PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA LA TRADUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES DE MEDIDA Y ADAPTACIÓN A LA NORMA NSR-10 COLOMBIANA, DE LAS TABLAS DE DISEÑO PRESENTADAS EN EL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO DEL AISC

YESIKA ANDREA PIRATEQUE CORREGIDOR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA LA TRADUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES DE MEDIDA Y ADAPTACIÓN A LA NORMA NSR-10 COLOMBIANA, DE LAS TABLAS DE DISEÑO PRESENTADAS EN EL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO DEL AISC

YESIKA ANDREA PIRATEQUE CORREGIDOR

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de ingeniera civil

Director:

MSc. MIGUEL ANTONIO PERALTA HERNÁNDEZ

Magíster en ingeniería Estructural

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 10
1. OBJETIVOS 11
1.1. OBJETIVO GENERAL 11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
2. PERALTA INGENIERÍA S.A.S. 12
3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL 13
3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS 13
3.1.1. Perfiles más utilizados. 13
3.1.2. Gramiles y separaciones entre pernos. 15
3.2. Consulta de material bibliográfico 16
3.3. Desarrollo de la guía y hojas de cálculo 16
3.3.1. Método del centro instantáneo de rotación. 16
3.3.1.1. Pernos 17
3.3.1.2. Soldaduras. 23
3.3.2. Desalete en viguetas. 29
3.3.3. Capacidades de los perfiles estructurales. 31
3.3.4. Guía de uso de las tablas 32
3.3.4.1. Capacidades de los perfiles estructurales. 32
3.3.4.2. Grupos de pernos. 33
3.3.4.3. Grupos de soldaduras. 35
4. CONCLUSIONES 37
BIBLIOGRAFÍA 38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Perfiles más comerciales en Colombia _____ 13
Tabla 2 Separaciones y gramiles más utilizados _____ 15
Tabla 3 Coeficiente de resistencia del electrodo, C_1 _____ 26
Tabla 4 Dimensiones mínimas de desalete en viguetas _____ 30
Tabla 5 Ejemplo de tabla para las capacidades de los miembros_____ 33
Tabla 6 Coeficientes C para grupos de pernos cargados excéntricamente _____ 35
Tabla 7 Coeficientes C para grupos de soldaduras cargadas excéntricamente __ 36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Configuración de separaciones y gramiles _____ 15
Figura 2 Disminución de la resistencia del grupo de pernos, debido al aumento de la excentricidad _____ 17
Figura 3 Centro instantáneo de rotación (CIR) _____ 17
Figura 4 Relación carga-deformación para un perno de 3/4'' ASTM A325 en cortante simple_____ 18
Figura 5 Geometría de la conexión _____ 20
Figura 6 Hoja de cálculo para el método CIR en pernos _____ 23
Figura 7 Fuerzas en los elementos de soldadura _____ 24
Figura 8 Hoja de cálculo para el método CIR en soldaduras_____ 29
Figura 9 Desalete en viguetas _____ 31
Figura 10 Ejemplo de hoja de cálculo para las capacidades de los miembros _ 32

RESUMEN

TÍTULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA LA TRADUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES DE MEDIDA Y ADAPTACIÓN A LA NORMA NSR-10 COLOMBIANA, DE LAS TABLAS DE DISEÑO PRESENTADAS EN EL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO DEL AISC*

AUTOR: YESIKA ANDREA PIRATEQUE CORREGIDOR**

PALABRAS CLAVES: Acero, resistencia, perfiles, excentricidad, pernos, soldaduras.

DESCRIPCIÓN:

En este trabajo de grado se presentan los resultados de la práctica realizada en la empresa de consultoría y construcción PERALTA INGENIERÍA S.A.S en convenio con la Universidad Industrial de Santander, cuyo objetivo ha sido adaptar las tablas de diseño del manual para la construcción en acero del AISC al sistema internacional de unidades para el método de diseño LFRD, con el propósito de poder ser utilizadas en Colombia con los perfiles más comerciales. Durante la práctica se realizó una guía explicativa del uso de las tablas, las cuales se desarrollaron a partir de hojas de cálculo desarrolladas para conocer la resistencia de los miembros, tales como vigas y columnas, sometidos a fuerzas de cortante, carga axial y momento flector, al igual que dimensiones del desalete y demás factores que afectan la resistencia de un grupo de pernos y soldadura. Como paso previo a la realización de dichas tablas fue necesario consultar con las empresas fabricantes, consultoras y distribuidoras de acero, además de catálogos, los perfiles comerciales más usados, separaciones y gramiles, esta información fue tomada y almacenada como una base de datos, está información se incluyó en las hojas de cálculo para el desarrollo de las tablas y la guía de uso de las tablas.

---

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: MSc Miguel Antonio Peralta Hernández, Magíster en ingeniería Estructural.

ABSTRACT

TITLE: PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA LA TRADUCCIÓN, TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES DE MEDIDA Y ADAPTACIÓN A LA NORMA NSR-10 COLOMBIANA, DE LAS TABLAS DE DISEÑO PRESENTADAS EN EL MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO DEL AISC

AUTHOR: YESIKA ANDREA PIRATEQUE CORREGIDOR

KEYWORDS: Steel, strength, shapes, eccentricity, bolts, welds.

DESCRIPTION:

In this work of degree the results of the practice realized in the company of consultancy and construction are presented PERALTA INGENIERÍA SAS in agreement with the Industrial University of Santander, whose aim has been to adapt the tables of design of the manual for the construction in steel of the AISC to the international system of units for the LFRD design method, with the purpose of being able to be used in Colombia with the most commercial profiles. During the practice an explanatory guide of the use of the tables was made, which were developed from spreadsheets developed to know the resistance of the members, such as beams and columns, subjected to shear forces, axial load and bending moment, as well as dimensions of the desalete and other factors that affect the resistance of a group of bolts and welding. As a previous step to the realization of said tables, it was necessary to consult with steel manufacturing, consulting and distributing companies, as well as catalogs, the most used commercial profiles, separations and gages, this information was taken and stored as a database, it is Information was included in the spreadsheets for the development of the tables and the guide to use the tables.

---

* Bachelor Thesis

** Physics mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: MSc Miguel Antonio Peralta Hernández, Master in Structural Engineering.

INTRODUCCIÓN

Una de las modalidades permitidas por la Universidad Industrial de Santander para optar por el título de pregrado en la escuela de ingeniería civil, es la de práctica empresarial, esto se hace mediante convenio con empresas privadas, lo cual permite a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos durante su formación académica y enfocarlos a un ambiente laboral. Peralta Ingeniería S.A.S. es una de las empresas que cuentan con un convenio de este tipo y permite que estudiantes próximos a graduarse se vinculen a la empresa, complementen el equipo de trabajo, investiguen y hagan parte en el desarrollo de proyectos de ingeniería realizados por esta.

Durante el período que conlleva la realización de la práctica empresarial (16 semanas) se consultó con los fabricantes y distribuidores de acero en Colombia los perfiles comerciales, gramiles y separaciones entre pernos más utilizados en el país, para las construcciones en acero. A partir de la información recolectada se tabularon las capacidades de los miembros estructurales de una estructura en acero a cortante, carga axial y momento flector, además de los factores que afectan la resistencia en los grupos de pernos y soldaduras, lo anterior se hizo tomando como base hojas de cálculo donde se utilizaron unidades del sistema internacional.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Adaptar las tablas de diseño del manual para la construcción en acero del AISC al sistema internacional por el método LRFD, para que puedan ser utilizadas en Colombia con perfiles comerciales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer cuáles son perfiles comerciales, gramiles y separaciones entre pernos más utilizadas en Colombia a partir de las bases de datos de los fabricantes y distribuidores de acero.

- Tabular en el sistema internacional de unidades, las diferentes capacidades de miembros a cortante, carga axial y momento flector, los dimensionamientos de desalete en viguetas, resistencias de un grupo de pernos y soldadura para conexiones excéntricas.

- Realizar una guía antecesora a cada una de las tablas para que el usuario comprenda el uso de las mismas.

2. PERALTA INGENIERÍA S.A.S.

Peralta Ingeniería S.A.S. es una empresa Santandereana que cuenta con más de seis años de experiencia, dedicada al diseño y construcción de estructuras en concreto reforzado y acero, estudios de vulnerabilidad y rehabilitación sísmica, supervisión técnica, diseño de estructuras para el sector industrial, estudios de patología de materiales, desarrollo de proyectos de ingeniería y consultoría de proyectos de obras civiles.

3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Como primer paso en la realización de la práctica empresarial, se hace una consulta de los catálogos actualizados de las diferentes empresas que producen, importan o distribuyen acero estructural en el país, esto con el fin de establecer cuáles son los perfiles más utilizados en el país. De igual manera se hace una consulta con empresas constructoras de estructuras en acero y de los proyectos realizados en Peralta Ingeniería S.A.S., para determinar la configuración entre pernos más usados.

3.1.1. Perfiles más utilizados. A partir de la información recolectada y los catálogos de las empresas que producen, importan y/o distribuyen perfiles estructurales en acero, se obtuvo el listado presentado en la tabla 1 de columnas (sección H) y vigas (sección I).

Tabla 1 Perfiles más comerciales en Colombia

PERFILES IPE	PERFILES W
IPE 100	W6X9
IPE 120	W6X20
IPE 140	W8X10
IPE 160	W8X15
IPE 180	W8X31
IPE 200	W8X40
IPE 220	W10X12

IPE 240	W10X19
IPE 270	W10X22
IPE 300	W10X49
IPE 330	W12X14
IPE 360	W12X16
IPE 400	W12X22
IPE 450	W12X26
IPE 500	W12X30
IPE 550	W12X65
IPE 600	W12X72
	W14X22
	W14X34
	W14X74
	W16X26
	W16X31
	W16X40
	W16X77
	W18X35
	W18X46
	W18X50
	W21X44
	W21X57
	W21X62
	W21X68
	W24X55
	W24X68
	W24X76

Fuente: CONSORCIO METALÚRGICO NACIONAL LTDA. Catálogo de perfiles siderúrgicos. Bogotá D.C., 2017. P.2-4.

3.1.2. Gramiles y separaciones entre pernos. Durante el desarrollo del presente artículo se manejó la configuración de gramiles (g) y separaciones(s) presentada en la figura 1. Además en la tabla 2 se muestran los valores más utilizados comercialmente.

Figura 1 Configuración de separaciones y gramiles

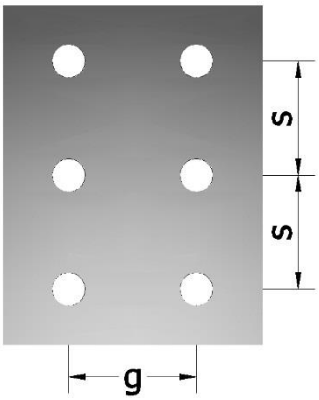


Tabla 2 Separaciones y gramiles más utilizados

	Valores más utilizados			
s y g	40	60	80	120

A la hora de hacer combinaciones entre s y g, para la distribución de los grupos de pernos, se debe tener en cuenta que el valor de s debe ser menor o igual al de g.

3.2. Consulta de material bibliográfico

Teniendo establecida una base de datos de perfiles, gramiles y separaciones, se inicia la consulta del material desarrollado por el equipo de ingeniería, esto con el objeto de conocer las herramientas disponibles en la empresa. Posteriormente se realiza una consulta del material bibliográfico con el que cuenta la empresa tanto en físico como en digital, para empezar el desarrollo de las hojas de cálculo. El material consultado se presenta en las referencias.

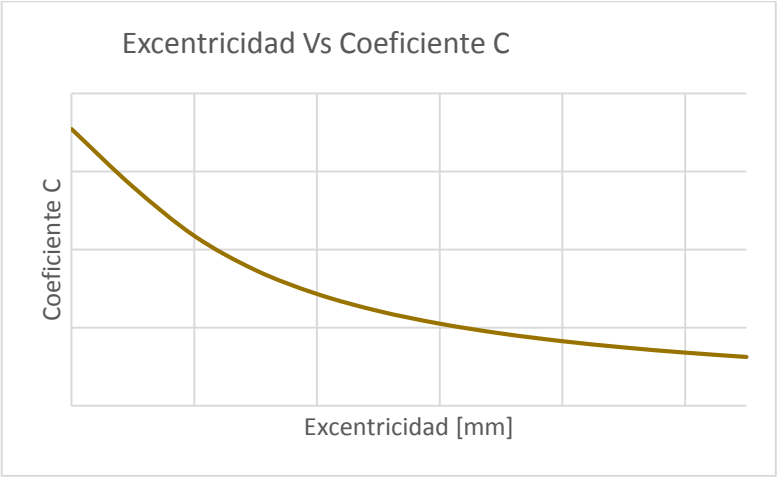
3.3. Desarrollo de la guía y hojas de cálculo

Para empezar con la tabulación de los datos se realizó previamente el desarrollo de hojas de cálculo en las cuales se incluía la información de los catálogos de diferentes empresas importadoras y productoras de acero, a partir de eso se procedió a hacer un procedimiento general para grupos de pernos y soldaduras cargados excéntricamente por el método del centro instantáneo de rotación, además de otras hojas de cálculo para determinar las capacidades de los miembros para diferentes solicitaciones, esto basado en lo establecido en las especificaciones para edificios en acero estructural, AISC 360-16, y finalmente, el dimensionamiento de los desaletes en viguetas, tomando como texto guía el manual de construcción en acero del AISC.

3.3.1. Método del centro instantáneo de rotación. La excentricidad de la carga produce tanto una rotación como una traslación de un elemento conectado respecto a otro. El efecto combinado de esta rotación y traslación es equivalente a una rotación desde un punto definido como el centro instantáneo de rotación (CIR). La localización del CIR depende de la geometría del grupo de perno como también de la dirección y punto de aplicación de la carga. Dicha excentricidad produce una

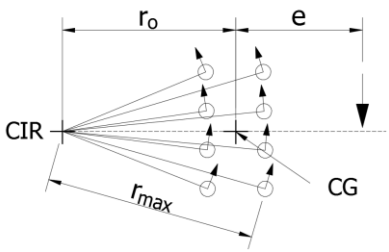
disminución en la resistencia de los grupos de pernos o soldaduras, esto se plasma en la figura 2.

Figura 2 Disminución de la resistencia del grupo de pernos, debido al aumento de la excentricidad



3.3.1.1. Pernos

Figura 3 Centro instantáneo de rotación (CIR)



Fuente: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Steel Construction Manual, 15th Ed. Chicago, Illinois, 2017, 898 p.

La relación carga-deformación para un perno, presentada en la Figura 4, se calcula como:

$$R = R_{ult}\left(1 - e^{-\frac{\Delta}{2.54}}\right)^{0.55} \qquad (1)$$

Dónde:

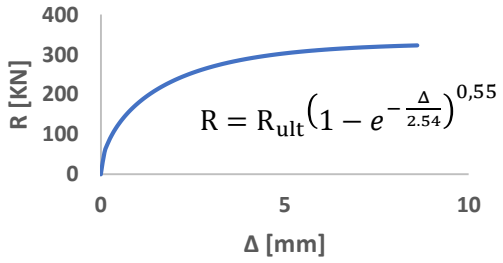
R = Resistencia a cortante nominal de un perno con una deformación delta, kN.

R_{ult} = Resistencia a cortante última de un perno, kN.

Δ = Deformación total, incluye deformación por cortante, aplastamiento y flexión en el perno y deformación por aplastamiento de los elementos de conexión, mm.

e = 2.718, base del logaritmo natural.

Figura 4 Relación carga-deformación para un perno de 3/4'' ASTM A325 en cortante simple



Fuente: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Steel Construction Manual, 15th Ed. Chicago, Illinois, 2017, 899 p.

De manera experimental varios estudios determinaron que para pernos de 3/4'' con material ASTM A325, la resistencia última es $= 74\ \mathrm{kips} = 329.2\ \mathrm{kN}$ y la deformación máxima es $= 0{,}34'' = 8.64\ \mathrm{mm}$, estos valores se pueden usar para cualquier diámetro de perno y son conservadores cuando se usan pernos de material ASTM A490.

A partir de esta deformación máxima se puede determinar la deformación Δ de cada uno de los pernos, la cual varía linealmente con la distancia al CIR, como se muestra en la figura 3, y se calcula así:

$$\Delta = r_i \left(\frac{\Delta_{max}}{r_{max}}\right) \qquad (2)$$

La resistencia nominal a cortante del grupo de pernos es la suma de las resistencias individuales de todos los pernos. La resistencia individual de cada perno se asume que actúa perpendicular a una recta que pase a través del CIR y el centroide de ese perno. Si la localización del CIR se ha seleccionado correctamente, las tres ecuaciones de equilibrio estático en el plano $(\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M = 0)$ serán satisfechas, y el valor de P obtenido permitirá calcular el coeficiente C, así:

$$C = \frac{P}{R_{ult}} \qquad (3)$$

Finalmente, la resistencia disponible del grupo de pernos es:

$$\phi R_n = C\phi r_n \qquad (4)$$

Dónde ϕr_n es la resistencia a corte de un solo perno, o la resistencia al aplastamiento y desgarramiento, la que sea menor.

Procedimiento general para el cálculo de C:

a) Calcular coordenadas de cada perno desde el CG.

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left[\left(\frac{\#Columnas-1}{2}\right) * g, \left(\frac{\#Filas-1}{2}\right) * s\right] \qquad (5)$$

Siendo g la distancia horizontal entre pernos y s la distancia vertical entre filas de pernos.

b) Asumir las distancias C_{ix}, C_{iy}

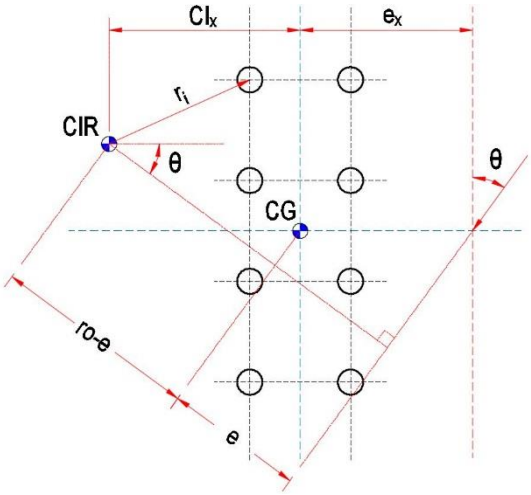
C_{ix}, C_{iy} , corresponden a la distancia horizontal y vertical entre el eje del centro de gravedad CG y el centro instantáneo de rotación CIR. Con estas distancias se puede calcular la proyección de r_0, la cual cruza de forma perpendicular con la proyección de la carga, debido a esto, el ángulo formado por la recta r_0 con la horizontal corresponde al mismo ángulo de inclinación de la carga.

$$r_0 = -C_{ix}\cos(\theta) + C_{iy}\mathrm{sen}(\theta) + e \qquad (6)$$

$$r_{0x} = -r_0 \cos\theta \qquad (7)$$

$$r_{0y} = r_0 \sin\theta \qquad (8)$$

Figura 5 Geometría de la conexión



a) Calcular distancias r_i

El vector r_i es un vector que parte desde el CIR hasta el centroide de cada uno de los pernos. A partir de las coordenadas desde el CG calculadas en el paso a la distancia r_i fácilmente puede demostrarse que es:

$$r_i = \sqrt{(C_{ix} - x_i)^2 + \left(y_i - C_{iy}\right)^2} \qquad (9)$$

b) Calcular deformaciones Δ_i

La deformación en cada uno de los pernos es linealmente proporcional a su distanciar. Para calcularla, es necesario considerar que la deformación máxima en los pernos es de $\Delta_{max}= 8.64\ mm$, y se presenta en el perno más alejado del CIR (el perno de mayorr). Así, la deformación para los demás pernos se calcula como:

$$\Delta_i = r_i \left(\frac{\Delta_{max}}{r_{max}}\right) \qquad (10)$$

c) Calcular la resistencia nominal R_i

La resistencia a cortante nominal de un perno en una deformación delta R es asumida actuando en el centroide de cada perno y, además, perpendicular a la distanciar. Esta resistencia es función de la deformación presente en cada perno, y se puede estimar con suficiente aproximación con la ecuación:

$$R_i = R_{ult}\left(1 - e^{-\frac{\Delta_i}{2.54}}\right)^{0.55} \qquad (11)$$

Se descompone cada R_i en sus componentes cartesianas R_{xi} y R_{yi}.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y_i - C_{iy}}{x_i - C_{ix}}\right) \qquad (12)$$

Donde, α debe ser menor a 90 y positivo

$$R_{xi} = R_i * \mathrm{sen}(\alpha) \qquad (13)$$

$$R_{yi} = R_i * \cos(\alpha) \qquad (14)$$

$$R_x = \sum R_{xi} \qquad R_y = \sum R_{yi} \qquad (15)$$

$$\text{Si } y_i < C_{iy} \rightarrow R_{xi} = -R_i * \mathrm{sen}(\alpha) \qquad (16)$$

$$\text{Si } y_i > C_{iy} \rightarrow R_{xi} = R_i * \mathrm{sen}(\alpha) \qquad (17)$$

$$\text{Si } x_i < C_{ix} \rightarrow \ R_{yi} = -R_i \ * \cos(\alpha) \quad (18)$$

$$\text{Si } x_i > C_{ix} \rightarrow \ R_{xi} = -R_i \ * \cos(\alpha) \quad (19)$$

d) Calcular $R_i * r_i$

Cada perno genera un momento desde el CIR igual a:

$$M_{bi} = R_i \ * \ r_i \qquad (20)$$

e) Calcular la carga P

Debido que el equilibrio debe mantenerse, las tres ecuaciones de equilibrio estático en el plano ($\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M = 0$) deben satisfacerse.

$$\Sigma F_x = 0 = R_{xi} - P \sin\theta \qquad \rightarrow P = \frac{\Sigma R_x}{\text{sen}\theta} \quad (21)$$

$$\Sigma F_y = 0 = R_{yi} - P \cos\theta \qquad \rightarrow P = \frac{\Sigma R_y}{\cos\theta} \quad (22)$$

$$\Sigma M = 0 = \sum(R_i \ * \ r_i) - P * r_0 \ \rightarrow P = \frac{\sum(R_i * r_i)}{r_o} \quad (23)$$

El valor de e no es un dato de entrada conocido, pero puede calcularse fácilmente como:

$$e = e_x \cos\theta \qquad (24)$$

Se calcula P a partir de las ecuaciones de equilibrio, de tal forma que los tres valores sean iguales. Si esta igualdad no se cumple, se deben cambiar los valores de C_{ix} y C_{iy}, hasta que cumpla.

f) Determinar el coeficiente C

Si el equilibrio se ha establecido, el valor de C se calcula de la ecuación (1-3) como:

$$C = \frac{P}{R_{ult}} \qquad (25)$$

En la figura 6 se presenta la hoja de cálculo desarrollada para el cálculo del CIR en pernos.

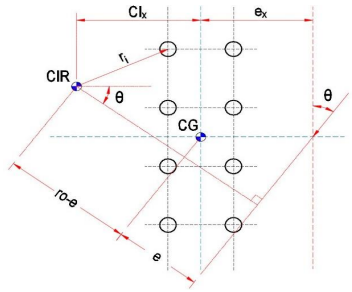
Figura 6 Hoja de cálculo para el método CIR en pernos

		Diámetro[mm]	Área[mm^2]
Diámetro Perno	7/8"	22.2	387.075631
		Fnt[Mpa]	Fnv[Mpa]
Tipo de perno	Pernos A325-	620	372

Resistencia a cortante de un perno	107.994101	[KN]

$$\phi r_n = 0.75 F_{nv} A_b$$

n_ col	2	
n_ fila	10	
Cix	-36.0274341	
Ciy	0	
g	60	[mm]
s	60	[mm]
Xc	30	[mm]
Yc	270	[mm]
Ru	1	[KN]
Θ	0	[Grados]
ex	600	[mm]
e	600	[mm]
ro	636.0274341	[mm]
rox	-636.027434	[mm]
roy	0	[mm]



Δmax	8.636	[mm]
rmax	277.956151	[mm]
Rult	329.168398	[KN]

$$R_i = R_{ult}\left(1 - e^{-\frac{\Delta_i}{2.54}}\right)^{0.55}$$

P =		[KN]
P =	1527.304	[KN]
P =	1527.304	[KN]

$$P = \frac{\Sigma Rx}{sen(\Theta)}$$

$$P = \frac{\Sigma Ry}{cos(\Theta)}$$

$$P = \frac{\Sigma R * r}{r0}$$

0.000

$$C = \frac{P}{R_{ult}} = 4.640$$

PERNO	X [mm]	Y [mm]	r [mm]	α [°]	Δ [mm]	Ri [KN]	Ri*ri [KN*mm]	Rxi [KN]	Ryi [KN]
1	-30	-270	270.07	88.721	8.391	322.46	87085.43	-322.38	7.20
2	-30	-210	210.09	88.356	6.527	315.06	66190.18	-314.93	9.04

3.3.1.2. Soldaduras. La relación carga-deformación para un segmento de soldadura de longitud unitaria, es una aproximación de la ecuación presentada por Lesik y Kennedy, dónde:

$$R = 0.6F_{EXX}(1 + 0.5\sin^{1.5}\theta)[p(1.9 - 0.9p)]^{0.3}A_w \qquad (26)$$

Dónde:

$\mathrm{R} =$ Resistencia a cortante nominal del segmento de soldadura en una deformaciónΔ, N.

$\mathrm{F_{EXX}} =$ Resistencia del electrodo, MPa.

$\theta =$Ángulo de carga medido desde el eje longitudinal de la soldadura, grados.

$\mathrm{p} =$ Relación entre la deformación del elemento y su deformación a esfuerzo máximo $\left(\frac{\Delta}{\Delta_{\mathrm{m}}}\right)$

$\Delta_{\mathrm{m}} = 0.209(\theta + 2)^{-0.32}\mathrm{w}$

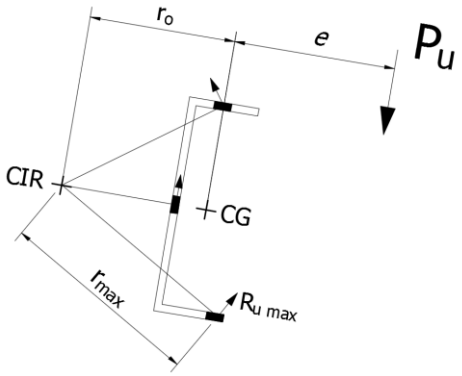
$\mathrm{A_w} = \left(\sqrt{2}/2\right)\mathrm{wl} =$ Área efectiva de la soldadura, mm^2.

$\mathrm{l} =$ Longitud de la soldadura, mm.

$\mathrm{w} =$ Tamaño de la soldadura, mm.

Distinto a la relación carga-deformación para pernos, la resistencia y deformación de las soldaduras si son dependientes del ángulo θ que la fuerza resultante del elemento hace con el eje longitudinal de la soldadura, tal como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7 Fuerzas en los elementos de soldadura



Fuente: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Steel Construction Manual, 15th Ed. Chicago, Illinois, 2017, 989 p.

La resistencia nominal a cortante es gobernada por el Δ_u (deformación a esfuerzo último) del segmento de soldadura que alcance primero su límite (aquel elemento cuya relación Δ_u/r sea mínima), donde:

$$\Delta_u = 1.087w(\theta + 6)^{-0.65} \leq 0.17w \qquad (27)$$

Las resistencias nominales a cortante de los otros segmentos de longitud unitaria en la unión pueden ser determinadas aplicando una deformación Δ que varíe linealmente con la distancia desde el CIR. La resistencia nominal a cortante del grupo de soldadura es, entonces, la suma de las resistencias individuales de todos los elementos de soldadura. Para una mejor aproximación del resultado final es preferible tomar un mayor número de elementos o segmentos, por lo cual, se recomienda un mínimo de veinte elementos de soldadura para el segmento de línea más largo.

$$\Delta = r\left(\frac{\Delta_u}{r}\right)_{min} \qquad (28)$$

La forma de cálculo del coeficiente C, es así:

$$C = \frac{P}{(110.31)wl} \qquad (29)$$

De esta forma, la resistencia del grupo de soldaduras se calcula como:

$$\phi R_n = (110.31)(0.75)CC_1wl \quad [N] \qquad (30)$$

Nota: El valor de 110.31 es un factor de conversión de unidades, cuyo objetivo es permitir usar las dimensiones en el sistema internacional (mm, N), pero obteniendo

el mismo valor de C del sistema inglés ($\mathrm{in}, \mathrm{kips}$) presentado en las Tablas del Manual AISC.

El factor C_1 es el coeficiente de la resistencia del electrodo, el cual puede ser usado para ajustar los valores de la resistencia ante un electrodo distinto a E70.

Tabla 3 Coeficiente de resistencia del electrodo, C_1

Coeficiente de resistencia del electrodo, C_1		
Electrodo	**F_{EXX} (MPa)**	**C_1**
E60	60	0.857
E70	70	1.0
E80	80	1.03
E90	90	1.16
E100	100	1.21
E110	110	1.34

Fuente: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Steel Construction Manual, 15th Ed. Chicago, Illinois, 2017, 1012 p.

Procedimiento general para el cálculo de C:

a) Elementos finitos de soldadura

Dividir la configuración de soldadura en segmentos de longitud constante (entre más pequeña esta longitud, mayor precisión en el cálculo). La fuerza resistente será asumida actuando en el centro de un segmento. El centro instantáneo será usado como el origen. (Por simplicidad, se considera solo la mitad de la configuración de soldadura aprovechando la simetría de la forma).

b) Asumir un r_o

Seleccionar una posición de prueba para el CIR. Asumamos $r_o = 150\,\mathrm{mm}$ (llamaremos r_o la distancia desde el CIR hasta la soldadura vertical). Luego, calcule las coordenadas de los centroides de los segmentos y los ángulos $\theta_i = \mathrm{atan}(y_i/x_i)$ y $\theta_j = \mathrm{atan}(x_i/y_i)$ para los segmentos horizontales y verticales, respectivamente.

c) Determinar las deformaciones Δ_m y Δ_u

Calcular las deformaciones máximas Δ_m y Δ_u los cuales ocurren para cada valor θ de los segmentos.

$$\Delta_m = 0.209(\theta + 2)^{-0.32}w \qquad (31)$$

$$\Delta_u = 1.087w(\theta + 6)^{-0.65} \leq 0.17w \qquad (32)$$

d) Calcular el mínimo Δ_u/r_i para cada segmento

e) Determinar la deformación por cada segmento Δ_i

Tome la distancia r_i del segmento que tiene el mínimo Δ_u/r_i, como r_{crit}, Δ_i se calcula así:

$$\Delta_i = r_i\left(\frac{\Delta_u}{r_{crit}}\right) = 0.00172r_i \qquad (33)$$

f) Calcular la fuerza resistente de cada segmento R_i

Determinar $p = \Delta_i/\Delta_m$ y calcule R_i para cada elemento de soldadura

$$R_i = 0.60F_{EXX}(1.0 + 0.5\sin^{1.5}\theta)[p(1.9 - 0.9p)]^{0.3}t_e l \quad (34)$$

g) Equilibrio estático

Chequear el equilibrio estático para determinar el valor correcto de r_o.

$$\Sigma F_x = 0 = R_{xi} - P\sin\theta \qquad \rightarrow R_x = P\sin\theta \quad (35)$$

$$\Sigma F_y = 0 = R_{yi} - P\cos\theta \qquad \rightarrow R_y = P\cos\theta \quad (36)$$

$$\Sigma M = 0 = \sum(R_i\ r_i) - (r + e)P \quad P = \frac{\sum(R_i\ r_i)}{r_o + e} \quad (37)$$

Si los valores de P de las ecuaciones estáticas no son iguales, la asunción del centro instantáneo de rotación CIR no es correcta. Se debe probar un nuevo valor de r_o y repetir el análisis, hasta que los valores de P sean iguales.

h) Determinar el coeficiente C

Cuando los valores de P sean iguales, es posible aplicar la ecuación para el cálculo de C:

$$C = \frac{P}{(110.31)wl} \qquad (38)$$

En la figura 8 se presenta la hoja de cálculo desarrollada para el cálculo del CIR en soldaduras.

Figura 8 Hoja de cálculo para el método CIR en soldaduras

DATOS DE ENTRADA		
Elem finito	30	
theta	0	grados
l	59.00	in
kl	118.00	in
ex=al	177.00	in
D	1.0	/16 in
FEXX	71.07	ksi

x trazo	47.200	in
y trazo	29.5	in
e	177.000	in
w	0.0625	in
te	0.044	in
alpha	0.000	grados
ro	192.789	in
C1	1.000	-

Variables tabla		
k	2.000	-
a	3.000	-
theta	0	grados

Coordenadas del CG desde el CI		
Cix	15.789	in
Ciy	0.000	in

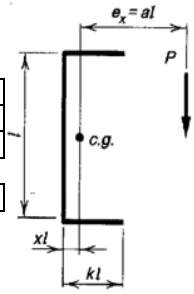
Solver		
abs(Cix)	15.789	in
abs(Ciy)	0.000	in

Si theta es cero	
0 =	0.000

Si theta no es cero	
0 =	0.000

P_ult=	160.764
C	2.720
C teo	2.6

Error	3.42%



		Coord desde el CG		Coord desde el CI							
Elemento	l_i	x	y	x	y	θ_i	r_i	Δu_i	$\Delta u_i/r_i$	R_{iy}	R_{ix}
1	1.97	-47.20	-28.52	-31.411	-28.517	42.235	42.424	5.47E-03	1.29E-04	-3.168	-2.877
2	1.97	-47.20	-26.55	-31.411	-26.550	40.206	41.128	5.62E-03	1.37E-04	-3.196	-2.701
3	1.97	-47.20	-24.58	-31.411	-24.583	38.048	39.887	5.80E-03	1.45E-04	-3.216	-2.517
4	1.97	-47.20	-22.62	-31.411	-22.617	35.755	38.706	6.01E-03	1.55E-04	-3.230	-2.325

3.3.2. Desalete en viguetas. El desalete en las viguetas es un corte que se realiza con el fin de evitar que se presente interferencia entre la viga y la vigueta al conectarlas, además de permitir que tanto la viga como la vigueta se encuentren al mismo nivel, lo que facilita la colocación de la lámina colaborante, o en su defecto losas macizas o demás elementos. Al realizar el desalete hay que revisar los estados límites de fluencia, rotura, pandeo local torsional y pandeo lateral torsional en la vigueta. Si la conexión vigueta-viga es empernada, hay que tener en cuenta los estados límites de: rotura por bloque de cortante, cortante en los pernos y aplastamiento en los pernos, estos últimos generalmente limitan la resistencia de la conexión.

A partir del manual para la construcción en acero se realizó una hoja de cálculo, para determinar los desaletes mínimos requeridos por las viguetas más usadas en el país, dicha hoja de cálculo arrojó los resultados de la tabla 4 y en la figura 9 se muestra a que hace referencia la nomenclatura usada.

Tabla 4 Dimensiones mínimas de desalete en viguetas

PERFIL A572

Fy = 345 Mpa

TABLA 1-16

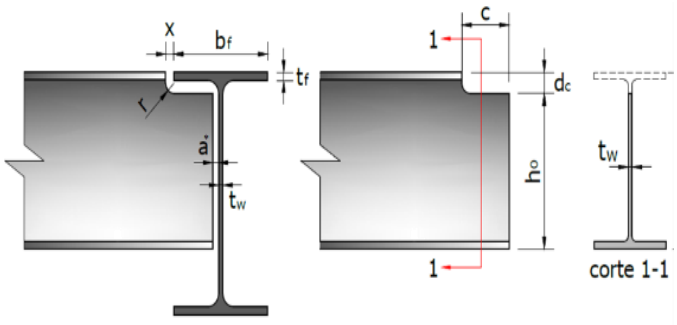
DESALETE EN LAS VIGUETAS

VIGA PERNADA - VIGUETA SOLDADA

RESISTENCIA DISPONIBLE DE LA CONEXIÓN, KN

VIGUETA	dc-min [mm]	cmin [mm]	ALTURA MÍNIMA DE LA VIGA	L_{min} de Conexión [mm]	L_{max} de Conexión [mm]
W6X9	15	55	190	54.25	108.5
W8X10	15	55	240	78.4	156.8
W10X12	15	55	291	103.85	207.7
W12X14	15	55	343	129.65	259.3
W12X16	15	55	345	130.15	260.3
W12X22	20	55	353	132.1	264.2
W14X22	20	65	389	150.25	300.5
W16X26	20	70	439	175.1	350.2
W16X31	25	70	443	175.9	351.8
W18X35	25	80	490	199.6	399.2
W21X44	25	85	565	235.3	470.6
W24X62	30	90	643	272.5	545
W24X84	35	115	647	274.7	546.8
IPE200	25	55	240	74.75	149.5
IPE220	25	60	260	84.4	168.8
IPE300	30	75	340	122.15	244.3
IPE330	30	80	370	135.25	270.5
IPE360	35	85	395	149.65	298.6
IPE400	35	90	435	167.75	331
IPE450	40	95	490	192.2	378.8
IPE500	40	100	540	216.5	426
IPE550	45	105	595	239.4	467.6
IPE600	45	110	645	263.5	514

Figura 9 Desalete en viguetas



Fuente: DÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO. (1: 16, FEBRERO, 2017: Bucaramanga, Colombia). Didáctica de conexiones. Bucaramanga: Instituto Colombiano de la construcción con acero 2017, 109 p.

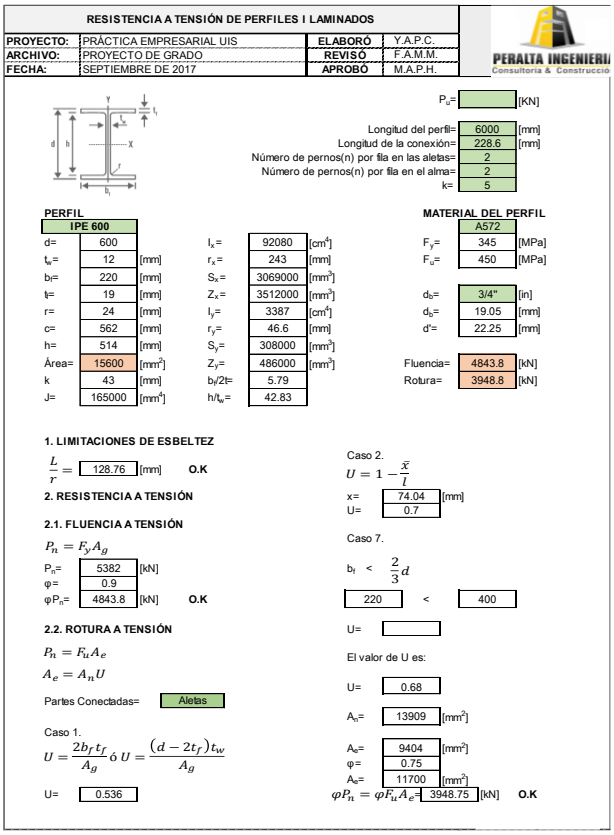
Las holguras entre la viga y la vigueta son:

Entre las almas = 10 mm.

Entre las aletas =13 mm.

3.3.3. Capacidades de los perfiles estructurales. Las diferentes capacidades de los miembros a cortante, carga axial y momento flector, se determinaron a partir de lo establecido en el título F de la norma colombiana NSR-10, en la cual está especificado el diseño de los miembros por tensión, compresión, flexión y cortante. A partir de esto se realizaron las hojas de cálculo y el desarrollo de las tablas, como las plasmadas en la figura 10 y la tabla 5.

Figura 10 Ejemplo de hoja de cálculo para las capacidades de los miembros



RESISTENCIA A TENSIÓN DE PERFILES I LAMINADOS			
PROYECTO:	PRÁCTICA EMPRESARIAL UIS	ELABORÓ	Y.A.P.C.
ARCHIVO:	PROYECTO DE GRADO	REVISÓ	F.A.M.M.
FECHA:	SEPTIEMBRE DE 2017	APROBÓ	M.A.P.H.

PERALTA INGENIERÍA Consultoría & Construcción

P_u= [KN]

Longitud del perfil= 6000 [mm]
Longitud de la conexión= 228.6 [mm]
Número de pernos(n) por fila en las aletas= 2
Número de pernos(n) por fila en el alma= 2
k= 5

PERFIL

IPE 600					
d=	600		I_x=	92080	[cm^4]
t_w=	12	[mm]	r_x=	243	[mm]
b_f=	220	[mm]	S_x=	3069000	[mm^3]
t_f=	19	[mm]	Z_x=	3512000	[mm^3]
r=	24	[mm]	I_y=	3387	[cm^4]
c=	562	[mm]	r_y=	46.6	[mm]
h=	514	[mm]	S_y=	308000	[mm^3]
Área=	15600	[mm^2]	Z_y=	486000	[mm^3]
k	43	[mm]	$b_f/2t$=	5.79	
J=	165000	[mm^4]	h/t_w=	42.83	

MATERIAL DEL PERFIL

A572			
F_y=	345	[MPa]	
F_u=	450	[MPa]	
d_b=	3/4"	[in]	
d_b=	19.05	[mm]	
d'=	22.25	[mm]	
Fluencia=	4843.8	[kN]	
Rotura=	3948.8	[kN]	

1. LIMITACIONES DE ESBELTEZ

$\frac{L}{r}$ = 128.76 [mm] **O.K**

2. RESISTENCIA A TENSIÓN

2.1. FLUENCIA A TENSIÓN

$P_n = F_y A_g$

P_n= 5382 [kN]
φ= 0.9
φP_n= 4843.8 [kN] **O.K**

2.2. ROTURA A TENSIÓN

$P_n = F_u A_e$

$A_e = A_n U$

Partes Conectadas= Aletas

Caso 1.

$U = \frac{2b_f t_f}{A_g}$ ó $U = \frac{(d - 2t_f)t_w}{A_g}$

U= 0.536

Caso 2.

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$

x= 74.04 [mm]
U= 0.7

Caso 7.

$b_f < \frac{2}{3}d$

220 < 400

U=

El valor de U es:

U= 0.68

A_n= 13909 [mm^2]

A_e= 9404 [mm^2]
φ= 0.75
A_e= 11700 [mm^2]

$\varphi P_n = \varphi F_u A_e$= 3948.75 [kN] **O.K**

3.3.4. Guía de uso de las tablas

3.3.4.1. Capacidades de los perfiles estructurales. Al realizar un diseño estructural se deben conocer cuál va a ser el uso de la estructura, ubicación, tipo de suelo, capacidad portante, entre otras cosas. A partir de ello se pueden determinar las solicitaciones de las vigas y las columnas, este valor, que llamaremos $\mathrm{R_u}$ = carga última (axial, cortante o flexión), va a ser con el que se va a ingresar a la tabla, dado que $\mathrm{R_u}$ debe ser menor a $\emptyset\mathrm{R_n}$(que es el valor tabulado), se debe buscar un perfil con una resistencia mayor a la solicitada.

Por ejemplo, si se requiere que un perfil resista 1000 kN a tensión, además de un cortante igual a 310 kN, al entrar a la tabla y buscar un perfil que cumpla con esta solicitación, podemos ver en la tabla 5 que un perfil W10X22 cumple con estos valores, y lo podemos utilizar como sección final en el diseño.

Tabla 5 Ejemplo de tabla para las capacidades de los miembros

TABLA 1-4

RESISTENCIA DISPONIBLE DEL MIEMBRO A TENSIÓN Y CORTANTE, KN

PERFILES EN SECCIÓN I

PERFIL A572

Fy = 345 Mpa
Fu = 450 Mpa

PERFIL	ÁREA BRUTA Ag, [mm2]	ÀREA EFECTIVA Ae, 0.75Ag	RESISTENCIA A TENSIÓN		RESISTENCIA A CORTANTE, [kN]
			RESISTENCIA A FLUENCIA,	RESISTENCIA A ROTURA,	
W6X9	1730	1297.5	537.2	437.9	133.5
W6X12	2290	1717.5	711.0	579.7	183.7
W6X20	3790	2842.5	1176.8	959.3	214.5
W8X10	1910	1432.5	593.1	483.5	178.0
W8X15	2860	2145	888.0	723.9	264.4
W8X31	5860	4395	1819.5	1483.3	302.6
W8X40	7560	5670	2347.4	1913.6	395.6
W10X12	2280	1710	707.9	577.1	249.4
W10X19	2630	1972.5	816.6	665.7	344.4
W10X22	4170	3127.5	1294.8	1055.5	325.8
W10X49	9290	6967.5	2884.5	2351.5	450.4
W12X14	2680	2010	832.1	678.4	287.9

3.3.4.2. Grupos de pernos. En el caso de tener un grupo de pernos el cual está conformado por dos columnas y ocho filas de pernos, al cual se le está aplicando una fuerza P con un ángulo de inclinación de 60º con una excentricidad de 350 mm, para saber su resistencia total, previamente hay que calcular $\emptyset r_n$, la resistencia nominal de un perno (la menor resistencia del perno a cortante, aplastamiento y desgarramiento), la cual se va a multiplicar por el coeficiente C, que se busca en la siguiente tabla:

Datos de entrada:

$g = 40\ \mathrm{mm}$

$s = 40\ \mathrm{mm}$

$\theta = 60\ \mathrm{grados}$

$\mathrm{Número\ de\ columnas} = 2$

$\mathrm{Número\ de\ filas} = 8$

$e_x = 350\ \mathrm{mm}$ Medida desde el apoyo al centro de gravedad.

NOTA: Los gramiles y separaciones usados deben cumplir con lo establecido en la parte F.2.10.3.3 y F.2.10.3.4 de la NSR-10.

Como se muestra en la tabla 6 el coeficiente C es igual a 5.89, este valor se va a multiplicar por la resistencia $\emptyset r_n$ para hallar la resistencia total del grupo de pernos.

$$\emptyset R_n = C * \emptyset r_n = 5.89 * \emptyset r_n$$

Tabla 6 Coeficientes C para grupos de pernos cargados excéntricamente

TABLA 1-2 (Continuación)
COEFICIENTES C PARA GRUPOS DE PERNOS CARGADOS EXCÉNTRICAMENTE
60°

Resistencia disponible de un grupo de pernos, ΦRn, es determinado como sigue:

$$Rn = C \times r_n$$

o

LFRD
$C_{min} = \frac{Pu}{\emptyset r_n}$

Donde:

P = Fuerza requerida Pu, KN

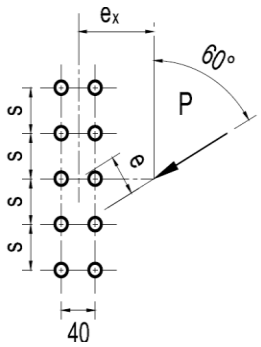
r_n = Resistencia nominal por perno, Kl

e = Excentricidad de P con respecto al centroide del grupo de pernos, mm. (No esta tabulado, puede determinarse

e_x = Componente horizontal de e, mm

s = Espaciamiento entre pernos, mm.

C = Coeficiente tabulado



s [mm]	e_x [mm]	Número de pernos por columna, n											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	50	1.08	2.50	4.14	5.92	7.78	9.67	11.59	13.53	15.48	17.44	19.40	21.37
	100	0.65	1.69	3.01	4.52	6.14	7.86	9.64	11.48	13.34	15.23	17.14	19.06
	150	0.46	1.26	2.32	3.56	4.95	6.48	8.11	9.82	11.58	13.38	15.21	17.06
	200	0.36	1.00	1.86	2.89	4.10	5.46	6.94	8.50	10.13	11.82	13.56	15.33
	250	0.29	0.82	1.54	2.42	3.49	4.70	6.02	7.44	8.95	10.52	12.16	13.84
	300	0.25	0.70	1.31	2.08	3.02	4.10	5.29	6.58	7.97	9.44	10.98	12.56
	350	0.21	0.61	1.14	1.82	2.66	3.63	4.70	5.89	7.18	8.54	9.97	11.46
	400	0.19	0.54	1.01	1.62	2.37	3.24	4.23	5.32	6.51	7.78	9.11	10.51
	450	0.17	0.48	0.90	1.45	2.14	2.93	3.83	4.84	5.94	7.12	8.37	9.70
	500	0.15	0.43	0.82	1.32	1.94	2.67	3.50	4.44	5.46	6.56	7.74	8.99
	550	0.14	0.39	0.74	1.21	1.78	2.45	3.23	4.10	5.05	6.08	7.19	8.36
	600	0.13	0.36	0.68	1.11	1.64	2.26	2.99	3.80	4.69	5.66	6.70	7.81

3.3.4.3. Grupos de soldaduras. Para el caso de una soldadura en forma de C, que tiene una excentricidad de 126 mm (medida desde el punto de aplicación de la carga al centro de gravedad de la soldadura), una longitud vertical (l) de 210 mm y un kl (longitud horizontal) de 252 mm. Los valores de entrada son:

$$\mathrm{a} = \mathrm{e_x}/\mathrm{l} = 126/210 = 0.6$$

$$\mathrm{k} = \mathrm{kl}/\mathrm{l} = 252/210 = 1.2$$

Como se puede ver en la tabla 7 el coeficiente C es igual a 5.21, este valor se usa para calcular $\emptyset R_n$, reemplazándolo en la siguiente ecuación:

$$\emptyset R_n = (110.31)(0.75)CC_1wl$$

$$\emptyset R_n = (110.31)(0.75)(5.21)C_1wl$$

Tabla 7 Coeficientes C para grupos de soldaduras cargadas excéntricamente

TABLA 1-2
COEFICIENTES C PARA GRUPOS DE PERNOS CARGADOS EXCÉNTRICAMENTE 0°

RESISTENCIA DISPONIBLE DE UN GRUPO DE SOLDADURA, φRn, ES DETERMINADA ASÍ:

$$\emptyset R_n = (110.31)(0.75)CC_1wl\ [N]$$

$$C = \frac{P_u}{110.31wl}$$

Donde:

P = Fuerza requerida Pu, KN

w = Tamaño del filete de soldadura, mm.

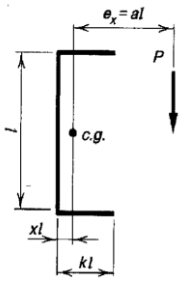
l = Longitud característica del grupo de soldadura,mm.

a = e_x/l

e_x = Componente horizontal de la excentricidad de P con respec centroide del grupo de soldadura, mm.

C = Coeficiente tabulado

C1 = Coeficiente de resistencia del electrodo



a	k									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
0.1	2.82	3.89	4.99	6.1	7.22	8.34	9.47	10.59	11.72	12.85
0.2	2.67	3.66	4.69	5.73	6.78	7.85	8.91	9.99	11.06	12.14
0.3	2.4	3.28	4.2	5.16	6.13	7.12	8.13	9.14	10.17	11.21
0.4	2.1	2.88	3.71	4.58	5.48	6.4	7.36	8.33	9.31	10.31
0.5	1.82	2.53	3.27	4.06	4.89	5.76	6.67	7.59	8.54	9.51
0.6	1.59	2.23	2.9	3.62	4.4	5.21	6.07	6.95	7.86	8.8
0.7	1.41	1.98	2.59	3.26	3.97	4.74	5.55	6.4	7.27	8.17

4. CONCLUSIONES

- La modalidad de práctica empresarial permite a los estudiantes aplicar y reforzar los conocimientos adquiridos durante la formación académica, además de ser capaz de aplicarlos en un ambiente laboral.
- El estar en un ambiente laboral de consultoría requiere que el estudiante este constantemente investigando y actualizándose, en cuánto los códigos constructivos y requerimientos técnicos, los cuáles se actualizan por los avances de la ingeniería.
- Uno de los textos guías usados en el desarrollo de las tablas fue el manual para la construcción en acero, con el cuál se compararon los resultados obtenidos de las hojas de cálculo, buscando que fueran muy próximos a estos para una mayor seguridad en los resultados.
- En Colombia la construcción en acero y la investigación en este tema, está muy rezagada respecto a otros países, esto se pudo evidenciar a la hora de buscar material bibliográfico, las fuentes de información son de otros países, principalmente Estados Unidos.
- Como se muestra en la figura 2, al aumentar la excentricidad de la carga aplicada a los grupos de pernos y soldaduras la resistencia de estos disminuye, por ejemplo, para un grupo de pernos con 2 columnas y 12 filas, a la cual se le aplica una carga con una inclinación de 60°, el coeficiente C para una excentricidad de 50 mm es 21.37, mientras que para una excentricidad de 600 mm es 7.81.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Design Examples. Versión 15. Chicago Illinois. AISC, 2017.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Specification for Structural Steel Buildings, AISC/ANSI 360-16, Chicago Illinois. AISC, 2016.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Steel Construction Manual. 15th Edition. Chicago Illinois. AISC, 2017.

BUTLER, Lorne; PAL, Shubendu y KULAK, Geoffrey. Eccentrically Loaded Welded Connections. En: Journal of the Structural Division, ASCE. Vol. 98, No. ST5, (Mayo 1972); p. 989-1005.

BUTLER, Lorne y KULAK, Geoffrey. Strength of Fillet Welds as a Function of Direction of Load. En: Welding Journal, Welding Research Council. Vol. 36, No. 5, (Mayo 1971), p. 231-234.

CRAWFORD, Sherwood y KULAK, Geoffrey. Eccentrically Loaded Bolted Connections. En: Journal of the Structural Division, ASCE. Vol. 97. ST3, 1971, p. 765-783.

DÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO. (1: 16, FEBRERO, 2017: Bucaramanga, Colombia). Didáctica de conexiones. Bucaramanga: Instituto Colombiano de la construcción con acero 2017, 109 p.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. NSR-10. Bogotá D.C., Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.

SALMON, Chrles y JOHNSON, Jhon. Steel Structures – Design and behavior. 5th Edition. Nueva Jersey: Person Prentice Hall, 2009. Chapter 4. ISBN-10: 0131885561.