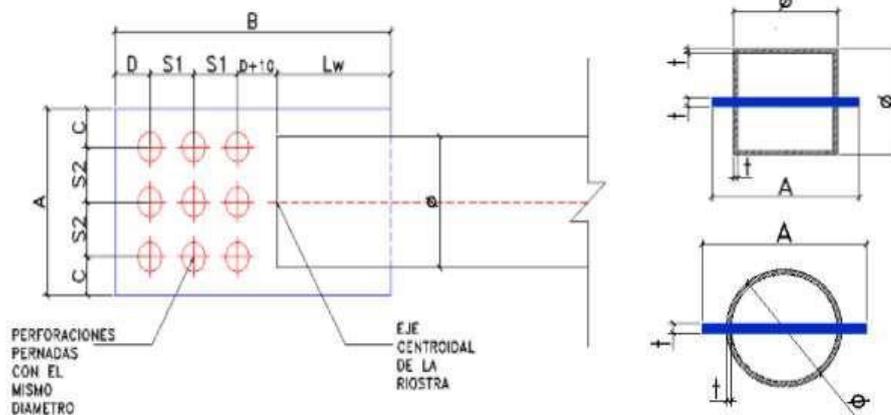
Anexos

Se incluyen 3 hojas de cálculo:

1. Conexión tipo Paleta

	OBRA		HOJA :	ORIGINAL
			FECHA :	28/11/2018
	No. DE OBRA	ELEMENTO	CALCULÓ :	SMR
			REVISÓ :	

DISEÑO DE CONEXIÓN TIPO PALETA (LAMINA)



TUBERIA	
t (mm) =	10
Ø (mm) =	250
TUBO =	C
SOLDADURA	
Lw (mm) =	330
w (mm) =	10
g (mm) =	7.07
Exx =	E70XX
Fxx (MPa) =	483
Awe (mm ²) =	2333.1
L COMP (mm) =	70
U =	1.000

PLATINA	
MATERIAL	A572
t (mm) =	15.00
C (mm) =	60.00
D (mm) =	60.00
A (mm) =	280.00
B (mm) =	620.00
Fy (MPa) =	344.75
Fu (MPa) =	448.15
L COMP(mm) =	70.00

TORNILLOS	
REFERENCIA	A325N
UNIDADES	pulg
Ø =	1.00
N1 =	3.00
N2 =	3.00
S1 (mm) =	80.00
S2 (mm) =	80.00
Ab (mm ²) =	506.71
Fnt (MPa) =	620.00
Fnv (MPa) =	372.00
Ø PERF (mm) =	26.99
¿Deformación alrededor del perno?	SI

TENSIÓN ULTIMA (kN)	1000
---------------------	------

RESUMEN VERIFICACIONES

	✓	φ Rn (kN)	% DE USO
1. Fluencia por tensión en elementos de conexión:	✓	1303.16	77%
2. Rotura por tensión en elementos de conexión:	✓	1003.48	100%
3. Resistencia a cortante de pernos:	✓	1272.34	79%
4. Resistencia al aplastamiento:	✓	281.36	39%
5. Desgarramiento en bloque:	✓	1457.36	69%
6. Resistencia de la soldadura:	✓	2028.40	49%
7. Resistencia de la lamina a compresión:	✓	1303.16	77%
8. Resistencia a la compresión de la cartela:	✓	1710.69	58%

VERIFICACIONES PLATINA

a) Fluencia por tensión en elementos de conexión



F.2.10.4.1 (a)

$\phi = 0.90$
 $A_g = 4200.00$ mm²
 $F_y = 344.75$ MPa

$R_n = F_y A_g$
 $R_n = 1447950.00$ N
 $\phi R_n = 1303.16$ kN

F.2.10.4-1

b) Rotura por tensión en elementos de conexión



F.2.10.4.1 (b)

$\phi = 0.75$
 $U = 1.00$
 $A_n = A_e = 2985.56$ mm²
 $F_u = 448.15$ Mpa

$R_n = F_u A_e$
 $R_n = 1337979.83$ N
 $\phi R_n = 1003.48$ kN

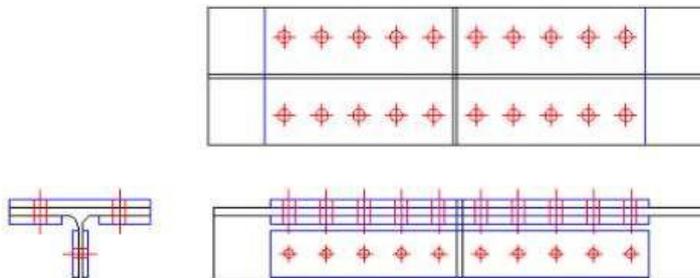
F.2.10.4-2

2. Conexión Empalme Viga T



OBRA	HOJA:		1
NORTIKO	FECHA:		25/09/2018
No. DE OBRA	ELEMENTO	CALCULÓ:	SMR
	XXXXXX	REVISÓ:	

CONEXIÓN EMPALME VIGA T



PERFIL T	
REFERENCIA	IPE 450
PESO (kg/m) =	38.80
h (mm) =	225.00
b (mm) =	190.00
tw (mm) =	9.40
tf (mm) =	14.60
d (mm) =	189.40
r (mm) =	21.00
C (mm) =	40.00
D (mm) =	50.00
Area (mm^2) =	4940.00
Aw (mm^2) =	2166.00
PART Aw (%) =	42%
Af (mm^2) =	2774.00
PART Af (%) =	58%

MATERIAL	A572
Fy (MPa) =	344.75
Fu (MPa) =	448.15

PLATINA 2	
MATERIAL	A572
t (mm) =	19.00
C (mm) =	40.00
D (mm) =	50.00
A (mm) =	190.00
B (mm) =	490.00
S3 (mm) =	110.00
Fy (MPa) =	344.75
Fu (MPa) =	448.15

TORNILLOS ALA	
REFERENCIA	A325N
UNIDADES	ulg
Ø =	0.88
N1 =	3.00
N2 =	2.00
S1 (mm) =	70.00
S2 (mm) =	70.00
S3 (mm) =	110.00
Ab (mm2) =	387.95
Fnt (MPa) =	620.00
Fnv (MPa) =	372.00
Ø PERF (mm) =	23.81
¿Deformación del perno?	SI

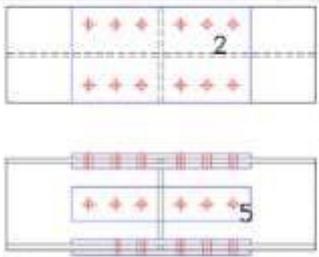
CARGA	
ALA =	437.84
PLATINA 2 =	218.92
PLATINA 3 =	109.46

PLATINA 3	
MATERIAL	A572
t (mm) =	19.00
C1 (mm) =	45.00
C2 (mm) =	35.00
D (mm) =	50.00
A (mm) =	80.00
B (mm) =	490.00
Fy (MPa) =	344.75
Fu (MPa) =	448.15

RESUMEN VERIFICACIONES

		φ Rn (kN)	% DE USO
1. Fluencia por tensión en elementos de conexión (ALA)	✓	860.70	50.87%
2. Rotura por tensión en elementos de conexión (ALA)	✓	698.67	62.67%
3. Resistencia a cortante de pernos y partes roscadas (ALA)	✓	649.42	67.42%
4. Resistencia al aplastamiento (ALA)	✓	224.322	32.53%
5. Desgarramiento en bloque (ALA)	✓	1044.02	41.94%
6. Fluencia por tensión en elementos de conexión (PLATINA	✓	1120.09	19.54%
7. Rotura por tensión en elementos de conexión (PLATINA ;	✓	909.23	24.08%
8. Resistencia al aplastamiento (PLATINA 2)	✓	291.93	12.50%
9. Desgarramiento en bloque (PLATINA 2)	✓	1358.65	16.11%
10. Fluencia por tensión en elementos de conexión (PLATIN	✓	471.62	23.21%
11. Rotura por tensión en elementos de conexión (PLATINA	✓	358.82	30.51%
12. Resistencia al aplastamiento (PLATINA 3)	✓	291.93	6.25%
13. Desgarramiento en bloque (PLATINA 3)	✓	647.39	16.91%
14. Fluencia por tensión en elementos de conexión (ALMA)	✓	672.06	46.45%
15. Rotura por tensión en elementos de conexión (ALMA)	✓	557.49	55.99%
16. Resistencia a cortante de pernos y partes roscadas (ALM	✓	1413.71	22.08%
17. Resistencia al aplastamiento (ALMA)	✓	138.41	22.55%
18. Desgarramiento en bloque (ALMA)	✓	722.42	43.21%
19. Fluencia por tensión en elementos de conexión (PLATIN	✓	595.73	26.20%
20. Rotura por tensión en elementos de conexión (PLATINA	✓	427.64	36.50%
21. Resistencia al aplastamiento (PLATINA 5)	✓	176.69	8.83%
22. Desgarramiento en bloque (PLATINA 5)	✗	84.30	185.15%

3. Conexión Empalme Viga-Columna H

A	B	C	D	E	F	G	H
1	HOJA DE CALCULO			OBRA	CDA CALI	HOJA	I
2						FECHA	13/12/2018
3				No. DE OBRA	ELEMENTO	CALCULO	SMR
4					Empalme IPE 300	REVISO	
5				CONEXIÓN EMPALME VIGA H			
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							

PERFIL T		TORNILLOS ALA, P2, P3	
REFERENCIA	ipe 300	REFERENCIA	A325N
PESO (kg/m) =	42.20	UNIDADES	pulg
h (mm) =	300.00	Ø =	0.53
b (mm) =	150.00	N1 =	5.00
t _{av} (mm) =	7.10	N2 =	2.00
t _f (mm) =	10.70	51 (mm) =	60.00
d (mm) =	248.60	52 (mm) =	60.00
r (mm) =	15.00	53 (mm) =	100.00
C (mm) =	25.00	Ab (mm ²) =	197.93
D (mm) =	40.00	Fnt (MPa) =	620.00

A	B	C	D	E	F	G	H
100	RESUMEN VERIFICACIONES						
101							
102							
103					φ Rn (kN)	% DE USO	
104	1. Fluencia por tensión en el ALA			✗	497.99	59.41%	
105	2. Rotura por tensión en el ALA			✗	413.86	91.82%	
106	3. Resistencia a cortante de pernos y partes roscadas del ALA			✓	552.23	71.88%	
107	4. Resistencia al aplastamiento del ALA			✓	134.946	58.83%	
108	5. Desgarramiento en bloque del ALA			✓	986.28	80.49%	
109	6. Fluencia por tensión en PLATINA 2			✓	558.50	71.07%	
110	7. Rotura por tensión (PLATINA 2)			✓	464.14	85.52%	
111	8. Resistencia al aplastamiento (PLATINA 2)			✓	151.34	26.23%	
112	9. Desgarramiento en bloque (PLATINA 2)			✓	1173.76	33.82%	
113	10. Fluencia por tensión (PLATINA 3)			✓	294.76	67.33%	
114	11. Rotura por tensión (PLATINA 3)			✓	207.79	95.51%	
115	12. Resistencia al aplastamiento (PLATINA 3)			✓	239.62	8.28%	
116	13. Desgarramiento en bloque (PLATINA 3)			✓	875.67	22.66%	
117	14. Fluencia por corte (ALMA)			✗	368.25	34.08%	
118	15. Rotura por corte (ALMA)			✗	329.76	49.73%	
119	16. Resistencia a cortante de pernos y partes roscadas (ALMA)			✗	141.37	74.63%	
122	19. Fluencia por tensión (PLATINA 5)			✓	539.88	45.73%	
123	20. Rotura por tensión (PLATINA 5)			✓	469.58	52.57%	
124	21. Resistencia al aplastamiento (PLATINA 5)			✓	122.94	50.20%	
126	23. Fluencia por corte (PLATINA 5)			✓	312.76	78.94%	
127	24. Rotura por corte (PLATINA 5)			✓	269.65	91.55%	
128							