

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**"MANUAL PARA EL DESARROLLO DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS DE SECCIÓN
COMPUESTA DOBLEMENTE SIMÉTRICA UTILIZANDO HOJAS DE CÁLCULO DE MICROSOFT EXCEL.**

TESIS DE GRADO

ALVARO JACOBO CAAL CUYÁN
CARNET 12871-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JULIO DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**"MANUAL PARA EL DESARROLLO DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS DE SECCIÓN
COMPUESTA DOBLEMENTE SIMÉTRICA UTILIZANDO HOJAS DE CÁLCULO DE MICROSOFT EXCEL.**

"
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
ALVARO JACOBO CAAL CUYÁN

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JULIO DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: ING. ENRIQUE JOSÉ DE LEÓN BRAN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. JOSE CARLOS GIL RODRIGUEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

ING. GIOVANNI ANDRÉS CASTILLO MAZARIEGOS

ING. MARIO ROBERTO GARCIA ESCOBAR



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ALVARO JACOBO CAAL CUYÁN, Carnet 12871-13 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02108-2018 de fecha 2 de julio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"MANUAL PARA EL DESARROLLO DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS DE SECCIÓN COMPUESTA DOBLEMENTE SIMÉTRICA UTILIZANDO HOJAS DE CÁLCULO DE MICROSOFT EXCEL."

Previo a conferírsele el título de INGENIERO CIVIL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad [a los 12 días del mes de julio del año 2018.

MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar



Guatemala, 30 de abril de 2018

Mgtr. Alejandra Ortiz Patzán
Secretaría de Facultad
Facultad de Ingeniería
Universidad Rafael Landívar

Estimada Mgtr. Ortiz:

Por este medio me permito informarle que he revisado el informe final de tesis titulado: "Manual para el Desarrollo de Diagramas de Interacción de Columnas de Sección Compuesta Doblemente Simétrica Utilizando Hojas de Cálculo de Microsoft Excel" del estudiante Alvaro Jacobo Caal Cuyán quien se identifica con número de carné 12871-13. Después de esta revisión y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, doy como aprobado dicho trabajo de tesis.

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atentamente,



Mgtr. José Carlos Gil Rodríguez
Asesor de Tesis

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso que con Él todo es posible y a la Virgen María por cuidarnos e interceder por nosotros. Gracias por permitirme vivir, tener salud y esperanza.

A mis abuelos Catalina Caracún Jiménez de Cuyán y Rafael Cuyán Cruz (q. e. p. d.)

A mis tíos Ana Claudia Cuyán Caracún, Rafael Orlando Cuyán Caracún y Hugo Leonel Cuyán Caracún.

A mi hermano Luis Domingo Caal Cuyán.

A mi prima María Alejandra Cuyán Pérez.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, sus autoridades y personal administrativo.

Al Departamento de Becas de la Universidad Rafael Landívar por darme la oportunidad y el apoyo recibido.

Al Departamento de Ingeniería Civil, su director y sus catedráticos. Gracias por su esfuerzo, dedicación y por motivarme a ser mejor estudiante. Especialmente a: William Orlando Mejía, Gunther Carranza, Juan Francisco Calderón, Estuardo Palencia, Joram Gil, Jorge Recinos Umaña, Mario García, Minor Cardona, Elsa Cabrera y Hugo del Valle.

Al Ingeniero Osman Carrillo Soto por brindarme su apoyo incondicional como catedrático, gracias por compartir sus enseñanzas y por ser un ejemplo para todos los estudiantes.

Al Ingeniero José Carlos Gil Rodríguez por decidir apoyarme en la realización de este trabajo de graduación.

A mis compañeros de carrera y todas aquellas personas con las que compartí durante estos años, un especial agradecimiento a: Eduardo Elí Castro, Joselyn Najarro, Astrid Sandoval, Nicolás Arcila, Daniel Mejía, Elmer Juárez, Jorge Murillo y Rodolfo Morataya.

Al Liceo Javier.

A mi mamá Dora Gladys Cuyán Caracún (q. e. p. d.) que desde el cielo me ha apoyado siempre.

DEDICATORIA

Catalina Caracún Jiménez de Cuyán

Rafael Cuyán Cruz (q. e. p. d.)

Doral Gladys Cuyán Caracún (q. e. p. d.)

Ana Claudia Cuyán Caracún

Rafael Orlando Cuyán Caracún

Hugo Leonel Cuyán Caracún

Luis Domingo Caal Cuyán

María Alejandra Cuyán Pérez

RESUMEN EJECUTIVO

El manual incluye diagramas de flujo, imágenes y procedimiento en Microsoft Excel para realizar diagramas de interacción de columnas compuestas de perfiles W embebidos en secciones rectangulares y circulares de concreto reforzado. Para realizar los diagramas de interacción se determinó la fuerza axial y momento flector para diferentes posiciones del eje neutro. Los ejes analizados son los ejes principales. Para determinar la fuerza axial se sumaron y restaron figuras más simples para formar el área de cada material y multiplicarlo por su respectiva resistencia. Se determinó la distancia entre el centroide de la figura y el eje centroidal de la sección. El momento se determinó multiplicando la fuerza axial de cada figura con la distancia entre centroides. Los resultados obtenidos tuvieron congruencia y coinciden con los diagramas de interacción de otras referencias.

DESCRIPTORES

Columna compuesta, diagrama de interacción, embebido, sección rectangular y circular, Microsoft Excel, fuerza axial, momento flector, eje neutro, efectos de esbeltez y capacidad nominal.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	3
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1.	Objetivos	8
2.1.1.	General.....	8
2.1.2.	Específicos	8
2.2.	Alcances y límites	9
2.3.	Aporte	11
III.	MARCO TEÓRICO	13
3.1.	Columna compuesta	16
3.2.	Materiales columnas compuestas.....	17
3.2.1.	Concreto.....	18
3.2.4.	Perfil de acero estructural.....	19
3.2.5.	Varillas de refuerzo longitudinal	21
3.2.6.	Varillas de refuerzo transversal [estribos y zunchos]	22
3.3.	Método de análisis columnas compuestas	23
3.4.	Limitaciones y requerimientos de código	23
3.5.	Columnas compuestas	25
3.5.1.	Compresión	25
3.5.2.	Tensión.....	33
3.5.3.	Flexión.....	33
3.5.4.	Cortante.....	37
3.5.5.	Flexo-compresión.....	37
3.6.	Diagrama de interacción	38
IV.	MÉTODO	41
4.1.	Perfil W embebido en columna rectangular de concreto reforzado.....	63
4.1.1.	Diagramas de flujo columnas rectangulares.....	63

4.1.2.	Programa columnas rectangulares Microsoft Excel.	89
4.2.	Perfil W embebido en columna circular de concreto reforzado	183
4.2.1.	Procedimiento: área sección circular.....	183
4.2.2.	Diagrama de flujo columnas circulares.....	188
4.2.3.	Programa columnas circulares Microsoft Excel.....	206
4.3.	Procedimiento valores nominales del diagrama de interacción	265
4.3.1.	Discontinuidad en el diagrama de interacción	267
4.3.2.	Relación demanda/capacidad	272
V.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	275
5.1.	Manual de usuario	281
5.1.1.	Sección rectangular.....	281
5.1.2.	Sección circular	285
VI.	DISCUSIÓN	290
VII.	CONCLUSIONES	299
VIII.	RECOMENDACIONES.....	300
IX.	REFERENCIAS	301
X.	ANEXOS.....	303

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

a	Distancia entre la base patín al borde de la sección circular de concreto
A_c	Área de concreto sección circular y rectangular
A_s	Área del perfil W
A_{sr}	Área de las varillas de refuerzo
B	Base de la sección rectangular de concreto
B_f	Ancho de los patines del perfil W
C	Distancia desde el eje neutro al extremo de la sección [circular y rectangular]
C_1	Coefficiente de rigidez efectiva de la sección compuesta
D	Peralte del perfil W
E_c	Módulo de elasticidad del concreto
$E_{I_{eff}}$	Rigidez efectiva de la sección compuesta
E_s	Módulo de elasticidad del acero
f'_c	Resistencia de diseño de compresión del concreto
Fig.	Figura
F_y	Esfuerzo mínimo de fluencia del perfil de W
F_{ysr}	Esfuerzo mínimo de fluencia varillas de refuerzo longitudinal
H	Altura de la sección rectangular y circular de concreto
h_n	Distancia entre la altura del patín al borde de la sección de concreto [circular]
I_{cx}	Momento de inercia de la sección de concreto respecto al eje "X"
I_{cy}	Momento de inercia de la sección de concreto respecto al eje "Y"
I_{srx}	Momento de inercia de las varillas de refuerzo respecto al eje "X"
I_{sry}	Momento de inercia de las varillas de refuerzo respecto al eje "Y"
I_{sx}	Momento de inercia de la sección de acero respecto al eje "X"
I_{sy}	Momento de inercia de la sección de acero respecto al eje "Y"
K	Factor de longitud efectiva
kip	Unidad de fuerza en el sistema de unidades de Estados Unidos.
L	Longitud libre entre apoyos de la columna
M_x	Primer momento de área de una sección
P_e	Carga crítica de Euler para una sección compuesta
P_{no}	Carga axial a compresión de una sección compuesta sin efectos de esbeltez

Pulg.	Unidad de medida pulgadas en el sistema de unidades de Estados Unidos
r	Indicativo de función en coordenadas polares
rec	Recubrimiento de las varillas de refuerzo medido a centro de varilla
S	Distancia entre varillas en dirección de un eje [eje débil y eje fuerte]
T	Distancia entre la base del patín al borde de la sección de concreto
T'	Distancia entre la altura del alma al borde de la sección de concreto
t_f	Espesor de los patines del perfil W
t_w	Espesor del alma del perfil W
x_n	Distancia entre la altura del alma al borde de la sección de concreto [circular]
Z	Brazo medido desde el eje neutro hasta el centroide de la figura
θ	Límite de integración en coordenadas polares

ÍNDICE DE DIAGRAMAS DE FLUJO

Diagrama de flujo 1: Compresión figura No. 1 [concreto]	63
Diagrama de flujo 2: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]	63
Diagrama de flujo 3: Compresión figura No. 2 [concreto]	64
Diagrama de flujo 4: Brazo figura No. 2 a compresión [concreto]	64
Diagrama de flujo 5: Compresión figura No. 3 [concreto]	65
Diagrama de flujo 6: Brazo figura No. 3 a compresión [concreto]	65
Diagrama de flujo 7: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 1]	66
Diagrama de flujo 8: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 2]	66
Diagrama de flujo 9: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 3]	67
Diagrama de flujo 10: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 4]	67
Diagrama de flujo 11: Compresión figura No. 1 [acero].....	68
Diagrama de flujo 12: Brazo figura No. 1 a compresión [acero]	68
Diagrama de flujo 13: Compresión figura No. 2 [acero].....	69
Diagrama de flujo 14: Brazo figura No. 2 a compresión [acero]	69
Diagrama de flujo 15: Tensión figura No. 1 [acero]	70
Diagrama de flujo 16: Brazo figura No. 1 [acero].....	70
Diagrama de flujo 17: Tensión figura No. 2 [acero]	71
Diagrama de flujo 18: Brazo figura No. 2 a tensión [acero]	71
Diagrama de flujo 19: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 1].....	72
Diagrama de flujo 20: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 1]	72
Diagrama de flujo 21: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 2].....	73
Diagrama de flujo 22: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 2]	73
Diagrama de flujo 23: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 3].....	74
Diagrama de flujo 24: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 3]	74
Diagrama de flujo 25: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 4].....	75
Diagrama de flujo 26: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 4]	75
Diagrama de flujo 27: Compresión figura No. 1 [concreto].....	76
Diagrama de flujo 28: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]	76
Diagrama de flujo 29: Compresión figura No. 2 [patines] [concreto]	77
Diagrama de flujo 30: Brazo figura No. 2 a compresión [patines] [concreto].....	77

Diagrama de flujo 31: Compresión figura No. 3 [alma] [concreto]	78
Diagrama de flujo 32: Brazo figura No. 3 a compresión [alma] [concreto].....	78
Diagrama de flujo 33: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 1]	79
Diagrama de flujo 34: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 2]	79
Diagrama de flujo 35: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 3]	80
Diagrama de flujo 36: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 4]	80
Diagrama de flujo 37: Compresión figura No. 1 [patines] [acero]	81
Diagrama de flujo 38: Brazo figura No. 1 a compresión [patines] [acero].....	81
Diagrama de flujo 39: Compresión figura No. 2 [alma] [acero].....	82
Diagrama de flujo 40: Brazo figura No. 2 a compresión [alma] [acero]	82
Diagrama de flujo 41: Tensión figura No. 1 [patines] [acero].....	83
Diagrama de flujo 42: Brazo figura No. 1 a tensión [patines] [acero].....	83
Diagrama de flujo 43: Tensión figura No. 2 [alma] [acero]	84
Diagrama de flujo 44: Brazo figura No. 2 a tensión [alma] [acero]	84
Diagrama de flujo 45: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 1].....	85
Diagrama de flujo 46: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 1]	85
Diagrama de flujo 47: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 2].....	86
Diagrama de flujo 48: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 2]	86
Diagrama de flujo 49: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 3].....	87
Diagrama de flujo 50: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 3]	87
Diagrama de flujo 51: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 4].....	88
Diagrama de flujo 52: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 4]	88
Diagrama de flujo 53: Compresión figura No. 1 [concreto].....	188
Diagrama de flujo 54: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]	188
Diagrama de flujo 55: Compresión figura No. 2 [concreto].....	189
Diagrama de flujo 56: Brazo figura No. 2 a compresión [concreto]	189
Diagrama de flujo 57: Compresión figura No. 3 [concreto].....	190
Diagrama de flujo 58: Brazo figura No. 3 a compresión [concreto]	190
Diagrama de flujo 59: Espacio varillas de refuerzo [todas las filas].....	191
Diagrama de flujo 60: Compresión figura No. 1 [acero].....	192
Diagrama de flujo 61: Brazo figura No. 1 a compresión [acero]	192

Diagrama de flujo 62: Compresión figura No. 2 [acero].....	193
Diagrama de flujo 63: Brazo figura No. 2 a compresión [acero]	193
Diagrama de flujo 64: Tensión figura No. 1 [acero]	194
Diagrama de flujo 65: Brazo figura No. 1 a tensión [acero]	194
Diagrama de flujo 66: Tensión figura No. 2 [acero]	195
Diagrama de flujo 67: Brazo figura No. 2 a tensión [acero]	195
Diagrama de flujo 68: Compresión varillas de refuerzo [todas las filas]	196
Diagrama de flujo 69: Tensión varillas de refuerzo [todas las filas].....	196
Diagrama de flujo 70: Compresión figura No. 1 [concreto].....	197
Diagrama de flujo 71: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]	197
Diagrama de flujo 72: Compresión figura No. 1 [patines] [concreto]	198
Diagrama de flujo 73: Brazo figura No. 1 a compresión [patines] [concreto].....	198
Diagrama de flujo 74: Compresión figura No. 2 [alma] [concreto]	199
Diagrama de flujo 75: Brazo figura No. 2 a compresión [alma] [concreto].....	199
Diagrama de flujo 76: Espacio varillas de refuerzo [todas las filas].....	200
Diagrama de flujo 77: Compresión figura No. 1 [patines] [acero]	201
Diagrama de flujo 78: Brazo figura No. 1 a compresión [patines] [acero].....	201
Diagrama de flujo 79: Compresión figura No. 2 [alma] [acero].....	202
Diagrama de flujo 80: Brazo figura No. 2 a compresión [alma] [concreto].....	202
Diagrama de flujo 81: Tensión figura No. 1 [patines] [acero].....	203
Diagrama de flujo 82: Brazo figura No. 2 a tensión [patines] [acero].....	203
Diagrama de flujo 83: Tensión figura No. 2 [alma] [acero]	204
Diagrama de flujo 84: Brazo figura No. 2 a tensión [alma] [acero]	204
Diagrama de flujo 85: Compresión varillas de refuerzo [todas las filas]	205
Diagrama de flujo 86: Tensión varillas de refuerzo [todas las filas].....	205

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Carga crítica de Euler sección compuesta	28
Fórmula 2: Rigidez efectiva sección compuesta.....	28
Fórmula 3: Coeficiente de rigidez efectiva sección compuesta	29
Fórmula 4: Carga compresión sección compuesta sin efectos de esbeltez	29
Fórmula 5: Carga nominal pandeo-inelástica sección compuesta.....	30
Fórmula 6: Carga nominal pandeo-elástica sección compuesta	30
Fórmula 7: Relación de rigideces extremo "A" de una columna	32
Fórmula 8: Relación de rigideces extremo "B" de una columna	32
Fórmula 9: Carga nominal a tensión sección compuesta	33
Fórmula 10: Relación demanda/capacidad en base a la condición 1	39
Fórmula 11: Relación demanda/capacidad en base a la condición 2.....	39
Fórmula 12: Módulo de elasticidad concreto en función de esfuerzo de compresión....	97
Fórmula 13: Momento de inercia en "X" sección de concreto rectangular	97
Fórmula 14: Momento de inercia en "Y" sección de concreto rectangular	98
Fórmula 15: Área sección de concreto rectangular	98
Fórmula 16: Separación de varillas en dirección del eje fuerte	107
Fórmula 17: Separación de varillas en dirección del eje débil.....	107
Fórmula 18: Momento de inercia varillas de refuerzo longitudinal eje fuerte.....	113
Fórmula 19: Momento de inercia varillas de refuerzo longitudinal eje débil	113
Fórmula 20: Circulo centrado en el origen en coordenadas cartesianas.....	183
Fórmula 21: Recta horizontal en coordenadas cartesianas.....	183
Fórmula 22: Integral primer momento de área	184
Fórmula 23: Función eje valor de C variable en coordenadas polares.....	184
Fórmula 24: Función diámetro de la sección en coordenadas polares.....	184
Fórmula 25: Primer momento de inercia en función del valor de C.....	186
Fórmula 26: Integral área en coordenadas polares	186
Fórmula 27: Área sección circular en función del valor de C.....	186
Fórmula 28: Centroides de la sección circular en función del valor de C	186
Fórmula 29: Momento de inercia "X" sección de concreto circular.....	211
Fórmula 30: Momento de inercia "Y" sección de concreto circular.....	212

Fórmula 31: Área sección de concreto circular.....	212
Fórmula 32: Distancia de la fila de varillas a la máxima fibra a compresión eje fuerte	219
Fórmula 33: Distancia de la fila de varillas a la máxima fibra a compresión eje débil .	221
Fórmula 34: Pendiente de la recta.....	268
Fórmula 35: Ecuación de interpolación	268

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ejemplo columna de acero perfil W, HSS circular y HSS rectangular	13
Ilustración 2: Columna concreto reforzado rectangular y circular	14
Ilustración 3: Columna compuesta perfil embebido en concreto reforzado	14
Ilustración 4: Columna HSS circular y HSS rectangular rellena de concreto.....	16
Ilustración 5: Perfil W embebido en sección rectangular y circular de concreto reforzado.	16
Ilustración 6: Dimensiones perfil W	21
Ilustración 7: Separación de varillas en cada eje ejemplo sección rectangular cuatro varillas	24
Ilustración 8: Distribución de esfuerzos equivalente concreto	35
Ilustración 9: Flexo-compresión biaxial sección compuesta	37
Ilustración 10: Partes del diagrama de interacción	39
Ilustración 11: Ubicación eje neutro variable sección rectangular y circular	42
Ilustración 12: Distancias perfil W embebido en sección rectangular y circular	44
Ilustración 13: Suma y resta para espacio perfil W en sección rectangular concreto	45
Ilustración 14: Suma y resta de áreas para formar perfil W sección rectangular	46
Ilustración 15: Espacio y colocación de varillas de refuerzo sección rectangular	47
Ilustración 16: Suma y resta para espacio perfil W sección circular concreto	48
Ilustración 17: Suma y resta de áreas para formar perfil W sección circular	49
Ilustración 18: Espacio y colocación de varillas de refuerzo sección circular	50
Ilustración 19: Varillas permitidas (a) cuatro, (b) seis, (c) ocho, (d) diez y (e) doce	51
Ilustración 20: Cantidad de varillas permitidas (a) seis, (b) ocho, (c) diez y (d) doce	52
Ilustración 21: Cantidad de separaciones para cuatro varillas sección rectangular eje fuerte	53
Ilustración 22: Cantidad de separaciones para seis varillas sección rectangular eje fuerte	53
Ilustración 23: Cantidad de separaciones para ocho varillas sección rectangular eje fuerte	54
Ilustración 24: Cantidad de separaciones para diez varillas sección rectangular eje fuerte	54

Ilustración 25: Cantidad de separaciones para doce varillas sección rectangular eje fuerte	54
Ilustración 26: Cantidad de separaciones para cuatro varillas sección rectangular eje débil	55
Ilustración 27: Cantidad separaciones para seis varillas sección rectangular eje débil .	55
Ilustración 28: Cantidad de separaciones para ocho varillas sección rectangular eje débil	55
Ilustración 29: Cantidad de separaciones para diez varillas sección rectangular eje débil	56
Ilustración 30: Cantidad de separaciones para doce varillas sección rectangular eje débil	56
Ilustración 31: Distancia D_n sección circular eje fuerte/débil.....	57
Ilustración 32: Brazo de cuatro varillas eje fuerte sección rectangular	57
Ilustración 33: Brazo de seis varillas eje fuerte sección rectangular.....	58
Ilustración 34: Brazo de ocho varillas eje fuerte sección rectangular	58
Ilustración 35: Brazo de diez varillas eje fuerte sección rectangular	58
Ilustración 36: Brazo de doce varillas eje fuerte sección rectangular	59
Ilustración 37: Brazo de cuatro varillas eje débil sección rectangular.....	59
Ilustración 38: Brazo de seis varillas eje débil sección rectangular	59
Ilustración 39: Brazo de ocho varillas eje débil sección rectangular.....	60
Ilustración 40: Brazo de diez varillas eje débil sección rectangular	60
Ilustración 41: Brazo de doce varillas eje débil sección rectangular.....	60
Ilustración 42: Brazo medido desde el eje centroidal al centroide de la figura variable .	61
Ilustración 43: Brazo varillas sección circular eje fuerte/débil.....	62
Ilustración 44: Formato programa en Microsoft Excel	89
Ilustración 45: Nombre de celdas	90
Ilustración 46: Nombre de celdas	90
Ilustración 47: Ventana administración de nombres de celda	95
Ilustración 48: Ingreso tabla resistencia a compresión concreto	96
Ilustración 49: Validación de datos resistencia a compresión concreto.....	97
Ilustración 50: Determinación módulo de elasticidad del concreto	97

Ilustración 51: Determinación inercia sección de concreto rectangular eje fuerte	98
Ilustración 52: Determinación inercia sección de concreto rectangular eje débil.....	98
Ilustración 53: Determinación área sección de concreto rectangular	99
Ilustración 54: Ingreso tabla esfuerzo de fluencia varillas de refuerzo longitudinal	100
Ilustración 55: Validación de datos esfuerzo de fluencia varillas	101
Ilustración 56: Lista desplegable esfuerzo de fluencia varillas	101
Ilustración 57: Cantidad de varillas permitidas sección compuesta.....	102
Ilustración 58: Validación de datos cantidad de varillas permitidas	102
Ilustración 59: Lista desplegable cantidad de varillas permitidas	103
Ilustración 60: Ingreso tabla propiedades del número de varillas	103
Ilustración 61: Nombre de la tabla de número de varilla.....	104
Ilustración 62: Validación de datos número de varilla.....	105
Ilustración 63: Lista desplegable número de varilla	105
Ilustración 64: Parámetros función "=BUSCARV"	105
Ilustración 65: Determinación del área de la varilla seleccionada	106
Ilustración 66: Área del refuerzo longitudinal.....	106
Ilustración 67: Cantidad de espaciamientos sección rectangular eje fuerte.	108
Ilustración 68: Cantidad de espaciamientos sección rectangular eje débil.....	109
Ilustración 69: Determinación de separación de varillas eje fuerte sección rectangular	109
Ilustración 70: Determinación de separación de varillas eje débil sección rectangular	110
Ilustración 71: Porcentaje de área de varillas de refuerzo sección rectangular	110
Ilustración 72: Condición porcentaje de área varillas de refuerzo sección rectangular	111
Ilustración 73: Cantidad de varillas por fila y distancia al eje fuerte sección rectangular	112
Ilustración 74: Cantidad de varillas por fila y distancia al eje débil sección rectangular	113
Ilustración 75: Determinación inercia varillas de refuerzo eje fuerte sección rectangular	114
Ilustración 76: Determinación inercia varillas de refuerzo eje débil sección rectangular	114

Ilustración 77: Propiedades geométricas perfiles W	116
Ilustración 78: Clasificación de perfiles W	117
Ilustración 79: Validación de datos perfiles W	118
Ilustración 80: Lista desplegable clasificación de perfiles.....	118
Ilustración 81: Clasificación de perfiles W	119
Ilustración 82: Nombre grupo de celdas perfil W	119
Ilustración 83: Validación de datos dependiente perfil W	120
Ilustración 84: Lista desplegable perfil W	120
Ilustración 85: Parámetros función "=BUSCARV"	121
Ilustración 86: Función "=BUSCARV" propiedades perfil W seleccionado	121
Ilustración 87: Ejemplo de relleno automático de celdas al seleccionar un perfil W	122
Ilustración 88: Ingreso de fórmula área práctica del perfil W	123
Ilustración 89: Ingreso de fórmula medida T.....	124
Ilustración 90: Ingreso de fórmula medida X	124
Ilustración 91: Ingreso fórmula medida T prima.....	125
Ilustración 92: Ingreso condición separación entre varillas y perfil W [medida T]	126
Ilustración 93: Ingreso condición separación varillas y perfil W [medida T prima]	126
Ilustración 94: Porcentaje área del perfil W	126
Ilustración 95: Ingreso condición porcentaje de área mínima perfil W.....	127
Ilustración 96: Determinación carga axial máxima sección rectangular	128
Ilustración 97: Determinación de coeficiente de rigidez efectiva sección rectangular .	128
Ilustración 98: Determinación de rigidez efectiva eje fuerte sección rectangular.....	129
Ilustración 99: Determinación rigidez efectiva eje débil sección rectangular	130
Ilustración 100: Determinación carga crítica de Euler eje fuerte sección rectangular..	130
Ilustración 101: Determinación carga crítica de Euler eje débil sección rectangular ...	131
Ilustración 102: Determinación carga axial sin efectos de esbeltez sección rectangular	131
Ilustración 103: Determinación de carga axial nominal sección rectangular	132
Ilustración 104: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular.....	133
Ilustración 105: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular.....	133
Ilustración 106: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular.....	133

Ilustración 107: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular.....	134
Ilustración 108: Formato hoja de cálculo eje fuerte acero sección rectangular	134
Ilustración 109: Formato hoja de cálculo eje fuerte varillas sección rectangular	134
Ilustración 110: Formato hoja de cálculo eje fuerte varillas sección rectangular	134
Ilustración 111: Función compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje fuerte...	135
Ilustración 112: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje fuerte	135
Ilustración 113: Función compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje fuerte...	136
Ilustración 114: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje fuerte	136
Ilustración 115: Función compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje fuerte...	136
Ilustración 116: Función brazo compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje fuerte	137
Ilustración 117: Espacios de varillas por fila sección rectangular concreto eje fuerte .	137
Ilustración 118: Función compresión por fila de espacio de varillas en concreto fila 1	138
Ilustración 119: Función compresión por fila de espacio de varillas en concreto fila 2	139
Ilustración 120: Función compresión por fila de espacio de varillas en concreto fila 3	139
Ilustración 121: Función compresión por fila de espacio de varillas en fila 4	139
Ilustración 122: Ingreso brazo espacio de varillas sección rectangular eje fuerte	140
Ilustración 123: Fuerza compresión espacio varillas sección rectangular eje débil	141
Ilustración 124: Momento flector total espacio de varillas sección rectangular eje fuerte	141
Ilustración 125: Formato fuerza axial total concreto sección rectangular eje fuerte	142
Ilustración 126: Formato momento flector total concreto sección rectangular eje fuerte	142
Ilustración 127: Función compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte	143
Ilustración 128: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte	143
Ilustración 129: Función compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte	144
Ilustración 130: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte	144

Ilustración 131: Función tensión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte	144
Ilustración 132: Función brazo tensión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte	145
Ilustración 133: Función tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte	145
Ilustración 134: Función brazo tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte	145
Ilustración 135: Sumatoria efectos de figura de acero a compresión y tensión eje fuerte	146
Ilustración 136: Sumatoria efectos momento flector ambas figuras	146
Ilustración 137: Cantidad varillas por fila sección rectangular concreto eje fuerte.....	147
Ilustración 138: Función compresión varillas fila 1 sección rectangular eje fuerte.....	148
Ilustración 139: Función tensión varillas fila 1 sección rectangular eje fuerte	148
Ilustración 140: Función compresión varillas fila 2 sección rectangular eje fuerte.....	149
Ilustración 141: Función tensión varillas fila 2 sección rectangular eje fuerte	149
Ilustración 142: Función compresión varillas fila 3 sección rectangular eje fuerte.....	150
Ilustración 143: Función tensión varillas fila 3 sección rectangular eje fuerte	150
Ilustración 144: Función compresión varillas fila 4 sección rectangular eje fuerte.....	151
Ilustración 145: Función tensión varillas fila 4 sección rectangular eje fuerte	151
Ilustración 146: Función brazo de varillas por fila sección rectangular eje fuerte	152
Ilustración 147: Momento de varillas por fila sección rectangular eje fuerte.....	152
Ilustración 148: Sumatoria fuerza de cada fila sección rectangular eje fuerte	153
Ilustración 149: Sumatoria momento de cada fila sección rectangular eje fuerte	153
Ilustración 150: Determinación carga axial nominal sección rectangular eje fuerte.....	154
Ilustración 151: Fuerza axial con efectos de esbeltez sección rectangular eje fuerte .	154
Ilustración 152: Momento flector en unidades kip – pie sección rectangular eje fuerte	155
Ilustración 153: Determinación de fuerza última sección rectangular eje fuerte	155
Ilustración 154: Determinación de momento flector último sección rectangular eje fuerte	156
Ilustración 155: Determinación de fuerza admisible sección rectangular eje fuerte	156
Ilustración 156: Determinación momento flector admisible sección rectangular eje fuerte	157
Ilustración 157: Rango de valores de c sección rectangular eje fuerte.....	157
Ilustración 158: Valores iniciales con C = 0 sección rectangular eje fuerte	158

Ilustración 159: Valores finales con $C =$ altura H sección rectangular eje fuerte	158
Ilustración 160: Edición de gráfica diagrama de interacción sección rectangular eje fuerte	158
Ilustración 161: Ventana ingreso de series de gráfica	159
Ilustración 162: Ventana selección de valores de serie	159
Ilustración 163: Selección de rango de valores en eje "X"	159
Ilustración 164: Selección de rango de valores en eje "Y"	160
Ilustración 165: Función compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje débil	161
Ilustración 166: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje débil	162
Ilustración 167: Función compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje débil	162
Ilustración 168: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje débil	163
Ilustración 169: Función compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje débil	163
Ilustración 170: Función brazo compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje débil	163
Ilustración 171: Cantidad espacios de varillas por fila sección rectangular eje débil...	164
Ilustración 172: Función compresión espacio varillas fila 1 sección rectangular eje débil	164
Ilustración 173: Función compresión espacio varillas fila 2 sección rectangular eje débil	165
Ilustración 174: Función compresión espacio varillas fila 3 sección rectangular eje débil	165
Ilustración 175: Función compresión espacio varillas fila 4 sección rectangular eje débil	166
Ilustración 176: Función brazo varillas por fila sección rectangular eje débil	166
Ilustración 177: Sumatoria compresión espacio varillas sección rectangular eje débil	167
Ilustración 178: Sumatoria momento espacio varillas sección rectangular eje débil ...	167
Ilustración 179: Función compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje débil	168
Ilustración 180: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje débil	168
Ilustración 181: Función compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil	168

Ilustración 182: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil	169
Ilustración 183: Función tensión Fig. 1 sección rectangular acero eje débil	169
Ilustración 184: Función brazo tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil	169
Ilustración 185: Función tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil	170
Ilustración 186: Función brazo tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil	170
Ilustración 187: Sumatoria de fuerza de cada figura sección rectangular acero eje débil	170
Ilustración 188: Sumatoria momento de cada figura sección rectangular acero eje débil	171
Ilustración 189: Cantidad varillas de refuerzo por fila sección rectangular eje débil....	172
Ilustración 190: Ingreso compresión varillas fila 1 sección rectangular eje débil	173
Ilustración 191: Ingreso tensión varillas fila 2 sección rectangular eje débil	173
Ilustración 192: Función brazo varillas por fila sección rectangular eje débil	174
Ilustración 193: Ingreso compresión varillas fila 2 sección rectangular eje débil	174
Ilustración 194: Función tensión varillas fila 2 sección rectangular eje débil	175
Ilustración 195: Función compresión varillas fila 3 sección rectangular eje débil	175
Ilustración 196: Función tensión varillas fila 3 sección rectangular eje débil	176
Ilustración 197: Función compresión varillas fila 4 sección rectangular eje débil	176
Ilustración 198: Función tensión varillas fila 4 sección rectangular eje débil	177
Ilustración 199: Sumatoria fuerza axial varillas sección rectangular eje débil	177
Ilustración 200: Sumatoria momento flector varillas sección rectangular eje débil	177
Ilustración 201: Determinación fuerza axial nominal sección rectangular eje débil	178
Ilustración 202: Determinación momento flector sección rectangular eje débil	178
Ilustración 203: Fuerza axial con efectos de esbeltez sección rectangular eje débil ...	179
Ilustración 204: Capacidad última fuerza axial sección rectangular eje débil	179
Ilustración 205: Capacidad última momento flector sección rectangular eje débil.....	180
Ilustración 206: Capacidad admisible fuerza axial sección rectangular eje débil.....	180
Ilustración 207: Capacidad admisible momento flector sección rectangular eje débil .	180
Ilustración 208: Función rango de valores de c sección rectangular eje débil.....	181
Ilustración 209: Funciones en coordenadas polares	185
Ilustración 210: Formato hoja "INGRESO DE DATOS" sección circular	206

Ilustración 211: Datos resistencia compresión concreto.....	210
Ilustración 212: Lista desplegable resistencia compresión concreto	211
Ilustración 213: Determinación módulo elasticidad concreto	211
Ilustración 214: Ingreso momento de inercia "X" sección circular	212
Ilustración 215: Función momento de inercia "X" sección circular.....	212
Ilustración 216: Ingreso área concreto sección circular	213
Ilustración 217: Datos varilla de refuerzo longitudinal sección circular.....	214
Ilustración 218: Validación de datos esfuerzo fluencia varillas	214
Ilustración 219: Lista desplegable esfuerzo fluencia varillas sección circular.....	215
Ilustración 220: Validación de datos cantidad de varillas sección circular	215
Ilustración 221: Lista desplegable cantidad de varillas de refuerzo sección circular ...	216
Ilustración 222: Validación de datos número de varillas sección circular	216
Ilustración 223: Lista desplegable número de varillas sección circular.....	217
Ilustración 224: Función "=BUSCARV" área de varilla sección circular.....	217
Ilustración 225: Cantidad de varillas por fila eje fuerte	218
Ilustración 226: Determinación del ángulo entre el eje polar y la fila de varillas [eje fuerte]	218
Ilustración 227: Ejemplo determinación de ángulo medido entre el eje polar y la fila..	219
Ilustración 228: Determinación de la distancia d_n eje fuerte	219
Ilustración 229: Determinación brazo de la fila de varillas	220
Ilustración 230: Cantidad de varillas por fila eje débil.....	220
Ilustración 231: Determinación ángulo medido entre el eje polar y la fila de varillas ...	221
Ilustración 232: Determinación de la distancia d_n para cada fila.....	221
Ilustración 233: Determinación brazo de la fila de varillas	222
Ilustración 234: Momento de inercia varillas de refuerzo sección circular eje fuerte ...	222
Ilustración 235: Momento de inercia varillas de refuerzo sección circular eje débil.....	222
Ilustración 236: Porcentaje de área varillas de refuerzo longitudinal sección circular .	223
Ilustración 237: Condición porcentaje de área mínima varillas sección circular	223
Ilustración 238: Módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia mínimo del perfil de acero	224
Ilustración 239: Lista desplegable peralte y perfil w sección circular.....	224

Ilustración 240: Función "=BUSCARV" propiedades perfil W sección circular	225
Ilustración 241: Cálculo área práctica perfil W sección circular	225
Ilustración 242: Determinación medida "a" sección circular	226
Ilustración 243: Determinación medida "hn" sección circular	226
Ilustración 244: Determinación medida "xn" sección circular.....	226
Ilustración 245: Verificación de distancia entre perfil W y refuerzo longitudinal.....	227
Ilustración 246: Perfil W inscrito en círculo para determinar separaciones mínimas ...	227
Ilustración 247: Determinación de coeficiente de rigidez efectiva sección circular	228
Ilustración 248: Determinación rigidez efectiva sección circular eje fuerte	229
Ilustración 249: Determinación rigidez efectiva sección circular eje débil	229
Ilustración 250: Determinación carga crítica de Euler circular eje fuerte	230
Ilustración 251: Determinación carga crítica de Euler sección circular eje débil.....	230
Ilustración 252: Fuerza axial sin considerar efectos de esbeltez sección circular	231
Ilustración 253: Determinación fuerza axial con efectos de esbeltez sección circular .	231
Ilustración 254: Formato hoja de cálculo concreto sección circular eje fuerte 1	232
Ilustración 255: Formato hoja de cálculo concreto sección circular eje fuerte 2	232
Ilustración 256: Formato hoja de cálculo concreto sección circular eje fuerte 3	232
Ilustración 257: Formato hoja de cálculo acero sección circular eje fuerte.....	233
Ilustración 258: Formato hoja de cálculo varillas sección circular eje fuerte 1	233
Ilustración 259: Formato hoja de cálculo varillas sección circular eje fuerte 2	233
Ilustración 260: Formato hoja de cálculo varillas sección circular eje fuerte 3	233
Ilustración 261: Formato hoja de cálculo sección circular compuesta eje fuerte	234
Ilustración 262: Determinación ángulo theta 1 sección circular concreto eje fuerte	235
Ilustración 263: Determinación primer momento de área sección circular concreto eje fuerte	235
Ilustración 264: Función área Fig. 1 en función de C sección circular concreto eje fuerte	236
Ilustración 265: Función compresión Fig. 1 sección circular concreto eje fuerte	236
Ilustración 266: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular concreto eje fuerte	237
Ilustración 267: Función compresión Fig. 1 sección circular concreto eje fuerte	237
Ilustración 268: Ingreso brazo compresión Fig. 2 sección circular concreto eje fuerte	238

Ilustración 269: Función compresión Fig. 3 sección circular concreto eje fuerte	238
Ilustración 270: Función brazo compresión Fig. 3 sección circular concreto eje fuerte	239
Ilustración 271: Cantidad espacio varillas por fila sección circular eje fuerte	239
Ilustración 272: Ingreso compresión espacio varillas sección circular eje fuerte	240
Ilustración 273: Función brazo espacio varillas por fila sección circular eje fuerte	240
Ilustración 274: Función compresión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte.....	241
Ilustración 275: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte....	241
Ilustración 276: Función compresión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte.....	242
Ilustración 277: Función brazo compresión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte....	242
Ilustración 278: Función tensión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte.....	243
Ilustración 279: Función brazo tensión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte.....	243
Ilustración 280: Función tensión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte.....	244
Ilustración 281: Función brazo tensión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte.....	244
Ilustración 282: Sumatoria de efectos de fuerza axial sección circular acero eje fuerte	244
Ilustración 283: Sumatoria de efectos momento flector sección circular acero eje fuerte	245
Ilustración 284: Cantidad refuerzo longitudinal por fila sección circular eje fuerte.....	245
Ilustración 285: Función compresión varillas por fila sección circular eje fuerte.....	246
Ilustración 286: Función brazo varillas sección circular eje fuerte	246
Ilustración 287: Función tensión varillas por fila sección circular eje fuerte.....	247
Ilustración 288: Determinación momento varillas por fila sección circular eje fuerte ...	247
Ilustración 289: Determinación fuerza axial nominal sección circular eje fuerte	248
Ilustración 290: Fuerza axial considerando efectos de esbeltez sección circular eje fuerte	248
Ilustración 291: Determinación capacidad axial última sección circular eje fuerte.....	249
Ilustración 292: Determinación capacidad axial admisible sección circular eje fuerte .	249
Ilustración 293: Determinación capacidad momento último sección circular eje fuerte	249
Ilustración 294: Determinación capacidad momento admisible sección circular eje fuerte	250
Ilustración 295: Función primer momento de área sección circular concreto eje débil	252

Ilustración 296: Función área sección circular concreto eje débil.....	252
Ilustración 297: Función fuerza compresión Fig. 1 sección circular concreto eje débil	253
Ilustración 298: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular concreto eje débil.	253
Ilustración 299: Función compresión Fig. 2 sección circular concreto eje débil	254
Ilustración 300: Función brazo compresión Fig. 2 sección circular concreto eje débil.	254
Ilustración 301: Función compresión Fig. 3 sección circular concreto eje débil	254
Ilustración 302: Función brazo compresión Fig. 3 sección circular concreto eje débil.	255
Ilustración 303: Cantidad espacio varillas por fila sección circular eje débil.....	255
Ilustración 304: Ingreso compresión espacio varillas por fila sección circular eje débil	256
Ilustración 305: Función brazo espacio varillas por fila sección circular eje débil.....	256
Ilustración 306: Función compresión Fig. 1 sección circular acero eje débil	257
Ilustración 307: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular acero eje débil	257
Ilustración 308: Función compresión Fig. 2 sección circular acero eje débil	258
Ilustración 309: Función brazo compresión Fig. 2 sección circular acero eje débil	258
Ilustración 310: Función tensión Fig. 1 sección circular acero eje débil	258
Ilustración 311: Función brazo tensión Fig. 1 sección circular acero eje débil	259
Ilustración 312: Función tensión Fig. 2 sección circular acero eje débil	259
Ilustración 313: Función brazo tensión Fig. 2 sección circular acero eje débil	259
Ilustración 314: Fuerza axial total sección circular acero eje débil	260
Ilustración 315: Momento flector total sección circular acero eje débil	260
Ilustración 316: Función cantidad de varillas por fila sección circular eje débil	261
Ilustración 317: Función compresión varillas por fila sección circular eje débil	261
Ilustración 318: Función brazo varillas sección circular eje débil.....	262
Ilustración 319: Función tensión varillas por fila sección circular eje débil	262
Ilustración 320: Determinación fuerza axial nominal sección circular eje débil	263
Ilustración 321: Fuerza axial con efectos de esbeltez sección circular eje débil	263
Ilustración 322: Función =+COINCIDIR para determinar el valor máximo positivo	265
Ilustración 323: Función =+INDICE determinación valores de fuerza axial y momento	265
Ilustración 324: Función =+COINCIDIR fuerza y momento después cuando $P_u=0$	266

Ilustración 325: Diagrama de interacción columnas compuesta, método 2 simplificado	267
Ilustración 326: Distancia de la fibra más alejada en compresión a cada fila de varillas	268
Ilustración 327: Pendiente de la recta 1 en el diagrama de interacción.....	269
Ilustración 328: Intersecto de la recta 1 en el diagrama de interacción	269
Ilustración 329: Pendiente de la recta 2 en el diagrama de interacción.....	270
Ilustración 330: Intersecto de la recta 2 en el diagrama de interacción	270
Ilustración 331: Rango de valores de momento en discontinuidades.....	271
Ilustración 332: Determinación de valores de fuerza recta 1	271
Ilustración 333: Determinación de valores de fuerza recta 2	272
Ilustración 334: Relación demanda/capacidad con factores de carga LRFD	273
Ilustración 335: Relación demanda/capacidad con factores de carga ASD	273
Ilustración 336: Condición de relación demanda/capacidad para verificar sección	274
Ilustración 337: Hoja "Ingreso de datos" sección rectangular.....	275
Ilustración 338: Hoja "Ingreso de datos" sección circular	278
Ilustración 339: Lista desplegable esfuerzo de compresión y dimensiones de la sección.	281
Ilustración 340: Celdas propiedades sección rectangular de concreto	281
Ilustración 341: Listas desplegables esfuerzo fluencia, cantidad y número de varillas	282
Ilustración 342: Celda ingreso recubrimiento sección rectangular.....	282
Ilustración 343: Condiciones porcentaje mínimo de área	283
Ilustración 344: Lista Desplegable peralte y perfil W sección rectangular	283
Ilustración 345: Relleno automático de celdas de perfil W en sección rectangular	284
Ilustración 346: Celda con cálculos de carga máxima de diseño sección rectangular	285
Ilustración 347: Lista desplegable esfuerzo de compresión y diámetro sección	286
Ilustración 348: Lista desplegable esfuerzo fluencia, cantidad y número de varillas ...	286
Ilustración 349: Condición separación mínima entre perfil W y refuerzo sección circular	287
Ilustración 350: Ingreso de carga y momentos aplicados en la sección circular.....	288
Ilustración 351: Celdas cálculo de carga máxima de diseño sección circular.....	288

Ilustración 352: Resultados sección circular.....	289
Ilustración 353: Relación demanda/capacidad sección circular.....	289
Ilustración 354: Puntos de la metodología el autor y AISC (2005) eje fuerte rectangular	292
Ilustración 355: Puntos de la metodología el autor y AISC (2005) eje débil rectangular	293
Ilustración 356: Comparación con programa SAP 2000 eje fuerte sección rectangular	296
Ilustración 357: Comparación con programa SAP 2000 sección eje débil rectangular	297
Ilustración 358: Comparación con programa SAP 2000 sección circular eje fuerte	297
Ilustración 359: Ejemplo columna compuesta documento Design Examples eje fuerte	303
Ilustración 360: Carga axial máxima documento Design Examples eje fuerte	304
Ilustración 361: Condiciones ecuaciones Design Examples eje fuerte	304
Ilustración 362: Puntos diagrama de interacción documento Design Examples eje fuerte	305
Ilustración 363: Ejemplo columna compuesta documento Design Examples eje débil	305
Ilustración 364: Determinación carga axial máxima documento Design Examples eje débil	306
Ilustración 365: Condiciones ecuaciones Design Examples eje débil	306
Ilustración 366: Puntos del diagrama de interacción documento Design Examples eje débil.....	307
Ilustración 367: Sección rectangular eje fuerte ingresada en SAP 2000	308
Ilustración 368: Diagrama de interacción sección rectangular eje fuerte SAP2000.....	308
Ilustración 369: Sección rectangular eje débil ingresada en SAP 2000.....	309
Ilustración 370: Diagrama de interacción sección rectangular eje débil SAP2000	309
Ilustración 371: Sección circular eje fuerte ingresada en SAP 2000	310
Ilustración 372: Diagrama de interacción sección circular eje fuerte SAP2000.....	310

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Curva elastoplástica esfuerzo-deformación acero A655 grado 60	20
Gráfica 2: Esfuerzo crítico a compresión en función de KL/r	26
Gráfica 3: Carga nominal sección compuesta en función de la longitud efectiva, KL	31
Gráfica 4: Momento nominal en función de L_b . [acero]	34
Gráfica 5: Diagrama de interacción sección rectangular [eje fuerte]	160
Gráfica 6: Diagrama de interacción sección rectangular [eje débil]	182
Gráfica 7: Diagrama de interacción sección circular [eje fuerte].....	251
Gráfica 8: Diagrama de interacción sección circular [eje débil]	264
Gráfica 9: Diagrama de interacción nominal y de diseño [rectangular] [eje fuerte].....	276
Gráfica 10: Diagrama de interacción nominal y de diseño [rectangular] [eje débil]	277
Gráfica 11: Diagrama de interacción nominal, último y admisible [circular] [eje fuerte]	279
Gráfica 12: Diagrama de interacción nominal, último y admisible [circular] [eje débil].	280
Gráfica 13: Comparación diagrama de interacción con AISC (2005) eje fuerte	290
Gráfica 14: Comparación diagrama de interacción con AISC (2005) eje débil	291

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos varillas de refuerzo longitudinal	22
Tabla 2: Factores de reducción de capacidad LRFD y ASD.....	25
Tabla 3: Nombre de las celdas columna rectangular.....	91
Tabla 4: Cantidad de espaciamientos entre varillas por eje	108
Tabla 5: Distancia de la fila de varillas al eje centroidal "X".....	111
Tabla 6: Distancia de la fila de varillas al eje centroidal "Y"	112
Tabla 7: Indicadores de columna para la función "=BUSCARV" propiedades perfil....	122
Tabla 8: Nombres de las celdas sección circular.....	207
Tabla 9: Datos sección compuesta ejemplo eje fuerte	290
Tabla 10: Datos sección compuesta ejemplo eje débil.....	291

I. INTRODUCCIÓN

Las columnas son de los elementos más importantes en una edificación. Generalmente, las columnas son de concreto reforzado o de acero estructural. Cada material aporta diferentes ventajas y desventajas al momento de utilizarlos en una edificación. En varios países alrededor del mundo se han combinado ambos materiales para formar lo que se conoce como columnas compuestas. Las columnas compuestas se pueden clasificar principalmente como perfil W embebido en concreto reforzado o perfil HSS relleno de concreto. Las columnas compuestas presentan un mejor aprovechamiento de las ventajas de cada uno de los materiales. Desafortunadamente en Guatemala no se han utilizado columnas compuestas como en otros países. La poca utilización de columnas compuestas en Guatemala es por la poca investigación y dificultades en la construcción.

Los diagramas de interacción son herramientas utilizadas en el análisis y diseño de columnas compuestas. Para realizar los diagramas de interacción de una columna compuesta se tiene que considerar el aporte de cada material para resistir esfuerzos. Los esfuerzos a los que puede estar sometida una columna son mayoritariamente debidos a la carga axial y el momento flector en uno o ambos ejes. Para determinar si la columna compuesta soporta la combinación de carga y momento aplicados, se deben utilizar los diagramas de interacción y determinar la carga y momentos nominales. Para realizar los diagramas de interacción se pueden utilizar software de diseño estructural o herramientas como MATLAB o Microsoft Excel entre otros. El autor propone utilizar Microsoft Excel para desarrollar los diagramas de interacción de columnas de perfil W embebido en secciones rectangulares y circulares de concreto reforzado. En el presente documento se incluye la forma de obtener los respectivos valores nominales para cada sección y combinación de cargas aplicadas. La metodología aplicada para el desarrollo de diagramas de interacción consiste en la distribución de esfuerzos plásticos.

Los alumnos de la carrera de ingeniería civil y profesionales en el ámbito de estructuras se verán beneficiados con el presente manual. Los alumnos y profesionales

podrán realizar sus propios diagramas de interacción y aplicarlos en los cursos de estructuras y en el ámbito laboral. La ventaja de utilizar la metodología propuesta por el autor es que es práctica y fácil de entender. Al utilizar Microsoft Excel se automatiza el procedimiento y se reduce el tiempo de trabajo. Para la realización del presente trabajo de graduación el autor se basó en las limitaciones, requerimientos y especificaciones del documento Specification for Structural Steel Buildings. (American Institute of Steel Construction [AISC], 2010). Los diagramas de interacción realizados en base a la metodología propuesta por el autor se compararon con la metodología del documento Design Examples de AISC (2010) y con el software SAP 2000.

1.1. Antecedentes

Carrasco, S (2010) indica las ecuaciones y condiciones de código para esfuerzos de compresión y tensión, cortante y flexión en columnas compuestas. Las columnas analizadas son los HSS circulares y rectangulares rellenos de concreto y perfil W embebido en secciones rectangulares de concreto. Adicionalmente, se incluyen ejemplos y recomendaciones para el cálculo de cada uno de los esfuerzos. El Ing. Carrasco evalúa los métodos de diseño de AISC (2005), Código 318 – 05: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (American Concrete Institute [ACI] 2005) y el EUROCODIGO 4, (European Convention for Constructional Steelwork [ECCS] 1993). Entre las conclusiones a las que llegó el Ing Carrasco son que el método propuesto por AISC (2005) es adecuado y tiene menor desviación respecto a ensayos de laboratorio.

Carrillo, O. (2010) establecen los procedimientos necesarios para crear diagramas de interacción de concreto reforzado. La metodología utilizada es compatibilidad de deformaciones. El Ing. Carrillo propone un modelo matemático para el cálculo diagramas de interacción de columnas circulares y rectangulares de concreto reforzado. El programa en Excel realizado genera automáticamente los diagramas de interacción para cualquier sección, cantidad de refuerzo, distribución de refuerzo y propiedades de los materiales. Además, se incluye los diagramas de interacción reducidos por el factor Φ y la forma de obtener valores nominales para utilizarlos en la relación demanda/capacidad.

Castellanos, S (2013) utiliza un software llamado MIDAS FEA. El software incluye funciones de modelación de elementos estructurales mediante elementos finitos. En el modelo realizado se utilizan columnas con perfil W embebido en concreto reforzado. El análisis realizado consiste en determinar la rigidez efectiva de la sección en ambos ejes y compararlo con las normativas internacionales de AISC (2010). Las conclusiones a las que se llegaron son que la rigidez obtenida por la normativa y por el método de elementos finitos no presenta una variación significativa.

Silva, D. (2007) enlista y describe las características y materiales de una columna de sección compuesta. El tipo de columnas que se tienen en consideración en el trabajo son columnas HSS rectangulares y circulares rellenas de concreto. El análisis a compresión se realiza comparando tres métodos de diseño. Para realizar dicho análisis desarrolla los

diagramas de interacción en base al método de compatibilidad de deformaciones. La herramienta utilizada para el graficar los diagramas de interacción es MATLAB.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al momento de realizar el diseño de una columna compuesta sometida a flexo-compresión en uno o en ambos ejes, es necesario utilizar los diagramas de interacción. El lector tiene varias formas realizar los diagramas de interacción. Se puede utilizar softwares de diseño estructural, realizarlos a mano o utilizar una hoja de cálculo en MATLAB o en Microsoft Excel.

Los softwares de diseño estructural son poco accesibles para el lector. La principal razón es por su alto costo y limitada disponibilidad. Por otra parte, los softwares de diseño estructural han presentado otras limitaciones como la falta de capacitación para utilizarlos. En consecuencia, estos softwares de diseño son poco conocidos y el lector no está acostumbrado a utilizar este tipo de herramientas.

ACI (2014) se limita únicamente a presentar las especificaciones de porcentajes de área, separaciones y recubrimientos. ACI (2014) no presenta una metodología para realizar los diagramas de interacción de columnas compuestas. ACI (2014) presenta un documento conocido como E702 donde incluye el procedimiento para determinar diagramas de interacción únicamente de columnas rectangulares de concreto reforzado. ACI (2014) recomienda utilizar las especificaciones y metodologías dadas por AISC (2010). AISC (2010) contiene una referencia para realizar los diagramas de interacción a partir de varias ecuaciones en diferentes puntos.

AISC (2010) incluye en el capítulo y comentario "I" las especificaciones de columnas compuestas y las metodologías para análisis y diseño. En el código se hace referencia a un documento llamado Design Examples de AISC (2005) para realizar los diagramas de interacción de columnas de perfil W embebido en concreto reforzado y perfil HSS circular y rectangular relleno de concreto. El procedimiento consiste en obtener únicamente cuatro puntos del diagrama de interacción y unirlos mediante una interpolación. Por otra parte, las fórmulas utilizadas en este procedimiento son muy complejas y tienen otros procedimientos implícitos. En el documento Design Examples se considera únicamente la flexo-compresión uniaxial. En el caso que se desee modificar dimensiones, diámetro, cantidad de refuerzo, número de varillas y perfil a utilizar se vuelve tedioso y extenso para realizar a mano. Utilizar este procedimiento significa una

gran inversión de tiempo si se menciona que el diseño estructural consiste en evaluar muchas propuestas y realizar varias iteraciones hasta encontrar un diseño adecuado.

En el documento de Design Examples de AISC (2005), el procedimiento para realizar diagramas de interacción de columnas compuestas se enfoca más que todo en perfiles HSS circulares y rectangulares rellenos de concreto. En el caso de perfil W embebido en concreto reforzado se limita a secciones rectangulares. Las combinaciones de varillas de refuerzo longitudinal analizadas son cuatro en el eje fuerte y seis en el eje débil. No se menciona como realizar los diagramas de interacción para otra cantidad de varillas. Por otra parte, no se considera la posibilidad de utilizar columnas de perfil W embebido en secciones circulares.

Ante la necesidad de reducir el tiempo de trabajo, automatizar y simplificar los cálculos existen referencias en internet para realizar diagramas de interacción en MATLAB o Microsoft Excel. Las complicaciones de un software de diseño estructural para el lector se presentan también al utilizar MATLAB. Por ejemplo, falta de capacitación, instalar un programa adicional o dificultad en utilizar los comandos. Debido a esto utilizar Microsoft Excel se vuelve una buena opción. La mayoría de las referencias encontradas se limitan más que todo para columnas de concreto reforzado en Microsoft Excel. De las pocas referencias obtenidas para columnas compuestas se enfoca en columnas de perfil HSS rectangular utilizando la metodología mencionada en el documento de Design Examples de AISC (2005).

Las columnas embebidas en concreto reforzado tienen grandes ventajas y un gran aprovechamiento del aporte de cada material. Incluso este tipo de columnas tiene mejor comportamiento que las columnas HSS circular o rectangular. Por ejemplo, el concreto evita que en el perfil ocurra una falla por pandeo local y brinda protección contra fuego y corrosión. Desafortunadamente, las situaciones mencionadas anteriormente significan una barrera para que se realicen edificaciones con columnas compuestas de perfil W embebido en concreto reforzado en Guatemala.

Ante lo mencionado anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo emplear Microsoft Excel para generar un algoritmo que automatice la realización de diagramas de interacción de columnas compuestas de perfil W embebido en sección rectangular y circular de concreto reforzado, siendo de fácil utilización y comprensión?

2.1. Objetivos

2.1.1. General

Describir los elementos necesarios para realizar un programa en Microsoft Excel que grafique los diagramas de interacción de perfiles W embebidos en secciones rectangulares y circulares doblemente simétricas de concreto reforzado.

2.1.2. Específicos

- ✓ Definir los parámetros necesarios para el desarrollo de diagramas de iteración de columnas con sección compuesta doblemente simétricas de perfil de acero W embebido en concreto reforzado.
- ✓ Explicar gráficamente el desarrollo del algoritmo utilizado para el diagrama de iteración.
- ✓ Proponer una metodología práctica, didáctica y ejemplificada para el desarrollo de diagramas de interacción de columnas de perfil W embebido en concreto reforzado.
- ✓ Utilizar diagramas de flujo para explicar el desarrollo de diagramas de iteración de columnas con sección compuesta doblemente simétricas de perfil de acero estructural W embebido en concreto reforzado.
- ✓ Traducir los algoritmos del diagrama de flujo a una hoja electrónica en Microsoft Excel.
- ✓ Elaborar diagramas de iteración para columnas circulares y rectangulares de sección compuesta doblemente simétricas.
- ✓ Comparar resultados obtenidos a partir de la metodología propuesta con las ecuaciones del documento Design Examples AISC (2005) y con el software SAP 2000.
- ✓ Realizar un programa en Microsoft Excel que automatice la realización de diagramas de interacción de columnas rectangulares y circulares de sección compuesta doblemente simétrica en ambos ejes.

2.2. Alcances y límites

El presente trabajo de graduación incluye diagramas de flujo para el desarrollo de diagramas de interacción. Los diagramas de flujo son una guía para traducir el procedimiento deseado en Microsoft Excel. Se incluyen ilustraciones que describen y ejemplifican los parámetros utilizados y como se obtuvieron. Adicionalmente a esto, se incluye paso a paso el ingreso de fórmulas y parámetros en Microsoft Excel. Se decidió utilizar Microsoft Excel ya que es una herramienta de gran disponibilidad. Las funciones de Microsoft Excel utilizadas son de fácil comprensión y existen diversas publicaciones auxiliares para entenderlas. Los diagramas de interacción, las dimensiones del perfil, los valores de resistencia, la fuerza, momentos, la longitud de la columna, rigideces y áreas tienen unidades del Sistema Usual en Estados Unidos. El presente trabajo de graduación no incluye como realizar el diseño de secciones compuestas sometidas a flexión, compresión o flexo-compresión. Únicamente se incluye la forma de realizar diagramas de interacción para verificación de secciones propuestas por el lector en el diseño.

El tipo de columna compuesta utilizado es perfil W de acero embebido en concreto reforzado. Las secciones utilizadas en el análisis son rectangulares y circulares. La sección tiene un tamaño constante a lo largo de toda su longitud. Los materiales utilizados son constantes en toda la longitud de la columna. Los perfiles de acero utilizados son únicamente perfiles W, no se considera utilizar otro tipo de perfil. El centroide del perfil W se encuentra ubicado en el centroide de la sección completa. El tipo de acero propuesto es A992 que tiene un esfuerzo de fluencia (F_y) igual a 50 ksi y un módulo de elasticidad (E_s) igual a 29 000 ksi. Se propone utilizar este tipo de acero por su disponibilidad en perfiles de esta forma. Los perfiles utilizados son rolados y se desprecia el efecto o aporte de los filetes. No se utilizan perfiles W formados por placas soldadas (conocidos como built-up Members). Las condiciones de apoyo para determinar el factor de longitud efectiva se basan en el apéndice siete de AISC (2010)

El procedimiento presentado es utilizando únicamente la distribución de esfuerzos plásticos. No se contempla la utilización de compatibilidad de deformaciones. Los diagramas de interacción realizados son dos por sección. Los ejes analizados son los ejes principales "X" y "Y", también conocidos como eje fuerte y débil.

En el caso de refuerzo longitudinal, para columnas rectangulares, la cantidad de varillas permitidas son cuatro, seis, ocho, diez y doce. Para columnas circulares se utiliza la cantidad de seis, ocho, diez y doce. Las combinaciones de varillas permiten armar secciones doblemente simétricas. Las varillas utilizadas son corrugadas en su superficie. Las varillas de refuerzo longitudinal se mantienen constantes a lo largo de toda la longitud de la columna.

Los requerimientos de código de resistencia de materiales, porcentajes de área, separaciones entre varillas y factores de reducción son establecidos en base al código y comentario "I" de AISC (2010).

2.3. Aporte

El presente trabajo contribuirá para que estudiantes de la carrera de ingeniería civil realicen sus propios diagramas de interacción para columnas compuestas de un perfil de acero W embebido en concreto reforzado. El trabajo se utilizará para que los alumnos de los cursos de estructuras afiancen los conceptos de flexo-compresión y posteriormente puedan aplicar estos conceptos en el entendimiento del comportamiento de las columnas compuestas. Con la realización del programa, los alumnos universitarios tendrán a su disposición una herramienta que automatice los cálculos y presente menor inversión de tiempo de trabajo. El manual servirá como material de apoyo en el momento en que se incursionen nuevos cursos de diseño en acero en la Universidad Rafael Landívar. El manual y programa se utilizarán en proyectos, tareas y clases de los cursos de estructuras. Con la ayuda de este manual, el usuario cuenta con una herramienta para el diseño y análisis de columnas compuestas que considera toda la capacidad del elemento. El usuario al utilizar esta herramienta obtiene resultados similares y con alto grado de confiabilidad que los presentados por las ecuaciones establecidas por el documento Design Examples de AISC (2005) y el software SAP 2000.

El presente manual proporciona diagramas de flujo, ilustraciones, procedimiento detallado en Microsoft Excel y fórmulas explicadas que ayudarán a realizar los diagramas de interacción. La metodología utilizada de restar y sumar figuras más simples para formar la sección compuesta es práctica y reduce la utilización de fórmulas complejas y extensas. Los diagramas de flujo y el procedimiento descriptivo abarcan una mayor explicación que la que se ofrece AISC (2010) y que el procedimiento del documento Design Examples de AISC (2005). Adicionalmente, se puede colocar mayor cantidad de refuerzo longitudinal, se pueden utilizar cuatro, seis, ocho, diez y doce varillas en secciones rectangulares. La ventaja que ofrece el manual es que incluye perfiles W embebidos en secciones circulares de concreto reforzado. El procedimiento utilizado para determinar el área de los segmentos circulares es diferente al utilizado en otros manuales. Con esta metodología, se puede utilizar otra variedad de columnas dependiendo de las condiciones estructurales o arquitectónicas que se necesiten. En una sección circular se pueden utilizar una cantidad de seis, ocho, diez y doce varillas

de refuerzo longitudinal. La metodología propuesta permite obtener el momento plástico para cada una de las secciones analizadas en ambos ejes. Los programas obtenidos como producto del manual permiten obtener los valores nominales y las respectivas relaciones demandas/capacidad para las dos secciones.

Se espera que el presente trabajo de graduación sea un antecedente para que exista mayor conocimiento de columnas compuestas y para su posterior aplicación en edificios en Guatemala. Se espera que con la ayuda del manual se realicen estructuras con columnas de perfil W embebido en concreto reforzado. Profesionales en el ámbito de estructuras podrán realizar un diseño preliminar de columnas compuestas para una edificación y realizar verificaciones de especificaciones en una supervisión.

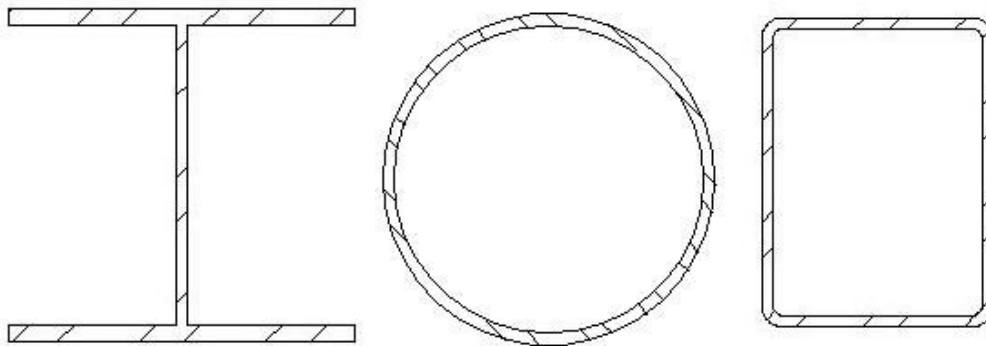
III. MARCO TEÓRICO

Una columna es un elemento vertical que soporta principalmente cargas perpendiculares a su sección.

Se clasifican en base al material que las conforman:

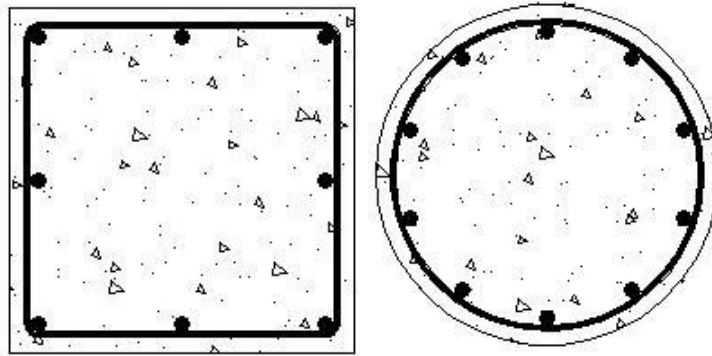
- Acero
 - Perfil W
 - HSS circular
 - HSS rectangular
- Concreto Reforzado
 - Rectangular con estribos
 - Circular con zuncho
- Compuestas

Ilustración 1: Ejemplo columna de acero perfil W, HSS circular y HSS rectangular



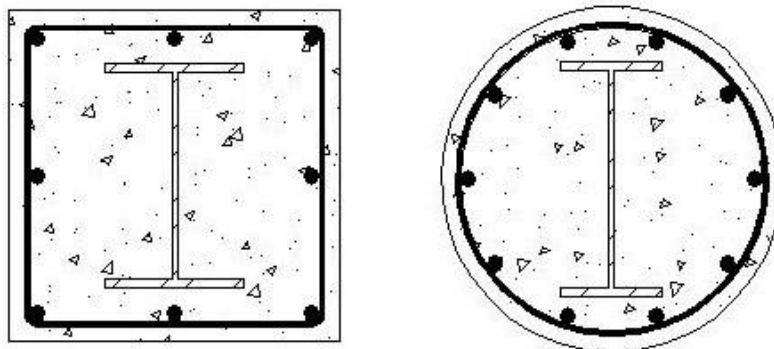
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 2: Columna concreto reforzado rectangular y circular



Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 3: Columna compuesta perfil embebido en concreto reforzado



Fuente: elaboración propia (2018)

En un marco a momento, las cargas que recibe la columna son los cortantes de las vigas y carga axiales de columnas superiores. Debido a que estas cargas se transmiten con excentricidad, porque no existe una colocación perfecta en el eje de la columna, ocurre flexo-compresión en uno o en ambos ejes principales. Adicionalmente, se transmiten momentos de las vigas o columnas superiores. En estos casos, la columna además de soportar carga axial soporta momentos en sus extremos.

Las columnas son elementos estructurales de gran importancia en una edificación. Una falla en una columna puede significar un daño catastrófico que puede llevar al colapso de la edificación. Ante la necesidad de elementos más eficientes en resistencia y espacio, nace la utilización de construcción compuesta.

La construcción compuesta ha sido utilizada en diferentes construcciones a principios del siglo XX. En el tipo de construcción que se han utilizado son puentes y edificios. Los elementos estructurales utilizados en la construcción compuesta son:

- Columnas
- Losas
- Muros
- Vigas

Chen y Richard (2010) indican que originalmente en edificios en Estados Unidos se empezaron a recubrir los perfiles de acero con concreto para protegerlos de incendios y corrosión. Posteriormente se empezó a considerar el aporte que proporciona en conjunto cada material en la resistencia de la sección. En la actualidad, las columnas de perfiles W embebidos en concreto deben llevar refuerzo longitudinal y transversal.

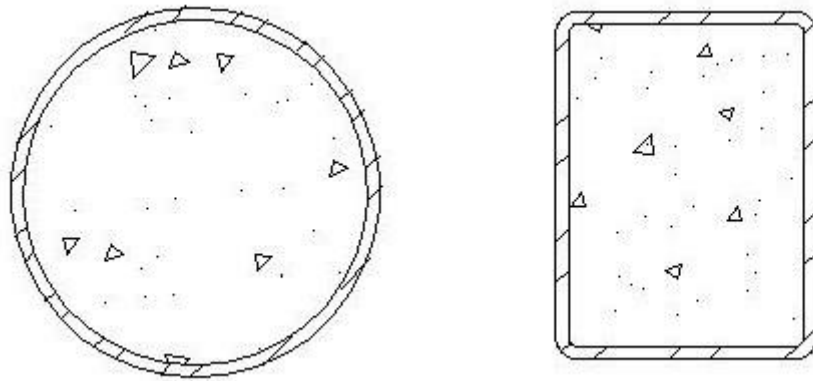
3.1. Columna compuesta

Las columnas compuestas son elementos estructurales formados por dos o más materiales. Las columnas compuestas son utilizadas para obtener mejor comportamiento y aprovechamiento de las propiedades de los materiales. Una columna compuesta es un elemento que trabaja como una unidad al momento de resistir esfuerzos.

Las columnas de sección compuesta se clasifican en dos tipos:

- Perfil HSS circular o rectangular relleno de concreto

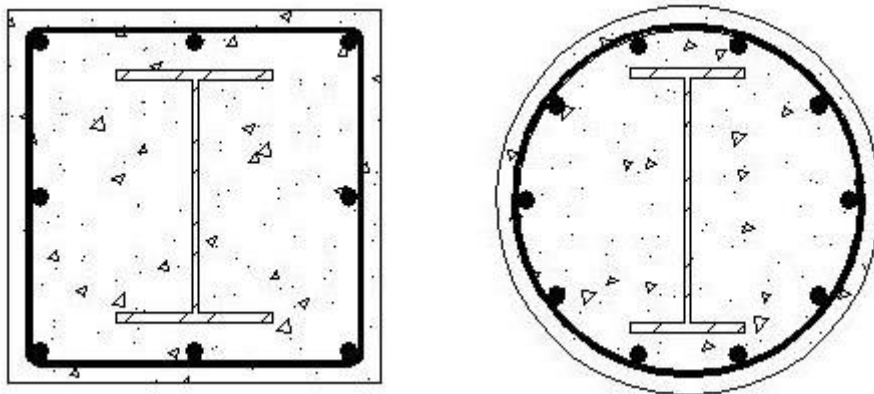
Ilustración 4: Columna HSS circular y HSS rectangular rellena de concreto



Fuente: elaboración propia (2018)

- Perfil embebido en concreto reforzado rectangular o circular

Ilustración 5: Perfil W embebido en sección rectangular y circular de concreto reforzado.



Fuente: elaboración propia (2018)

Existen otro tipo de combinaciones y formas que se pueden realizar para una columna compuesta. Por ejemplo, las columnas de perfil W parcialmente embebido en concreto reforzado. Otro tipo de columnas son aquellas rellenas de concreto con varillas de refuerzo longitudinal. Los tipos de columnas más utilizados en el actualmente son las enlistadas al principio. Las referencias consultadas se basan únicamente en los primeros dos tipos. En este proyecto de graduación se utilizaron únicamente perfiles W rolados embebidos en concreto reforzado (formando secciones rectangulares y circulares).

Ventajas de las columnas compuestas:

- Protección del perfil de acero contra fuego y corrosión
- Alto grado de confinamiento del concreto cuando el perfil W está embebido.
- Secciones más resistentes
- Secciones más económicas
- Secciones más pequeñas por cuestiones de limitaciones arquitectónicas
- Longitudes de columnas más altas
- Menores derivas
- Mayor rigidez
- Reducción del efecto del pandeo local y global
- Aporte de ductilidad
- Construcción más rápida
- En el caso de perfiles HSS circulares o rectangulares rellenos de concreto
 - Reduce la necesidad de formaleta
 - Reduce el uso de refuerzo longitudinal y transversal

Desventajas de las columnas compuestas:

- Se necesita mano de obra mejor calificada
- Existe incertidumbre sobre la adherencia entre el perfil de acero y el concreto

3.2. Materiales columnas compuestas

Los materiales que forman parte de las columnas compuestas de perfil embebido en concreto reforzado son los siguientes:

- Concreto
- Perfil de acero estructural W rolado
- Varillas de refuerzo longitudinal
- Varillas de refuerzo transversal (estribos)

3.2.1. Concreto

El concreto se define como la mezcla de material cementante, agregados finos, agregados gruesos, agua y vacíos.

Las propiedades del concreto son las siguientes:

- **Resistencia a la compresión:** está en función principalmente de su relación de agua/cemento. Es la máxima resistencia medida de un ensayo de concreto cargado axialmente a los 28 días. Esta propiedad depende del tipo de mezcla, propiedades de los materiales y el tiempo.
- **Resistencia a la tensión:** se determina a partir de un ensayo de tensión indirecta. Es un porcentaje de la resistencia a compresión.
- **Trabajabilidad:** es la facilidad de colocación, consolidación y moldeo de una mezcla de concreto. Es el grado de resistencia a la segregación de sus componentes.
- **Uniformidad:** es la capacidad que tiene el concreto de mantener sus características mecánicas, físicas y químicas en estado fresco y endurecido.

La compactación de partículas mediante vibración mecánica sirve para expulsar el aire atrapado y los vacíos generados durante la colocación.

Las propiedades del concreto se modifican mediante la adición de aditivos. Los aditivos utilizados son retardantes o acelerantes de fraguado, superplastificantes, reductores de agua entre otros.

3.2.2. Cemento

El material cementante que se utiliza es el cemento hidráulico. Este tipo de cemento fragua y endurece por medio de una reacción con agua. El material cementante tiene las

propiedades de adhesión necesaria para unir los agregados y formar un compuesto de alta resistencia y durabilidad.

3.2.3. Agregados

Los agregados ocupan la gran mayoría del volumen de la mezcla de concreto. Los agregados para concreto deben llenar la mayor cantidad de vacíos y ser unidos mediante el cemento. Una buena distribución granulométrica permite reducir la cantidad de vacíos y que se unan todos los materiales aumentando su resistencia.

Los agregados se clasifican por su tamaño:

- El agregado fino consiste en un conjunto de partículas de arena natural, de cantera o rocas trituradas.
- El agregado grueso es grava natural de río o pedrín triturado.

Los agregados deben tener gran resistencia, ser durables y no poseer impurezas. Las impurezas afectan las propiedades de adherencia y resistencia del concreto. Las propiedades del agregado afectan la durabilidad del concreto.

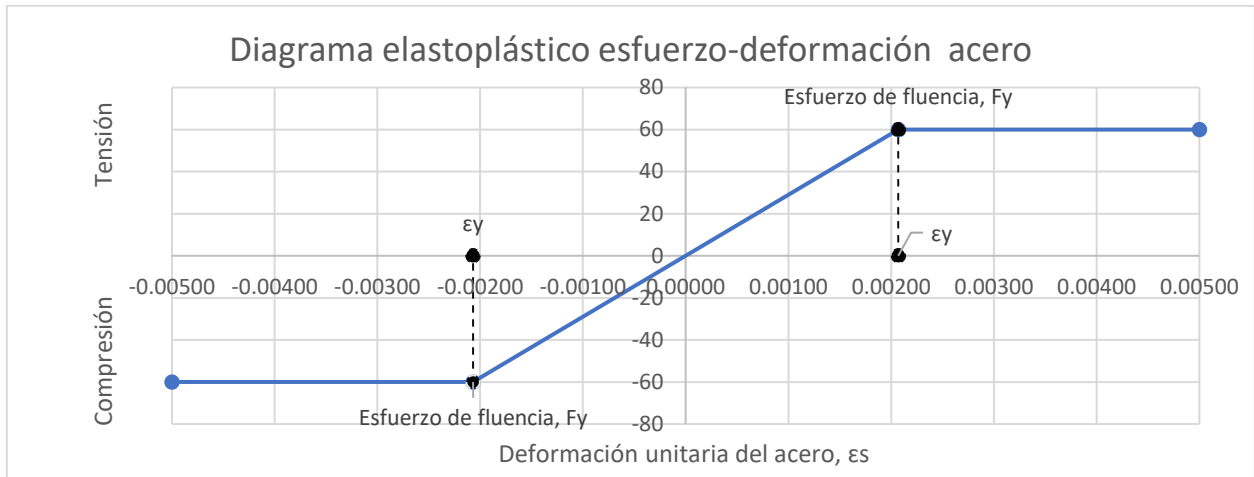
3.2.4. Perfil de acero estructural

En comparación con el concreto, el acero es un material homogéneo en toda su forma. Los perfiles de acero son la combinación de hierro con bajos porcentajes de carbono entre otros metales. El acero estructural es más del 98% de hierro en su composición. El carbono tiene un gran papel en las propiedades del acero. Al aumentar el porcentaje de carbono, la resistencia y dureza del material aumenta. Cuando se aumenta el porcentaje de carbono, el material se vuelve más frágil y afecta el trabajo de soldadura. Los perfiles de acero son muy utilizados para elementos estructurales y presentan un buen comportamiento a tensión como a compresión.

En el acero existen dos tipos de deformaciones, una elástica y una plástica. Cada una de las deformaciones ocurren antes y después del esfuerzo de fluencia. Cuando se realiza un ensayo de tensión en el acero, al principio el acero se deforma de manera proporcional a la carga aplicada. Esta proporcionalidad es el módulo de elasticidad, para el acero equivale a un valor de 29 000 ksi. En el momento que el elemento presente una

gran deformación sin aumento de la carga es conocido como esfuerzo de fluencia, F_y . Este comportamiento se presenta de igual manera en compresión. En la siguiente gráfica se presenta dicho comportamiento.

Gráfica 1: Curva elastoplástica esfuerzo-deformación acero A655 grado 60

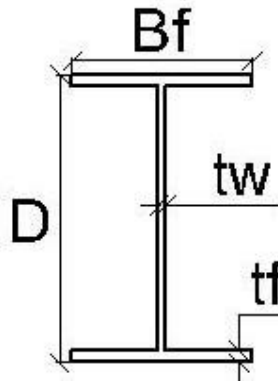


Fuente: Wight y MacGregor (2009)

La ventaja de utilizar acero estructural es por su gran comportamiento dúctil. La ductilidad es la capacidad que tiene un material de sufrir grandes deformaciones plásticas previo a la ruptura. El acero tiene gran capacidad de absorber energía de deformación antes que se presente la ruptura del material. Esta capacidad es conocida como tenacidad. A pesar de ser un material dúctil, de acuerdo con McCormac y Csernak (2012), por cuestiones de bajas temperaturas, velocidad de carga, fatiga, tipo de conexiones entre otras, el acero puede presentar ruptura sin deformación, una falla frágil.

De los diferentes tipos de aceros utilizados para perfiles estructurales, para los perfiles W el acero más común en el mercado es el ASTM A992 con un esfuerzo de fluencia $F_y = 50\text{ksi}$. Este tipo de acero es de alta resistencia y para el uso de elementos estructurales. El acero A992 es el utilizado en los diagramas de interacción.

Ilustración 6: Dimensiones perfil W



Fuente: elaboración propia (2018)

3.2.5. Varillas de refuerzo longitudinal

El concreto tiene baja resistencia a la tensión. La función del refuerzo longitudinal es resistir los esfuerzos de tensión que no es capaz de soportar el concreto. Las varillas de refuerzo longitudinal también son capaces de soportar esfuerzos de compresión. El refuerzo longitudinal utilizado para vigas, losas, cimentaciones y columnas tiene deformaciones en su superficie. Las deformaciones en la superficie de las varillas aumentan la adherencia entre el concreto y las varillas. Entre las varillas de refuerzo y el concreto no debe existir deslizamiento. Esta suposición es utilizada en el diseño de elementos estructurales. Wight y MacGregor (2009). Gracias a la adherencia mecánica, rugosidad o imperfecciones, y la adherencia química entre ambos materiales se puede asumir con certeza que no existe deslizamiento.

En el armado de varillas de refuerzo longitudinal se tiene que cumplir con los requerimientos de código. Las varillas de refuerzo longitudinal deben tener un recubrimiento mínimo. El recubrimiento de las varillas sirve para que tengan adecuada protección contra fuego y corrosión. Un adecuado recubrimiento mantiene a las varillas íntegras y funcionales.

El refuerzo longitudinal se clasifica en base al grado del acero. El número de grado indica el esfuerzo de fluencia. La resistencia del acero depende del grado. A mayor resistencia en las varillas, el material contiene más carbono lo que lo vuelve más frágil.

Se asume que el acero tiene el mismo esfuerzo de fluencia en tensión como en compresión. (Ver gráfica 1).

Las varillas de refuerzo longitudinal se clasifican en base a la siguiente tabla:

Tabla 1: Datos varillas de refuerzo longitudinal

Número de Varilla	Diámetro [pulg]	Área [pulg ²]
5	0.625	0.31
6	0.750	0.44
7	0.875	0.60
8	1.000	0.79
9	1.128	1.00
10	1.27	1.27
11	1.410	1.56
14	1.693	2.25
18	2.257	4.00

Fuente: Wight y MacGregor (2009)

3.2.6. Varillas de refuerzo transversal [estribos y zunchos]

Son aquellas varillas que trabajan principalmente a tensión para resistir la fuerza corte que se presenta en la sección. Las varillas de refuerzo transversal tienen la función de evitar el agrietamiento en el concreto. Estos dos tipos de refuerzo son utilizados para mantener a las varillas de refuerzo longitudinal durante el armado. Las varillas de refuerzo transversal ayudan a evitar que ocurra pandeo en las varillas de refuerzo longitudinal. Las varillas que se utilizan para realizar los estribos son #3 para varillas longitudinales menores a #10 y varilla #4 para varillas longitudinales #11 y mayores. Los zunchos proporcionan mayor ductilidad a la columna. Los zunchos se pueden utilizar en columnas rectangulares y circulares. El refuerzo transversal sirve para confinar el núcleo de concreto.

3.3. Método de análisis columnas compuestas

De acuerdo con AISC (2010), las cargas y momentos nominales que resiste una sección de perfil de acero embebido en concreto reforzado se calculan en base a los siguientes métodos:

- Compatibilidad de deformaciones
- Distribución de esfuerzos plásticos

En este trabajo de graduación se utilizó únicamente la distribución de esfuerzos plásticos.

La distribución de esfuerzos plásticos se deriva del método de compatibilidad de deformaciones. El método de distribución de esfuerzos plásticos consiste en que:

- Existe una distribución lineal de deformaciones.
- El perfil W y las varillas de refuerzo longitudinal tienen un comportamiento elastoplástico. (Ver gráfica 1).
- El perfil de acero y las varillas de refuerzo longitudinal han alcanzado su esfuerzo de fluencia mínimo respectivo.
- El acero tiene una deformación unitaria mayor a su deformación de fluencia, ϵ_y .
- El concreto a compresión ha alcanzado un esfuerzo equivalente al 0.85 de f'_c .
- El concreto a alcanzado una deformación unitaria equivalente a 0.003 en la fibra más alejada del área a compresión.

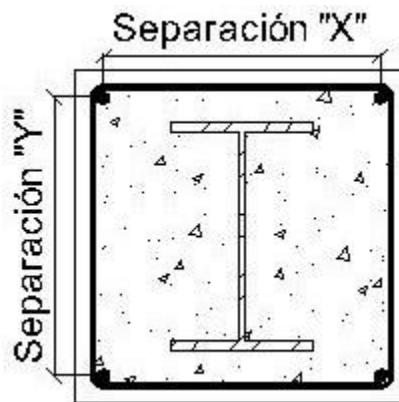
3.4. Limitaciones y requerimientos de código

En el capítulo y comentario "I" de AISC (2010) se encuentran los siguientes requerimientos a utilizar en la construcción de columnas compuestas.

- El porcentaje de área del perfil W en base al área gruesa de la sección debe ser mayor al 1.00%. AISC (2010). En caso de que el porcentaje de área sea menor, la columna debe ser diseñada como una columna de concreto reforzado.
- El porcentaje de área del perfil W en base al área gruesa de la sección debe ser menor al 12% por limitaciones en el espacio de la sección.

- La sección compuesta debe tener varillas de refuerzo longitudinal y varillas de refuerzo transversal. Las varillas de refuerzo longitudinal deben ser continuas en toda la longitud de la columna y estar correctamente ancladas para ser consideradas en el análisis de la sección.
- La cuantía de refuerzo longitudinal debe ser mayor al 0.40%. AISC (2010). Se debe colocar como mínimo cuatro varillas en secciones rectangulares o cuadradas. El valor máximo de cuantía es del 8%.
- La separación mínima entre el perfil W y las varillas de refuerzo longitudinal tiene que ser como mínimo 1.50 veces el diámetro de la varilla de refuerzo y no menor a 1.50 pulgadas.
- El concreto debe tener una resistencia a la compresión mínima de 3.00 ksi y un máximo de 10.00 ksi. Esta limitación aplica para concreto de peso normal.
- El esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo longitudinal tiene que ser máximo 75.00 ksi y mínimo 40.00 ksi.
- El refuerzo transversal debe ser de gancho cerrado en caso de columnas rectangulares. El gancho cerrado se utiliza para que las varillas longitudinales se mantengan en su lugar durante la fundición. En el caso de columnas circulares se debe utilizar estribos en forma de espirales helicoidales.

Ilustración 7: Separación de varillas en cada eje ejemplo sección rectangular cuatro varillas



Fuente: elaboración propia (2018)

3.5. Columnas compuestas

Los esfuerzos a los que está sometida una columna de sección compuesta de perfil de acero embebido en concreto reforzado son tensión y compresión debido a carga axial y momento flector.

En los siguientes párrafos se resumirá el comportamiento de columnas de concreto reforzado y de acero estructural. Posteriormente se compararán ambas columnas con el comportamiento de las columnas compuestas.

Para momento y fuerza axial, existe un factor de reducción utilizando el diseño por cargas últimas LRFD (Load and Resistance Factor Design) y factor para cargas admisibles ASD (Allowable Stress Design). Estos factores se utilizan ante las incertidumbres que existen en la calidad de materiales y en el cálculo de demandas. El objetivo es que la capacidad del elemento reducida debe ser mayor que la demanda incrementada. En el presente trabajo se incluye únicamente los factores que reducen la capacidad del elemento.

Tabla 2: Factores de reducción de capacidad LRFD y ASD

	LRFD	ASD
Compresión	$\phi_c = 0.75$	$\Omega_c = 2.00$
Tensión	$\phi_t = 0.90$	$\Omega_t = 1.67$
Flexión	$\phi_b = 0.90$	$\Omega_b = 1.67$

Fuente: AISC (2010).

AISC (2010) en el capítulo “I” menciona que no se deben considerar los factores de reducción de concreto reforzado de ACI (2014).

3.5.1. Compresión

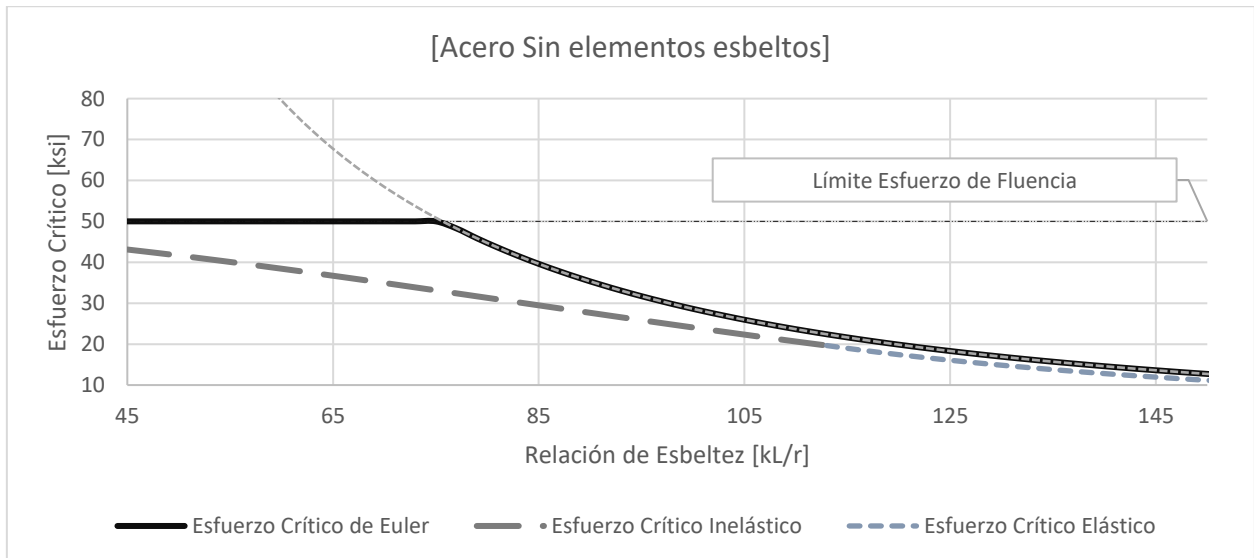
En primera instancia para entender el comportamiento de una columna es necesario definir el concepto de pandeo y esbeltez. El pandeo se define como una falla por inestabilidad. Una columna es estable si es capaz de regresar a su posición original después de haber sido sometida a esfuerzos. Cuando la columna no es capaz de regresar a su posición original se produce una deformación lateral. La esbeltez se define

como que tan grande es la sección de un elemento comparado con su longitud. Un elemento muy esbelto tiende a pandearse más fácilmente. El parámetro de esbeltez se determina en base a sus dimensiones de sección y el largo de la columna.

McCormac y Csernak (2011) establecen que una columna de concreto reforzado se clasifica en columna corta o esbelta. Una columna corta se ve limitada en base a su geometría y los materiales, mientras que una columna esbelta se ve limitada por las deformaciones laterales que puede presentar. Cuando en una columna se aumenta su longitud, es posible que se presente una falla por pandeo. Cuando se tiene una columna esbelta, se amplifican momentos y factores para posteriormente diseñar la columna esbelta como una columna corta.

El pandeo por flexión de un perfil W sometido a compresión se comporta de la siguiente manera:

Gráfica 2: Esfuerzo crítico a compresión en función de KL/r



Fuente: AISC (2010)

Una columna de acero se clasifica en esbelta o no esbelta. La clasificación de perfil esbelta o no esbelta se realiza en base a su relación de espesores del alma y patín con la altura y base del perfil.

En la gráfica anterior se encuentra el pandeo por flexión en una columna sin elementos esbeltos. El esfuerzo crítico de Euler se ve limitado por el esfuerzo de fluencia del material. La línea punteada muestra el complemento de la curva de Euler. Las curvas de esfuerzo crítico inelástico y elástico son una aproximación al esfuerzo crítico de Euler. La razón de esta aproximación es porque existe una pérdida por esfuerzos residuales. El punto donde existe cambio de esfuerzo elástico a inelástico es un punto de inflexión.

Una columna con elementos esbeltos es aquella que es susceptible a una falla por pandeo local. Cuando se tiene sección con elementos esbeltos, se modifica la forma en que se calcula el esfuerzo crítico de Euler. Los estados límites que aplican para un perfil de acero sin elementos esbeltos es pandeo flexionante y pandeo torsional. En el caso que exista un perfil con elementos esbeltos aplica el pandeo local aparte del pandeo flexionante y pandeo torsional.

Una columna compuesta no soporta únicamente carga axial, la utilización de refuerzo longitudinal y acero sirve para resistir los momentos flexionantes que se presenten. Los momentos que se puedan presentar en la columna producen esfuerzos de tensión en la columna. La función del acero es resistir la tensión que no es capaz el concreto. Al utilizar la combinación de estos materiales se pueden presentar secciones más pequeñas para longitudes mayores. A pesar de esto, la contribución de cada material para la resistencia a la compresión global de la columna es difícil de calcular.

En una sección compuesta de un perfil W embebido en concreto reforzado no se clasifica como esbelta o no esbelta. En una columna de perfil W embebido en concreto reforzado el pandeo local y otras condiciones de falla son restringidas. El pandeo local y el pandeo por torsión en el perfil W no se consideran. Experimentos realizados han demostrado que se reduce la posibilidad que ocurra estos estados de falla. AISC (2010). El concreto se encarga de envolver o arriostrar el perfil W evitando que el alma o los patines se pandeen. El mismo comportamiento ocurre con las varillas de refuerzo longitudinal. Con la ayuda del concreto y los estribos se evita que las varillas de refuerzo se pandeen cuando están a compresión.

Para los perfiles W embebidos en concreto reforzado existe un límite de carga axial en el que se restringen los efectos de esbeltez. El estado límite que se considera es el

pandeo flexionante de la sección compuesta. Este límite considera el aporte de todos los materiales, sus dimensiones, condiciones de apoyo y longitud.

En base al capítulo y comentario “I” de AISC (2010), para una columna compuesta doblemente simétrica la carga axial se calcula en base al siguiente procedimiento.

Para ello, se necesita determinar la carga crítica de Euler. de acuerdo con la siguiente ecuación:

Fórmula 1: Carga crítica de Euler sección compuesta

$$P_e = \frac{\pi^2 [EI_{eff}]}{[KL]^2} \quad (kip)$$

Donde:

- EI_{eff} es la rigidez efectiva de la sección compuesta, kip pulg².
- K es el factor de longitud efectiva.
- L es la longitud libre o entre apoyos de la columna, pulg.

El valor de EI_{eff} se calcula de la siguiente manera:

Fórmula 2: Rigidez efectiva sección compuesta

$$EI_{eff} = E_s I_s + 0.50 E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

El comportamiento de la sección depende de su rigidez. La rigidez utilizada se reduce debido a que se utiliza la mezcla de tres materiales. Las razones son que el módulo de elasticidad del concreto se modifica con el tiempo. El concreto no es una mezcla homogénea como el acero. Utilizar la rigidez inicial del acero es conservativa, mientras que en el concreto debe ser menor a la rigidez inicial debido a que el concreto se agrieta en la parte de tensión.

Donde:

- C_1 es el coeficiente de rigidez efectiva. Este valor considera el acortamiento y agrietamiento del concreto.

- E_c es el módulo de elasticidad del concreto equivalente a: $E_c = 57.10\sqrt{f'_c}$ (ksi). Para concreto de peso normal. El valor de f'_c se ingresa en psi.
- E_s es el módulo de elasticidad del acero 29 000 ksi.
- I_c es la inercia o segundo momento de área de la sección de concreto, es equivalente a la inercia gruesa menos la inercia del perfil y de las varillas de acero, pulg⁴.
- I_s es la inercia o segundo momento de área del perfil de acero respecto a los ejes centroidales "X" y "Y", pulg⁴.
- I_{sr} es la inercia o segundo momento de área de las varillas de acero de refuerzo longitudinal respecto a los ejes centroidales "X" y "Y", pulg⁴.

El valor de C_1 se calcula de la siguiente manera:

Fórmula 3: Coeficiente de rigidez efectiva sección compuesta

$$C_1 = 0.10 + 2 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] \leq 0.30$$

Donde:

- A_c es el área de concreto. Es igual al área gruesa menos el área del perfil y de las varillas, pulg².
- A_s es el área del perfil de acero, pulg².

Posteriormente a calcular la carga crítica de Euler, se determina la carga nominal de la sección compuesta:

Fórmula 4: Carga compresión sección compuesta sin efectos de esbeltez

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f'_c A_c \quad (kip)$$

Esta carga nominal se utilizaría en el caso en que los efectos de esbeltez no fueran considerados.

Donde:

- f'_c es el esfuerzo a compresión del concreto, ksi.

- A_c es el área de concreto. Es igual al área gruesa menos el área del perfil y de las varillas, pulg².
- A_s es el área del perfil de acero, pulg².
- A_{sr} es el área de las varillas de refuerzo longitudinal de acero, pulg².
- F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo del perfil de acero, ksi.
- F_{ysr} es el esfuerzo de fluencia mínimo de las varillas de refuerzo longitudinal de acero, ksi.

La carga de diseño a compresión es equivalente uno de los siguientes casos:

a. Cuando

$$P_{no}/P_e \leq 2.25$$

Entonces,

Fórmula 5: Carga nominal pandeo-inelástica sección compuesta

$$P_n = P_{no}[0.658^{P_{no}/P_e}]$$

b. Cuando

$$P_{no}/P_e > 2.25$$

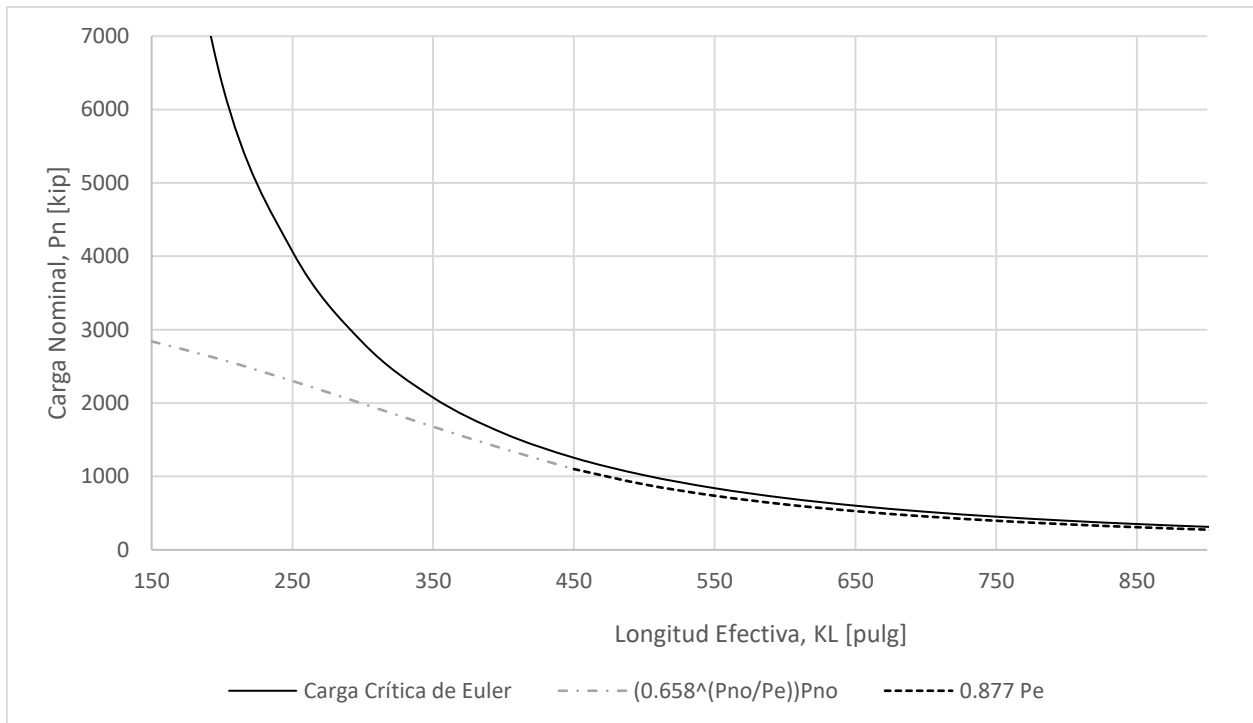
Entonces

Fórmula 6: Carga nominal pandeo-elástica sección compuesta

$$P_n = 0.877 P_e$$

La carga nominal en función de la longitud efectiva se representa de la siguiente manera:

Gráfica 3: Carga nominal sección compuesta en función de la longitud efectiva, KL



Fuente: AISC (2010)

Factor de longitud efectiva

El factor de longitud efectiva, K, es aquel que se multiplica por la longitud de la columna para pasar de cualquier condición de apoyos presentes a una condición de columna con apoyos articulados. En otras palabras, es la proporción de una columna con cualquier condición de apoyos que se comporta como una columna con apoyos articulados. La razón de modificar la longitud de la columna es porque la deducción de las fórmulas de Euler se basa en elementos con extremos que pueden girar, articulados.

AISC (2010) en el apéndice siete incluye dos formas de determinar el factor de longitud efectiva de un elemento sometido a compresión. Esta sección es aplicable para columnas de cualquier perfil de acero estructural y para construcción compuesta.

Para determinar el factor K, una columna se clasifica de la siguiente manera:

1. Como una sola columna
2. Una columna que forma parte de un marco a momento con ladeo restringido
3. Una columna que forma parte de un marco a momento con ladeo.

En el caso que la columna actúe como una sola, el factor K depende de las condiciones de apoyo. Los apoyos considerados son empotramientos y articulaciones. En ambos casos se considera si la traslación es permitida o no.

Para los siguientes dos casos, se tiene que determinar las siguientes relaciones de rigideces.

Fórmula 7: Relación de rigideces extremo “A” de una columna

$$G_A = \frac{\sum EI/L_{Columnas}}{\sum EI/L_{Vigas}}$$

Fórmula 8: Relación de rigideces extremo “B” de una columna

$$G_B = \frac{\sum EI/L_{Columnas}}{\sum EI/L_{Vigas}}$$

Donde:

A es un subíndice que indica un extremo de la columna y B es un subíndice que indica el otro extremo de la columna.

EI/L es la rigidez de cada columna y viga que llegan al extremo A y B de la columna sin incluir la propia columna analizada dividido entre la longitud de cada elemento. La inercia corresponde al eje de flexión. La longitud es aquella que no considera el espacio de los nodos. Las vigas que se incluyen en el análisis deben estar en el mismo plano que se analiza la columna.

Con los valores de G_A y G_B se utilizan los nomogramas para marcos con ladeo y con ladeo restringido. Los nomogramas utilizados se encuentran en el comentario del apéndice siete de AISC (2010). Las figuras son C-A-7.1 y C-A-7.10.

3.5.2. Tensión

En el esfuerzo a tensión se asume que el concreto tiene poca resistencia a tensión y que ya se ha fisurado por lo que se puede desprestigiar su aporte. El aporte del concreto a tensión no se considera. Incluso, antes que el concreto se encuentre fisurado, los esfuerzos de tensión que resiste son de muy baja magnitud. AISC (2010) menciona que, para soportar esfuerzo de tensión, los materiales que trabajan son las varillas de refuerzo longitudinal y el perfil de acero. El perfil de acero es un elemento muy resistente a tensión. A partir de estas condiciones la carga nominal es equivalente a:

Fórmula 9: Carga nominal a tensión sección compuesta

$$P_n = F_y A_s + F_{y_{sr}} A_{sr}$$

En estos cálculos el perfil de acero y las varillas de refuerzo longitudinal han alcanzado su esfuerzo mínimo de fluencia respectivamente. La resistencia a tensión de una sección compuesta se determina únicamente a partir de la contribución de los materiales de acero. En una columna sometida a tensión no es posible que exista una falla por pandeo.

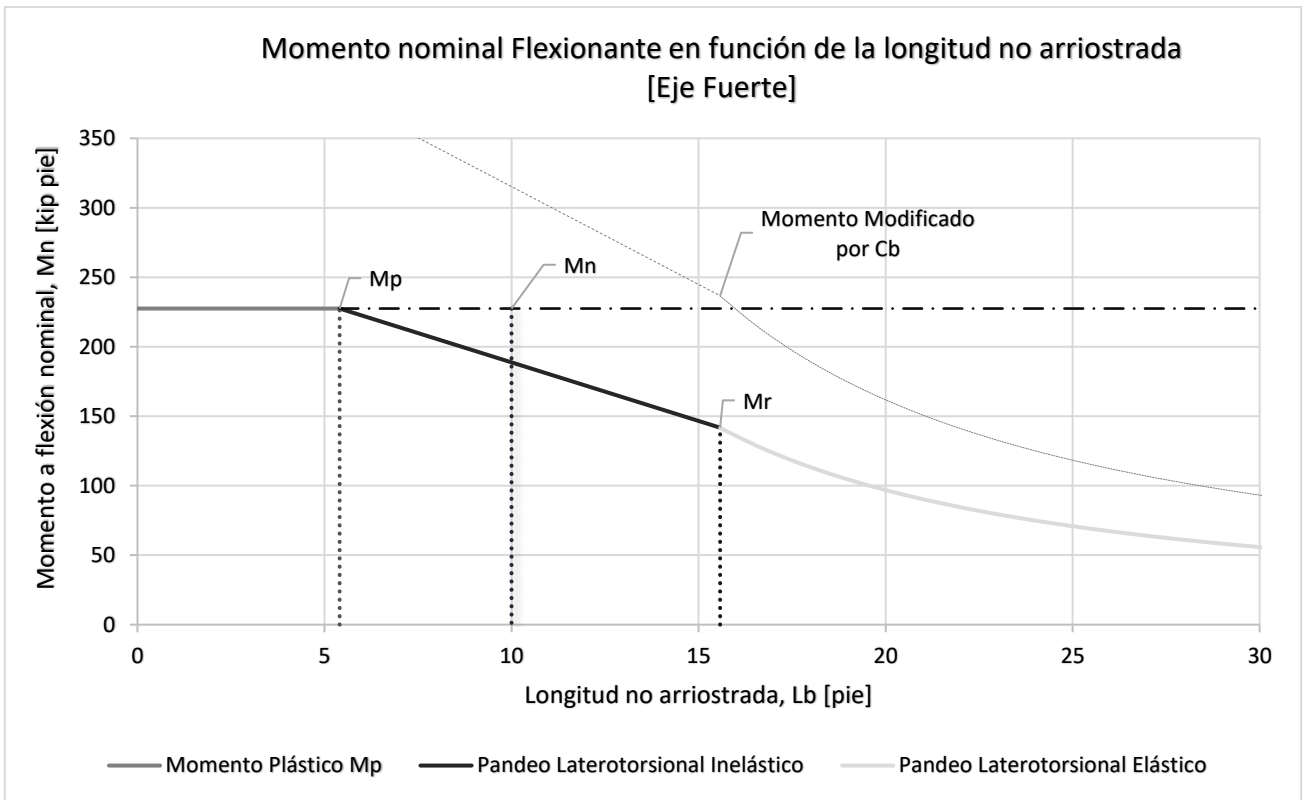
Los materiales de varillas de refuerzo longitudinal y el perfil W tienen un comportamiento dúctil. (Ver gráfica 1).

3.5.3. Flexión

En un elemento cargado de forma perpendicular a su eje longitudinal se generan fuerzas internas de dos tipos. El primer tipo es el momento par que se genera por compresión y tensión en dirección perpendicular a la sección. El otro tipo es transversal a la sección, este es conocido como fuerza cortante.

En el capítulo y comentario “F”, AISC (2010) establece que existen tres comportamientos de un elemento a flexión, en este caso un perfil W. El momento nominal a flexión depende de las variables de longitud no arriostrada (L_b), el factor de amplificación (C_b) y el límite de momento plástico (M_p). El comportamiento para el eje fuerte se representa en la siguiente gráfica:

Gráfica 4: Momento nominal en función de Lb. [acero]



Fuente: AISC (2010)

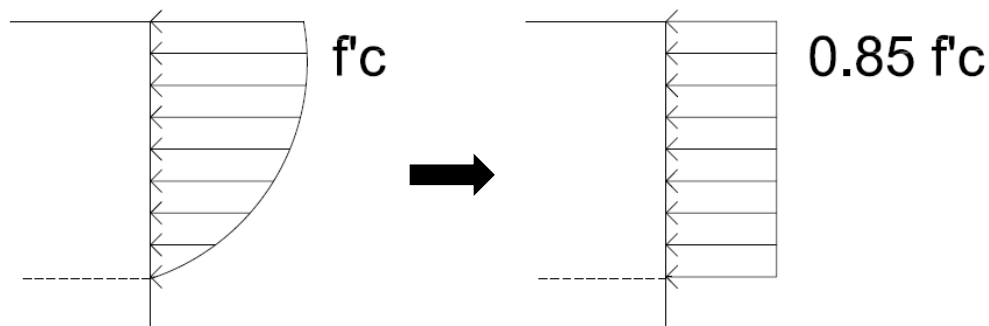
AISC (2010) clasifica los patines y el alma de un perfil W sometido a flexión en compacto, no compacto y esbelto.

Cuando el alma y los patines de un perfil W son compactos los estados límites que aplican son fluencia y pandeo laterotorsional. El patín es un elemento sometido a compresión pura, como si fueran columnas. Cuando el patín se pandea ocurre flexión lateral y torsión en la viga. Cuando el perfil W cuenta con patines esbeltos o no compactos el estado límite que aplica aparte de fluencia y pandeo laterotorsional es el pandeo local en el patín a compresión. Segui (2012). Los estados mencionados anteriormente corresponden cuando la flexión es en el eje fuerte. Cuando la flexión ocurre alrededor del eje débil los estados límites que aplican son fluencia y pandeo local en los patines.

En el caso de flexión en un elemento de concreto reforzado, el concreto es el material que se asume que trabaja únicamente a compresión. La parte a tensión se ha fisurado y

es el refuerzo longitudinal es el que absorbe toda la carga a tensión. Se asume que existe una adherencia perfecta entre el refuerzo y el concreto. El esfuerzo a compresión que resiste el concreto es una distribución en forma de parábola. Este tipo de distribución es difícil de calcular. De acuerdo con Whitney esta distribución se puede sustituir por otra con una forma geométrica simple. Este bloque a compresión tiene la misma área que se encuentra debajo de la distribución no lineal. El centro de gravedad del bloque equivalente y la curva son aproximadamente el mismo. Wight y MacGregor (2009) en su libro indica que al multiplicar el esfuerzo de f'_c por un valor constante equivalente a 0.85 se sustituye la distribución no lineal por una distribución equivalente de esfuerzos. (Ver ilustración 8). Este valor es válido a una deformación máxima de 0.003 en la fibra más alejada a compresión.

Ilustración 8: Distribución de esfuerzos equivalente concreto



Fuente: elaboración propia (2018)

El momento a flexión nominal de la sección compuesta se calcula a partir de la distribución de esfuerzos plásticos. En este caso se incluye la contribución de todos los materiales. Este comportamiento indica que las varillas de refuerzo longitudinal y el perfil de acero han alcanzado su respectivo valor de fluencia a tensión y compresión. El concreto ha alcanzado el 0.85 del esfuerzo de compresión únicamente.

Cuando un elemento de sección compuesta es sometido a un momento flector se tiene la suposición que las secciones se mantienen planas antes y después de la aplicación del momento. Esta suposición implica que la deformación unitaria es proporcional a la distancia del punto de análisis al eje neutro. Las suposiciones antes mencionadas son utilizadas para elementos perfil de acero y concreto reforzado sometidos a flexión cuando

actúan por separado. Otra suposición que se tiene presente es que existe buena adherencia entre los materiales, por lo que no existe deslizamiento entre ellos. Wight y MacGregor (2009).

En el caso de una sección compuesta, el concreto proporciona un arriostramiento a lo largo de toda la longitud del perfil evitando que exista la posibilidad que ocurra el pandeo laterotorsional en el perfil y pandeo local. AISC (2010). En la parte donde el concreto se ha fisurado, las varillas de refuerzo longitudinal y el perfil W se encuentran a tensión. Aunque no haya arriostramiento, es imposible que exista cualquiera de los anteriores estados de falla. No existen limitaciones acerca de elementos esbeltos. El único estado aplicable para una sección compuesta es fluencia. El factor de pandeo laterotorsional (C_b), que amplifica el momento no uniforme es equivalente a uno, por lo que no hay amplificación de momento. Como resultado solo se puede utilizar el momento plástico.

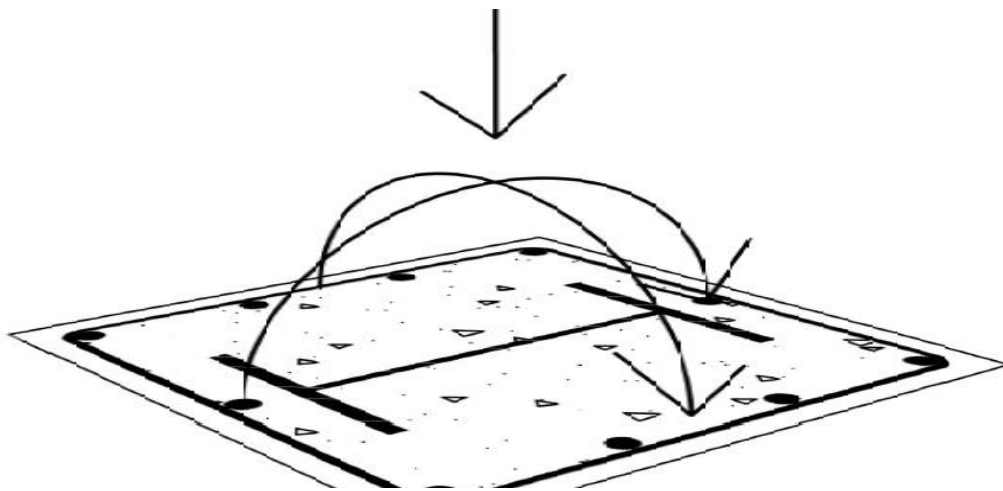
3.5.4. Cortante

AISC (2010) indica que se debe determinar la resistencia al corte utilizando el aporte del perfil W de acero o el aporte del concreto reforzado. En este documento no se abarcará el tema de cortante en columnas compuestas.

3.5.5. Flexo-compresión

Una columna que forma parte de un marco a momento recibe momentos que se transmiten de las vigas o de columnas superiores. Estos momentos se transmiten por cargas gravitacionales u horizontales. Además, existe excentricidad debido a que una columna no se encuentra cargada directamente sobre su eje centroidal. Una columna cuando se encuentra cargada con momentos flectores produce tensión en la sección. La flexo-compresión se puede presentar en un eje o en ambos ejes principales. Generalmente cuando una columna tiene flexión en un eje es en el eje fuerte. La flexo-compresión biaxial generalmente se presenta en columnas de esquina o de aquellas que forman parte de dos marcos a momentos.

Ilustración 9: Flexo-compresión biaxial sección compuesta



Fuente: elaboración propia (2018)

La flexo-tensión ocurre en un elemento cuando la carga axial busca alargar su longitud y existen momentos presentes. Cuando se presenta la flexo-tensión se modifica la dirección en que se aplica la carga axial. En caso de que, se presente flexo-tensión en una columna compuesta, únicamente las varillas de refuerzo y el perfil W resisten los

esfuerzos de tensión. La flexo-tensión ocurre en una columna generalmente cuando se aplica una carga horizontal muy grande en la estructura.

3.6. Diagrama de interacción

Cuando una columna se encuentra a combinación de momento y carga axial, es necesario utilizar los diagramas de interacción. Un diagrama de interacción es un mecanismo de resistencia que se obtiene al colocar el eje neutro en distintas posiciones. El diagrama de interacción relaciona la capacidad a momento y la capacidad axial para un eje neutro dado. Los diagramas de interacción muestran la transición de fuerza axial a momento flector. En ellos se define la carga y momento de diseño para una sección establecida. Los diagramas de interacción se determinan a partir de la compatibilidad de deformaciones, distribución de esfuerzos plásticos y las ecuaciones del capítulo “H” de AISC (2010).

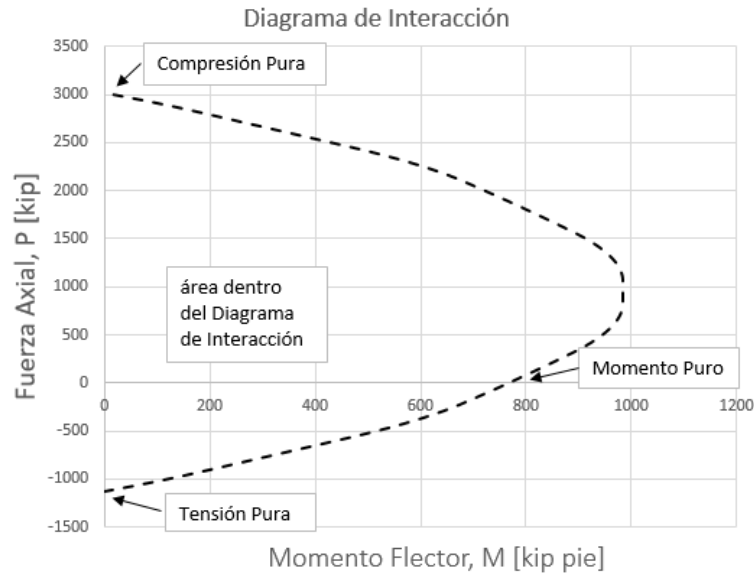
Para columnas con perfil W de acero embebido en concreto reforzado AISC (2010) menciona que se puede determinar la combinación de fuerza axial/momento en base al método de distribución de esfuerzos plásticos. Esta metodología considera los efectos de pandeo y flexión. Este método es aplicable únicamente para secciones doblemente simétricas.

Partes del diagrama de interacción:

- **Área dentro de la curva:** las combinaciones de carga que se encuentren dentro de la curva del diagrama de interacción demuestran que la sección resistirá esa combinación de cargas. Si las combinaciones de momentos y carga últimos se encuentran fuera de la curva significa que la sección no es adecuada.
- **Compresión pura:** se ve limitada por la carga máxima considerando los efectos de esbeltez en la columna.
- **Tensión pura:** en esta parte se considera únicamente la contribución del perfil W y las varillas de refuerzo longitudinal.
- **Momento plástico:** este comportamiento ocurre cuando las fuerzas a compresión y tensión se encuentran en equilibrio. El momento plástico ocurre cuando se plastifican todas las fibras de la sección.

En la siguiente ilustración se representan las partes del diagrama de interacción:

Ilustración 10: Partes del diagrama de interacción



Fuente: elaboración propia (2018)

Para determinar si la sección escogida es adecuada para las demandas de cargas presentadas se utilizan las siguientes ecuaciones:

Fórmula 10: Relación demanda/capacidad en base a la condición 1

Cuando $P_r < P_c$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1$$

Fórmula 11: Relación demanda/capacidad en base a la condición 2

Cuando $P_r \geq P_c$

$$\frac{P_r - P_c}{P_A - P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1$$

Las fórmulas anteriores corresponden al método: 2 “Curvas diagrama de interacción a partir de la distribución de esfuerzos plásticos”. AISC (2010). En este caso los ejes principales son “X” y “Y”. El valor de P_c es el mínimo obtenido a partir de ambos ejes

principales. La fórmula 10 y fórmula 11 corresponden a la C-I5-1a y C-I5-1b del comentario "I" de AISC (2010) respectivamente.

Donde:

- P_r es la carga axial aplicada o requerida en la columna
- P_C es la resistencia nominal axial en la columna en el punto C.
- M_{rx} es el momento flector aplicado o requerido en la columna respecto al eje "X"
- M_{Cx} es el momento flector nominal de la columna respecto al eje "X" en punto C
- M_{ry} es el momento flector aplicado o requerido en la columna respecto al eje "Y"
- M_{Cy} es el momento flector nominal de la columna respecto al eje "Y" en punto C

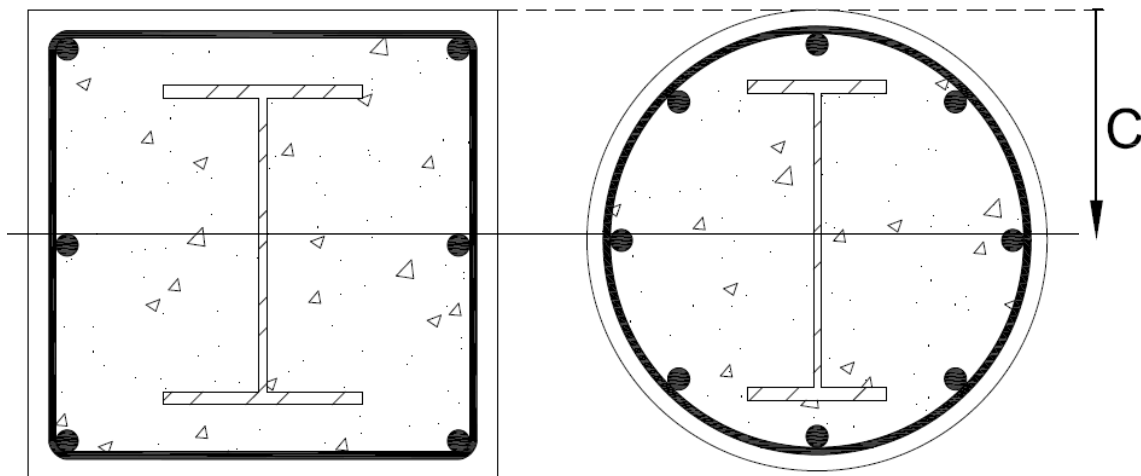
IV. MÉTODO

El procedimiento para realizar los diagramas de interacción consiste en colocar en varias posiciones un eje neutro paralelo al eje centroidal. La distancia medida desde la fibra más alejada a compresión hasta el eje neutro se define como valor de C . En cada posición del eje neutro, se debe obtener la fuerza axial (compresión y tensión) y el momento que producen las fuerzas alrededor del eje centroidal en "X" y en "Y". Para determinar la fuerza axial se multiplica el área de cada material por su respectivo esfuerzo de resistencia. La resistencia a compresión se reduce por la carga máxima considerando efectos de esbeltez. El área ubicada arriba del eje neutro produce fuerza a compresión y el área que se encuentra por debajo del eje neutro produce fuerza a tensión. La convención de signos a utilizar es que la fuerza axial a compresión es positiva y a tensión es negativa. La fuerza axial a tensión y compresión actúan en el centroide del área que esta abajo y arriba del eje neutro respectivamente. La ubicación del centroide de cada área se establece respecto al eje centroidal. El producto de la distancia y la fuerza axial es igual al momento flector. La fuerza axial a compresión arriba del eje centroidal produce momento en sentido antihorario. La fuerza axial a tensión abajo del centroidal produce momento en sentido antihorario. La convención utilizada es que los momentos en sentido antihorario son positivos y los momentos en sentido horario son negativos. La resultante de momento flector y fuerza axial para cada posición del eje neutro es lo que se gráfica como diagrama de interacción.

En el caso de columnas de sección compuesta es indispensable considerar el aporte de cada uno de los materiales. Cada material tiene diferente resistencia y comportamiento ante los esfuerzos aplicados. El área de concreto arriba del eje neutro se multiplica por su valor de resistencia a la compresión establecido por el rectángulo equivalente de Whitney. Para el área de concreto abajo del eje neutro no se considera su aporte debido a su despreciable resistencia a tensión. El área del perfil W y de las varillas de refuerzo longitudinal en la zona de compresión y de tensión tienen la misma magnitud, pero en signo contrario. (Ver gráfica 1). En el caso del perfil W se usan las dimensiones de peralte, ancho de patín, espesor de alma y espesor de patín despreciando el efecto de los filetes.

El valor de C varía desde la parte superior de la sección hasta la parte inferior. (Ver ilustración 11). La metodología propuesta por el autor establece una gran cantidad de valores de C o se pueden determinar como mínimo los cuatro puntos propuestos en el documento Design Examples. El valor de C cuando existe momento plástico se determina iterando hasta que el valor de carga axial sea igual a cero. Debido a que hay una variación de material a lo largo de la sección, se propone analizar los tres materiales por separado y sumar al final los efectos para cada valor de C . El procedimiento por utilizar es el mismo que se utiliza para determinar centroides y momentos de inercia de figuras complejas. El lector debería tener gran conocimiento de su aplicación y metodología.

Ilustración 11: Ubicación eje neutro variable sección rectangular y circular



Fuente: elaboración propia (2018)

Cada material se subdivide en figuras más simples. En el caso del concreto, se necesita dejar el espacio para colocar el perfil W y las varillas de refuerzo. El concreto se subdivide en cuatro áreas más simples para dejar los espacios requeridos. (Ver ilustración 13). El acero se subdivide en dos áreas más simples para dar la forma del perfil W . (Ver ilustración 14). Las varillas de refuerzo se dividen en filas dependiendo de la cantidad de varillas seleccionadas. En cada material, las áreas más simples se suman o restan dependiendo de lo que se necesite. La ventaja de utilizar figuras más simples es que no involucra utilizar tantas condiciones en el momento que exista un cambio de

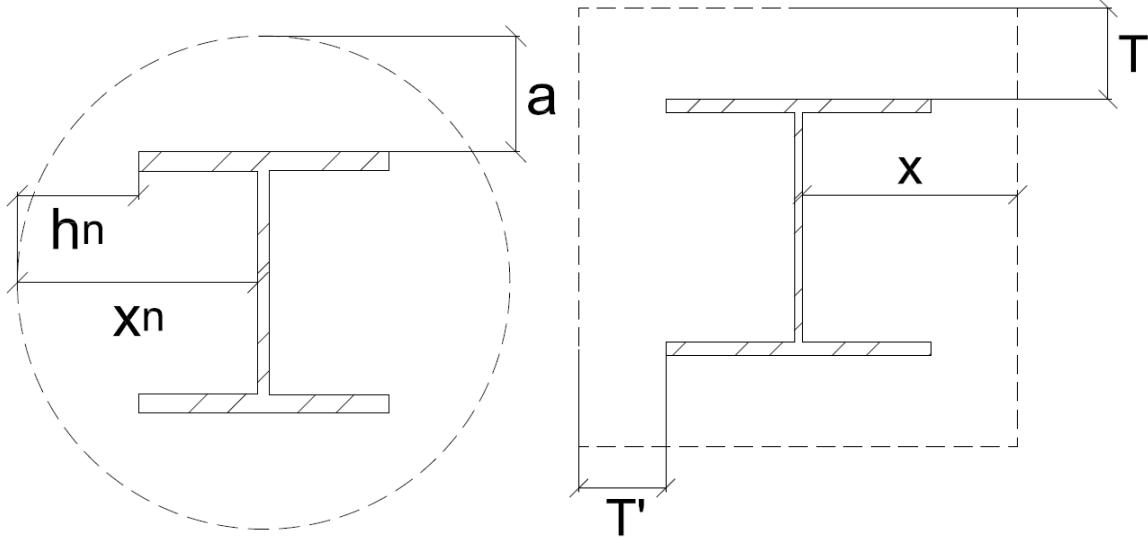
material. El procedimiento para determinar el centroide de cada figura más simple en función de C es más fácil que obtenerlo de la sección compuesta. Con la distancia al centroide local de la figura con respecto al eje centroidal global se puede multiplicar por la fuerza para obtener el momento. De la misma forma que se suma y resta el efecto de la fuerza axial, se realiza el mismo procedimiento para el momento flector.

Al graficar los puntos de carga axial y momento flector para cada ubicación del eje neutro, es necesario ingresar las cargas aplicadas en la sección. Para cada combinación de cargas aplicadas existe una combinación de cargas nominales. Las cargas aplicadas se tienen que graficar en el diagrama de interacción por medio de una recta con inicio en el origen. Los puntos donde se intersecta la recta y el diagrama de interacción se le conoce como carga y momento nominal. Al determinar los valores nominales de la sección para una determinada combinación de cargas aplicadas, se debe utilizar la fórmula 10 o fórmula 11 para determinar la relación demanda/capacidad de la columna.

Todo el método mencionado anteriormente es válido para sección circular y rectangular. El procedimiento es válido para el eje fuerte y eje débil.

Las siguientes ilustraciones sirven para realizar los diagramas de flujo. Son una representación global de lo que se desea realizar. Las siguientes distancias son utilizadas en las condiciones que se ingresan en Microsoft Excel.

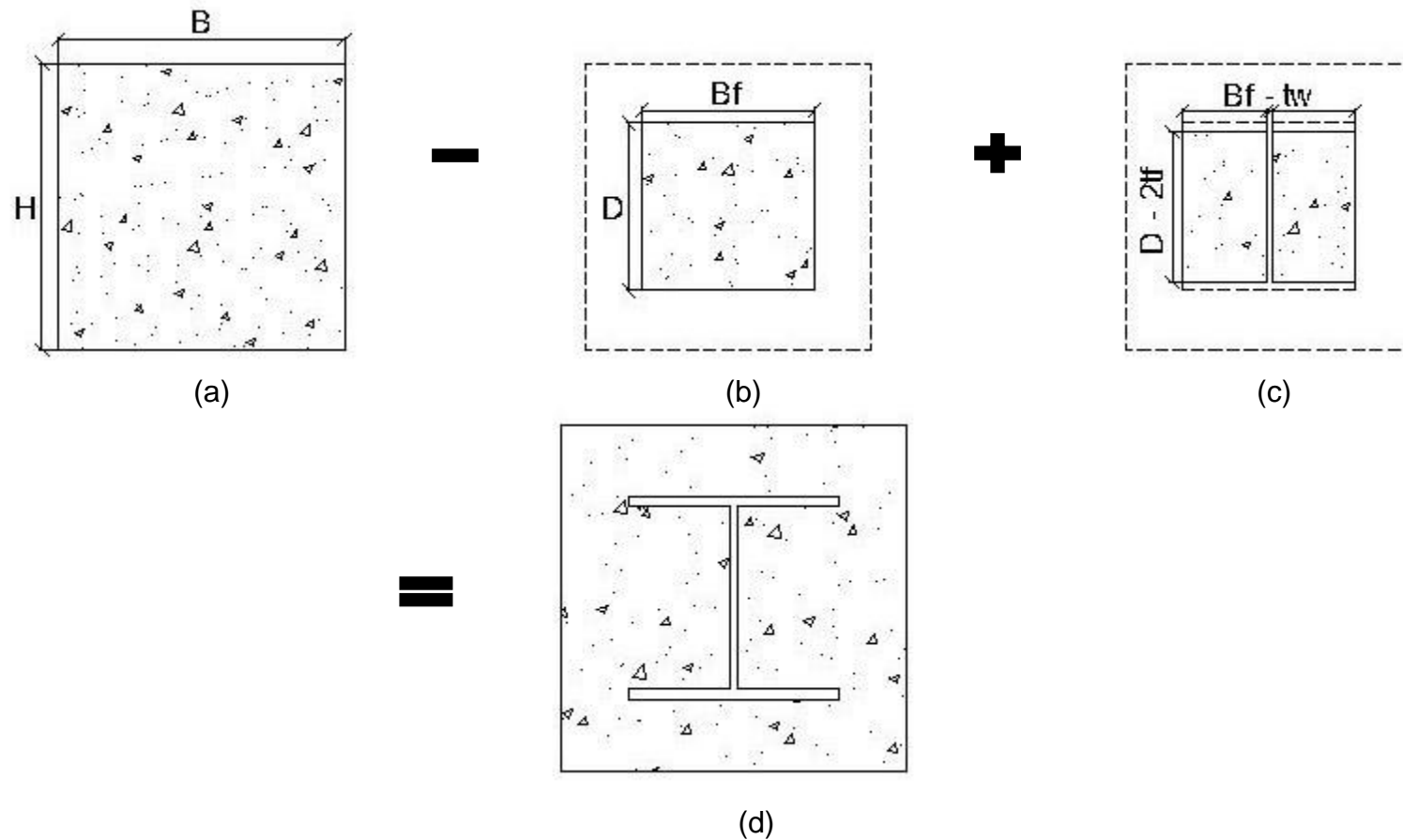
Ilustración 12: Distancias perfil W embebido en sección rectangular y circular



Fuente: elaboración propia (2018)

La siguiente ilustración representa la suma y resta de áreas para dejar el espacio para el perfil W en una sección rectangular. La ilustración (a) corresponde a la figura No. 1 de concreto, la ilustración (b) corresponde a la figura No. 2 de concreto y la ilustración (c) a la figura No. 3 de concreto. El resultado final es la figura (d).

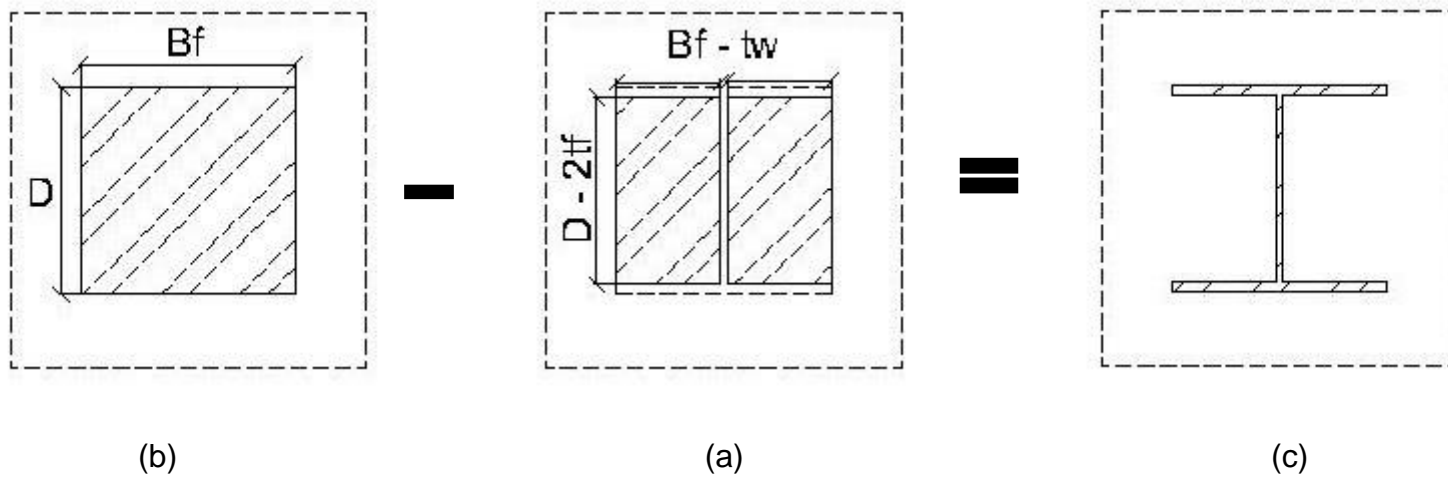
Ilustración 13: Suma y resta para espacio perfil W en sección rectangular concreto



Fuente: elaboración propia (2018)

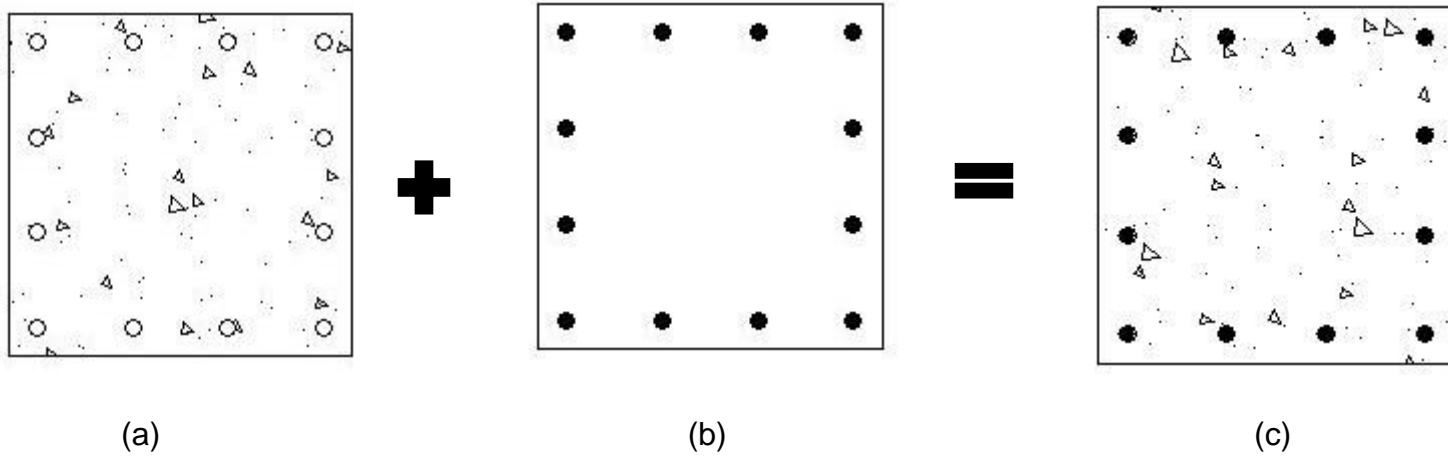
A continuación, se representa la resta de áreas para formar el perfil W de acero en una sección rectangular. La ilustración (a) corresponde a la figura No. 1 de acero y la ilustración (b) a la figura No. 2 de acero. El resultado final es la ilustración (c).

Ilustración 14: Suma y resta de áreas para formar perfil W sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 15: Espacio y colocación de varillas de refuerzo sección rectangular

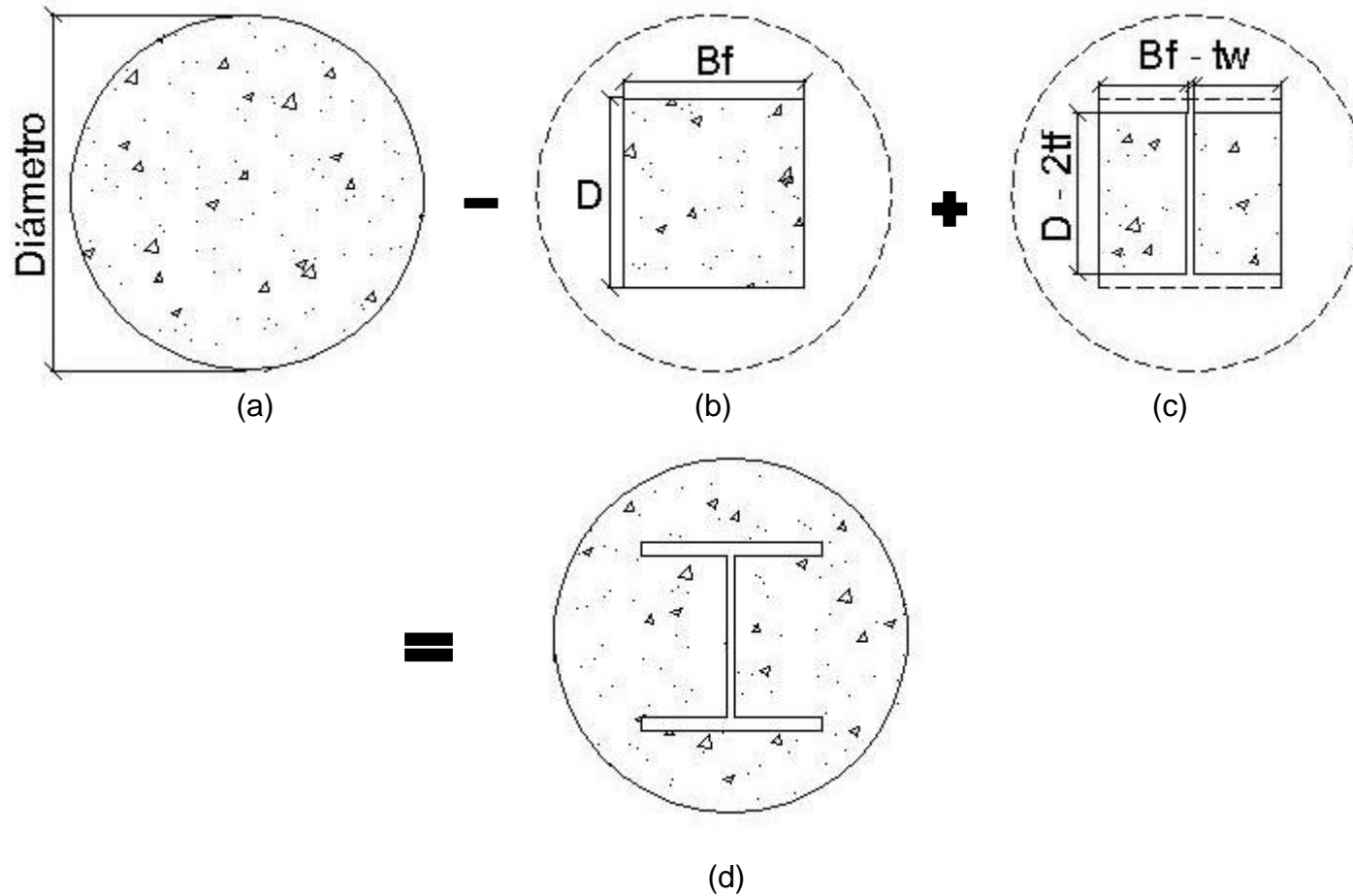


Fuente: elaboración propia (2018)

En la ilustración anterior, primero se debe restar y dejar el espacio libre (a) para colocar las varillas de refuerzo (b).

La siguiente ilustración representa la suma y resta de áreas para dejar el espacio para el perfil W en una sección circular. La ilustración (a) corresponde a la figura No. 1 de concreto, la ilustración (b) corresponde a la figura No. 2 de concreto y la ilustración (c) a la figura No. 3 de concreto. El resultado final es la ilustración (d).

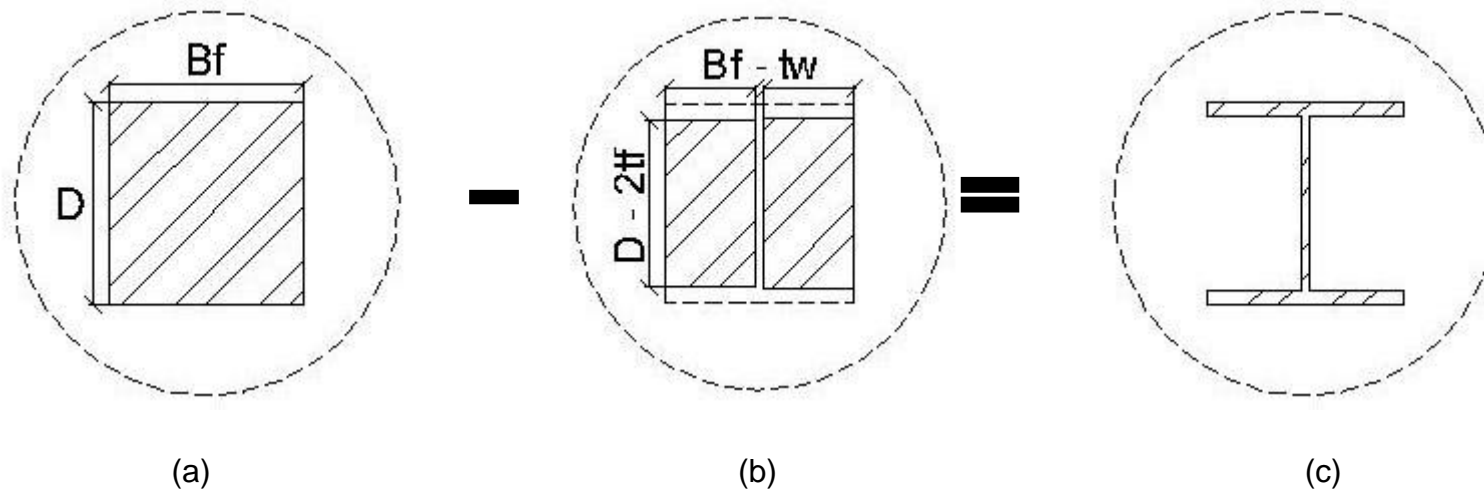
Ilustración 16: Suma y resta para espacio perfil W sección circular concreto



Fuente: elaboración propia (2018)

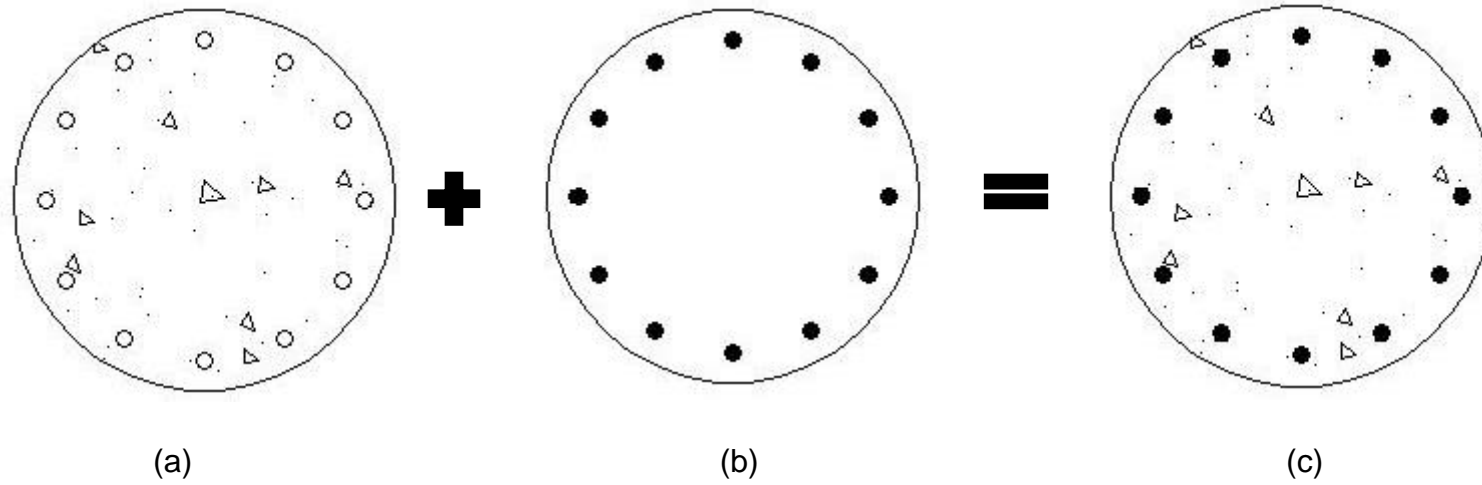
En la siguiente ilustración se representa resta de áreas para formar el perfil W de acero en una sección rectangular. La ilustración (a) corresponde a la figura No. 1 de acero y la ilustración (b) a la figura No. 2 de acero. El resultado final es la ilustración (c).

Ilustración 17: Suma y resta de áreas para formar perfil W sección circular



Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 18: Espacio y colocación de varillas de refuerzo sección circular

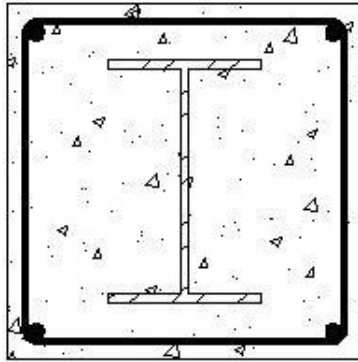


Fuente: elaboración propia (2018)

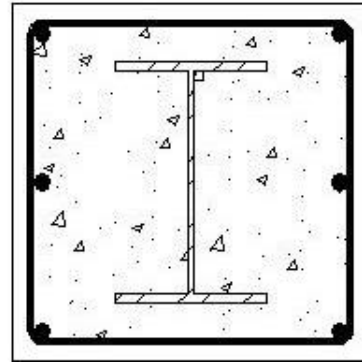
En la ilustración anterior, primero se debe restar y dejar el espacio libre (a) para colocar las varillas de refuerzo (b).

La cantidad de varillas permitidas a utilizar en una sección rectangular es de cuatro, seis, ocho, diez y doce. Esta combinación de varillas permite una sección doblemente simétrica.

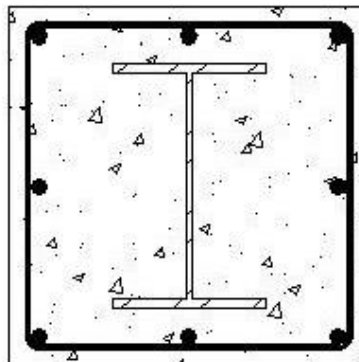
Ilustración 19: Varillas permitidas (a) cuatro, (b) seis, (c) ocho, (d) diez y (e) doce



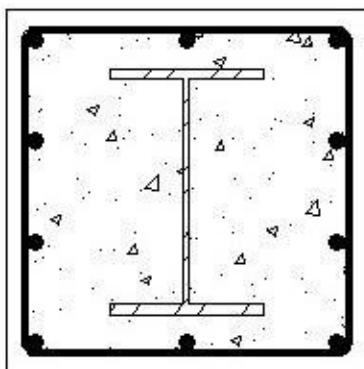
(a)



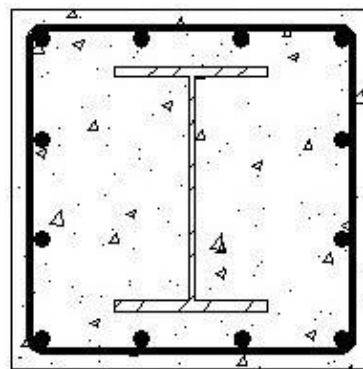
(b)



(c)



(d)

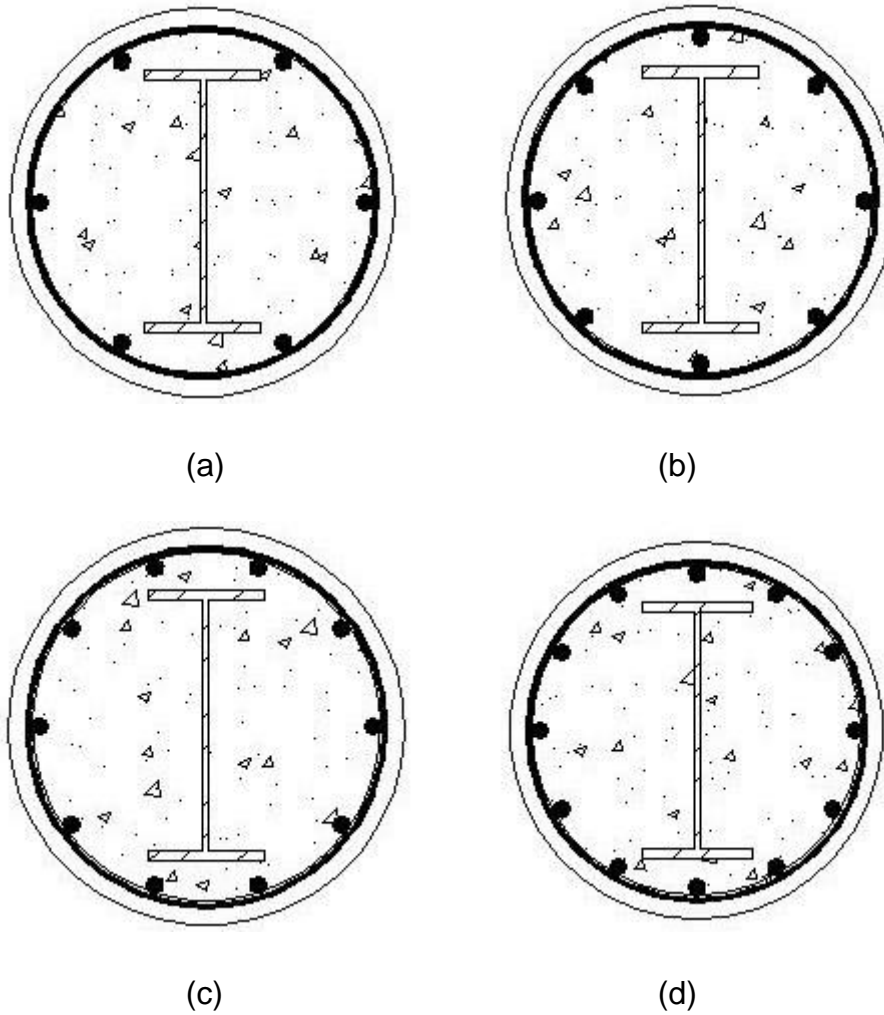


(e)

Fuente: elaboración propia (2018)

La cantidad de varillas permitidas a utilizar en una sección circular es de seis, ocho, diez y doce. Esta combinación de varillas permite una sección doblemente simétrica.

Ilustración 20: Cantidad de varillas permitidas (a) seis, (b) ocho, (c) diez y (d) doce



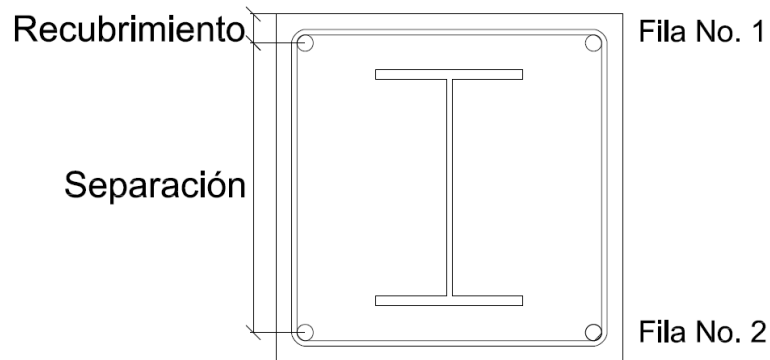
Fuente: elaboración propia (2018)

Para desarrollar los diagramas de flujo y posteriormente los diagramas de interacción es necesario establecer las siguientes distancias y nombrar parámetros.

Las siguientes ilustraciones sirven para establecer las condiciones que se ingresarán en Microsoft Excel. En el caso de las varillas de refuerzo longitudinal se tiene que enlistar la cantidad de separaciones y el número de filas. Estos valores se miden desde la parte superior de la sección, la fibra más alejada a compresión. Los parámetros antes mencionados dependen de la cantidad de varillas. El valor de C se mide desde la parte superior de la sección

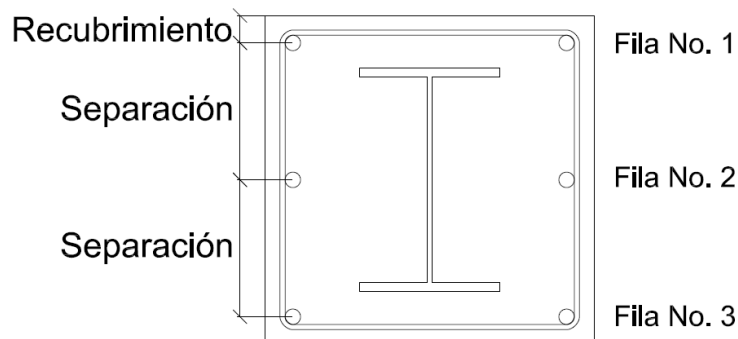
En el caso de la sección rectangular eje fuerte:

Ilustración 21: Cantidad de separaciones para cuatro varillas sección rectangular eje fuerte



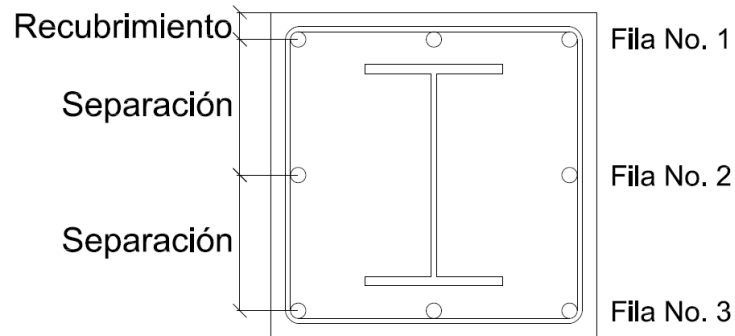
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 22: Cantidad de separaciones para seis varillas sección rectangular eje fuerte



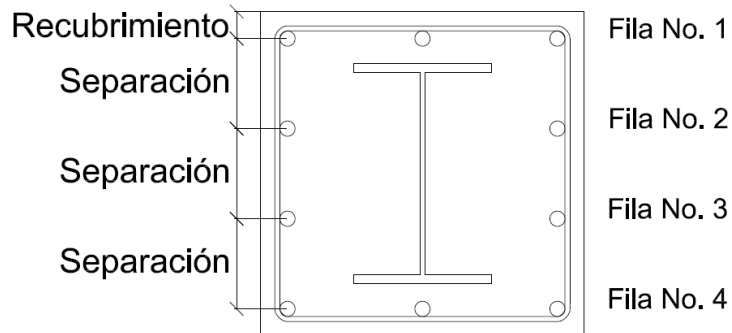
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 23: Cantidad de separaciones para ocho varillas sección rectangular eje fuerte



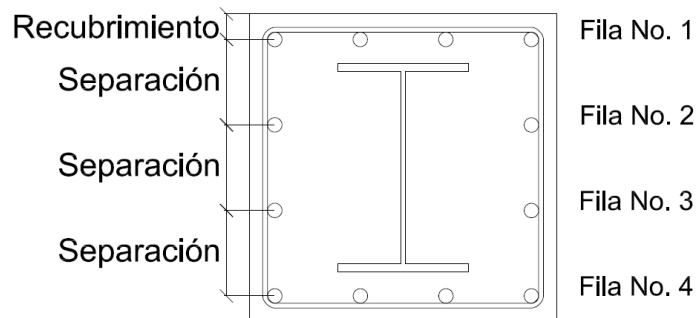
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 24: Cantidad de separaciones para diez varillas sección rectangular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

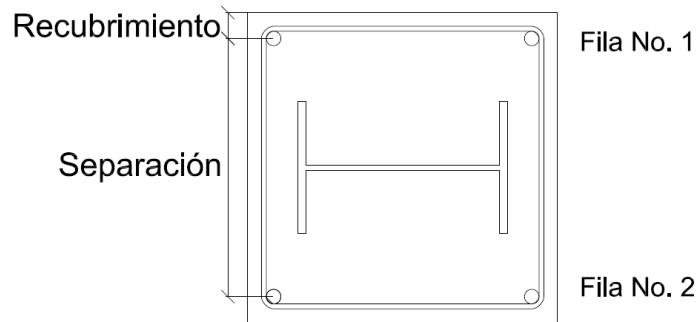
Ilustración 25: Cantidad de separaciones para doce varillas sección rectangular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

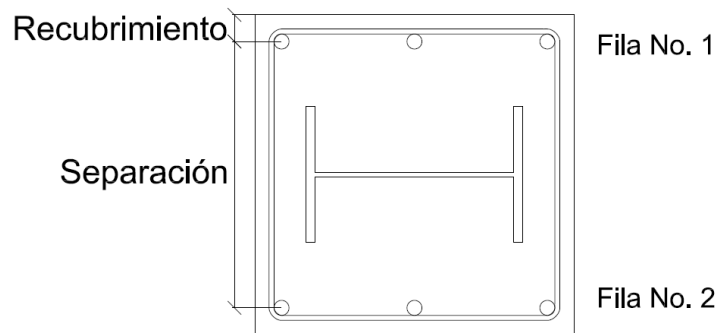
Para el caso del eje débil:

Ilustración 26: Cantidad de separaciones para cuatro varillas sección rectangular eje débil



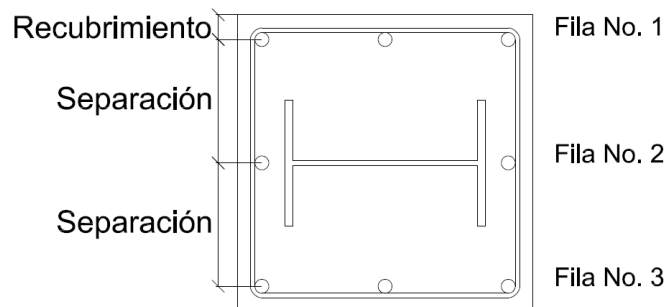
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 27: Cantidad separaciones para seis varillas sección rectangular eje débil



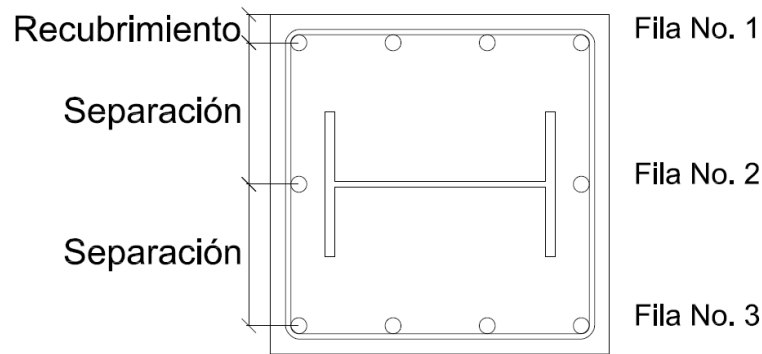
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 28: Cantidad de separaciones para ocho varillas sección rectangular eje débil



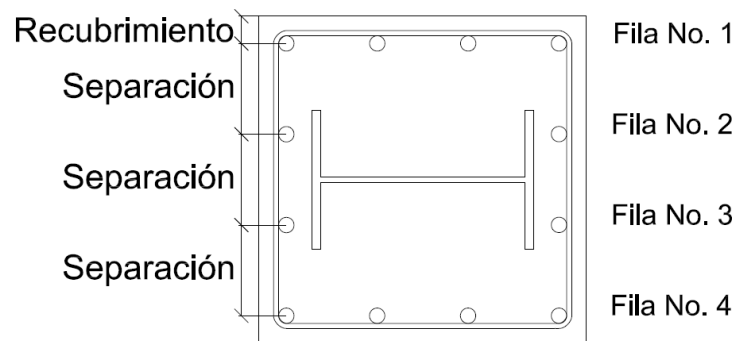
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 29: Cantidad de separaciones para diez varillas sección rectangular eje débil



Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 30: Cantidad de separaciones para doce varillas sección rectangular eje débil

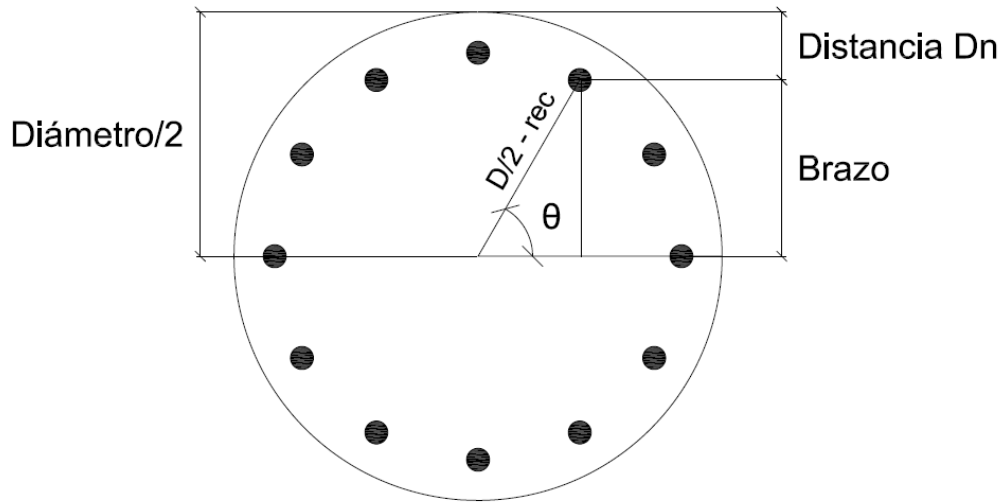


Fuente: elaboración propia (2018)

Con las ilustraciones anteriores, hay que realizar la tabla 5 y tabla 6. A partir de las ilustraciones anteriores se puede ingresar en las hojas de cálculo la cantidad de varillas por fila y sus respectivas distancias.

En el caso de la sección circular, es necesario determinar la distancia d_n entre cada fila de varillas y la máxima fibra a compresión. Este valor sirve para ingresar las funciones condiciones. Con la ayuda de esta distancia se puede determinar para cualquier valor de C si la fila de varillas está a compresión o tensión. Esta distancia se obtiene a partir de la fórmula 32 y fórmula 33. en la siguiente ilustración se ejemplifica el procedimiento.

Ilustración 31: Distancia D_n sección circular eje fuerte/débil

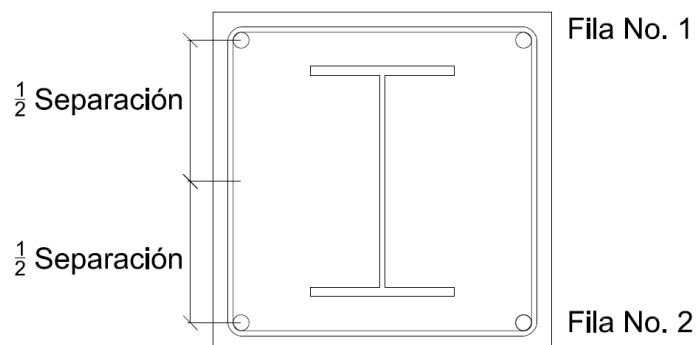


Fuente: elaboración propia (2018)

Con la distancia de cada fila medida desde la fibra máxima a compresión, se debe determinar la distancia de cada fila al eje centroidal. Esta distancia representa el brazo que produce cada fila de varillas. Se utilizará en términos de separación para la sección rectangular. De cada una de las siguientes ilustraciones se obtendrá el brazo para cada fila.

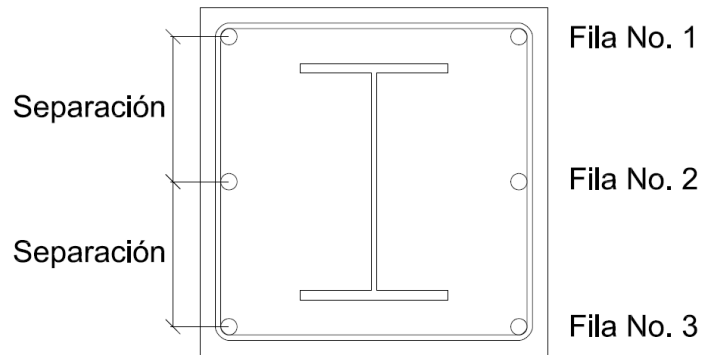
En el caso de la sección rectangular, eje fuerte

Ilustración 32: Brazo de cuatro varillas eje fuerte sección rectangular



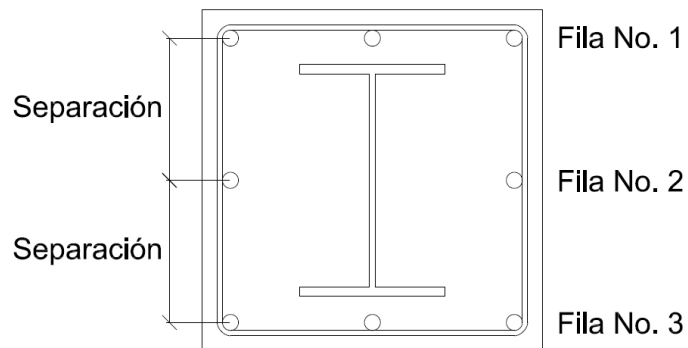
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 33: Brazo de seis varillas eje fuerte sección rectangular



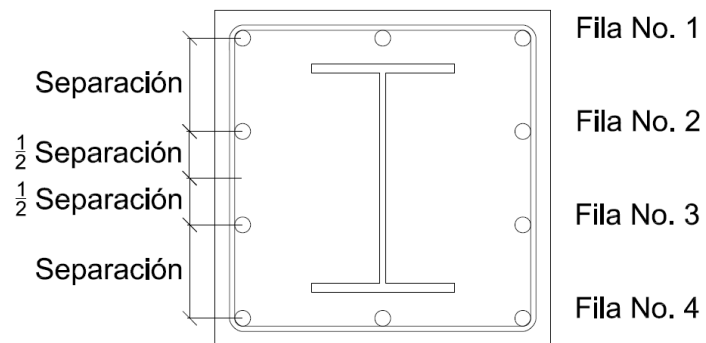
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 34: Brazo de ocho varillas eje fuerte sección rectangular



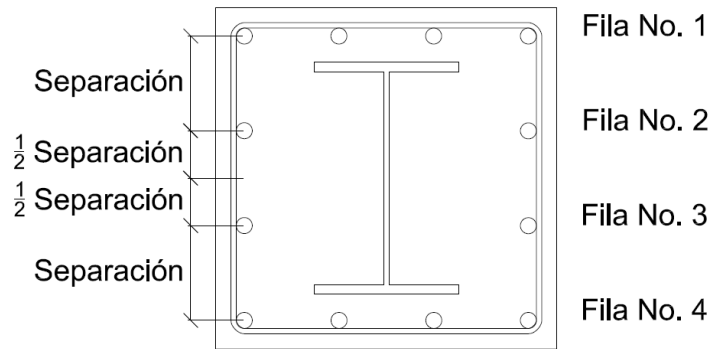
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 35: Brazo de diez varillas eje fuerte sección rectangular



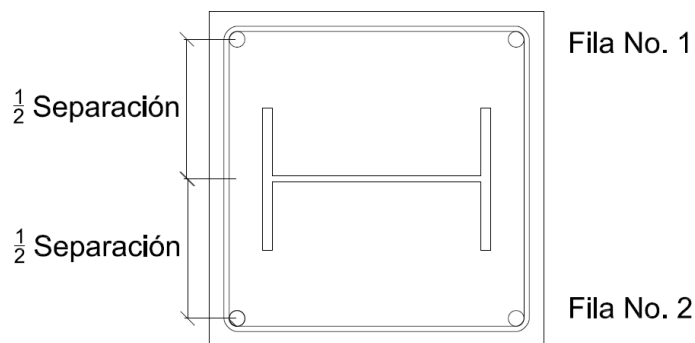
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 36: Brazo de doce varillas eje fuerte sección rectangular



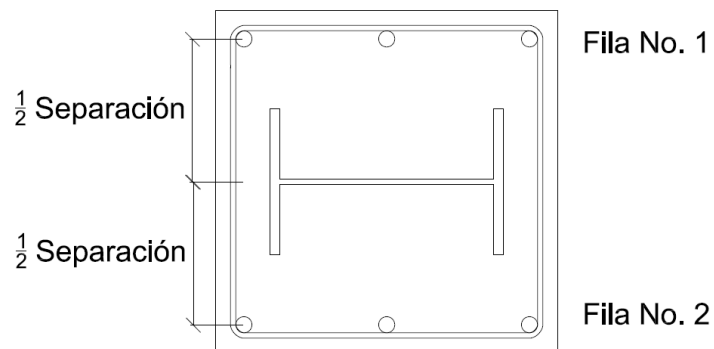
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 37: Brazo de cuatro varillas eje débil sección rectangular



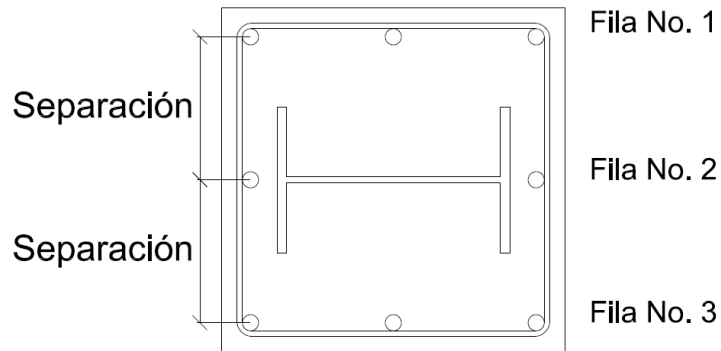
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 38: Brazo de seis varillas eje débil sección rectangular



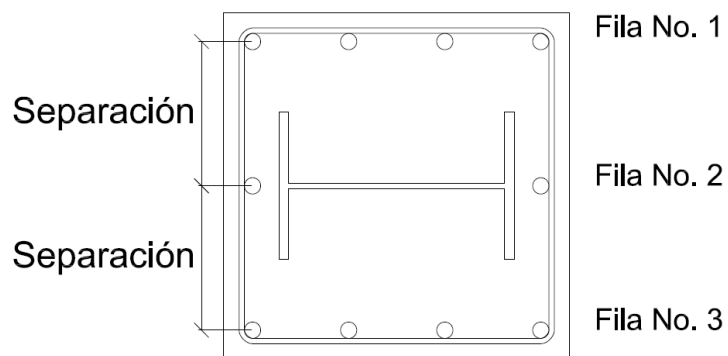
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 39: Brazo de ocho varillas eje débil sección rectangular



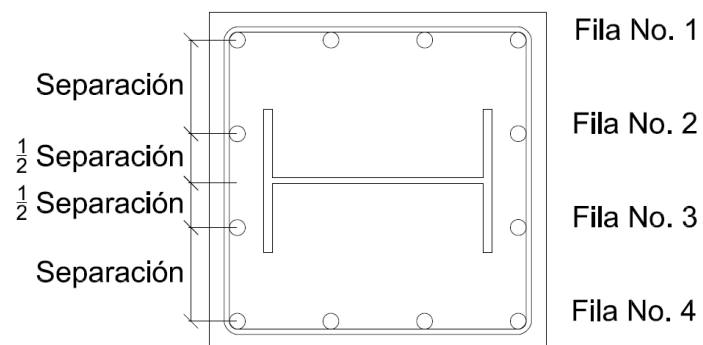
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 40: Brazo de diez varillas eje débil sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

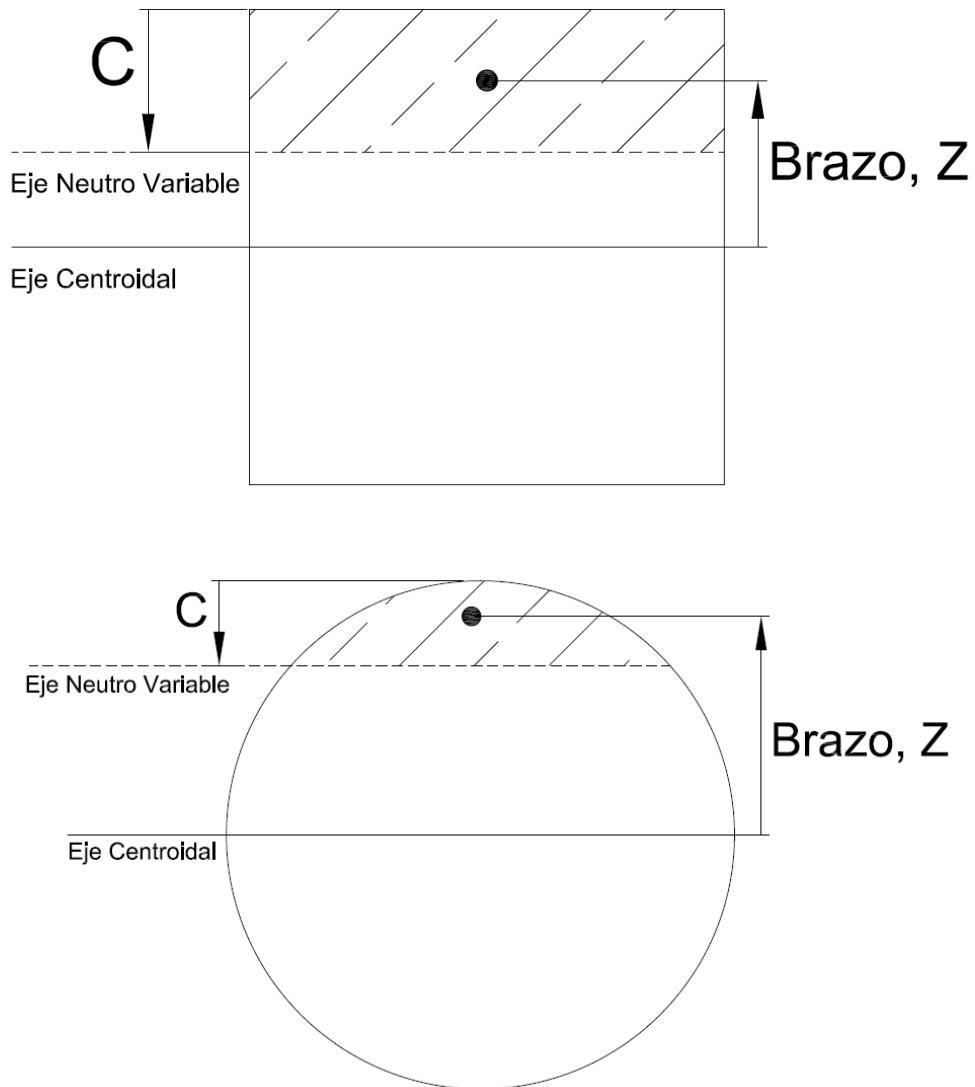
Ilustración 41: Brazo de doce varillas eje débil sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la sección rectangular y circular de concreto, el espacio y el perfil W para la sección rectangular y circular se obtiene a partir el valor de C variable. La medida del brazo se representa de la siguiente manera:

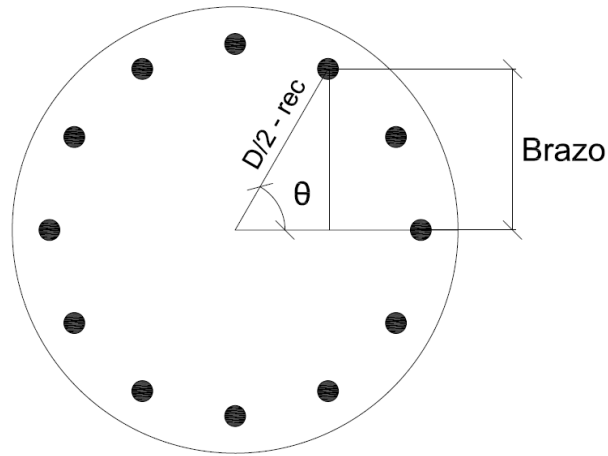
Ilustración 42: Brazo medido desde el eje centroidal al centroide de la figura variable



Fuente: elaboración propia (2018)

Para la sección circular, la distancia del brazo se determina a partir del ángulo que se forma en la horizontal, el recubrimiento y el diámetro de la sección. El procedimiento es aplicable para cualquier combinación de varillas y para el eje fuerte y débil.

Ilustración 43: Brazo varillas sección circular eje fuerte/débil



Fuente: elaboración propia (2018)

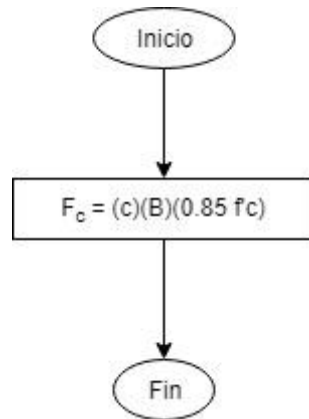
Con las distancias y medidas anteriores, se utilizan los diagramas de flujo para entender el procedimiento y posteriormente traducir las condiciones y funciones en Microsoft Excel. En los siguientes apartados se muestran los diagramas de flujo y el procedimiento en Microsoft Excel.

4.1. Perfil W embebido en columna rectangular de concreto reforzado

4.1.1. Diagramas de flujo columnas rectangulares

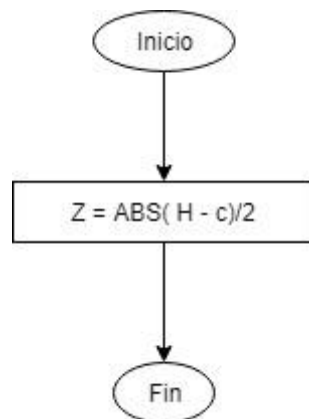
Eje fuerte

Diagrama de flujo 1: Compresión figura No. 1 [concreto]



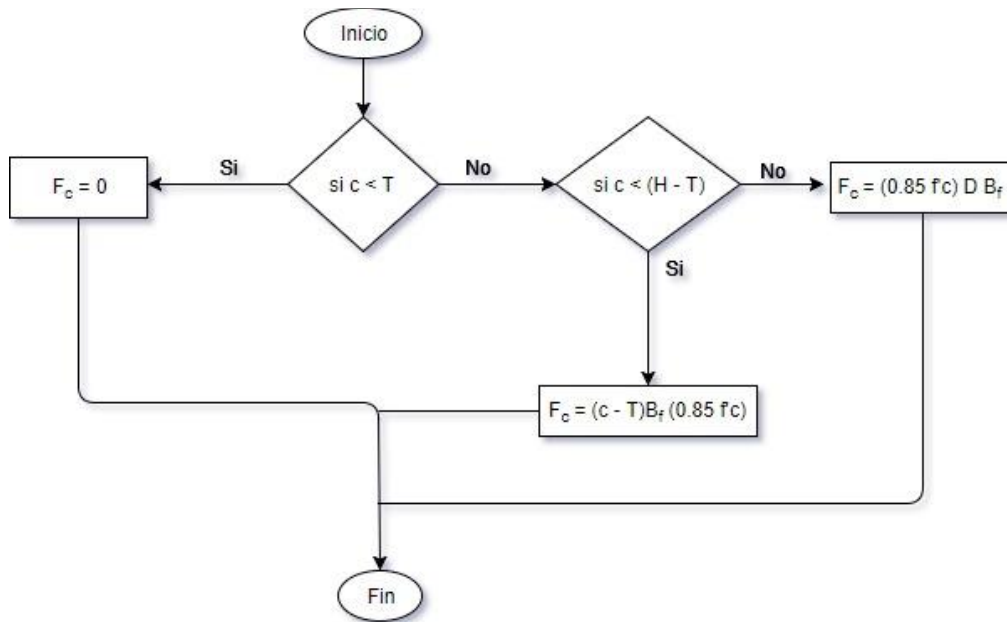
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 2: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

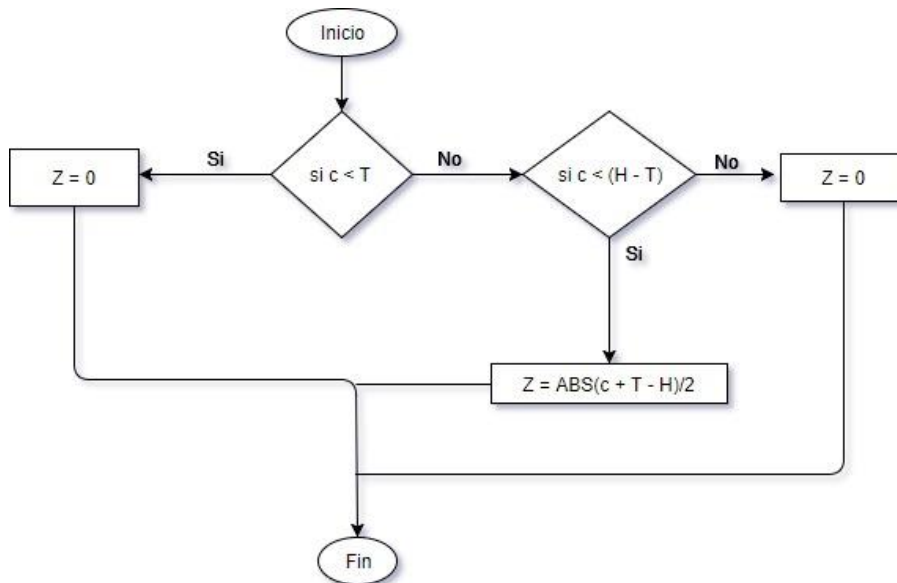
Diagrama de flujo 3: Compresión figura No. 2 [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

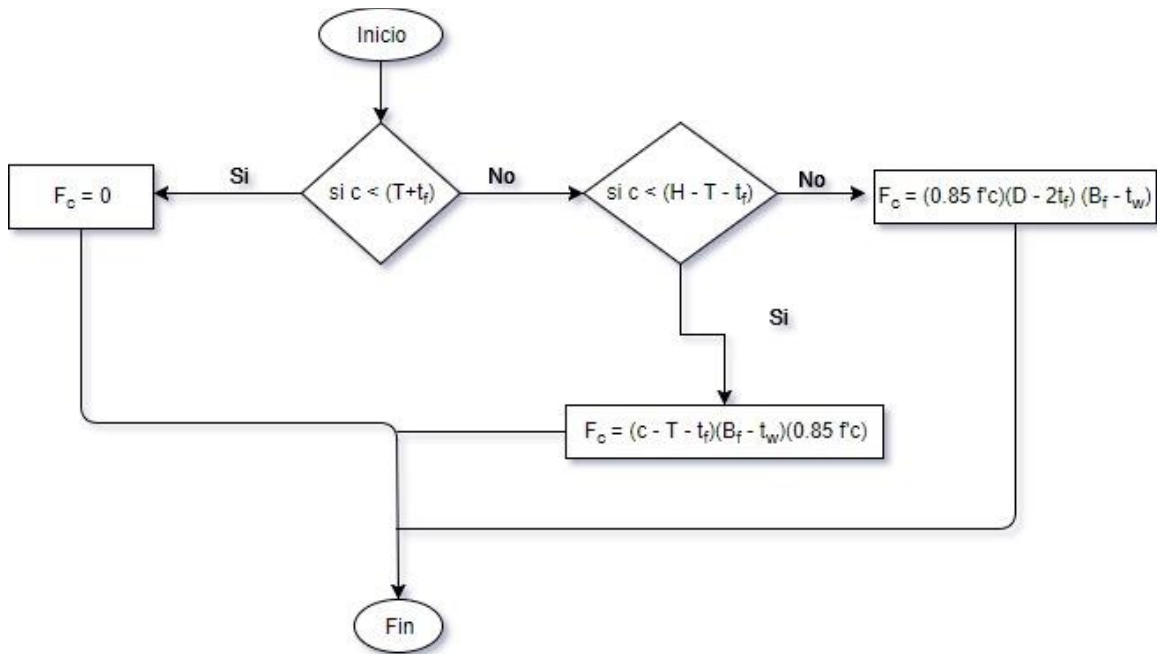
Diagrama de flujo 4: Brazo figura No. 2 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

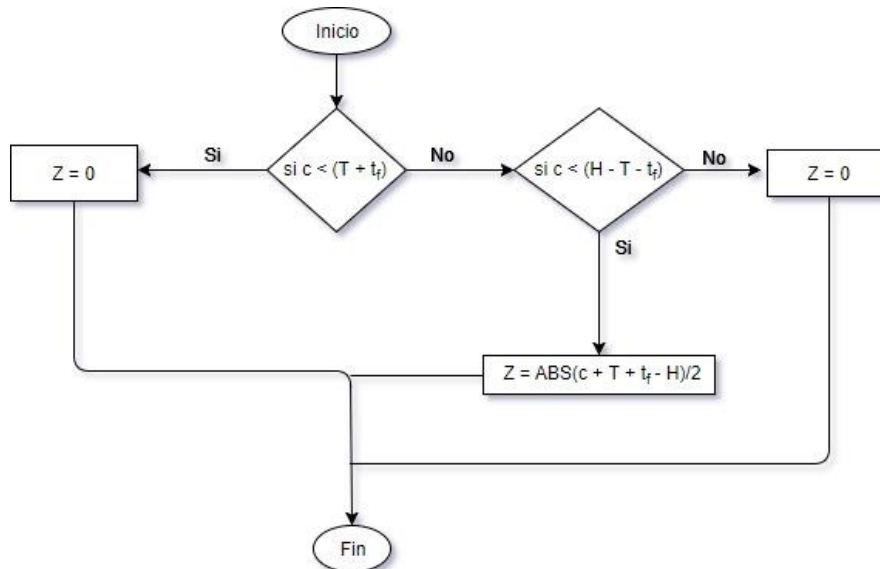
Diagrama de flujo 5: Compresión figura No. 3 [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

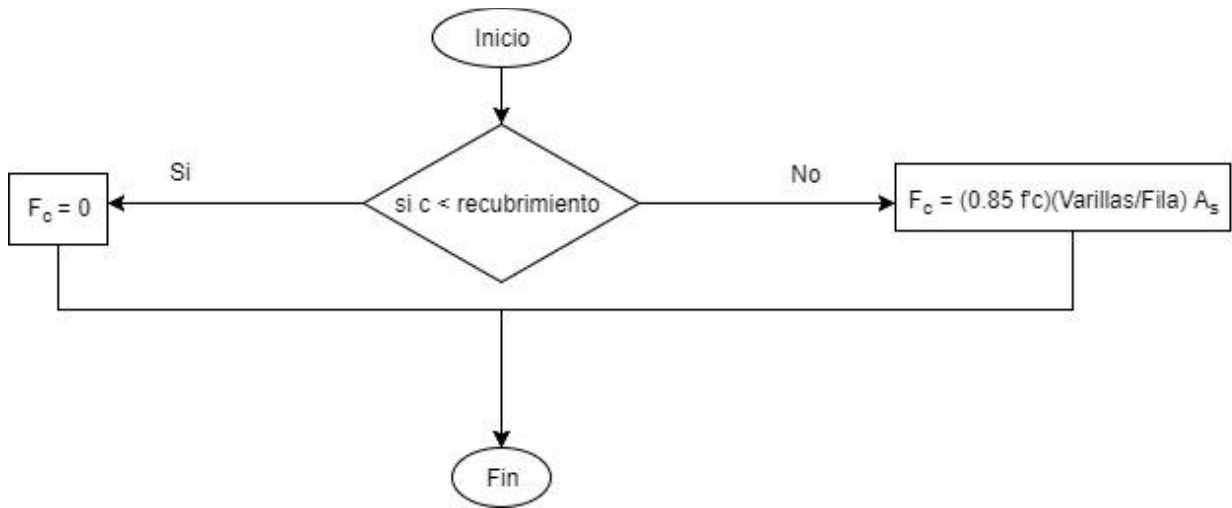
Diagrama de flujo 6: Brazo figura No. 3 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

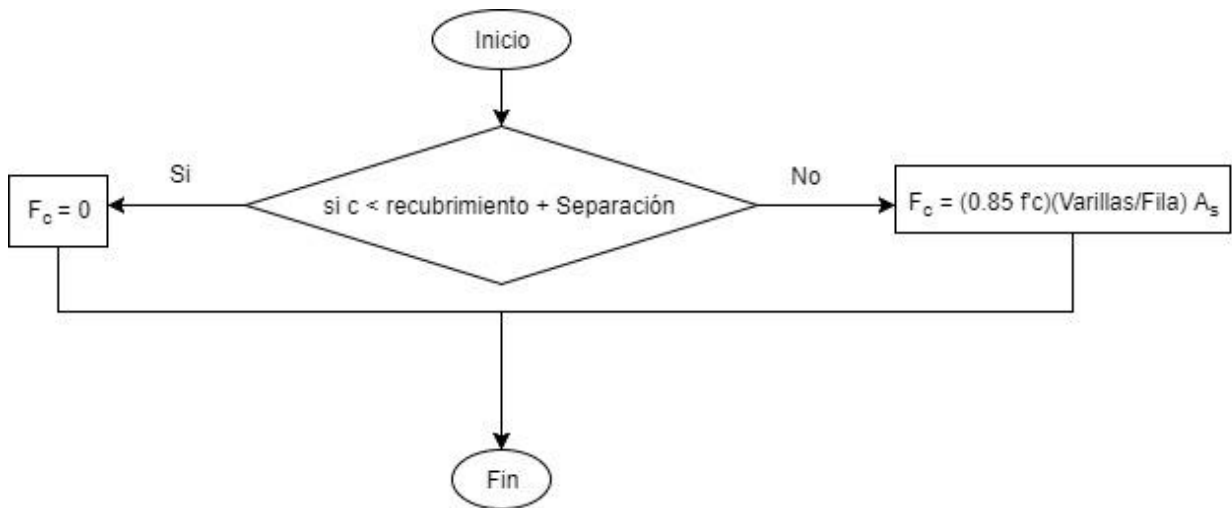
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 7: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 1]



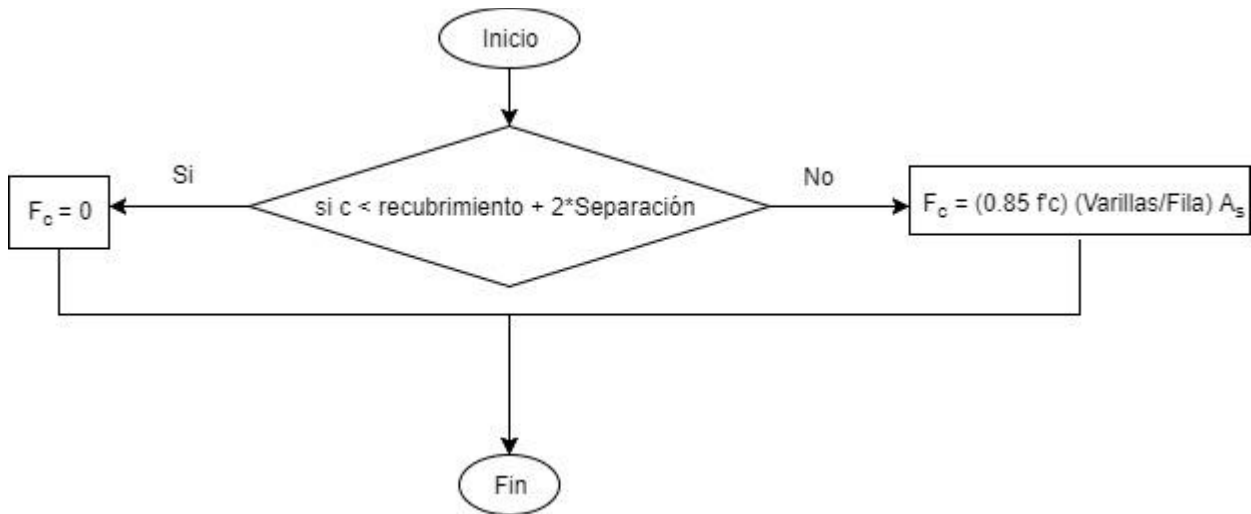
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 8: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 2]



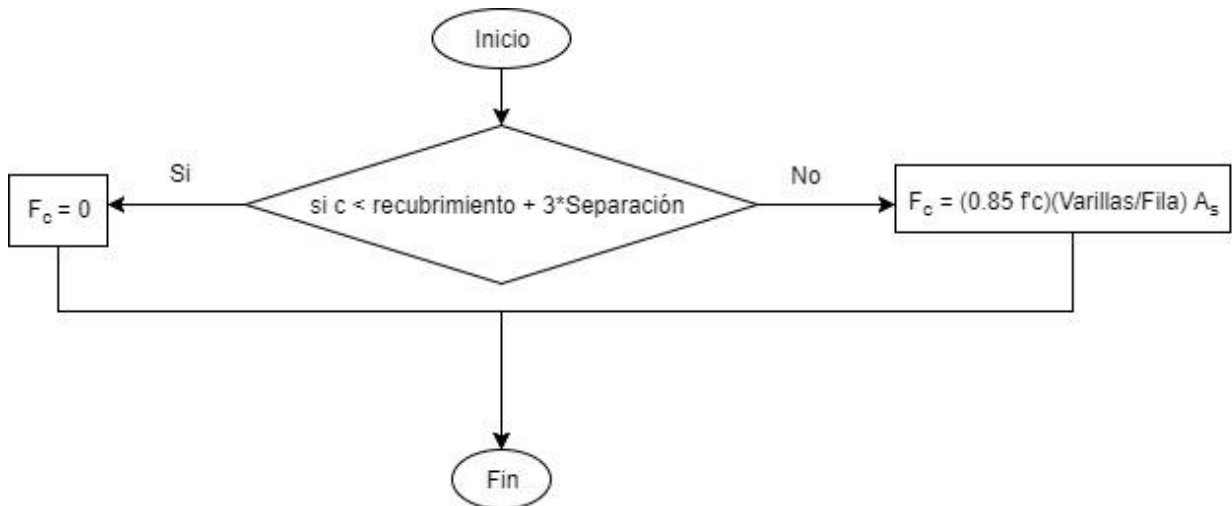
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 9: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 3]



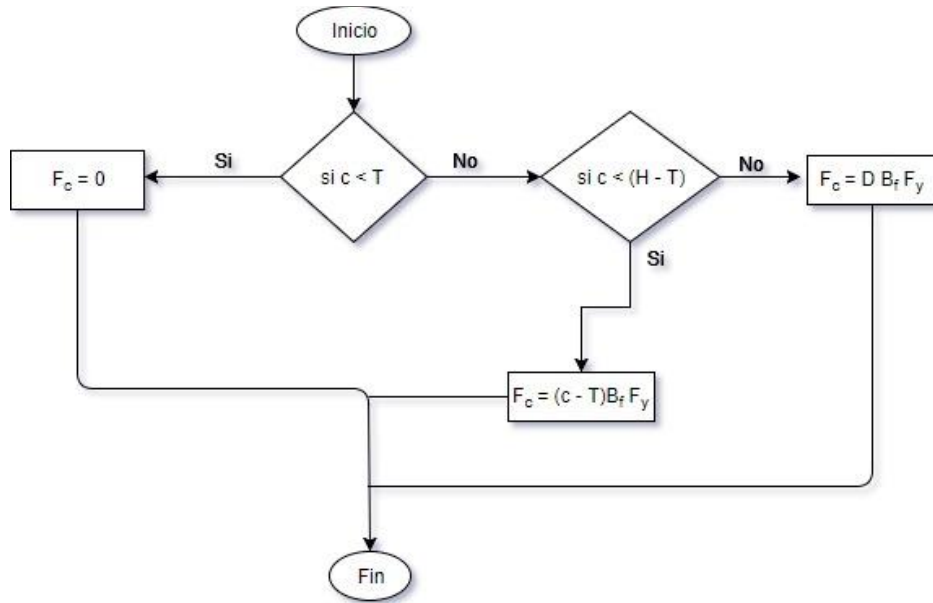
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 10: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 4]



Fuente: elaboración propia (2018)

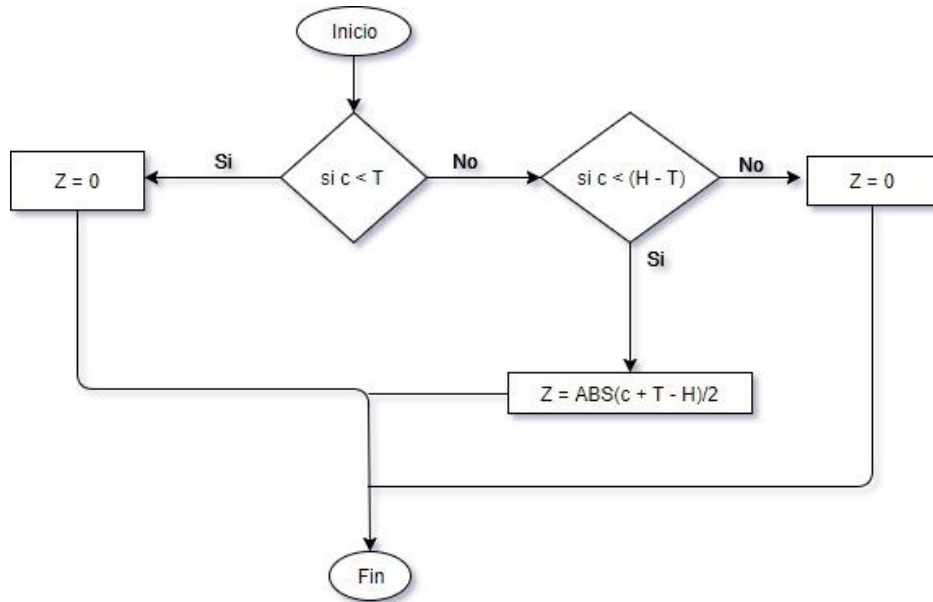
Diagrama de flujo 11: Compresión figura No. 1 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

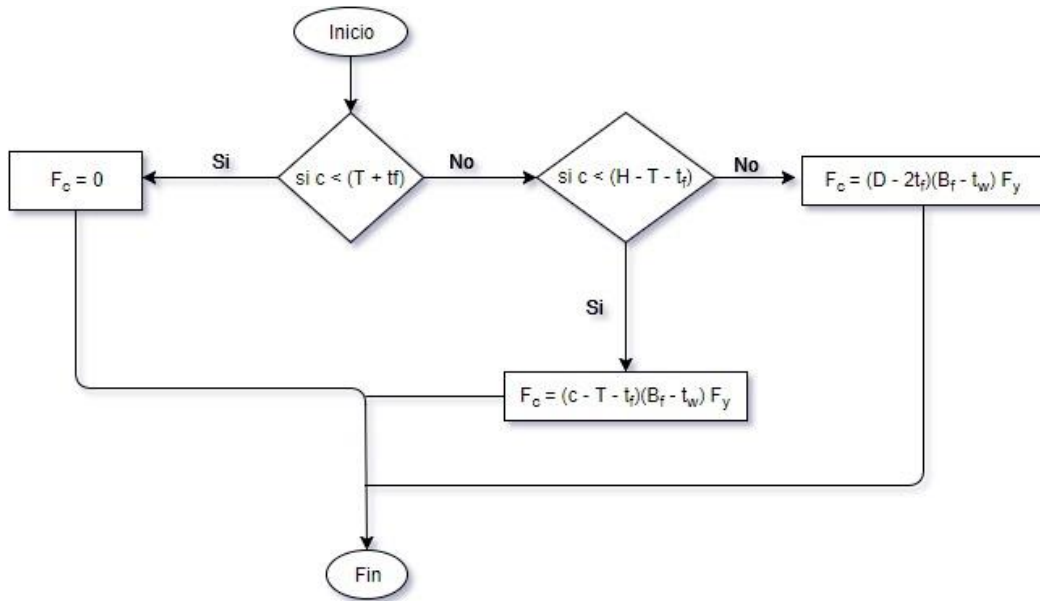
Diagrama de flujo 12: Brazo figura No. 1 a compresión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

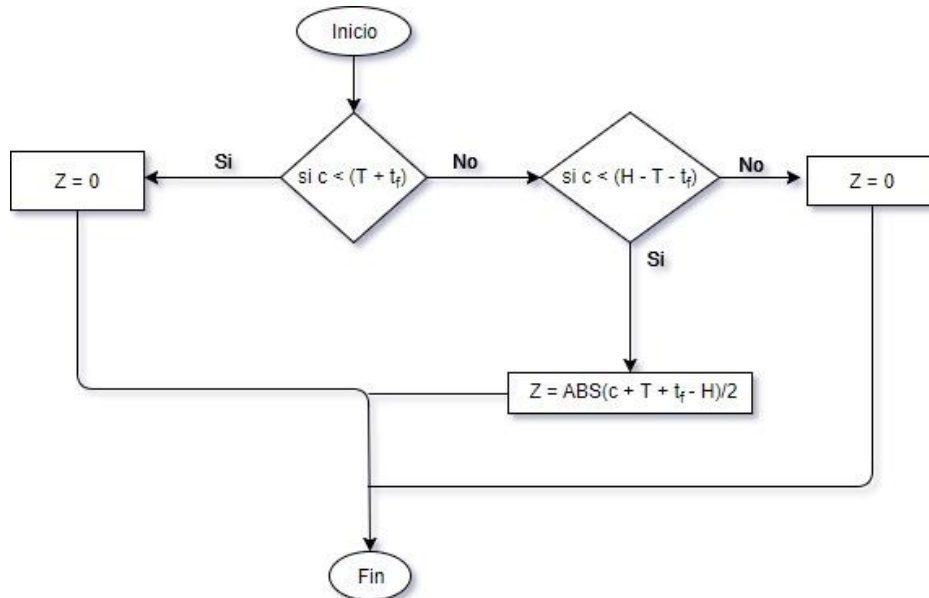
Diagrama de flujo 13: Compresión figura No. 2 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

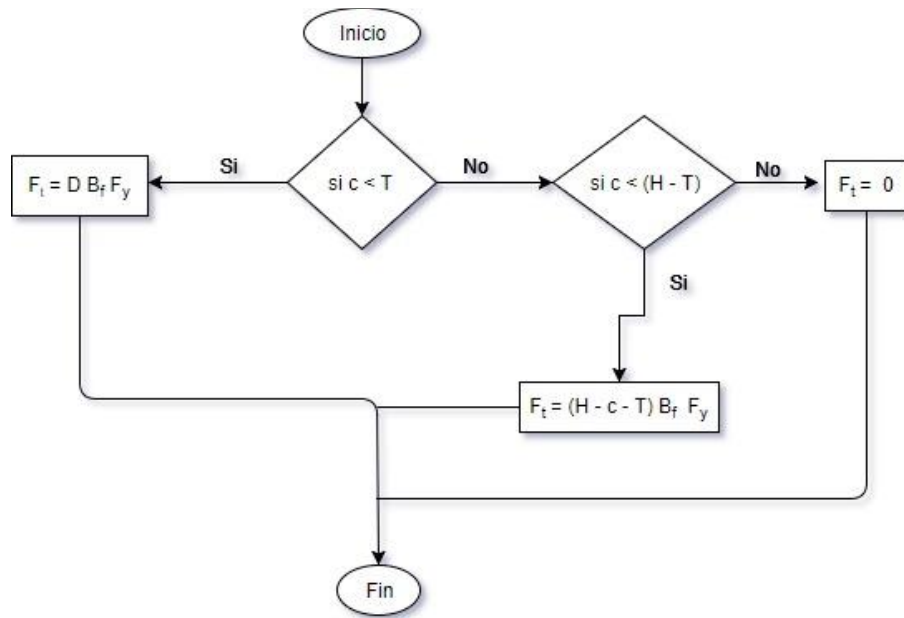
Diagrama de flujo 14: Brazo figura No. 2 a compresión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

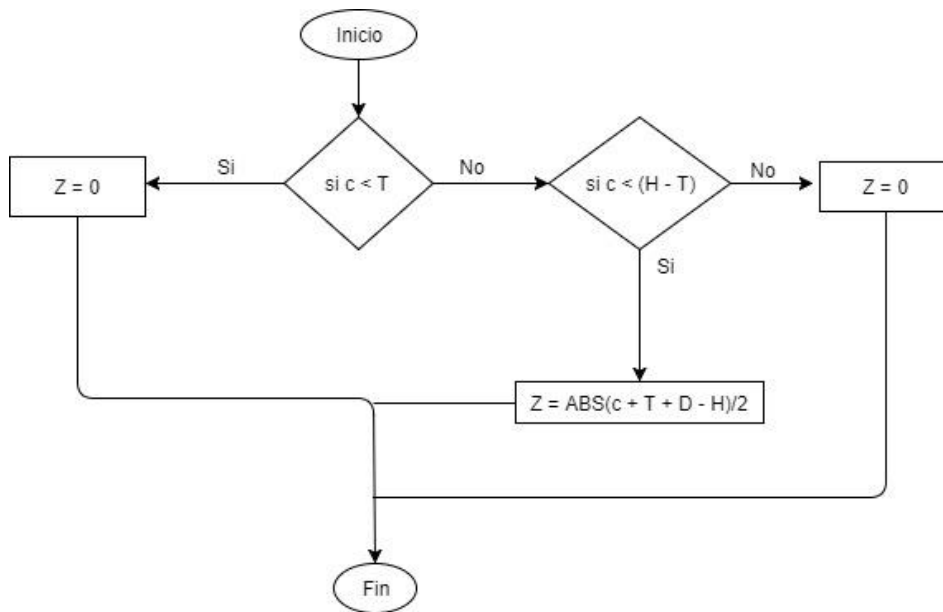
Diagrama de flujo 15: Tensión figura No. 1 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

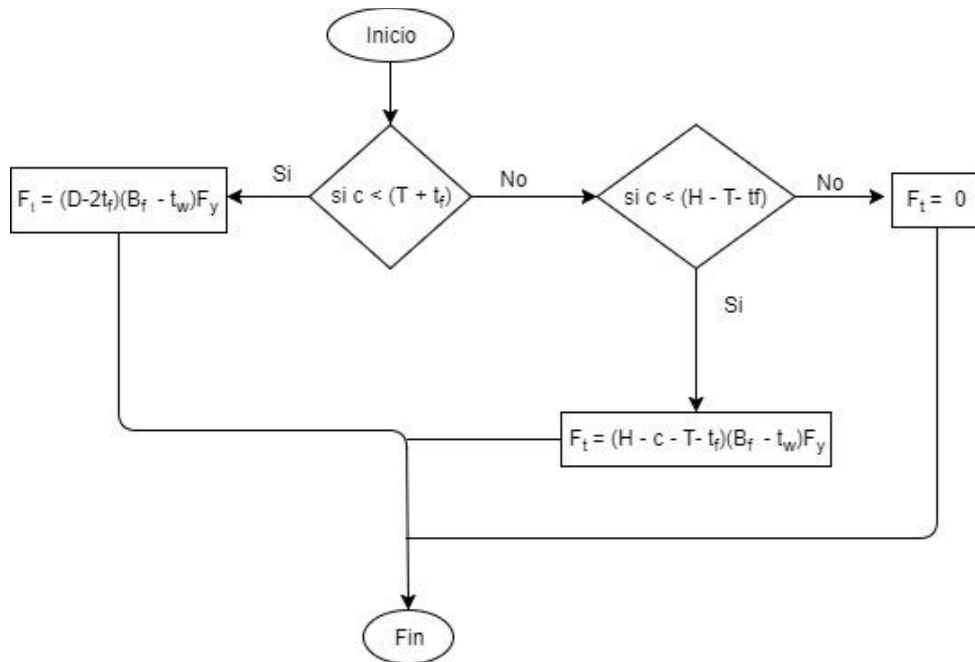
Diagrama de flujo 16: Brazo figura No. 1 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

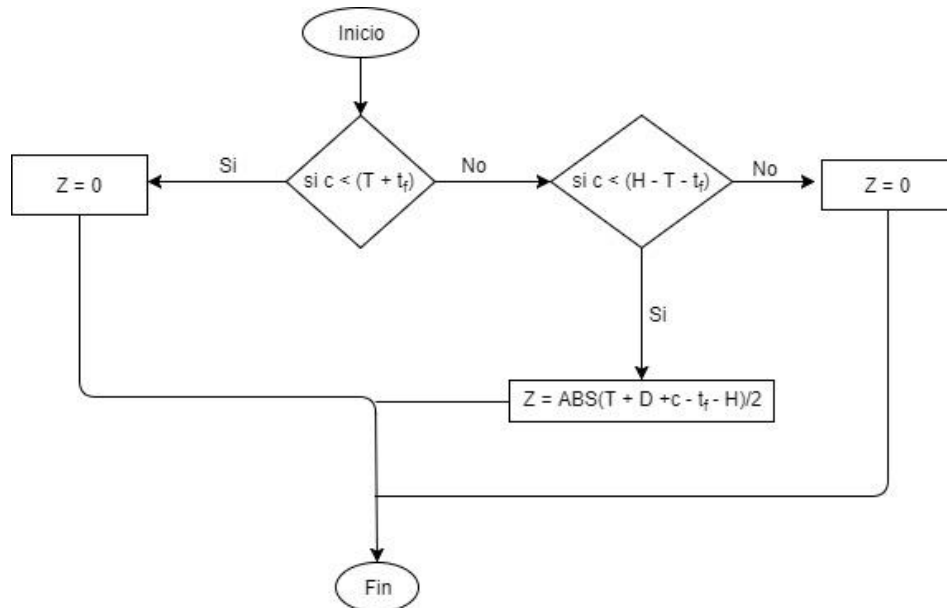
Diagrama de flujo 17: Tensión figura No. 2 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

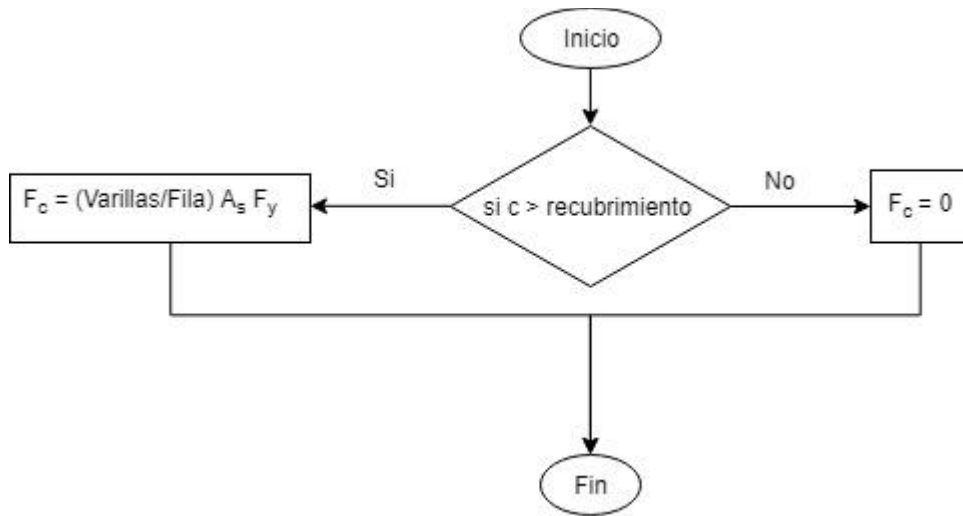
Diagrama de flujo 18: Brazo figura No. 2 a tensión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

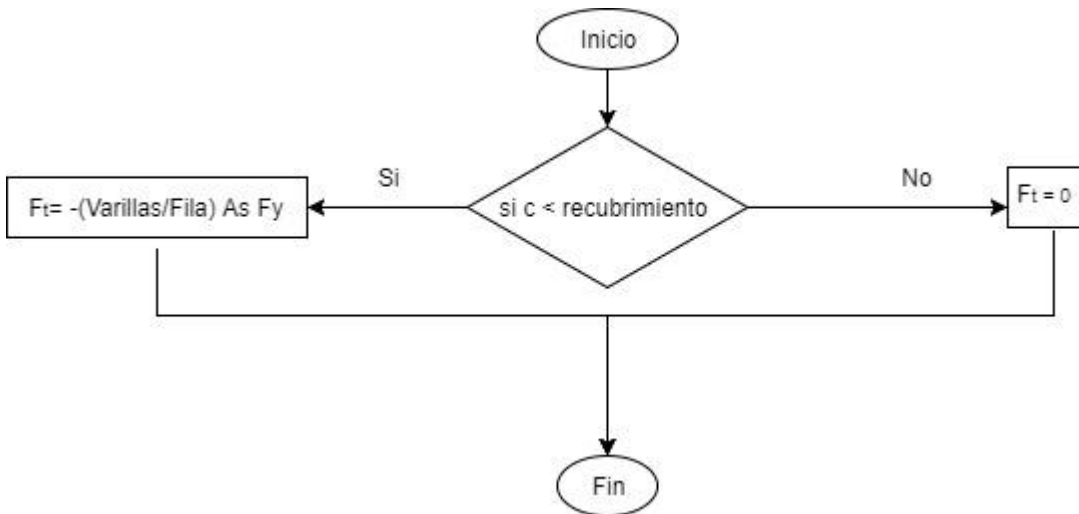
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 19: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 1]



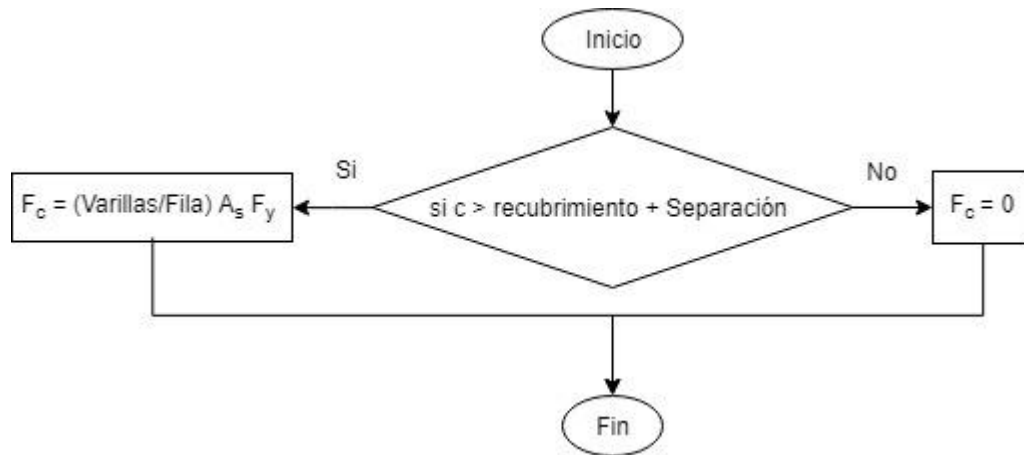
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 20: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 1]



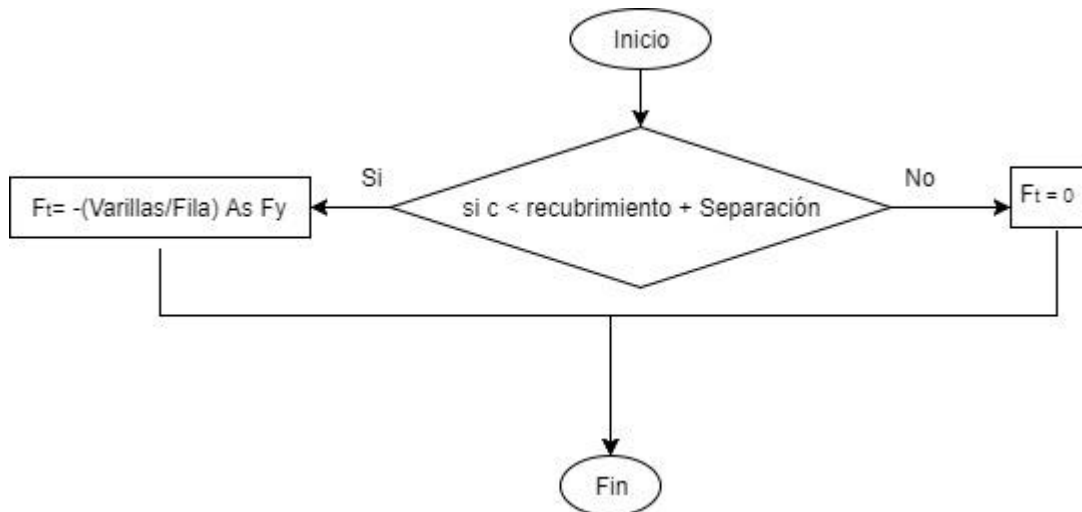
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 21: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 2]



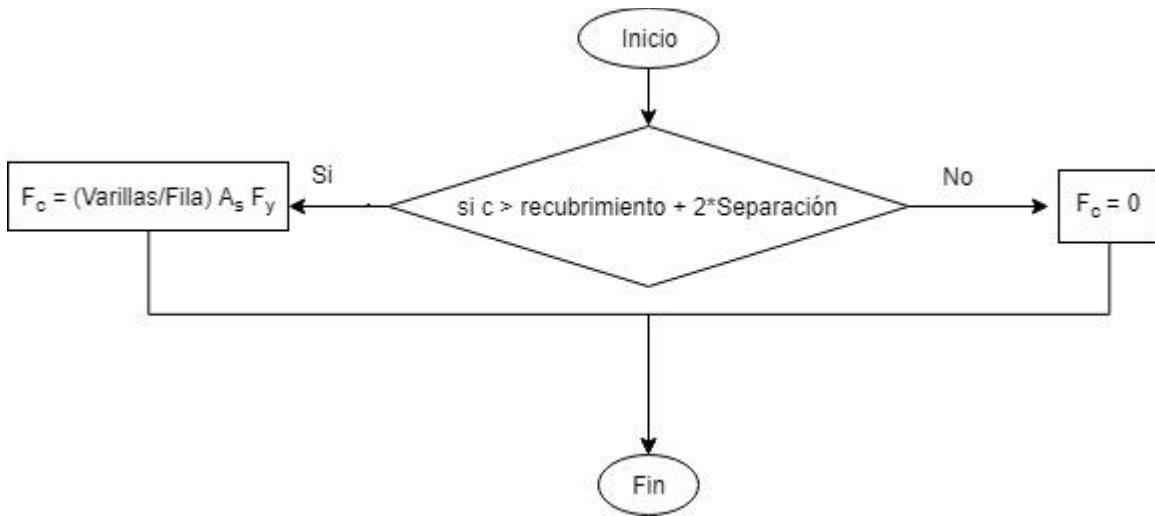
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 22: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 2]



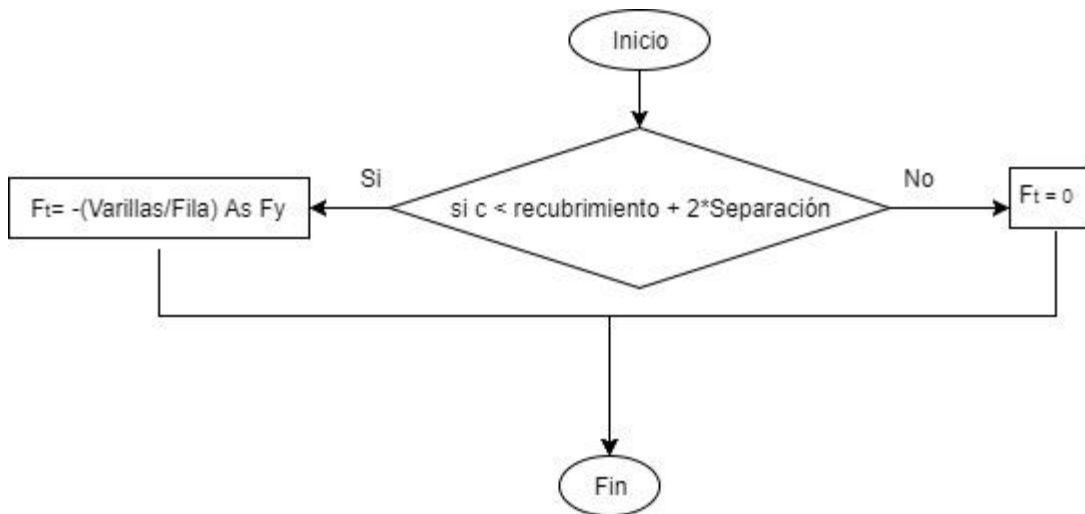
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 23: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 3]



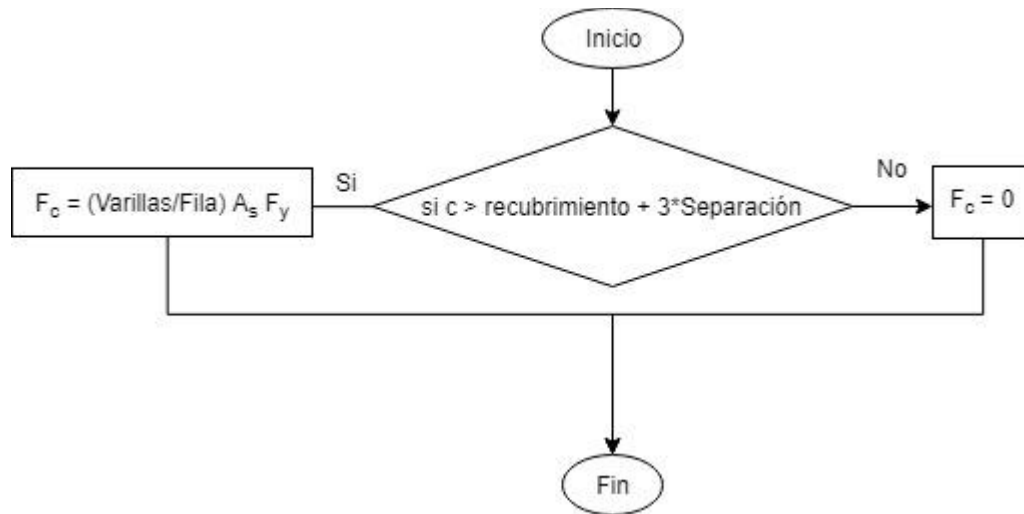
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 24: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 3]



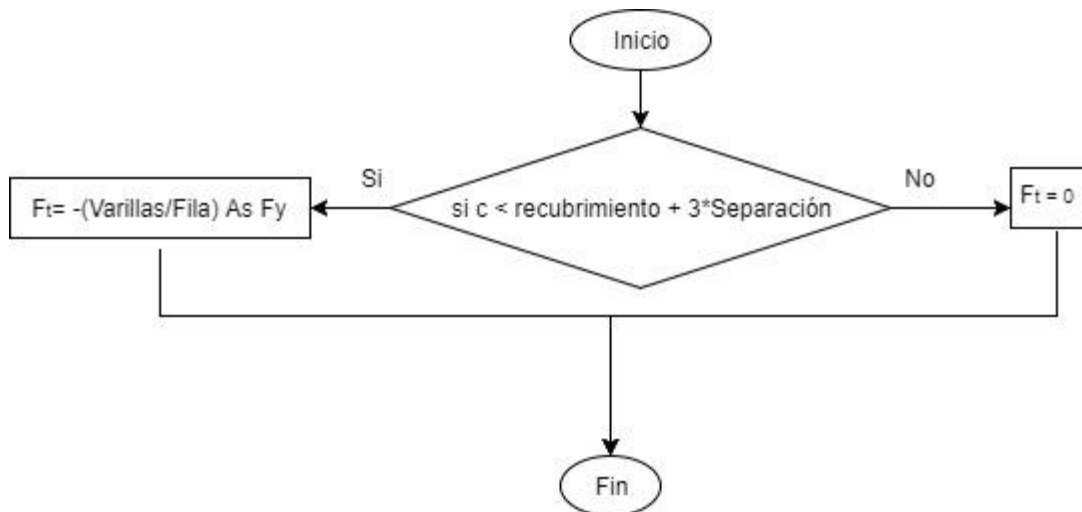
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 25: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 4]



Fuente: elaboración propia (2018)

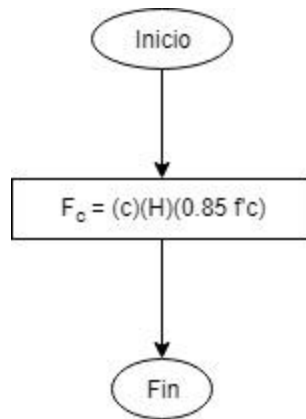
Diagrama de flujo 26: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 4]



Fuente: elaboración propia (2018)

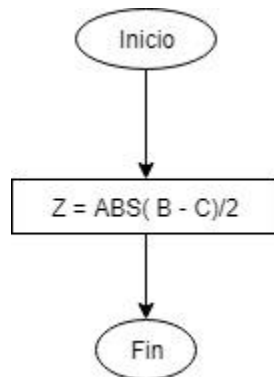
Eje débil

Diagrama de flujo 27: Compresión figura No. 1 [concreto]



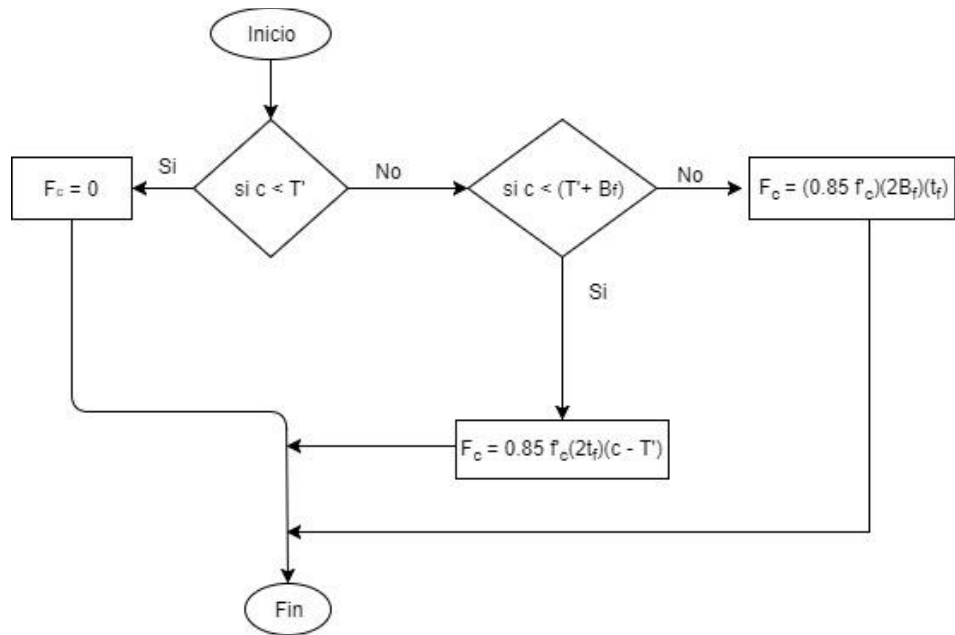
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 28: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

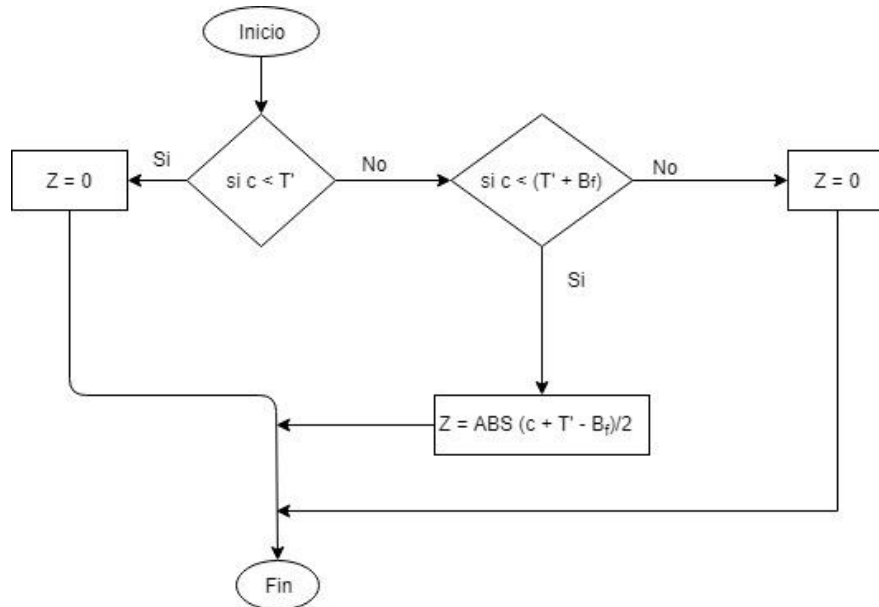
Diagrama de flujo 29: Compresión figura No. 2 [patines] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

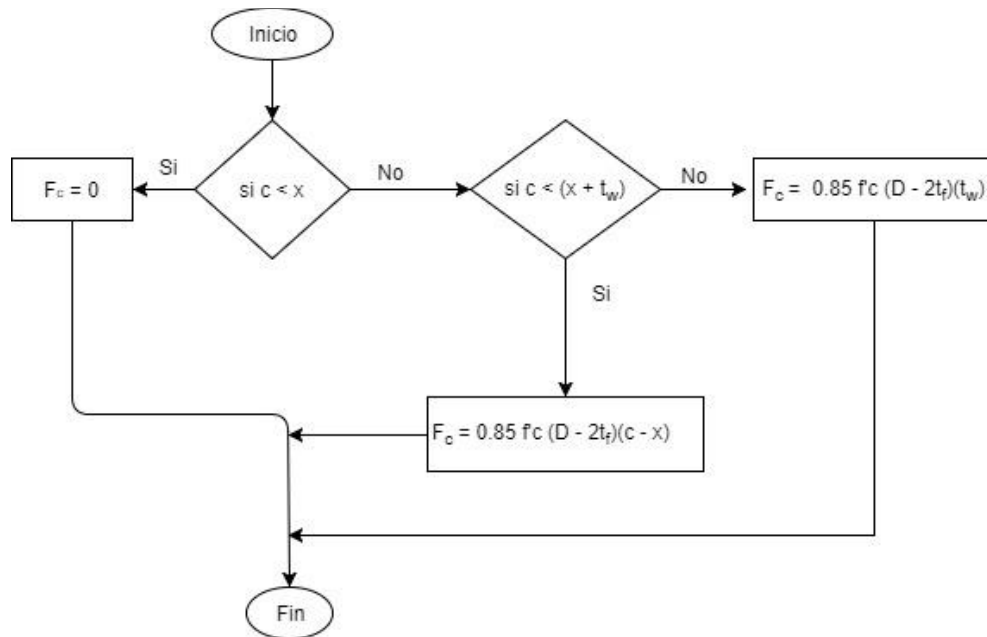
Diagrama de flujo 30: Brazo figura No. 2 a compresión [patines] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

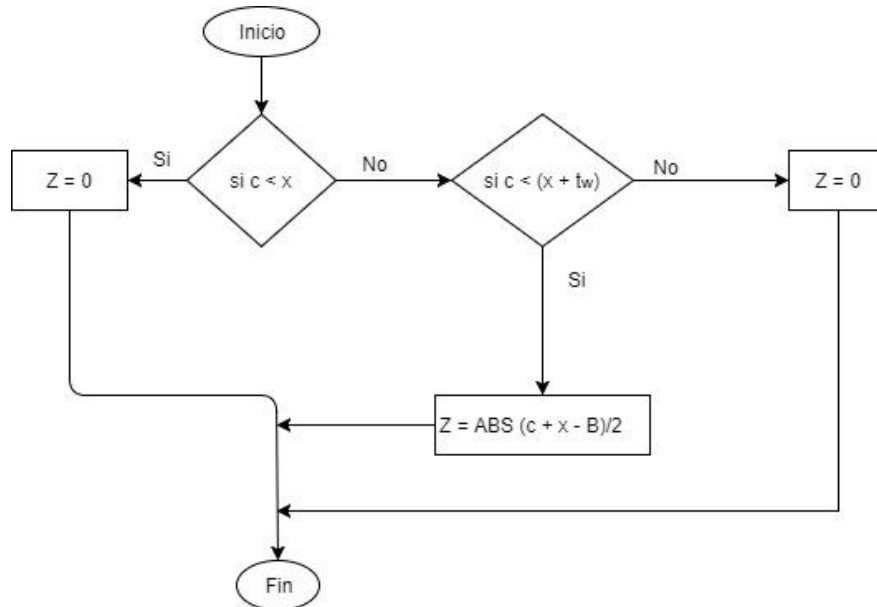
Diagrama de flujo 31: Compresión figura No. 3 [alma] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

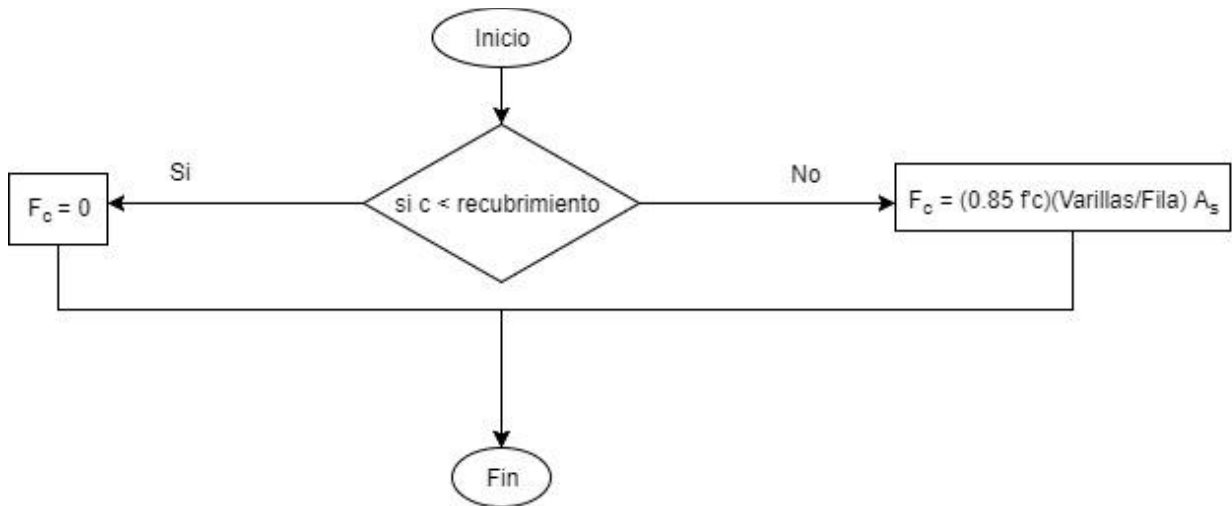
Diagrama de flujo 32: Brazo figura No. 3 a compresión [alma] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

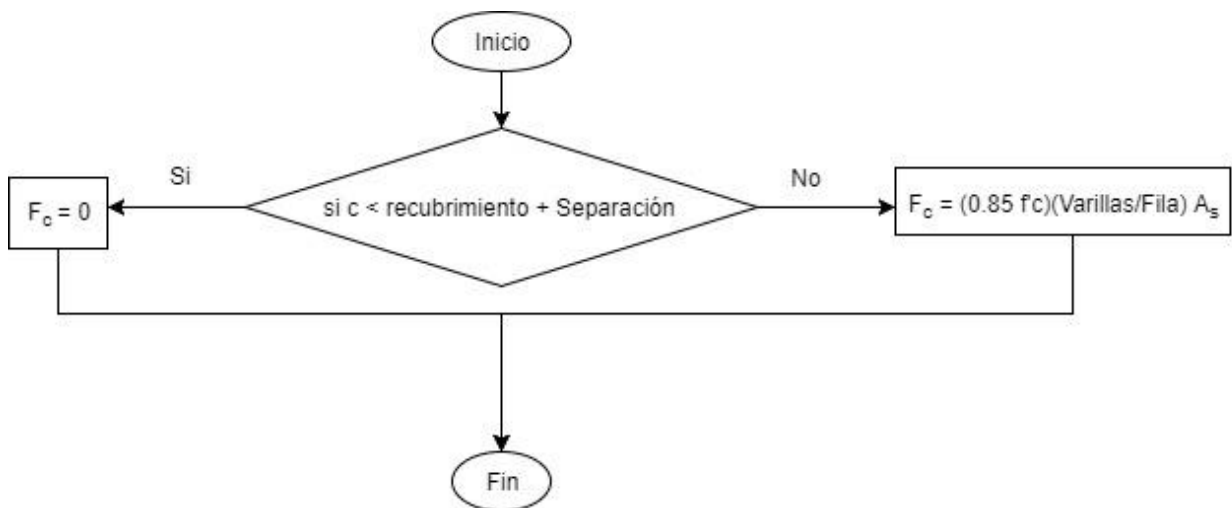
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 33: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 1]



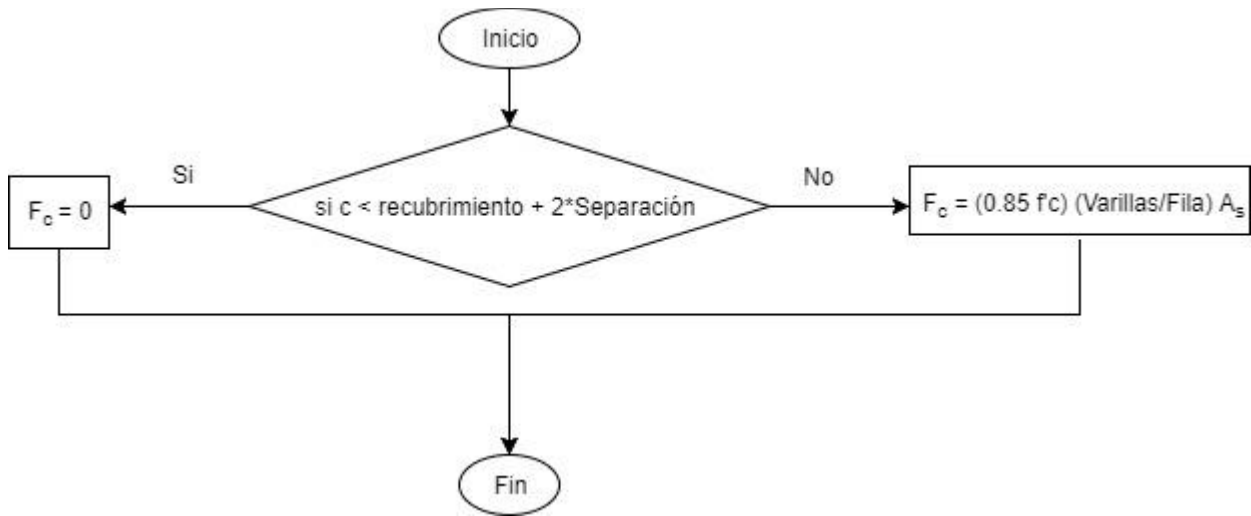
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 34: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 2]



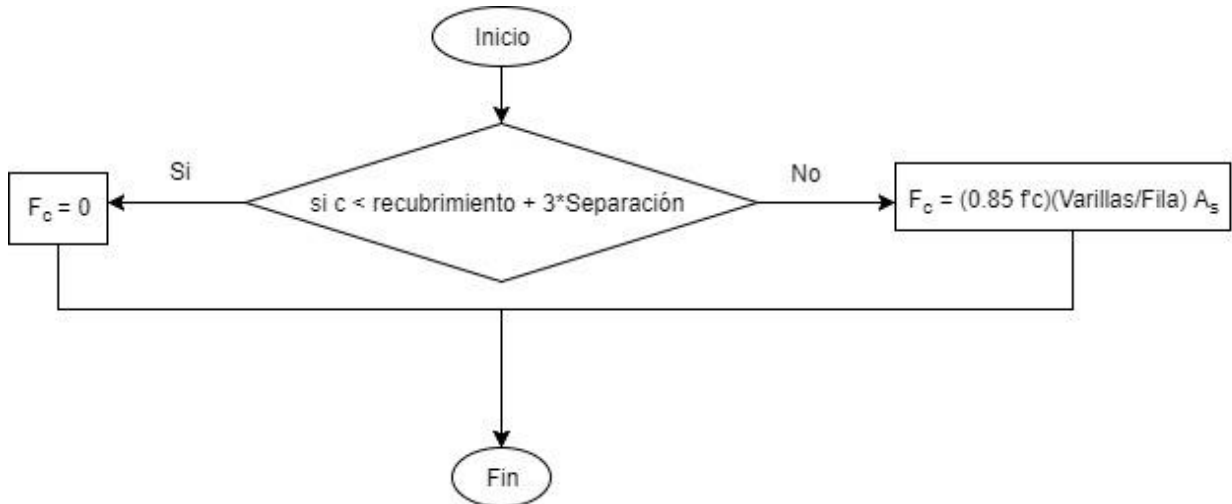
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 35: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 3]



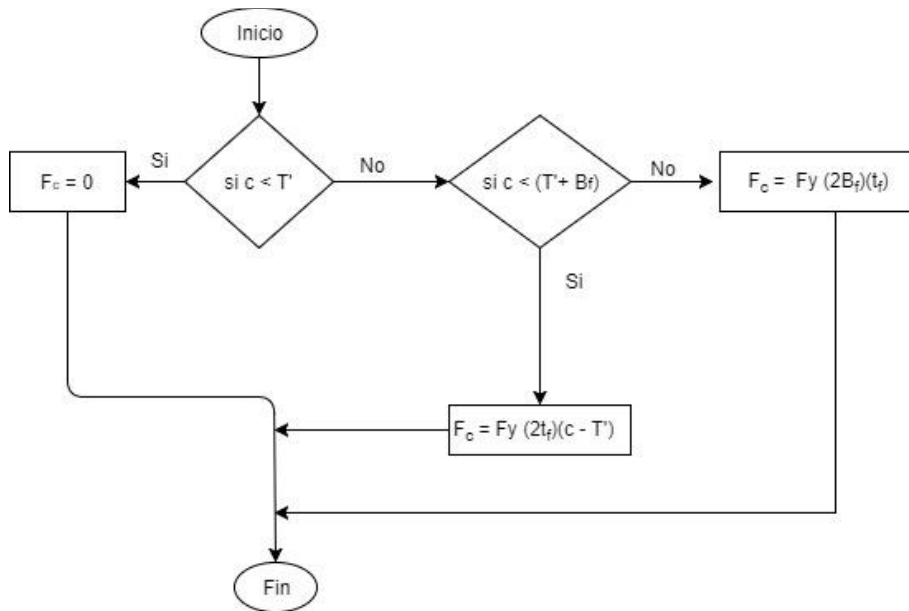
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 36: Espacio varillas de refuerzo [fila No. 4]



Fuente: elaboración propia (2018)

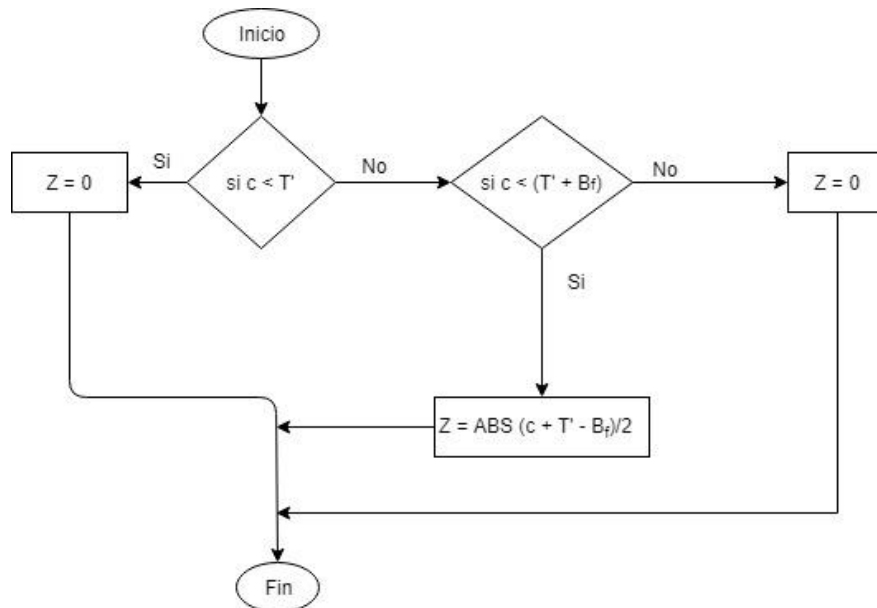
Diagrama de flujo 37: Compresión figura No. 1 [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

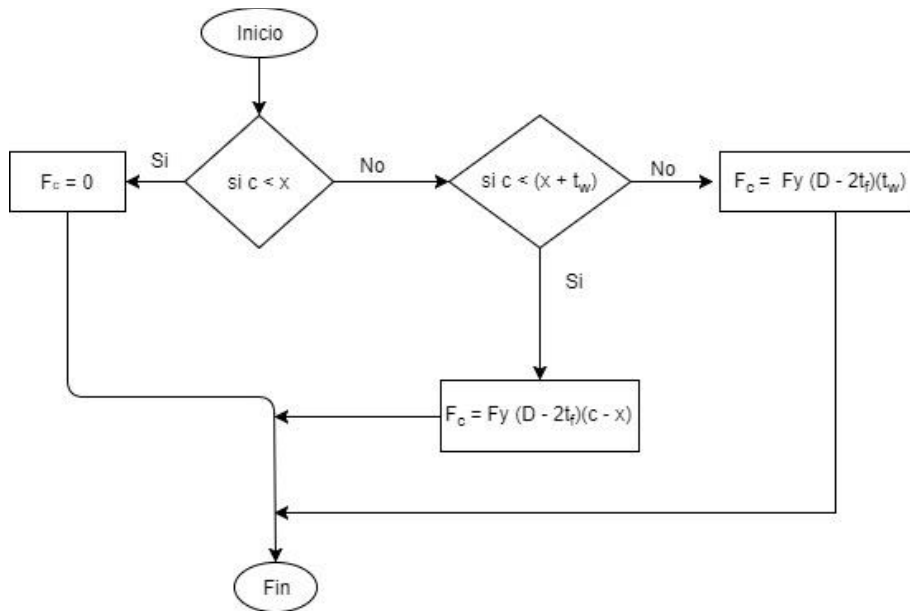
Diagrama de flujo 38: Brazo figura No. 1 a compresión [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

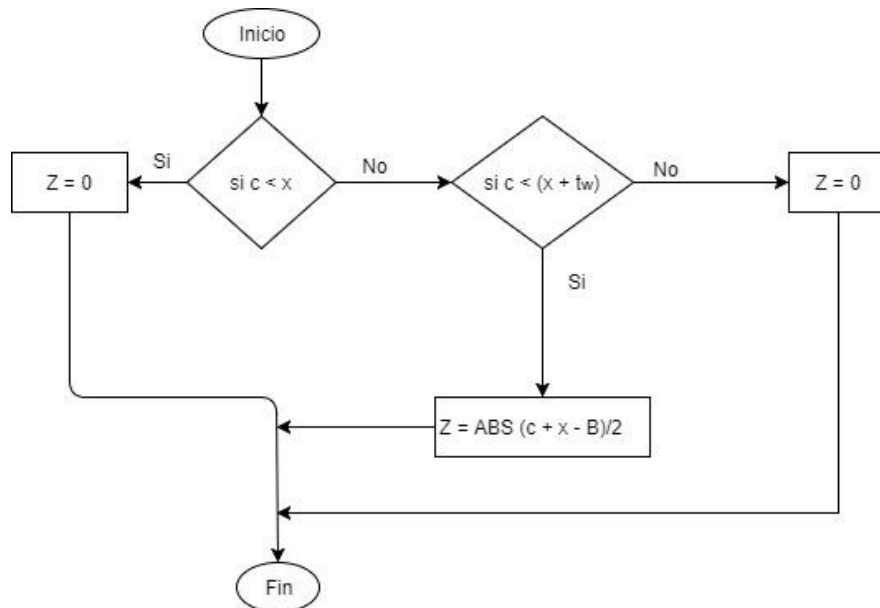
Diagrama de flujo 39: Compresión figura No. 2 [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

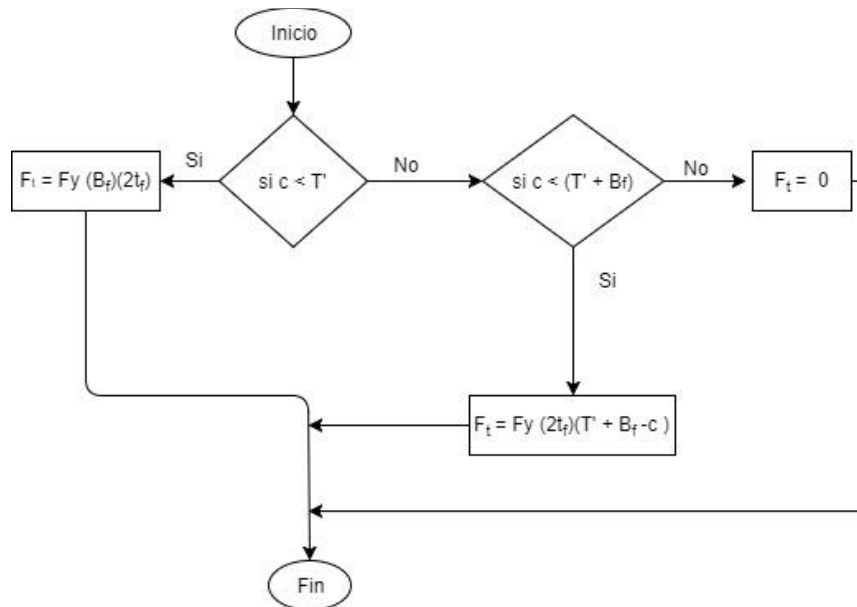
Diagrama de flujo 40: Brazo figura No. 2 a compresión [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

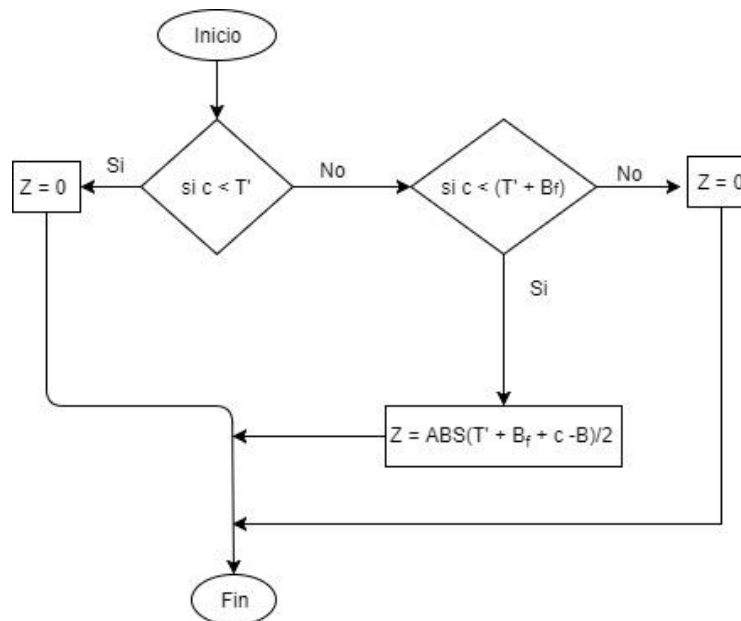
Diagrama de flujo 41: Tensión figura No. 1 [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

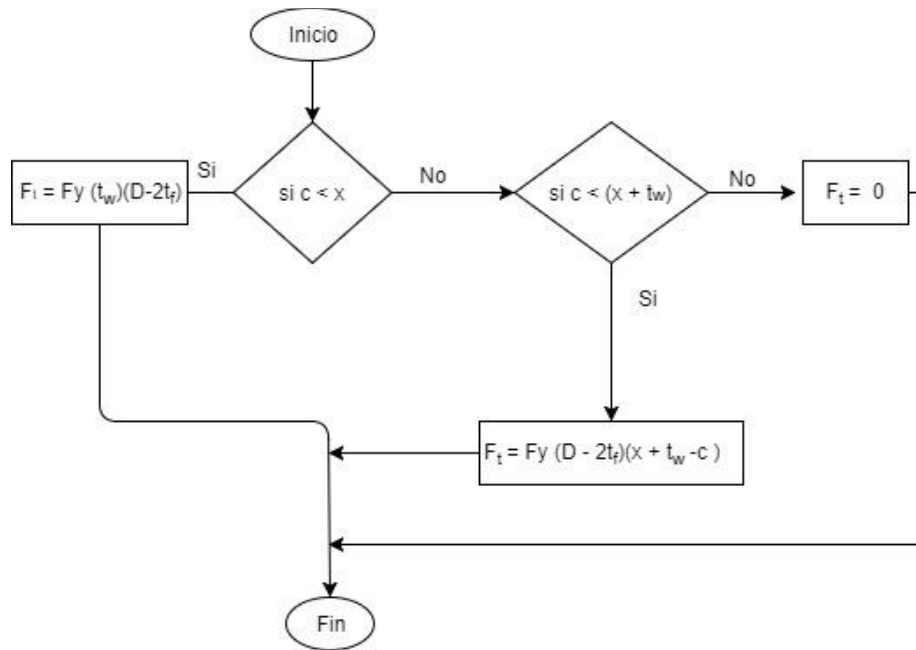
Diagrama de flujo 42: Brazo figura No. 1 a tensión [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

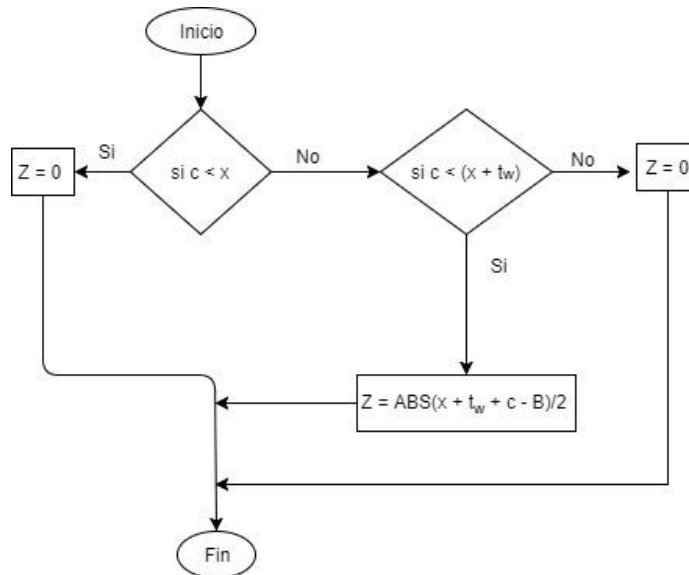
Diagrama de flujo 43: Tensión figura No. 2 [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

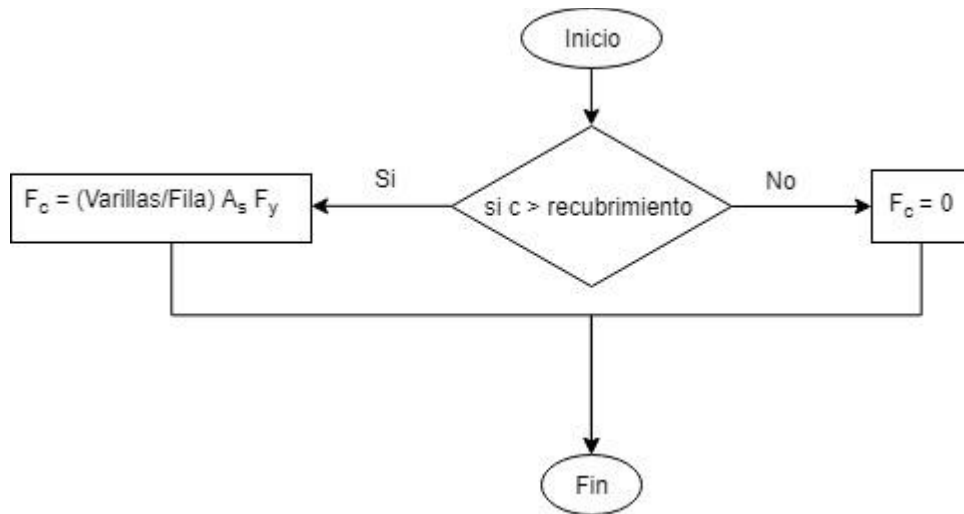
Diagrama de flujo 44: Brazo figura No. 2 a tensión [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

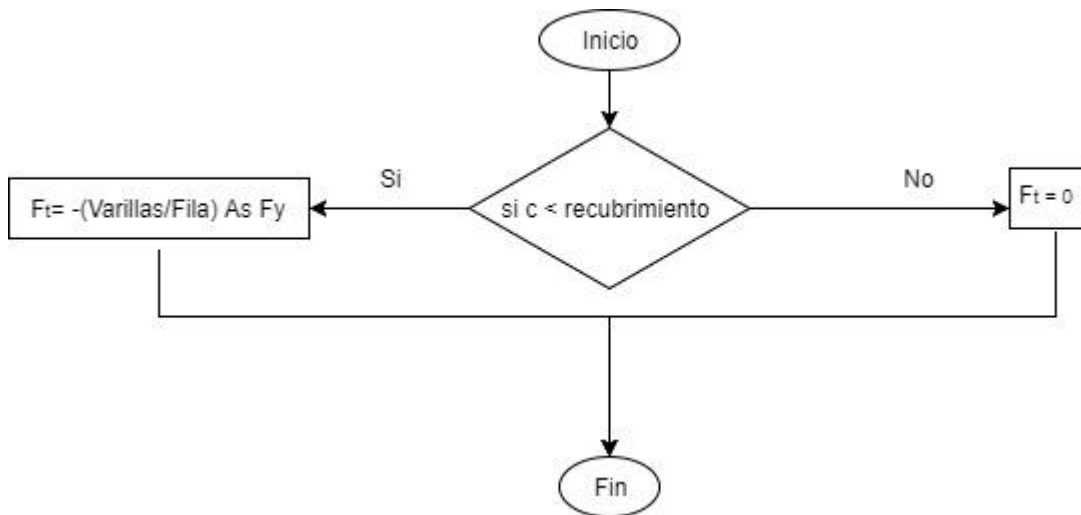
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 45: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 1]



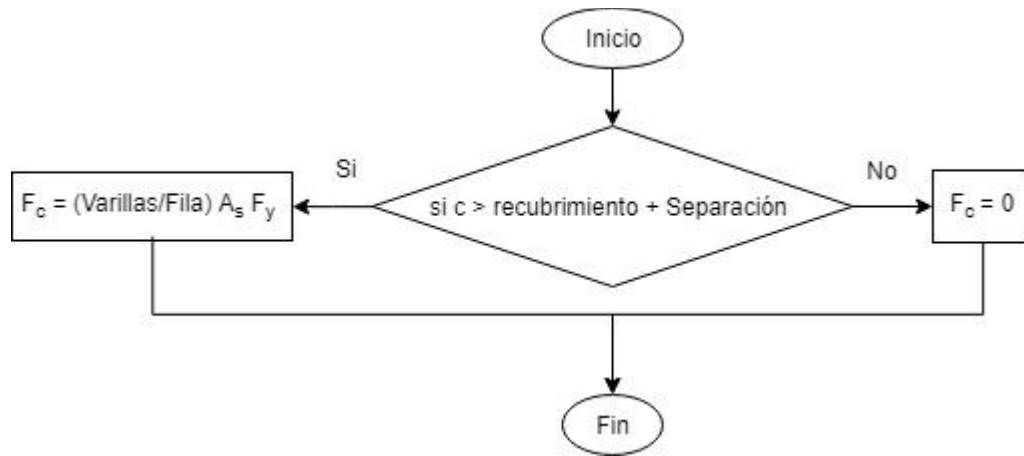
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 46: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 1]



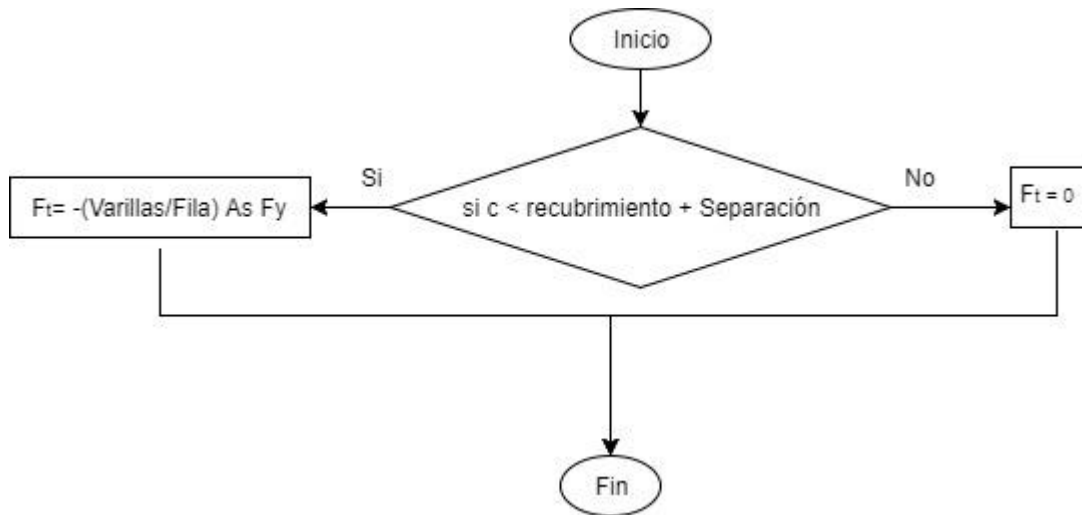
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 47: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 2]



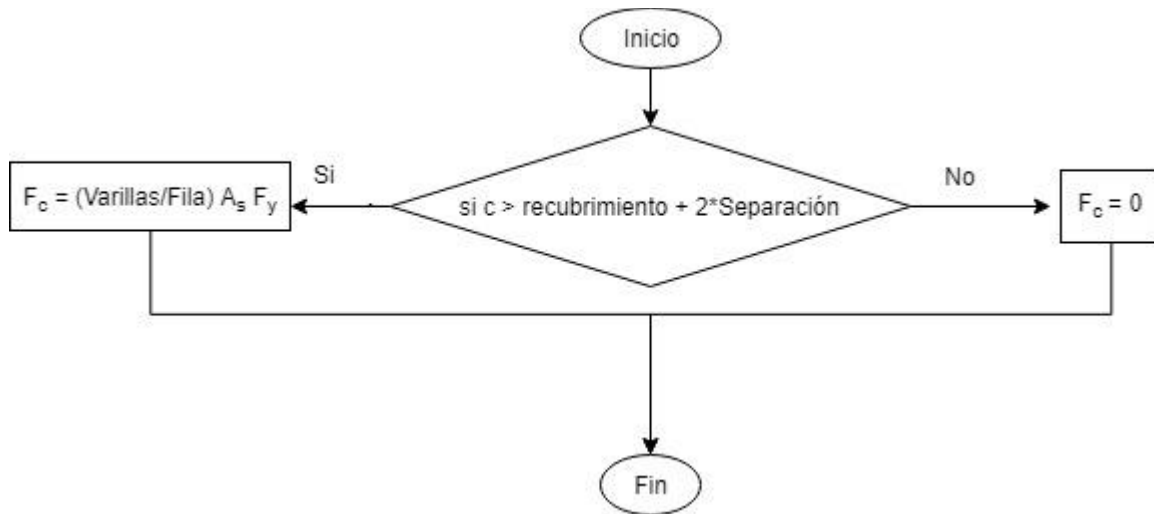
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 48: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 2]



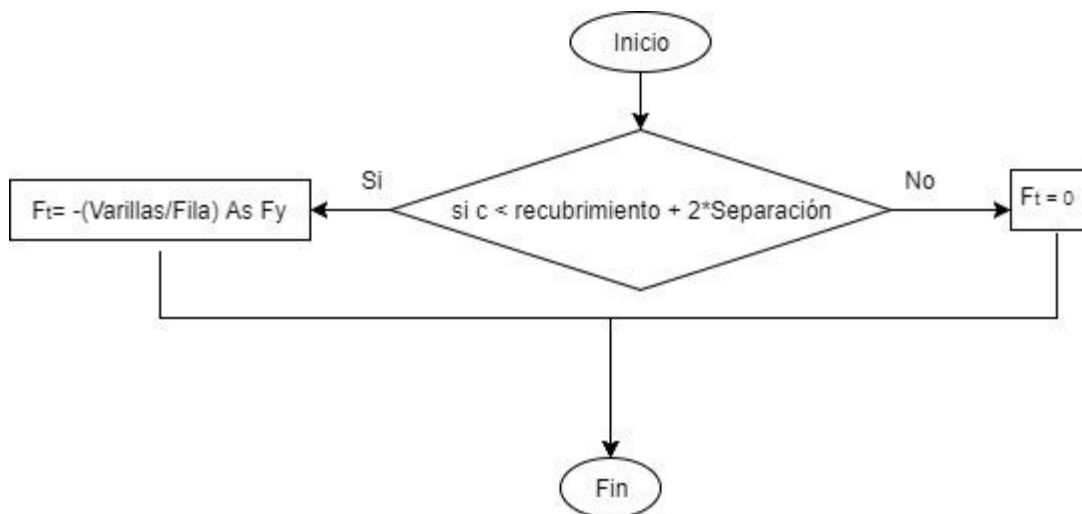
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 49: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 3]



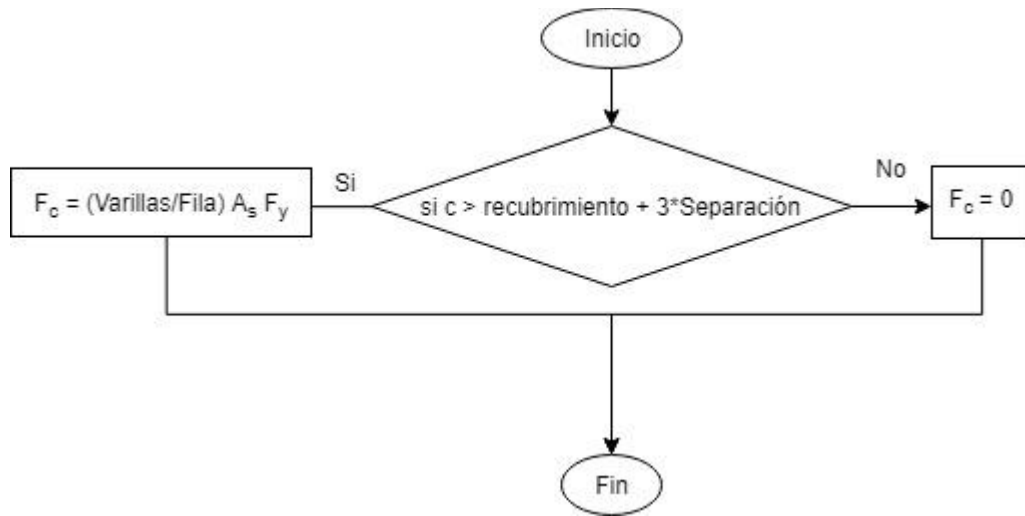
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 50: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 3]



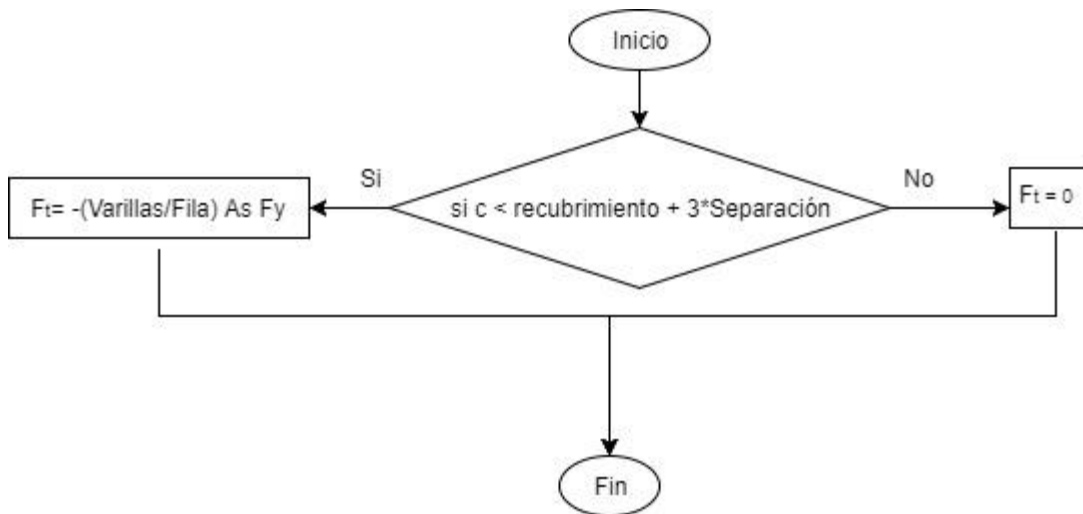
Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 51: Compresión varillas de refuerzo [fila No. 4]



Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 52: Tensión varillas de refuerzo [fila No. 4]



Fuente: elaboración propia (2018)

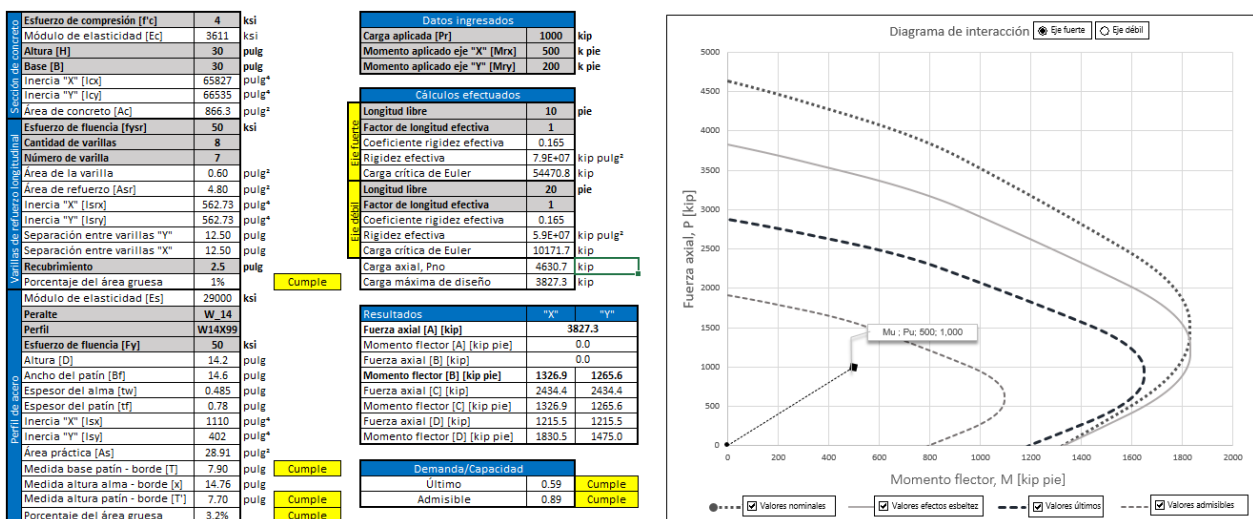
4.1.2. Programa columnas rectangulares Microsoft Excel.

Formato de programa en Microsoft Excel para ingreso de datos y selección de parámetros.

Esta sección es válida para el eje fuerte y débil. Esta hoja de Microsoft Excel sirve para procedimientos posteriores. En principio se definirán los datos que debe ingresar y seleccionar el usuario. Para ello se debe realizar la siguiente distribución en el espacio de la hoja de cálculo. El autor decidió definir los datos divididos en cada material (concreto, varillas de refuerzo y perfil de acero) para realizarlo de manera ordenada.

Esta primera hoja de cálculo que se editará tiene el nombre de “Ingreso de datos”

Ilustración 44: Formato programa en Microsoft Excel



Fuente: elaboración propia (2018)

En la ilustración anterior se observa que las celdas que se encuentran en negrillas son aquellas en las que el lector debe ingresar o seleccionar valores. Las demás celdas se llenarán automáticamente.

Las celdas se llenarán automáticamente al modificar las dimensiones de la sección, el perfil a utilizar y el acero de refuerzo. Para modificar las celdas se utilizará la función “BUSCARV”.

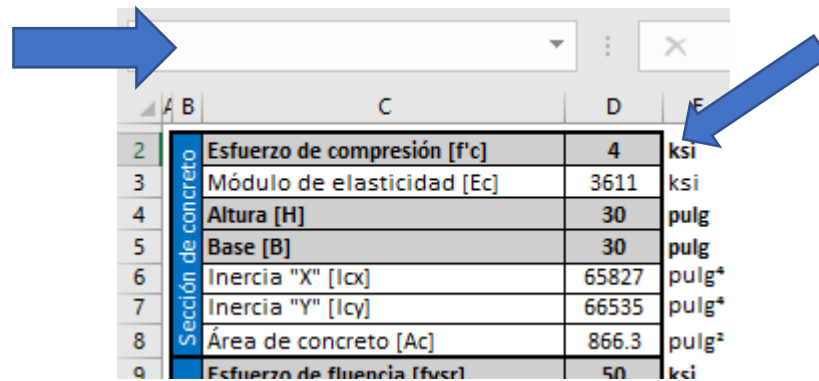
La función de “Validación de datos” se utilizará para generar varias listas independientes y dependientes. Tales listas serán para el perfil y su peralte, el número de varillas y el área de las varillas por mencionar algunas.

En la hoja “Ingreso de datos” se procederá a cambiar el nombre de las celdas que se utilizará para cada propiedad de material.

El procedimiento es el siguiente:

Primero es necesario seleccionar la celda que se desea cambiar de nombre.

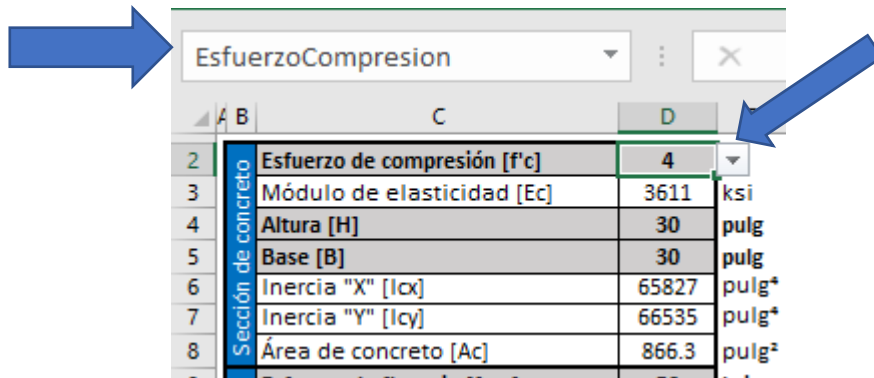
Ilustración 45: Nombre de celdas



Fuente: elaboración propia (2018)

En la esquina superior izquierda, se cambia el número por el nombre sin espacios. (Por ejemplo, AlturaH en lugar de B3).

Ilustración 46: Nombre de celdas



Fuente: elaboración propia (2018)

En la tabla 3, se muestra una el nombre de la celda colocado y su significado para la sección rectangular.

Tabla 3: Nombre de las celdas columna rectangular

Rango	Descripción	Nombre de la celda
Concreto	Esfuerzo de compresión [f'_c]	EsfuerzoCompresion
	Módulo de elasticidad concreto [E_c]	Ec
	Altura [H]	AlturaH
	Base [B]	BaseB
	Inercia "X" [I_{cx}]	InerciaCX
	Inercia "Y" [I_{cy}]	InerciaCY
	Área de concreto [A_c]	AreaConcreto
Varillas de refuerzo longitudinal	Esfuerzo de fluencia [F_{ysr}]	EsfuerzoFluenciaVarillas
	Cantidad de varillas	CantVarillas
	Número de varilla	NumVarilla
	Área de la varilla	AsVarilla
	Área de refuerzo	asr
	Inercia "X" [I_{srx}]	InerciaVarillaX
	Inercia "Y" [I_{sry}]	InerciaVarillaY
	Separación entre varillas [eje fuerte]	SeparacionEF
	Separación entre varillas [eje débil]	SeparacionED
	Recubrimiento	Recubrimiento
Perfil acero	Módulo de elasticidad [E_s]	Es

	Peralte	Peralte
	Perfil	Perfil
	Esfuerzo fluencia [F_y]	EsfuerzoFluenciaPerfil
	Altura [D]	AlturaD
	Ancho del patín [B_f]	AnchoPatin
	Espesor del alma [t_w]	EspesorAlma
	Espesor del patín [t_f]	EspesorPatin
	Inercia "X" [I_{sx}]	InerciaPerfilX
	Inercia "Y" [I_{sy}]	InerciaPerfilY
	Área práctica [A_s]	AreaPerfil
	Medida de la base del patín al borde [T]	MedidaT
	Medida de la altura del patín al borde [T']	MedidaTprima
	Medida de la altura del alma al borde [x]	MedidaX
Cargas de aplicadas	Carga aplicada [P_r]	Pr
	Momento aplicado eje "X" [M_{rx}]	Mrx
	Momento aplicado eje "Y" [M_{ry}]	Mry
	Longitud libre [L]	LongLibreEF
Procedimiento [eje fuerte]	Factor de longitud efectiva [K]	FactorKEF
	Coeficiente de rigidez efectiva	CoefRigidezEfectiva
	Rigidez efectiva	RigidezEfectivaEF
	Carga crítica de Euler [P_e]	CargaEulerEF
	Longitud libre [L]	LongLibreED

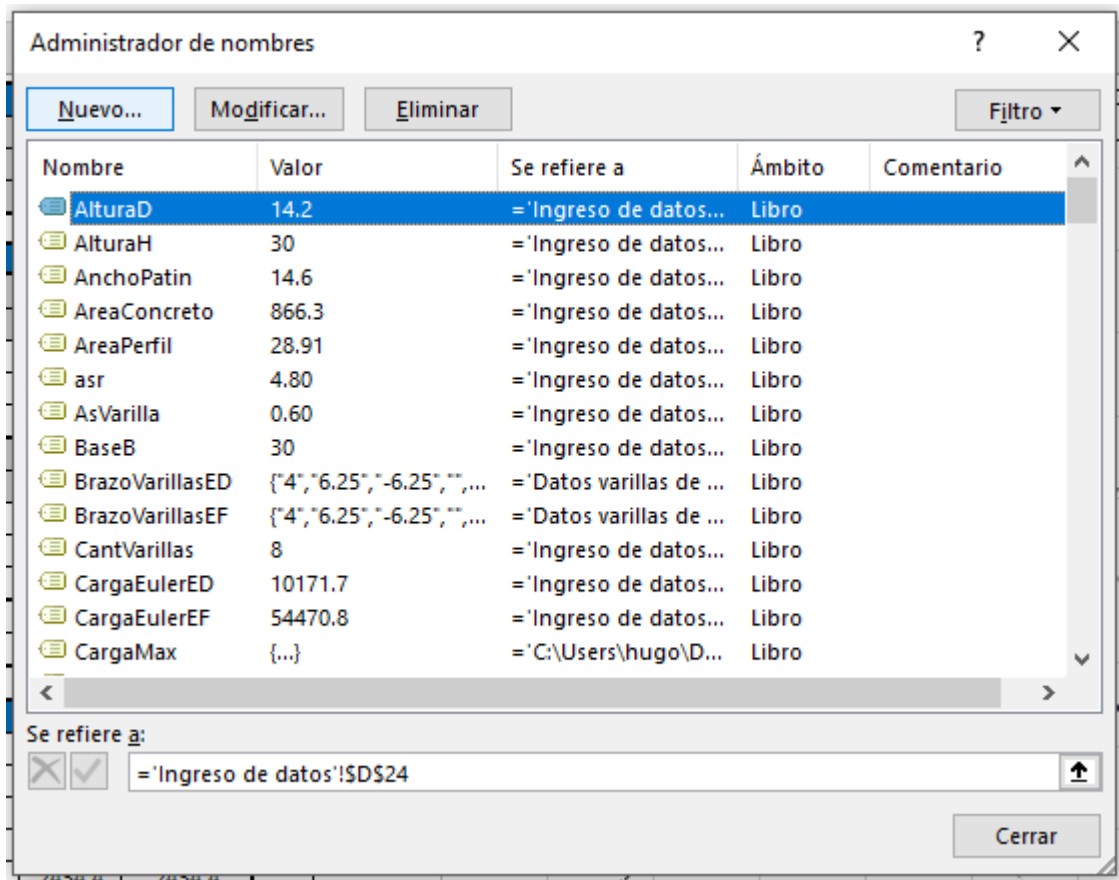
Procedimiento [eje débil]	Factor de longitud efectiva [K]	FactorKED
	Coeficiente de rigidez efectiva	CoefRigidezEfectiva
	Rigidez efectiva	RigidezEfectivaED
	Carga crítica de Euler [P_e]	CargaEulerED
Carga de diseño	Carga máxima [$P_{m\acute{a}x}$]	Pmax
	Carga axial [P_{no}]	Pno
Resultados	Fuerza axial punto A [P_A]	PA
	Momento punto A [M_A]	MA
	Fuerza axial punto B [P_B]	PB
	Momento nominal punto B eje "X" [M_{Bx}]	MBx
	Momento nominal punto B eje "Y" [M_{By}]	MBy
	Fuerza axial punto C eje "X" [P_{Cx}]	PCx
	Fuerza axial punto C eje "Y" [P_{Cy}]	PCy
	Momento nominal punto C eje "X" [M_{Cx}]	MCx
	Momento nominal punto C eje "Y" [M_{Cy}]	MCy
	Fuerza axial punto D eje "X" [P_{Dx}]	PCx
	Fuerza axial punto D eje "Y" [P_{Dy}]	PCy
	Momento nominal punto D eje "X" [M_{Dx}]	MDx
Momento nominal punto D eje "Y" [M_{Dy}]	MDy	
Cálculos eje fuerte	Cantidad de varillas en fila #1 concreto	VarillasFila1ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #2 concreto	VarillasFila2ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #3 concreto	VarillasFila3ConcretoEF

	Cantidad de varillas en fila #4 concreto	VarillasFila4ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #1 acero	VarillasFila1AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #2 acero	VarillasFila2AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #3 acero	VarillasFila3AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #4 acero	VarillasFila4AceroEF
Cálculos eje débil	Cantidad de varillas en fila #1 concreto	VarillasFila1ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #2 concreto	VarillasFila2ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #3 concreto	VarillasFila3ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #4 concreto	VarillasFila4ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #1 acero	VarillasFila1AceroED
	Cantidad de varillas en fila #2 acero	VarillasFila2AceroED
	Cantidad de varillas en fila #3 acero	VarillasFila3AceroED
	Cantidad de varillas en fila #4 acero	VarillasFila4AceroED

Fuente: elaboración propia (2018)

En la parte de Formulas>Nombres Definidos>Administrador de Nombres, se encuentra la lista de todos los nombres ingresados. En esta parte, se modifica un nombre o la ubicación de la celda.

Ilustración 47: Ventana administración de nombres de celda



Fuente: elaboración propia (2018)

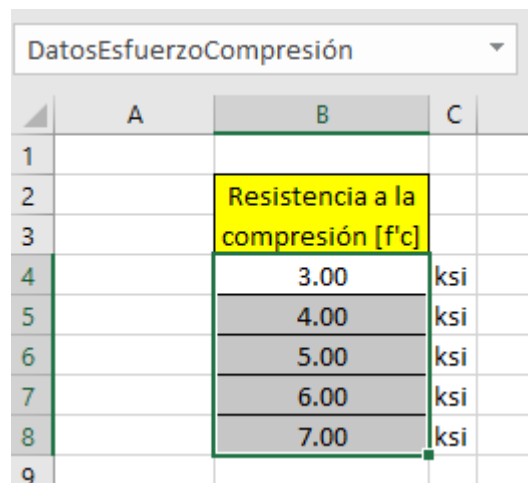
Sección de concreto:

En la parte de “Sección de concreto” de la hoja “Ingreso de datos”, el usuario debe ingresar los valores de altura (H) y base (B). Es importante destacar que los valores de altura (H) y base (B) deben ser enteros y preferiblemente de valor par.

De acuerdo con la referencia, se especifica que el esfuerzo de compresión (f'_c) del concreto debe ser mayor que 3 ksi y no mayor que 10 ksi. Se basará en el apéndice B de ACI (2014).

A continuación, se procederá a crear una nueva hoja llamada “Datos concreto”. En ella se tabulará el apéndice B de ACI (2014). La tabla se nombrará como “DatosEsfuerzoCompresion”. Con los datos de la Tabla 1 se procederá a crear una nueva lista desplegable con las diferentes resistencias a la compresión disponible.

Ilustración 48: Ingreso tabla resistencia a compresión concreto

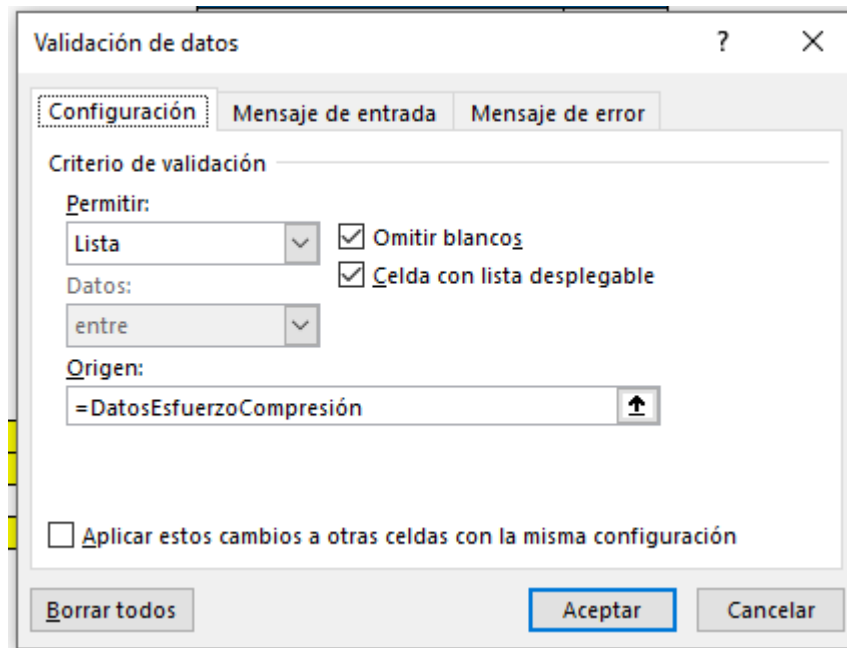


	A	B	C
1			
2		Resistencia a la compresión [f'_c]	
3			
4		3.00	ksi
5		4.00	ksi
6		5.00	ksi
7		6.00	ksi
8		7.00	ksi
9			

Fuente: elaboración propia (2018)

Como resultado se obtiene la siguiente ilustración. Este valor corresponde a la celda “EsfuerzoCompresion” que es el esfuerzo de compresión f'_c a utilizar.

Ilustración 49: Validación de datos resistencia a compresión concreto



Fuente: elaboración propia (2018)

El valor del módulo de elasticidad del concreto se calcula con la siguiente ecuación:

Fórmula 12: Módulo de elasticidad concreto en función de esfuerzo de compresión

$$E_c = 57.10 \sqrt{f'c} \text{ donde } [f'c] \text{ se ingresa en psi.}$$

Ilustración 50: Determinación módulo de elasticidad del concreto

PAGO		=57.1*RAIZ(EsfuerzoCompresion*1000)													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J						
2	concreto	Esfuerzo de compresión [f'c]	4	ksi	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Datos ingresados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carga aplicada [Pr]</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Momento aplicado eje "X" [Mrx]</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table>					Datos ingresados		Carga aplicada [Pr]	1000	Momento aplicado eje "X" [Mrx]	500
Datos ingresados															
Carga aplicada [Pr]	1000														
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	500														
3		Módulo de elasticidad [Ec]	=57.1*RA	ksi											
4		Altura [H]	30	pulg											

Fuente: elaboración propia (2018)

La inercia en "X" y la inercia en "Y" se calculan de la siguiente forma:

Fórmula 13: Momento de inercia en "X" sección de concreto rectangular

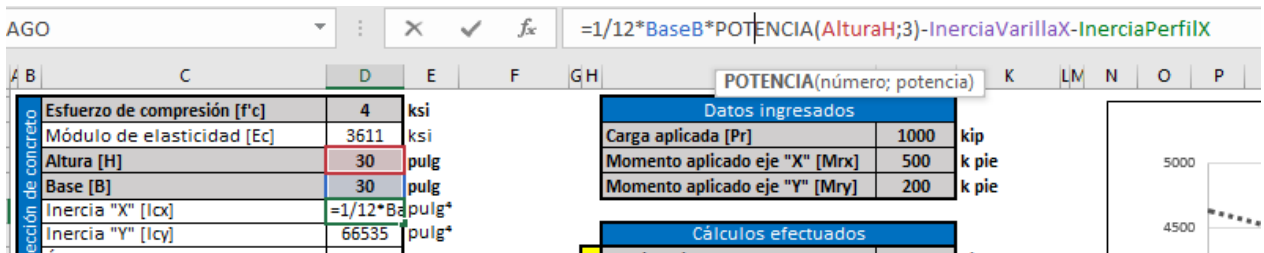
$$I_{Cx} = \frac{1}{12} BH^3 - I_{sx} - I_{srx}$$

Fórmula 14: Momento de inercia en "Y" sección de concreto rectangular

$$I_{Cy} = \frac{1}{12} HB^3 - I_{sy} - I_{sry}$$

La fórmula se debe ingresar en Microsoft Excel para el eje X. (Ver fórmula 13).

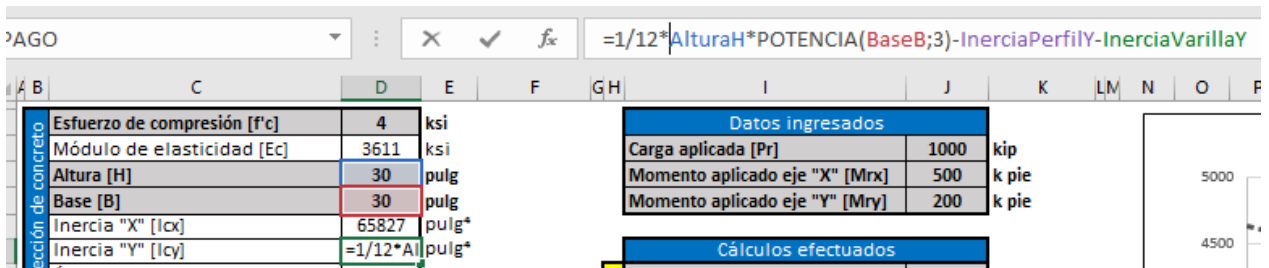
Ilustración 51: Determinación inercia sección de concreto rectangular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje Y. (Ver fórmula 14).

Ilustración 52: Determinación inercia sección de concreto rectangular eje débil



Fuente: elaboración propia (2018)

El área de concreto se calcula como el área gruesa menos el área del perfil y de las varillas de refuerzo longitudinal.

Fórmula 15: Área sección de concreto rectangular

$$A_c = (B)(H) - A_s - A_{sr}$$

El procedimiento para ingresar los valores en Microsoft Excel el siguiente: (Ver fórmula 15).

Ilustración 53: Determinación área sección de concreto rectangular

AGO		X ✓ fx		=+BaseB*AlturaH-asr|AreaPerfil			
A	B	C	D	E	F	GH	I
Sección de concreto	Esfuerzo de compresión [f'c]		4	ksi			Datos ingresados
	Módulo de elasticidad [Ec]		3611	ksi			Carga aplicada [Pr]
	Altura [H]		30	pulg			Momento aplicado eje "X" [Mrx]
	Base [B]		30	pulg			Momento aplicado eje "Y" [Mry]
	Inercia "X" [Icx]		65827	pulg ⁴			
	Inercia "Y" [Icy]		66535	pulg ⁴			
Área de concreto [Ac]		=+BaseB	pulg ²				Cálculos efectuados
							Longitud libre

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de refuerzo longitudinal:

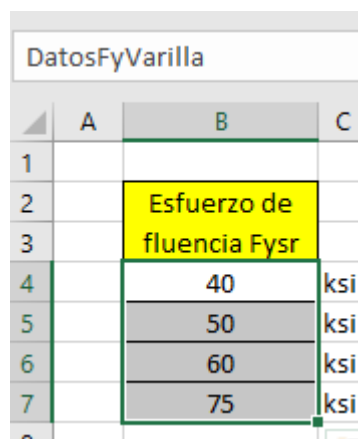
Como siguiente parte, se procederá a modificar la tabla de “Varillas de refuerzo longitudinal”

La celda “Recubrimiento” es un valor ingresado por el lector. De acuerdo con ACI (2014), la distancia mínima de protección al medio circundante, fuego y corrosión para columnas no expuestas distancia centro a cara de concreto debe ser mayor o igual a 1.50 pulgadas. Esta distancia es medida a centro de varilla.

Se colocará una lista desplegable para colocar el esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo. A comparación del esfuerzo de fluencia del perfil, se cuenta con más valores de donde escoger. Los valores mínimos son 40 ksi y el valor máximo 75 ksi.

Los valores del esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo se ingresan en la hoja de Excel “Datos varillas de refuerzo” y será nombrada como “DatosFyVarilla”

Ilustración 54: Ingreso tabla esfuerzo de fluencia varillas de refuerzo longitudinal



	A	B	C
1			
2		Esfuerzo de fluencia Fysr	
3			
4		40	ksi
5		50	ksi
6		60	ksi
7		75	ksi

Fuente: elaboración propia (2018)

En la hoja “Ingreso de datos” en la celda “EsfuerzoFluenciaVarillas”, que corresponde al esfuerzo de fluencia de las varillas de refuerzo, se colocará una lista desplegable con la función “Validación de datos”. El procedimiento es como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 55: Validación de datos esfuerzo de fluencia varillas

	C	D	E
2	Esfuerzo de compresión [f'c]	4	ksi
3	Módulo de elasticidad [Ec]	3611	ksi
4	Altura [H]	30	pulg
5	Base [B]	30	pulg
6	Inercia "X" [Icx]	65827	pulg ⁴
7	Inercia "Y" [Icy]	66535	pulg ⁴
8	Área de concreto [Ac]	866.3	pulg ²
9	Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	
10	Cantidad de varillas	8	
11	Número de varilla	7	
12	Área de la varilla	0.60	pulg ²
13	Área de refuerzo [Asr]	4.80	pulg ²
14	Inercia "X" [Isrx]	562.73	pulg ⁴
15	Inercia "Y" [Isry]	562.73	pulg ⁴
16	Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg
17	Separación entre varillas "X"	12.50	pulg
18	Recubrimiento	2.5	pulg
19	Porcentaje del área gruesa	1%	
20	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 56: Lista desplegable esfuerzo de fluencia varillas

Esfuerzo de fluencia [fysr]	50
Cantidad de varillas	40
Número de varilla	50
Área de la varilla	60
Área de refuerzo [Asr]	75

Fuente: elaboración propia (2018)

Como siguiente parte se tiene que añadir la cantidad de varillas permitidas en la sección transversal. El grupo de varillas permitidas para cumplir la condición de doblemente simétrica es 4, 6, 8, 10 y 12. Las varillas se colocarán primero una en cada esquina y las demás serán distribuidas en las cuatro caras de la sección. En el caso del conjunto de varillas de 6 y 10, se colocarán más varillas en la dirección del eje fuerte. (Ver distribución de varillas en ilustración 19).

La tabla de cantidad de varillas tiene el nombre de “DatosCantVarillas” como se muestra en la siguiente ilustración. Esto se realiza en la misma hoja de “Datos de varillas de refuerzo”

Ilustración 57: Cantidad de varillas permitidas sección compuesta

DatosCantVarillas			
	H	I	J
1			
2		Cantidad de	
3		varillas	
4		4	
5		6	
6		8	
7		10	
8		12	
9			

Fuente: elaboración propia (2018)

De la misma forma, con la ayuda de “Validación de datos” se realiza una lista desplegable que muestre los valores permitidos.

Ilustración 58: Validación de datos cantidad de varillas permitidas

Sección de concreto	Esfuerzo de compresión [f'c]	4	ksi
	Módulo de elasticidad [Ec]	3611	ksi
	Altura [H]	30	pulg
	Base [B]	30	pulg
	Inercia "X" [Icx]	65827	pulg ⁴
Varillas de refuerzo longitudinal	Inercia "Y" [Icy]	66535	pulg ⁴
	Área de concreto [Ac]	866.3	pulg ²
	Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi
	Cantidad de varillas	8	
	Número de varilla	7	
	Área de la varilla	0.60	pulg ²
	Área de refuerzo [Asr]	4.80	pulg ²
	Inercia "X" [Isrx]	562.73	pulg ⁴
	Inercia "Y" [Isry]	562.73	pulg ⁴
	Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg
Separación entre varillas "X"	12.50	pulg	
Recubrimiento	2.5	pulg	
Porcentaje del área gruesa	1%		
Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi	
Peralte	W 14		

Validación de datos

Configuración Mensaje de entrada Mensaje de error

Criterio de validación

Permitir: Lista Omitir blancos

Datos: entre Celda con lista desplegable

Origen: =DatosCantVarillas

Aplicar estos cambios a otras celdas con la misma configuración

Borrar todos Aceptar Cancelar

Fuente: elaboración propia (2018)

El resultado es el siguiente:

Ilustración 59: Lista desplegable cantidad de varillas permitidas

Zona longitudinal	Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi
	Cantidad de varillas	8	
	Número de varilla	4	
	Área de la varilla	6	lg ²
	Área de refuerzo [Asr]	8	lg ²
	Inercia "Y" [Ixy]	10	
		12	
		562.73	Inch ⁴

Fuente: elaboración propia (2018)

En la hoja “Datos varillas de refuerzo” tiene que agregar una tabla que contiene el número de varilla y su área en pulgadas cuadradas. Se utilizará desde la varilla No. 5 hasta la varilla No. 11. Las varillas No. 3 y No. 4 no se utilizan debido a que son utilizadas como estribos. Las varillas arriba de la #11 no son muy comunes por lo que no se recomiendan utilizar. (Ver tabla 1).

Ilustración 60: Ingreso tabla propiedades del número de varillas

DatosVarilla				5		
A	B	C	D	E	F	G
1						
2				Propiedades de las refuerzo longitudinal		
3	Esfuerzo de fluencia Fysr			Varilla No.	Diámetro [pulg]	área [pulg ²]
4	40	ksi		5	0.625	0.31
5	50	ksi		6	0.750	0.44
6	60	ksi		7	0.875	0.60
7	75	ksi		8	1.000	0.79
8				9	1.128	1.00
9				10	1.270	1.27
10				11	1.410	1.56
11						
12						

Fuente: elaboración propia (2018)

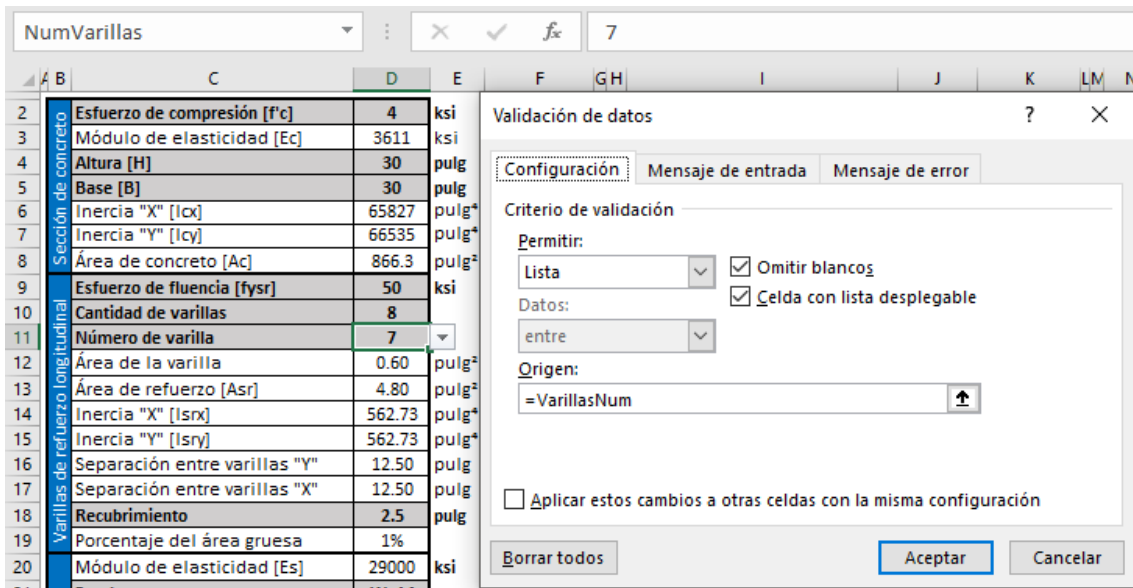
Ilustración 61: Nombre de la tabla de número de varilla

	A	B	C	D	E
1					
2		Esfuerzo de			Propiedades d
3		fluencia Fysr			
4		40	ksi		Varilla No. Di
5		50	ksi		5
6		60	ksi		6
7		75	ksi		7
8					8
9					9
10					10
11					11
12					

Fuente: elaboración propia (2018)

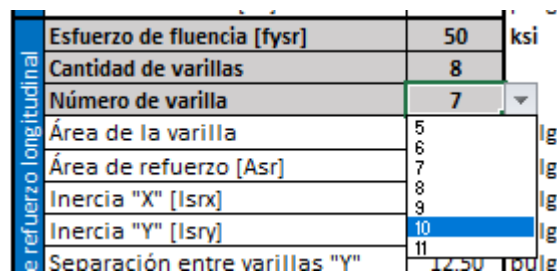
En la hoja “Ingreso de datos” se creará una nueva lista desplegable en la parte de varillas de refuerzo longitudinal en la celda “NumVarillas”. Se realizará el mismo procedimiento con la herramienta “Validación de datos” para la celda “VarillasNum” de la hoja “Datos de varillas de refuerzos”. La celda queda de la siguiente manera.

Ilustración 62: Validación de datos número de varilla



Fuente: elaboración propia (2018)

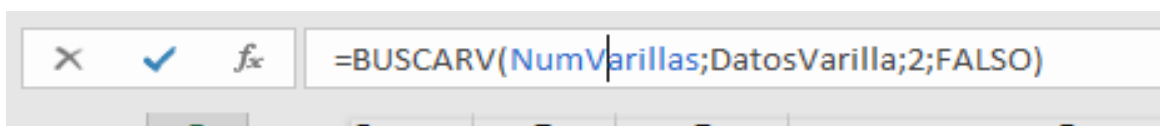
Ilustración 63: Lista desplegable número de varilla



Fuente: elaboración propia (2018)

Como se observa en la siguiente ilustración, se puede seleccionar el número de varilla que se necesite. En la celda "AsVarilla" se utilizará la función "=BUSCARV" para que, al momento de seleccionar el número de varilla, la función devuelva el área transversal de la varilla. La función se escribe de la siguiente manera.

Ilustración 64: Parámetros función "=BUSCARV"



Fuente: elaboración propia (2018)

Al momento de seleccionar un número de varilla, la función devuelve el valor del área transversal de la misma.

Ilustración 65: Determinación del área de la varilla seleccionada

Sección de concreto			
Esfuerzo de compresión [f'c]	4	ksi	
Módulo de elasticidad [Ec]	3611	ksi	
Altura [H]	30	pulg	
Base [B]	30	pulg	
Inercia "X" [Icx]	65827	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Icy]	66535	pulg ⁴	
Área de concreto [Ac]	866.3	pulg ²	
Reinforcement longitudinal			
Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi	
Cantidad de varillas	8		
Número de varilla	7		
Área de la varilla	=+BUSCARV(7;DatosVarilla;3;FALSO)	pulg ²	

Datos ingresados			
Carga aplicada [Pr]	1000	kip	
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	500	k pie	
Momento aplicado eje "Y" [Mry]	200	k pie	

Cálculos efectuados			
Longitud libre	10	pie	
Factor de longitud efectiva	1		
Coefficiente rigidez efectiva	0.165		
Rigidez efectiva	7.9E+07	kip pulg ²	
Carga crítica de Euler	54470.8	kip	

Fuente: elaboración propia (2018)

Posteriormente, se procederá a calcular el área de refuerzo. Para ello se utiliza la siguiente ilustración:

Ilustración 66: Área del refuerzo longitudinal

Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi
Cantidad de varillas	8	
Número de varilla	7	
Área de la varilla	0.60	pulg ²
Área de refue	=+AsVarilla*CantVarillas	
Inercia "X" [Isrx]	562.73	pulg ⁴
Inercia "Y" [Isry]	562.73	pulg ⁴

Fuente: elaboración propia (2018)

El espaciamiento entre varillas para cada combinación se calculará dependiendo de la cantidad de varillas utilizadas. Para ello en la hoja "Datos varillas de refuerzo" se crearán dos tablas, una para cada eje. En la primera tabla se colocará la cantidad de espaciamientos que hay para cada combinación de varillas. Se realizará el mismo procedimiento en el eje débil. La fórmula por utilizar para calcular el espaciamiento es la siguiente:

Fórmula 16: Separación de varillas en dirección del eje fuerte

$$\text{Separación de varillas Eje Fuerte} = \frac{H - 2 \text{ rec}}{\text{Cant de espaciamentos}}$$

Fórmula 17: Separación de varillas en dirección del eje débil

$$\text{Separación de varillas "Eje Débil"} = \frac{B - 2 \text{ rec}}{\text{Cant de espaciamentos}}$$

Para utilizar las formulas anteriores se apoyará de la siguiente tabla. Esta tabla representa la de cantidad de espaciamentos para determinar la separación entre varillas en cada eje.

Tabla 4: Cantidad de espaciamentos entre varillas por eje

Eje fuerte		Eje débil	
Cant. Varillas	Cant. Espaciamentos	Cant. Varillas	Cant. Espaciamentos
4	1	4	1
6	2	6	1
8	2	8	2
10	3	10	2
12	3	12	3

Fuente: elaboración propia (2018)

La tabla anterior se realiza a partir de la ilustración 19 de las posibles combinaciones de varillas.

La función “=BUSCARV” se utilizará para encontrar esa cantidad de espaciamentos dependiendo del número de varillas.

Las tablas se nombrarán como “DatosEF” y “DatosED” para la cantidad de espaciamentos del eje fuerte y débil respectivamente. El resultado es el siguiente:

Ilustración 67: Cantidad de espaciamentos sección rectangular eje fuerte.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table named 'DatosEF'. The table has four columns: 'Cantidad de varillas', 'Cantidad de espaciamentos', 'Cantidad de varillas', and 'Cantidad de espaciamentos'. The first two columns are grouped under 'Eje fuerte' and the last two under 'Eje débil'. The data rows show the following values:

	Eje fuerte		Eje débil	
	Cantidad de varillas	Cantidad de espaciamentos	Cantidad de varillas	Cantidad de espaciamentos
4	4	1	4	1
6	6	2	6	1
8	8	2	8	2
10	10	3	10	2
12	12	3	12	3

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 68: Cantidad de espaciamentos sección rectangular eje débil

	J	K	L	M	N
1					
2		Eje fuerte		Eje débil	
3		Cantidad de varillas	Cantidad de espaciamentos	Cantidad de varillas	Cantidad de espaciamentos
4					
5		4	1	4	1
6		6	2	6	1
7		8	2	8	2
8		10	3	10	2
9		12	3	12	3
10					

Fuente: elaboración propia (2018)

Las formulas se ingresan de la siguiente manera (ver fórmula 16):

Eje fuerte:

Ilustración 69: Determinación de separación de varillas eje fuerte sección rectangular

GO =+(AlturaH-2*Recubrimiento)/(BUSCARV(CantVarillas;DatosEF;2;FALSO))

	C	D	E	F	GH	I
Sección de concreto						
Esfuerzo de compresión [f'c]		4	ksi			
Módulo de elasticidad [Ec]		3611	ksi			
Altura [H]		30	pulg			
Base [B]		30	pulg			
Inercia "X" [Icx]		65827	pulg ⁴			
Inercia "Y" [Icy]		66535	pulg ⁴			
Área de concreto [Ac]		866.3	pulg ²			
Esfuerzo de fluencia [fysr]		50	ksi			
Varillas de refuerzo longitudinal						
Cantidad de varillas		8				
Número de varilla		7				
Área de la varilla		0.60	pulg ²			
Área de refuerzo [Asr]		4.80	pulg ²			
Inercia "X" [Isrx]		562.73	pulg ⁴			
Inercia "Y" [Isry]		562.73	pulg ⁴			
Separación entre varillas "Y"		=+(Altura	pulg			
Separación entre varillas "X"		12.50	pulg			
Varillas de refuerzo transversal						
Recubrimiento		2.5	pulg			
Porcentaje del área gruesa		1%		Cumple		

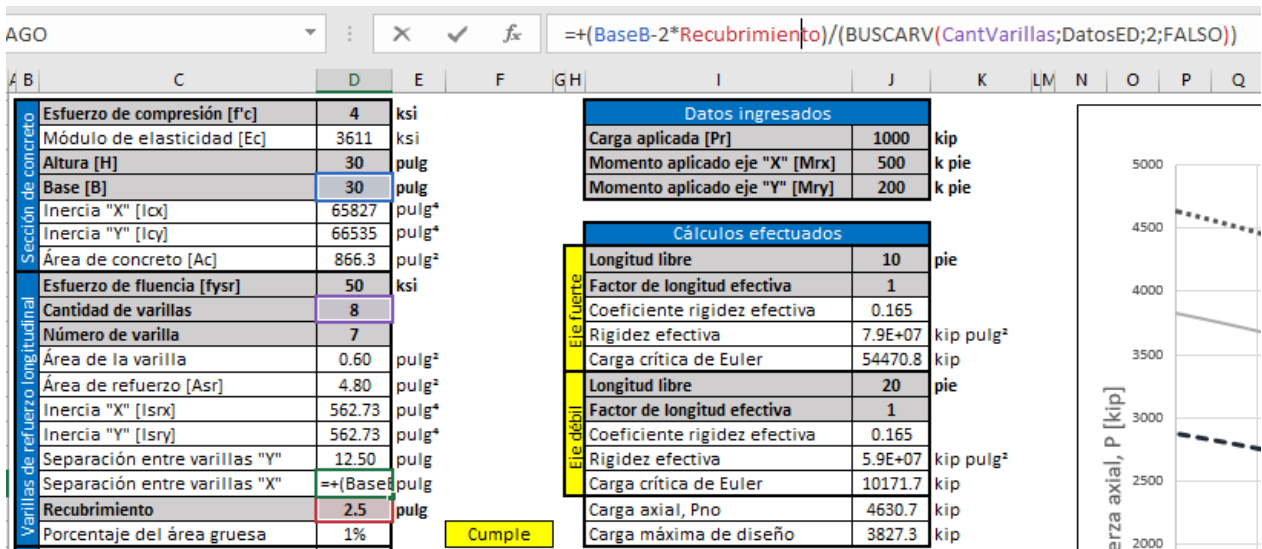
Datos ingresados		
Carga aplicada [Pr]	1000	kip
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	500	k pie
Momento aplicado eje "Y" [Mry]	200	k pie

Cálculos efectuados		
Eje fuerte		
Longitud libre	10	pie
Factor de longitud efectiva	1	
Coefficiente rigidez efectiva	0.165	
Rigidez efectiva	7.9E+07	kip pulg ²
Carga crítica de Euler	54470.8	kip
Eje débil		
Longitud libre	20	pie
Factor de longitud efectiva	1	
Coefficiente rigidez efectiva	0.165	
Rigidez efectiva	5.9E+07	kip pulg ²
Carga crítica de Euler	10171.7	kip
Carga axial, Pno	4630.7	kip
Carga máxima de diseño	3827.3	kip

Fuente: elaboración propia (2018)

Para eje débil (ver fórmula 17):

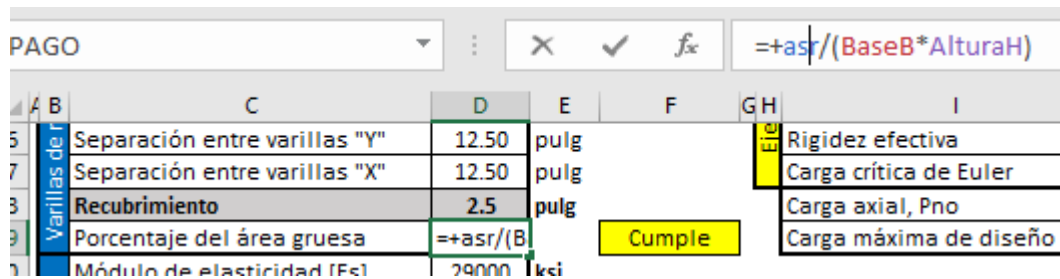
Ilustración 70: Determinación de separación de varillas eje débil sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Las varillas de refuerzo longitudinal deben cumplir un porcentaje del área gruesa. Deben ser al menos el 0.40% del área gruesa. En el caso que no se cumpla, la sección no es adecuada.

Ilustración 71: Porcentaje de área de varillas de refuerzo sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

La condición se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 72: Condición porcentaje de área varillas de refuerzo sección rectangular

	C	D	E	F	G	H
Varillas de refuerzo	Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg			
	Separación entre varillas "X"	12.50	pulg			
	Recubrimiento	2.5	pulg			
	Porcentaje del área gruesa	1%		=SI(8%>=D1		
	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi			
					SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_fa	
					Rigidez efectiva	5.9E+07 kip pulg
					Carga crítica de Euler	10171.7 kip
					Carga axial, Pno	4630.7 kip
					Carga máxima de diseño	3827.3 kip

Fuente: elaboración propia (2018)

Ahora se procederá a determinar la inercia de las varillas en ambos ejes respecto al eje centroidal. Para calcular la inercia de las varillas en ambos ejes se tiene calcular la distancia a la que esta cada fila de varillas al eje centroidal. Esta distancia se dejará en términos de la separación entre varillas. La razón es que se cuenta con el valor de separación y facilita la aplicación de factores. Este valor se obtiene de las ilustraciones de posibles combinaciones de secciones.

De la misma forma que se realizó una tabla para determinar la cantidad de varillas por fila, se realizará una nuevamente para la distancia de las varillas al eje centroidal. Esta tabla se utilizará en el momento de determinar la fuerza axial y momentos de las varillas. La convención por utilizar consiste en que las varillas arriba del eje centroidal tienen distancias de valor positivo y las que se encuentren por debajo de valor negativo. La tabla se realizará en base al siguiente esquema. (Ver ilustración 32 - ilustración 36).

Tabla 5: Distancia de la fila de varillas al eje centroidal "X".

		Distancia de la fila al eje centroidal "X"			
		Fila No. 1	Fila No. 2	Fila No. 3	Fila No. 4
Cantidad de varillas	4	½ separación	-½ separación	0	0
	6	Separación	0	-Separación	0
	8	Separación	0	-Separación	0
	10	3/2 Separación	½ separación	-½ separación	-3/2 separación
	12	3/2 Separación	½ separación	-½ separación	-3/2 separación

Fuente: elaboración propia (2018)

La tabla anterior se traducirá a Microsoft Excel en términos de la separación. Esta tabla es válida para el diagrama de iteración en el eje fuerte. La tabla anterior será ingresada en la hoja de cálculo “Datos varillas de refuerzo”

El resultado es el siguiente (ver tabla 5):

Ilustración 73: Cantidad de varillas por fila y distancia al eje fuerte sección rectangular

Eje fuerte									
Cantidad de varillas	Cantidad de varillas por fila				Cantidad de varillas	Distancia fila al eje centroidal			
	Número de fila					Número de fila			
	1	2	3	4		1	2	3	4
4	2	2	0	0	4	6.25	-6.25		
6	2	2	2	0	6	12.50	0.00	-12.50	
8	3	2	3	0	8	12.5	0.00	-12.50	
10	3	2	2	3	10	18.75	6.25	-6.25	-18.75
12	4	2	2	4	12	18.75	6.25	-6.25	-18.75

Fuente: elaboración propia (2018)

Esta tabla se nombrará como “BrazoVarillasEF”. La primera tabla se llama “VarillasPorFilaEF”

Aquí se puede observar cómo fueron ingresados los valores se mencionaron anteriormente. La celda a la que se hace referencia es a la de “SeparacionEF”.

En el caso del eje débil, (ver ilustración 37 - ilustración 41).

Tabla 6: Distancia de la fila de varillas al eje centroidal "Y"

		Distancia de la fila al eje centroidal "Y"			
		Fila No. 1	Fila No. 2	Fila No. 3	Fila No. 4
Cantidad de varillas	4	½ separación	-½ separación	0	0
	6	½ separación	-½ separación	0	0
	8	Separación	0	-Separación	0
	10	Separación	0	-Separación	0
	12	3/2 Separación	½ separación	-½ separación	-3/2 separación

Fuente: elaboración propia (2018)

La tabla anterior se traducirá a Microsoft Excel en términos de la separación. Esta tabla es válida para el diagrama de iteración en el eje débil. La tabla anterior será ingresada en la hoja de cálculo “Datos varillas de refuerzo”

El resultado queda de la siguiente manera (ver tabla 6):

Ilustración 74: Cantidad de varillas por fila y distancia al eje débil sección rectangular

Eje débil									
Cantidad de varillas	Cantidad de varillas por fila				Cantidad de varillas	Distancia fila al eje centroidal			
	Número de fila					Número de fila			
	1	2	3	4		1	2	3	4
4	2	2	0	0	4	6.25	-6.25		
6	3	3	0	0	6	6.25	-6.25		
8	3	2	3	0	8	12.50	0	-12.50	
10	4	2	4	0	10	12.50	0	-12.50	0
12	4	2	2	4	12	18.75	6.25	-6.25	-18.75

Fuente: elaboración propia (2018)

La primera tabla se llama “VarillaPorFilaED”; la segunda tabla se llama “BrazoVarillasED”.

Para encontrar la inercia se aplicará ejes paralelos a cada fila de varilla.

Fórmula 18: Momento de inercia varillas de refuerzo longitudinal eje fuerte

$$I_{srx} = \frac{1}{64} \pi \phi^4 + (Varillas/fila) * (\text{área de la varilla}) * (\text{distancia al centroide})^2$$

El mismo procedimiento se utilizará para el eje débil

Fórmula 19: Momento de inercia varillas de refuerzo longitudinal eje débil

$$I_{sry} = \frac{1}{64} \pi \phi^4 + (Varillas/fila) * (\text{área de la varilla}) * (\text{distancia al centroide})^2$$

La inercia en ambos ejes es la sumatoria de cada una de las inercias de cada varilla. Al ingresar la fórmula el resultado queda de la siguiente manera:

Para el Eje Fuerte es (ver fórmula 18):

Ilustración 75: Determinación inercia varillas de refuerzo eje fuerte sección rectangular

```
=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;2;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;2;FALSO));2)*AsVarilla+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;3;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;3;FALSO));2)*AsVarilla+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;4;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;4;FALSO));2)*AsVarilla+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;5;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;5;FALSO));2)*AsVarilla+CantVarillas*PI()/64*POTENCIA(BUSCARV(NumVarillas;DatosVarilla;2;FALSO);4)
```

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil es (ver fórmula 19):

Ilustración 76: Determinación inercia varillas de refuerzo eje débil sección rectangular

```
=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;2;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO));2)*AsVarilla+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;3;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;3;FALSO));2)*AsVarilla+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;4;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;4;FALSO));2)*AsVarilla+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;5;FALSO)*POTENCIA((BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;5;FALSO));2)*AsVarilla+CantVarillas*PI()/64*POTENCIA(BUSCARV(NumVarillas;DatosVarilla;2;FALSO);4)
```

Fuente: elaboración propia (2018)

Perfil W de acero:

Se procederá a nombrar una nueva hoja llamada "Datos de perfil". En esta hoja se encuentran los perfiles enlistados con sus respectivas propiedades. Las propiedades son las siguientes (ver ilustración 6):

- Peso [w]
- Área [A]
- Altura [D]
- Ancho del patín [Bf]
- Espesor del alma [tw]
- Espesor del patín [tf]
- Inercia "X" [Isx]
- Inercia "Y" [Isy]

La tabla de perfiles se tiene que nombrar como "DatosPerfiles". La forma de nombrar la tabla consiste en seleccionar toda la tabla y modificar el nombre del grupo de celdas. Las tablas se nombran de la misma manera que se nombra una celda.

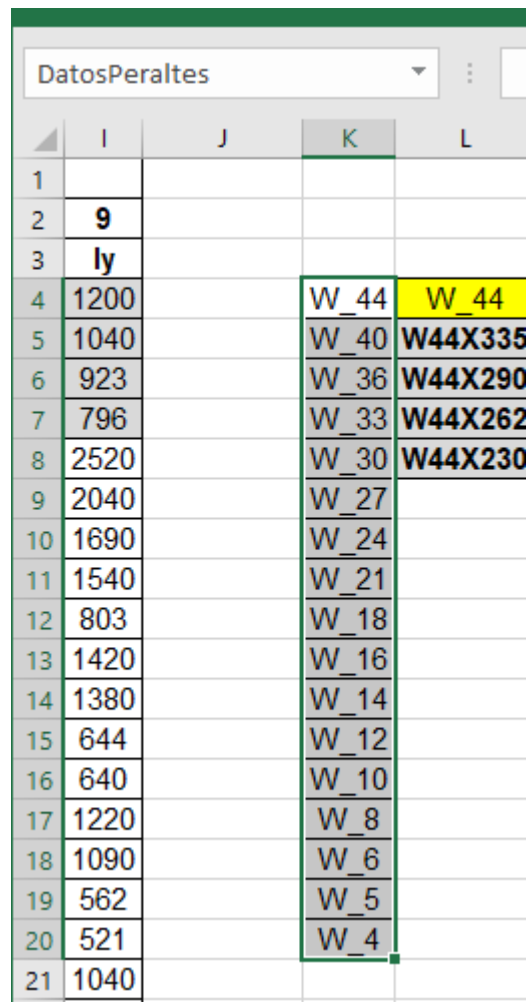
Ilustración 77: Propiedades geométricas perfiles W

DatosPerfiles									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Propiedades								
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Perfil W	W	A	D	Bf	tw	tf	lx	ly
4	W44X335	335	98.5	44.0	15.9	1.03	1.77	31100	1200
5	W44X290	290	85.4	43.6	15.8	0.865	1.58	27000	1040
6	W44X262	262	76.9	43.3	15.8	0.785	1.42	24100	923
7	W44X230	230	67.7	42.9	15.8	0.710	1.22	20800	796
8	W40X593	593	174	43.0	16.7	1.79	3.23	50400	2520
9	W40X503	503	148	42.1	16.4	1.54	2.76	41600	2040
10	W40X431	431	127	41.3	16.2	1.34	2.36	34800	1690
11	W40X397	397	117	41.0	16.1	1.22	2.20	32000	1540
12	W40X392	392	115	41.6	12.4	1.42	2.52	29900	803
13	W40X372	372	109	40.6	16.1	1.16	2.05	29600	1420
14	W40X362	362	107	40.6	16.0	1.12	2.01	28900	1380
15	W40X331	331	97.5	40.8	12.2	1.22	2.13	24700	644
16	W40X327	327	96.0	40.8	12.1	1.18	2.13	24500	640
17	W40X324	324	95.3	40.2	15.9	1.00	1.81	25600	1220
18	W40X297	297	87.4	39.8	15.8	0.930	1.65	23200	1090

Fuente: elaboración propia (2018)

En la misma hoja, se clasificará la lista de perfiles por tamaño de peralte. Los peraltes de los perfiles se enlistarán de la siguiente ilustración. El grupo de celdas se nombrará como “DatosPeraltes”.

Ilustración 78: Clasificación de perfiles W

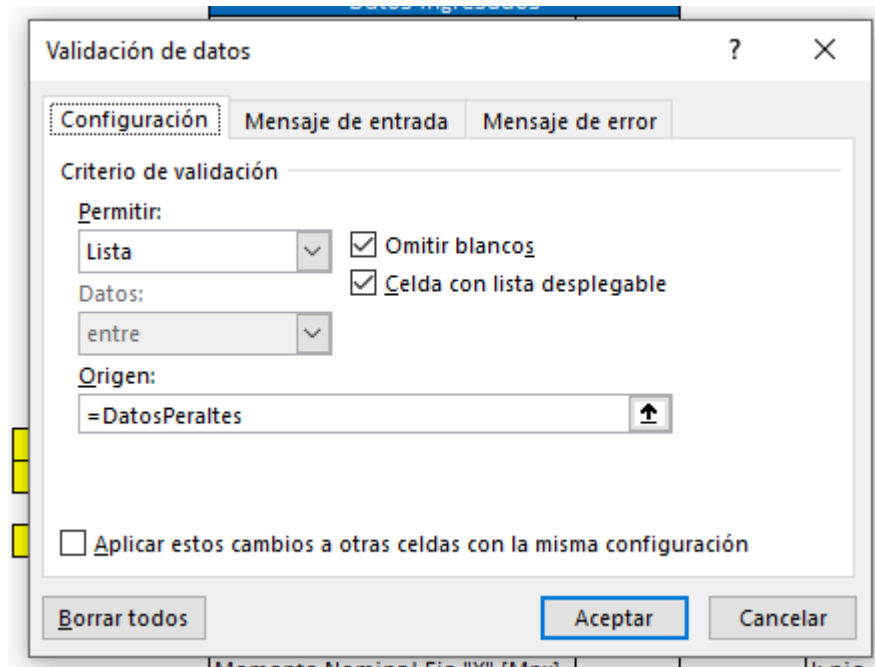


	I	J	K	L
1				
2	9			
3	ly			
4	1200		W_44	W_44
5	1040		W_40	W44X335
6	923		W_36	W44X290
7	796		W_33	W44X262
8	2520		W_30	W44X230
9	2040		W_27	
10	1690		W_24	
11	1540		W_21	
12	803		W_18	
13	1420		W_16	
14	1380		W_14	
15	644		W_12	
16	640		W_10	
17	1220		W_8	
18	1090		W_6	
19	562		W_5	
20	521		W_4	
21	1040			

Fuente: elaboración propia (2018)

En la celda llamada “Peralte” de la hoja “Ingreso de datos” y barra de herramientas principal se seleccionará la función validación de datos. En cada celda se colocarán los nombres W_Peralte [W_44, W_21 o W_16 por ejemplo] porque más adelante se clasificarán las columnas con este mismo nombre y Microsoft Excel lo acepta de esta forma.

Ilustración 79: Validación de datos perfiles W



Fuente: elaboración propia (2018)

Se da clic en aceptar y en la celda de “Peralte” aparecerá lo siguiente:

Ilustración 80: Lista desplegable clasificación de perfiles

Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
Peralte	W_14	
Perfil	W 16	
Esfuerzo de fluencia [Fy]	W 14	
Altura [D]	W 12	
Ancho del patín [Bf]	W 10	lg
Espesor del alma [tw]	W 8	lg
Espesor del patín [tf]	W 6	lg
	W 5	lg
	W 4	lg
	0.78	pulg

Fuente: elaboración propia (2018)

A partir de ahora se cuenta con una lista con el peralte como indicador de cada grupo. A continuación, se procederá a ordenar los perfiles en base a su peralte en la hoja “Datos perfiles”. El resultado es el siguiente:

Ilustración 81: Clasificación de perfiles W

	W_44	W_40	W_36	W_33	W_30	W_27	W_24	W_21	W_18	W_16	W_14	W_12	W_10	W_8	W_6	W_5	W_4
4	W44X335	W40X593	W36X800	W33X387	W30X391	W27X539	W24X370	W21X201	W18x311	W16X100	W14X730	W12X336	W10X112	W8X67	W6X25	W5X19	W4X13
5	W44X290	W40X503	W36X652	W33X354	W30X357	W27X368	W24X335	W21X182	W18x283	W16X89	W14X665	W12X305	W10X100	W8X58	W6X20	W5X16	
6	W44X262	W40X431	W36X529	W33X318	W30X326	W27X336	W24X306	W21X166	W18x258	W16X77	W14X605	W12X279	W10X88	W8X48	W6X15		
7	W44X230	W40X397	W36X487	W33X291	W30X292	W27X307	W24X279	W21X147	W18x234	W16X67	W14X550	W12X252	W10X77	W8X40	W6X16		
8		W40X392	W36X441	W33X263	W30X261	W27X281	W24X250	W21X132	W18x211	W16X57	W14X500	W12X230	W10X68	W8X35	W6X12		
9		W40X372	W36X395	W33X241	W30X235	W27X258	W24X229	W21X122	W18x192	W16X50	W14X455	W12X210	W10X60	W8X31	W6X9		
10		W40X362	W36X361	W33X221	W30X211	W27X235	W24X207	W21X111	W18X175	W16X45	W14X426	W12X190	W10X54	W8X28	W6X8.5		
11		W40X331	W36X330	W33X201	W30X191	W27X217	W24X192	W21X101	W18X158	W16X40	W14X398	W12X170	W10X49	W8X24			
12		W40X327	W36X302	W33X169	W30X173	W27X194	W24X176	W21X93	W18X143	W16X36	W14X370	W12X152	W10X45	W8X21			
13		W40X324	W36X282	W33X152	W30X148	W27X178	W24X162	W21X83	W18X130	W16X31	W14X342	W12X136	W10X39	W8X18			
14		W40X297	W36X262	W33X141	W30X132	W27X161	W24X146	W21X73	W18X119	W16X26	W14X311	W12X120	W10X33	W8X15			
15		W40X294	W36X256	W33X130	W30X124	W27X146	W24X131	W21X68	W18X106		W14X283	W12X106	W10X30	W8X13			
16		W40X278	W36X247	W33X118	W30X116	W27X129	W24X117	W21X62	W18X97		W14X257	W12X96	W10X26	W8X10			
17		W40X277	W36X232		W30X108	W27X114	W24X104	W21X55	W18X86		W14X233	W12X87	W10X22				
18		W40X264	W36X231		W30X99	W27X102	W24X103	W21X48	W18X76		W14X211	W12X79	W10X19				

Fuente: elaboración propia (2018)

En la ilustración anterior se observa que el encabezado de cada columna tiene el nombre exactamente igual que el de la lista desplegable que se creó. Cada grupo de perfiles se debe nombrar de la misma manera que se hizo con las tablas anteriores. El nombre del grupo de celdas debe tener el mismo nombre que el de la lista desplegable. Por ejemplo:

Ilustración 82: Nombre grupo de celdas perfil W

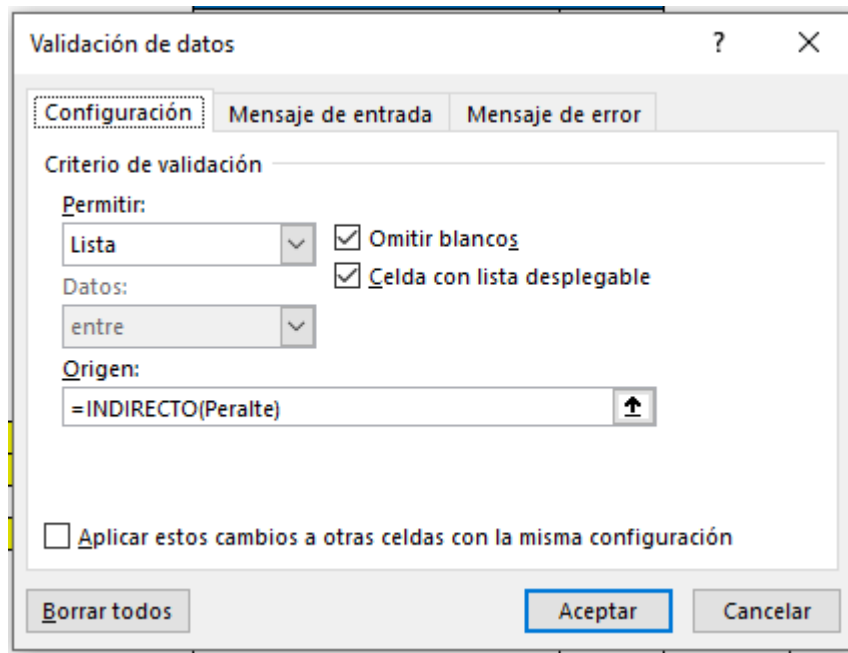
W_44			
	J	K	L
1			
2			
3			
4		W_44	W_44
5		W_40	W44X335
6		W_36	W44X290
7		W_33	W44X262
8		W_30	W44X230
9		W_27	W44X200

Fuente: elaboración propia (2018)

Todos los grupos de perfiles deben ser nombrados. En la hoja “Ingreso de datos” el lector se debe posicionar en la celda “Perfil” (que corresponde al perfil que se utilizará) y

en la ventana validación de datos, se selecciona una lista y se establece el origen de datos.

Ilustración 83: Validación de datos dependiente perfil W



Fuente: elaboración propia (2018)

En la parte de “Origen” se coloca la función: “=INDIRECTO(Peralte)” y se presiona en el botón de aceptar. El resultado es que al seleccionar en “Peralte” la altura del perfil que se necesita, automáticamente en la celda “Perfil” muestra que perfiles se encuentran disponibles con esa altura.

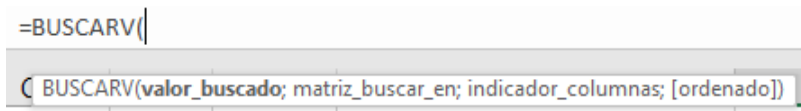
Ilustración 84: Lista desplegable perfil W

Perfil de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
	Peralte	W_14	
	Perfil	W14X99	
	Esfuerzo de fluencia [Fy]	W14X99	
	Altura [D]	W14X90	lg
	Ancho del patín [Bf]	W14X82	lg
	Espesor del alma [tw]	W14X74	lg
	Espesor del patín [tf]	W14X68	lg
		W14X61	lg
		W14X53	lg
Inercia "X" [I _{xx}]	W14X48	pulg ⁴	

Fuente: elaboración propia (2018)

En la hoja "Ingreso de datos", se selecciona la celda de interés y en ella se ingresa la función "=BUSCARV".

Ilustración 85: Parámetros función "=BUSCARV"



Fuente: elaboración propia (2018)

El primer parámetro se refiere al valor que se desea buscar en una tabla, en este caso se escribe "Perfil". El segundo parámetro se refiere en que tabla o matriz se tiene que buscar el primer valor. En este parámetro se ingresa el nombre de la tabla "DatosPerfiles". El indicador de columnas que corresponde a la columna en donde se encuentra el valor que se necesita y que coincide con la fila donde está el perfil y la propiedad de interés. El último parámetro en ingresar es "FALSO" debido a que se necesita la coincidencia exacta.

Ilustración 86: Función "=BUSCARV" propiedades perfil W seleccionado

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Varillas de			Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg				Rigidez efectiva	5.9E+07	kip pulg
			Separación entre varillas "X"	12.50	pulg				Carga crítica de Euler	10171.7	kip
			Recubrimiento	2.5	pulg				Carga axial, Pno	4630.7	kip
			Porcentaje del área gruesa	1%		Cumple			Carga máxima de diseño	3827.3	kip
			Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi				Resultados		
			Peralte	W_14					Fuerza axial [A] [kip]	3827.3	
			Perfil	W14X99					Momento flector [A] [kip pie]	0.0	
			Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi				Fuerza axial [B] [kip]	0.0	
			Altura [D]	=BUSCARV	pulg				Momento flector [B] [kip pie]	1326.9	1265.0
			Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg						

Fuente: elaboración propia (2018)

Los indicadores de columna son los siguientes:

Tabla 7: Indicadores de columna para la función "=BUSCARV" propiedades perfil

Indicador de columna	Dato	
	1	Perfil
	2	Peso
	3	Área
	4	Peralte
	5	Base del patín
	6	Espesor del alma
	7	Espesor del patín
	8	Inercia eje "X"
	9	Inercia eje "Y"

Fuente: elaboración propia (2018)

La función "=BUSCARV" se ingresa en cada celda de las propiedades del perfil de acero. El resultado es el siguiente: (ver tabla 7).

Ilustración 87: Ejemplo de relleno automático de celdas al seleccionar un perfil W

Perfil de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
	Peralte	W_14	
	Perfil	W14X99	
	Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi
	Altura [D]	14.2	pulg
	Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg
	Espesor del alma [tw]	0.485	pulg
	Espesor del patín [tf]	0.78	pulg
	Inercia "X" [I _x]	1110	pulg ⁴
	Inercia "Y" [I _y]	402	pulg ⁴
	Área práctica [As]	28.91	pulg ²
	Medida base patín - borde [T]	7.90	pulg
	Medida altura alma - borde [x]	14.76	pulg
	Medida altura patín - borde [T']	7.70	pulg
	Porcentaje del área gruesa	3.2%	

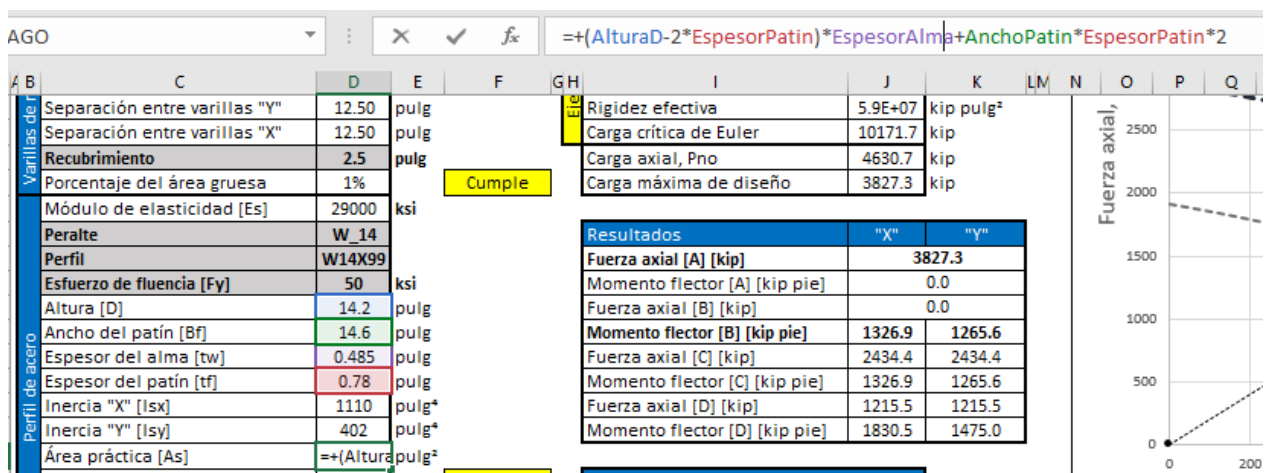
Fuente: elaboración propia (2018)

Cada vez que se seleccione un peralte y un perfil, cada celda muestra automáticamente las propiedades de la tabla "DatosPerfiles" de la hoja "Datos perfiles".

El lector debe observar que se cuentan con dos áreas para el perfil, una teórica y otra práctica. El área teórica corresponde a aquella que es tabulada que incluye los filetes mientras que el área práctica es aquella que se calcula con las distancias de altura, base del patín y espesores del alma y patín, la cual desprecia los filetes. Durante todo el trabajo se utilizará el área práctica.

El área práctica se calcula en Microsoft Excel con las propiedades del perfil. El área práctica calcula de la siguiente manera. Este valor es el de la celda “AreaPerfil”

Ilustración 88: Ingreso de fórmula área práctica del perfil W



Fuente: elaboración propia (2018)

Para los perfiles W se utilizarán de acuerdo con las normas ASTM el acero A992 que tiene un esfuerzo de fluencia mínimo igual a 50 ksi. Existen otros tipos de acero y grados que son aplicables a los perfiles W, pero el acero A992 es el más utilizado. Este valor corresponde a la celda “EsfuerzoFluenciaPerfil”.

Para los valores de “Medida de la base del patín al borde”, “Medida de la altura del alma al borde” y la “Medida de la altura del patín al borde” se calculan de la siguiente manera (ver ilustración 12):

Ilustración 89: Ingreso de fórmula medida T

AGO				X ✓ f _x		=+(AlturaH-AlturaD)/2		
A	B	C	D	E	F	GH	I	
Varillas de r	Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg				Rigidez efectiva	
	Separación entre varillas "X"	12.50	pulg				Carga crítica de Euler	
	Recubrimiento	2.5	pulg				Carga axial, Pno	
	Porcentaje del área gruesa	1%		Cumple			Carga máxima de diseño	
Perfil de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi				Resultados	
	Peralte	W_14						Fuerza axial [A] [kip]
	Perfil	W14X99						Momento flector [A] [kip pie]
	Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi					Fuerza axial [B] [kip]
	Altura [D]	14.2	pulg				Momento flector [B] [kip pie]	
	Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg				Fuerza axial [C] [kip]	
	Espesor del alma [tw]	0.485	pulg				Momento flector [C] [kip pie]	
	Espesor del patín [tf]	0.78	pulg				Fuerza axial [D] [kip]	
	Inercia "X" [I _x]	1110	pulg ⁴				Momento flector [D] [kip pie]	
	Inercia "Y" [I _y]	402	pulg ⁴				Demanda/Capacidad	
	Área práctica [As]	28.91	pulg ²					Último
	Medida base patín - borde [T]	=+(Altura	pulg	Cumple				Admisible
Medida altura alma - borde [x]	14.76	pulg						
Medida altura patín - borde [T']	7.70	pulg		Cumple				
Porcentaje del área gruesa	3.2%			Cumple				

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 90: Ingreso de fórmula medida X

AGO				X ✓ f _x		=+(BaseB-EspesorAlma)/2		
A	B	C	D	E	F	GH	I	
Varillas de r	Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg				Rigidez efectiva	
	Separación entre varillas "X"	12.50	pulg				Carga crítica de Euler	
	Recubrimiento	2.5	pulg				Carga axial, Pno	
	Porcentaje del área gruesa	1%		Cumple			Carga máxima de diseño	
Perfil de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi				Resultados	
	Peralte	W_14						Fuerza axial [A] [kip]
	Perfil	W14X99						Momento flector [A] [kip pie]
	Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi					Fuerza axial [B] [kip]
	Altura [D]	14.2	pulg				Momento flector [B] [kip pie]	
	Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg				Fuerza axial [C] [kip]	
	Espesor del alma [tw]	0.485	pulg				Momento flector [C] [kip pie]	
	Espesor del patín [tf]	0.78	pulg				Fuerza axial [D] [kip]	
	Inercia "X" [I _x]	1110	pulg ⁴				Momento flector [D] [kip pie]	
	Inercia "Y" [I _y]	402	pulg ⁴				Demanda/Capacidad	
	Área práctica [As]	28.91	pulg ²					Último
	Medida base patín - borde [T]	7.90	pulg	Cumple				Admisible
Medida altura alma - borde [x]	=+(BaseB	pulg						
Medida altura patín - borde [T']	7.70	pulg		Cumple				
Porcentaje del área gruesa	3.2%			Cumple				

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 91: Ingreso fórmula medida T prima

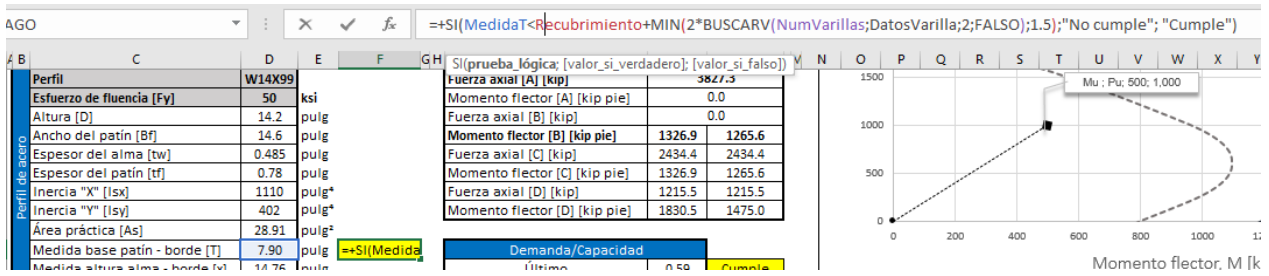
Column	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Varillas de r			Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg				Rigidez efectiva
			Separación entre varillas "X"	12.50	pulg				Carga crítica de Euler
			Recubrimiento	2.5	pulg				Carga axial, Pno
			Porcentaje del área gruesa	1%		Cumple			Carga máxima de diseño
Perfil de acero			Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi				Resultados
			Peralte	W_14					Fuerza axial [A] [kip]
			Perfil	W14X99					Momento flector [A] [kip pi]
			Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi				Fuerza axial [B] [kip]
			Altura [D]	14.2	pulg				Momento flector [B] [kip pie]
			Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg				Fuerza axial [C] [kip]
			Espesor del alma [tw]	0.485	pulg				Momento flector [C] [kip pi]
			Espesor del patín [tf]	0.78	pulg				Fuerza axial [D] [kip]
			Inercia "X" [Isx]	1110	pulg ⁴				Momento flector [D] [kip pi]
			Inercia "Y" [Isy]	402	pulg ⁴				
			Área práctica [As]	28.91	pulg ²				
			Medida base patín - borde [T]	7.90	pulg	Cumple			Demanda/Capac
		Medida altura alma - borde [x]	14.76	pulg				Último	
		Medida altura patín - borde [T']	=+(BaseB-AnchoPatn)/2	pulg	Cumple			Admisible	
		Porcentaje del área gruesa	3.2%		Cumple				

Fuente: elaboración propia (2018)

Los valores anteriores sirven para los diagramas de flujo de fuerza axial y brazo para la sección de acero y concreto a tensión y compresión. Las medidas anteriores sirven para saber si las dimensiones del perfil son adecuadas para el recubrimiento y medidas de concreto seleccionadas. Para comprobar las medidas mínimas se colocará una condición que indique si las medidas son por lo menos mayores a lo establecido por AISC (2010). (Ver limitaciones y requerimientos de código).

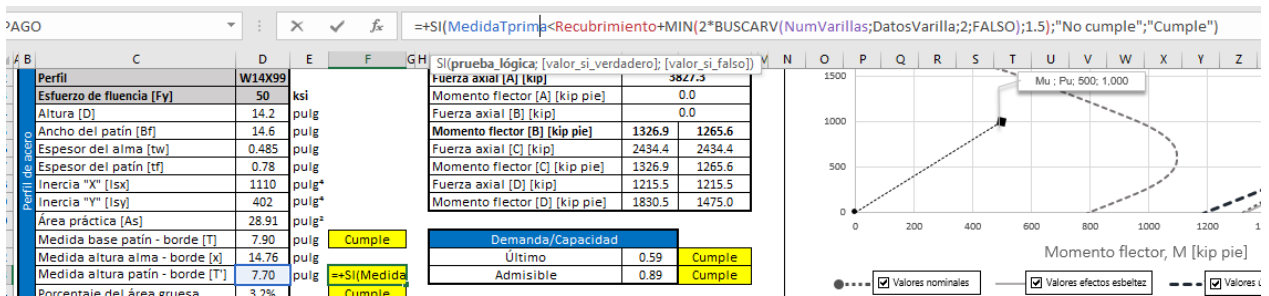
En las condiciones de verificación se ingresan de la siguientes formulas:

Ilustración 92: Ingreso condición separación entre varillas y perfil W [medida T]



Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 93: Ingreso condición separación varillas y perfil W [medida T prima]

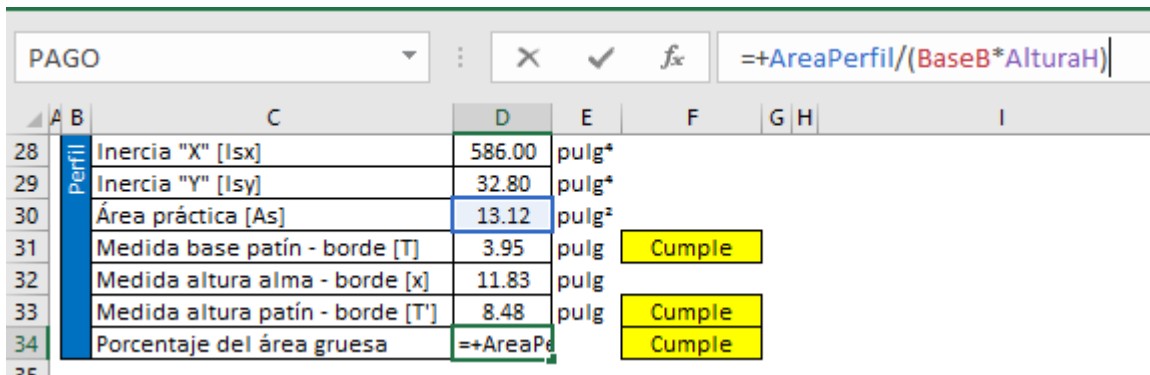


Fuente: elaboración propia (2018)

El porcentaje de área gruesa se calcula en base a una división entre el área del perfil y el área gruesa. Debe cumplir un mínimo de ser por lo menos el 1% de la sección total.

En la siguiente ilustración se ingresa fórmula de porcentaje de área:

Ilustración 94: Porcentaje área del perfil W



Fuente: elaboración propia (2018)

La condición que se tiene que cumplir se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 95: Ingreso condición porcentaje de área mínima perfil W

PAGO				=SI(D34<1%;"No cumple"; "Cumple")					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Perfil		Inercia "X" [Isx]	1110	pulg ⁴				Fuerza axial [D] [kip]	1215.5
		Inercia "Y" [Isy]	402	pulg ⁴				Momento flector [D] [kip pie]	1830.5
		Área práctica [As]	28.91	pulg ²					
		Medida base patín - borde [T]	7.90	pulg	Cumple			Demanda/Capacidad	
		Medida altura alma - borde [x]	14.76	pulg				Último	0.59
		Medida altura patín - borde [T']	7.70	pulg	Cumple			Admisible	0.89
		Porcentaje del área gruesa	3.2%			=SI(D34<1%			

Fuente: elaboración propia (2018)

Carga máxima:

Los valores en negrillas, longitud libre y factor de rigidez K, son valores ingresados por el usuario. Para el eje débil y fuerte se debe ingresar un valor. (Ver descripción factor de longitud efectiva).

Ilustración 96: Determinación carga axial máxima sección rectangular

Cálculos efectuados			
Eje fuerte	Longitud libre	10	pie
	Factor de longitud efectiva	1	
	Coefficiente rigidez efectiva	0.165	
	Rigidez efectiva	7.9E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	54470.8	kip
Eje débil	Longitud libre	20	pie
	Factor de longitud efectiva	1	
	Coefficiente rigidez efectiva	0.165	
	Rigidez efectiva	5.9E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	10171.7	kip
	Carga axial, Pno	4630.7	kip
	Carga máxima de diseño	3827.3	kip

Fuente: elaboración propia (2018)

El coeficiente de rigidez efectiva es el mismo valor para ambos ejes. El coeficiente de rigidez efectiva se calcula de la siguiente manera: (ver fórmula 3).

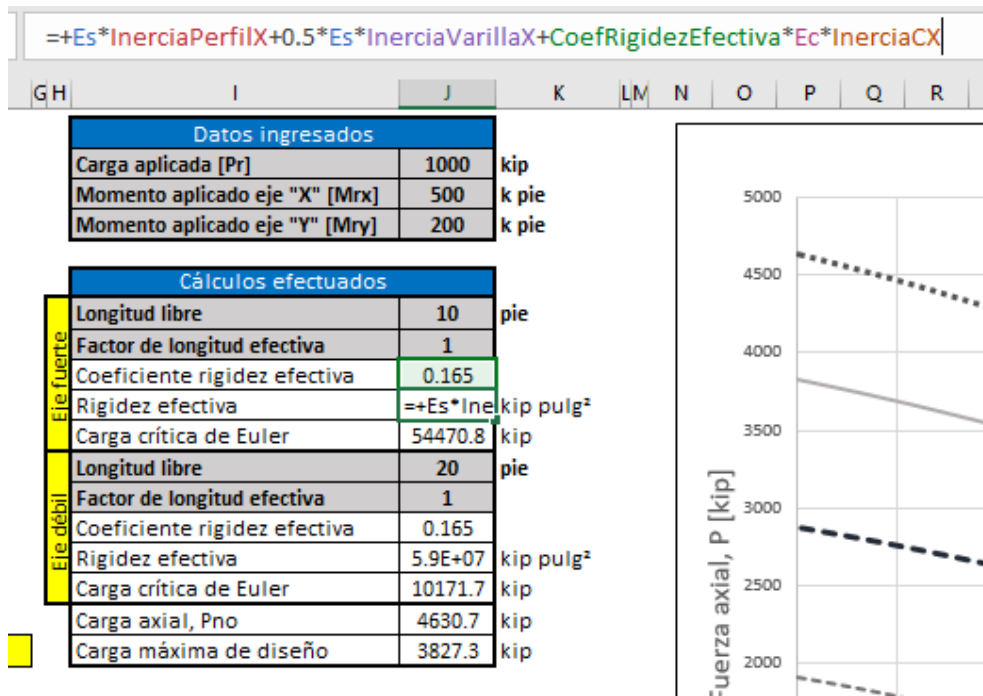
Ilustración 97: Determinación de coeficiente de rigidez efectiva sección rectangular

Datos ingresados			
Carga aplicada [Pr]	1000	kip	
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	500	k pie	
Momento aplicado eje "Y" [Mry]	200	k pie	
Cálculos efectuados			
Eje fuerte	Longitud libre	10	pie
	Factor de longitud efectiva	1	
	Coefficiente rigidez efectiva	$=+MIN((0.1+2*(AreaPerfil/(AreaConcreto+AreaPerfil)));0.3)$	
	Rigidez efectiva	7.9E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	54470.8	kip
Eje débil	Longitud libre	20	pie
	Factor de longitud efectiva	1	

Fuente: elaboración propia (2018)

La rigidez efectiva se calcula en base a la siguiente fórmula para el eje fuerte: (ver fórmula 2).

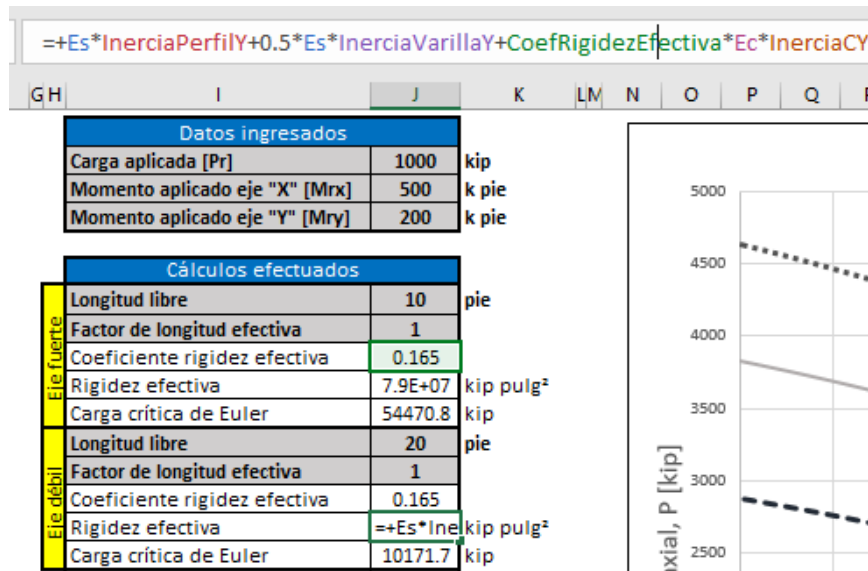
Ilustración 98: Determinación de rigidez efectiva eje fuerte sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil (ver fórmula 2):

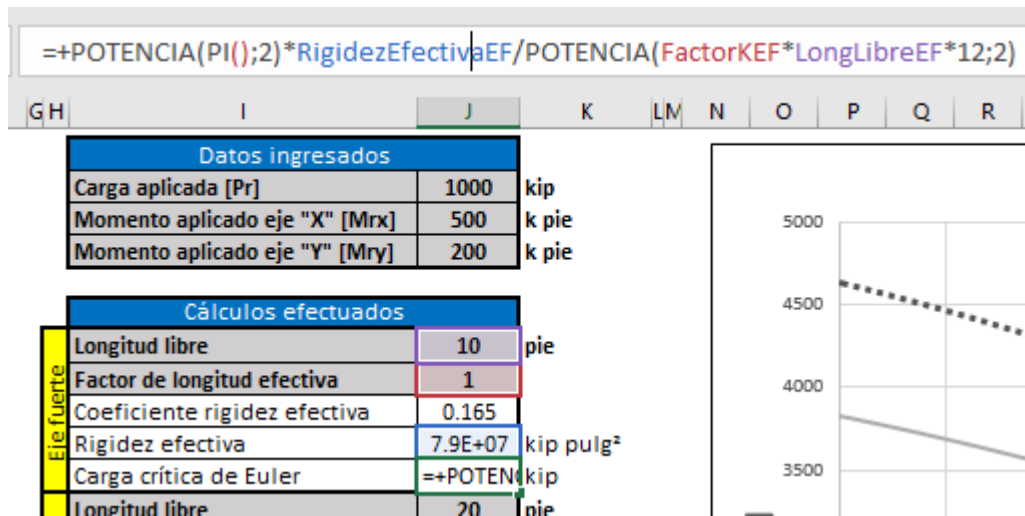
Ilustración 99: Determinación rigidez efectiva eje débil sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Posteriormente, se ingresa la fórmula para determinar el valor de la carga crítica de Euler para tanto el eje fuerte como débil. (Ver fórmula 1).

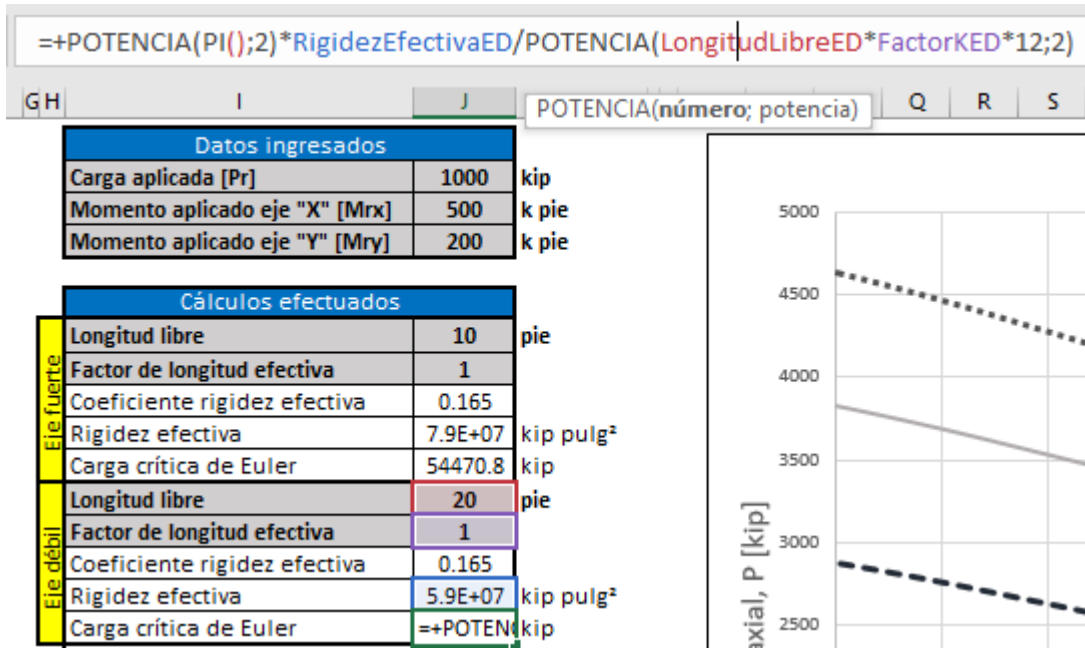
Ilustración 100: Determinación carga crítica de Euler eje fuerte sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil: (ver fórmula 1).

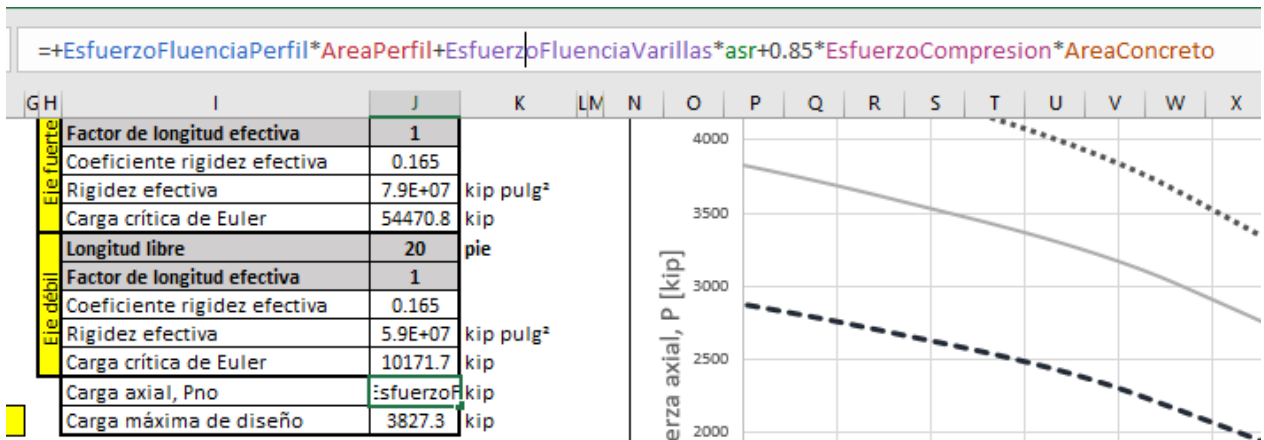
Ilustración 101: Determinación carga crítica de Euler eje débil sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Posteriormente a calcular la “Carga crítica de Euler”, se procede a determinar la “Carga axial Pno”. La fórmula se ingresa de la siguiente manera (ver fórmula 4):

Ilustración 102: Determinación carga axial sin efectos de esbeltez sección rectangular

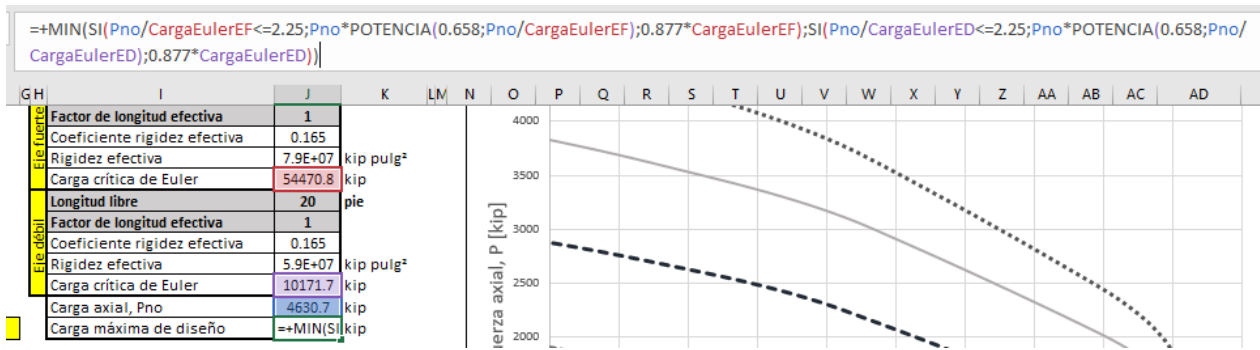


Fuente: elaboración propia (2018)

Esta es la carga axial de diseño si no se consideraran los efectos de esbeltez.

La carga máxima de diseño se determina de la siguiente manera. Se utilizan los valores de “Carga crítica de Euler” en ambos ejes para determinar dos valores de carga de diseño. El resultado final es el valor mínimo de ambos. La fórmula se ingresa de la siguiente manera. Se utiliza la función “MIN” para obtener el valor deseado. Se utilizan la fórmula 5 y la fórmula 6.

Ilustración 103: Determinación de carga axial nominal sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Cálculos eje fuerte:

En una nueva hoja de cálculo denominada “Cálculos eje fuerte” se agregará el siguiente formato dividido en: fuerza axial, brazo y momento para cada material.

Para cada uno de los siguientes materiales:

Concreto:

Ilustración 104: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3		Fig. 1			Fig. 2			Fig.3		
4		Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
5		[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
6	Valor [c]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 105: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular

Sección de concreto					
Compresión					
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2		
Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	2	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 106: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular

Sección de concreto					
Compresión					
Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4		
Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	0	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 107: Formato hoja de cálculo eje fuerte concreto sección rectangular

Varillas de refuerzo			
Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial	Momento flector
[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Perfil de acero:

Ilustración 108: Formato hoja de cálculo eje fuerte acero sección rectangular

Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de acero longitudinal:

Ilustración 109: Formato hoja de cálculo eje fuerte varillas sección rectangular

Varillas de refuerzo														
Fila No. 1					Fila No. 2					Fila No. 3				
Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			2		Cantidad de varillas			3	
Compresión		Tensión		Momento total	Compresión		Tensión		Momento total	Compresión		Tensión		Momento total
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 110: Formato hoja de cálculo eje fuerte varillas sección rectangular

Fila No. 4							
Cantidad de varillas				0		Fuerza axial	Momento flector
Compresión		Tensión		Momento total			
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo				
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	

Fuente: elaboración propia (2018)

En base a los diagramas de flujo, se ingresan las funciones de fuerza a tensión y compresión y brazo para cada valor de C.

Sección de concreto:

De acuerdo con el diagrama de flujo 1, se ingresa la siguiente función.

Ilustración 111: Función compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje fuerte

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3		Fig. 1			Fig. 2			Fig. 3		
4										
5		Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Mom
6	Valor [c]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pu
7	0	=0.85*Es	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

Fuente: elaboración propia (2018)

Con el diagrama de flujo 2, se ingresa la siguiente función.

Ilustración 112: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje fuerte

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3		Fig. 1			Fig. 2			
4								
5		Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
6	Valor [c]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
7	0	0.00	=+ABS(A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El momento es igual al producto de la fuerza con el brazo. Para todas las figuras y materiales es el mismo procedimiento. Por tal motivo no se incluirá una representación de dicho procedimiento. El cálculo de momento no se mencionará en las siguientes secciones.

Para la figura No. 2 de concreto se utilizará el diagrama de flujo 3.

Ilustración 113: Función compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje fuerte

$=+SI(A7<MedidaT;0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT);(0.85*EsfuerzoCompresion)*AnchoPatin*(A7-MedidaT);0.85*EsfuerzoCompresion*AlturaD*AnchoPatin))$

Sección de concreto															
Compresión															
Fig. 2			Fig.3			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			
nto	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
g]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
1	=+SI(A7<	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el brazo de la figura a compresión se utilizará el diagrama de flujo 4.

Ilustración 114: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje fuerte

$=+SI(A7<MedidaT;0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT);ABS(A7+MedidaT-AlturaH)/2;0))$

Sección de concreto									
Compresión									
Fig. 2			Fig.3			Espacio varillas fila No. 1			
mento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
ilg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0	0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión de la figura No. 3 de concreto se determina en base al diagrama de flujo 5.

Ilustración 115: Función compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje fuerte

$=+SI(A7<(MedidaT+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT-EspesorPatin);(A7-MedidaT-EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma)*0.85*EsfuerzoCompresion;0.85*EsfuerzoCompresion*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma)))$

Sección de concreto												
Compresión												
Fig. 2		Fig.3			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3	
z	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
g]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
10	0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el brazo de la figura 3 a compresión se utilizará el diagrama de flujo 6.

Ilustración 116: Función brazo compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje fuerte

=SI(A7<(MedidaT+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT-EspesorPatin);ABS(A7+MedidaT+EspesorPatin-AlturaH)/2;0))												
Sección de concreto												
Compresión												
Fig. 2		Fig.3			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			E	
zo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuer	
[g]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	
0	0.00	0.00	) /2;0))	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

Fuente: elaboración propia (2018)

En la parte de “Espacio de varillas por fila” es necesario determinar la cantidad de varillas por cada fila. Como primera parte se procederá nombrar las celdas para tener un mayor orden. En la tabla 3 se encuentra la denominación que se le dio a cada celda. Se nombraron las celdas dividiéndolas en acero y concreto y subsecuente en eje fuerte y débil.

En total se utilizarán cuatro filas. En la celda “Cantidad de varillas” se utilizará la función “BUSCARV” para determinar la cantidad de varillas por fila en función de la cantidad de varillas en toda la sección. La tabla por utilizar es la tabla: “VarillasPorFilaEF”

Para el caso de la primera fila, la fórmula queda de la siguiente manera:

Ilustración 117: Espacios de varillas por fila sección rectangular concreto eje fuerte

=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;2;FALSO)				
Sección de concreto				
Compresión				
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fi	
Cantidad de varillas	s;VarillasPe		Cantidad de varillas	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Para cada celda de espacio de varillas por fila se ingresa la misma función. El cambio que se debe hacer en cada una de las celdas es el modificar indicador de columnas. El valor del indicador de columna aumenta en uno.

La fuerza axial de cada fila de varillas se determina en base al recubrimiento y separación entre varillas. La fila No. 1 se encuentra a una distancia equivalente al recubrimiento (diagrama de flujo 7), la fila No. 2 a una distancia igual al recubrimiento más una separación (diagrama de flujo 8), la fila No. 3 a una distancia igual al recubrimiento más dos separaciones (diagrama de flujo 9) y la fila No. 4 (diagrama de flujo 10) a una distancia igual al recubrimiento más tres separaciones. Estas funciones se mantienen constantes, lo que cambia son los valores de separación y recubrimiento. Estos valores son en base a las dimensiones que ingrese el usuario.

Al ingresar las funciones en Microsoft Excel queda de la siguiente de manera para la fila No. 1.

Ilustración 118: Función compresión por fila de espacio de varillas en concreto fila 1

Sección de concreto							
Compresión							
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas	
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varilla	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
=+SI(A7<Re	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50

Fuente: elaboración propia (2018)

Fila No. 2:

Ilustración 119: Función compresión por fila de espacio de varillas en concreto fila 2

Sección de concreto									
Compresión									
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	
0.00	12.50	0.00	=SI(A7<(Re	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

Fila No. 3:

Ilustración 120: Función compresión por fila de espacio de varillas en concreto fila 3

Sección de concreto									
Compresión									
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	=SI(A7<(Re	-12.50	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

Fila No. 4:

Ilustración 121: Función compresión por fila de espacio de varillas en fila 4

Sección de concreto											
Compresión											
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4		
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas		
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para determinar el brazo de las filas, se utilizará la misma metodología que se utilizó para determinar la cantidad de varillas por fila y la inercia de las varillas. De acuerdo con la tabla 1 se utilizará la función “=BUSCARV” para encontrar la distancia medida desde el centroide en función de la cantidad de varillas escogidas.

Para la fila No. 1:

Ilustración 122: Ingreso brazo espacio de varillas sección rectangular eje fuerte

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a VLOOKUP formula in the formula bar: `=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;2;FALSO)`. Below the formula bar, a dropdown menu shows the function `BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_c`. The spreadsheet contains a table with the following structure:

Sección de concre				
Compresión				
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varilla	
Cantidad de varillas		3	Cantidad de varilla	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	=+BUSCARV	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La función anterior es la misma para cada una de las filas. El valor que cambia dependiendo que fila se selecciona es el indicador de columnas.

Las distancias medidas por debajo del eje centroidal son de valores negativos. Esto se debe a que la fuerza axial a compresión debajo del eje centroidal produce un momento negativo.

El resultado total se divide en fuerza axial y momento flector. Cada uno de los anteriores es la sumatoria individual de cada fila.

Para la fuerza axial (ver ilustración 13):

Ilustración 123: Fuerza compresión espacio varillas sección rectangular eje débil

Sección de concreto													
Compresión													
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4			Varillas de refuerzo	
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Fuerza axial	Momento flector
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	=+K7+N7+Q7	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso del momento flector:

Ilustración 124: Momento flector total espacio de varillas sección rectangular eje fuerte

Sección de concreto													
Compresión													
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4			Varillas de refuerzo	
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Fuerza axial	Momento flector
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+M7+P7+S7+V7

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la sección de concreto, que incluye el concreto y espacio para varillas de acero y el perfil, en función del valor C es igual a (ver ilustración 13):

Figura No. 1 – Figura No. 2 + Figura No. 3 – Espacio de varillas.

Esta ecuación aplica para fuerza axial y momento flector.

Fuerza axial y momento flector:

Ilustración 125: Formato fuerza axial total concreto sección rectangular eje fuerte

	X	Y	Z
as de refuerzo			
a	Momento flector	Fuerza axial	Momento flector
	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
	0.00	=+B7-E7+	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 126: Formato momento flector total concreto sección rectangular eje fuerte

	X	Y	Z
as de refuerzo			
a	Momento flector	Fuerza axial	Momento flector
	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
	0.00	0.00	=+D7-G7+J7-X7

Fuente: elaboración propia (2018)

Perfil de acero:

A continuación, se ingresarán las figuras de acero a compresión y tensión con sus respectivos brazos.

De acuerdo con el diagrama de flujo 11 se ingresará la fórmula para la figura No. 1 a compresión.

Ilustración 127: Función compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte

=+SI(A7<MedidaT;0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT);EsfuerzoFluenciaPerfil*(A7-MedidaT)*AnchoPatin;EsfuerzoFluenciaPerfil*AlturaD*AnchoPatin))															
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	
Perfil de acero															
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Co	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2						
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento				
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

Con el diagrama de flujo 12 se ingresará el valor del brazo de la figura No. 1 a compresión. (Ver ilustración 12).

Ilustración 128: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte

=+SI(A7<MedidaT;0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT);ABS(A7+MedidaT-AlturaH)/2;0))									
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
Perfil de acero									
Compresión									
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Mom	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k p	
0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.	

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la figura No. 2 a compresión, se utilizará el diagrama de flujo 13.

Ilustración 129: Función compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte

=+SI(A7<(MedidaT+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT-EspesorPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*(A7-MedidaT-EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma)))															
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
Perfil de acero															
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Cantidad de v	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					Compresión	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.50

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura No. 2 se ingresa en base al diagrama de flujo 14.

Ilustración 130: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte

=+SI(A7<(MedidaT+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT-EspesorPatin);ABS(A7+MedidaT+EspesorPatin-AlturaH)/2;0)													
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	-1445.32	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la figura No. 1 a tensión, se utilizará el diagrama de flujo 15.

Ilustración 131: Función tensión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte

=+SI(A7<MedidaT;EsfuerzoFluenciaPerfil*AlturaD*AnchoPatin;SI(A7<(AlturaH-MedidaT);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaH-A7-MedidaT)*AnchoPatin;0))															
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
Perfil de acero															
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Cantidad de v	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					Compresión	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7<M	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.50

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura No. 1 se ingresa en base al diagrama de flujo 16.

Ilustración 132: Función brazo tensión Fig. 1 sección rectangular acero eje fuerte

f_x										
=SI(A7<MedidaT;0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT);ABS(A7+MedidaT+AlturaD-AlturaH)/2;0))										
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI		
Perfil de acero										
Compresión					Tensión					
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	F	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	=SI(A7<	0.00	85	

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la figura No. 2 a tensión, se utilizará el diagrama de flujo 17.

Ilustración 133: Función tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte

f_x															
=SI(A7<(MedidaT+EspesorPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma);SI(A7<(AlturaH-MedidaT-EspesorPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaH-A7-MedidaT-EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma);0))															
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
Perfil de acero															
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Cantidad de Compresión	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					Fuerza	Brazo
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	=SI(A7<	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.5

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura No. 2 se ingresa en base al diagrama de flujo 18.

Ilustración 134: Función brazo tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje fuerte

f_x															
=SI(A7<(MedidaT+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaH-MedidaT-EspesorPatin);ABS(MedidaT+AlturaD+A7-EspesorPatin-AlturaH)/2;0))															
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN		
Perfil de acero															
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momen flector		
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2						
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	=SI(A7<	0.00	-1445.32	0.00		

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fuerza axial de la figura de acero es igual a (ver ilustración 14):

[Figura No. 1 – Figura No. 2] a compresión – [Figura No. 1 – Figura No. 2] en tensión.

La convención utilizada es que la fuerza axial a tensión es negativa y la fuerza axial a compresión es positiva.

Para las siguientes operaciones ver ilustración 14.

Ilustración 135: Sumatoria efectos de figura de acero a compresión y tensión eje fuerte

f _x =+AA7-AD7-(AG7-AJ7)														
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	
Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	=+AA7-AD7	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a compresión y tensión realizan momento positivo. Por tal motivo el momento de tensión y compresión se tienen que sumar. Por la metodología utilizada se restará el efecto de las figuras No. 2 a tensión y compresión. De esta manera se logra formar la sección del perfil.

Ilustración 136: Sumatoria efectos momento flector ambas figuras

f _x =+AC7-AF7+AI7-AL7														
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	
Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	-1445.32	=+AC7-AF7	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10366.00	0.00	0.00	8920.68	0.00	0.00	-1445.32	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de refuerzo longitudinal:

Al igual que para la sección de concreto, es necesario colocar las funciones para la cantidad de varillas y la distancia medida al centroide. Para ambos parámetros se utilizará la función “=BUSCARV”. En la celda donde se indica la cantidad de varillas por fila se ingresará la siguiente fórmula:

Fila No. 1:

Ilustración 137: Cantidad varillas por fila sección rectangular concreto eje fuerte

Compresión		Tensión		Momento	Co	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	
Fila No. 1						
Cantidad de varillas		=+BUSCARV(CantVa				C

Fuente: elaboración propia (2018)

Esta función es la misma que se ingresó para el espacio de concreto. Se coloca en cada una de las filas modificando el indicador de columnas de la función.

La fuerza axial a compresión y tensión se determina a partir de los diagramas de flujo, en ellos se expresa las condiciones que se tienen que cumplir. Los diagramas de flujo están en función de la cantidad de varillas, el recubrimiento y la separación en el eje fuerte.

Para las varillas de refuerzo longitudinal, se utilizarán las siguientes convenciones

- La fuerza axial a tensión es de valor negativo
- Las distancias o brazos debajo del eje centroidal son de valor negativo
 - La razón es que las varillas a compresión por debajo del eje centroidal producen momento negativo.
 - Las varillas a tensión por debajo del eje centroidal producen momento positivo y la multiplicación de ambos valores negativos da un valor positivo.

- Los brazos de las varillas a tensión y compresión son los mismos.

Para la fila No. 1 con fuerza axial a compresión se utiliza el diagrama de flujo 19.

Ilustración 138: Función compresión varillas fila 1 sección rectangular eje fuerte

fx = +SI(A7>Recubrimiento;EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1AceroEF*AsVarilla;0)									
	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
	Fila No. 1					Fila No. 2			
	Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			
	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión	
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo
	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]
	=+SI(A7>R	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fuerza a tensión de la fila No. 1 se utiliza el diagrama de flujo 20.

Ilustración 139: Función tensión varillas fila 1 sección rectangular eje fuerte

fx = +SI(A7<Recubrimiento;-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1AceroEF*AsVarilla;0)									
	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
	Fila No. 1					Fila No. 2			
	Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			
	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión	
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo
	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]
	0.00	12.50	=+SI(A7<Re	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fila No. 2 con fuerza axial a compresión se utiliza el diagrama de flujo 21.

Ilustración 140: Función compresión varillas fila 2 sección rectangular eje fuerte

f_x									
=+SI(A7>(Recubrimiento+SeparacionEF);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila2AceroEF*AsVarilla;0)									
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
Fila No. 1					Fila No. 2				
Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			2	
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	=+SI(A7>(R	0.00	-60.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fuerza a tensión de la fila No. 2 se utiliza el diagrama de flujo 22.

Ilustración 141: Función tensión varillas fila 2 sección rectangular eje fuerte

f_x									
=+SI(A7<(Recubrimiento+SeparacionEF);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila2AceroEF*AsVarilla;0)									
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
Fila No. 1					Fila No. 2				
Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			2	
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	=+SI(A7<(R	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fila No. 3 se utiliza el diagrama de flujo 23.

Ilustración 142: Función compresión varillas fila 3 sección rectangular eje fuerte

=SI(A7>(Recubrimiento+2*SeparacionEF);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila3AceroEF*AsVarilla;0)										
AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH
Varillas de refuerzo										
	Fila No. 3					Fila No. 4				
	Cantidad de varillas				3	Cantidad de varillas				0
nento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Mome
total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	tot
pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pu
1.00	=+SI(A7>(F	-12.50	-90.00	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fuerza a tensión de la fila No. 3 se utiliza el diagrama de flujo 24.

Ilustración 143: Función tensión varillas fila 3 sección rectangular eje fuerte

=SI(A7<(Recubrimiento+2*SeparacionEF);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila3AceroEF*AsVarilla;0)										
AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH
Varillas de refuerzo										
	Fila No. 3					Fila No. 4				
	Cantidad de varillas				3	Cantidad de varillas				0
nento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Mo
total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	t
pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k
1.00	0.00	-12.50	=+SI(A7<(F	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fila No. 4 con fuerza axial a compresión se utiliza el diagrama de flujo 25.

Ilustración 144: Función compresión varillas fila 4 sección rectangular eje fuerte

=SI(A7>(Recubrimiento+3*SeparaciononEF);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila4AceroEF*AsVarilla;0)									
C	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL
Fila No. 4									
Cantidad de varillas			0			Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal
Categoría	Compresión		Tensión		Momento total	Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo					
[pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
5.00	=+SI(A7>(R	0.00	0.00	0.00	0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fuerza a tensión de la fila No. 4 se utiliza el diagrama de flujo 26.

Ilustración 145: Función tensión varillas fila 4 sección rectangular eje fuerte

=SI(A7<(Recubrimiento+3*SeparaciononEF);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila4AceroEF*AsVarilla;0)									
C	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL
Fila No. 4									
Cantidad de varillas			0			Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal
Categoría	Compresión		Tensión		Momento total	Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo					
[pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
5.00	0.00	0.00	=+SI(A7<(R	0.00	0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

En los siguientes apartados, se ingresarán las funciones para los brazos medidos desde el eje centroidal. Para ello, al igual que con los espacios para varillas a compresión en concreto, se utilizará la tabla 1.

Para la fila No. 1 (el mismo valor o función es para la fuerza a tensión):

Ilustración 146: Función brazo de varillas por fila sección rectangular eje fuerte

fx `=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;2;FALSO)`

AO `BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_`

Fila No. 1					
Cantidad de varillas				3	
Compresión		Tensión		Momento	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fu
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[k
0.00	=+BUSCARV	-90.00	12.50	-1125.00	0
0.00	12.50	90.00	12.50	1125.00	0

Fuente: elaboración propia (2018)

La función se agrega en las celdas de las demás filas. El valor que se modifica es el indicador de columnas.

El momento total por fila es igual a la sumatoria del producto de la fuerza a compresión y tensión con su respectivo brazo.

Ilustración 147: Momento de varillas por fila sección rectangular eje fuerte

fx `=+AO7*AP7+AQ7*AR7`

AO	AP	AQ	AR	AS
Fila No. 1				
Cantidad de varillas				3
Compresión		Tensión		Momento
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	12.50	-90.00	12.50	=+AO7*AP
0.00	12.50	90.00	12.50	1125.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El mismo procedimiento se repite para las demás filas.

La fuerza axial que producen todas las varillas para cualquier valor de C se determina a partir de la sumatoria de la fuerza a compresión y tensión de cada fila de varillas.

Ilustración 148: Sumatoria fuerza de cada fila sección rectangular eje fuerte

Varillas de refuerzo																					
Fila No. 1					Fila No. 2					Fila No. 3					Fila No. 4					Fuerza axial	
Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas						
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento		
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total		
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	-90.00	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El mismo procedimiento es para el momento flector:

Ilustración 149: Sumatoria momento de cada fila sección rectangular eje fuerte

Varillas de refuerzo																					
Fila No. 1					Fila No. 2					Fila No. 3					Fila No. 4					Fuerza axial	Momento flector
Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas						
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento		
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	
12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	-90.00	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-240.00	=AS7+AX7+BC7+BH7

Fuente: elaboración propia (2018)

Sección compuesta:

En esta parte, se sumarán las aportaciones de los tres materiales (concreto, perfil de acero y varillas de refuerzo). Se suman los valores de fuerza axial y de momento flector para cada material.

Ilustración 150: Determinación carga axial nominal sección rectangular eje fuerte

		BG	BH	BI	BJ	BK	BL	
0.4								
Tensión	0			Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	
	Brazo	Momento total						
	[pulg]	[k pulg]		[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
	0.00	0.00		-240.00	0.00	=+Y7+AM7	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial para cada valor de C debe ser reducida considerando los efectos esbeltez. Los efectos de esbeltez aplican únicamente cuando la fuerza axial es a compresión. La carga de Euler que se debe utilizar es la que es aquella que nos de la carga máxima más pequeña. Para aplicar la condición anterior, se necesita ingresar la siguiente condición.

Ilustración 151: Fuerza axial con efectos de esbeltez sección rectangular eje fuerte

		BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	
0.4							Sección compuesta											
Tensión	0			Fuerza axial	Momento flector	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza Axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible					
	Brazo	Momento total																
	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]						
	0.00	0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00	=SI((+Y7+AM7	0.00	-1516.8	0.0	-1009.17	0.00						

Fuente: elaboración propia (2018)

En la ilustración anterior se observa la condición si la carga axial es a compresión o a tensión. Si la carga axial a compresión se debe utilizar la carga de Euler en cada eje que de cómo resultado la carga nominal más pequeña.

La sumatoria de los efectos del momento flector se obtienen de la siguiente manera. El valor de momento ingresado está en kip - pulgadas por lo que al dividirlo entre doce se pasan a unidades kip - pie.

Ilustración 152: Momento flector en unidades kip – pie sección rectangular eje fuerte

=(+BJ7+AN7+Z7)/12															
		BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN						
0.4					Sección co										
0		Fuerza axial		Momento flector		Fuerza axial nominal		Momento flector nominal		Fuerza Axial efectos esbeltez		Momento flector			
Momento total		[kip]		[k pulg]		[kip]		[k pulg]		[kip]		[k pie]			
[pulg]		[k pulg]		[kip]		[k pulg]		[kip]		[k pie]		[kip]			
0.00		0.00		-240.00		0.00		-1685.32		0.00		-1685.32		=(+BJ7+AN7+Z7)/12	

Fuente: elaboración propia (2018)

Los valores de fuerza axial y momento flector son los valores nominales. A continuación, se procederá a ingresar las funciones para obtener la fuerza axial y momento flector últimos y admisibles. Para el caso en que la fuerza axial sea a compresión y tensión, como para el momento flector, existe el respectivo valor de reducción de capacidad. Los valores de los factores para LRFD y ASD se encuentran en la tabla 2.

Para la capacidad axial última:

Ilustración 153: Determinación de fuerza última sección rectangular eje fuerte

=+SI(BM7<0;BM7*0.9;BM7*0.75)															
		BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO					
0.4					Sección compuesta										
0		Fuerza axial		Momento flector		Fuerza axial nominal		Momento flector nominal		Fuerza Axial efectos esbeltez		Momento flector		Fuerza axial última	
Momento total		[kip]		[k pulg]		[kip]		[k pulg]		[kip]		[k pie]		[kip]	
[pulg]		[k pulg]		[kip]		[k pulg]		[kip]		[k pie]		[kip]		[kip]	
0.00		0.00		-240.00		0.00		-1685.32		0.00		-1685.32		=+SI(BM7<0;BM7*0.9;BM7*0.75)	

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la capacidad a momento última:

Ilustración 154: Determinación de momento flector último sección rectangular eje fuerte

Sección compuesta				
Axial	Momento	Fuerza axial	Momento	Fu
tos	flector	última	flector	a
tez			último	
[k pie]	[k pie]	[kip]	[k pie]	
3.32	0.00	-1516.8	=+BN7*0.9	-:

Fuente: elaboración propia (2018)

La capacidad axial admisible de la columna compuesta se determina de la siguiente manera:

Ilustración 155: Determinación de fuerza admisible sección rectangular eje fuerte

Sección compuesta					
Fuerza Axial	Momento	Fuerza axial	Momento	Fuerza axial	
efectos	flector	última	flector	admisible	
esbeltez			último		
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	
-1685.32	0.00	-1516.8	0.0	=+SI(BM7<0;	

Fuente: elaboración propia (2018)

La capacidad a momento admisible se determina a partir de:

Ilustración 156: Determinación momento flector admisible sección rectangular eje fuerte

=+BN7/1.67					
	BN	BO	BP	BQ	BR
Sección compuesta					
Axiales	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]
32	0.00	-1516.8	0.0	-1009.17	=+BN7/1.67

Fuente: elaboración propia (2018)

En total se desean colocar 1000 puntos para realizar el diagrama de interacción. A partir de esto, se ingresará la siguiente función en el valor de C.

Ilustración 157: Rango de valores de c sección rectangular eje fuerte

PAGO										X ✓ f _x		=+A7+AlturaH/1000	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I				
1													
2													
3	Fig. 1				Fig. 2				Fi				
4		Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Bra				
5	Valor [c]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pu				
6	0	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0				
7	=+A7+Altur	1.96	11.99	23.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0				

Fuente: elaboración propia (2018)

Esta función se arrastrará junto con las demás de la celda A7 hasta la celda A1007. Desde la columna de “Valor de C” hasta la columna “Momento flector” de la sección compuesta.

Ilustración 158: Valores iniciales con $C = 0$ sección rectangular eje fuerte

A7																
0																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
1																Sección de concreto
2																Compresión
3	Fig. 1			Fig. 2			Fig.3			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila N			
4										Cantidad de varillas			3			
5	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	M	
6	Valor [c]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
7	0	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

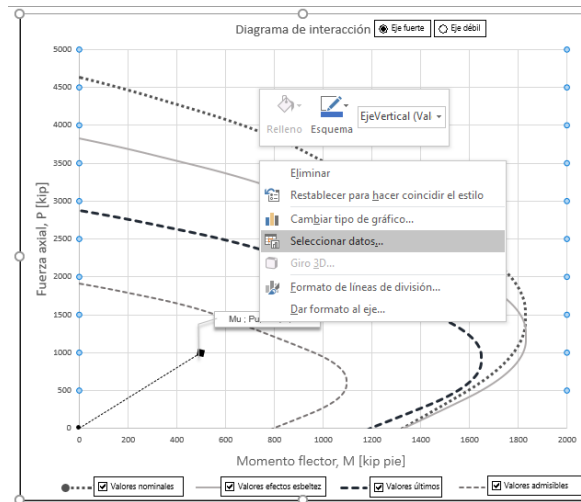
Ilustración 159: Valores finales con $C = \text{altura H}$ sección rectangular eje fuerte

1003	23.93	0	0	0	1306.26	0	124.916	9.5	0.00	9.5	1186.7	124.916	0	0	0	0	124.916	-9.5	0.00
1004	23.93	0	0	0	1306.26	0	124.916	9.5	0.00	9.5	1186.7	124.916	0	0	0	0	124.916	-9.5	0.00
1005	23.95	0	0	0	1306.26	0	124.916	9.5	0.00	9.5	1186.7	124.916	0	0	0	0	124.916	-9.5	0.00
1006	23.98	0	0	0	1306.26	0	124.916	9.5	0.00	9.5	1186.7	124.916	0	0	0	0	124.916	-9.5	0.00
1007	24.00	0	0	0	1306.26	0	124.916	9.5	0.00	9.5	1186.7	124.916	0	0	0	0	124.916	-9.5	0.00
1008																			

Fuente: elaboración propia (2018)

En la gráfica de la hoja “Ingreso de datos” se seleccionan los datos de la hoja “Cálculos eje fuerte”. Los valores del eje “X” corresponden al momento flector y los valores del eje “Y” corresponden a la fuerza axial.

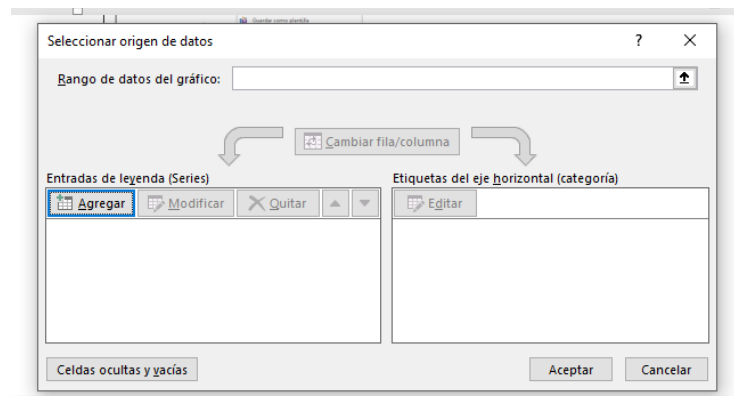
Ilustración 160: Edición de gráfica diagrama de interacción sección rectangular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

Al dar clic en la parte de “Seleccionar datos” se desplegará la siguiente ventana:

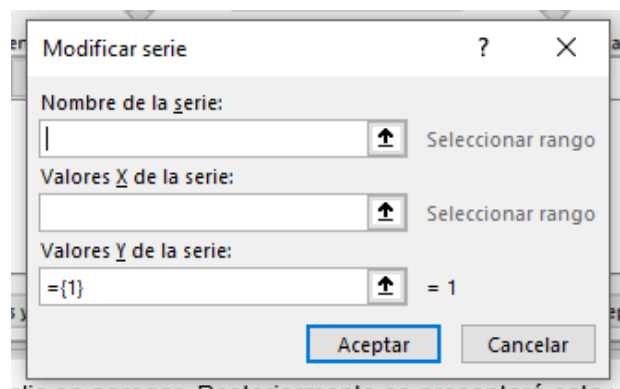
Ilustración 161: Ventana ingreso de series de gráfica



Fuente: elaboración propia (2018)

En el botón de agregar se da clic y se presentará esta ventana:

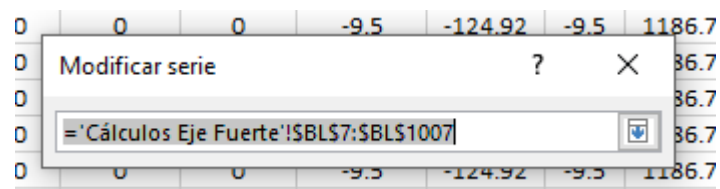
Ilustración 162: Ventana selección de valores de serie



Fuente: elaboración propia (2018)

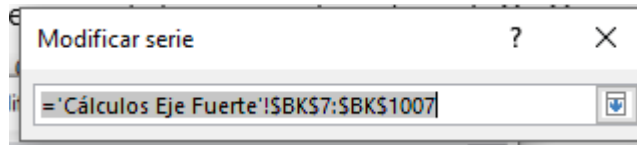
En este momento se ingresan los valores de “X” y “Y” correspondientes.

Ilustración 163: Selección de rango de valores en eje “X”



Fuente: elaboración propia (2018)

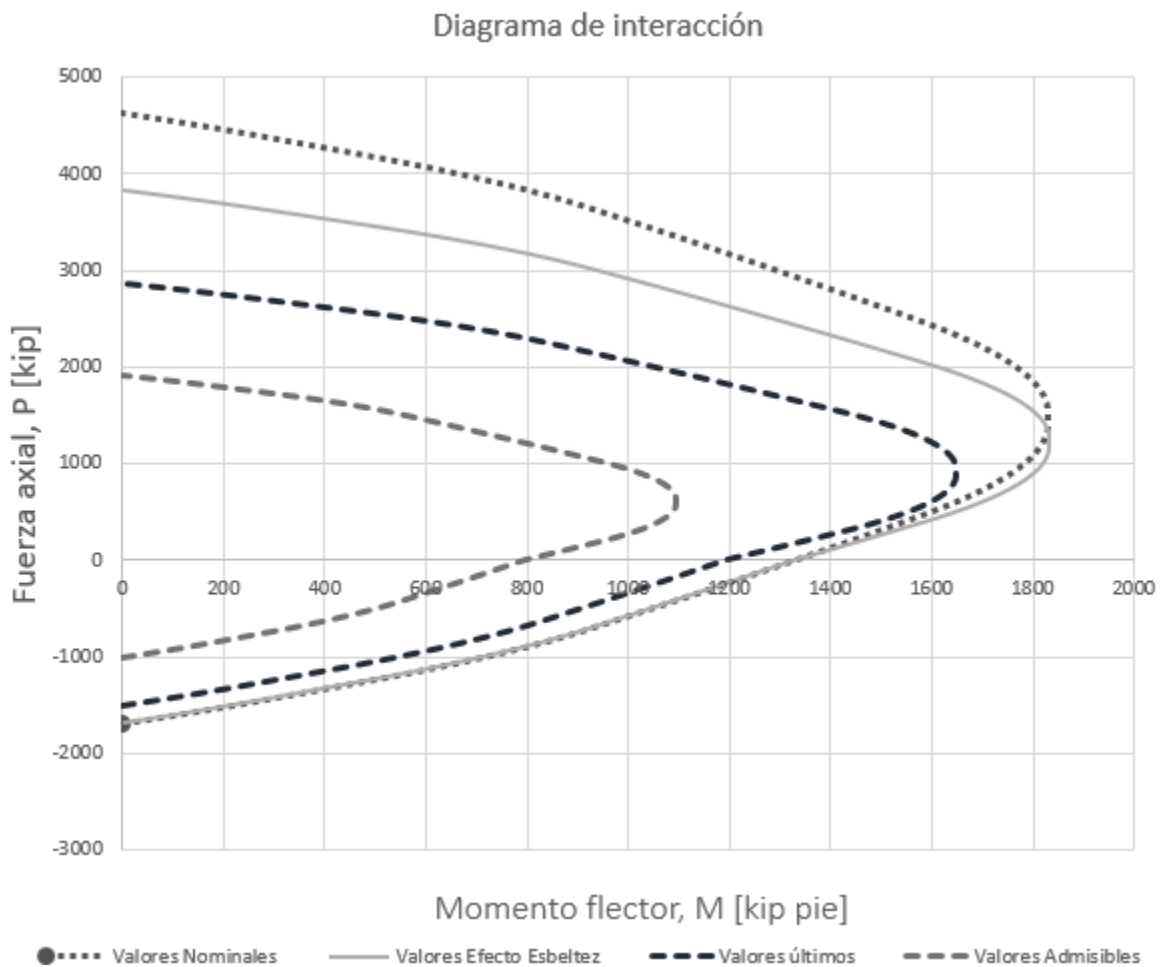
Ilustración 164: Selección de rango de valores en eje “Y”



Fuente: elaboración propia (2018)

El resultado es el siguiente:

Gráfica 5: Diagrama de interacción sección rectangular [eje fuerte]



Fuente: elaboración propia (2018)

El usuario puede modificar el formato de ejes o notas que le desee agregar al diagrama. El mismo procedimiento se realiza para las curvas de capacidad últimas y admisibles.

Cálculos eje débil:

Para la realización de los diagramas de interacción en el eje débil se colocará el mismo esquema que para “Cálculos eje fuerte”. Se dividirá en sección de concreto, acero estructural, varillas de refuerzo longitudinal y compuesta. Se utilizará el mismo concepto de restar y sumar áreas para formar el espacio para el acero y la forma del perfil.

Sección de concreto:

La figura No. 1 de concreto corresponde a la sección completa. Esta celda es la de fuerza axial a compresión que corresponde al diagrama de flujo 27.

Ilustración 165: Función compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje débil

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3		Fig. 1			Fig. 2 [patines]			Fig.3 [al]	
4	Valor [c]								
5		Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
6		[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
7	0.00	=0.85*Es	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la distancia al centroide de la figura a compresión se ingresará la siguiente fórmula en base al diagrama de flujo 28.

Ilustración 166: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular concreto eje débil

PAGO							
	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3		Fig. 1			Fig. 2 [patines]		
4	Valor [c]						
5		Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Mome
6		[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pul
7	0.00	0.00	=+ABS(	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.03	3.06	14.99	45.85	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

En las siguientes figuras corresponden al espacio de los patines y el alma.

En el caso del patín se utilizará el diagrama de flujo 29.

Ilustración 167: Función compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje débil

=SI(A7<MedidaTprima;0;SI(A7<(MedidaTprima+AnchoPatin);0.85*EsfuerzoCompresion*2*EspesorPatin*(A7-MedidaTprima);0.85*EsfuerzoCompresion*2*AnchoPatin*EspesorPatin))															
E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
Sección de concreto															
Compresión															
Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			
to	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Cantidad de varillas	3	Cantidad de varillas	2	Cantidad de varillas	3			
;	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pu
	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura se ingresa de la siguiente forma en base al diagrama de flujo 30.

Ilustración 168: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular concreto eje débil

=+SI(A7<MedidaTprima;0;SI(A7<(MedidaTprima+AnchoPatin);ABS(A7+MedidaTprima-BaseB)/2;0))										
E	F	G	H	I	J	K	L	M		
Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1				
						Cantidad de varillas		3	Ca	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fu	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[k	
0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.	

Fuente: elaboración propia (2018)

Para los valores del espacio del alma para compresión se ingresa en base al diagrama de flujo 31. El resultado es la siguiente:

Ilustración 169: Función compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje débil

=+SI(A7<MedidaX;0;SI(A7<(MedidaX+EspesorAlma);0.85*EsfuerzoCompresion*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(A7-MedidaX);0.85*EsfuerzoCompresion*(AlturaD-2*EspesorPatin)*EspesorAlma))															
E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
Sección de concreto															
Compresión															
Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			
						Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			
						3			2			3			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	
0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo del alma se determina a partir del diagrama de flujo 32.

Ilustración 170: Función brazo compresión Fig. 3 sección rectangular concreto eje débil

=+SI(A7<MedidaX;0;SI(A7<(MedidaX+EspesorAlma);ABS(A7+MedidaX-BaseB)/2;0))									
E	F	G	H	I	J	K	L		
Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No.			
						Cantidad de varillas			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Mc	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[l	
0.00	0.00	0.00	0.00	=SI(A7	0.00	0.00	12.50		

Fuente: elaboración propia (2018)

Como siguiente parte, se procederá a ingresar las funciones necesarias para los espacios de las varillas de refuerzo. Se utilizará la misma metodología que se utilizó para el eje fuerte. Lo que cambia son los datos por seleccionar. Se iniciará con la fila No. 1.

En la parte de cantidad de varillas de cada fila, es indispensable nombrar la celda de las varillas de acuerdo con la tabla 3. En esta celda se ingresa la función “=BUSCARV” para determinar la cantidad de varillas por fila. Este procedimiento se repite para las restantes filas. El valor que se modifica es el indicador de columnas. La fila No. 1 queda de la siguiente manera:

Ilustración 171: Cantidad espacios de varillas por fila sección rectangular eje débil

Espacio varillas fila No. 1		Espacio varillas fila No. 2	
Cantidad de varillas	=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;2;FALSO)	Cantidad de varillas	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	12.50	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial se ingresa de la siguiente manera en base al diagrama de flujo 33.

Ilustración 172: Función compresión espacio varillas fila 1 sección rectangular eje débil

Espacio varillas fila No. 1		Espacio varillas fila No. 2		Espacio varillas fila No. 3	
Cantidad de varillas	3	Cantidad de varillas	2	Cantidad de varillas	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
=+SI(A7<Recu	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Fuerza a compresión de la fila No. 2 se ingresa en base al diagrama de flujo 34.

Ilustración 173: Función compresión espacio varillas fila 2 sección rectangular eje débil

=+SI(A7<(Recubrimiento+SeparacionED);0;0.85*EsfuerzoCompresion*VarillasFila2ConcretoED*AsVarilla)								
L	M	N	O	P	Q	R	S	
Sección de concreto								
Compresión								
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3		
Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	2		Cantidad de varillas	3	
Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	
0	12.50	0.00	=+SI(A7<(Rec	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00
0	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Fuerza a compresión de la fila No. 3 se ingresa en base al diagrama de flujo 35.

Ilustración 174: Función compresión espacio varillas fila 3 sección rectangular eje débil

=+SI(A7<(Recubrimiento+2*SeparacionED);0;0.85*EsfuerzoCompresion*VarillasFila3ConcretoED*AsVarilla)								
L	M	N	O	P	Q	R	S	
Sección de concreto								
Compresión								
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3		
Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	2		Cantidad de varillas	3	
Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	
0	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7<(Rec	-12.50	0.00
0	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Fuerza a compresión de la fila No. 4 se ingresa en base al diagrama de flujo 36.

Ilustración 175: Función compresión espacio varillas fila 4 sección rectangular eje débil

=+SI(A7<(Recubrimiento+3*SeparacionED);0;0.85*EsfuerzoCompresion*VarillasFila4ConcretoED*AsVarilla)

Espacio varillas fila No. 3		Espacio varillas fila No. 4			Fuerza axial	Momento flector	Fuerza total	Momento total
Cantidad de varillas	3	Cantidad de varillas	0					
Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento				
[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
-12.50	0.00	=+SI(A7<(Rec	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Al igual que con el eje fuerte, se utilizará la distancia de las varillas respecto al eje centroidal como brazo para generar el momento. Hay que tener presente que las distancias medidas debajo del eje centroidal son negativos y los que se encuentren arriba son positivos. La fuerza axial a compresión arriba del eje centroidal genera momento positivo y abajo del eje centroidal genera momento negativo. El momento se calcula como el producto de la fuerza axial y el brazo.

Fila No. 1:

Ilustración 176: Función brazo varillas por fila sección rectangular eje débil

=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO)

Espacio varillas fila No. 1			Espacio
Cantidad de varillas	3	Cantidad de	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO)	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La función de brazo para las demás filas es el mismo. El valor que hay que modificar es el indicador de columnas.

La fuerza axial total y el momento flector total son equivalentes a la sumatoria de las fuerzas y momentos individuales de cada fuerza.

Ilustración 177: Sumatoria compresión espacio varillas sección rectangular eje débil

Sección de concreto													
Compresión													
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4			Fuerza axial	Momento flector
Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	2		Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	0			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	=+K7+N7+Q7	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 178: Sumatoria momento espacio varillas sección rectangular eje débil

Sección de concreto													
Compresión													
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4			Fuerza axial	Momento flector
Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	2		Cantidad de varillas	3		Cantidad de varillas	0			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+M7+P7+S7

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial y el momento en la sección de concreto es igual a la figura No. 1 menos las demás figuras para dar espacio al acero y varillas. (Ver ilustración 13).

Perfil w de acero:

A diferencia de los cálculos en el eje fuerte donde se suman y restan áreas, en el eje débil se sumarán las áreas únicamente. Las áreas que se sumarán son los patines y el alma.

La primera parte corresponde al área de los patines a compresión. En base al diagrama de flujo 37 se ingresa la siguiente fórmula para la fuerza axial.

Ilustración 179: Función compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje débil

$=SI(A7<MedidaTprima;0;SI(A7<(MedidaTprima+AnchoPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*2*EspesorPatin*(A7-MedidaTprima);EsfuerzoFluenciaPerfil*2*AnchoPatin*EspesorPatin)$

Perfil de acero													Fila No. 1					
Compresión						Tensión						Fuerza total	Momento total	Cantidad de varillas				
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					Compresión	Tensión	Momento		
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Momento	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura respecto al eje centroidal se calcula de acuerdo con el diagrama de flujo 38.

Ilustración 180: Función brazo compresión Fig. 1 sección rectangular acero eje débil

$=SI(A7<MedidaTprima;0;SI(A7<(MedidaTprima+AnchoPatin);ABS(A7+MedidaTprima-BaseB)/2;0))$

Perfil de acero													Fuerza total	Momento total
Compresión						Tensión								
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
0.00	$=SI(A7$	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

La siguiente figura corresponde al alma. En base al diagrama de flujo 39 se ingresa la siguiente fórmula:

Ilustración 181: Función compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil

$=SI(A7<MedidaX;0;SI(A7<(MedidaX+EspesorAlma);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(A7-MedidaX);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaD-2*EspesorPatin)*EspesorAlma))$

Perfil de acero													Fuerza total	Momento total	Cantidad de varillas			
Compresión						Tensión						Compresión			Tensión	Momento		
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Momento		
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Momento	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	$=SI(A7$	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo del alma a compresión se ingresa a partir del diagrama de flujo 40.

Ilustración 182: Función brazo compresión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil

$$=+SI(A7<MedidaX;0;SI(A7<(MedidaX+EspesorAlma);ABS(A7+MedidaX-BaseB)/2;0))$$

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
Perfil de acero									
Compresión					Tensión				
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52

Fuente: elaboración propia (2018)

El cálculo de la fuerza a tensión de los patines se ingresa en base al diagrama de flujo 41.

Ilustración 183: Función tensión Fig. 1 sección rectangular acero eje débil

$$=+SI(A7<MedidaTprima;EsfuerzoFluenciaPerfil*AnchoPatin*2*EspesorPatin;SI(A7<(MedidaTprima+AnchoPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*2*EspesorPatin*(MedidaTprima+AnchoPatin-A7);0))$$

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
Perfil de acero														Fila No. 1				
Compresión						Tensión						Fuerza total	Momento total	Cantidad de varillas			3	
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					Compresión		Tensión		Moment total
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Moment total
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo a tensión de los patines se ingresa a partir del diagrama de flujo 42.

Ilustración 184: Función brazo tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil

$$=+SI(A7<MedidaTprima;0;SI(A7<(MedidaTprima+AnchoPatin);ABS(MedidaTprima+AnchoPatin+A7-BaseB)/2;0))$$

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	
Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza total	Momento total	
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	=+SI(A7<	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a tensión del alma se calcula en base al diagrama de flujo 43.

Ilustración 185: Función tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil

=SI(A7<MedidaX;EsfuerzoFluenciaPerfil*EspesorAlma*(AlturaD-2*EspesorPatin);SI(A7<(MedidaX+EspesorAlma);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(MedidaX+EspesorAlma-A7);0))

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS				
Perfil de acero																						
Compresión														Tensión				Fuerza total	Momento total	Fila No. 1		
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					Cantidad de varillas		3						
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			Compresión		Tensión		Momento				
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	=SI(A7	0.00	0.00	-1445.32	0.00	0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00				

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso del brazo de la fuerza a tensión se ingresará la siguiente fórmula en base al diagrama de flujo 44.

Ilustración 186: Función brazo tensión Fig. 2 sección rectangular acero eje débil

=SI(A7<MedidaX;0;SI(A7<(MedidaX+EspesorAlma);ABS(MedidaX+EspesorAlma+A7-BaseB)/2;0))

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza total	Momento total
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La convención utilizada es que la fuerza a compresión es positiva y la fuerza a tensión es negativa. La operación es la siguiente (ver ilustración 14):

Ilustración 187: Sumatoria de fuerza de cada figura sección rectangular acero eje débil

=+AA7+AD7-AG7-AJ7

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza total	Momento total
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	=+AA7+AD	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a compresión y la fuerza a tensión producen momento positivo alrededor del eje centroidal. Por tal razón se sumarán todos los efectos.

Ilustración 188: Sumatoria momento de cada figura sección rectangular acero eje débil

=+AC7+AF7+AI7+AL7														
AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	
Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza total	Momento total	
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	=+AC7+AF7	(
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1138.80	0.00	0.00	306.52	0.00	0.00	-1445.32	0.00	7

Fuente: elaboración propia (2018)

VARILLAS DE REFUERZO LONGITUDINAL

Como primera parte se necesita nombrar las celdas que contienen la cantidad de varillas por fila. Se colocarán los nombres en base a la tabla 3.

Con la función “=BUSCARV” se modificarán las cantidades de varillas por fila en base a la cantidad de varillas de la sección global. La función para las varillas de refuerzo longitudinal son las mismas, solo se modifica el indicador de columna. La fórmula se ingresa de la siguiente manera:

Fila No. 1:

Ilustración 189: Cantidad varillas de refuerzo por fila sección rectangular eje débil

Fila No. 1					Fila No. 2			
Compresión		Tensión		Momento total	Compresión		Tensión	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Para la fuerza axial se utilizará la convención que compresión es positivo y tensión es negativo.

En el caso de las distancias de las varillas medidas desde el eje centroidal de la figura (brazo) serán positivos arriba del eje centroidal y negativo abajo del eje centroidal.

El brazo a tensión y compresión es igual en la misma fila.

La fuerza axial a compresión de las varillas de la fila No. 1 se ingresa en base al diagrama de flujo 45.

Ilustración 190: Ingreso compresión varillas fila 1 sección rectangular eje débil

f_x										
=+SI(A7>Recubrimiento;EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1AceroED*AsVarilla;0)										
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	
										Var
Fila No. 1					Fila No. 2					
Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			2		C
Compresión		Tensión		Momento total	Compresión		Tensión		Momento total	C
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fu
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[k
=+SI(A7	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	0.

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a tensión de la fila No. 1 se ingresa a partir del diagrama de flujo 46.

Ilustración 191: Ingreso tensión varillas fila 2 sección rectangular eje débil

f_x										
=+SI(A7<Recubrimiento;-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1AceroED*AsVarilla;0)										
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	
										V
Fila No. 1					Fila No. 2					
Cantidad de varillas			3		Cantidad de varillas			2		C
Compresión		Tensión		Momento total	Compresión		Tensión		Momento total	C
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		Fu
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[
0.00	12.50	=+SI(A7<	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	(

Fuente: elaboración propia (2018)

Se ingresará el brazo a compresión y tensión de la fila No. 1.

Ilustración 192: Función brazo varillas por fila sección rectangular eje débil

f_x							
=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO)							
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AL	
Varillas de refuerzo							
Fila No. 1							
Cantidad de varillas			3			Cantidad de varillas	
Compresión		Tensión		Momento		Compresión	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total		Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]		[kip]	[pulg]
0.00	=+BUSCARV	-90.00	12.50	-1125.00		0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La función del brazo a tensión y compresión de cada fila se ingresa de la misma manera, se debe modificar el indicador de columnas.

Para la fila No. 2, la fuerza a compresión es igual a la siguiente fórmula en base al diagrama de flujo 47.

Ilustración 193: Ingreso compresión varillas fila 2 sección rectangular eje débil

f_x													
=+SI(A7>(Recubrimiento+SeparacionED);EstFuerzaFluenciaVarillas*VarillasFila2AceroED*AsVarilla;0)													
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ		
Varillas de refuerzo													
Fila No. 1						Fila No. 2							
Cantidad de varillas			3			Cantidad de varillas			2			Cantidad de varillas	
Compresión		Tensión		Momento		Compresión		Tensión		Momento		Compresión	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total		Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total		Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]		[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]		[kip]	[pulg]
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00		=+SI(A7	0.00	-60.00	0.00	0.00		0.00	-12.50

Fuente: elaboración propia (2018)

Con el diagrama de flujo 48, se ingresa la fuerza axial a tensión de la fila No. 2 de la siguiente forma:

Ilustración 194: Función tensión varillas fila 2 sección rectangular eje débil

=SI(A7<(Recubrimiento+SeparacionED);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila2AceroED*AsVarilla;0)												
AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	
Varillas de refue												
Fila No. 1						Fila No. 2						
Cantidad de varillas			3			Cantidad de varillas			2			Cantidad de var
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	F
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	F
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	-12.50	-

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión de la fila No. 3 corresponde al diagrama de flujo 49.

Ilustración 195: Función compresión varillas fila 3 sección rectangular eje débil

=+SI(A7>(Recubrimiento+2*SeparacionED);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila3AceroED*AsVarilla;0)												
AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	
Varillas de refuerzo												
Fila No. 2					Fila No. 3					Fila N		
Cantidad de varillas			2			Cantidad de varillas			3			Cantidad de varillas
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Ten
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]
0	0.00	-60.00	0.00	0.00	=+SI(A7	-12.50	-90.00	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a tensión de la fila No. 3 se escribe de acuerdo con el diagrama de flujo 50.

Ilustración 196: Función tensión varillas fila 3 sección rectangular eje débil

fx = +SI(A7<(Recubrimiento+2*SeparacionED);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila3AceroED*AsVarilla)

Varillas de refuerzo												
Fila No. 2					Fila No. 3					Fila No. 4		
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]
0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	=+SI(A7	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

En el caso del diagrama de flujo 51, se ingresa la fuerza axial a compresión de la fila No. 4.

Ilustración 197: Función compresión varillas fila 4 sección rectangular eje débil

fx = +SI(A7>(Recubrimiento+3*SeparacionED);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila4AceroED*AsVarilla;0)

Fila No. 4											
Compresión		Tensión		Momento	Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector nominal	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
5.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00	-1685.32	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

En base al diagrama de flujo 52 se ingresa la fuerza axial a tensión de la fila No. 4.

Ilustración 198: Función tensión varillas fila 4 sección rectangular eje débil

=SI(A7<(Recubrimiento+3*SeparacionED);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila4AceroED*AsVarilla;0)

	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	
	Fila No. 4										
	Cantidad de varillas		0			Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector total
	Compresión		Tensión		Momento total						
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo							
	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	
	0.00	0.00	=SI(A7<(Recubrimiento+3*SeparacionED);-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila4AceroED*AsVarilla;0)	0.00	0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00	-1685.32	

Fuente: elaboración propia (2018)

El efecto de las varillas de acero es equivalente a la sumatoria de cada una de las fuerzas y momentos que producen cada una de las filas con su respectivo valor de C.

Ilustración 199: Sumatoria fuerza axial varillas sección rectangular eje débil

=AO7+AQ7+AT7+AV7+AY7+BA7+BD7+BF7

Varillas de refuerzo																					
Fila No. 1					Fila No. 2					Fila No. 3					Fila No. 4					Fuerza axial total	Momento flector total
Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas						
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento		
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	[kip]	[k pulg]
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	-90.00	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
																				7+BF7	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 200: Sumatoria momento flector varillas sección rectangular eje débil

=AS7+AX7+BC7+BH7

Varillas de refuerzo																					
Fila No. 1					Fila No. 2					Fila No. 3					Fila No. 4					Fuerza axial total	Momento flector total
Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas					Cantidad de varillas						
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento		
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	[kip]	[k pulg]
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	12.50	-90.00	12.50	-1125.00	0.00	0.00	-60.00	0.00	0.00	0.00	-12.50	-90.00	-12.50	1125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-240.00	3C7+BH7

Fuente: elaboración propia (2018)

Sección compuesta:

La fuerza axial de la sección compuesta es equivalente a la sumatoria de la fuerza que produce la sección de concreto, el perfil de acero y las varillas de refuerzo. El mismo concepto se aplica para el momento flector.

Ilustración 201: Determinación fuerza axial nominal sección rectangular eje débil

f _c = +Y7+AM7+BI7						
		BH	BI	BJ	BK	BL
0		Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	
Momento total	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
0.00	0.00	-240.00	0.00	=+Y7+AM7+	0.00	
	0.00	-240.00	0.00	-1682.26	2.82	

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 202: Determinación momento flector sección rectangular eje débil

f = +(Z7+AN7+BJ7)/12							
		BH	BI	BJ	BK	BL	BM
0		Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	
Momento total	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	
0.00	-240.00	0.00	-1685.32	=+(Z7+AN7-	-1685.32		

Fuente: elaboración propia (2018)

Con los valores nominales de fuerza axial es indispensable aplicar los efectos de esbeltez. La función se ingresa de la siguiente manera. Nuevamente se establece si la carga axial es a compresión o tensión. Si la carga axial es a tensión, se utilizan los valores nominales, sino se consideran los efectos de esbeltez.

Ilustración 203: Fuerza axial con efectos de esbeltez sección rectangular eje débil

=SI((+Y7+AM7+BI7)<0;(+Y7+AM7+BI7);MIN(SI(Pno/CargaEulerEF<=2.25;(+Y7+AM7+BI7)*POTENCIA(0.658;Pno/CargaEulerEF);0.877*CargaEulerEF);SI(Pno/CargaEulerED<=2.25;(+Y7+AM7+BI7)*POTENCIA(0.658;Pno/CargaEulerED);0.877*CargaEulerED)))														
BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV
Sección compuesta											Coincidir			
	Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector total	Fuerza axial último	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible				
	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]				
0	-240.00	0.00	-1685.32	0.00	=SI((+Y7+A	0.00	-1516.79	0.00	-1009.17	0			0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

La columna de momento flector está en unidades kip – pulgadas por lo que se pasara a kip – pie.

Se determinará la curva de la capacidad última y admisible. Para ello ver tabla 2.

En el caso de fuerza axial existe un valor diferente de factor de reducción, por lo que es necesario ingresar la condición cuando es tensión o compresión. La fórmula se ingresa de la siguiente manera:

Para capacidad última:

Ilustración 204: Capacidad última fuerza axial sección rectangular eje débil

=+SI(BM7<0;BM7*0.9;BM7*0.75)											
BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS
Sección compuesta											
	Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector total	Fuerza axial último	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible	
	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00	-1685.32	0.00	=+SI(BM7<0	0.00	-1009.17	0	

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 205: Capacidad última momento flector sección rectangular eje débil

=+BN7*0.9								
BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
Sección compuesta								
Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector total	Fuerza axial último	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	-1685.32	0.00	-1685.32	0.00	-1516.79	=+BN7*0.9	-1009.17	0

Fuente: elaboración propia (2018)

Para capacidad admisible:

Ilustración 206: Capacidad admisible fuerza axial sección rectangular eje débil

=+SI(BM7<0;BM7/1.67;BM7/2)								
BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
Sección compuesta								
Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector total	Fuerza axial último	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	-1685.32	0.00	-1685.32	0.00	-1516.79	0.00	=+SI(BM7<0;	0

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 207: Capacidad admisible momento flector sección rectangular eje débil

=+BN7/1.67								
BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
Sección compuesta								
Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector total	Fuerza axial último	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	-1685.32	0.00	-1685.32	0.00	-1516.79	0.00	-1009.17	=+BN7/1.67

Fuente: elaboración propia (2018)

Se arrastrará el cursor desde la primera fila hasta la última para formar los suficientes datos del diagrama de interacción. Al igual que para el eje fuerte, se colocarán 1000 puntos. En este caso la variable es la base (B).

Los datos se arrastrarán de la celda A7 hasta la celda A1007.

Ilustración 208: Función rango de valores de c sección rectangular eje débil

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	BH	BI	BJ	BK	BL
1						
2						
3		0	Fuerza axial total	Momento flector total	Fuerza axial nominal	Momento flector nominal
4	Valor [c]	Momento total				
5						
6		[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
7	0.00	0.00	-240.00	0.00	-1685.32	0.00
8	=+A7+Bas	0.00	-240.00	0.00	-1682.26	3.82

The formula bar at the top shows: `=+A7+BaseB/1000`

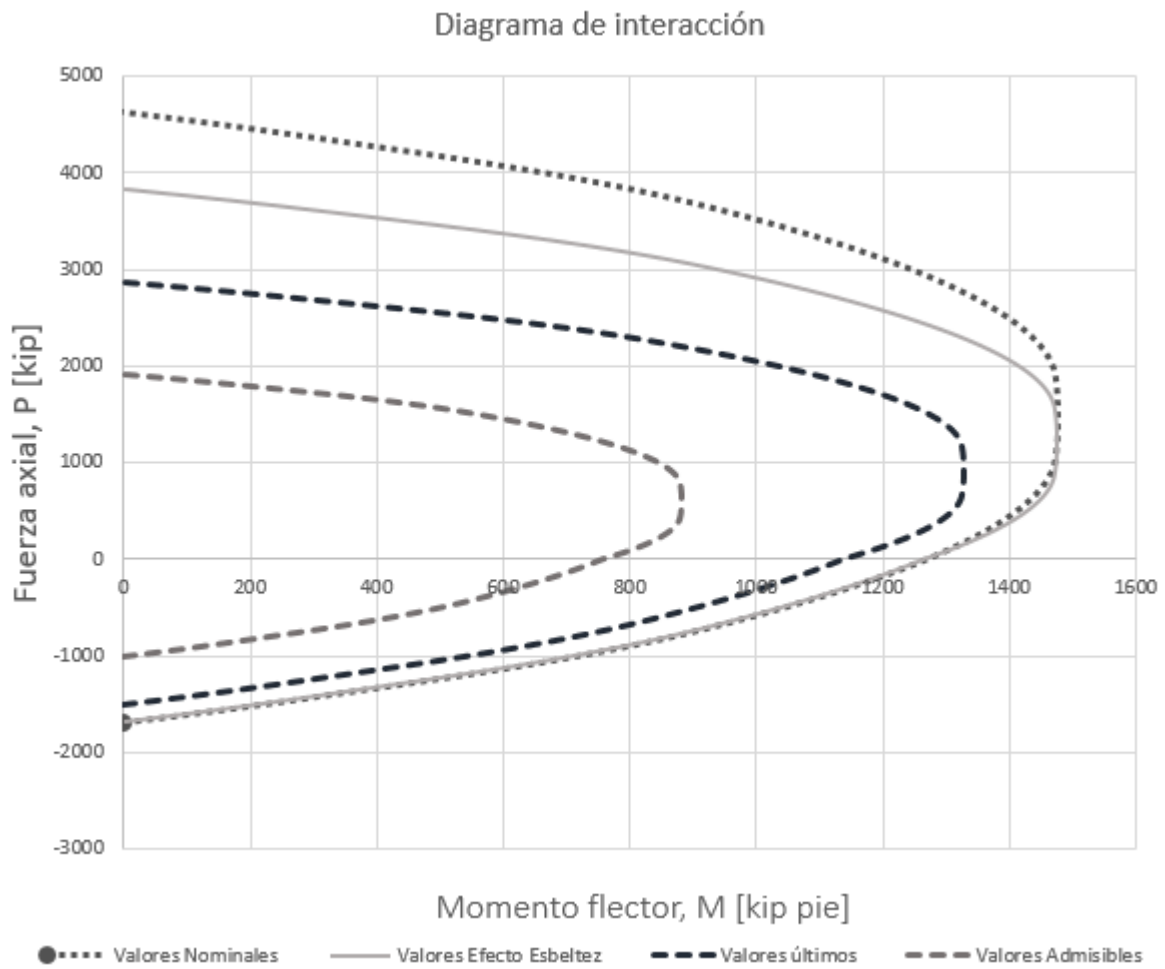
Fuente: elaboración propia (2018)

En la hoja de “Ingreso de datos” se modificará la gráfica y se colocarán los datos para crear el diagrama de interacción.

Antes de realizar esta acción se debe colocar como limitante la carga axial máxima permitida.

Al ingresar los valores del gráfico, el resultado es el siguiente:

Gráfica 6: Diagrama de interacción sección rectangular [eje débil]



Fuente: elaboración propia (2018)

El mismo procedimiento se realiza para la capacidad última y admisible.

4.2. Perfil W embebido en columna circular de concreto reforzado

4.2.1. Procedimiento: área sección circular

La metodología utilizada para determinar el esfuerzo en una sección rectangular es aplicable en una sección circular. Para una sección circular se tiene que encontrar el área para un valor de C variable. En este caso, el área que está sometida a compresión es un segmento circular. El procedimiento para determinar el área implica la utilización de funciones en coordenadas polares. Las coordenadas polares son utilizadas debido a que sus funciones a integrar son más simples que las funciones en coordenadas cartesianas.

La sección circular se modelará en un sistema de coordenadas polares. El sistema de coordenadas polares se basa en círculos concéntricos y líneas que salen de un origen. Zill y Wright (2001). La línea de referencia se le conoce como eje polar. Cualquier punto en un sistema de coordenadas polares se establece a partir de su distancia al origen y ángulo que se forma desde el eje polar. Los ángulos medidos de forma anti-horaria son positivos y cualquier ángulo medido de forma horaria es negativo.

Para traducir de coordenada cartesianas a polares se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

La fórmula de un círculo en coordenadas cartesianas es:

Fórmula 20: Círculo centrado en el origen en coordenadas cartesianas

$$x^2 + y^2 = (\text{Diámetro}/2)^2$$

Fórmula 21: Recta horizontal en coordenadas cartesianas

$$y = c$$

Sustituyendo las ecuaciones se encuentran las funciones polares.

Se sustituye el valor de dx y dy por dr y $d\theta$.

Además de determinar el área, se debe determinar el centroide del área variable. El procedimiento que se utilizará es el primer momento de área. Esta función es también en coordenadas polares. Para determinar estos dos valores se propone traducir parámetros de diámetro y eje del valor de C a coordenadas polares y utilizar integrales dobles. El procedimiento es el siguiente:

Cálculo de área y centroide de una sección circular

Ecuación para determinar el primer momento de área con respecto al eje "X" y "Y" entre las dos siguientes funciones. (Ver fórmula 23 y fórmula 24).

Fórmula 22: Integral primer momento de área

$$M_x = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{r_1}^{r_2} r^2 \sin \theta \, dr \, d\theta$$

Donde:

Fórmula 23: Función eje valor de C variable en coordenadas polares

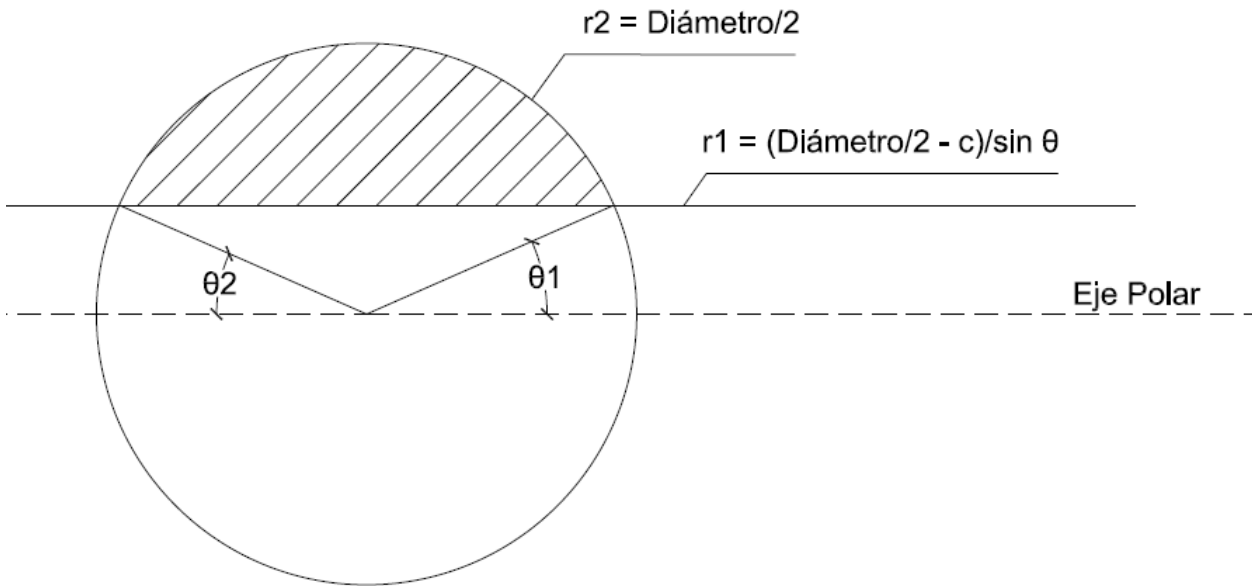
$$r_1 = (D/2 - c) / \sin \theta$$

Fórmula 24: Función diámetro de la sección en coordenadas polares

$$r_2 = D/2$$

Los valores de θ_1 y θ_2 se obtiene a partir de igualar las fórmula 23 y fórmula 24 (r_1 y r_2) la cual tiene dos soluciones dentro del círculo unitario. Estos puntos donde se intersectan ambas funciones son los límites de integración. En la siguiente ilustración se ven las funciones de círculo y valor de C en coordenadas polares. En los puntos que se intersectan son theta 1 y theta 2.

Ilustración 209: Funciones en coordenadas polares



Fuente: elaboración propia (2018)

Resolviendo la integral doble

$$M_x = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[\int_{r_1}^{r_2} r^2 dr \right] \sin \theta \, d\theta$$

$$M_x = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[\left. \left[\frac{r^3}{3} \right] \right|_{(D/2 - c)/\sin \theta}^{D/2} \right] \sin \theta \, d\theta$$

$$M_x = \frac{1}{3} \int_{\theta_1}^{\theta_2} [(D/2)^3 - ((D/2 - c)/\sin \theta)^3] \sin \theta \, d\theta$$

$$M_x = \frac{1}{3} \int_{\theta_1}^{\theta_2} [(D/2)^3 \sin \theta - ((D/2 - c)^3 / \sin \theta)] \, d\theta$$

$$M_x = \frac{1}{3} [(D/2)^3 (-\cos \theta) - (D/2 - c)^3 (-\cot \theta)] \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$M_x = \frac{1}{3} [(D/2)^3 (-\cos \theta_2) - (D/2 - c)^3 (-\cot \theta_2)] \\ - [(D/2)^3 (-\cos \theta_1) - (D/2 - c)^3 (-\cot \theta_1)]$$

Simplificando la expresión:

Fórmula 25: Primer momento de inercia en función del valor de C

$$M_x = \frac{1}{3} [(D/2)^3 [\cos \theta_1 - \cos \theta_2] + (D/2 - c)^3 [\cot \theta_2 - \cot \theta_1]]$$

Ahora, se determinará el área de la sección transversal delimitada por ambas funciones:

Fórmula 26: Integral área en coordenadas polares

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{r_1}^{r_2} r dr d\theta$$

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[\int_{r_1}^{r_2} r dr \right] d\theta$$

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[\left[\frac{r^2}{2} \right]_{(D/2 - c)/\sin \theta}^{D/2} \right] d\theta$$

$$A = \frac{1}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} [(D/2)^2 - ((D/2 - c)/\sin \theta)^2] d\theta$$

$$A = \left[\frac{1}{2} [(D/2)^2(\theta) - ((D/2 - c)^2(-\cot \theta))] \right]_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$A = \frac{1}{2} [(D/2)^2(\theta_2) - ((D/2 - c)^2(-\cot \theta_2)) - [(D/2)^2(\theta_1) - ((D/2 - c)^2(-\cot \theta_1))]]$$

Simplificando la expresión

Fórmula 27: Área sección circular en función del valor de C

$$A = \frac{1}{2} [(D/2)^2[\theta_2 - \theta_1] + (D/2 - c)^2 [\cot \theta_2 - \cot \theta_1]]$$

La ubicación del centroide con respecto al eje centroidal es igual al primer momento de área dividido el área de la sección.

Fórmula 28: Centroide de la sección circular en función del valor de C

$$\bar{y} = \frac{M_x}{A}$$

$$\bar{y} = \frac{\frac{1}{3}[(D/2)^3[-\cos \theta_2 + \cos \theta_1] + (D/2 - c)^3[\cot \theta_2 - \cot \theta_1]]}{\frac{1}{2}[(D/2)^2[\theta_2 - \theta_1] + (D/2 - c)^2 [\cot \theta_2 - \cot \theta_1]]}$$

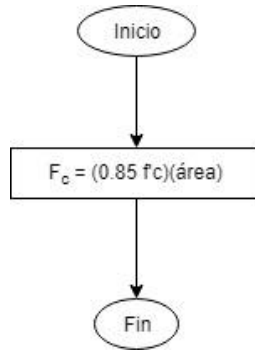
El centroide es el brazo de la figura con respecto al eje centroidal. La fórmula 25, fórmula 27 y fórmula 28 son aplicables para eje fuerte y débil.

El procedimiento de integración, área y centroide se representará en los diagramas de flujo y posteriormente se traducirá en Microsoft Excel.

4.2.2. Diagrama de flujo columnas circulares

Eje fuerte

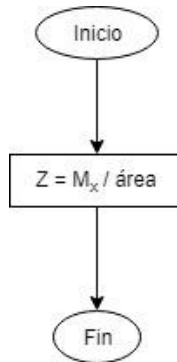
Diagrama de flujo 53: Compresión figura No. 1 [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

Área en función de los valores θ_1 y θ_2 . (Ver fórmula 27).

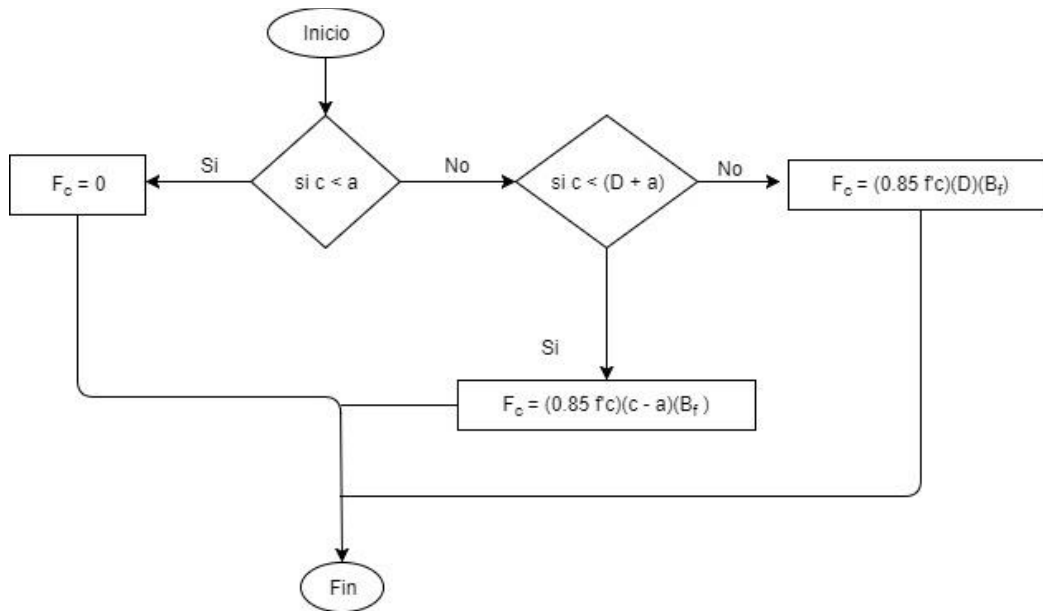
Diagrama de flujo 54: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

Área y primer momento de área respecto al eje "X" (M_x) en función de los valores θ_1 y θ_2 . (Ver fórmula 27 y fórmula 28).

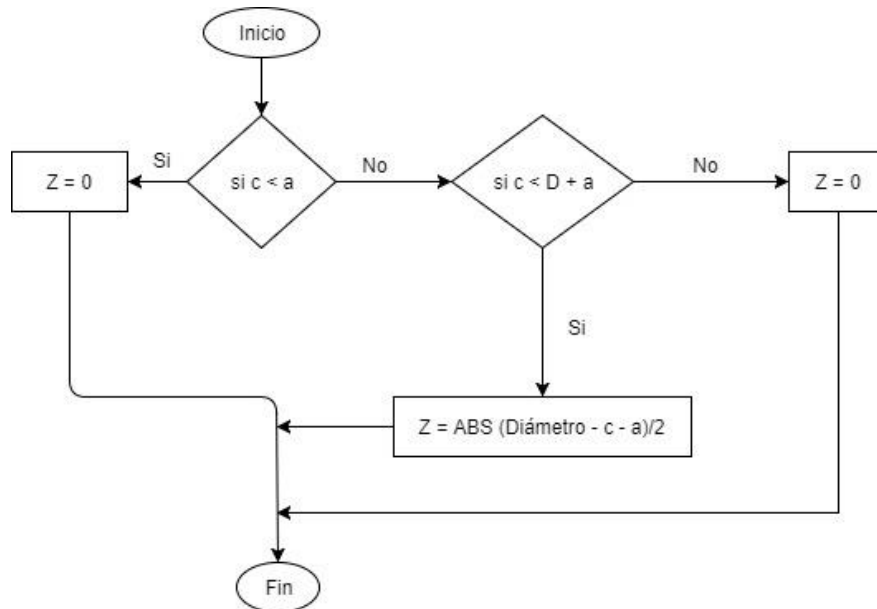
Diagrama de flujo 55: Compresión figura No. 2 [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

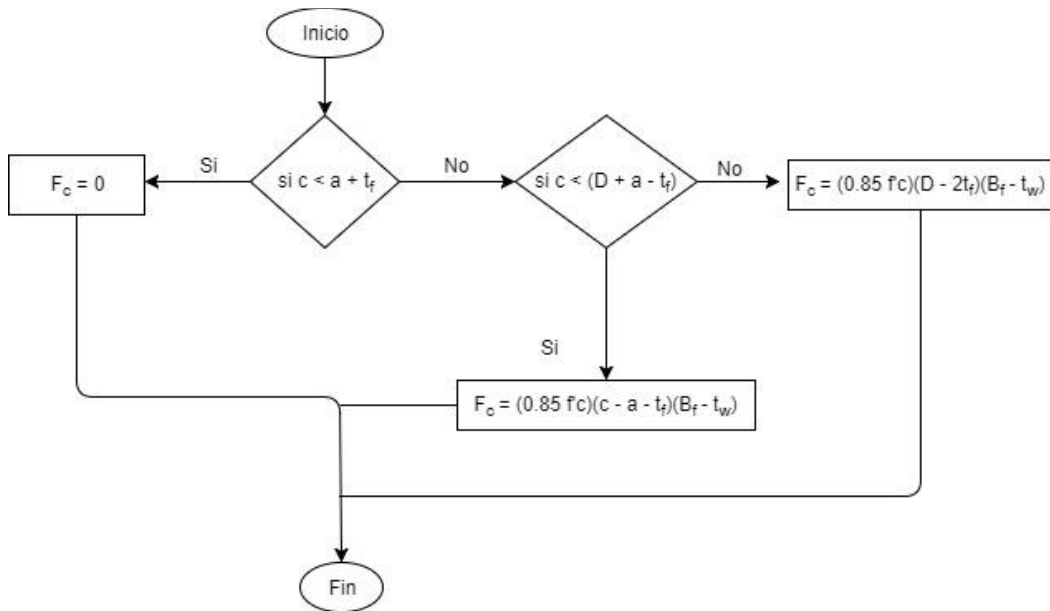
Diagrama de flujo 56: Brazo figura No. 2 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

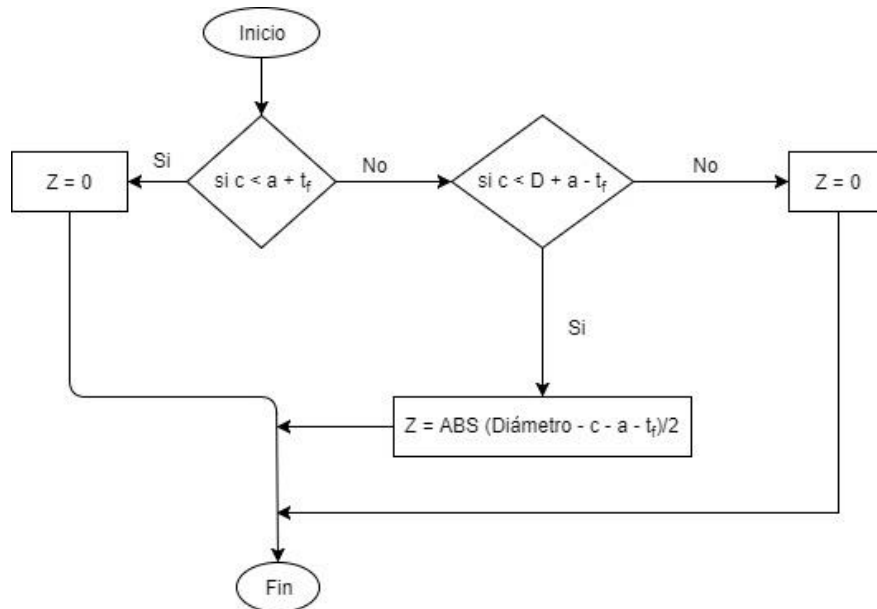
Diagrama de flujo 57: Compresión figura No. 3 [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

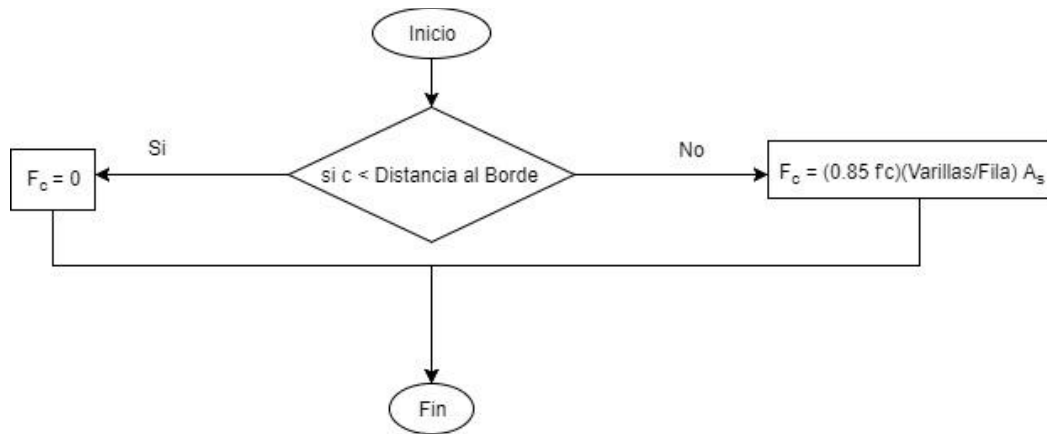
Diagrama de flujo 58: Brazo figura No. 3 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

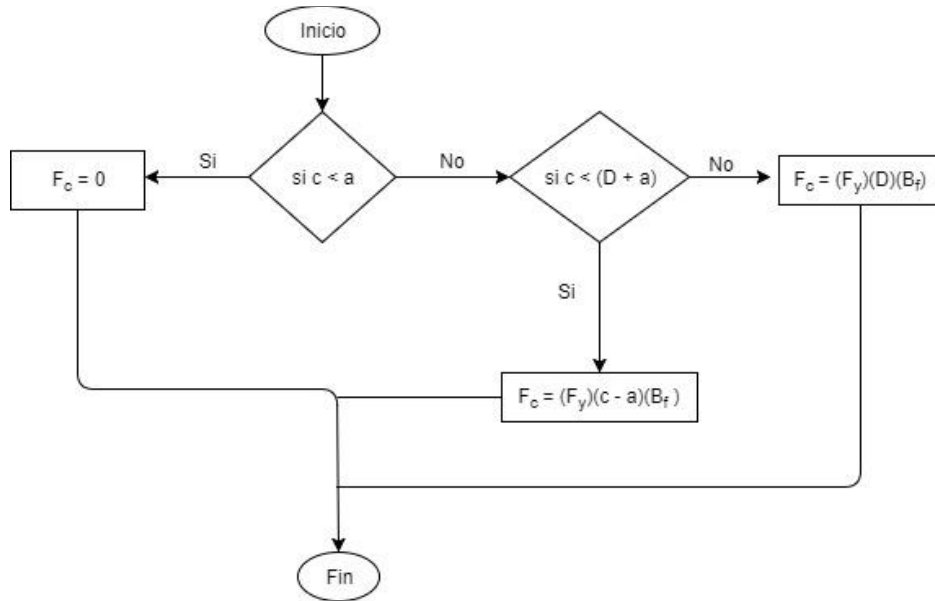
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 59: Espacio varillas de refuerzo [todas las filas]



Fuente: elaboración propia (2018)

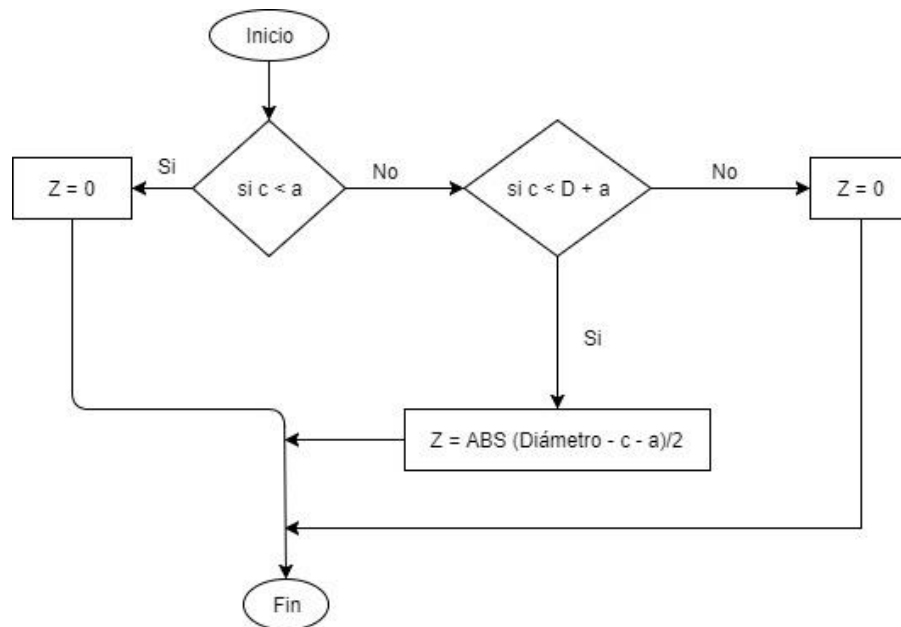
Diagrama de flujo 60: Compresión figura No. 1 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

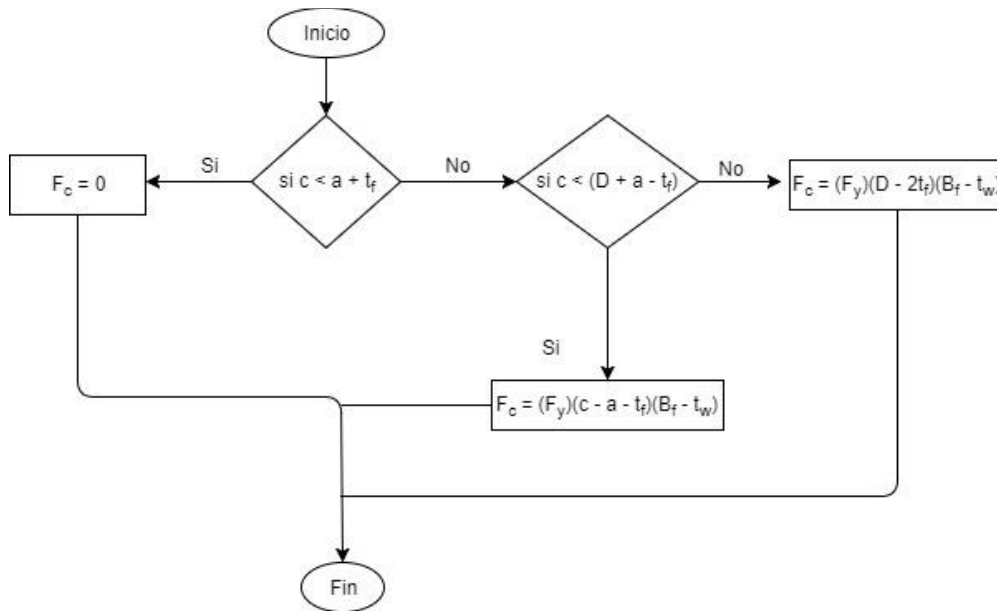
Diagrama de flujo 61: Brazo figura No. 1 a compresión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

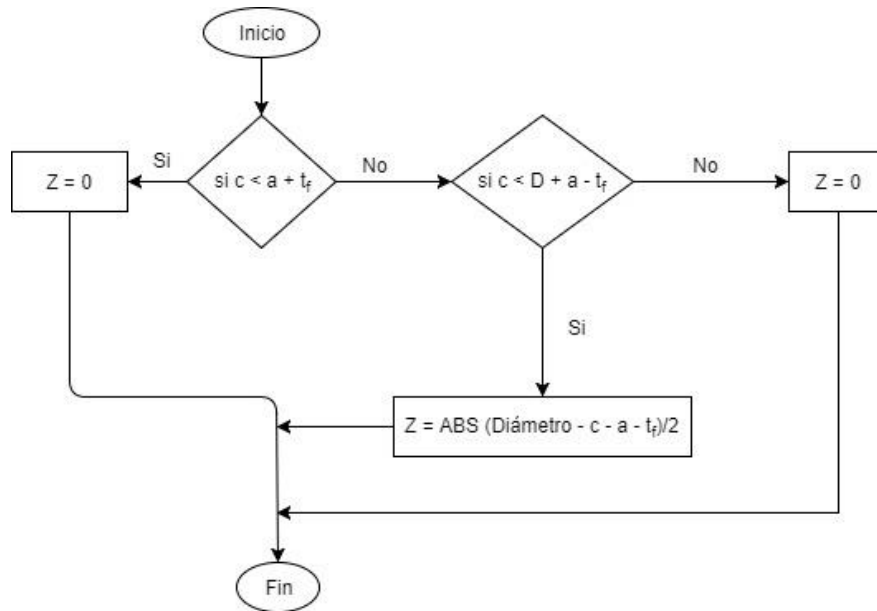
Diagrama de flujo 62: Compresión figura No. 2 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

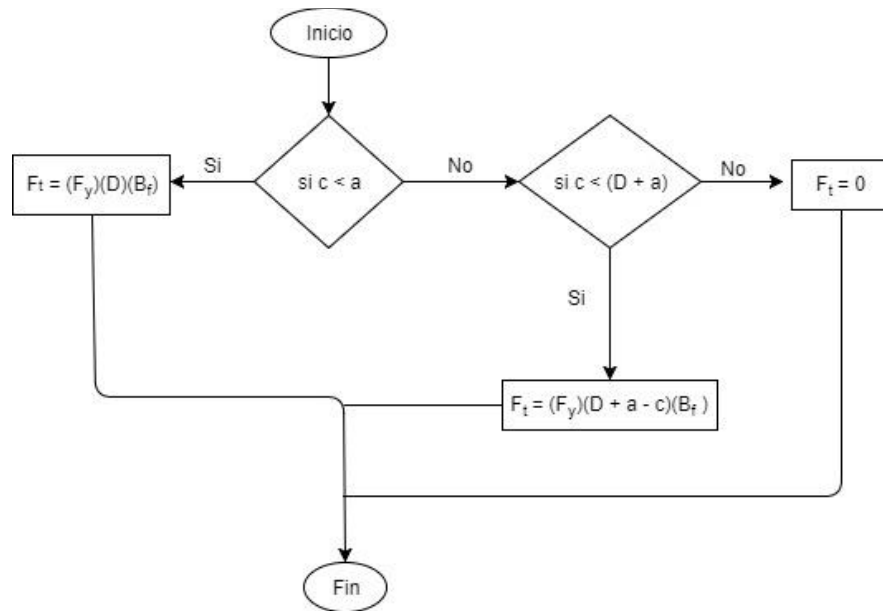
Diagrama de flujo 63: Brazo figura No. 2 a compresión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

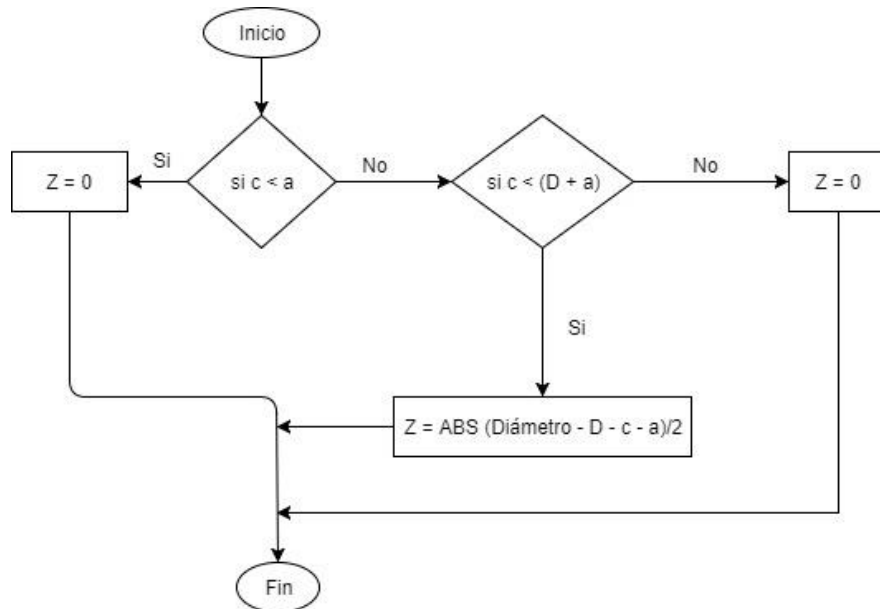
Diagrama de flujo 64: Tensión figura No. 1 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

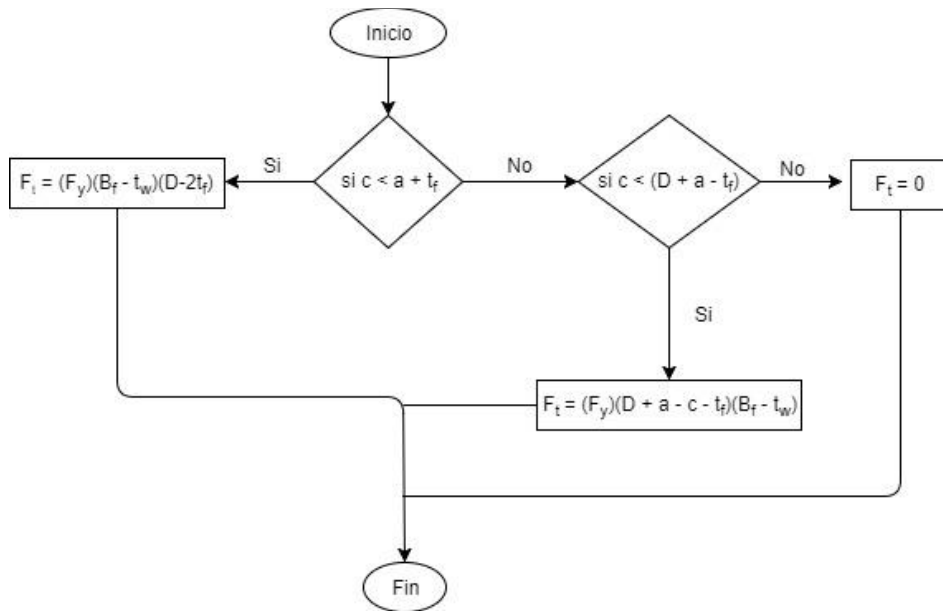
Diagrama de flujo 65: Brazo figura No. 1 a tensión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

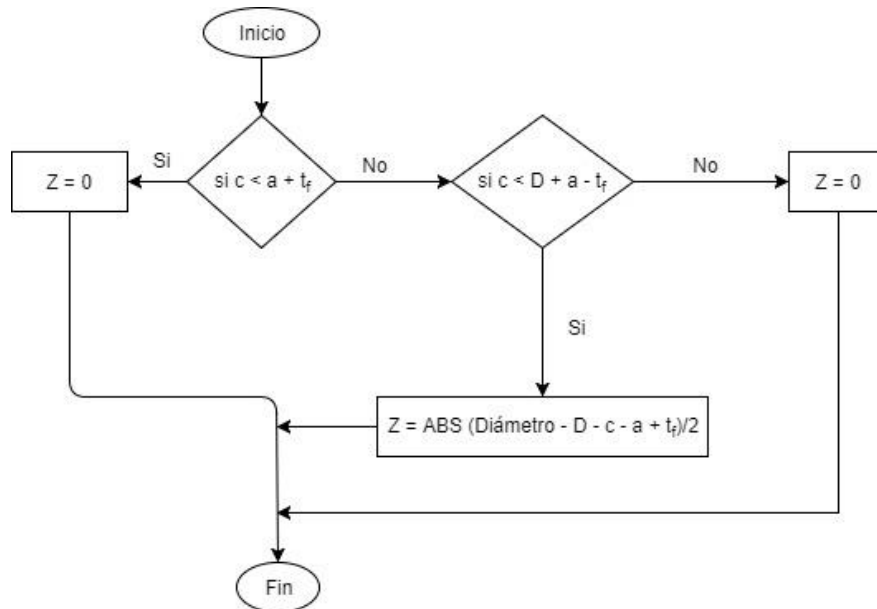
Diagrama de flujo 66: Tensión figura No. 2 [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

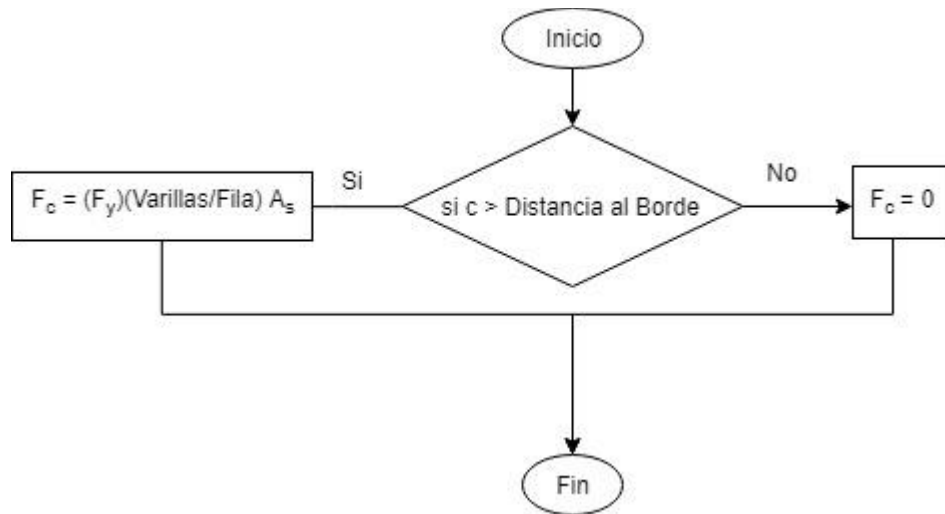
Diagrama de flujo 67: Brazo figura No. 2 a tensión [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

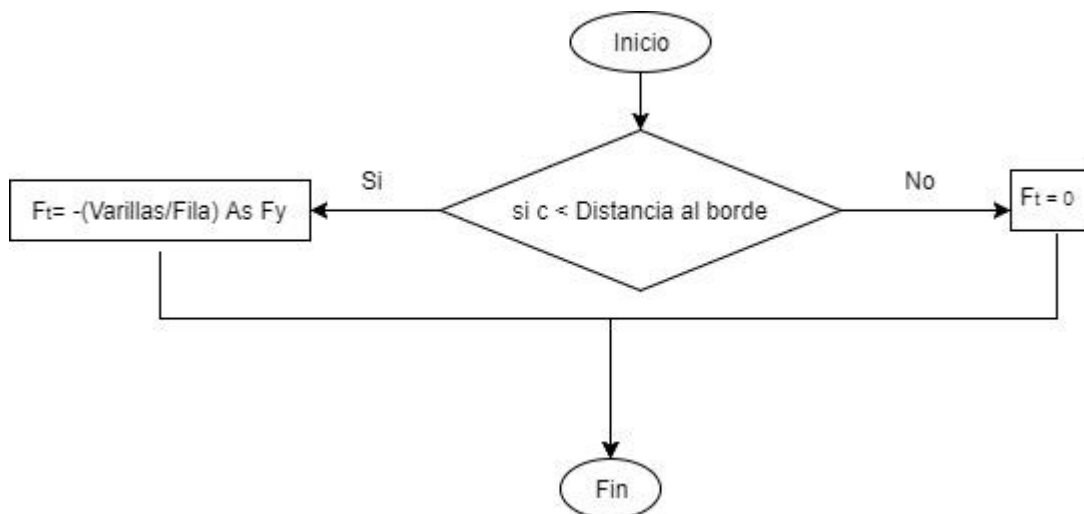
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 68: Compresión varillas de refuerzo [todas las filas]



Fuente: elaboración propia (2018)

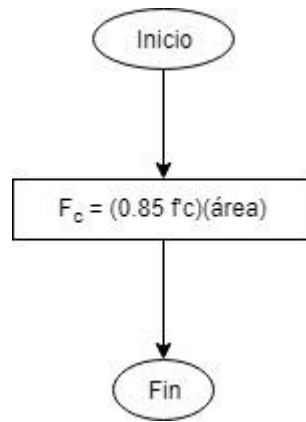
Diagrama de flujo 69: Tensión varillas de refuerzo [todas las filas]



Fuente: elaboración propia (2018)

Eje débil

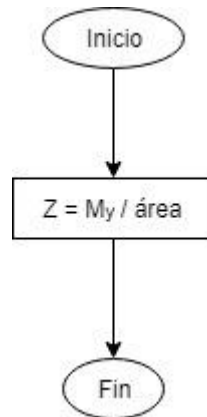
Diagrama de flujo 70: Compresión figura No. 1 [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

Área en función de los valores θ_1 y θ_2 . (Ver fórmula 27).

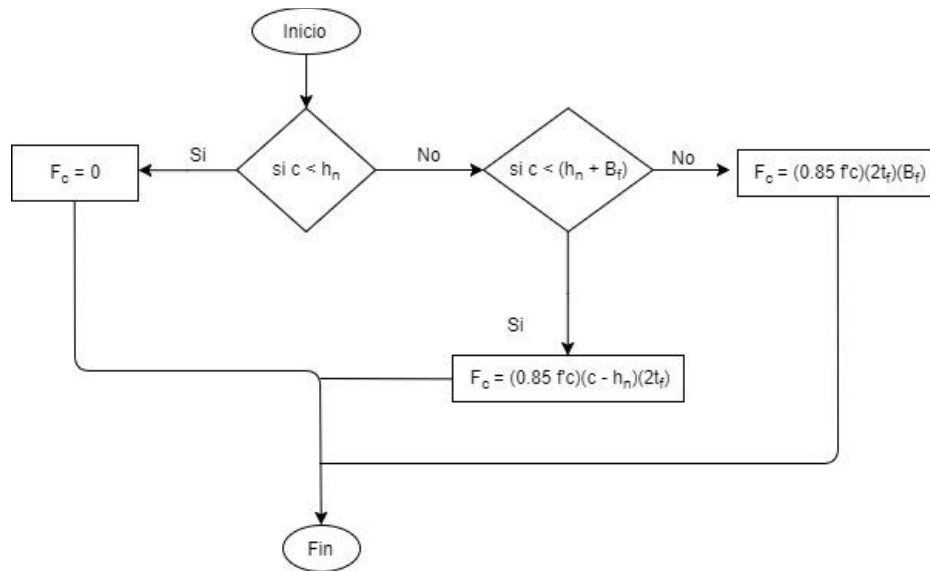
Diagrama de flujo 71: Brazo figura No. 1 a compresión [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

Área y primer momento de área respecto al eje "Y" (M_y) en función de los valores θ_1 y θ_2 . (Ver fórmula 25 y fórmula 27).

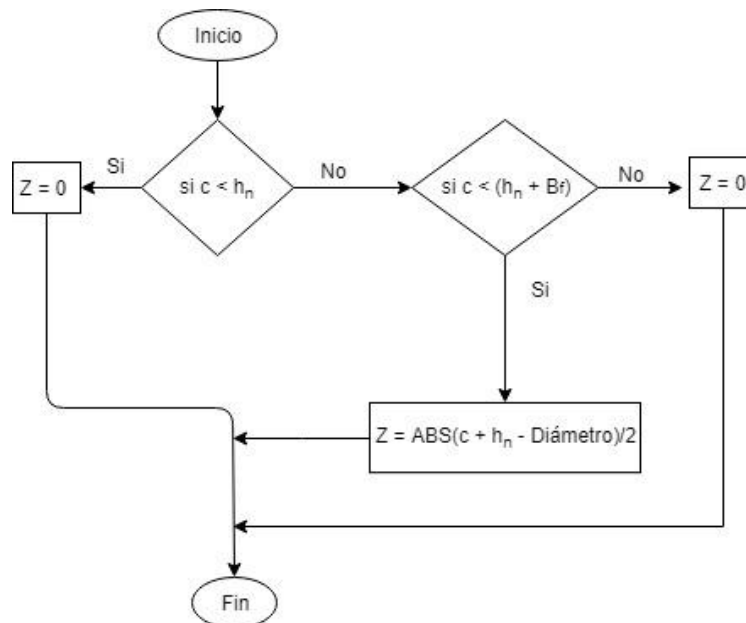
Diagrama de flujo 72: Compresión figura No. 1 [patines] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

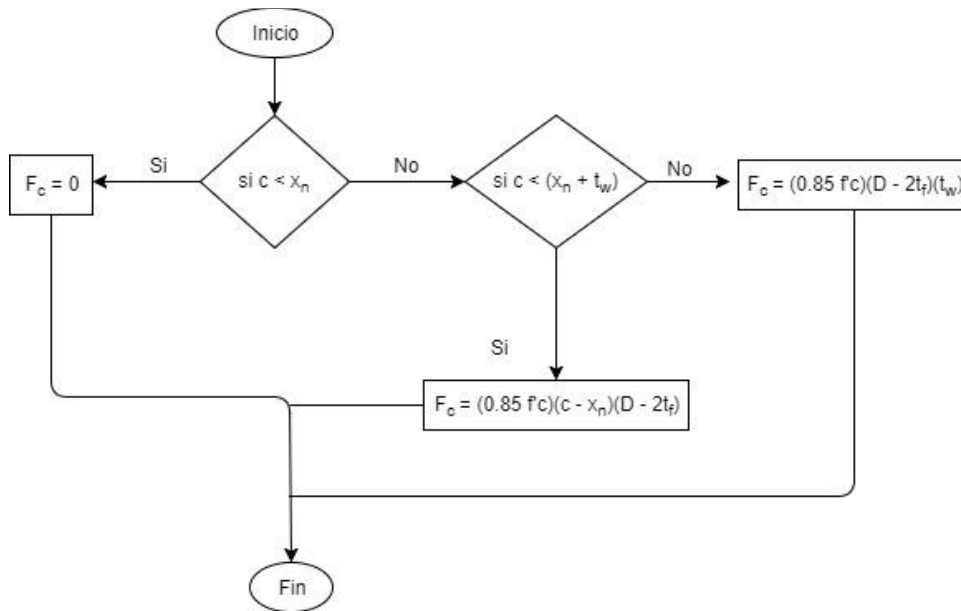
Diagrama de flujo 73: Brazo figura No. 1 a compresión [patines] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

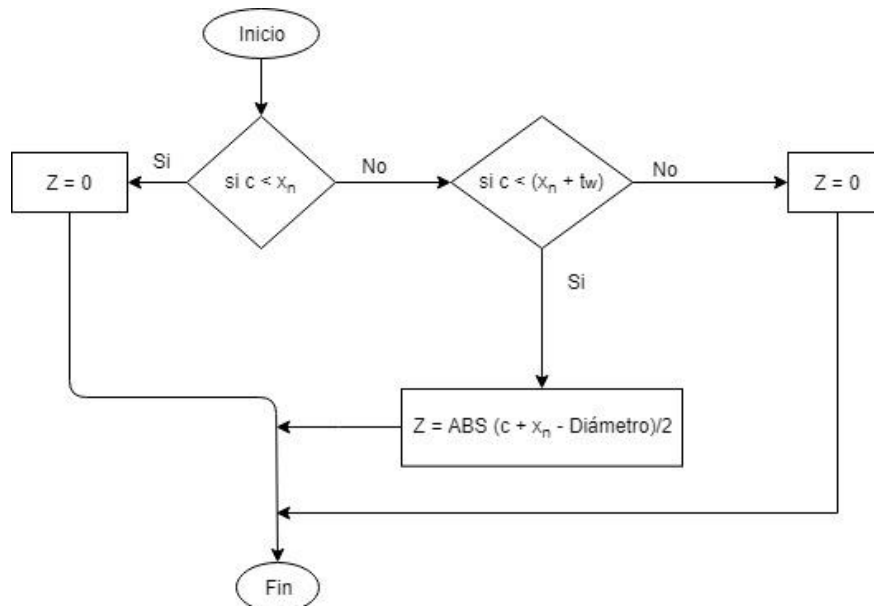
Diagrama de flujo 74: Compresión figura No. 2 [alma] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

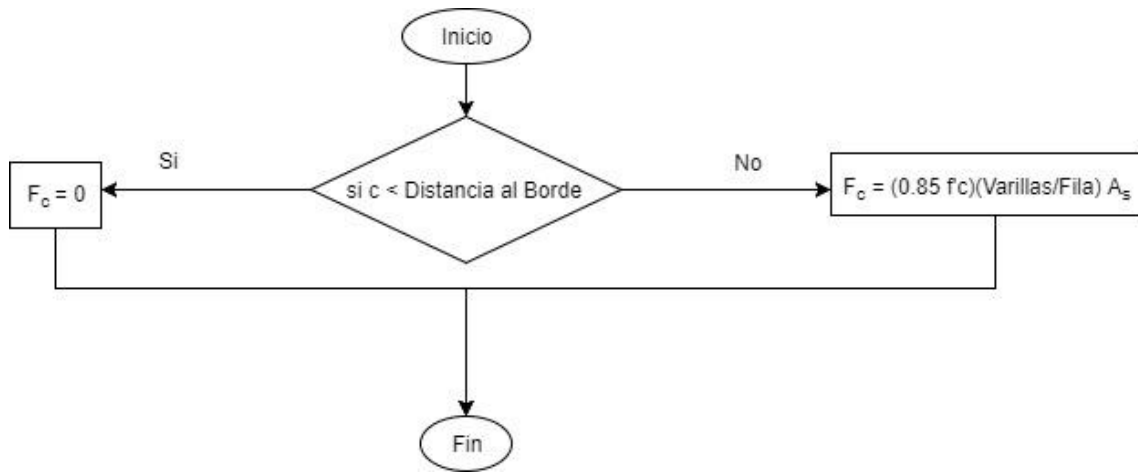
Diagrama de flujo 75: Brazo figura No. 2 a compresión [alma] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

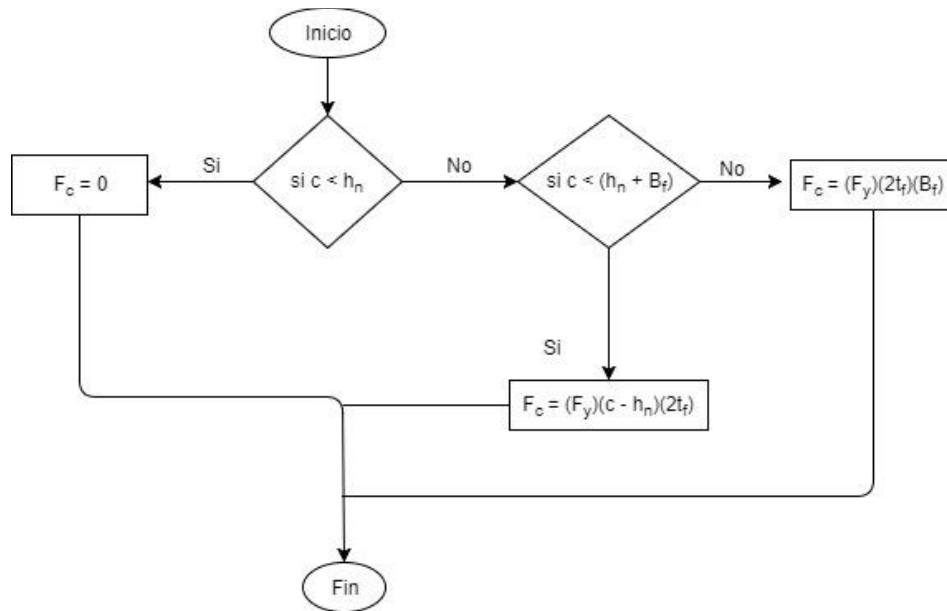
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 76: Espacio varillas de refuerzo [todas las filas]



Fuente: elaboración propia (2018)

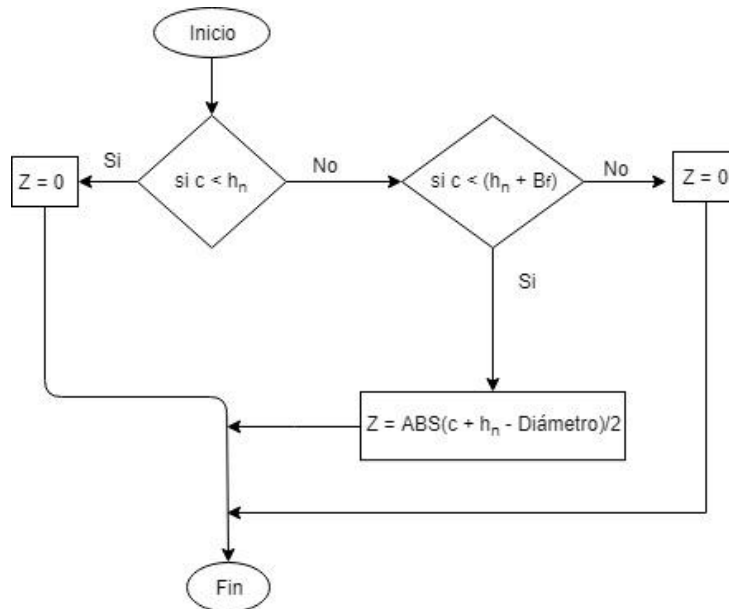
Diagrama de flujo 77: Compresión figura No. 1 [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

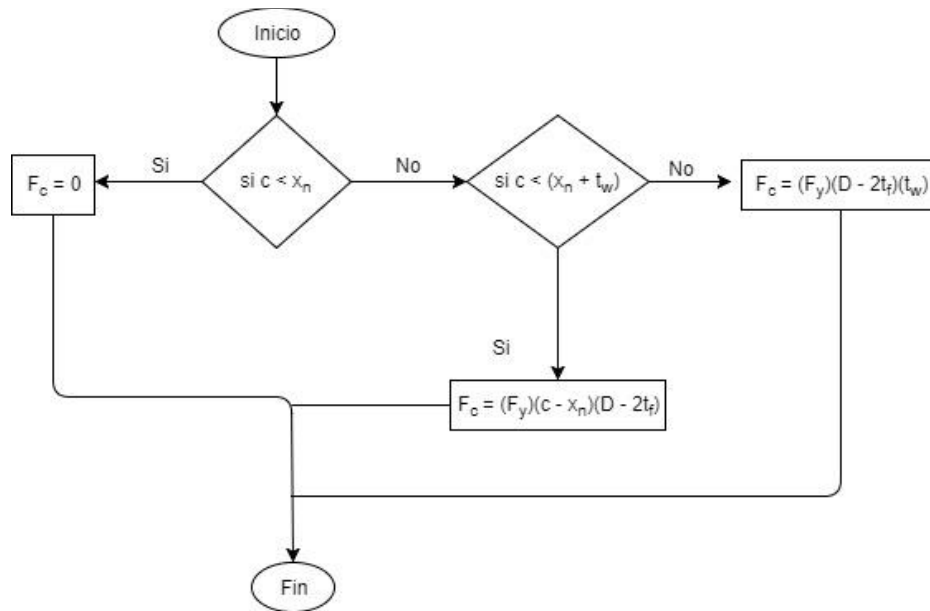
Diagrama de flujo 78: Brazo figura No. 1 a compresión [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

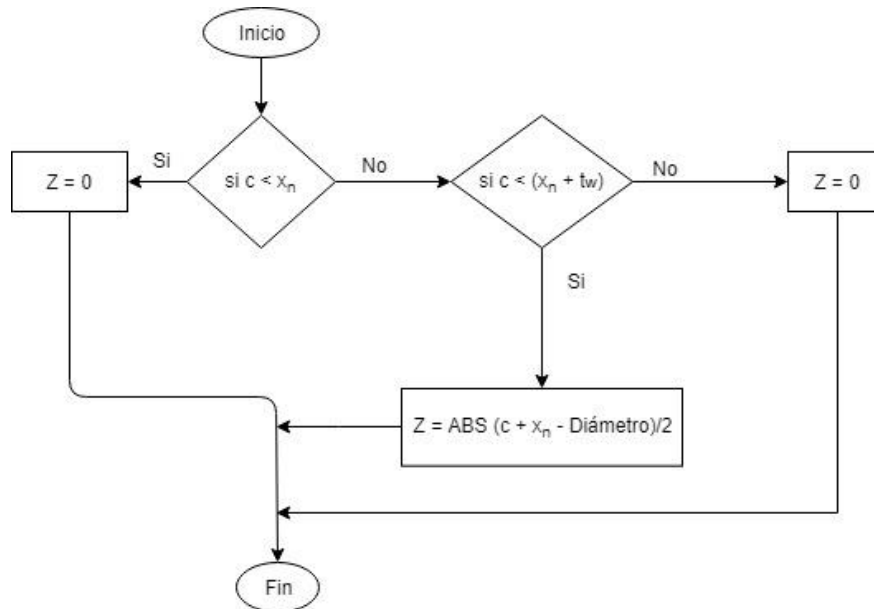
Diagrama de flujo 79: Compresión figura No. 2 [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

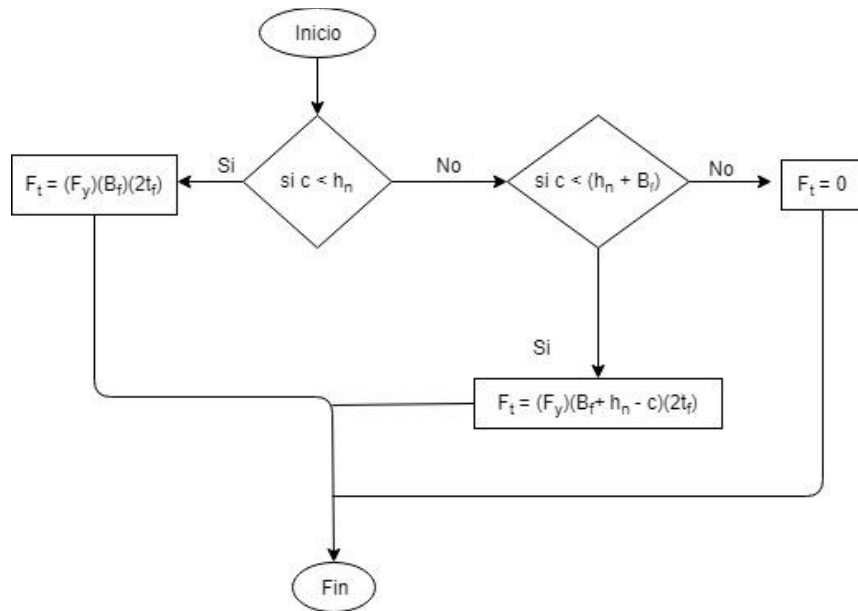
Diagrama de flujo 80: Brazo figura No. 2 a compresión [alma] [concreto]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

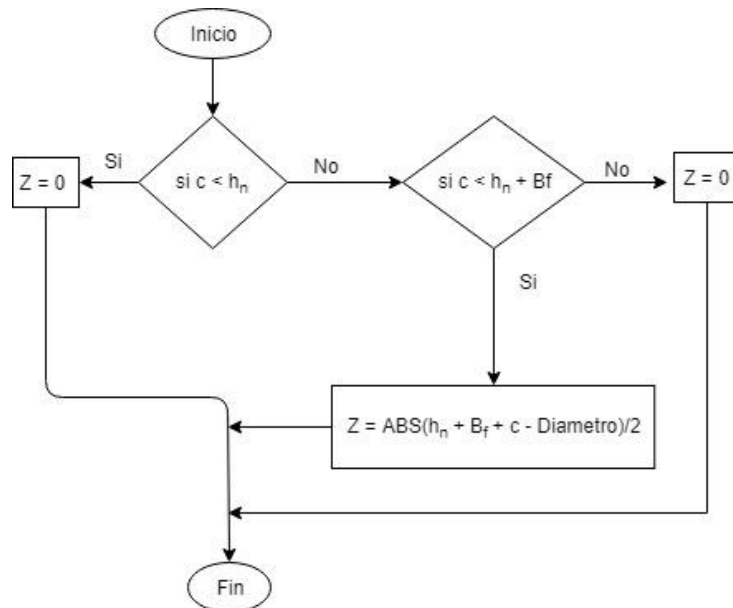
Diagrama de flujo 81: Tensión figura No. 1 [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

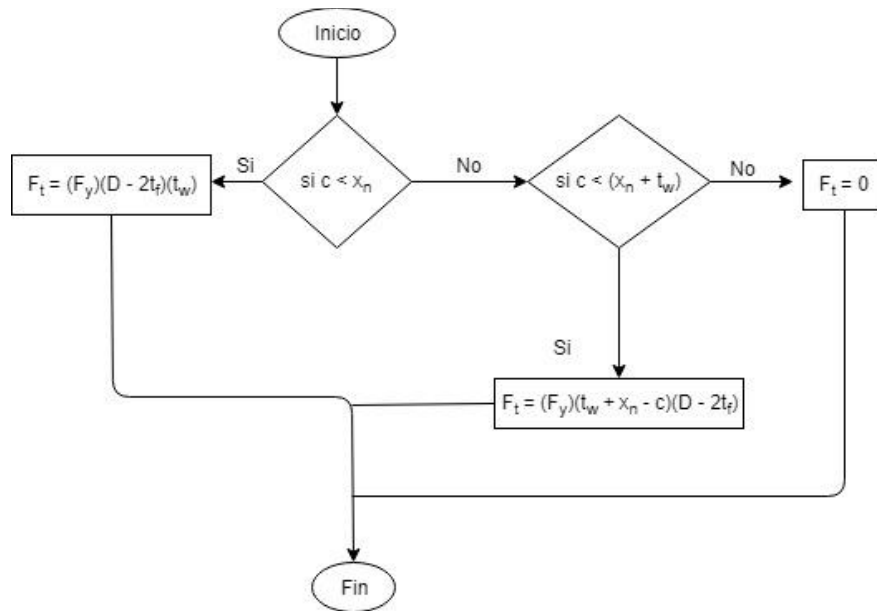
Diagrama de flujo 82: Brazo figura No. 2 a tensión [patines] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

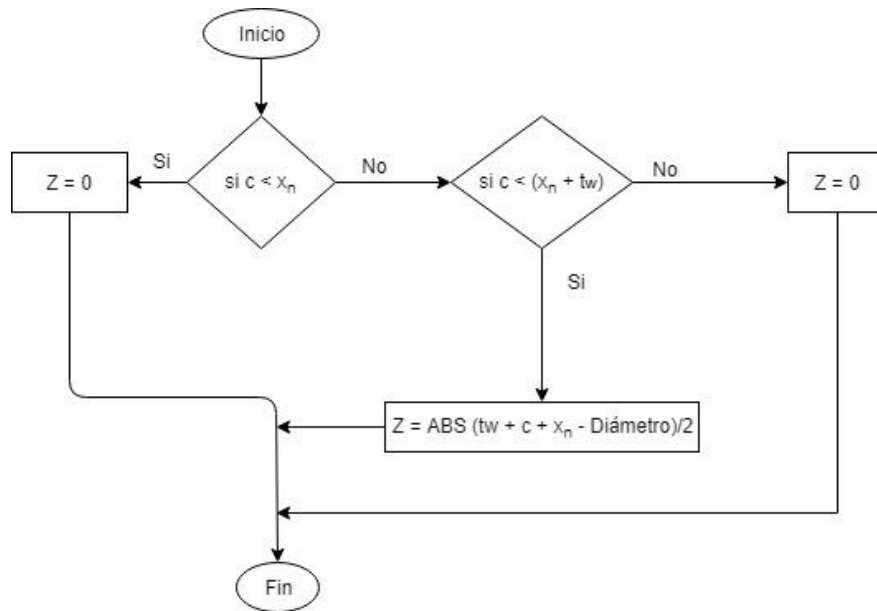
Diagrama de flujo 83: Tensión figura No. 2 [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

(Ver ilustración 12).

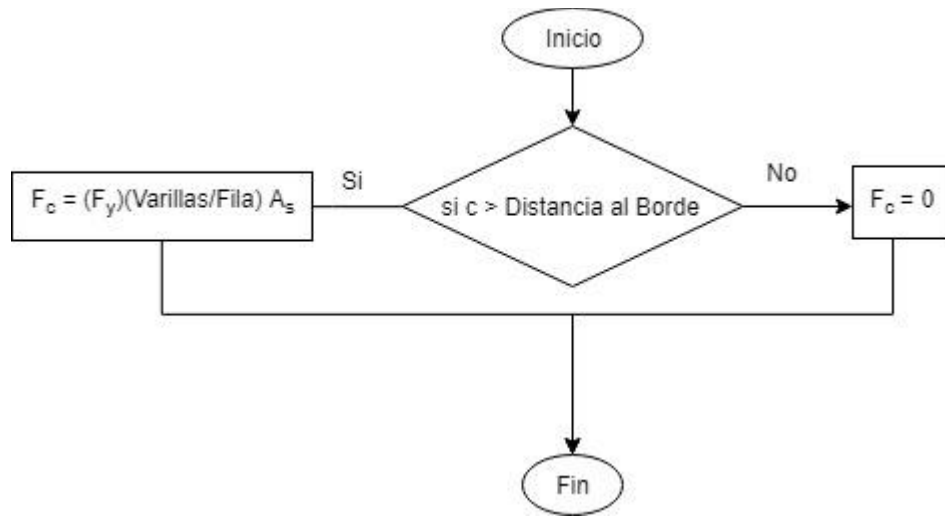
Diagrama de flujo 84: Brazo figura No. 2 a tensión [alma] [acero]



Fuente: elaboración propia (2018)

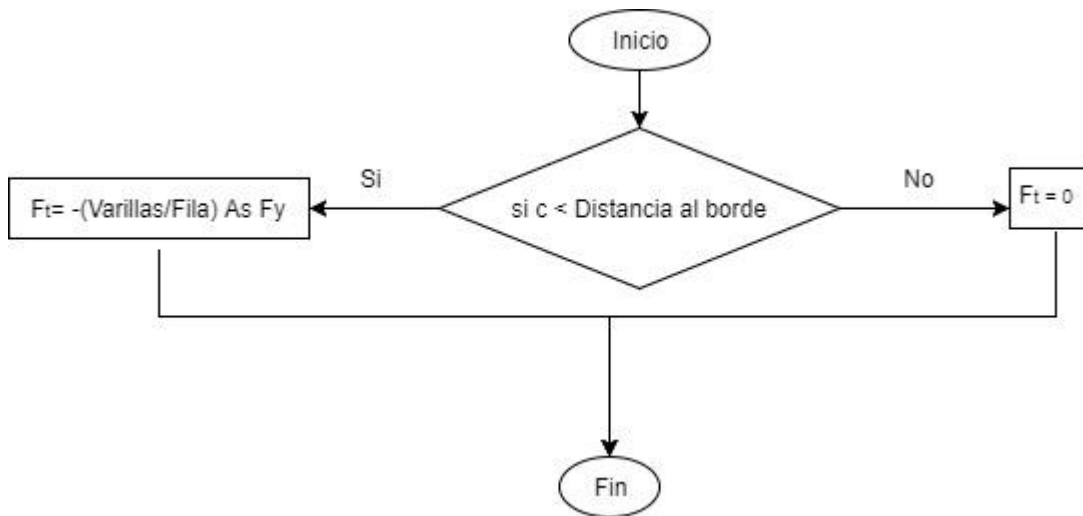
(Ver ilustración 12).

Diagrama de flujo 85: Compresión varillas de refuerzo [todas las filas]



Fuente: elaboración propia (2018)

Diagrama de flujo 86: Tensión varillas de refuerzo [todas las filas]



Fuente: elaboración propia (2018)

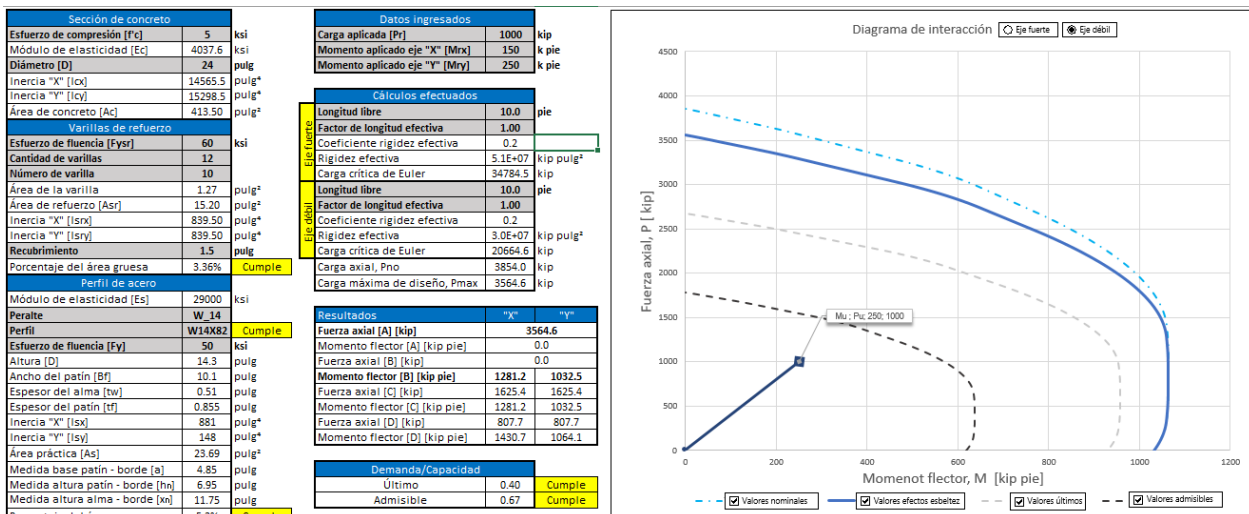
4.2.3. Programa columnas circulares Microsoft Excel

En la ilustración 210 se presenta el formato de programa en Microsoft Excel para ingreso de datos y selección de parámetros. Esta sección es válida para el eje fuerte y débil. Para la sección circular se creará un nuevo documento diferente al de sección rectangular.

En principio se definirán los datos que debe ingresar y seleccionar el usuario. Para ello se realizará la siguiente distribución en el espacio de la hoja de cálculo.

El autor decidió definir los datos divididos en cada material (concreto, varillas de refuerzo y perfil de acero) para realizarlo de manera ordenada. En el nuevo documento se colocará una hoja de "Ingreso de datos" la cual tendrá el siguiente formato:

Ilustración 210: Formato hoja "Ingreso de datos" sección circular



Fuente: elaboración propia (2018)

Como primera parte, se comenzará por nombrar las celdas. El nombre de las celdas se basará en la siguiente tabla:

Tabla 8: Nombres de las celdas sección circular

Rango	Descripción	Nombre de la celda
Sección de concreto	Esfuerzo de compresión [f'_c]	EsfuerzoCompresion
	Módulo de elasticidad [E_c]	Ec
	Diámetro [D]	DiametroD
	Inercia "X" [I_{cx}]	InerciaCX
	Inercia "Y" [I_{cy}]	InerciaCY
	Área de concreto [A_c]	AreaConcreto
Varillas de refuerzo longitudinal	Esfuerzo de fluencia [F_{ysr}]	EsfuerzoFluenciaVarillas
	Cantidad de varillas	CantVarillas
	Número de varilla	NumVarilla
	Área de la varilla	AsVarilla
	Área de refuerzo [A_{sr}]	Asr
	Inercia "X" [I_{srx}]	InerciaVarillaX
	Inercia "Y" [I_{sry}]	InerciaVarillaY
	Recubrimiento	Recubrimiento
Perfil de acero	Módulo de elasticidad [E_s]	Es
	Peralte	Peralte
	Perfil	Perfil
	Esfuerzo de fluencia [F_y]	EsfuerzoFluenciaPerfil
	Altura [D]	AlturaD
	Ancho del patín [B_f]	AnchoPatin
	Espesor del alma [t_w]	EspesorAlma
	Espesor del patín [t_f]	EspesorPatin
	Inercia "X" [I_{sx}]	InerciaPerfilX
	Inercia "Y" [I_{sy}]	InerciaPerfilY
	Área práctica [A_s]	AreaPerfil
	Medida de la base del patín al borde [a]	MedidaA
	Medida de la base del alma al borde [h_n]	MedidaHn
	Medida de la altura del patín al borde [x_n]	MedidaXn

Cargas aplicadas	Carga aplicada [Pr]	Pr
	Momento aplicado eje "X" [Mrx]	Mrx
	Momento aplicado eje "Y" [Mry]	Mry
Procedimiento [eje fuerte]	Longitud libre [L]	LongLibreEF
	Factor de longitud efectiva [K]	FactorKEF
	Coeficiente de rigidez efectiva	CoefRigidezEfectiva
	Rigidez efectiva	RigidezEfectivaEF
	Carga crítica de Euler [P _e]	CargaEulerEF
Procedimiento [eje débil]	Longitud libre [L]	LongLibreED
	Factor de longitud efectiva [K]	FactorKED
	Coeficiente de rigidez efectiva	CoefRigidezEfectiva
	Rigidez efectiva	RigidezEfectivaED
	Carga crítica de Euler [P _e]	CargaEulerED
Carga de diseño	Carga axial [Pno]	Pno
	Carga máxima de diseño [Pmax]	Pmax
Resultados	Fuerza axial punto A [P _A]	PA
	Momento punto A [M _A]	MA
	Fuerza axial punto B [P _B]	PB
	Momento nominal punto B eje "X" [M _{Bx}]	MBx
	Momento nominal punto B eje "Y" [M _{By}]	MBy
	Fuerza axial punto C eje "X" [P _{Cx}]	PCx
	Fuerza axial punto C eje "Y" [P _{Cy}]	PCy
	Momento nominal punto C eje "X" [M _{Cx}]	MCx
	Momento nominal punto C eje "Y" [M _{Cy}]	MCy
	Fuerza axial punto D eje "X" [P _{Dx}]	PCx
	Fuerza axial punto D eje "Y" [P _{Dy}]	PCy
	Momento nominal punto D eje "X" [M _{Dx}]	MDx
	Momento nominal punto D eje "Y" [M _{Dy}]	MDy
Cálculos eje fuerte	Cantidad de varillas en fila #1 concreto	VarillasFila1ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #2 concreto	VarillasFila2ConcretoEF

	Cantidad de varillas en fila #3 concreto	VarillasFila3ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #4 concreto	VarillasFila4ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #5 concreto	VarillasFila5ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #6 concreto	VarillasFila6ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #7 concreto	VarillasFila7ConcretoEF
	Cantidad de varillas en fila #1 acero	VarillasFila1AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #2 acero	VarillasFila2AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #3 acero	VarillasFila3AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #4 acero	VarillasFila4AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #5 acero	VarillasFila5AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #6 acero	VarillasFila6AceroEF
	Cantidad de varillas en fila #7acero	VarillasFila7AceroEF
Cálculos eje débil	Cantidad de varillas en fila #1 concreto	VarillasFila1ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #2 concreto	VarillasFila2ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #3 concreto	VarillasFila3ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #4 concreto	VarillasFila4ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #5 concreto	VarillasFila5ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #6 concreto	VarillasFila6ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #7 concreto	VarillasFila7ConcretoED
	Cantidad de varillas en fila #1 acero	VarillasFila1AceroED
	Cantidad de varillas en fila #2 acero	VarillasFila2AceroED
	Cantidad de varillas en fila #3 acero	VarillasFila3AceroED
	Cantidad de varillas en fila #4 acero	VarillasFila4AceroED
	Cantidad de varillas en fila #5 acero	VarillasFila5AceroED
	Cantidad de varillas en fila #6 acero	VarillasFila6AceroED
	Cantidad de varillas en fila #7acero	VarillasFila7AceroED

Fuente: elaboración propia (2018)

Los datos de concreto y de perfiles de acero son los mismos para rectangular y circular. Debido a esto, se utilizará el mismo procedimiento ya descrito en la parte de sección rectangular.

Se utilizarán las mismas funciones de listas desplegables y “=BUSCARV” para el relleno automático de celdas.

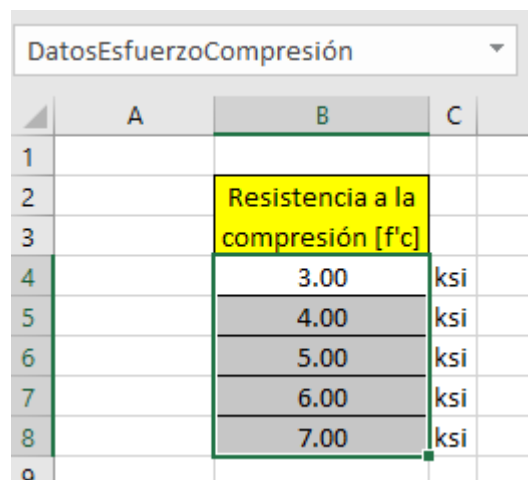
De la misma forma que se crearon hojas para la sección rectangular, se creará para la sección circular. El nombre de las tablas tendrá el mismo nombre que en la sección rectangular.:

- “Datos concreto”
- “Datos perfiles”
- “Datos varillas de refuerzo”
- “Cálculos eje fuerte”
- “Cálculos eje débil”

Sección de concreto:

La lista desplegable del esfuerzo de compresión ($f'c$) del concreto se basa en la hoja “Datos de concreto”.

Ilustración 211: Datos resistencia compresión concreto



	A	B	C
1			
2		Resistencia a la compresión [$f'c$]	
3			
4		3.00	ksi
5		4.00	ksi
6		5.00	ksi
7		6.00	ksi
8		7.00	ksi
9			

Fuente: elaboración propia (2018)

En la hoja de “Ingreso de datos” la parte de concreto queda de la siguiente manera:

Ilustración 212: Lista desplegable resistencia compresión concreto

	A	B	C	D
2		Sección de concreto		
3		Esfuerzo de compresión [f'c]	5	
4		Módulo de elasticidad [Ec]	3.00	
5		Diámetro [D]	5.00	g
6		Inercia "X" [Icx]	6.00	lg ⁴
7		Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴
8		Área de concreto [Ac]	413.50	pulg ²

Fuente: elaboración propia (2018)

El módulo de elasticidad del concreto se calcula de la siguiente manera:

Ilustración 213: Determinación módulo elasticidad concreto

	A	B	C	D	E	F	G
2		Sección de concreto					Datos Ingre
3		Esfuerzo de compresión [f'c]	5	ksi			Carga aplicada [Pr]
4		Módulo de elasticidad [Ec]	=57.1*RAIZ(C3*1000)	ksi			Momento aplicado eje "X"
5		Diámetro [D]	24	pulg			Momento aplicado eje "Y"
6		Inercia "X" [Icx]	14565.5	pulg ⁴			

Fuente: elaboración propia (2018)

La inercia en "X" y la inercia en "Y" se calculan de la siguiente forma:

Fórmula 29: Momento de inercia "X" sección de concreto circular

$$I_{Cx} = \frac{\pi}{4} [D/2]^4 - I_{sx} - I_{srx}$$

Ilustración 214: Ingreso momento de inercia "X" sección circular

Sección de concreto			Datos ingresados		
Esfuerzo de compresión [f'c]	5	ksi	Carga aplicada [Pr]	1000	kip
Módulo de elasticidad [Ec]	4037.6	ksi	Momento aplicado eje "X" [Mrx]	150	k pie
Diámetro [D]	24	pulg	Momento aplicado eje "Y" [Mry]	250	k pie
Inercia "X" [Icx]	=+PI()/4*	pulg ⁴	Cálculos efectuados		
Inercia "Y" [Icy]	15798.5	pulg ⁴			

Fuente: elaboración propia (2018)

Fórmula 30: Momento de inercia "Y" sección de concreto circular

$$I_{cy} = \frac{\pi}{4} [D/2]^4 - I_{sy} - I_{sry}$$

Ilustración 215: Función momento de inercia "X" sección circular

Sección de concreto			Datos ingresados		
Esfuerzo de compresión [f'c]	5	ksi	Carga aplicada [Pr]	1000	kip
Módulo de elasticidad [Ec]	4037.6	ksi	Momento aplicado eje "X" [Mrx]	150	k pie
Diámetro [D]	24	pulg	Momento aplicado eje "Y" [Mry]	250	k pie
Inercia "X" [Icx]	14565.5	pulg ⁴	Cálculos efectuados		
Inercia "Y" [Icy]	=+PI()/4*	pulg ⁴			

Fuente: elaboración propia (2018)

El área de concreto se calcula en base a la siguiente ecuación

Fórmula 31: Área sección de concreto circular

$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2 - A_s - A_{sr}$$

Ilustración 216: Ingreso área concreto sección circular

PAGO				=+PI()/4*POTENCIA(DiámetroD;2)-Asr-AreaPerfil					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	Sección de concreto			Datos Ingresados					
3	Esfuerzo de compresión [f'c]	5	ksi	Carga aplicada [Pr]		1000	kip		
4	Módulo de elasticidad [Ec]	4037.6	ksi	Momento aplicado eje "X" [Mrx]		150	k pie		
5	Diámetro [D]	24	pulg	Momento aplicado eje "Y" [Mry]		250	k pie		
6	Inercia "X" [Icx]	14565.5	pulg ⁴	Cálculos efectuados					
7	Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴	Longitud libre		10.0	pie		
8	Área de concreto [Ac]	=+PI()/4*	pulg ²						

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de refuerzo longitudinal:

En la hoja “Datos varillas de refuerzo” se ingresan las siguientes tablas de valores.

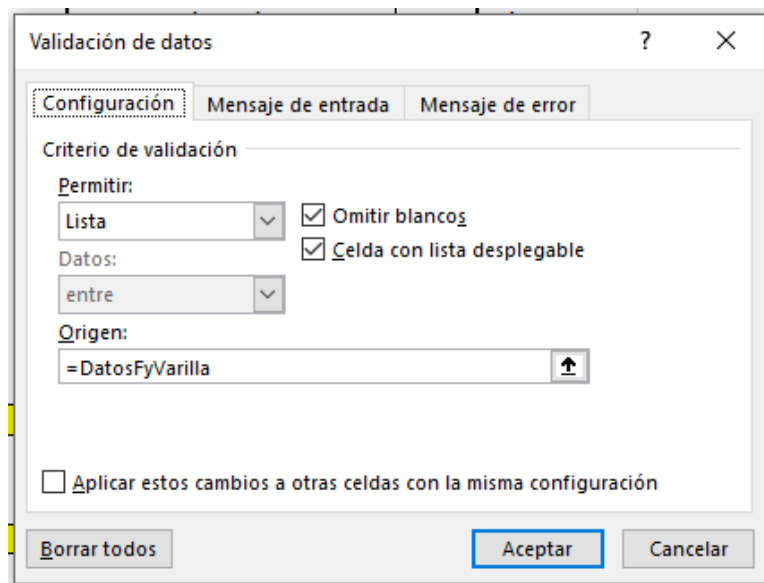
Ilustración 217: Datos varilla de refuerzo longitudinal sección circular

Esfuerzo de fluencia		Propiedades de las refuerzo longitudinal			Cantidad de varillas
		Varilla No.	Diámetro [pulg]	área [pulg ²]	
40	ksi				6
50	ksi	5	0.625	0.31	8
60	ksi	6	0.750	0.44	10
75	ksi	7	0.875	0.60	12
		8	1.000	0.79	
		9	1.128	1.00	
		10	1.270	1.27	
		11	1.410	1.56	

Fuente: elaboración propia (2018)

La primera tabla tendrá el nombre de “DatosFyVarilla”, la segunda tabla se llamará “DatosVarilla” y la tercera tabla se llamará “DatosCantVarillas”. En la parte de “Ingreso de datos” se inserta la lista desplegable con la validación de datos.

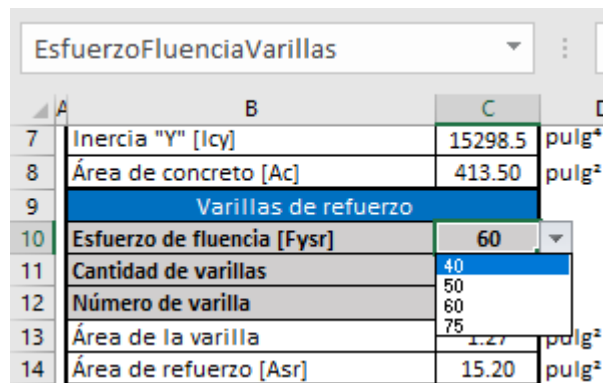
Ilustración 218: Validación de datos esfuerzo fluencia varillas



Fuente: elaboración propia (2018)

El resultado es el siguiente:

Ilustración 219: Lista desplegable esfuerzo fluencia varillas sección circular

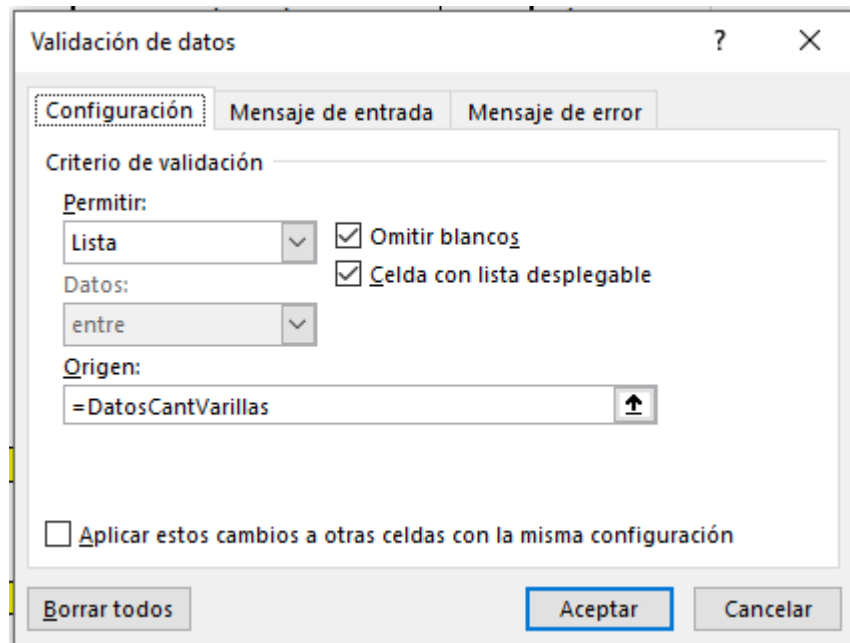


	A	B	C	
7		Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴
8		Área de concreto [Ac]	413.50	pulg ²
9		Varillas de refuerzo		
10		Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60	
11		Cantidad de varillas	40	
12		Número de varilla	50	
13		Área de la varilla	1.27	pulg ²
14		Área de refuerzo [Asr]	15.20	pulg ²

Fuente: elaboración propia (2018)

En el caso de la cantidad de varillas:

Ilustración 220: Validación de datos cantidad de varillas sección circular



Validación de datos

Configuración | Mensaje de entrada | Mensaje de error

Criterio de validación

Permitir: Lista

Omitir blancos

Datos: entre

Celda con lista desplegable

Origen: =DatosCantVarillas

Aplicar estos cambios a otras celdas con la misma configuración

Borrar todos | Aceptar | Cancelar

Fuente: elaboración propia (2018)

El resultado es el siguiente:

Ilustración 221: Lista desplegable cantidad de varillas de refuerzo sección circular

The image shows an Excel spreadsheet with a dropdown menu open for the cell 'Número de varilla' (row 12, column C). The dropdown list contains the following options: 5, 6, 7, 8, 9, 10, and 11. The value '10' is currently selected in the cell. The spreadsheet also shows other properties for a circular reinforcement section, such as 'Inercia "Y" [Icy]' (15298.5 pulg⁴), 'Área de concreto [Ac]' (413.50 pulg²), 'Esfuerzo de fluencia [Fysr]' (60 ksi), and 'Recubrimiento' (1.5 pulg).

	A	B	C	D
7		Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴
8		Área de concreto [Ac]	413.50	pulg ²
9		Varillas de refuerzo		
10		Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60	ksi
11		Cantidad de varillas	12	
12		Número de varilla	10	
13		Área de la varilla	5	g ²
14		Área de refuerzo [Asr]	7	g ²
15		Inercia "X" [Isrx]	8	g ⁴
16		Inercia "Y" [Isry]	9	g ⁴
17		Recubrimiento	1.5	pulg

Fuente: elaboración propia (2018)

En el caso del número de la varilla a utilizar

Ilustración 222: Validación de datos número de varillas sección circular

The image shows the 'Validación de datos' (Data Validation) dialog box in Excel. The 'Configuración' (Configuration) tab is active. The 'Criterio de validación' (Validation Criteria) section is set to 'Lista' (List). The 'Permitir' (Allow) dropdown is set to 'Lista'. The 'Datos' (Data) dropdown is set to 'entre' (between). The 'Origen' (Source) field contains the formula '=VarillasNum'. The 'Omitir blancos' (Ignore blank cells) and 'Celda con lista desplegable' (Cell with dropdown list) checkboxes are checked. The 'Aplicar estos cambios a otras celdas con la misma configuración' (Apply these changes to other cells with the same configuration) checkbox is unchecked. The dialog box has buttons for 'Borrar todos' (Clear all), 'Aceptar' (OK), and 'Cancelar' (Cancel).

Fuente: elaboración propia (2018)

El resultado es el siguiente:

Ilustración 223: Lista desplegable número de varillas sección circular

	A	B	C	D
7		Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴
8		Área de concreto [Ac]	413.50	pulg ²
9		Varillas de refuerzo		
10		Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60	ksi
11		Cantidad de varillas	12	
12		Número de varilla	10	
13		Área de la varilla		pulg ²
14		Área de refuerzo [Asr]	15.20	pulg ²
15		Inercia "X" [Isrx]	839.50	pulg ⁴

Fuente: elaboración propia (2018)

La celda de área de la varilla se rellena automáticamente con la siguiente función:

Ilustración 224: Función "=BUSCARV" área de varilla sección circular

	A	B	C	D	E	F
7		Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴		
8		Área de concreto [Ac]	413.50	pulg ²		
9		Varillas de refuerzo				
10		Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60	ksi		
11		Cantidad de varillas	12			
12		Número de varilla	10			
13		Área de la varilla	=+BUSCARV	pulg ²		
14		Área de refuerzo [Asr]	15.20	pulg ²		

Cálculos efectuados		
Eje fuerte	Longitud libre	10.0 pie
	Factor de longitud efectiva	1.00
	Coefficiente rigidez efectiva	0.2
	Rigidez efectiva	5.1E+07 kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	34784.5 kip
	Longitud libre	10.0 pie
	Factor de longitud efectiva	1.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El área de refuerzo es igual al producto del número de varillas con el área de cada varilla.

La siguiente ilustración representa la cantidad de varillas por cada fila. En la sección circular, en ambos ejes, tiene un total de siete filas. La tabla es la siguiente y se llamará "VarillasPorFilaEF". Esta tabla se llena a partir de las posibles combinaciones.

Ilustración 225: Cantidad de varillas por fila eje fuerte

Eje fuerte	Cantidad de varillas por fila							
	Cantidad de varillas	Número de fila						
		1	2	3	4	5	6	7
6	2	2	2					
8	1	2	2	2	1			
10	2	2	2	2	2			
12	1	2	2	2	2	2	1	

Fuente: elaboración propia (2018)

A continuación, se agregará una tabla para determinar el ángulo medido desde la horizontal para cada una de las filas. En base a la cantidad de varillas, se dividirá el círculo unitario en esa cantidad. En base a esa separación radial, se utilizarán factores para determinar el ángulo medido desde la horizontal.

Ilustración 226: Determinación del ángulo entre el eje polar y la fila de varillas [eje fuerte]

Eje fuerte		ángulo medido desde la horizontal [θ]						
Cantidad de varillas	Distribución de varillas	Número de fila						
		1	2	3	4	5	6	7
6	1.047	1.05	0.00	-1.05				
8	0.785	1.57	0.79	0.00	-0.79	-1.57		
10	0.628	1.26	0.63	0.00	-0.63	-1.26		
12	0.524	1.57	1.05	0.52	0.00	-0.52	-1.05	-1.57

Fuente: elaboración propia (2018)

Por ejemplo:

Ilustración 227: Ejemplo determinación de ángulo medido entre el eje polar y la fila

Eje fuerte		ángulo medido desde la horizontal [θ]						
Cantidad de varillas	Distribución de varillas	Número de fila						
		1	2	3	4	5	6	7
6	1.047	1.05	0.00	-1.05				
8	0.785	1.57	0.79	0.00	-0.79	-1.57		
10	0.628	1.26	0.63	0.00	-0.63	-1.26		
12	0.524	1.57	9*2	0.52	0.00	-0.52	-1.05	-1.57

Fuente: elaboración propia (2018)

La medida perpendicular establecida desde la fibra más alejada a compresión se determina en base a la tabla de “ángulo medido desde la horizontal” para cada cantidad de varillas y cada fila. (Ver ilustración 31).

Se coloca una tabla de igual distribución y se ingresa la siguiente fórmula:

Fórmula 32: Distancia de la fila de varillas a la máxima fibra a compresión eje fuerte

$$d_n = D/2 - [D/2 - rec] * \sin \theta$$

La siguiente tabla tiene el nombre de “DistanciaDnEF”

Ilustración 228: Determinación de la distancia d_n eje fuerte

Eje fuerte		Distancia perpendicular de la fibra máxima en compresion a la varilla. [dn] [pulg]						
Cantidad de varillas	Distribución de varillas	Número de fila						
		1	2	3	4	5	6	7
6	1.047	2.91	12.00	21.09				
8	0.785	1.50	4.58	12.00	19.42	22.50		
10	0.628	2.01	=+Diam	12.00	18.17	21.99		
12	0.524	1.50	2.91	6.75	12.00	17.25	21.09	22.50

Fuente: elaboración propia (2018)

Las funciones ingresadas en las tablas sirven para las condiciones de valor de C. En el caso que la varilla se encuentre a compresión o a tensión en función del valor de C.

Adicionalmente a estas tablas, se necesita una tabla que indique el brazo para las figuras a compresión y tensión medidos desde el eje centroidal. Esta distancia se determina a partir del ángulo medido desde la horizontal. La distancia se mide en función del diámetro de la sección y el recubrimiento de las varillas, por ejemplo, los siguientes valores determinados:

La siguiente tabla tiene el nombre de "BrazoVarillasEF". (Ver ilustración 43).

Ilustración 229: Determinación brazo de la fila de varillas

Eje fuerte		ángulo medido desde la horizontal [θ]						
Cantidad de varillas	Distribución de varillas	Número de fila						
		1	2	3	4	5	6	7
6	1.047	1.05	0.00	-1.05				
8	0.785	1.57	0.79	0.00	-0.79	-1.57		
10	0.628	1.26	0.63	0.00	-0.63	-1.26		
12	0.524	1.57	1.05	0.52	0.00	-0.52	-1.05	-1.57

Eje fuerte		Distancia perpendicular de la fibra máxima en compresión a la varilla. [dn] [pulg]						
Cantidad de varillas	Número de fila	Número de fila						
		1	2	3	4	5	6	7
6		2.91	12.00	21.09				
8		1.50	4.58	12.00	19.42	22.50		
10		2.01	5.83	12.00	18.17	21.99		
12		1.50	2.91	6.75	12.00	17.25	21.09	22.50

Eje fuerte		Distancia perpendicular de la varilla al centroide de la sección [Brazo] [pulg]						
Cantidad de varillas	Número de filas	Número de filas						
		1	2	3	4	5	6	7
6		9.1	0.0	-9.1				
8		10.5	7.4	0.0	=+(Diam	-10.5		
10		10.0	6.2	0.0	-6.2	-10.0		
12		10.5	9.1	5.3	0.0	-5.3	-9.1	-10.5

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso del eje débil, se utilizarán las mismas funciones. Lo único que cambia es el parámetro de cantidad de varillas por filas. Se seguirán utilizando siete filas.

La siguiente tabla tiene el nombre de "VarillasPorFilaED".

Ilustración 230: Cantidad de varillas por fila eje débil

Eje débil	Cantidad de varillas por fila						
	Número de fila						
	1	2	3	4	5	6	7
6	1	2	2	1			
8	1	2	2	2	1		
10	1	2	2	2	2	1	
12	1	2	2	2	2	2	1

Fuente: elaboración propia (2018)

La tabla de ángulo medido desde la horizontal se debe modificar debido a la modificación de número de filas y varillas por fila. En la cantidad de varillas de 6 y 10 se utilizará un factor que aumenta en la cantidad de 0.50. La tabla de ángulo medido desde la horizontal queda de la siguiente manera:

Ilustración 231: Determinación ángulo medido entre el eje polar y la fila de varillas

Eje débil		ángulo medido desde la horizontal [θ]							
Cantidad de varillas	Distribución de varillas	Número de fila							
		1	2	3	4	5	6	7	
6	1.047	1.57	0.52	-0.52	-1.57				
8	0.785	1.57	0.79	0.00	-0.79	-1.57			
10	0.628	1.57	0.94	0.31	-0.31	-0.94	-1.57		
12	0.524	1.57	1.05	0.52	0.00	-0.52	-1.05	-1.57	

Fuente: elaboración propia (2018)

La tabla de distancia (d_n) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

Fórmula 33: Distancia de la fila de varillas a la máxima fibra a compresión eje débil

$$d_n = D/2 - [D/2 - rec] * \sin \theta$$

El valor del ángulo θ se obtiene de la tabla anterior.

La siguiente tabla tiene el nombre de "DistanciaDnED":

Ilustración 232: Determinación de la distancia d_n para cada fila

Eje débil	Distancia perpendicular de la fibra máxima en compresión a la varilla. [dn] [pulg]						
Cantidad de varillas	Número de fila						
	1	2	3	4	5	6	7
6	1.50	6.75	17.25	22.50			
8	1.50	4.58	12.00	19.42	22.50		
10	1.50	3.51	8.76	15.24	20.49	22.50	
12	1.50	2.91	6.75	12.00	17.25	21.09	22.50

Fuente: elaboración propia (2018)

Esta tabla se utilizará para las condiciones en base al valor de C.

La distancia medida desde el eje centroidal de la figura a la posición de las varillas se calcula en base a la tabla: “Ángulo medido desde la horizontal θ ”. Estas funciones se encuentran en términos del diámetro y el recubrimiento.

La siguiente tabla tiene el nombre de “BrazoVarillasED”:

Ilustración 233: Determinación brazo de la fila de varillas

X ✓ fx $=\{(\text{DiámetroD}/2-\text{Recubrimiento})*\text{SENO}(\text{B}17)\}$

Eje débil		ángulo medido desde la horizontal [θ]							Eje débil		Distancia perpendicular de la fibra máxima en compresión a la varilla. [dn] [pulg]							Eje débil		Distancia perpendicular de la varilla al centroide de la sección [Brazo]							
Cantidad de varillas	Distribución de varillas	Número de fila							Cantidad de varillas	Número de fila							Cantidad de varillas	Número de filas									
		1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7			
6	1.047	1.57	0.52	-0.52	-1.57			6	1.50	6.75	17.25	22.50					6	10.5	5.3	-5.3	-10.5						
8	0.785	1.57	0.79	0.00	-0.79	-1.57		8	1.50	4.58	12.00	19.42	22.50				8	10.5	7.4	0.0	=-{Di	-10.5					
10	0.628	1.57	0.94	0.31	-0.31	-0.94	-1.57	10	1.50	3.51	8.76	15.24	20.49	22.50			10	10.5	8.5	3.2	-3.2	-8.5	-10.5				
12	0.524	1.57	1.05	0.52	0.00	-0.52	-1.05	-1.57	12	1.50	2.91	6.75	12.00	17.25	21.09	22.50	12	10.5	9.1	5.3	0.0	-5.3	-9.1	-10.5			

Fuente: elaboración propia (2018)

La inercia de las varillas de refuerzo longitudinal se ingresa a partir de la fórmula 18 y fórmula 19. El procedimiento se establece en Microsoft Excel de la siguiente manera:

Ilustración 234: Momento de inercia varillas de refuerzo sección circular eje fuerte

```

=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;2;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;2;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;
VarillasPorFilaEF;3;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;3;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;4;FALSO)*AsVarilla*
POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;4;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;5;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;
BrazoVarillasEF;5;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;6;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;6;FALSO);2)+BUSCARV(
CantVarillas;VarillasPorFilaEF;7;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;7;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;8;FALSO)
*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;8;FALSO);2)+PI()/64*POTENCIA(BUSCARV(NumVarillas;DatosVarilla;2;FALSO);2)*CantVarillas

```

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 235: Momento de inercia varillas de refuerzo sección circular eje débil

```

=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;2;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;
VarillasPorFilaED;3;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;3;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;4;FALSO)*AsVarilla*
POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;4;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;5;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;
BrazoVarillasED;5;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;6;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;6;FALSO);2)+
BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;7;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;7;FALSO);2)+BUSCARV(CantVarillas;
VarillasPorFilaED;8;FALSO)*AsVarilla*POTENCIA(BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;8;FALSO);2)+PI()/64*POTENCIA(BUSCARV(NumVarillas;DatosVarilla;2;
FALSO);2)*CantVarillas

```

Fuente: elaboración propia (2018)

El porcentaje de área se determina dividiendo el área del refuerzo entre el área gruesa de la sección. Es importante cumplir las condiciones de valor máximo y mínimo de refuerzo.

Ilustración 236: Porcentaje de área varillas de refuerzo longitudinal sección circular

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
13	Área de la varilla		1.27	pulg ²			Longitud libre
14	Área de refuerzo [Asr]		15.20	pulg ²			Factor de longitud efectiva
15	Inercia "X" [Isrx]		839.50	pulg ⁴			Coeficiente rigidez efectiva
16	Inercia "Y" [Isry]		839.50	pulg ⁴			Rigidez efectiva
17	Recubrimiento		1.5	pulg			Carga crítica de Euler
18	Porcentaje del área gruesa		=+Asr/(PI()	Cumple			Carga axial, Pno

The formula bar shows: $=+Asr/(PI()/4*POTENCIA(Diametro;2))$

Fuente: elaboración propia (2018)

La condición de porcentaje de área se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 237: Condición porcentaje de área mínima varillas sección circular

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
3	Área de la varilla		1.27	pulg ²			Longitud libre
4	Área de refuerzo [Asr]		15.20	pulg ²			Factor de longitud efectiva
5	Inercia "X" [Isrx]		839.50	pulg ⁴			Coeficiente rigidez efectiva
6	Inercia "Y" [Isry]		839.50	pulg ⁴			Rigidez efectiva
7	Recubrimiento		1.5	pulg			Carga crítica de Euler
8	Porcentaje del área gruesa		3.36%	=+SI(C18<0.4			Carga axial, Pno

The formula bar shows: $=+SI(C18<0.4;"No cumple";"Cumple")$

Fuente: elaboración propia (2018)

Perfil W de acero:

El módulo de elasticidad del perfil W corresponde a 29 000 ksi. Este valor es ingresado por el usuario. El esfuerzo de fluencia del acero A992 corresponde a 50 ksi.

Ilustración 238: Módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia mínimo del perfil de acero

Perfil de acero	
Módulo de elasticidad [Es]	29000 ksi
Peralte	W_14
Perfil	W14X82 Cumple
Esfuerzo de fluencia [Fy]	50 ksi

Fuente: elaboración propia (2018)

De la base de datos del perfil, propiedades de altura, base, espesores e inercias, se utilizan las mismas listas desplegables y llenado automático de celdas. Primero se selecciona el peralte del perfil y después el perfil que se desea utilizar.

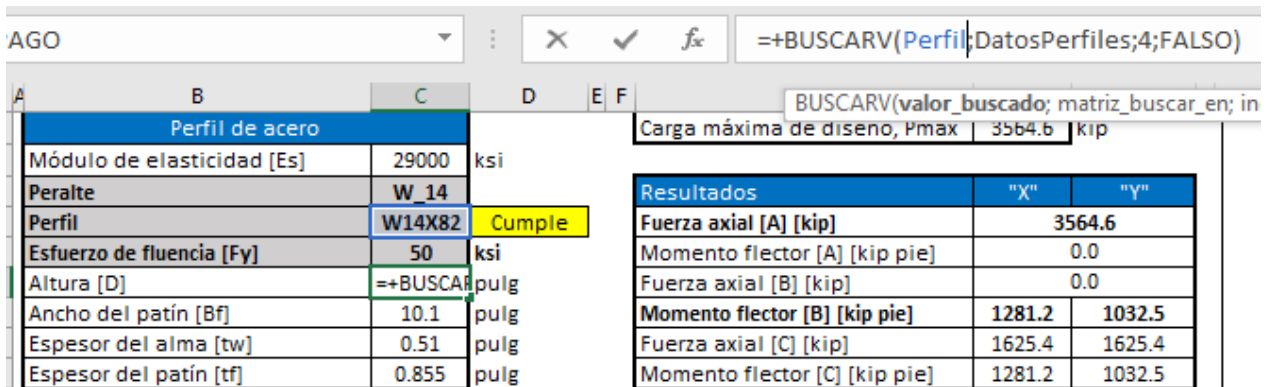
Ilustración 239: Lista desplegable peralte y perfil w sección circular

Perfil de acero	
Módulo de elasticidad [Es]	29000 ksi
Peralte	W_14
Perfil	W14X82 Cumple
Esfuerzo de fluencia [Fy]	50 ksi
Altura [D]	14.3 lg
Ancho del patín [Bf]	14.3 lg
Espesor del alma [tw]	0.415 lg
Espesor del patín [tf]	0.855 pulg

Fuente: elaboración propia (2018)

Las propiedades de altura, ancho del patín, espesor del alma, espesor del patín e inercia en ambos ejes se rellenan automáticamente cuando se selecciona un perfil. La sintaxis de la función es la siguiente:

Ilustración 240: Función "=BUSCARV" propiedades perfil W sección circular

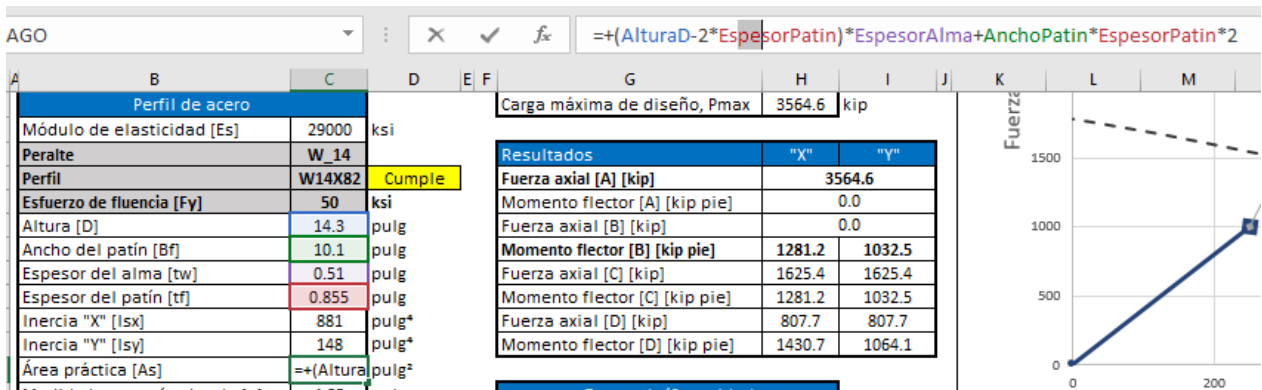


Fuente: elaboración propia (2018)

Este procedimiento se repite para todas las propiedades. (Ver tabla 7).

El área se calcula en base a las dimensiones de espesor patín y alma, ancho patín y peralte total. La función se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 241: Cálculo área práctica perfil W sección circular



Fuente: elaboración propia (2018)

Las distancias “Medida desde la base del patín al borde, a”, “Medida desde la altura del patín al borde, hn” y “Medida desde la altura del alma al borde, xn” se calculan en base a las siguientes fórmulas. La representación gráfica de cada medida se encuentra en la ilustración 12.

Medida desde la base del patín al borde, a:

Ilustración 242: Determinación medida "a" sección circular

PAGO				=+(DiámetroD-AlturaD)/2				
A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	Inercia "X" [Isx]	881	pulg*			Fuerza axial [D] [kip]	807.7	807.7
9	Inercia "Y" [Isy]	148	pulg*			Momento flector [D] [kip pie]	1430.7	1064.1
10	Área práctica [As]	23.69	pulg²					
11	Medida base patín - borde [a]	=+(DiámetroD-AlturaD)/2	pulg			Demanda/Capacidad		
12	Medida altura patín - borde [hn]	6.95	pulg			Último	0.40	Cumple
13	Medida altura alma - borde [xn]	11.75	pulg			Admisible	0.67	Cumple
14	Porcentaje del área gruesa	5.2%	Cumple					

Fuente: elaboración propia (2018)

Medida desde la altura del patín al borde, hn:

Ilustración 243: Determinación medida "hn" sección circular

PAGO				=+(DiámetroD-AnchoPatín)/2				
A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	Inercia "X" [Isx]	881	pulg*			Fuerza axial [D] [kip]	807.7	807.7
9	Inercia "Y" [Isy]	148	pulg*			Momento flector [D] [kip pie]	1430.7	1064.1
10	Área práctica [As]	23.69	pulg²					
11	Medida base patín - borde [a]	4.85	pulg			Demanda/Capacidad		
12	Medida altura patín - borde [hn]	=+(DiámetroD-AnchoPatín)/2	pulg			Último	0.40	Cumple
13	Medida altura alma - borde [xn]	11.75	pulg			Admisible	0.67	Cumple
14	Porcentaje del área gruesa	5.2%	Cumple					

Fuente: elaboración propia (2018)

Medida desde la altura del alma al borde, xn:

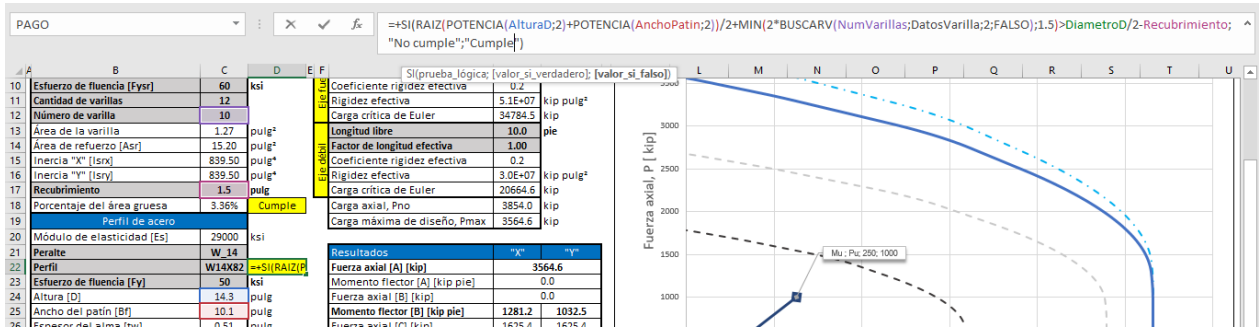
Ilustración 244: Determinación medida "xn" sección circular

PAGO				=+(DiámetroD-EspesorAlma)/2				
A	B	C	D	E	F	G	H	I
11	Medida base patín - borde [a]	4.85	pulg			Demanda/Capacidad		
12	Medida altura patín - borde [hn]	6.95	pulg			Último	0.40	Cumple
13	Medida altura alma - borde [xn]	=+(DiámetroD-EspesorAlma)/2	pulg			Admisible	0.67	Cumple
14	Porcentaje del área gruesa	5.2%	Cumple					

Fuente: elaboración propia (2018)

En las limitaciones de código se establece una separación mínima entre el perfil y el armado. Para determinar si se cumple la condición, se determina el diámetro del círculo en el que está inscrito el perfil W. Al diámetro se le debe sumar una distancia de un diámetro y medio de la varilla, pero no menos que 1.50 pulg. La función se ingresa de la siguiente manera:

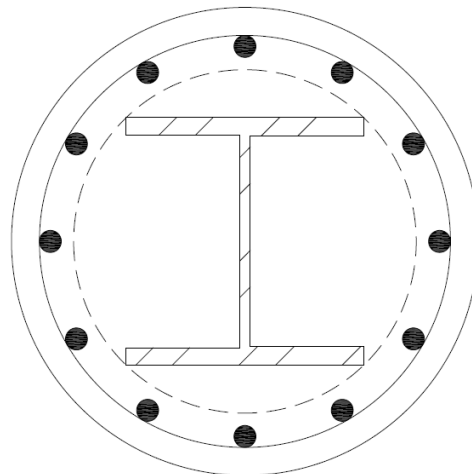
Ilustración 245: Verificación de distancia entre perfil W y refuerzo longitudinal



Fuente: elaboración propia (2018)

En la siguiente imagen se representa el círculo en el que está inscrito el perfil W. La diferencia entre el radio de la sección menos el recubrimiento y el círculo en el que está inscrito el perfil W debe cumplir con la separación mínima.

Ilustración 246: Perfil W inscrito en círculo para determinar separaciones mínimas



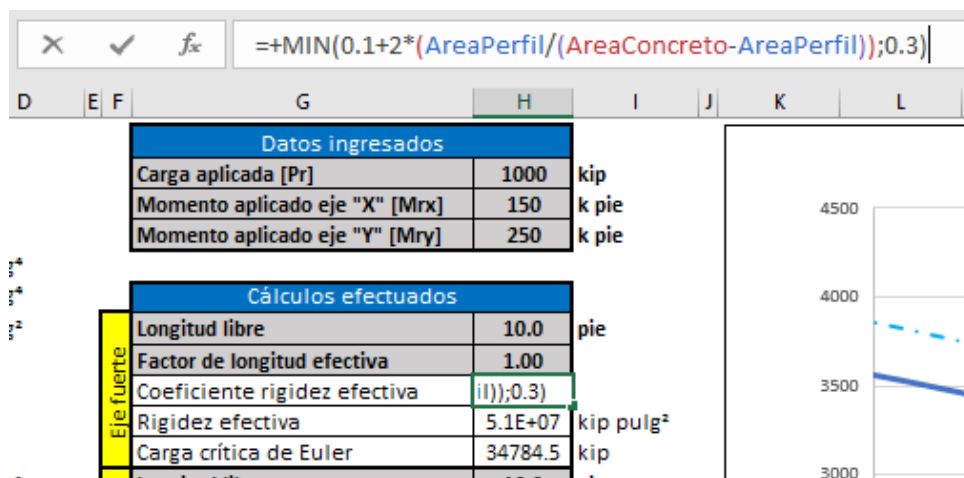
Fuente: elaboración propia (2018)

Carga máxima:

El usuario debe ingresar los valores de factor de longitud efectiva, K, y la longitud de la columna libre entre apoyos para cada eje.

Para determinar la carga axial máxima considerando los efectos de esbeltez es necesario obtener el coeficiente de rigidez efectiva. Este valor es el mismo para el eje fuerte y débil. (Ver fórmula 3).

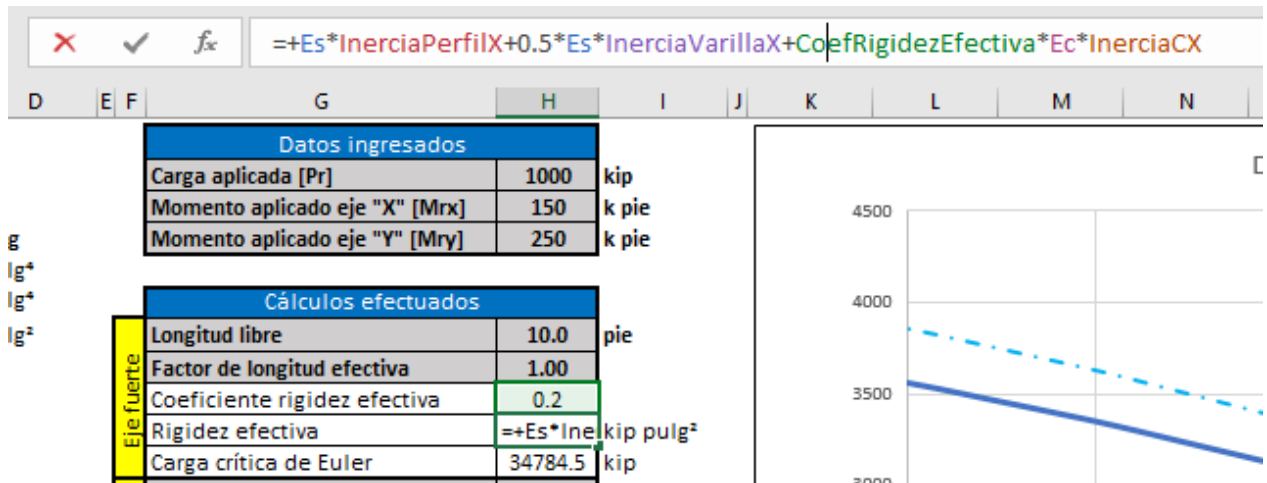
Ilustración 247: Determinación de coeficiente de rigidez efectiva sección circular



Fuente: elaboración propia (2018)

La rigidez efectiva para el eje fuerte es el siguiente (ver fórmula 2):

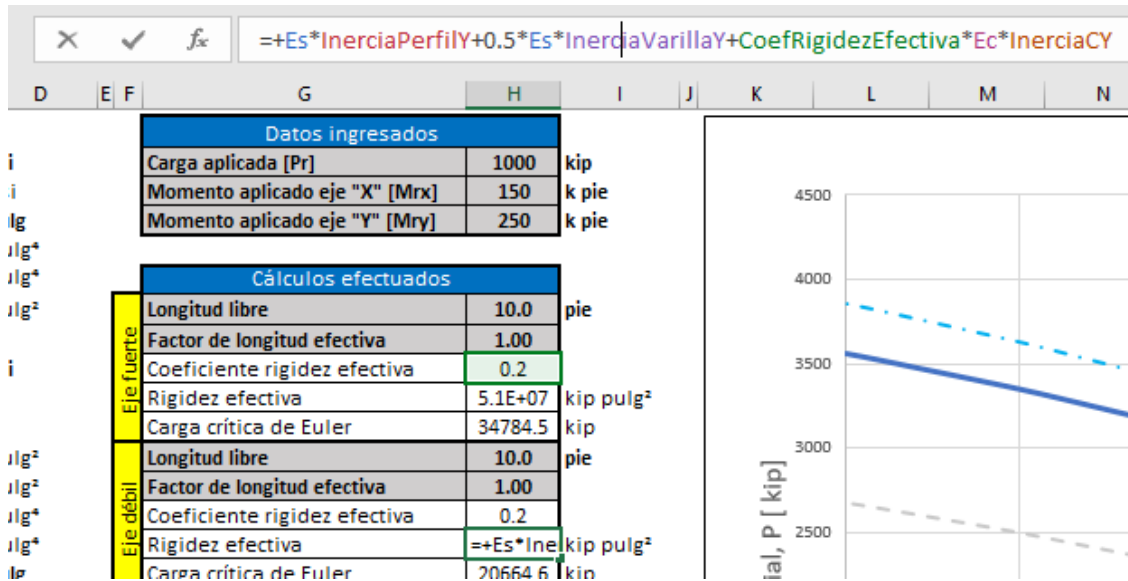
Ilustración 248: Determinación rigidez efectiva sección circular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil se ingresa la siguiente fórmula:

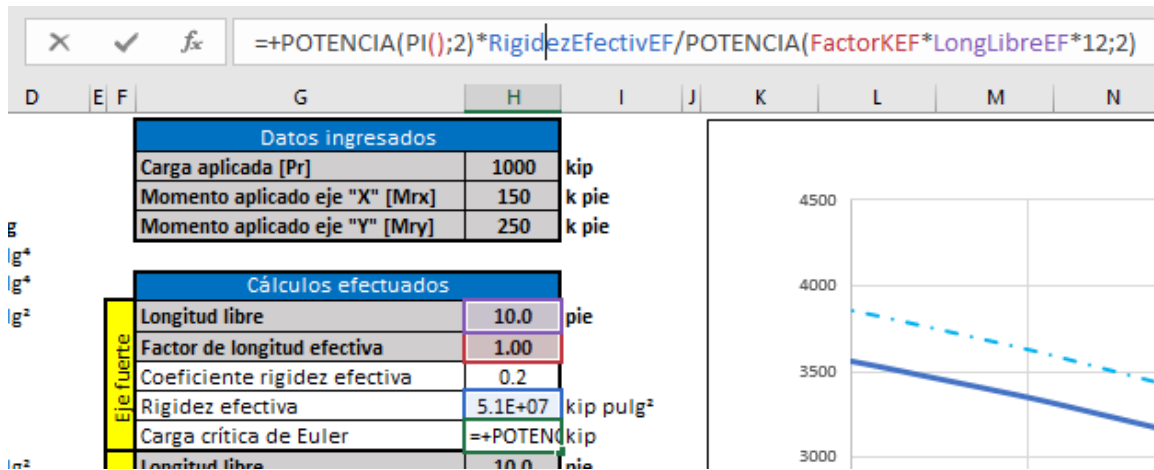
Ilustración 249: Determinación rigidez efectiva sección circular eje débil



Fuente: elaboración propia (2018)

La carga crítica de Euler para el eje fuerte se ingresa de la siguiente manera (ver fórmula 1):

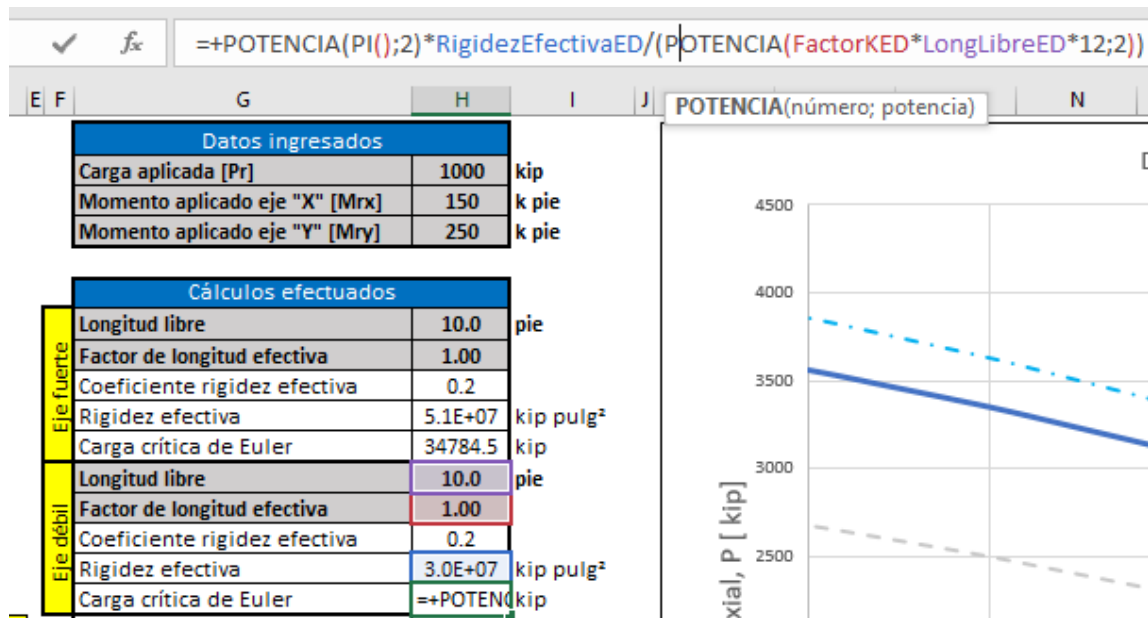
Ilustración 250: Determinación carga crítica de Euler circular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil.

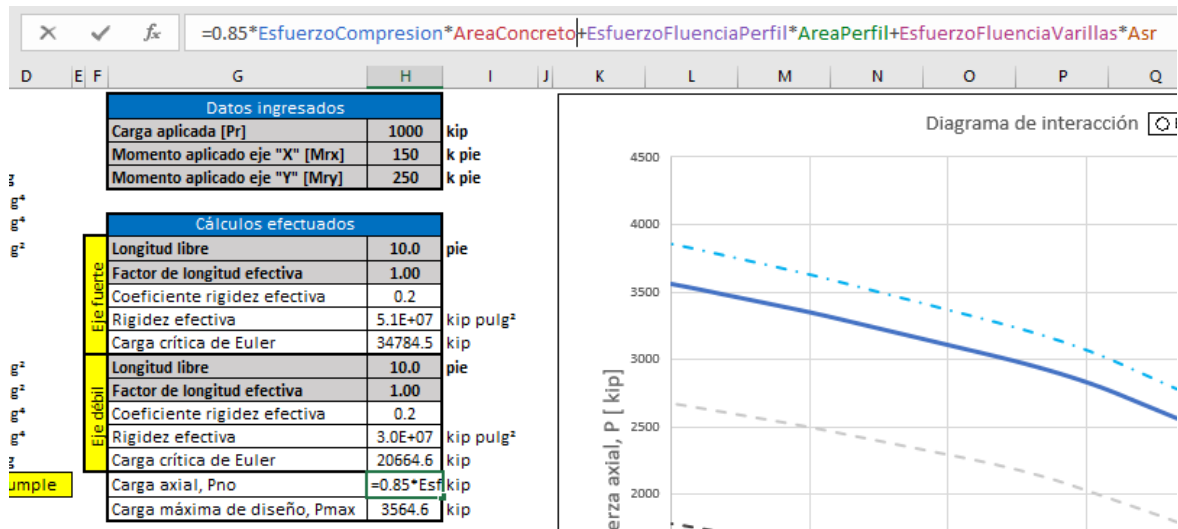
Ilustración 251: Determinación carga crítica de Euler sección circular eje débil



Fuente: elaboración propia (2018)

Se debe determinar la carga axial si no se consideraran los efectos de esbeltez.

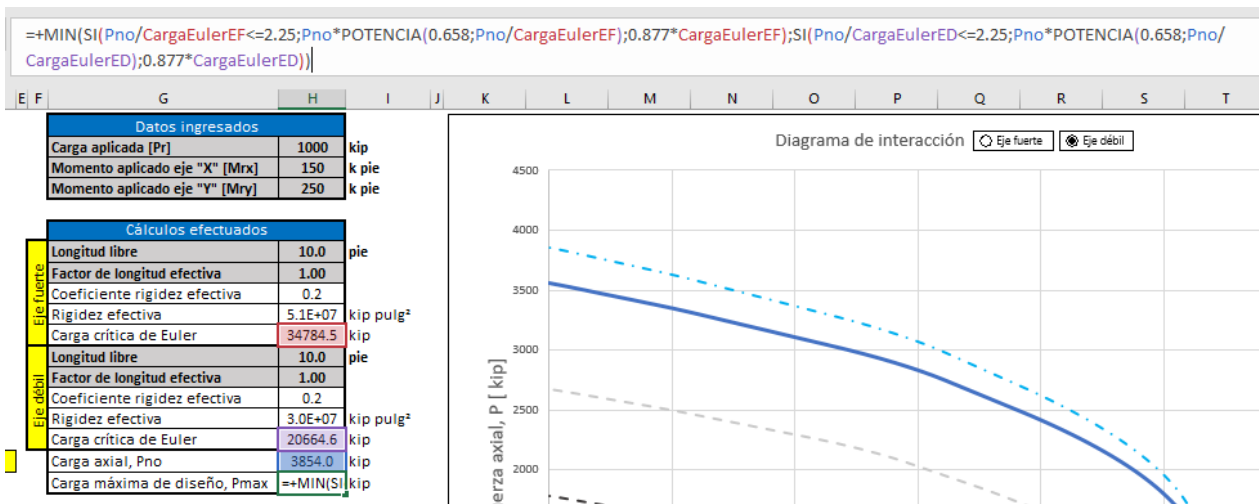
Ilustración 252: Fuerza axial sin considerar efectos de esbeltez sección circular



Fuente: elaboración propia (2018)

La carga de diseño máximo se obtiene a partir de la fórmula 5 y fórmula 6.

Ilustración 253: Determinación fuerza axial con efectos de esbeltez sección circular



Fuente: elaboración propia (2018)

Cálculos eje fuerte:

Los cálculos se dividirán en sección de concreto y acero, varillas de refuerzo longitudinal y sección compuesta. En el primer caso se dividirá el concreto en tres figuras y el espacio para las varillas de refuerzo longitudinal. La figura No. 1 corresponde a la sección circular. En la figura No. 1 se incluirán los límites de integración (θ_1 y θ_2), el primer momento de área, el área y el centroide. El centroide es el brazo de la sección circular de concreto a compresión. Las figuras No. 2 y No. 3 corresponden al espacio para el perfil de acero.

La hoja de “Cálculos eje fuerte” tiene el siguiente esquema y distribución.

Sección de concreto:

Ilustración 254: Formato hoja de cálculo concreto sección circular eje fuerte 1

Sección de concreto													
Compresión													
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 3							
Límites integración			Primer momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
Valor [c]	Theta 1 [θ_1]	Theta 2 [θ_2]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0	1.57	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 255: Formato hoja de cálculo concreto sección circular eje fuerte 2

Sección de concreto															
Compresión															
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio varillas fila No. 4			Espacio varillas fila No. 5			
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 256: Formato hoja de cálculo concreto sección circular eje fuerte 3

Sección de concreto													
Compresión													
Espacio varillas fila No. 4			Espacio varillas fila No. 5			Espacio varillas fila No. 6			Espacio varillas fila No. 7			Varillas de refuerzo	
Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Cantidad de varillas			Fuerza	Momento
Momento			Momento			Momento			Momento			axial	flector
[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Sección de acero:

Ilustración 257: Formato hoja de cálculo acero sección circular eje fuerte

Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de refuerzo longitudinal:

Ilustración 258: Formato hoja de cálculo varillas sección circular eje fuerte 1

Varillas de refuerzo														
Fila No. 1	Cantidad de varillas	1			Fila No. 2	Cantidad de varillas	2			Fila No. 3	Cantidad de varillas	2		
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 259: Formato hoja de cálculo varillas sección circular eje fuerte 2

Varillas de refuerzo														
Fila No. 4	Cantidad de varillas	2			Fila No. 5	Cantidad de varillas	2			Fila No. 6	Cantidad de varillas	2		
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 260: Formato hoja de cálculo varillas sección circular eje fuerte 3

Varillas de refuerzo						
Fila No. 7	Cantidad de varillas	1			Fuerza axial	Momento flector
Compresión		Tensión		Momento		
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total		
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]

Fuente: elaboración propia (2018)

Sección compuesta:

Ilustración 261: Formato hoja de cálculo sección circular compuesta eje fuerte

Sección compuesta							
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]

Fuente: elaboración propia (2018)

Sección de concreto:

En la parte de “Cálculo de área y centroide de una sección circular” fórmula 22 y fórmula 23 se encuentran las funciones que representan la sección circular y el eje del valor de C. En las primeras dos columnas se ingresan los valores de theta 1 y theta 2. Estos valores se encuentran mediante una igualación y resolver las incógnitas.

Ilustración 262: Determinación ángulo theta 1 sección circular concreto eje fuerte

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3		Fig. 1						
4								
5		Límites integración		Primer momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento
6	Valor [c]	Theta 1 [θ ₁]	Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
7	0	=+ASENO((D	1.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El valor de theta 2 se encuentra restando el valor de Pi – theta 1.

Posteriormente se ingresa la función de primer momento de área de la fórmula 25.

Ilustración 263: Determinación primer momento de área sección circular concreto eje fuerte

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2																		
3		Fig. 1																
4		Fig. 1						Fig. 2			Fig.3			Espacio varillas fila No. 1		Espa		
5		Límites integración		Primer momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
6	Valor [c]	Theta 1 [θ ₁]	Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
7	0	1.57	1.57	=1/3*((POTENCIA(D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Se necesita ingresar la condición en que el valor de C corresponda al eje centroidal de la figura. En ese caso los valores de theta 1 y theta 2 son 0 y pi respectivamente. Cuando theta tiene los valores antes mencionados la función de cotangente es indefinida.

El área de la sección se ingresa a partir de la fórmula 26. Se debe tener las mismas condiciones cuando el valor de C sea igual al radio de la sección circular.

Ilustración 264: Función área Fig. 1 en función de C sección circular concreto eje fuerte

Fig. 1			Fig. 2			Fig.3			Espacio varillas fila No. 1					
Valores	Límites integración	Primer momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Cantidad de varillas	Moment
Valor [c]	Theta 1 [θ ₁]	Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]
0	1.57	1.57	0.00	=1/2*(POTENCIA(DiámetroD/2;2)*(C7-B7)+POTENCIA(DiámetroD/2-A7;2)*(SI(DiámetroD/2=A7;0;COT(C7))-SI(DiámetroD/2=A7;0;COT(B7))))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión es igual al producto del área con el esfuerzo a compresión (0.85 f'c). (Ver diagrama de flujo 53).

Ilustración 265: Función compresión Fig. 1 sección circular concreto eje fuerte

Valores	Límites integración	Primer momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento
Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
1.57	0.00	0.00	=0.85*EsfuerzoCompresion*E7	0.00	0.00	0.00

Fig. 1

Valores	Límites integración	Primer momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento
Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
1.57	0.00	0.00	=0.85*EsfuerzoCompresion*E7	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

De acuerdo con la fórmula 28, se determina el centroide de la parte de sección circular que es al mismo tiempo brazo de la parte de sección circular. Se ingresa en base al diagrama de flujo 54.

Ilustración 266: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular concreto eje fuerte

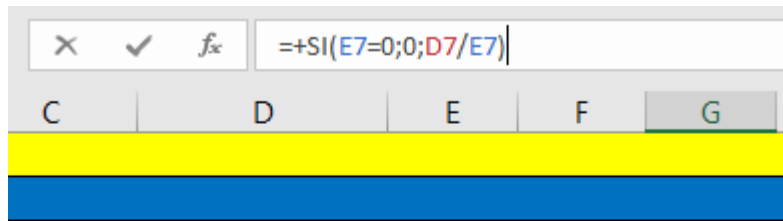


Fig. 1

ración	Primer momento	Área	Fuerza	Brazo
eta 2 [θ_2]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]
1.57	0.00	0.00	0.00	D7/E7

Fuente: elaboración propia (2018)

En base al diagrama de flujo 55, se ingresará la primera figura No. 2 a compresión que se restará.

Ilustración 267: Función compresión Fig. 1 sección circular concreto eje fuerte

Fig. 1				Fig. 2			Fig. 3			Espacio varillas fila No. 1		Es		
momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura se ingresa en base al diagrama de flujo 56:

Ilustración 268: Ingreso brazo compresión Fig. 2 sección circular concreto eje fuerte

$$=+SI(A7<MedidaA;0;SI(A7<(MedidaA+AlturaD);ABS(DiametroD-A7-MedidaA)/2;0))$$

D	E	F	G	H	I	J	K
Fig. 1				Fig. 2			
momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Con la referencia del diagrama de flujo 57, se ingresará el valor de la figura No. 3 de concreto a compresión.

Ilustración 269: Función compresión Fig. 3 sección circular concreto eje fuerte

$$=+SI(A7<(MedidaA+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaD+MedidaA-EspesorPatin);0.85*EsfuerzoCompresion*(A7-MedidaA-EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma);0.85*EsfuerzoCompresion*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma)))$$

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Fig. 1				Fig. 2				Fig.3			Espacio varillas fila No. 1		Espacio var		
momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Cantidad de varillas	1	Cantidad de va		
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Bra
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00	9.0

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura a compresión se ingresa a partir del diagrama de flujo 58:

Ilustración 270: Función brazo compresión Fig. 3 sección circular concreto eje fuerte

Excel formula bar: `=+SI(A7<(MedidaA+EspesorPatin);0;SI(A7<(AlturaD+MedidaA-EspesorPatin);ABS(DiametroD-A7-MedidaA-EspesorPatin)/2;0))`

Fig. 1				Fig. 2			Fig. 3			Espacio va		
momento	Área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Br
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[p
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	10

Fuente: elaboración propia (2018)

Espacio para las varillas de refuerzo longitudinal:

Se utilizará la función “BUSCARV” para que la respectiva celda muestre la cantidad de varillas que hay por fila en función de la cantidad de varillas en la sección global que seleccione el usuario.

La función para la cantidad de varillas por fila se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 271: Cantidad espacio varillas por fila sección circular eje fuerte

Excel formula bar: `=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaEF;2;FALSO)`

Excel formula bar: `BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_colu`

Espacio varillas fila No. 1			Espacio var		
Cantidad de varillas	=+BUSCARV	Cantidad de va			
ento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Bra:

Fuente: elaboración propia (2018)

Este procedimiento se repite para las siete filas. Este procedimiento se realiza en base al diagrama de flujo 59. El valor de indicador de columna es el que cambia en base a la fila que se esté hablando.

La fuerza axial a compresión de las varillas se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 272: Ingreso compresión espacio varillas sección circular eje fuerte

=+SI(A7<(BUSCARV(CantVarillas;DistanciaDnEF;2;FALSO));0;0.85*EsfuerzoCompresion*VarillasFila1ConcretoEF*AsVarilla)

SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso]) S T U V W X

Sección de concreto											
Compresión											
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Espacio v		
Cantidad de varillas			1			Cantidad de varillas			2		
ento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Bi
lg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[p
0	=+SI(A7	10.50	0.00	0.00	9.09	0.00	0.00	5.25	0.00	0.00	C

Fuente: elaboración propia (2018)

El procedimiento de la fuerza axial se ingresa de la siguiente manera para todas las siete figuras. El brazo de los espacios de las figuras se ingresa de la siguiente manera:

Fila No. 1:

Ilustración 273: Función brazo espacio varillas por fila sección circular eje fuerte

=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;2;FALSO)

BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_columna:

Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas		
Cantidad de varillas			1		
ento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
lg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0	0.00	=+BUSCARV(	0.00	0.00	9.09

Fuente: elaboración propia (2018)

La fórmula sigue siendo la misma, lo que cambia es el indicador de columnas. El valor del indicador de columnas va aumentando progresivamente. El espacio para las varillas de refuerzo longitudinal y el momento que producen es igual a la sumatoria de las siete filas.

Para la sección de concreto total es igual a la figura No. 1 menos las figuras que representan el espacio de las varillas de refuerzo y el perfil de acero. Esta sumatoria se realiza para fuerza axial a compresión y momento. (Ver ilustración 13).

Perfil W de acero:

El perfil de acero se compone de dos figuras y se divide en compresión y tensión. La fuerza a compresión de la figura No. 1 se ingresa de la siguiente manera (diagrama de flujo 60):

Ilustración 274: Función compresión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte

=SI(A7<MedidaA;0;SI(A7<(MedidaA+AlturaD);EsfuerzoFluenciaPerfil*(A7-MedidaA)*AnchoPatin;EsfuerzoFluenciaPerfil*AlturaD*AnchoPatin))														
SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso]) AS AT AU AV AW AX AY AZ BA														
Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momen flector	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	
=+SI(A7<N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00	-1184.60	0.00	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00	-1184.60	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la parte de la figura No. 1 se ingresa en base al diagrama de flujo 61:

Ilustración 275: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte

=+SI(A7<MedidaA;0;SI(A7<(MedidaA+AlturaD);ABS(DiametroD-A7-MedidaA)/2;0))									
SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso]) AU A									
Perfil de acero									
Compresión									
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Mom	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k p	
0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.	

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso de la figura No. 2 a compresión, la fuerza se ingresa en base al diagrama de flujo 62:

Ilustración 276: Función compresión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte

$=+SI(A7<(MedidaA+EspesorPatin);0;SI(A7<(MedidaA+AlturaD-EspesorPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*(A7-MedidaA-EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma);EsfuerzoFluenciaPerfil*(AlturaD-2*EspesorPatin)*(AnchoPatin-EspesorAlma)))$																					
AN	AO	AP	AQ	SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso]) /												AW	AX	AY	AZ	BA	BB
Perfil de acero																					
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Fila No. 1							
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					Compr							
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento			Fuerza							
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]			[kip]							
0.00	0.00	0.00	$=+SI(A7<$	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00			-1184.60							

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura se ingresa en base al diagrama de flujo 63:

Ilustración 277: Función brazo compresión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte

$=+SI(A7<(MedidaA+EspesorPatin);0;SI(A7<(MedidaA+AlturaD-EspesorPatin);ABS(DiametroD-A7-MedidaA-EspesorPatin)/2;0))$															
AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ			
Perfil de acero															
Compresión						Tensión						Fuerza			
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2						
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento				
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]			[kip]	
0.00	0.00	0.00	0.00	$=+SI(A7<$	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00			-1184	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a tensión se calcula en base al diagrama de flujo 64, para la figura No.

1.

Ilustración 278: Función tensión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte

Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Fila N°
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]	[kip]
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7<M	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00	-1184.60	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura se determina en base al diagrama de flujo 65 (ver ilustración 12):

Ilustración 279: Función brazo tensión Fig. 1 sección circular acero eje fuerte

Perfil de acero									
Compresión						Tensión			
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	=+SI(A7	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

En base al diagrama de flujo 66 se ingresará la función para determinar la fuerza de la figura No. 2 a tensión.

Ilustración 280: Función tensión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte

Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	-1184.60	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura No. 2 es en base al diagrama de flujo 67:

Ilustración 281: Función brazo tensión Fig. 2 sección circular acero eje fuerte

Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	=+SI(A7	0.00	-1184.60	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial del perfil W en función del valor de C es igual a la siguiente figura. La fuerza a compresión tiene un valor positivo y la fuerza a tensión negativo. Para formar la figura del perfil W se debe restar la figura No. 1 y la figura No. 2. (Ver ilustración 14).

Ilustración 282: Sumatoria de efectos de fuerza axial sección circular acero eje fuerte

Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00	=+(AN7-AQ7)	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión y tensión producen momento positivo alrededor del eje neutro. El momento flector se obtiene restando el efecto de la figura No. 1 y la figura No. 2.

Ilustración 283: Sumatoria de efectos momento flector sección circular acero eje fuerte

Perfil de acero														
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Fil
Fig. 1			Fig. 2			Fig. 1			Fig. 2					
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]	F
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7221.50	0.00	0.00	6036.91	0.00	0.00	-1184.60	=+AP7-AS7	

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de refuerzo longitudinal:

Como primera parte, se tiene que colocar las cantidades de varillas por fila. Se utilizará el mismo espacio que se dejaron en la sección de concreto.

Ilustración 284: Cantidad refuerzo longitudinal por fila sección circular eje fuerte

to					
Fila No. 1	Cantidad de varillas	=+BUSCARV(CantVari			
Compresión		Tensión		Momento	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total	

Fuente: elaboración propia (2018)

El valor de la fuerza a compresión de la fila No. 1 es en base al diagrama de flujo 68. La función se ingresa de la siguiente manera:

Ilustración 285: Función compresión varillas por fila sección circular eje fuerte

=+SI(A7>BUSCARV(CantVarillas;DistanciaDnEF;2;FALSO);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1Acero*AsVarilla;0)

BB					BI					BJ					BK				
Fila No. 1			Cantidad de varillas			1			Fila No. 2			Cantidad de varillas			2				
Compresión			Tensión			Momento			Compresión			Tensión			Momento				
Fuerza		Brazo	Fuerza		Brazo	Total		Fuerza		Brazo	Fuerza		Brazo	Total					
[kip]		[pulg]	[kip]		[pulg]	[k pulg]		[kip]		[pulg]	[kip]		[pulg]	[k pulg]					
=+SI(A7>B		10.50	-76.01		10.50	-798.06		0.00		9.09	-152.01		9.09	-1382.29					

Fuente: elaboración propia (2018)

La función se repite para todas las varillas. El valor que cambia en la fórmula ingresada es el de “Distancia medida al borde”. Este valor se modifica en el parámetro de indicador de columna.

El valor del brazo de la fuerza a compresión se ingresa mediante la siguiente función.

Ilustración 286: Función brazo varillas sección circular eje fuerte

=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasEF;2;FALSO)

BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_columna

Fila No. 1		Cantidad de varillas		1
Compresión		Tensión		Momento
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	=+BUSC	-76.01	10.50	-798.06

Fuente: elaboración propia (2018)

Este valor se repite en la misma fila para la fuerza a tensión y a compresión. La fórmula se ingresa igual para todas las filas.

La fuerza axial a tensión de cada una las filas se ingresan en base al diagrama de flujo 69. El procedimiento es el mismo solo cambia el indicador de columnas de la función “=BUSCARV”.

Ilustración 287: Función tensión varillas por fila sección circular eje fuerte

=SI(A7<(BUSCARV(CantVarillas;DistanciaDnEF;2;FALSO));-EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1Acero*AsVarilla;0)										
	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK
	Fila No. 1	Cantidad de varillas	1		Fila No. 2	Cantidad de varillas	2			
	Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total
	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
	0.00	10.50	=+SI(A7<(BUS	10.50	-798.06	0.00	9.09	-152.01	9.09	-1382.29

Fuente: elaboración propia (2018)

El momento total es igual a la sumatoria del producto de la fuerza (compresión y tensión) con su brazo.

Ilustración 288: Determinación momento varillas por fila sección circular eje fuerte

=+BB7*BC7+BD7*BE7					
	BB	BC	BD	BE	BF
	Fila No. 1	Cantidad de varillas	1		
	Compresión		Tensión		Momento
	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	Total
	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
	0.00	10.50	-76.01	10.50	=+BB7*BC7+

Fuente: elaboración propia (2018)

Sección compuesta:

La sección compuesta es igual a la sumatoria de todos los materiales. Se suman tanto momentos flectores como fuerzas del concreto, acero y varillas de refuerzo. El momento se convierte a unidades de kip pies.

Ilustración 289: Determinación fuerza axial nominal sección circular eje fuerte

Sección compuesta							
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]
=+CK7+AZ7	0.00	-2096.67	0.00	-1887.00	0.00	-1255.49	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Cuando la fuerza axial nominal es a tensión, no se consideran los efectos de esbeltez. Cuando la fuerza axial nominal es a compresión, si se consideran los efectos de esbeltez. La carga crítica de Euler que proporciona la carga de diseño (compresión pura) más pequeña es la que se utiliza. En la siguiente ilustración se ingresa esta condición.

Ilustración 290: Fuerza axial considerando efectos de esbeltez sección circular eje fuerte

Sección compuesta							
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]
-2096.67	0.00	=+SI((CK7+AZ7)<0;-(CK7+AZ7);MIN(SI(Pno/CargaEulerEF<=2.25;(CK7+AZ7)*POTENCIA(0.658;Pno/CargaEulerEF);0.877*CargaEulerEF);SI(Pno/CargaEulerED<=2.25;(CK7+AZ7)*POTENCIA(0.658;Pno/CargaEulerED);0.877*CargaEulerED)))	0.00	-1887.00	0.00	-1255.49	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para agregar los factores de reducción de carga, se tiene que colocar una condición cuando la fuerza axial es a tensión o a compresión. Para el caso de capacidad axial última:

Ilustración 291: Determinación capacidad axial última sección circular eje fuerte

Fórmula		CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT
=+SI(CO7<0;CO7*0.9;CO7*0.75)									
Sección compuesta									
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible		
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]		
-2096.67	0.00	-2096.67	0.00	=+SI(CO7<0;C	0.00	-1255.49	0.00		

Fuente: elaboración propia (2018)

Capacidad axial admisible de la columna:

Ilustración 292: Determinación capacidad axial admisible sección circular eje fuerte

Fórmula		CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT
=+SI(CO7<0;CO7/1.67;CO7/2)									
Sección compuesta									
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible		
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]		
-2096.67	0.00	-2096.67	0.00	-1887.00	0.00	=+SI(CO7<0;C	0.00		

Fuente: elaboración propia (2018)

Capacidad a momento flector último de la columna:

Ilustración 293: Determinación capacidad momento último sección circular eje fuerte

Fórmula		CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT
=+CP7*0.9									
Sección compuesta									
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible		
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]		
-2096.67	0.00	-2096.67	0.00	-1887.00	=+CP7*0.9	-1255.49	0.00		

Fuente: elaboración propia (2018)

Capacidad a momento flector admisible de la columna:

Ilustración 294: Determinación capacidad momento admisible sección circular eje fuerte

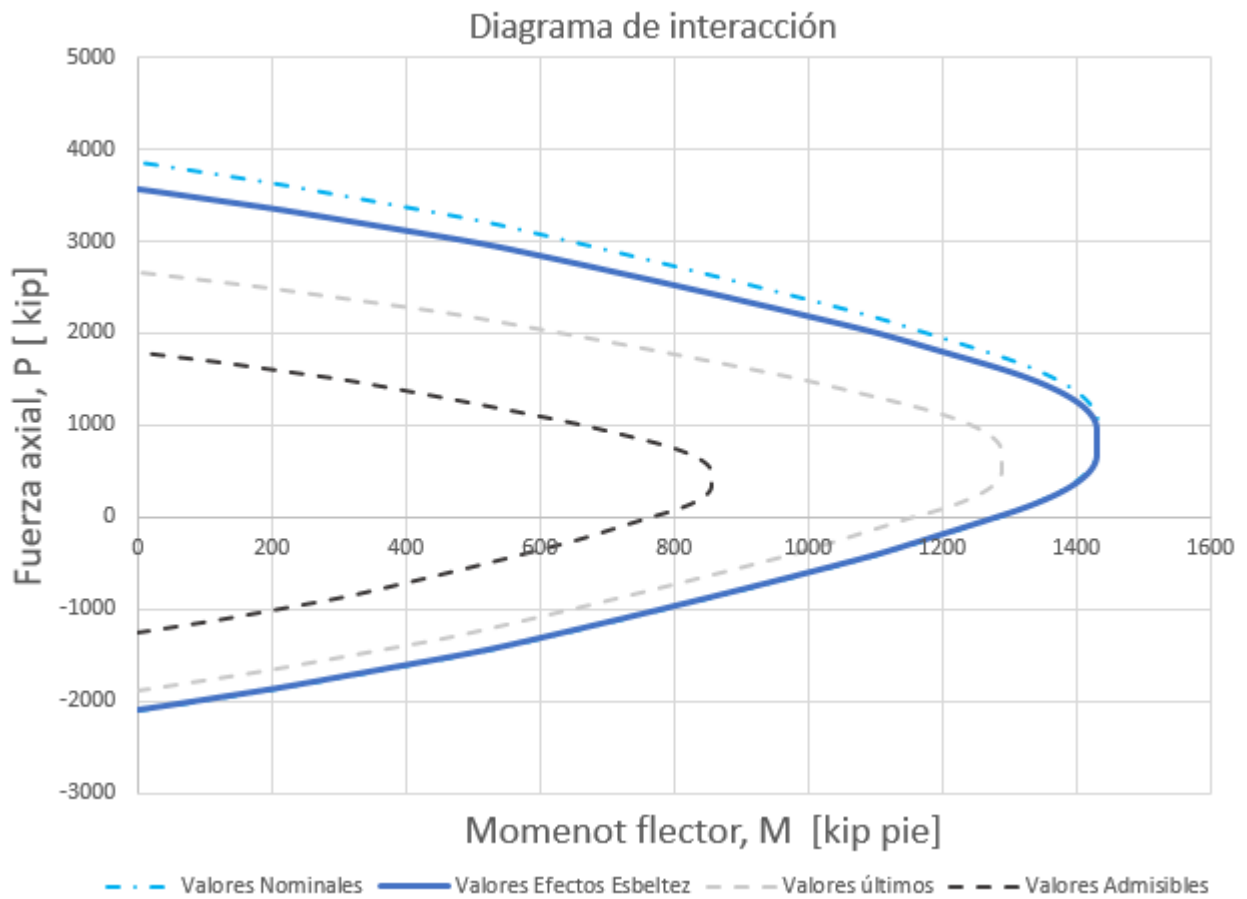
CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT
Sección compuesta							
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos esbeltez	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]
-2096.67	0.00	-2096.67	0.00	-1887.00	0.00	-1255.49	=+CP7/1.67

Fuente: elaboración propia (2018)

Se analizarán en total mil puntos. Al bajar las funciones de la celda A7 hasta la celda A1007, se insertará una gráfica en la hoja "Ingreso de datos".

El diagrama de interacción es el siguiente:

Gráfica 7: Diagrama de interacción sección circular [eje fuerte]



Fuente: elaboración propia (2018)

Cálculos eje débil:

Sección de concreto:

El esquema de la hoja de cálculos para el eje fuerte es aplicable para el eje débil.

De la misma forma en la que se ingresaron las funciones para determinar theta 1 y theta 2 en el eje fuerte, se utilizará la misma metodología en el eje débil. El primer momento de área es el siguiente:

Ilustración 295: Función primer momento de área sección circular concreto eje débil

Fig. 1																	Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1	
Límites integración				Primer momento	área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Cantidad de varillas	1	Cantidad d				
Valor [c]	Theta 1 [θ ₁]	Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]				
0.00	1.57	1.57	=1/3*((POTENCIA(DiametroD/2;3)*COS(B7)-COS(C7))+POTENCIA(DiametroD/2-A7;3)*(SI(A7=DiametroD/2;0;COT(C7))-SI(A7=DiametroD/2;0;COT(B7))))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00			
0.02	1.51	1.63	0.29	0.02	0.10	11.99	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00			

Fuente: elaboración propia (2018)

El área es la siguiente:

Ilustración 296: Función área sección circular concreto eje débil

Fig. 1																	Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1	
Límites integración				Primer momento	área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Cantidad de varillas	1	Cantidad d				
Valor [c]	Theta 1 [θ ₁]	Theta 2 [θ ₂]	[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]				
0.00	1.57	1.57	0.00	=1/2*((POTENCIA(DiametroD/2;2)*(C7-B7))+POTENCIA(DiametroD/2-A7;2)*(SI(DiametroD/2=A7;0;COT(C7))-SI(DiametroD/2=A7;0;COT(B7))))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00			
0.02	1.51	1.63	0.29	0.02	0.10	11.99	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00			

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión de la sección circular de concreto es igual al producto del área con el esfuerzo. (Ver diagrama de flujo 70).

Ilustración 297: Función fuerza compresión Fig. 1 sección circular concreto eje débil

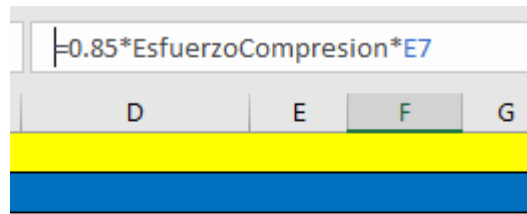


Fig. 1

Primer momento	área	Fuerza	Brazo
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	=0.85*Es	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El centroide de la sección en función del valor de C es igual el primer momento de área dividido el área de la sección. el centroide coincide con ser el brazo de la fuerza axial. (Ver diagrama de flujo 71).

Ilustración 298: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular concreto eje débil

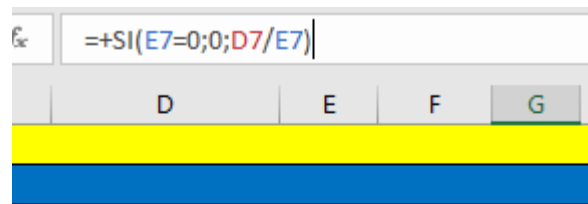


Fig. 1

Primer momento	área	Fuerza	Brazo
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	=+SI(E7

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión de la figura No. 2 corresponde a los patines. La función se ingresa en base al diagrama de flujo 72.

Ilustración 299: Función compresión Fig. 2 sección circular concreto eje débil

`=+SI(A7<MedidaHn;0;SI(A7<(MedidaHn+AnchoPatin);0.85*EsfuerzoCompresion*(A7-MedidaHn)*2*EspesorPatin;0.85*EsfuerzoCompresion*2*EspesorPatin*AnchoPatin))`

Fig. 1					Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2		
Primer momento	área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00	9.09	0.

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura No. 2 es en base al diagrama de flujo 73.

Ilustración 300: Función brazo compresión Fig. 2 sección circular concreto eje débil

`=+SI(A7<MedidaHn;0;SI(A7<(MedidaHn+AnchoPatin);ABS(A7+MedidaHn-DiametroD)/2;0))`

Fig. 1					Fig. 2 [patines]			Fig.3 [a	
Primer momento	área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a compresión del alma se ingresa en base al diagrama de flujo 74:

Ilustración 301: Función compresión Fig. 3 sección circular concreto eje débil

`=+SI(A7<MedidaXn;0;SI(A7<(MedidaXn+EspesorAlma);0.85*EsfuerzoCompresion*(A7-MedidaXn)*(AlturaD-2*EspesorPatin);0.85*EsfuerzoCompresion*(AlturaD-2*EspesorPatin)*EspesorAlma))`

Fig. 1					Fig. 2 [patines]			Fig.3 [alma]			Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas	
Primer momento	área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	10.50	0.00	0.00	9.09

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la sección se ingresa en base al diagrama de flujo 75:

Ilustración 302: Función brazo compresión Fig. 3 sección circular concreto eje débil

`=SI(A7<MedidaXn;0;SI(A7<(MedidaXn+EspesorAlma);ABS(A7+MedidaXn-DiámetroD)/2;0))`

D	E	K	L	M	N
Fig. 1			Fig. 2 [patines]		Fig.3 [alma]
Primer momento	área	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[pulg ³]	[pulg ²]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
					=+SI(A7

Fuente: elaboración propia (2018)

Espacio varillas de refuerzo longitudinal:

Se cuentan con un total de siete filas para colocar varillas. En la celda de espacio de varillas se necesita colocar la función “=BUSCARV”. El procedimiento es el mismo que se ha utilizado en el eje fuerte.

Ilustración 303: Cantidad espacio varillas por fila sección circular eje débil

`=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;2;FALSO)`

O	P	Q	R
Espacio varillas fila No. 1		Espacio vari	
Cantidad de varillas	=+BUSCARV	Cantidad de var	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]

Fuente: elaboración propia (2018)

El procedimiento se repite para las siete filas, lo que cambia es el indicador de columnas de la función “=BUSCARV”.

La fuerza axial que ejerce cada varilla se ingresa en base al diagrama de flujo 76:

Ilustración 304: Ingreso compresión espacio varillas por fila sección circular eje débil

=+SI(A7<BUSCARV(CantVarillas;DistanciaDnED;2;FALSO);0;0.85*EsfuerzoCompresion*AsVarilla*VarillasFila1ConcretoED)

SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso]) S T U V W X

Sección de concreto									
Compresión									
Espacio varillas fila No. 1			Espacio varillas fila No. 2			Espacio varillas fila No. 3			Es
Cantidad de varillas		1	Cantidad de varillas		2	Cantidad de varillas		2	Cantic
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
=+SI(A7<BUS	10.50	0.00	0.00	9.09	0.00	0.00	5.25	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Este procedimiento es el mismo para todas las filas. Los cambios que se tienen que realizar son en el indicador de columnas de la función “BUSCARV” y en el número de fila. El brazo de cada una de las filas de varillas se ingresa a partir de la siguiente función. El valor que cambia para cada fila de varillas es el indicador de columnas.

Ilustración 305: Función brazo espacio varillas por fila sección circular eje débil

=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO)

BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_co

Espacio varillas fila No. 1			Espacio va	
Cantidad de varillas		1	Cantidad de v	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	
0.00	=+BUSCARV(	0.00	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial total de las varillas es igual a la sumatoria de todas las filas individualmente en función del valor de C. Este procedimiento se repite para el momento flector.

La sección de concreto es igual a la figura No. 1 menos las demás figuras y el espacio de las varillas de refuerzo. El procedimiento se repite para fuerza y momento. (Ver ilustración 13).

Perfil W de acero:

En la primera figura de acero a compresión son los patines y se ingresan a partir del diagrama de flujo 77:

Ilustración 306: Función compresión Fig. 1 sección circular acero eje débil

=SI(A7<MedidaHn;0;SI(A7<(MedidaHn+AnchoPatin);EsfuerzoFluenciaPerfil*(A7-MedidaHn)*2*EspesorPatin;EsfuerzoFluenciaPerfil*2*EspesorPatin*AnchoPatin))																
AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
Perfil de acero																
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Fila No. 1	Cantidad de varilla	
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					Compresión		Tensión
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00	-1184.60	0.00	0.00	10.50	-76.0

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de los patines se ingresa de la siguiente manera (diagrama de flujo 78):

Ilustración 307: Función brazo compresión Fig. 1 sección circular acero eje débil

=SI(A7<MedidaHn;0;SI(A7<(MedidaHn+AnchoPatin);ABS(A7+MedidaHn-DiametroD)/2;0))											
AN	AO	AP	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
Perfil de acero											
Compresión						Tensión					
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]		
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso del alma, la fuerza axial a compresión se ingresa de la siguiente manera (ver diagrama de flujo 79):

Ilustración 308: Función compresión Fig. 2 sección circular acero eje débil

Perfil de acero																	
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Fila No. 1		Cantidad de varillas	
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]					Compresión		Tensión	
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	=+SI(A7<	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00	-1184.60	0.00	0.00	10.50	-76.01	10.50

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo del alma a compresión se ingresa de la siguiente manera (diagrama de flujo 80):

Ilustración 309: Función brazo compresión Fig. 2 sección circular acero eje débil

Perfil de acero											
Compresión						Tensión					
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]		
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	/2;0))	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a tensión de los patines se ingresa a partir del diagrama de flujo 81:

Ilustración 310: Función tensión Fig. 1 sección circular acero eje débil

Perfil de acero																		
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector	Fila No. 1		Cantidad de varillas		
Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]					Compresión		Tensión		
Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	[kip]	[k pulg]	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo
[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00	-1184.60	0.00	0.00	0.00	0.00	10.50	-76.01	10.50	

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura se ingresa a partir del diagrama de flujo 82:

Ilustración 311: Función brazo tensión Fig. 1 sección circular acero eje débil

Perfil de acero												
Compresión						Tensión						Fuerza axial
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	=+SI(A7	0.00	321.05	0.00	0.00	-1184.60

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza a tensión del alma se ingresa en base al diagrama de flujo 83.

Ilustración 312: Función tensión Fig. 2 sección circular acero eje débil

Perfil de acero															
Compresión				Tensión				Fuerza axial	Momento flector	Fila No. 1		Cantidad de varillas			
Fig. 2 [alma]		Fig. 1 [patines]		Fig. 2 [alma]		Compresión				Tensión					
Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo		
[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]		
0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	=+SI(A7	0.00	0.00	-1184.60	0.00	0.00	10.50	-76.01	10.50

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la figura se ingresa a partir del diagrama de flujo 84 (ver ilustración 10):

Ilustración 313: Función brazo tensión Fig. 2 sección circular acero eje débil

Perfil de acero													
Compresión						Tensión						Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]				
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento		
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	=+SI(A7	0.00	-1184.60	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

En la sumatoria de fuerza axial, la tensión es negativa y a compresión es positiva. (Ver ilustración 14).

Ilustración 314: Fuerza axial total sección circular acero eje débil

Perfil de acero															
Compresión									Tensión					Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]						
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento				
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00	=+AN7+AQ	0.00		

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a tensión y compresión producen momento positivo.

Ilustración 315: Momento flector total sección circular acero eje débil

Perfil de acero															
Compresión									Tensión					Fuerza axial	Momento flector
Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]			Fig. 1 [patines]			Fig. 2 [alma]						
Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento	Fuerza	Brazo	Momento				
[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	863.55	0.00	0.00	321.05	0.00	0.00	-1184.60	=+AP7+AS7+		

Fuente: elaboración propia (2018)

Varillas de refuerzo longitudinal:

Como primera parte se necesita colocar en la celda de cada fila el número de varillas que hay en las siete filas.

Ilustración 316: Función cantidad de varillas por fila sección circular eje débil

=+BUSCARV(CantVarillas;VarillasPorFilaED;2;FALSO)

BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_columna; [ordenado])

Fila No. 1	Cantidad de varillas	=+BUSCARV(CantVa			Fila No.
Compresión		Tensión		Momento	C
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerz
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a compresión de cada una de las filas se ingresa a partir del diagrama de flujo 85.

Ilustración 317: Función compresión varillas por fila sección circular eje débil

=+SI(A7>BUSCARV(CantVarillas;DistanciaDnED;2;FALSO);EsfuerzoFluenciaVarillas*VarillasFila1AceroED*AsVarilla;0)

BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_columnas; [ordenado])

Fila No. 1	Cantidad de varillas	1	Fila No. 2	Cantidad de varillas	2	Fila No. 3	Ca			
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión	Momento	Compres	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]
=+SI(A7>B	10.50	-76.01	10.50	-798.06	0.00	9.09	-152.01	9.09	-1382.29	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El brazo de la fila a compresión (también a tensión) se determina con la función “=BUSCARV”.

Ilustración 318: Función brazo varillas sección circular eje débil

=+BUSCARV(CantVarillas;BrazoVarillasED;2;FALSO)					
BB	BC	BD	BE	BF	
Fila No. 1	Cantidad de varillas	1			Fila
Compresión		Tensión		Momento	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fu
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[
0.00	=+BUSCARV(	-76.01	10.50	-798.06	

Fuente: elaboración propia (2018)

La fuerza axial a tensión se ingresa a partir del diagrama de flujo 86:

Ilustración 319: Función tensión varillas por fila sección circular eje débil

=+SI(A7<BUSCARV(CantVarillas;DistanciaDnED;2;FALSO);-EsfuerzoFluenciaVarillas*AsVarilla*VarillasFila1AceroED;0)											
BB	BUSCARV(valor_buscado; matriz_buscar_en; indicador_columnas; [ordenado])							BJ	BK	BL	
Fila No. 1	Cantidad de varillas	1			Fila No. 2	Cantidad de varillas	2			Fila No. 3	Car
Compresión		Tensión		Momento	Compresión		Tensión		Momento	Compres	
Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	Brazo	Fuerza	Brazo	total	Fuerza	t
[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[
0.00	10.50	=+SI(A7<	10.50	-798.06	0.00	9.09	-152.01	9.09	-1382.29	0.00	

Fuente: elaboración propia (2018)

El procedimiento para fuerza axial a tensión y compresión se repite para todas las filas.

Sección compuesta:

Para crear los diagramas de interacción, es necesario sumar el efecto de los tres materiales. Los valores nominales de carga axial y momento flector son los siguientes:

Ilustración 320: Determinación fuerza axial nominal sección circular eje débil

Sección compuesta							
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]
=+AL7+AZ7+	0.00	-2096.67	0.00	-1887.00	0.00	-1255.49	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Cuando la carga axial es a tensión se considera únicamente el aporte de los materiales. Cuando la carga axial es a compresión, se tienen que reducir la carga nominal considerando los efectos de esbeltez. Para considerar los efectos de esbeltez, es indispensable utilizar la carga crítica de Euler que produce la fuerza de diseño (compresión pura) más pequeña.

Ilustración 321: Fuerza axial con efectos de esbeltez sección circular eje débil

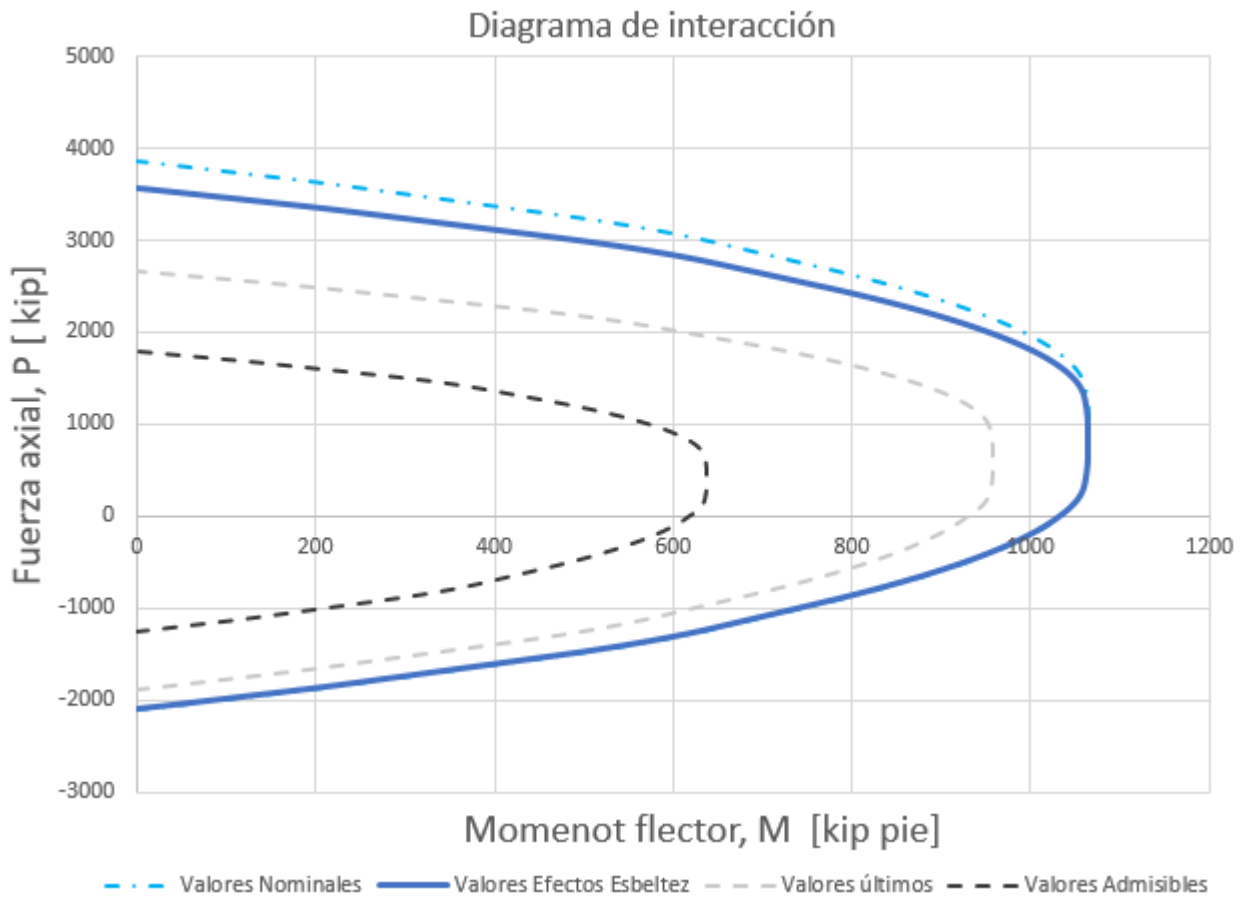
Sección compuesta							
Fuerza axial nominal	Momento flector	Fuerza axial efectos	Momento flector	Fuerza axial última	Momento flector último	Fuerza axial admisible	Momento flector admisible
[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]	[kip]	[k pie]
-2096.67	0.00	=+SI((AL7+AZ7+CK7)<0;(AL7+AZ7+CK7);MIN(SI(Pno/CargaEulerEF<=2.25;(CK7+AZ7+AL7)*POTENCIA(0.658;Pno/CargaEulerEF);0.877*CargaEulerEF);SI(Pno/CargaEulerED<=2.25;(AL7+AZ7+CK7)*POTENCIA(0.658;Pno/CargaEulerED);0.877*CargaEulerED)))	0.00	-1887.00	0.00	-1255.49	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

El momento flector se convierte a unidades de pies. En total se graficarán mil puntos. La gráfica es la siguiente. Es indispensable agregar las gráficas últimas y admisibles. El

procedimiento para ingresarlas es igual al que se ha llevado a cabo para los anteriores diagramas de interacción. (Ver tabla 2).

Gráfica 8: Diagrama de interacción sección circular [eje débil]



Fuente: elaboración propia (2018)

4.3. Procedimiento valores nominales del diagrama de interacción

En el caso que P_n es igual a cero, significa que es el momento puro por lo que se debe determinar el valor de C donde la fuerza a compresión y tensión están en equilibrio.

Para determinar el valor donde P_n es igual a cero, se tiene que encontrar el valor P_n más cerca de cero. Con la función “=COINCIDIR” se encuentra la ubicación de la celda del valor más cercano a cero. La coincidencia que se utilizará es de un resultado menor que el valor que se necesita. La sintaxis de la función es la siguiente:

Ilustración 322: Función =+COINCIDIR para determinar el valor máximo positivo

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the formula bar containing `=+COINCIDIR(0;CU7:CU1007;1)`. Below the formula bar, a table is displayed with columns labeled CS, CT, CU, CV, CW, and CX. The CX column contains the text 'Coincidir' and the formula `=+COINCIDIR`. Below this, a table shows the following data:

Diferencia	P_n	M_{nx}
0.0005	1073.35	697.47
	-1310.36	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para encontrar la fuerza axial, momento y valor de C se necesita utilizar la función “=INDICE” a partir del resultado que da la función “=COINCIDIR” La sintaxis de la función es la siguiente:

Ilustración 323: Función =+INDICE determinación valores de fuerza axial y momento

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the formula bar containing `=+INDICE(B57:BU1007;BV2;1)`. Below the formula bar, a table is displayed with columns labeled BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, and BZ. The BV column contains the text 'Coincidir' and the value '279'. The BW column contains the text 'Fuerza axial' and the value '4.27'. The BX column contains the text 'Momento' and the value '1329.77'. The BY column contains the text 'Valor de C' and the value '8.37'. Below this, a table shows the following data:

	0.00	
-1682.26	3.82	0.03
-1679.20	7.63	0.06

Fuente: elaboración propia (2018)

La función “=COINCIDIR” devuelve la ubicación del valor negativo más cercano a cero. Al ingresar el valor de la fila +1 se obtiene el valor positivo más cercano a cero.

Ilustración 324: Función =+COINCIDIR fuerza y momento después cuando $P_u=0$.

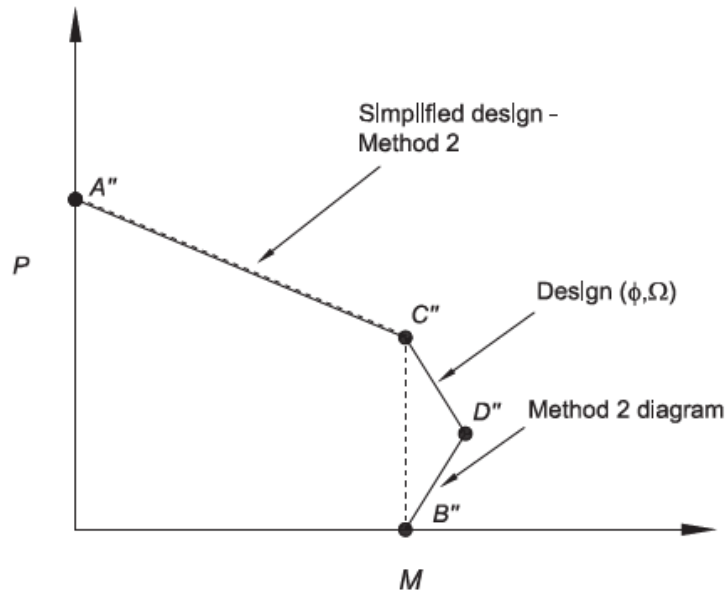
=+INDICE(BS7:BU1007;BV2+1;1)						
BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY
			Coincidir	Fuerza axial	Momento	Valor de C
			279	-40.20	1304.65	8.34
				=+INDICE(BS7	1329.77	8.37

Fuente: elaboración propia (2018)

Con los valores de C antes y después que la fuerza axial es igual a cero, se crea una nueva hoja de cálculos. En esta hoja de cálculos el primer valor de C corresponde al valor del eje neutro antes de que la carga axial sea igual a cero. Mil puntos después, el último valor de C corresponde al valor del eje neutro después de que la carga axial sea igual a cero. A partir de los mil valores de C en esta nueva hoja, se encuentra un valor más exacto cuando fuerza axial es igual a cero.

A partir del eje neutro donde la fuerza axial es igual a cero, se determinan los valores de fuerza axial y momento flector en el punto A, B, C y D. El valor de C donde está la fuerza axial se determinan los puntos B y C. Los puntos de interés se representan en la siguiente imagen.

Ilustración 325: Diagrama de interacción columnas compuesta, método 2 simplificado



Fuente: AISC (2010)

Este punto se repite para ambos ejes para ambas secciones. Los valores de fuerza axial y momento flector son utilizados para la fórmula 10 y fórmula 11.

4.3.1. Discontinuidad en el diagrama de interacción

Se propone utilizar un total de mil puntos en el diagrama de interacción. En los lugares donde exista discontinuidad en la curva se debe realizar una interpolación.

Los puntos donde ocurre discontinuidad o “salto” en el diagrama de interacción son antes y después de la ubicación de cada fila de varillas. Esta situación es aplicable en sección rectangular y circular en ambos ejes. Al identificar los valores dentro del diagrama de interacción, se realiza una interpolación y se agregan veinte puntos. Diez antes y después de la discontinuidad. Donde ocurren discontinuidad se debe realizar el siguiente procedimiento:

Con la ubicación de cada varilla, se debe establecer el valor de C donde se encuentra cada discontinuidad. Es necesario utilizar un valor antes y después de la discontinuidad. La distancia donde se encuentra ubicada la fila de varillas se suma y resta 0.01 pulg. En

estos puntos se realizará la interpolación. Para encontrar los puntos adicionales, se necesita encontrar la pendiente de la recta y el intersepto de la misma.

Fórmula 34: Pendiente de la recta

$$m = \frac{P_f - P_o}{M_f - M_o}$$

Fórmula 35: Ecuación de interpolación

$$P - P_o = m(M - M_o)$$

$$P = mM - mM_o + P_o$$

En la fórmula anterior el valor $-mM_o + P_o$ corresponde al intersepto.

En cada caso se utilizarán dos rectas por lo que se necesita determinar dos pendientes y dos interseptos.

Como primera parte se debe establecer las distancias a la fila de varillas dependiendo de la cantidad de varillas:

Ilustración 326: Distancia de la fibra más alejada en compresión a cada fila de varillas

Cant varillas / fila	Distancia medida desde la máxima fibra a compresión			
	1	2	3	4
4	2.50	15.00	No Aplica	No Aplica
6	2.50	15.00	27.50	No Aplica
8	2.50	15.00	27.50	No Aplica
10	2.50	15.00	27.50	40.00
12	2.50	15.00	27.50	40.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 327: Pendiente de la recta 1 en el diagrama de interacción

Sección compuesta		
	Fuerza axial	Momento flector
Valor [c]	[kip]	[k pie]
2.49	-1431.34	291.12
2.5	-1346.44	379.56
2.51	-1255.42	474.37
m1	$=+(BP17-BP16)/(BQ17-BQ16)$	
b1	-1710.82	
m2	0.96	
b2	-1710.82	

Fuente: elaboración propia (2018)

En el caso del intersepto se realiza el siguiente procedimiento:

Ilustración 328: Intersepto de la recta 1 en el diagrama de interacción

Sección compuesta		
	Fuerza axial	Momento flector
Valor [c]	[kip]	[k pie]
2.49	-1431.34	291.12
2.5	-1346.44	379.56
2.51	-1255.42	474.37
m1	0.96	
b1	$=+BQ16*BQ20+BP16$	

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 329: Pendiente de la recta 2 en el diagrama de interacción

F	BP	BQ
Sección compuesta		
	Fuerza axial	Momento flector
Valor [c]	[kip]	[k pie]
2.49	-1431.34	291.12
2.5	-1346.44	379.56
2.51	-1255.42	474.37
	m1	0.96
	b1	-1710.82
	m2	=+(BP18-BP17)/(BQ18-BQ17)
	b2	-1710.82

Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 330: Intersecto de la recta 2 en el diagrama de interacción

F	BP	BQ
Sección compuesta		
	Fuerza axial	Momento flector
Valor [c]	[kip]	[k pie]
2.49	-1431.34	291.12
2.5	-1346.44	379.56
2.51	-1255.42	474.37
	m1	0.96
	b1	-1710.82
	m2	0.96
	b2	=+-BQ17*BQ23+BP17

Fuente: elaboración propia (2018)

Con la pendiente e intersepto de las rectas antes y después de la ubicación de las varillas, es necesario colocar diez valores entre el momento inicial y final. Con la fórmula 35 se puede encontrar los valores de fuerza axial.

Ilustración 331: Rango de valores de momento en discontinuidades

=+(\$BQ\$17-\$BQ\$16)/10+BT16						
F	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
Sección compuesta						
Fuerza axial		Momento flector				
Valor [c]	[kip]	[k pie]			Momento	Fuerza
2.49	-1431.34	291.12		0	291.12	-1431.34
2.5	-1346.44	379.56		1	=+(\$BQ\$17-\$B	-1422.85
2.51	-1255.42	474.37		2	308.81	-1414.36
				3	317.66	-1405.87
	m1	0.96		4	326.50	-1397.38
	b1	-1710.82		5	335.34	-1388.89

Fuente: elaboración propia (2018)

La siguiente ilustración representa los valores de momento y carga antes de la discontinuidad para los primeros diez valores.

Ilustración 332: Determinación de valores de fuerza recta 1

=+\$BQ\$20*BT16+\$BQ\$21						
F	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
Sección compuesta						
Fuerza axial		Momento flector				
Valor [c]	[kip]	[k pie]			Momento	Fuerza
2.49	-1431.34	291.12		0	291.12	=+\$BQ\$20*BT
2.5	-1346.44	379.56		1	299.97	-1422.85
2.51	-1255.42	474.37		2	308.81	-1414.36
				3	317.66	-1405.87
	m1	0.96		4	326.50	-1397.38
	b1	-1710.82		5	335.34	-1388.89
				6	344.19	-1380.40
	m2	0.96		7	353.03	-1371.91
	b2	-1710.82		8	361.87	-1363.42

Fuente: elaboración propia (2018)

Para los siguientes diez valores de momento se realiza el mismo procedimiento. La diferencia se encuentra en la pendiente e intersepto de la recta en la interpolación.

Ilustración 333: Determinación de valores de fuerza recta 2

=+\$BQ\$23*\$BT27+\$BQ\$24						
F	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
	Sección compuesta					
	Fuerza axial	Momento flector				
Valor [c]	[kip]	[k pie]			Momento	Fuerza
2.49	-1431.34	291.12		0	291.12	-1431.34
2.5	-1346.44	379.56		1	299.97	-1422.85
2.51	-1255.42	474.37		2	308.81	-1414.36
				3	317.66	-1405.87
	m1	0.96		4	326.50	-1397.38
	b1	-1710.82		5	335.34	-1388.89
				6	344.19	-1380.40
	m2	0.96		7	353.03	-1371.91
	b2	-1710.82		8	361.87	-1363.42
				9	370.72	-1354.93
				10	379.56	-1346.44
				11	389.04	!7+\$BQ\$24

Fuente: elaboración propia (2018)

El procedimiento se repite para las cuatro posibles filas en la sección rectangular y para las siete posibles filas en la sección circular. Se utiliza el mismo procedimiento para ambos ejes. A partir de los valores adicionales en las discontinuidades se agregan los mil puntos que ya se tenían. En caso de que la cantidad de varillas seleccionada no se utilice una fila de varillas, se ingresa en la sintaxis de la función “No aplica”.

4.3.2. Relación demanda/capacidad

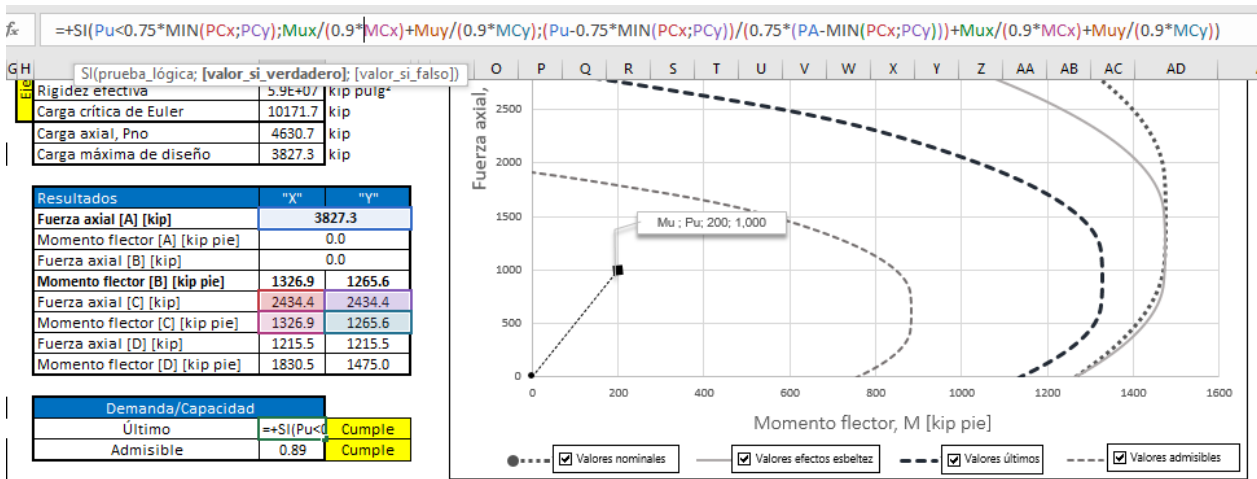
En cada eje, el usuario debe ingresar las cargas y momentos que resiste la estructura. Estos valores se obtienen a partir del análisis estructural.

El diagrama de interacción se limita únicamente a la parte a compresión de la columna. En la parte de edición de ejes de la gráfica, como límite inferior en el eje de las ordenadas se coloca cero. Las ecuaciones utilizadas para determinar la “relación demanda/capacidad” aplican únicamente para la parte a compresión.

Debido a que en cada eje existe una carga axial en el punto C diferente, existen dos posibilidades de carga axial de diseño. En las fórmulas correspondientes a la relación demanda/capacidad se debe utilizar la carga axial más pequeñas de ambos ejes.

Para el caso de utilizar la metodología de diseño LRFD se ingresa la fórmula 10 y fórmula 11 de la siguiente manera:

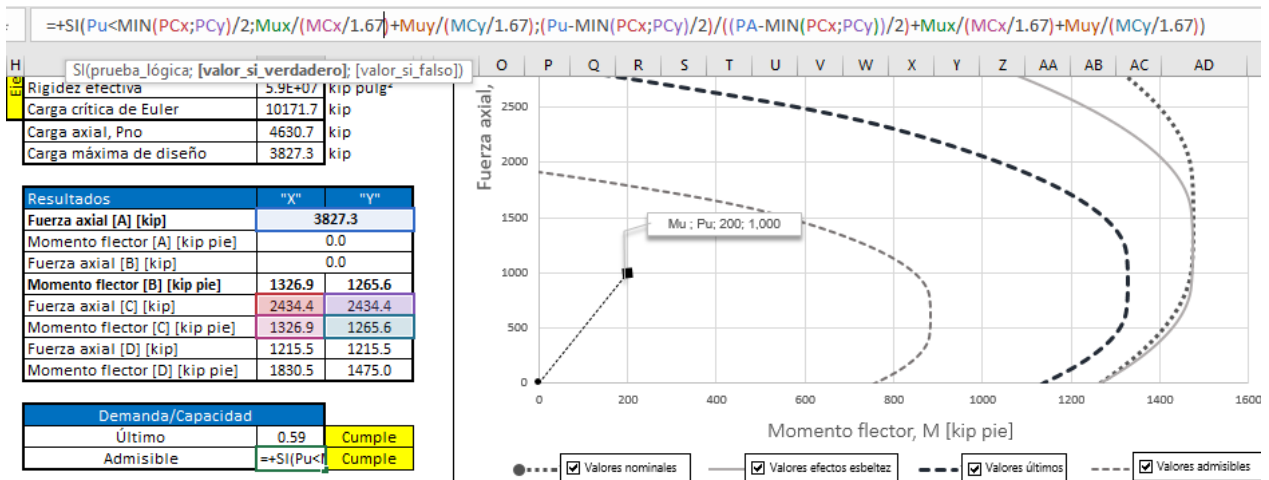
Ilustración 334: Relación demanda/capacidad con factores de carga LRFD



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso de ASD.

Ilustración 335: Relación demanda/capacidad con factores de carga ASD



Fuente: elaboración propia (2018)

Posteriormente se necesita ingresar la condición si los valores de demanda/capacidad son menores que uno para que la sección sea aceptable o no.

Ilustración 336: Condición de relación demanda/capacidad para verificar sección

=SI(J32<1;"Cumple";"No cumple")			
H	I	J	K
	Momento flector [B] [kip pie]	1326.9	1265.6
	Fuerza axial [C] [kip]	2434.4	2434.4
	Momento flector [C] [kip pie]	1326.9	1265.6
	Fuerza axial [D] [kip]	1215.5	1215.5
	Momento flector [D] [kip pie]	1830.5	1475.0
	Demanda/Capacidad		
	Último	0.59	=SI(J32<1;"
	Admisible	0.89	Cumple

Fuente: elaboración propia (2018)

Este procedimiento se repite para las dos secciones analizadas.

Al momento de utilizar el programa, el usuario podrá modificar secciones, cambiar combinaciones de refuerzo, elegir otro perfil entre otras modificaciones que se pueden realizar. Se podrá realizar propuestas y análisis de una manera más rápida hasta encontrar la sección adecuada.

V. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El formato de la hoja de cálculo en Microsoft Excel para secciones rectangulares queda de la siguiente manera:

Ilustración 337: Hoja "Ingreso de datos" sección rectangular

Sección de concreto			
Esfuerzo de compresión [f'c]	4	ksi	
Módulo de elasticidad [Ec]	3611	ksi	
Altura [H]	30	pulg	
Base [B]	30	pulg	
Inercia "X" [Icx]	65827	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Icy]	66535	pulg ⁴	
Área de concreto [Ac]	866.3	pulg ²	
Varillas de refuerzo longitudinal			
Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi	
Cantidad de varillas	8		
Número de varilla	7		
Área de la varilla	0.60	pulg ²	
Área de refuerzo [Asr]	4.80	pulg ²	
Inercia "X" [Isrx]	562.73	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Isry]	562.73	pulg ⁴	
Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg	
Separación entre varillas "X"	12.50	pulg	
Recubrimiento	2.5	pulg	
Porcentaje del área gruesa	1%		Cumple
Perfil de acero			
Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi	
Peralte	W_14		
Perfil	W14X99		
Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi	
Altura [D]	14.2	pulg	
Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg	
Espesor del alma [tw]	0.485	pulg	
Espesor del patín [tf]	0.78	pulg	
Inercia "X" [Isx]	1110	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Isy]	402	pulg ⁴	
Área práctica [As]	28.91	pulg ²	
Medida base patín - borde [T]	7.90	pulg	Cumple
Medida altura alma - borde [x]	14.76	pulg	
Medida altura patín - borde [T']	7.70	pulg	Cumple
Porcentaje del área gruesa	3.2%		Cumple

Datos ingresados		
Carga aplicada [Pr]	1000	kip
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	500	k pie
Momento aplicado eje "Y" [Mry]	200	k pie

Cálculos efectuados		
Longitud libre	10	pie
Factor de longitud efectiva	1	
Coeficiente rigidez efectiva	0.165	
Rigidez efectiva	7.9E+07	kip pulg ²
Carga crítica de Euler	54470.8	kip
Longitud libre	20	pie
Factor de longitud efectiva	1	
Coeficiente rigidez efectiva	0.165	
Rigidez efectiva	5.9E+07	kip pulg ²
Carga crítica de Euler	10171.7	kip
Carga axial, Pno	4630.7	kip
Carga máxima de diseño	3827.3	kip

Resultados		
	"X"	"Y"
Fuerza axial [A] [kip]	3827.3	
Momento flector [A] [kip pie]	0.0	
Fuerza axial [B] [kip]	0.0	
Momento flector [B] [kip pie]	1326.9	1265.6
Fuerza axial [C] [kip]	2434.4	2434.4
Momento flector [C] [kip pie]	1326.9	1265.6
Fuerza axial [D] [kip]	1215.5	1215.5
Momento flector [D] [kip pie]	1830.5	1475.0

Demanda/Capacidad		
Último	0.59	Cumple
Admisible	0.89	Cumple

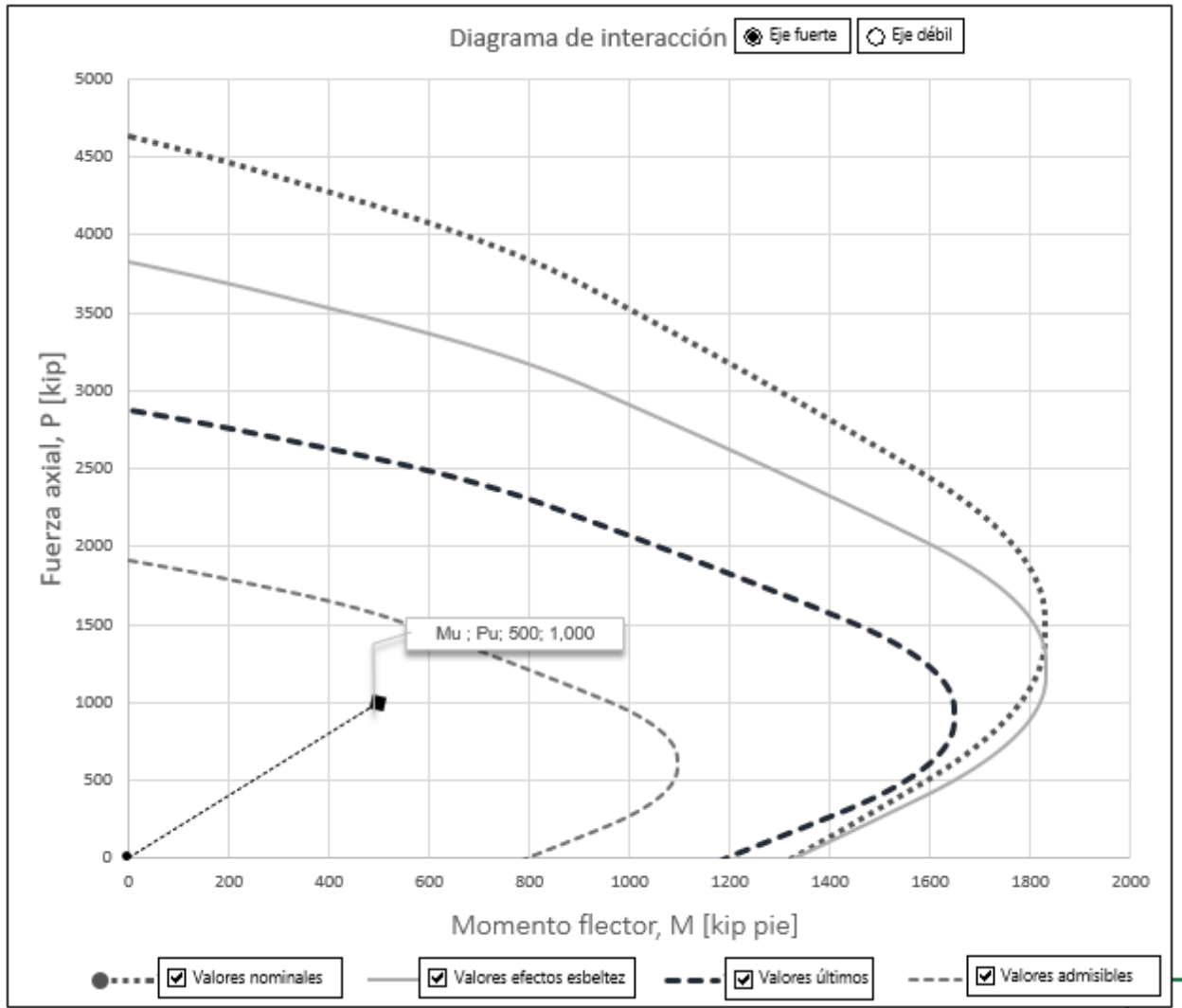
Fuente: elaboración propia (2018)

El formato incluye todas las formulas ingresadas, los parámetros y cálculos de inercias, áreas, rigideces efectivas y cargas de diseño. De las hojas muestras de cálculo para el eje fuerte y débil:

Las curvas realizadas que se incluyen en las gráficas corresponden a los valores nominales, con efectos de esbeltez, últimos y admisibles.

El diagrama de interacción para el eje fuerte queda de la siguiente manera:

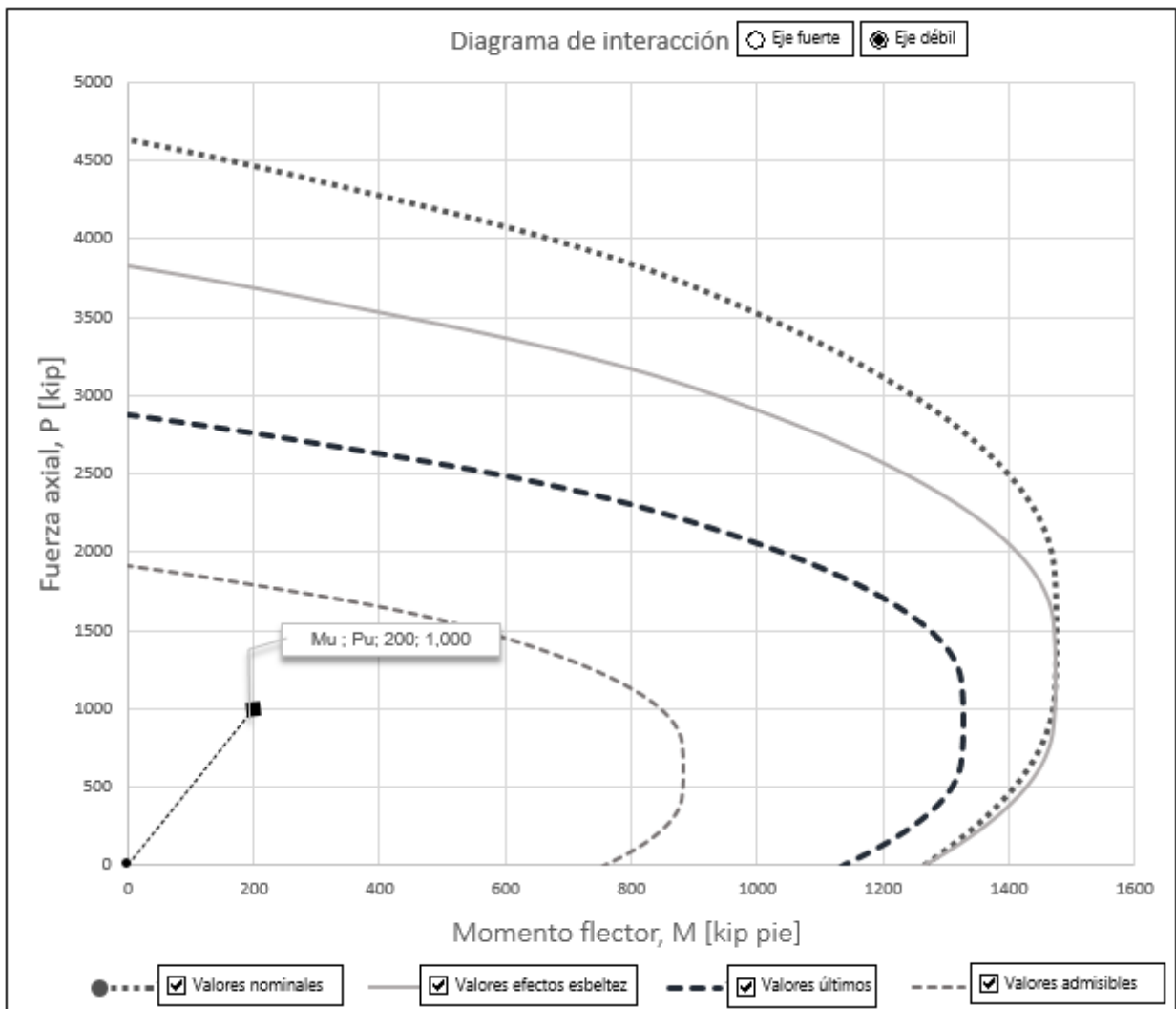
Gráfica 9: Diagrama de interacción nominal y de diseño [rectangular] [eje fuerte]



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil el diagrama de interacción es el siguiente:

Gráfica 10: Diagrama de interacción nominal y de diseño [rectangular] [eje débil]



Fuente: elaboración propia (2018)

El formato de la hoja de cálculo en Microsoft Excel para secciones circulares queda de la siguiente manera:

Ilustración 338: Hoja "Ingreso de datos" sección circular

Sección de concreto		
Esfuerzo de compresión [f'c]	5	ksi
Módulo de elasticidad [Ec]	4037.6	ksi
Diámetro [D]	24	pulg
Inercia "X" [Icx]	14565.5	pulg ⁴
Inercia "Y" [Icy]	15298.5	pulg ⁴
Área de concreto [Ac]	413.50	pulg ²
Varillas de refuerzo		
Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60	ksi
Cantidad de varillas	12	
Número de varilla	10	
Área de la varilla	1.27	pulg ²
Área de refuerzo [Asr]	15.20	pulg ²
Inercia "X" [Isrx]	839.50	pulg ⁴
Inercia "Y" [Isry]	839.50	pulg ⁴
Recubrimiento	1.5	pulg
Porcentaje del área gruesa	3.36%	Cumple
Perfil de acero		
Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
Peralte	W_14	
Perfil	W14X82	Cumple
Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi
Altura [D]	14.3	pulg
Ancho del patín [Bf]	10.1	pulg
Espesor del alma [tw]	0.51	pulg
Espesor del patín [tf]	0.855	pulg
Inercia "X" [Isx]	881	pulg ⁴
Inercia "Y" [Isy]	148	pulg ⁴
Área práctica [As]	23.69	pulg ²
Medida base patín - borde [a]	4.85	pulg
Medida altura patín - borde [hn]	6.95	pulg
Medida altura alma - borde [xn]	11.75	pulg
Porcentaje del área gruesa	5.2%	Cumple

Datos ingresados		
Carga aplicada [Pr]	1000	kip
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	150	k pie
Momento aplicado eje "Y" [Mry]	250	k pie

Cálculos efectuados		
Longitud libre	10.0	pie
Factor de longitud efectiva	1.00	
Coeficiente rigidez efectiva	0.2	
Rigidez efectiva	5.1E+07	kip pulg ²
Carga crítica de Euler	34784.5	kip
Longitud libre	10.0	pie
Factor de longitud efectiva	1.00	
Coeficiente rigidez efectiva	0.2	
Rigidez efectiva	3.0E+07	kip pulg ²
Carga crítica de Euler	20664.6	kip
Carga axial, Pno	3854.0	kip
Carga máxima de diseño, Pmax	3564.6	kip

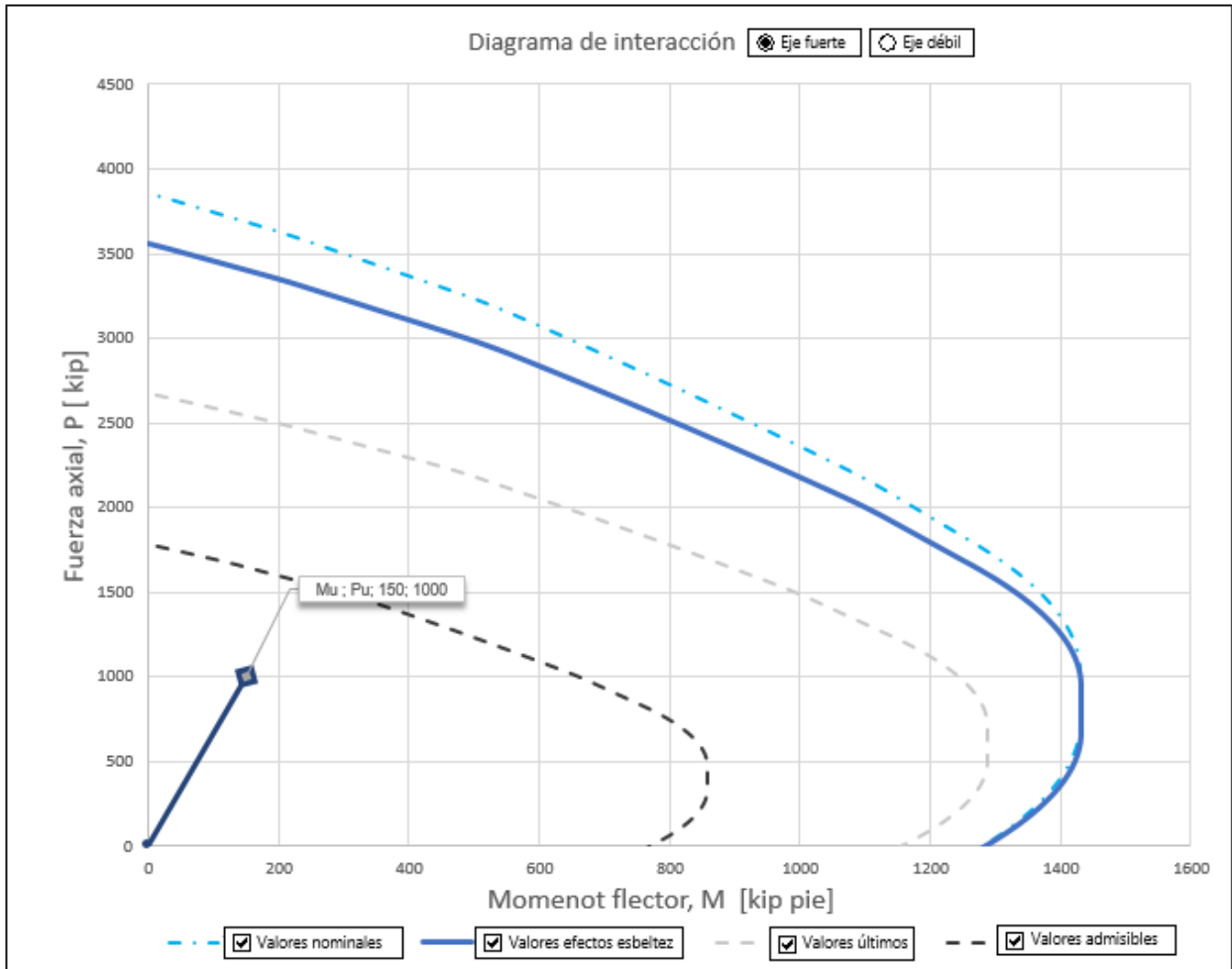
Resultados		"X"	"Y"
Fuerza axial [A] [kip]		3564.6	
Momento flector [A] [kip pie]		0.0	
Fuerza axial [B] [kip]		0.0	
Momento flector [B] [kip pie]		1281.2	1032.5
Fuerza axial [C] [kip]		1625.4	1625.4
Momento flector [C] [kip pie]		1281.2	1032.5
Fuerza axial [D] [kip]		807.7	807.7
Momento flector [D] [kip pie]		1430.7	1064.1

Demanda/Capacidad		
Último	0.40	Cumple
Admisible	0.67	Cumple

Fuente: elaboración propia (2018)

El diagrama de interacción de una columna circular con flexión alrededor del eje fuerte queda de la siguiente manera:

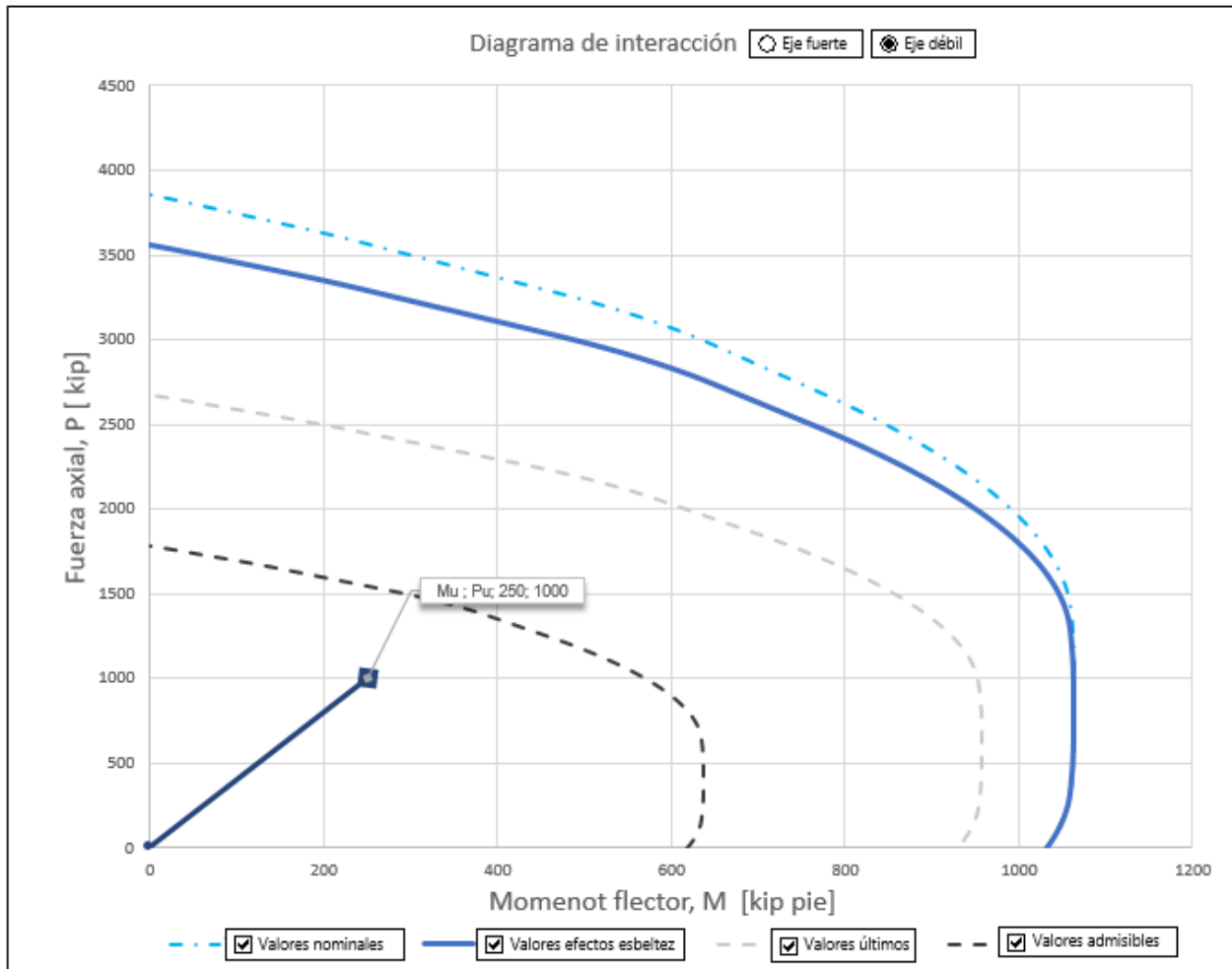
Gráfica 11: Diagrama de interacción nominal, último y admisible [circular] [eje fuerte]



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el eje débil el diagrama de interacción es el siguiente:

Gráfica 12: Diagrama de interacción nominal, último y admisible [circular] [eje débil]



Fuente: elaboración propia (2018)

En cada diagrama de interacción de cada sección se observa la combinación de cargas ingresadas por el usuario y sus respectivos valores nominales.

5.1. [Manual de usuario](#)

5.1.1. Sección rectangular

Como primera parte el usuario debe seleccionar el esfuerzo de compresión del concreto que desea utilizar. Después, el usuario debe ingresar las dimensiones de altura y base de la columna. Los valores de base y altura deben ser de preferencia un número par.

Ilustración 339: Lista desplegable esfuerzo de compresión y dimensiones de la sección.

Sección de concreto	Esfuerzo de compresión [f'c]	4	
	Módulo de elasticidad [Ec]	3.00	
	Altura [H]	4.00	g
	Base [B]	6.00	g
	Inercia "X" [Icx]	65827	pulg ⁴
	Inercia "Y" [Icy]	66535	pulg ⁴
	Área de concreto [Ac]	866.3	pulg ²

Fuente: elaboración propia (2018)

Las celdas que corresponden a la inercia en los ejes principales, el módulo de elasticidad y el área de concreto se modificarán automáticamente.

Ilustración 340: Celdas propiedades sección rectangular de concreto

Sección de concreto	Esfuerzo de compresión [f'c]	4	
	Módulo de elasticidad [Ec]	3611	ksi
	Altura [H]	30	pulg
	Base [B]	30	pulg
	Inercia "X" [Icx]	65827	pulg ⁴
	Inercia "Y" [Icy]	66535	pulg ⁴
	Área de concreto [Ac]	866.3	pulg ²

Fuente: elaboración propia (2018)

En la parte de varillas de refuerzo, el usuario debe seleccionar el esfuerzo de fluencia de las varillas, la cantidad de varillas de refuerzo, número de varillas y recubrimiento. En la lista desplegable se encuentran los valores disponibles para cada propiedad.

Ilustración 341: Listas desplegables esfuerzo fluencia, cantidad y número de varillas

The image shows three screenshots of software dropdown menus for reinforcement design parameters. The first screenshot shows a menu for 'Esfuerzo de fluencia [fysr]' with a value of 50, and a list of 'Cantidad de varillas' (40, 50, 60, 75) and 'Número de varilla' (50, 60, 75). The second screenshot shows a menu for 'Esfuerzo de fluencia [fysr]' with a value of 50, and a list of 'Cantidad de varillas' (8) and 'Número de varilla' (4, 6, 8, 10, 12). The third screenshot shows a menu for 'Esfuerzo de fluencia [fysr]' with a value of 50, and a list of 'Cantidad de varillas' (8), 'Número de varilla' (7), 'Área de la varilla' (5, 6), 'Área de refuerzo [Asr]' (7), 'Inercia "X" [Isrx]' (8, 9), 'Inercia "Y" [Isry]' (10, 11), and 'Separación entre varillas "Y"' (12.50).

Parámetro	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi
Cantidad de varillas	40	
Número de varilla	50	
Área de la varilla	75	pulg ²
Área de refuerzo [Asr]	4.80	pulg ²

Parámetro	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi
Cantidad de varillas	8	
Número de varilla	4	
Área de la varilla	6	lg ²
Área de refuerzo [Asr]	8	lg ²
Inercia "X" [Isrx]	10	lg ⁴
Inercia "Y" [Isry]	12	lg ⁴
Inercia "X" [Isrx]	562.73	lg ⁴

Parámetro	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia [fysr]	50	ksi
Cantidad de varillas	8	
Número de varilla	7	
Área de la varilla	5	lg ²
Área de refuerzo [Asr]	6	lg ²
Inercia "X" [Isrx]	7	lg ⁴
Inercia "Y" [Isry]	8	lg ⁴
Inercia "X" [Isrx]	9	lg ⁴
Inercia "Y" [Isry]	10	lg ⁴
Inercia "X" [Isrx]	11	lg ⁴
Separación entre varillas "Y"	12.50	pulg

Fuente: elaboración propia (2018)

El recubrimiento debe ser ingresado por el usuario. Los valores de recubrimiento se ingresan en base a ACI (2014). El recubrimiento es medido desde el borde de la columna al centro de la varilla de refuerzo longitudinal.

Ilustración 342: Celda ingreso recubrimiento sección rectangular

Parámetro	Valor	Unidad
Separación entre varillas "X"	12.50	pulg
Recubrimiento	2.5	pulg
Porcentaje del área gruesa	1%	

Fuente: elaboración propia (2018)

Las celdas de inercia en ambos ejes principales, área de varillas, área de refuerzo, separación de varillas en ambos ejes y porcentaje de área gruesa se llenan automáticamente al seleccionar cantidad y número de varilla.

En el porcentaje de área se colocó una condición si el área de refuerzo cumple con los valores máximo y mínimo mencionados por AISC (2010) y ACI (2014). Para cumplir con la condición de porcentaje de área se debe modificar el número de varilla, cantidad de varillas o las dimensiones de la sección.

Ilustración 343: Condiciones porcentaje mínimo de área

Varillas	Separación entre varillas "X"	12.50	pulg	Cumple
	Recubrimiento	2.5	pulg	
	Porcentaje del área gruesa	1%		

Fuente: elaboración propia (2018)

En la parte de perfil de acero, el usuario debe ingresar el módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia del acero. Para el tipo de acero propuesto A992 los respectivos valores de fluencia y módulo de elasticidad son 50 ksi y 29 000 ksi. Como siguiente parte, el usuario debe seleccionar el peralte del perfil que desea utilizar en la lista desplegable. Con el peralte del perfil que se desea, se busca en la siguiente lista desplegable el perfil que se desea utilizar.

Ilustración 344: Lista Desplegable peralte y perfil W sección rectangular

Perfiles de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi	Perfiles de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
	Peralte	W_14			Peralte	W_14	
	Perfil	W 16			Perfil	W14X99	
	Esfuerzo de fluencia [Fy]	W 14			Esfuerzo de fluencia [Fy]	W14X90	
	Altura [D]	W 12			Altura [D]	W14X82	lg
	Ancho del patín [Bf]	W 10			Ancho del patín [Bf]	W14X74	lg
	Espesor del alma [tw]	W 8			Espesor del alma [tw]	W14X68	lg
	Espesor del patín [tf]	W 6			Espesor del patín [tf]	W14X61	lg
	Espesor del patín [tfl]	W 5			Inercia "X" [I _{xx}]	W14X53	lg
	W 4			W14X48	lg		
		0.78	pulg			1110	pulg*

Fuente: elaboración propia (2018)

Los valores de altura del perfil, ancho del patín, espesor del alma, espesor del patín, inercias en ambos ejes, área práctica, distancias del alma y el patín al borde y porcentaje de área gruesa se llenan automáticamente.

Ilustración 345: Relleno automático de celdas de perfil W en sección rectangular

Perfil de acero	Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
	Peralte	W 14	
	Perfil	W14X99	
	Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi
	Altura [D]	14.2	pulg
	Ancho del patín [Bf]	14.6	pulg
	Espesor del alma [tw]	0.485	pulg
	Espesor del patín [tf]	0.78	pulg
	Inercia "X" [I _x]	1110	pulg ⁴
	Inercia "Y" [I _y]	402	pulg ⁴
	Área práctica [A _s]	28.91	pulg ²
	Medida base patín - borde [T]	7.90	pulg
	Medida altura alma - borde [x]	14.76	pulg
	Medida altura patín - borde [T']	7.70	pulg
	Porcentaje del área gruesa	3.2%	

Fuente: elaboración propia (2018)

La siguiente parte corresponde al ingreso de los valores de las cargas y momentos, Pr, Mrx y Mry, aplicados en la columna. Estos valores se obtienen a partir del análisis estructural. El usuario es libre de utilizar la metodología ASD o LRFD con sus respectivos valores de factores de combinaciones de cargas. En las celdas de cargas (Pr, Mrx y Mry) se ingresan los resultados de las combinaciones de carga. Estos valores son considerando flexo-compresión biaxial. Cuando no exista flexo-compresión en un eje o en ambos se ingresa el valor de cero. Cuando Mrx y Mry son igual a cero significa que la columna está sometida a compresión o tensión pura. Si la columna se encuentra en tensión, el valor de Pr se ingresa con signo negativo. Cuando el valor de Pr es igual a cero significa que la viga está sometido a flexión únicamente.

En la parte de cálculos efectuados se ingresa la longitud libre y factor de longitud efectiva para cada eje.

Ilustración 346: Celda con cálculos de carga máxima de diseño sección rectangular

Cálculos efectuados		
Eje fuerte	Longitud libre	10 pie
	Factor de longitud efectiva	1
	Coeficiente rigidez efectiva	0.165
	Rigidez efectiva	7.9E+07 kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	54470.8 kip
Eje débil	Longitud libre	20 pie
	Factor de longitud efectiva	1
	Coeficiente rigidez efectiva	0.165
	Rigidez efectiva	5.9E+07 kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	10171.7 kip
	Carga axial, P _{no}	4630.7 kip
	Carga máxima de diseño	3827.3 kip

Fuente: elaboración propia (2018)

Con los valores de longitud libre y factor de longitud efectiva ingresados en ambos ejes, se llenan automáticamente los valores de coeficiente de rigidez efectiva, rigidez efectiva, carga crítica de Euler para ambos ejes, carga axial y carga de diseño.

El programa automáticamente muestra los valores de momento flector y carga axial para los puntos A, B, C y D correspondientes para cada sección. Los valores anteriores sirven para posteriormente determinar la relación de demanda/capacidad. El valor de momento plástico corresponde al del punto B. Las relaciones son determinadas para los factores últimos y admisibles. La condición que se debe cumplir es que la relación demanda/capacidad para los factores de LRFD y ASD debe ser menor que uno. Por otro extremo, es indispensable asegurar que no tenga una capacidad muy grande respecto a las cargas aplicadas. En caso de que no se cumpla la condición que la demanda/capacidad debe ser menor que uno o que está muy sobre diseñado, se modifica el área de concreto, perfil W, el área de las varillas, cantidad de varillas o resistencias.

5.1.2. Sección circular

Como primer paso, el usuario debe seleccionar el esfuerzo de compresión del concreto a utilizar. Después, el usuario debe ingresar el diámetro de la sección. El diámetro de la columna debe ser un valor par.

Ilustración 347: Lista desplegable esfuerzo de compresión y diámetro sección

Sección de concreto		Sección de concreto	
Esfuerzo de compresión [f'c]	5	Esfuerzo de compresión [f'c]	5
Módulo de elasticidad [Ec]	3.00	Módulo de elasticidad [Ec]	4037.6 ksi
Diámetro [D]	5.00	Diámetro [D]	24 pulg
Inercia "X" [Icx]	6.00	Inercia "X" [Icx]	14565.5 pulg ⁴
Inercia "Y" [Icy]	15298.5	Inercia "Y" [Icy]	15298.5 pulg ⁴
Área de concreto [Ac]	413.50	Área de concreto [Ac]	413.50 pulg ²

Fuente: elaboración propia (2018)

Los valores de módulo de elasticidad, inercia en ambos ejes principales y área de concreto se llenan automáticamente al ingresar los valores de diámetro y esfuerzo de compresión.

En la parte de las varillas de refuerzo, el usuario debe seleccionar el esfuerzo de fluencia de las varillas, la cantidad de varillas y el número de varillas de las listas desplegables.

Ilustración 348: Lista desplegable esfuerzo fluencia, cantidad y número de varillas

Varillas de refuerzo		Varillas de refuerzo	
Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60	Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60 ksi
Cantidad de varillas	40	Cantidad de varillas	12
Número de varilla	60	Número de varilla	6
Área de la varilla	1.27	Área de la varilla	8
Área de refuerzo [Asr]	15.20	Área de refuerzo [Asr]	10
Inercia "X" [Isrx]	839.50	Área de refuerzo [Asr]	12
Inercia "Y" [Isry]	839.50	Inercia "X" [Isrx]	839.50 pulg ⁴
		Inercia "Y" [Isry]	839.50 pulg ⁴

Varillas de refuerzo	
Esfuerzo de fluencia [Fysr]	60 ksi
Cantidad de varillas	12
Número de varilla	10
Área de la varilla	5
Área de refuerzo [Asr]	6
Inercia "X" [Isrx]	7
Inercia "Y" [Isry]	8
Recubrimiento	9
	10
	11
	1.5 pulg

Fuente: elaboración propia (2018)

Los valores de área de varillas, área de refuerzo, e inercias en ambos ejes principales se llena automáticamente al seleccionar cantidad y número de varillas.

El recubrimiento es un valor ingresado por el usuario en base a las especificaciones de ACI (2014). El recubrimiento se mide desde el centro de las varillas al borde de la sección.

El porcentaje de área se llena automáticamente. En esta parte, se debe cumplir la condición establecida de porcentaje de área máxima y mínima. Si no se cumple la condición de porcentaje de área, se puede modificar el diámetro de la sección, número o cantidad de varillas.

En la parte de perfil de acero, el usuario debe ingresar el módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia del acero. Para el tipo de acero propuesto A992 los respectivos valores de fluencia y módulo de elasticidad son 50 ksi y 29 000 ksi. Como siguiente parte, el usuario debe seleccionar el peralte del perfil que desea utilizar en la lista desplegable. Con el peralte del perfil que se desea, se busca en la siguiente lista desplegable el perfil que se desea utilizar.

Ilustración 349: Condición separación mínima entre perfil W y refuerzo sección circular

Perfil de acero		
Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi
Peralte	W_14	
Perfil	W14X82	Cumple
Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi
Altura [D]	14.3	pulg

Fuente: elaboración propia (2018)

En el momento de seleccionar el perfil, se debe cumplir la condición que tiene suficiente espacio libre para el armado y cuando fluya el concreto en el vaciado. En caso de que no se cumpla esta condición, se necesita modificar el diámetro de la sección, modificar el perfil o el recubrimiento.

En la parte de cálculos efectuados el usuario debe ingresar la carga axial aplicada y los momentos obtenidos del análisis estructural. En el caso que la carga axial sea a tensión, el usuario debe ingresar en valor negativo. El programa está diseñado para flexo-compresión biaxial. Si en el programa ocurre flexo-compresión uniaxial se debe colocar cero en el eje que no se está considerando. En el caso que la columna no esté sometida

a momentos flectores la columna se encuentra en compresión o tensión pura. Cuando la columna no tiene carga axial, se consideran únicamente momentos flectores en uno o ambos ejes.

Ilustración 350: Ingreso de carga y momentos aplicados en la sección circular

Datos ingresados		
Carga aplicada [Pr]	1000	kip
Momento aplicado eje "X" [Mrx]	150	k pie
Momento aplicado eje "Y" [Mry]	250	k pie

Fuente: elaboración propia (2018)

Con la combinación de carga axial y momentos en ambos ejes se grafica la combinación de valores en el diagrama de interacción. El diagrama de interacción muestra una recta desde el origen hasta la combinación de puntos para ambos ejes.

La parte de cálculos efectuados determina la rigidez efectiva para cada eje, la carga crítica de Euler, la carga axial sin efectos de esbeltez y la carga máxima de diseño. Para modificar la parte de cálculos efectuados es indispensable ingresar la longitud libre entre apoyos y el factor de longitud efectiva. El factor de longitud efectiva se determina a partir de las condiciones de apoyo y los requerimientos establecidos por AISC (2010) en el apéndice siete.

Ilustración 351: Celdas cálculo de carga máxima de diseño sección circular

Cálculos efectuados			
Eje fuerte	Longitud libre	10.0	pie
	Factor de longitud efectiva	1.00	
	Coficiente rigidez efectiva	0.2	
	Rigidez efectiva	5.1E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	34784.5	kip
Eje débil	Longitud libre	10.0	pie
	Factor de longitud efectiva	1.00	
	Coficiente rigidez efectiva	0.2	
	Rigidez efectiva	3.0E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	20664.6	kip
	Carga axial, Pno	3854.0	kip
	Carga máxima de diseño, Pmax	3564.6	kip

Fuente: elaboración propia (2018)

Se determinan los valores de carga axial y momento flector para los puntos A, B, C y D para ambos ejes. El valor de momento plástico corresponde al del punto B. En la siguiente imagen se presentan los resultados.

Ilustración 352: Resultados sección circular

Resultados	"x"	"y"
Fuerza axial [A] [kip]	3564.6	
Momento flector [A] [kip pie]	0.0	
Fuerza axial [B] [kip]	0.0	
Momento flector [B] [kip pie]	1281.2	1032.5
Fuerza axial [C] [kip]	1625.4	1625.4
Momento flector [C] [kip pie]	1281.2	1032.5
Fuerza axial [D] [kip]	807.7	807.7
Momento flector [D] [kip pie]	1430.7	1064.1

Fuente: elaboración propia (2018)

Con los valores nominales, se determina la relación demanda/capacidad. Esta relación debe ser menor que uno para cumplir la condición que la columna es adecuada. Existe la posibilidad que la relación demanda/capacidad quede un valor muy bajo. Para solucionar las situaciones anteriores se debe modificar el tamaño de la sección, la cantidad de refuerzo, el número de varillas, recubrimiento o el perfil seleccionado.

Ilustración 353: Relación demanda/capacidad sección circular

Demanda/Capacidad		
Último	0.17	Cumple
Admisible	0.26	Cumple

Fuente: elaboración propia (2018)

VI. DISCUSIÓN

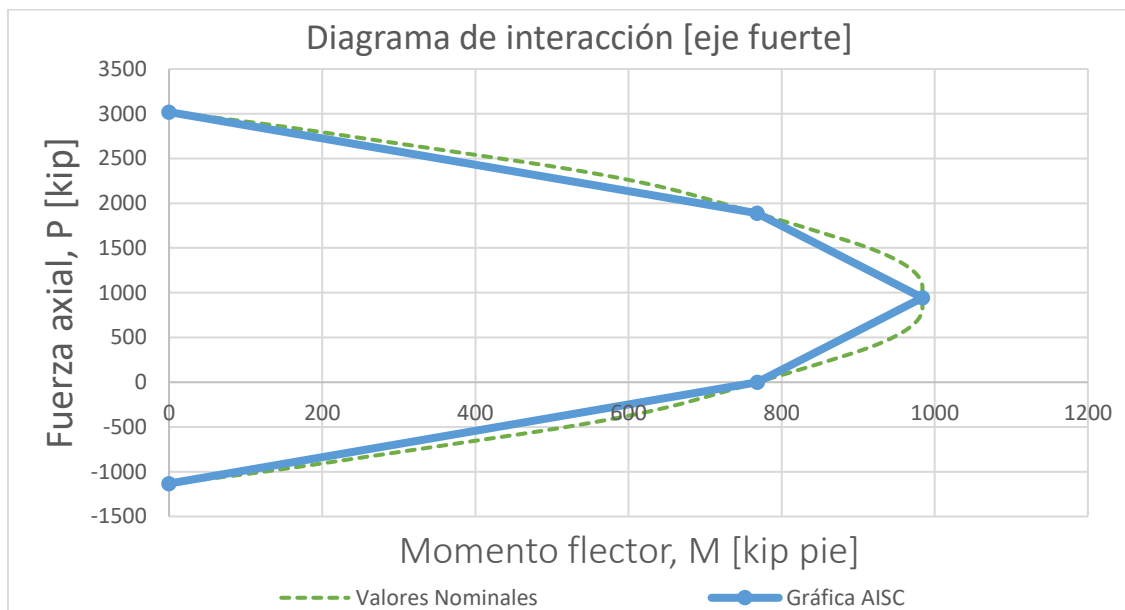
A continuación, se presenta la gráfica obtenida a partir de la metodología propuesta por el autor y por el documento Design Examples de AISC (2005). Para comparar ambas metodologías se utilizó como ejemplo una columna con las siguientes dimensiones:

Tabla 9: Datos sección compuesta ejemplo eje fuerte

Altura	24 pulg
Base	24 pulg
Esfuerzo de compresión [$f'c$]	4 ksi
Esfuerzo de fluencia varillas [F_{ysr}]	60 ksi
Cantidad de varillas	8
Número de varillas	9
Recubrimiento	2.50 pulg
Esfuerzo fluencia perfil [F_y]	50 ksi
Perfil	W 10 X 45

Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfica 13: Comparación diagrama de interacción con AISC (2005) eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

Para comprobar los resultados obtenidos con las fórmulas de AISC (2010), eje débil, se utilizó una columna con las siguientes dimensiones:

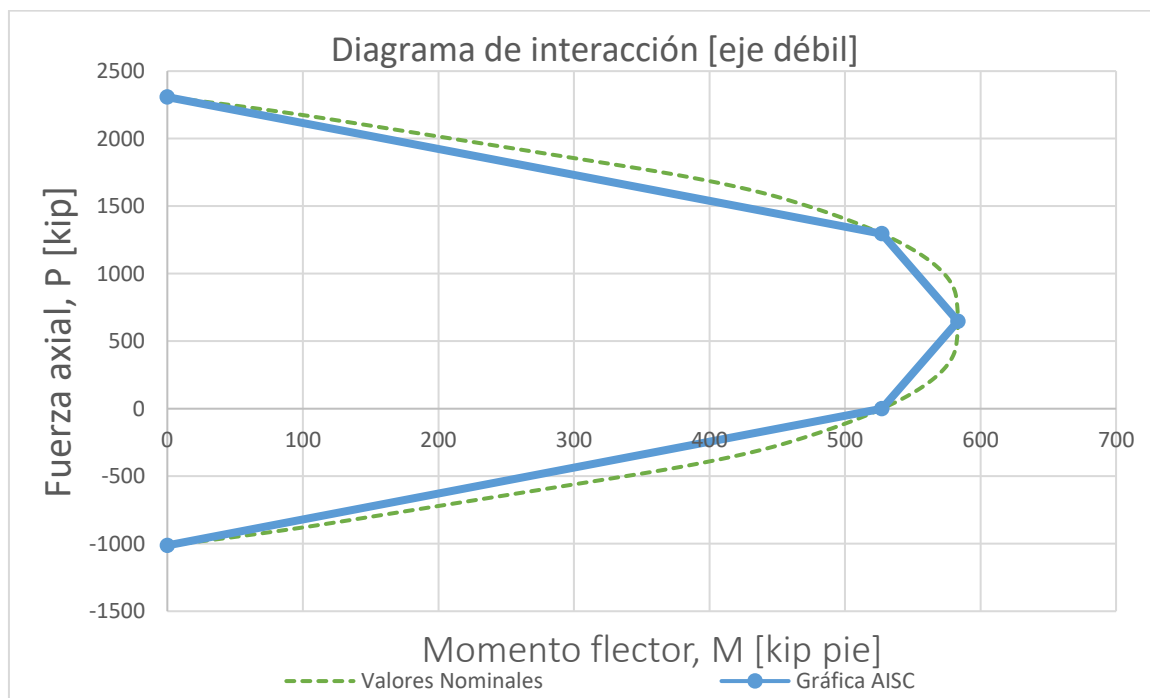
Tabla 10: Datos sección compuesta ejemplo eje débil

Altura	20 pulg
Base	20 pulg
Esfuerzo de compresión [$f'c$]	4 ksi
Esfuerzo de fluencia varillas [F_{ysr}]	60 ksi
Cantidad de varillas	6
Número de varillas	9
Recubrimiento	2.50 pulg
Esfuerzo fluencia perfil [F_y]	50 ksi
Perfil	W 10 X 45

Fuente: elaboración propia (2018)

El resultado es el siguiente:

Gráfica 14: Comparación diagrama de interacción con AISC (2005) eje débil



Fuente: elaboración propia (2018)

La curva punteada en cada una de las gráficas anteriores representa los valores nominales obtenidos a partir de la metodología propuesta por el autor. Las rectas gruesas representan la unión entre los puntos propuestos por AISC (2005) en el documento Design Examples. Debido a que la metodología de AISC (2005) establece fórmulas únicamente para ocho varillas en el eje fuerte y seis en el eje débil, se analizaron dos columnas diferentes.

Comparando los resultados obtenidos se estableció que:

De las gráficas anteriores se puede observar que los resultados obtenidos por la metodología propuesta por el autor y la establecida por el código son congruentes. Existe un alto grado de confiabilidad debido a que los cuatro puntos determinados por AISC (2005) coinciden con los valores determinados por el autor. En el caso del eje fuerte y débil, la comparación en los cuatro puntos es la siguiente:

Para el caso de la comparación de metodologías en el eje fuerte:

Ilustración 354: Puntos de la metodología el autor y AISC (2005) eje fuerte rectangular

6	Valor [c]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pie]
1009	0.00	0.00	0.00	0.00	-480.00	0.00	-1132.29	0.00
1010	7.20	0.00	0.00	0.00	-120.00	3420.00	-6.80	768.19
1011	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3420.00	943.42	983.90
1012	16.80	0.00	0.00	0.00	120.00	3420.00	1886.84	768.19
1013	24.00	0.00	0.00	0.00	480.00	0.00	3019.13	0.00
1014								

Punto	Valor de C	Fuerza [kip]	Momento [kip pie]
E	0.000	-1132.29	0
B	7.202	0.00	768.19
D	12.000	943.42	983.90
C	16.798	1886.84	768.19
A	24.000	3019.13	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso de la comparación de metodologías en el eje débil:

Ilustración 355: Puntos de la metodología el autor y AISC (2005) eje débil rectangular

6		[pulg]	[k pulg]	[kip]	[pulg]	[kip]	[pulg]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]	[kip]	[k pulg]
1009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-360.00	0.00	-1012.29	0.00
1010	7.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2700.00	0.00	527.22
1011	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2700.00	647.62	583.31
1012	12.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2700.00	1295.24	527.22
1013	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	360.00	0.00	2307.53	0.00

Punto	Valor de C	Fuerza [kip]	Momento [kip pie]
E	0.000	-1012.29	0.00
B	7.349	0.00	527.22
D	10.000	647.62	583.31
C	12.651	1295.24	527.22
A	20.000	2307.53	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Para los valores de C analizados en ambas metodologías se obtienen los mismos en los resultados de momento y fuerza axial. En la metodología propuesta por AISC (2005), para calcular módulo de sección, áreas, fuerzas, brazos y momentos, el autor no consideró el aporte de los filetes. En la parte de “ANEXOS” se encuentra el procedimiento utilizado para determinar los cuatro puntos del diagrama de interacción de AISC (2005).

Determinar los valores de momento y carga axial para varios valores de C representa una forma más amplia de la forma del diagrama de interacción. En otras regiones ambas metodologías presentan valores muy cercanos. El área entre la curva de interacción propuesta por el autor y la metodología de AISC (2005) se denomina como pérdida de capacidad. El problema de esta pérdida de capacidad es que para las cargas aplicadas se necesita una sección más grande, mayor área y mayor peso. Esta situación se presenta en ambos ejes.

Las gráficas del documento Design Examples de AISC (2005) proponen una metodología muy conservadora que no considera toda la capacidad de la columna en algunas regiones. El procedimiento para determinar el momento en cada punto consiste en primero calcular el módulo de sección de cada material y multiplicarlo por su respectivo valor de resistencia. En el documento de Design Examples de AISC (2005) se determina

la carga axial de tres puntos de los cuatro necesarios. Con la combinación de momento y fuerza se grafica el diagrama de interacción.

La metodología propuesta por el autor no calcula el módulo de sección directamente, sino que determina el momento mediante el producto de la fuerza y el brazo respecto al eje centroidal. Restar y sumar áreas más simples permite no utilizar ecuaciones extensas, sino que determinar brazo, fuerza y momento de cada figura y sumar los efectos al final. En la metodología propuesta por el autor se necesita determinar el valor C en el que la fuerza axial es igual a cero. La forma de determinar el valor de C puede ser iterativa o por medio de interpolación entre los valores de fuerza axial más cercanos antes y después de cero. La ventaja de utilizar las fórmulas de AISC (2005) es que determinan directamente el momento plástico de la sección en ambos ejes. En la metodología propuesta por el autor se obtienen mil puntos del diagrama de interacción, pero no se coincide con el valor exacto de momento plástico o puro. Para solucionar este problema se propone agregar más valores de C posibles cuando la fuerza axial es casi cero.

El diagrama de interacción de AISC (2005) en el documento Design Examples no incluye la forma de determinar la parte a tensión. La forma de determinar esta región se puede realizar mediante la unión entre el punto de tensión pura y momento puro. La razón que no se incluya es porque una columna se encuentra cargada generalmente a compresión. En la metodología propuesta por el autor se incluye la forma de determinar la parte del diagrama que se encuentra en tensión. Para cada valor de C se calcula el esfuerzo a tensión de los elementos que estén debajo del eje neutro. La parte del diagrama de interacción a tensión se utiliza en el caso que una carga horizontal muy grande se aplique en el marco a momento y este genere efectos de volteo que, a su vez, generan tensión en la columna. Un ejemplo de carga horizontal puede ser un sismo.

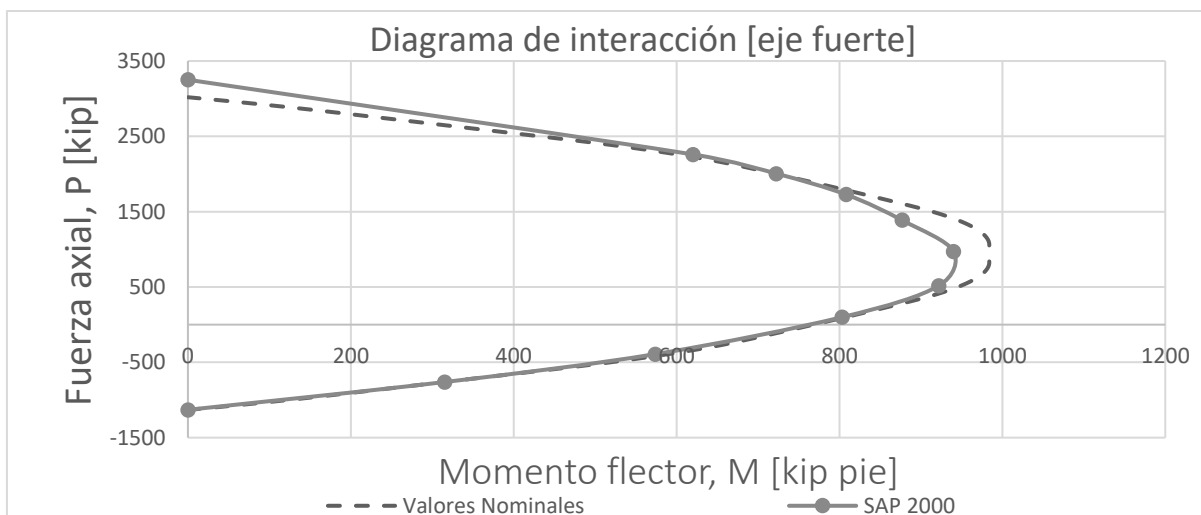
Al no existir referencias de comparación acerca de los diagramas de interacción de columnas compuestas circulares, se estableció a lo largo de todo el trabajo que la metodología utilizada para columnas rectangulares es aplicable para columnas circulares. La diferencia de entre una columna circular y rectangular es la forma en que se calcula el área de concreto y se distribuyen las varillas de refuerzo longitudinal.

El problema de utilizar las ecuaciones de AISC (2005) Design Examples es que son muy específicas. Se encuentran ecuaciones disponibles para únicamente ocho varillas en el eje fuerte y seis en el eje débil. La complicación se presenta cuando se necesita cambiar la cantidad de varillas por cuestiones de cumplir requerimientos de separaciones mínimas y porcentaje de área. También se tiene dificultad en el caso que una columna se encuentre a flexo-compresión biaxial debido a que no se encuentran las ecuaciones para ambos ejes para una misma sección. La metodología presentada por el autor considera cinco posibles combinaciones de varillas en una sección rectangular y cuatro en una sección circular. Es posible aplicar la metodología de sumar y restar áreas más simples para un tipo de columna que no está considerada por AISC (2005). La metodología presentada por el autor es mucho más práctica, más simple de entender, abarca mayor cantidad de refuerzo, considera otro tipo de secciones y se encuentra automatizada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Las secciones que se utilizaron para comprobar la metodología propuesta por el autor con las del documento Design Examples, se ingresaron al software SAP 2000 versión 19. Después de dibujar la sección en el programa de SAP 2000, se exportaron los resultados de los diagramas de interacción en Microsoft Excel. El resultado es el siguiente: (en la parte de ANEXOS se encuentran las secciones y diagramas de interacción ingresados en SAP2000).

Para el caso de la sección rectangular eje fuerte:

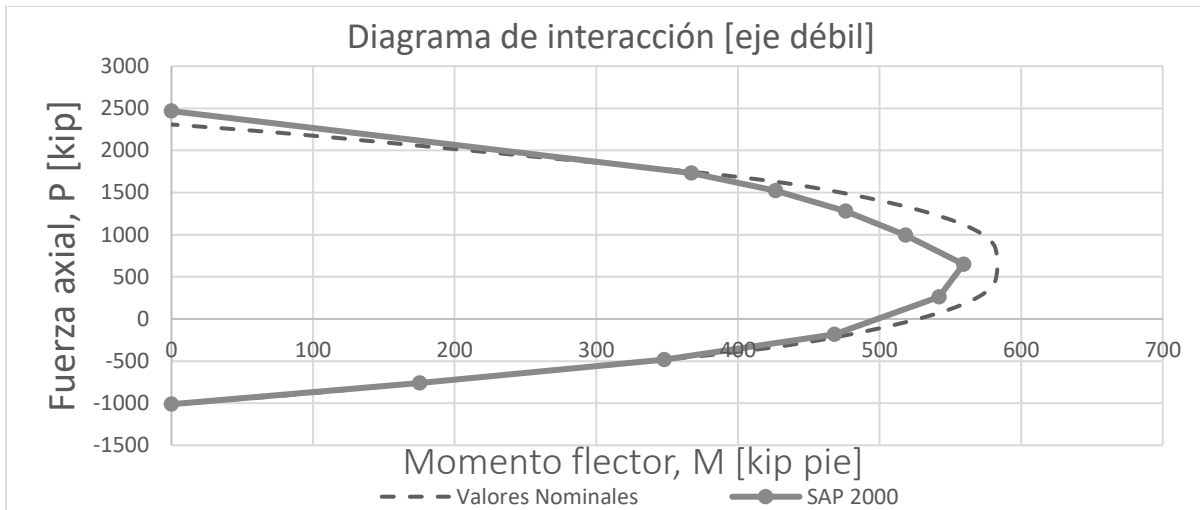
Ilustración 356: Comparación con programa SAP 2000 eje fuerte sección rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso de la sección rectangular eje débil:

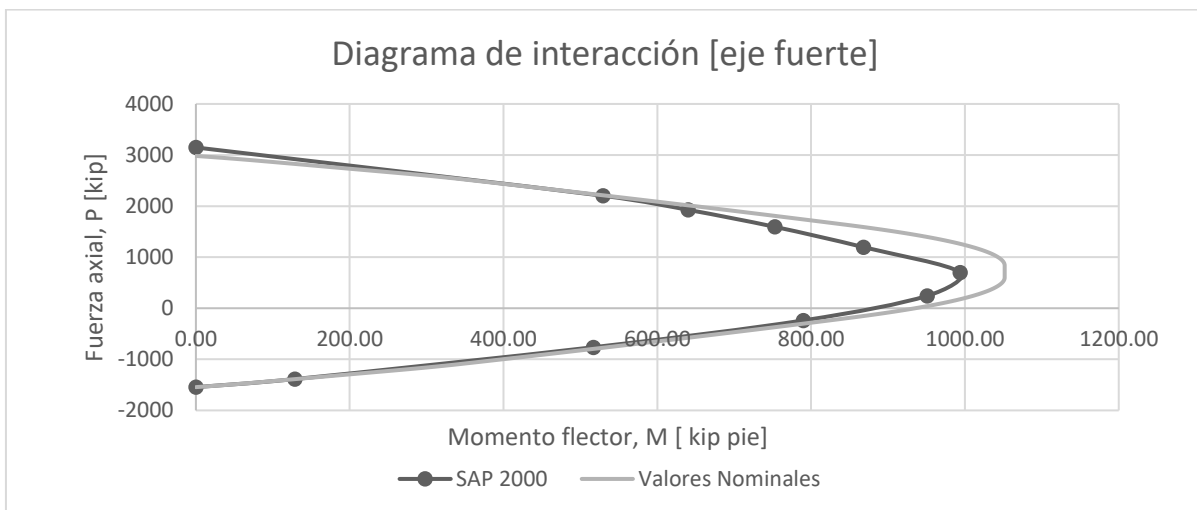
Ilustración 357: Comparación con programa SAP 2000 sección eje débil rectangular



Fuente: elaboración propia (2018)

Para el caso de la sección circular eje fuerte:

Ilustración 358: Comparación con programa SAP 2000 sección circular eje fuerte



Fuente: elaboración propia (2018)

De las gráficas anteriores se observa que los resultados que presenta la metodología propuesta por el autor coinciden con los resultados del software SAP2000. Los diagramas de interacción obtenidos del software SAP 2000 tienen la misma tendencia que los diagramas de interacción realizados por el autor. La parte de tensión de ambos diagramas

de interacción coinciden en la mayoría de los puntos. El momento plástico en cada una de las tres gráficas anteriores no presenta variación significativa en ambas metodologías. En la parte a compresión en cada una de las gráficas anteriores, se observa mayor variación en los datos de momento y fuerza axial. En los valores donde el momento flector es pequeño se encontró coincidencia en el comportamiento del diagrama de interacción de ambas metodologías. Entre las principales razones de la variación en los datos es en aproximaciones de las medidas del perfil, sección de concreto y varillas de refuerzo. La metodología propuesta por el autor considera que las varillas de refuerzo longitudinal actúan, en compresión como en tensión, como un punto. Al ser un área muy pequeña comparada con el perfil y la sección de concreto, no se consideró la variación de esfuerzos a lo largo del área de cada varilla de refuerzo. El software SAP 2000 muestra en total diez puntos para formar el diagrama de interacción. Nuevamente existe incertidumbre en el comportamiento de la sección al contar con un poco cantidad de puntos. Por otra parte, para realizar los diagramas de interacción en SAP2000 se utilizaron en total doscientas fibras para cada sección. Aumentar la cantidad de fibras, significaría una mayor precisión en los resultados.

VII. CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó que los diagramas de interacción realizados con la metodología propuesta por el autor coinciden con los diagramas de interacción del código documento Design Examples de AISC (2005).
- ✓ Se estableció que los diagramas de interacción realizados por el autor presentan la misma tendencia que los diagramas de interacción realizados por el software SAP2000.
- ✓ Se explicó gráficamente, con diagramas de flujo y con procedimiento en Microsoft Excel la forma de realizar hojas de cálculo que grafiquen los diagramas de interacción de perfiles W embebidos en secciones rectangulares y circulares de concreto reforzado.
- ✓ Se utilizó la distribución de esfuerzos plásticos y la suma y resta de áreas más simples para formar el área de cada material y encontrar la combinación de fuerza y momento para varios ejes neutros, para posteriormente realizar los diagramas de interacción de perfiles W embebidos en secciones circulares y rectangulares de concreto reforzado.
- ✓ La metodología del autor es aplicable para secciones rectangulares y circulares, para cualquier perfil, para los ejes principales “X” y “Y”, para una combinación de cuatro, seis, ocho, diez y doce varillas de refuerzo en una sección rectangular y una combinación de seis, ocho, diez y doce varillas de refuerzo en una sección circular.
- ✓ En los programas se incluyen los requerimientos de código y relación de demanda/capacidad que deben cumplir una columna de perfil W embebido en concreto reforzado.
- ✓ Con la realización del programa en Microsoft Excel se estableció una metodología práctica, sencilla y automatizada para el desarrollo de diagramas de interacción de columnas compuestas rectangulares y circulares doblemente simétricas.

VIII. RECOMENDACIONES

- ✓ Para futuros trabajos de graduación se recomienda utilizar la metodología de sumar y restar áreas de figuras más simples para formar una sección compuesta para columnas HSS rectangulares o circulares rellenas de concreto.
- ✓ Aplicar el concepto de distribución de esfuerzos plásticos para el desarrollo de diagramas de interacción de columnas de perfil HSS rectangular y circular rellenos de concreto.
- ✓ Para el lector se recomienda desarrollar los diagramas de interacción de perfil W embebido en concreto reforzado utilizando la metodología de compatibilidad de deformaciones y comparar ambos resultados.
- ✓ Se recomienda que el lector utilice una combinación más amplia de refuerzo longitudinal en las secciones rectangulares y circulares manteniendo los límites de porcentaje de área de AISC (2010).
- ✓ Para futuros trabajos de graduación se recomienda realizar diagramas de interacción utilizando secciones compuestas doblemente simétricas de perfiles W parcialmente embebidos en concreto reforzado con las metodologías propuestas.
- ✓ Realizar diagramas de interacción para perfiles W armadas [built-up members] mediante soldadura para formar diferentes figuras de perfil embebido en concreto reforzado.
- ✓ Se recomienda que el usuario se vea en la libertad de utilizar las herramientas y comandos de Microsoft Excel que conozca para mejorar la metodología de desarrollo de diagramas de interacción, seleccionar propiedades o realizar cálculos.

IX. REFERENCIAS

American Institute of Steel Construction. (2005). Design Examples. (Version 13.1). Chicago. United States.

American Institute of Steel Construction. (2010). Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, United States.

American Institute of Steel Construction. (1992). Steel Design Guide Series 6: Load and Resistance Factor Design of W-Shape Encased in Concrete. Houston, Texas, United States.

Bórquez, H. (2014). Factores de Resistencia para el Diseño de Elementos de Sección Compuesta de Acuerdo con las NTCEM. Tesis Inédita, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Carrasco, S. (2010). Recomendaciones de diseño de columnas compuestas de acero-hormigón sometidas a esfuerzos básicos. Tesis Inédita, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Carrillo, O. (2010). Guía para elaboración de diagramas de interacción para el cálculo del refuerzo longitudinal de columnas con secciones rectangulares y circulares empleando Microsoft Excel. Tesis Inédita, Universidad Rafael Landívar, Nueva Guatemala de la Asunción, Guatemala.

Castellanos, S. (2013). Análisis de secciones compuestas mediante elemento finito. Tesis Inédita, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Cevallos, K. (2017). Diseño de una edificación de dos pisos con estructura metálica, utilizando vigas y columnas compuestas (acero – concreto). Tesis Inédita, Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Chen, W. y Richard, J. (2002) The Civil Engineer Handbook. (2ª ed.) CRC Press. Estados Unidos.

Denavit, M. (2012). Characterization of behavior of steel-concrete composite members and frames with applications for design. University of Illinois at Urbana-Champaign. Urbana, Illinois.

Leet, K. (1991). Reinforced Concrete Design. (2ª ed.) McGraw-Hill, Inc. Estados Unidos

Nawy, E. (1988). Concreto reforzado, un enfoque básico. (Trad. F. Fournier). Ciudad de México. Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica S. A. (Original publicado en 1985)

Nilson, A. (1999). Diseño de estructuras de concreto. (trad. L. Yamín). (12ª. ed.) McGraw-Hill Interamericana, S. A.: Edita.

Pineda, M. (2005). Diseño de elementos estructurales de sección compuesta con LRFD. Tesis Inédita, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F.

Ramírez, T. Mendoza, M. Hernández, A. y Valdés, J. (2012). Diagramas de interacción para columnas de sección compuesta. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Segui, William. (2013). Steel Design. (5ª Ed). Cengage Learning. Estados Unidos.

Silva, D. (2007). Programa para el diseño de columnas compuestas sujetas a flexo-compresión biaxial por los métodos LRFD, ACI y Euro Código 3. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Vidriales, D. Diseño de columnas compuestas según AISC 2010. Instituto Técnico Nacional. Ciudad de México.

Wight, J. MacGregor, J. (2009). Reinforced Concrete. Mechanics and Design. (6ª ed). Pearson Education, Inc. New Jersey.

Zill, D. y Wright, W. (2001). Cálculo, trascendentes tempranas. (Trad. H. Villagómez. y G. Nagore). (4ª ed). McGraw-Hill/Interamericana de Editores, S. A. de C. V. México D. F.

X. ANEXOS

Graficas AISC (2005) documento Design Examples

Las gráficas utilizadas en la discusión de resultados se realizan en base al documento Design Examples. Para determinar los valores de momento y fuerza axial se utilizarán las ecuaciones del documento Design Examples. Los diagramas de interacción se realizarán igualmente en Microsoft Excel. La hoja de cálculo contiene los siguientes apartados:

Ilustración 359: Ejemplo columna compuesta documento Design Examples eje fuerte

Sección de concreto			
Esfuerzo de compresión [f'c]	5	ksi	
Módulo de elasticidad [Ec]	3900	ksi	
Altura [H]	24	pulg	
Base [B]	24	pulg	
Inercia "X" [Icx]	26858	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Icy]	27052	pulg ⁴	
Módulo de sección [Zx]	3345		
Módulo de sección [Zy]	3379		
Área de concreto [Ac]	554.95	pulg ²	

Varillas de refuerzo longitudinal			
Esfuerzo de fluencia [fysr]	60	ksi	
Cantidad de varillas	8		
Número de varilla	9		
Área de la Varilla	1.00	pulg ²	
Área de refuerzo [Asr]	8.00	pulg ²	
Inercia "X" [Isrx]	542.14	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Isry]	542.14	pulg ⁴	
Módulo de sección [Zx]	57.00	pulg ³	
Módulo de sección [Zy]	57.00		
Separación entre varillas "Y"	9.50	pulg	Cumple
Separación entre varillas "X"	9.50	pulg	Cumple
Recubrimiento	2.5	pulg	
Porcentaje del área gruesa	1%		Cumple

Perfil de acero			
Módulo de elasticidad [Es]	29000	ksi	
Peralte	W_10		
Perfil	W10X45		
Esfuerzo de fluencia [Fy]	50	ksi	
Altura [D]	10.1	in	
Ancho del patín [Bf]	8.02	in	
Espesor del alma [tw]	0.35	in	
Espesor del patín [tf]	0.62	in	
Inercia "X" [Isx]	248	pulg ⁴	
Inercia "Y" [Isy]	53	pulg ⁴	
Módulo de sección [Zx]	54.0		
Módulo de sección [Zy]	20.3		
Área práctica [As]	13.05	pulg ²	
Medida base patín - borde [T]	6.95	pulg	Cumple
Medida altura alma - borde [x]	11.83	pulg	
Medida altura patín - borde [T']	7.99	pulg	Cumple
Porcentaje del área gruesa	2.3%		Cumple

Fuente: elaboración propia (2018)

En esta metodología se debe determinar el módulo de sección del concreto, de las varillas de refuerzo y del perfil de acero en ambos ejes. El módulo de sección se determina respecto al eje centroidal de la figura.

La forma de determinar la carga axial a compresión máxima que considera los efectos de esbeltez para la metodología propuesta por el autor es la misma para el cálculo del documento Design Examples.

El esquema es el siguiente:

Ilustración 360: Carga axial máxima documento Design Examples eje fuerte

Cálculos efectuados			
Eje fuerte	Longitud libre	14	pie
	Factor de longitud efectiva	1	
	Coefficiente rigidez efectiva	0.146	
	Rigidez efectiva	3.0E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	10609.2	kip
Eje débil	Longitud libre	14	pie
	Factor de longitud efectiva	1	
	Coefficiente rigidez efectiva	0.146	
	Rigidez efectiva	2.5E+07	kip pulg ²
	Carga crítica de Euler	8674.5	kip
	Carga axial, P _{no}	3490.8	kip
	Carga máxima de diseño	2949.7	kip

Fuente: elaboración propia (2018)

Para determinar el valor donde se ubica el eje neutro, se deben evaluar tres condiciones. La condición que cumple con los requerimientos es donde se ubica el eje neutro. Las ecuaciones se encuentran en la sección "I" del documento Design Examples. Las ecuaciones se tabulan de la siguiente manera:

Ilustración 361: Condiciones ecuaciones Design Examples eje fuerte

Momento plástico "X"	810.28	kip pie		
		hn	Z _{sn}	Z _{cn}
Condición 1	No Cumple	7.85	21.56	1456.70
Condición 2	Cumple	4.96247	46.98	544.05
Condición 3	No Cumple	4.30	54.01	390.48

Fuente: elaboración propia (2018)

Con el valor de h_n y los respectivos módulos de sección de cada material, se puede determinar los momentos en cada punto necesario:

Ilustración 362: Puntos diagrama de interacción documento Design Examples eje fuerte

Punto	Valor de C	Fuerza [kip]	Momento [kip pie]
E	0.000	-1132.29	0
B	7.038	0.00	810.29
D	12.000	1179.28	1102.37
C	16.962	2358.56	810.29
A	24.000	3490.85	0.00

Fuente: elaboración propia (2018)

Se realiza la gráfica con los valores de P y M para cada punto. Se tiene como límite la carga máxima de diseño que se incluye en la gráfica. (Ver gráfica 13).

En el caso del eje débil los datos se ingresan de la siguiente manera:

Ilustración 363: Ejemplo columna compuesta documento Design Examples eje débil

Sección de Concreto			
Esfuerzo de compresión [f'_c]	4	ksi	
Módulo de elasticidad [E_c]	3900	ksi	
Altura [H]	20	pulg	
Base [B]	20	pulg	
Inercia "X" [I_{cx}]	12733	pulg ⁴	
Inercia "Y" [I_{cy}]	12752	pulg ⁴	
Módulo de sección [Z _x]	1876		
Módulo de sección [Z _y]	1910		
Área de concreto [A_c]	377.6	pulg ²	

Varillas de Refuerzo Longitudinal			
Esfuerzo de Fluencia [f_{ysr}]	60	ksi	
Cantidad de Varillas	6		
Número de Varilla	11		
Área de la Varilla	1.56	pulg ²	
Área de refuerzo [A_{sr}]	9.36	pulg ²	
Inercia "X" [I_{srx}]	352.16	pulg ⁴	
Inercia "Y" [I_{sry}]	527.66	pulg ⁴	
Módulo de Sección [Z _x]	70.20	pulg ³	
Módulo de Sección [Z _y]	70.20	pulg ³	
Separación entre Varillas "Y"	7.50	pulg	
Separación entre Varillas "X"	15.00	pulg	
Recubrimiento	2.5	pulg	
Porcentaje del área gruesa	2%		Cumple

Perfil de Acero			
Módulo de Elasticidad [E_s]	29000	ksi	
Peralte	W_10		
Perfil	W10X45		
Esfuerzo de Fluencia [F_y]	50	ksi	
Altura [D]	10.1	in	
Ancho del Patín [B _f]	8.02	in	
Espesor del Alma [t _w]	0.35	in	
Espesor del Patín [t _f]	0.62	in	
Inercia "X" [I_{sx}]	248	pulg ⁴	
Inercia "Y" [I_{sy}]	53	pulg ⁴	
Módulo de Sección [Z _x]	54.0		
Módulo de Sección [Z _y]	20.2		
Área práctica [A_s]	13.05	pulg ²	
Medida base patín - borde [T]	4.95	pulg	Cumple
Medida altura alma - borde [x]	9.83	pulg	
Medida altura patín - borde [T']	5.99	pulg	Cumple
Porcentaje del área gruesa	3.3%		Cumple

Fuente: elaboración propia (2018)

En las imágenes anteriores se separa la columna compuesta en cada uno de los materiales. Se incluye el módulo de sección de cada uno de los materiales.

La forma de determinar la carga axial máxima de diseño se calcula en la siguiente tabla.

Ilustración 364: Determinación carga axial máxima documento Design Examples eje débil

Cálculos Efectuados			
Eje Fuerte	Longitud Libre	14	pie
	Factor de Longitud Efectiva	1	
	Coeficiente Rigidez Efectiva	0.167	
	Rigidez Efectiva	2.1E+07	kip pulg ²
	Carga Crítica de Euler	7197.0	kip
Eje Débil	Longitud Libre	14	pie
	Factor de Longitud Efectiva	1	
	Coeficiente Rigidez Efectiva	0.167	
	Rigidez Efectiva	1.7E+07	kip pulg ²
	Carga Crítica de Euler	6117.8	kip
	Carga Axial, Pno	2497.7	kip
	Carga Máxima de Diseño	2105.4	kip

Momento plástico "Y"	650.90	kip pie
----------------------	--------	---------

Zce	301.391339
-----	------------

Fuente: elaboración propia (2018)

Para determinar el valor donde se ubica el eje neutro, se deben evaluar dos condiciones. La condición que cumple con los requerimientos es donde se ubica el eje neutro. Las ecuaciones se encuentran en la sección "I" del documento Design Examples. Las ecuaciones se tabulan de la siguiente manera:

Ilustración 365: Condiciones ecuaciones Design Examples eje débil

		hn	Zsn	Zcn
Condición 1	Cumple	2.62	8.88	128.49
Condición 2	No Cumple	0.17	20.30	-19.70

Zce	301.302
-----	---------

Fuente: elaboración propia (2018)

Con el valor de h_n y los respectivos módulos de sección de cada material, se puede determinar los momentos en cada punto necesario:

Ilustración 366: Puntos del diagrama de interacción documento Design Examples eje débil

Punto	Valor de C	Fuerza [kip]	Momento [kip pie]
E	0.000	-1213.89	0.00
B	7.379	0.00	650.90
D	10.000	641.91	705.74
C	12.621	1283.82	650.90
A	20.000	2497.71	0.00

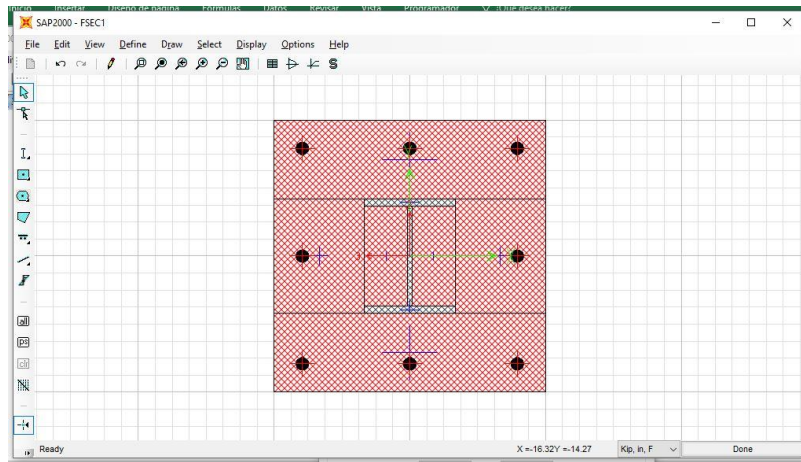
Fuente: elaboración propia (2018)

Se realiza la gráfica con los valores de P y M para cada punto. Se tiene como limite la carga máxima de diseño que se incluye en la gráfica. (Ver gráfica 14).

Diagramas de Interacción SAP 2000:

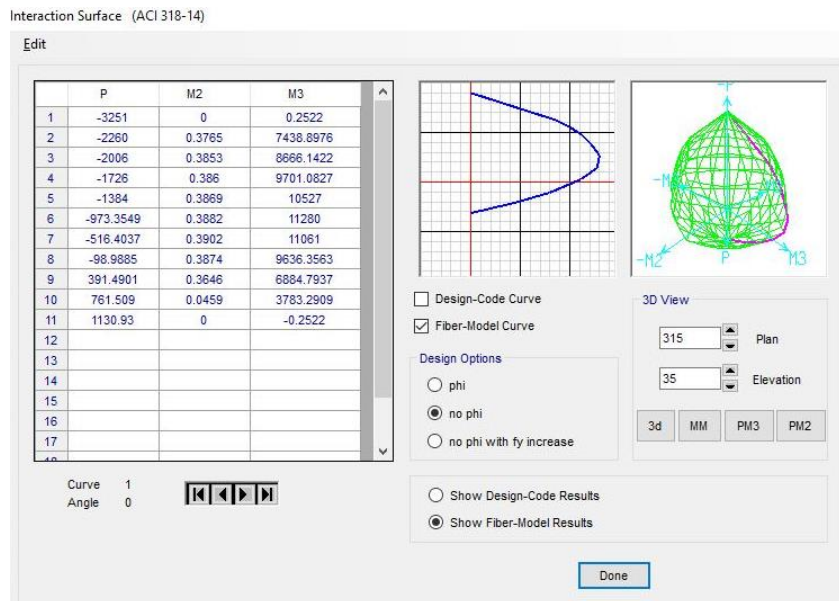
En la parte de Section Designer se dibuja la sección compuesta que se desea analizar. En el presente trabajo se ingresaron tres secciones diferentes. Las secciones ingresadas son las que se utilizaron en las gráficas del documento Design Examples de AISC (2005). En la barra de herramientas se selecciona la opción "Interaction". La ventana que aparece se selecciona análisis por fibras y valores sin factor de reducción. Las secciones ingresadas en SAP2000 y el respectivo diagrama de interacción se muestran en las siguientes imágenes.

Ilustración 367: Sección rectangular eje fuerte ingresada en SAP 2000



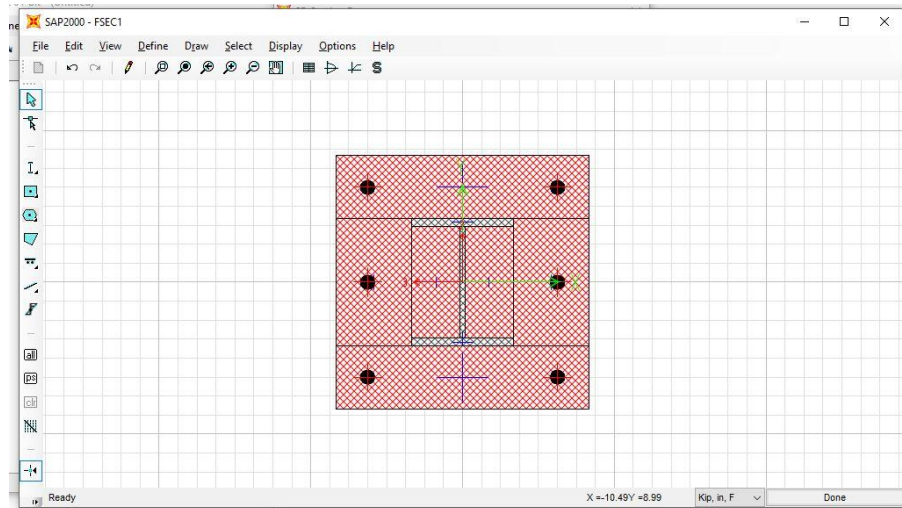
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 368: Diagrama de interacción sección rectangular eje fuerte SAP2000



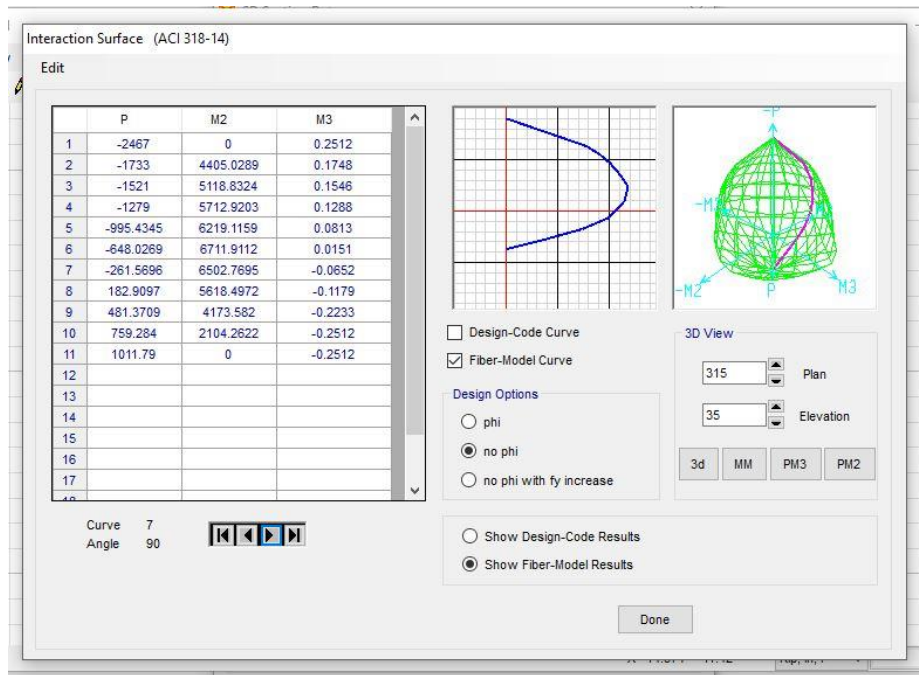
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 369: Sección rectangular eje débil ingresada en SAP 2000



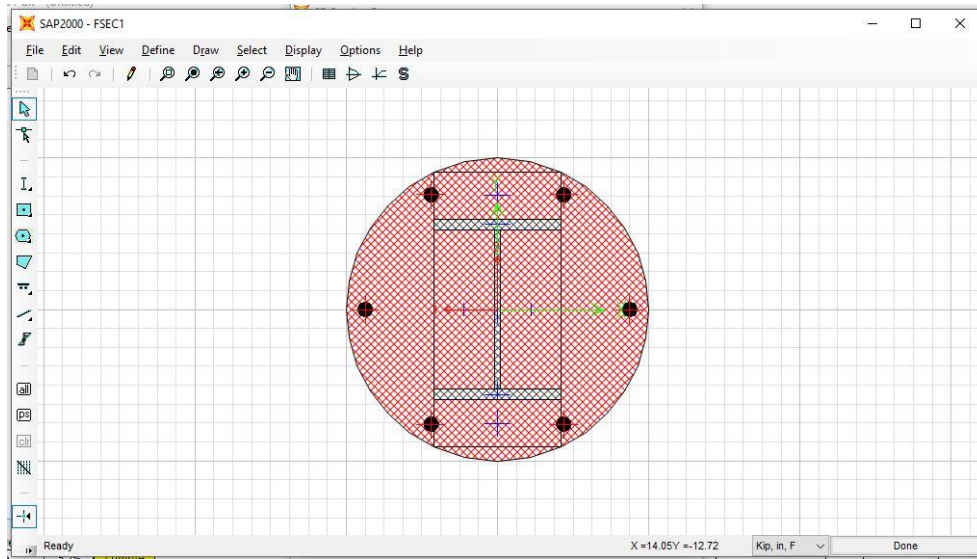
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 370: Diagrama de interacción sección rectangular eje débil SAP2000



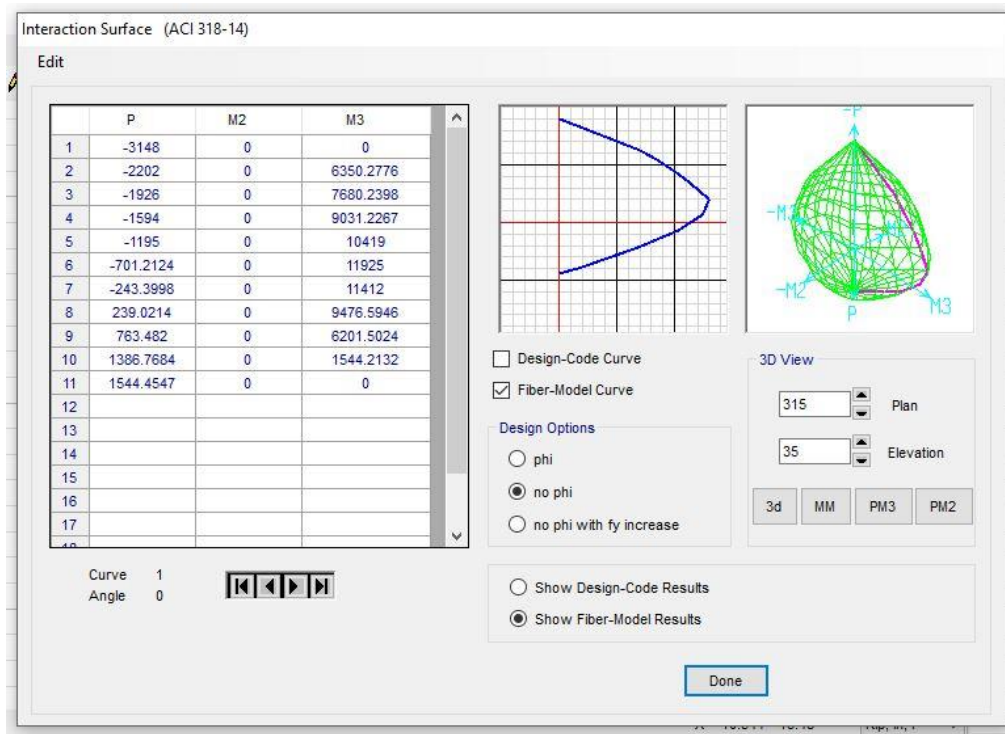
Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 371: Sección circular eje fuerte ingresada en SAP 2000



Fuente: elaboración propia (2018)

Ilustración 372: Diagrama de interacción sección circular eje fuerte SAP2000



Fuente: elaboración propia (2018)

GLOSARIO

- **Adherencia:** es la resistencia entre la superficie de contacto entre dos elementos cuando se desliza uno respecto al otro.
- **Brazo:** es la distancia entre la aplicación de una fuerza y el punto de referencia respecto al que se aplica.
- **Centroide:** es el punto de una sección en el que se puede concentrar toda el área de la misma.
- **Corrosión:** es la destrucción progresiva de un sólido por acción que inicia en su superficie. Provoca pérdida de resistencia, ductilidad y otras propiedades físicas y mecánicas.
- **Deformación:** es el cambio significativo o no que ocurre en un elemento debido a la aplicación de una carga.
- **Diagrama de flujo:** es la representación gráfica de una serie de operaciones o procedimientos.
- **Ductilidad:** es la propiedad que tiene un material de presentar grandes deformaciones antes de su ruptura. Este material tiene un módulo de elasticidad grande.
- **Elastoplástico:** es aquel material que tiene un comportamiento elástico lineal para pequeñas deformaciones y presenta un comportamiento plástico a partir de cierto límite. Estos materiales tienen un punto de fluencia bien definidos.
- **Flexión:** dobléz que sufren los elementos por la acción de una fuerza perpendicular a su eje longitudinal.
- **Frágil:** es el comportamiento de un material de no presentar deformaciones notables antes de su punto de ruptura. El módulo de elasticidad es pequeño.
- **Homogéneo:** es aquel material que tiene las mismas propiedades físicas y mecánicas en todas las partes de su volumen.
- **Isotrópico:** es aquel material en que sus propiedades son iguales en todas sus direcciones.
- **Módulo de elasticidad:** es una propiedad del material. Es la pendiente de la recta del diagrama esfuerzo deformación.

- **Momento:** es la resultante de la multiplicación de la fuerza aplicada sobre un punto por su distancia.
- **Inercia:** es la capacidad que tiene una sección de oponerse a la rotación respecto a un eje.
- **Pandeo:** es una condición de falla por inestabilidad que produce una deflexión lateral de un elemento sometido a compresión.
- **Propiedad mecánica:** son todas aquellas propiedades que determinan el comportamiento de los materiales bajo la aplicación de cargas.