

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



INFORME DE TESIS

**“ENSAYOS COMPARATIVOS DE TRACCION EN
CONEXIONES METALICAS ATORNILLADAS DE ACERO
ESTRUCTURAL”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Miguel Ángel, SORIA TICONA

Bach. Rogger Marcial, GUILLERMO FLORES

TACNA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

**“ENSAYOS COMPARATIVOS DE TRACCION EN
CONEXIONES METALICAS ATORNILLADAS DE ACERO
ESTRUCTURAL”**

Tesis sustentada y aprobada el 13 de junio de 2019; estando el jurado calificador integrado por:

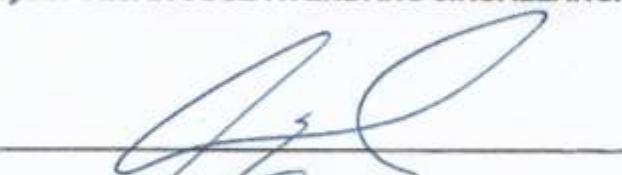
PRESIDENTE:


Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

SECRETARIO:


Mtro. CESAR JOSE AVENDAÑO JIHUALLANGA

VOCAL:


Mtro. ERICK FREDY CALDERON LOZANO

ASESOR:


Mtro. WILBER PERCY MENDOZA RAMIREZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Soria Ticona, Miguel Ángel identificado con DNI N° 00509345 y Guillermo Flores, Rogger Marcial identificado con DNI N° 42115040, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.

Declaramos bajo juramento:

1. Ser autores de la tesis titulada:

“Ensayos comparativos de tracción en conexiones metálicas atornilladas de acero estructural”.

La misma que presentamos para optar:

El Título profesional de Ingeniero Civil.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, Junio de 2019.



Miguel Ángel Soria Ticona

DNI: 00509345



Rogger Marcial Guillermo Flores

DNI: 42115040

DEDICATORIA:

Dedicamos nuestro trabajo a Dios por demostrarnos que de su mano todo es posible; a nuestras familias, por el apoyo que nos han transmitido, para lograr nuestras metas.

Los Autores

AGRADECIMIENTO

Primeramente, nos gustaría agradecer a Dios, por poder alcanzar esta meta. A la UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA por habernos dado la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestro asesor de tesis, Mgr. Wilber Mendoza, por su tiempo, esfuerzo, dedicación quien, con sus conocimientos, su experiencia y su motivación ha logrado que podamos terminar nuestra tesis con éxito. También nos gustaría agradecer a los docentes durante toda la carrera profesional porque todos han aportado en nuestra formación, y en especial a la Ing. Dina Cotrado Flores, Ing. José Acero Martínez por sus consejos, su enseñanza. Al Tco. de laboratorio de la Universidad privada de Tacna, Miguel Martínez y Tco Claros Flores Castro, por su gran apoyo en la realización de nuestros ensayos de tracción.

Han sido muchas las personas que forman parte de nuestra vida profesional a las que les agradecemos por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos difíciles de nuestras vidas. Algunas están aquí y otras se les lleva en los recuerdos y en el corazón, sin importar en donde estén queremos darles las gracias por formar parte de nuestras vidas, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los colme de bendiciones.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Página de jurado	ii
Página de declaración de originalidad	iii
Página de dedicatoria	v
Página de agradecimiento	vi
Página de contenido	vii
Resumen y palabras claves	xiv
Abstract & key words	xv
Introducción	xvi

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema	01
1.1.1. Variable de Investigación	01
1.2. Formulación del Problema	02
1.2.1. Interrogante General	02
1.2.2. Interrogantes Específicas	02
1.3. Justificación e Importancia	02
1.4. Objetivos	03
1.4.1. Objetivo General	03
1.4.2. Objetivos Específicos	03
1.5. Hipótesis	03
1.5.1. Hipótesis General	03
1.5.2. Hipótesis Específicos	03

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio	04
2.2. Bases Teóricas	04
2.2.1. Placas de Acero	04
2.2.2. Pernos de alta resistencia	06
2.2.3. Ventajas de los pernos de alta resistencia	06

2.2.4. Especificaciones estándar	07
2.2.5. Factor de resistencia \emptyset	07
2.2.6. Area Total (Ag, Gross Area)	08
2.2.7. Area Neta (An, Net Area)	08
2.2.8. Cadena de huecos	08
2.2.9. Área neta efectiva para miembros en tracción	09
2.2.10. Factor de corte diferido para miembros atornillados	11
2.2.11. Resistencia de diseño de elementos de conexión en tracción	11
2.2.12. Diseño de conexiones	12
2.2.13. Longitudes de pernos	14
2.2.14. Revisión por aplastamiento	15
2.2.15. Resistencia de diseño en tracción o corte de pernos	19
2.3. Definición de Términos	22

CAPITULO III:

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la Investigación	23
3.1.1. Tipo de Investigación	23
3.1.2. Diseño de la Investigación	23
3.2. Población y/o muestra de estudio	23
3.2.1. Población de estudio	23
3.2.2. Muestra de estudio	23
3.3. Operacionalización de Variables	23
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	24
3.5. Procesamiento y Análisis de datos	25
3.5.1. Análisis de cadena critica	25
3.5.2. Análisis y diseño de conexiones metálicas	30

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de ensayos a tracción	180
4.1.1. Resultados de ensayos M-1, M-2 y M-3	180
4.1.2. Resultados de ensayos M-4, M-5 y M-6	181

4.1.3. Resultados de ensayos M-7, M-8 y M-9	182
4.1.4. Resultados de ensayos M-10, M-11 y M-12	183
4.1.5. Resultados de ensayos M-13, M-14 y M-15	183
4.1.6. Resultados de ensayos M-16, M-17 y M-18	184
4.1.7. Resultados de ensayos M-19, M-20 y M-21	185
4.1.8. Resultados de ensayos M-22, M-23 y M-24	186
4.1.9. Resultados de ensayos M-25, M-26 y M-27	187
4.1.10. Resultados de ensayos M-28, M-29 y M-30	187
4.1.11. Resultados de ensayos M-31, M-32 y M-33	188
4.1.12. Resultados de ensayos M-34, M-35 y M-36	189
4.1.13. Resultados de ensayos M-37, M-38 y M-39	190
4.1.14. Resultados de ensayos M-40, M-41 y M-42	190
4.1.15. Resultados de ensayos M-43, M-44 y M-45	191
4.1.16. Resultados de ensayos M-46, M-47 y M-48	192
4.1.17. Resultados de ensayos M-49, M-50 y M-51	194
4.1.18. Resultados de ensayos M-52, M-53 y M-54	193
4.1.19. Resultados de ensayos M-55, M-56 y M-57	194
4.1.20. Resultados de ensayos M-58, M-59 y M-60	195
4.1.21. Resultados de ensayos M-61, M-62 y M-63	196
4.1.22. Resultados de ensayos M-64, M-65 y M-66	196
4.1.23. Resultados de ensayos M-67, M-68 y M-69	197
4.1.24. Resultados de ensayos M-70, M-71 y M-72	198
4.1.25. Resultados de ensayos M-73, M-74 y M-75	199
4.1.26. Resultados de ensayos M-76, M-77 y M-78	199
4.1.27. Resultados de ensayos M-79, M-80 y M-81	200
4.1.28. Resultados de ensayos M-82, M-83 y M-84	201
4.1.29. Resultados de ensayos M-85, M-86 y M-87	202
4.1.30. Resultados de ensayos M-88, M-89 y M-90	203

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de ensayos M-1, M-2 y M-3	204
5.2. Análisis de ensayos M-4, M-5 y M-6	204

5.3. Análisis de ensayos M-7, M-8 y M-9	205
5.4. Análisis de ensayos M-10, M-11 y M-12	206
5.5. Análisis de ensayos M-13, M-14 y M-15	206
5.6. Análisis de ensayos M-16, M-17 y M-18	207
5.7. Análisis de ensayos M-19, M-20 y M-21	208
5.8. Análisis de ensayos M-22, M-23 y M-24	208
5.9. Análisis de ensayos M-25, M-26 y M-27	209
5.10. Análisis de ensayos M-28, M-29 y M-30	210
5.11. Análisis de ensayos M-31, M-32 y M-33	210
5.12. Análisis de ensayos M-34, M-35 y M-36	211
5.13. Análisis de ensayos M-37, M-38 y M-39	212
5.14. Análisis de ensayos M-40, M-41 y M-42	212
5.15. Análisis de ensayos M-43, M-44 y M-45	213
5.16. Análisis de ensayos M-46, M-47 y M-48	214
5.17. Análisis de ensayos M-49, M-50 y M-51	214
5.18. Análisis de ensayos M-52, M-53 y M-54	215
5.19. Análisis de ensayos M-55, M-56 y M-57	216
5.20. Análisis de ensayos M-58, M-59 y M-60	216
5.21. Análisis de ensayos M-61, M-62 y M-63	217
5.22. Análisis de ensayos M-64, M-65 y M-66	218
5.23. Análisis de ensayos M-67, M-68 y M-69	218
5.24. Análisis de ensayos M-70, M-71 y M-72	219
5.25. Análisis de ensayos M-73, M-74 y M-75	220
5.26. Análisis de ensayos M-76, M-77 y M-78	220
5.27. Análisis de ensayos M-79, M-80 y M-81	221
5.28. Análisis de ensayos M-82, M-83 y M-84	222
5.29. Análisis de ensayos M-85, M-86 y M-87	222
5.30. Análisis de ensayos M-88, M-89 y M-90	223

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	225
Recomendaciones	227
Referencias bibliográficas	228

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tabla J3.3 del ANSI/AISC	13
Tabla 2.2: Dimensiones de Agujero Nominal (mm)	13
Tabla 2.3: Distancia mínima al borde desde centro de agujero (plg.)	14
Tabla 2.4: Distancia mínima al borde desde centro de agujero (mm.)	14
Tabla 2.5: Longitudes de pernos	15
Tabla 2.6: Resistencia nominal para pernos y piezas roscadas ksi(mpa)	21
Tabla 3.1: Operacionalización de Variables	24

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Distribución de Esfuerzos por Retraso de Cortante	10
FIGURA 2.2: Aplastamiento -Fuente: Clavijo Rodríguez	16
FIGURA 2.3: Desgarramiento -Fuente: Clavijo Rodríguez	16
FIGURA 2.4: Tipos de Corte-Fuente: LRFD	19
FIGURA 3.1: Análisis de cadena crítica conexión tipo 1	25
FIGURA 3.2: Análisis de cadena crítica conexión tipo 2	26
FIGURA 3.3: Análisis de cadena crítica conexión tipo 3	27
FIGURA 3.4: Análisis de cadena crítica conexión tipo 4	28
FIGURA 3.5: Análisis de cadena crítica conexión tipo 5	29
FIGURA 4.1: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/8"(M-1, M-2 y M-3)	180
FIGURA 4.2: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/8"(M-4, M-5 y M-6)	181
FIGURA 4.3: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/8"(M-7, M-8 y M-9)	182
FIGURA 4.4: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/8"(M-10, M-11 y M-12)	183
FIGURA 4.5: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/8"(M-13, M-14 y M-15)	183
FIGURA 4.6: Probetas ensayadas de acero A36 E=3/16"(M-16, M-17yM-18)	184

FIGURA 4.7: Probetas ensayadas de acero A36 E=3/16”(M-19, M-20yM-21)	185
FIGURA 4.8: Probetas ensayadas de acero A36 E=3/16”(M-22, M-23yM-24)	186
FIGURA 4.9: Probetas ensayadas de acero A36 E=3/16”(M-25, M-26yM-27)	187
FIGURA 4.10: Probetas ensayadas de acero A36 E=3/16”(M-28, M-29yM-30)	187
FIGURA 4.11: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/4”(M-31, M-32yM-33)	188
FIGURA 4.12: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/4”(M-34, M-35yM-36)	189
FIGURA 4.13: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/4”(M-37, M-38yM-39)	190
FIGURA 4.14: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/4”(M-40, M-41yM-42)	190
FIGURA 4.15: Probetas ensayadas de acero A36 E=1/4”(M-43, M-44yM-45)	191
FIGURA 4.16: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/8”(M-46, M-47yM-48)	192
FIGURA 4.17: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/8”(M-49, M-50yM-51)	193
FIGURA 4.18: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/8”(M-52, M-53yM-54)	193
FIGURA 4.19: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/8”(M-55, M-56yM-57)	194
FIGURA 4.20: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/8”(M-58, M-59yM-60)	195
FIGURA 4.21: Probetas ensayadas de acero A50 E=3/16”(M-61, M-62yM-63)	196
FIGURA 4.22: Probetas ensayadas de acero A50 E=3/16”(M-64, M-65yM-66)	196
FIGURA 4.23: Probetas ensayadas de acero A50 E=3/16”(M-67, M-68yM-69)	197
FIGURA 4.24: Probetas ensayadas de acero A50 E=3/16”(M-70, M-71yM-72)	198
FIGURA 4.25: Probetas ensayadas de acero A50 E=3/16”(M-73, M-74yM-75)	199
FIGURA 4.26: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/4”(M-76, M-77yM-78)	199
FIGURA 4.27: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/4”(M-79, M-80yM-81)	200
FIGURA 4.28: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/4”(M-82, M-83yM-84)	201
FIGURA 4.29: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/4”(M-85, M-86yM-87)	202
FIGURA 4.30: Probetas ensayadas de acero A50 E=1/4”(M-88, M-89yM-90)	203

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 01 : Matriz de consistencia
- Anexo 02 : Panel Fotográfico
- Anexo 03 : Tablas de factores de conversión y equivalencias.
- Anexo 04 : Diseño de esfuerzo cortante de conectores, Tablas de tensión nominal, factores de corte diferido(U) según el tipo de conexión.

RESUMEN

El diseño y la fabricación de las conexiones metálicas es uno de los aspectos importantes y más difíciles de resolver en un proyecto conceptualizado con estructuras de acero. Las conexiones deben ser capaces de transmitir cargas axiales, fuerzas cortantes y momentos flexionantes. En ocasiones, las uniones se diseñan para transmitir un solo tipo de acción, pero en otras ocasiones, como cuando se desea establecer continuidad entre la unión de elementos, la unión debe tener capacidad para transmitir una combinación de varios efectos, por ejemplo: esfuerzo cortante y momento flexionante.

Con el presente trabajo se pretende comparar la teoría estructural de falla de conexiones metálicas atornilladas contra los resultados obtenidos en ensayos de tracción realizados en laboratorio. Se empleó acero A-36 y A-50, que fueron utilizados para construir las platinas con zig zag de huecos de diferentes configuraciones, y de esta manera obtener unos resultados más reales para hacer la comparación con la teoría estructural.

Para las probetas de acero A-36, se emplearon tornillos A325. Los diseños nos muestran que en algunas probetas la ruta crítica tiene líneas en zig zag y en otros casos en línea recta. Los ensayos de tracción presentaron resultados con resistencias últimas muy cercanas a las obtenidas teóricamente, con coeficientes de resistencia muy próximos a la unidad.

Para el caso de las probetas de acero A-50, se emplearon tornillos A490, los resultados fueron bastante similares a los de obtenidos para el acero A-36.

PALABRAS CLAVES

Acero A-36, acero A-50, conexión metálica atornillada, ensayo de tracción, probeta, tornillo A325, tornillo A490, zigzag.

ABSTRACT

The design and manufacture of metal connections is one of the most important and difficult aspects to solve in a project conceptualized with steel structures. The connections must be capable of transmitting axial loads, shear forces and bending moments. Sometimes, the joints are designed to convey a single type of action, but at other times, as when you want to establish continuity between the union of elements, the union must have the capacity to transmit a combination of several effects, for example: shear and flexing moment.

With the present work is to compare the structural theory of failure of metallic connections screwed against the results obtained in tensile tests carried out in the laboratory. Steel A-36 and A-50 were used, which were used to build the zig zag plates with holes of different configurations, and in this way obtain more real results to make the comparison with the structural theory.

For the A-36 steel specimens, A325 screws were used. The designs show that in some test tubes the critical path has zig zag lines and in other cases in a straight line. The tensile tests presented results with last resistance very close to the theoretically obtained, with coefficients of resistance very close to the unit.

For the case of the A-50 steel specimens, A490 screws were used, the results were quite similar to those obtained for the A-36 steel.

KEY WORDS

Steel A-36, steel A-50, screwed metal connection, tensile test, specimen, screw A325, screw A490, zig zag.

INTRODUCCIÓN

En las estructuras metálicas las conexiones son muy importantes, dado la relevancia se hizo estudios sobre el tema en el ámbito internacional específicamente en el país vecino de Colombia, se realizaron estudios como de la Ing. SANDRA GARCIA COBAS (2003) llego a concluir que el acero experimentado cumplía con las bases teóricas y se mantenía concordancia con su normativa (NSR-98).

Del mismo modo FABIAN CLAVIJO RODRIGUEZ (2016), realizo un software para el diseño de conexiones en acero de acuerdo a normativas internacionales (AISC) y su normativa (NSR-10).

En el ámbito local o nacional aún no hay un estudio hecho a la fecha, es por ello la presente investigación, para comprender el comportamiento del acero sometido a diferentes solicitaciones y configuraciones de agujeros (zigzag); y revisados con nuestra norma E.090 haciendo una comparativa con la norma AISC/ANSI 360-16.

Este proyecto está dirigido para realizar una serie de experimentos comprobando si falla por fluencia o fractura en la estructura en el acero ASTM A36 - ASTM A572 Grado 50 después de hacer diferentes tipos de conexiones, utilizando pernos de alta resistencia. Se plantea bases teóricas que respalden los estudios, en el marco teórico.

Asimismo, luego de ensayar se hicieron los cálculos justificativos, no sin antes mencionar el manejo de unidades, tanto en el sistema internacional (SI) y el MKS.

En el presente trabajo de investigación desarrollamos los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, presentamos el planteamiento del problema y su formulación, la justificación y los objetivos e hipótesis.

En el Capítulo II, se describe el marco teórico, los antecedentes del estudio, la base teórica y la definición de términos.

En el Capítulo III, describimos el marco metodológico, la forma como se ha desarrollado el presente trabajo de investigación, el procesamiento y el análisis de datos.

En el Capítulo IV, se presentan y describen los resultados de los ensayos de tracción realizados en laboratorio.

En el Capítulo V, se discuten los resultados obtenidos en los ensayos de tracción haciéndose una comparación con lo obtenido en la teoría estructural de conexiones atornilladas.

Posteriormente en las conclusiones y recomendaciones, resumimos lo aprendido y se brindan algunas recomendaciones del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú, durante muchos años la ingeniería civil se ha centrado en realizar estudios de las edificaciones de concreto armado; las estructuras metálicas empiezan a tener un reconocimiento, en estos últimos años las actividades del sector industrial se han incrementado, la inversión de capitales extranjeros como nacionales y su auge en la construcción empieza a crecer.

Durante la etapa de diseño, los ingenieros eligen miembros de tamaño y resistencia adecuados. La ocurrencia de fallas en una estructura se debe usualmente a una falta de atención en los detalles de conexiones, entre otras. Es usual que después de haberse diseñado muy cuidadosamente los miembros importantes de una estructura, se haga una selección arbitraria del tipo de conexión que se empleara, pudiendo no ser de suficiente tamaño o ductibilidad.

En esta tesis analizaremos el verdadero comportamiento de falla en conexiones atornilladas de aceros A-36 y A-50. Las conexiones tienen diferentes disposiciones de tornillos, lo cual será explicado posteriormente. Las conclusiones son obtenidas como resultado de la realización de ensayos de tracción de varias probetas de diferentes dimensiones de platinas, de esta manera se pueda relacionar y comparar los resultados obtenidos tanto de forma práctica como teóricamente.

1.1.1. VARIABLE DE INVESTIGACIÓN

1.1.1.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- ❖ Conexiones metálicas atornilladas.

1.1.1.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- ❖ Comparación entre diseños teóricos y ensayos a tracción.
- ❖ Resultados de ensayos de tracción.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. INTERROGANTE GENERAL

- ❖ ¿Se podrá analizar y conocer el verdadero comportamiento de falla en las conexiones metálicas atornilladas de aceros A-50 y A36 mediante la realización de ensayos de tracción?

1.2.2. INTERROGANTES ESPECIFICAS

- ❖ ¿Se podrá realizar la comparación de los resultados de ensayos de tracción con los diseños teóricos de conexiones metálicas atornilladas?
- ❖ ¿Los ensayos de tracción serán correctamente realizados y cumplirán con normativas vigentes?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La presente tesis trata de ampliar las investigaciones hasta ahora realizadas en conexiones metálicas atornilladas, mediante ensayos de tracción en platinas de acero, la disposición de tornillos se realizó de acuerdo a lo indicado en R.N.E. Norma E-090 Capítulo 2; con los resultados podremos hacer una descripción real de las fallas en las conexiones la cual será comparada con la teoría estructural, los fundamentos teóricos nos indicarán la ruta por donde debería fallar las conexiones, adicionalmente se presenta un registro fotográfico donde se evidencian los resultados alcanzados por los ensayos, en beneficio de ampliar un mayor entendimiento.

Nuestra investigación desea alcanzar un resultado práctico, mostrando el comportamiento real de las conexiones de estructuras metálicas, se construyen diferentes tipos de configuraciones de tornillos los resultados alcanzados en ensayos de tracción, son comparados numéricamente con los resultados teóricos, así como también la falla producida en la cadena de huecos.

Producto del presente trabajo de investigación presentaremos recomendaciones sobre las conexiones metálicas atornilladas, que esperamos sean de utilidad a los ingenieros que se dispongan a diseñar construcciones de estructuras metálicas, también poder conocer cuál es la disposición de tornillos más favorable para la conexión, la calidad y la eficiencia de los materiales.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- ❖ Analizar y conocer el comportamiento de falla en las conexiones metálicas atornilladas de aceros A-50 y A36, mediante la realización de ensayos de tracción.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Comparar los resultados de ensayos de tracción con los fundamentos teóricos en tipos de falla de las conexiones metálicas atornilladas.
- ❖ Realizar los ensayos de tracción correctamente y los diseños de conexiones metálicas cumplan con las normativas vigentes.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

- ❖ Mediante los ensayos de tracción se puede analizar y conocer el verdadero comportamiento de falla, en las conexiones metálicas atornilladas de aceros A-36 y A50.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ❖ Al comparar los resultados obtenidos de ensayos de tracción con los fundamentos teóricos, se puede tener un criterio más acertado de la disposición de tornillos en conexiones metálicas atornilladas.
- ❖ Se construirán probetas para las conexiones metálicas atornilladas, las cuales son sometidas a ensayos de tracción, cumpliendo con las normativas vigentes.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

En la mayoría de las ocasiones, los materiales metálicos se emplean con fines estructurales. Es decir, los componentes fabricados con metales deben responder de forma adecuada a determinadas situaciones mecánicas. La expresión de responder de forma adecuada puede entenderse en muy diferentes sentidos.

Sin embargo, cuando se tiene conexiones empernadas se espera que esta no falle y sea una construcción segura.

Estudios realizados según SANDRA GARCÍA COBAS (2003) llegó a concluir que el acero experimentado cumplía con las bases teóricas y se mantenía concordancia con su normativa (NSR-98).

FABIAN CLAVIJO RODRÍGUEZ (2016), realizó un software para el diseño de conexiones en acero de acuerdo a normativas internacionales (AISC) y su normativa (NSR-10).

Investigaciones sobre conexiones empernadas con configuraciones alternadas (zigzag), no se desarrollaron aun en nuestro país, por lo que se desarrolla el presente documento y así entender el comportamiento del material.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PLACAS DE ACERO

Son elementos rectangulares de acero con espesores muy delgados con respecto a sus dimensiones en planta (largo x ancho). Actualmente, el espesor de una placa de acero se especifica en dimensiones aproximadas al 1/16" más cercano para espesores menores a 3/8", aproximadas al 1/8" más cercano para espesores entre 3/8" y 1", y al 1/4" más cercano para espesores mayores a 1" (Vinnakota, 2006).

Las placas de acero, son usadas como elemento suplementario para la unión de elementos en una conexión, ya sea como elemento de extensión, rigidizadores, tapas en secciones huecas, refuerzo en miembros de pared delgada, entre otros. Su resistencia depende básicamente del acero con el cual han sido fabricadas.

Los aceros usados para fabricar las placas, están estandarizados por la American Society for Testing and Materials (ASTM), y de acuerdo con su composición química y sus propiedades mecánicas se describen 4 tipos comunes usados en su fabricación:

ASTM A36: Es el material más usado para fabricar placas de acero, y existe una gran variedad de tamaños disponibles. Tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm² (250 MPa, 36 ksi) y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 4080 kg/cm² a 5620 kg/cm² (400 a 550 MPa, 58 a 80 ksi), con una soldabilidad adecuada.

ASTM A572: Este acero está disponible en varios grados dependiendo del tamaño del perfil y grueso de la placa, Grado 42, 50, 60 o 65. Actualmente el más usado corresponde al grado 50 con $F_y = 345$ MPa o 50 ksi (3515 kg/cm²) y $F_u = 450$ MPa o 65 ksi (4570 kg/cm²) está disponible en todos los tamaños y espesores de placa hasta 100 mm (4 pulgadas). Este es el grado de acero estructural más usado en el mercado de los EE UU actualmente, a pesar que está siendo rápidamente reemplazado por A992 para perfiles W.

ASTM A992: Esta especificación cubre solo perfiles W, con el fin de ser utilizadas en la construcción de edificios. Tiene valores mínimos especificados para F_y y F_u de 50 y 65 ksi (345 Mpa y 448 Mpa), respectivamente. Este acero cuenta con excelentes características de ductilidad y soldabilidad.

ASTM A588: Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa (3515 kg/cm²). Se caracteriza principalmente por su alta resistencia a la corrosión, ya que es 4 veces mayor a la proporcionada por el acero A36. Los materiales de este tipo se conocían en su origen por nombres propios, como Mayari-R y Cor-ten. (Vinnakota, 2006).

2.2.2. PERNOS DE ALTA RESISTENCIA

Los pernos de alta resistencia, para juntas estructurales, se tienen en dos grados: ASTM A325 y ASTM A490. Estos pernos se fabrican a base de acero al carbono tratado térmicamente y aceros aleados, tienen resistencias a la tensión de dos o más veces la de los tornillos ordinarios.

Los pernos de alta resistencia se usan para todo tipo de estructuras, desde pequeños edificios hasta rascacielos y puentes monumentales. Los pernos A490 son más caros que los pernos A325, pero, por lo regular, se requiere un número menor de ellos. Guzmán (2006).

2.2.3. VENTAJAS DE LOS PERNOS DE ALTA RESISTENCIA

McCormac, J.C., & Csernak, S.F. (2013). Entre las muchas ventajas de los pernos de alta resistencia, que en parte explican su gran éxito, están las siguientes:

1. Las cuadrillas de hombres necesarias para atornillar, son menores que las que se necesitan para remachar. Dos parejas de atornilladores pueden fácilmente colocar el doble de pernos en un día, que el número de remaches colocados por una cuadrilla normal de cuatro remachadores, resultando un montaje de acero estructural más rápido.
2. En comparación con los remaches, se requiere menor número de pernos para proporcionar la misma resistencia.
3. Unas buenas juntas atornilladas pueden realizarlas hombres con mucho menor entrenamiento y experiencia que los necesarios para producir conexiones soldadas o remachadas de calidad semejante. La instalación apropiada de pernos de alta resistencia puede aprenderse en cuestión de horas.
4. No se requieren pernos de montaje que deben removerse después (dependiendo de las especificaciones) como en las juntas soldadas.
5. Resulta menos ruidoso en comparación con el remachado.
6. Se requiere equipo más barato para realizar conexiones empernadas.
7. No existe riesgo de fuego ni peligro por el lanzamiento de los remaches calientes.
8. Las pruebas hechas en juntas remachadas, y en juntas empernadas, bajo condiciones idénticas, muestran definitivamente que las juntas empernadas tienen una mayor resistencia a la fatiga. Su resistencia a la fatiga es igual o mayor que la obtenida con juntas soldadas equivalentes.

9. Donde las estructuras se alteran o desensamblan posteriormente, los cambios en las conexiones son muy sencillos por la facilidad para quitar los pernos.

2.2.4. ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR

ALVAREZ POMMIER (2008). Las especificaciones estándar son documentos de consenso patrocinados por asociaciones profesionales o comerciales para proteger al público y evitar el mal uso de un producto o método. Las especificaciones más conocidas son, el diseño de esfuerzos permisibles (ASD) y el diseño con factores de carga y de resistencia (LRFD), del Instituto Americano de Construcción con Acero (AISC), la especificación para el diseño de miembros estructurales de aceros formados en frío (AISI).

Otra clase de especificaciones estándar define las normas aceptables de calidad de los materiales de construcción, los métodos estándar de prueba, y la mano de obra necesaria en la fabricación y montaje. Muchas de estas especificaciones son desarrolladas por la ASTM, a medida que las necesidades y el avance de las nuevas tecnologías aplicadas en la construcción y resistencia de materiales la ASTM hace conocer y publica dichas investigaciones que son aplicadas en el campo de la construcción e investigación. Los diseños seguros y económicos de un edificio necesitan la aplicación de cargas de diseño prudente y razonable.

2.2.5. FACTOR DE RESISTENCIA ϕ

Zapata Baglietto (1997). En la inequación que sirve de base para asegurar que los efectos factorizados sobre la estructura son menores que la resistencia confiable de sus miembros, la resistencia nominal para un tipo de esfuerzo de un elemento estructural puede tener una dispersión estadística de su comportamiento comprobado por estudios teóricos y de laboratorio, lo que se toma en cuenta por el llamado Factor de Resistencia ϕ es menor que la unidad y sus valores para determinado tipo de sollicitación estarán definidos por el conocimiento que se tenga del comportamiento real del miembro o la conexión considerada. A continuación, se dan algunos valores de ϕ para miembros o conectores.

$\phi = 0.90$ para fluencia en un elemento a tracción.

$\phi = 0.75$ para fractura en un elemento a tracción.

2.2.6. ÁREA TOTAL (A_g , Gross Area)

También denominada área bruta A_g , es el área completa de la sección transversal de cualquier miembro (de acuerdo Capítulo B4; AISC/ANSI 360-16 y Capítulo 2.2.1 de la Norma E.090), obtenida multiplicando los anchos por los espesores de cada uno de sus elementos.

2.2.7. ÁREA NETA (A_n , Net Area)

Si la conexión de extremo de un miembro en tensión se va a realizar por medio de pernos, entonces debe retirarse material de la sección transversal para formar los agujeros de los pernos.

$$A_n = A_g - \text{Área de los agujeros} \quad (\text{Ec.2.1})$$

Para calcular el área neta para tensión y corte, el ancho de una perforación se tomará como 2 mm más grande que la dimensión nominal de la perforación (de acuerdo al Capítulo B4.3; AISC/ANSI 360-16 y Capítulo 2.2 de la Norma E.90).

2.2.8. CADENA DE HUECOS

Para una cadena de agujeros que se extienden en una diagonal o una línea en zigzag, el ancho neto (b_n) se debe obtener deduciendo del ancho total la suma de las dimensiones de los agujeros para toda la cadena, y sumando, para cada espacio de la cadena, la cantidad $\frac{s^2}{4g}$.

La menor de las secciones será la que deba tenerse en cuenta para el diseño.

$$b_n = w_g - \sum D_i + \sum \frac{s^2}{4g} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

b_n = Sección neta (mm)

D_i = Diámetros de agujeros (mm)

w_g = sección bruta (mm)

s =espaciamiento longitudinal centro a centro entre dos agujeros consecutivos (mm).

g =espaciamiento transversal centro a centro entre dos líneas de agujeros (mm).

Álvarez Pommier (2006) En la construcción de estructuras de acero para que los elementos se conecten con pernos o remaches, los huecos deberán tener una holgura de 1/16 plg mayor que el diámetro del perno o remache. Según el ANSI/AISC- 360-16, sección B4.3.

$$\phi_{\text{Huecos estándar}} = \phi_{\text{perno}} + 1/16'' \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Para propósitos de diseño, considerando los daños del hueco debido a imprecisiones al momento de perforar los mismos se adicionará al diámetro del hueco estándar 1/16 plg

$$\phi_{\text{Diseño perno}} = \phi_{\text{Huecos estándar}} + 1/16'' \quad (\text{Ec. 2.4})$$

entonces:

$$\phi_{\text{Diseño perno}} = \phi_{\text{perno}} + 1/8'' \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Para secciones sin perforaciones el área neta, A_n , es igual al área bruta, A_g .

2.2.9. ÁREA NETA EFECTIVA PARA MIEMBROS EN TRACCIÓN

Grupo Sísmica (2010). Es la parte del área de un miembro en tensión que participa de manera efectiva en la transferencia de la fuerza. Si las fuerzas no son transferidas uniformemente a través de la sección transversal de un miembro, habrá una región de transición de esfuerzo no uniforme que ira de la conexión del miembro a lo largo de cierta distancia. En la región de transición, el esfuerzo en la parte conectada del miembro puede fácilmente exceder F_y y entrar al rango de endurecimiento por deformación. (Ver Figura 2.1).

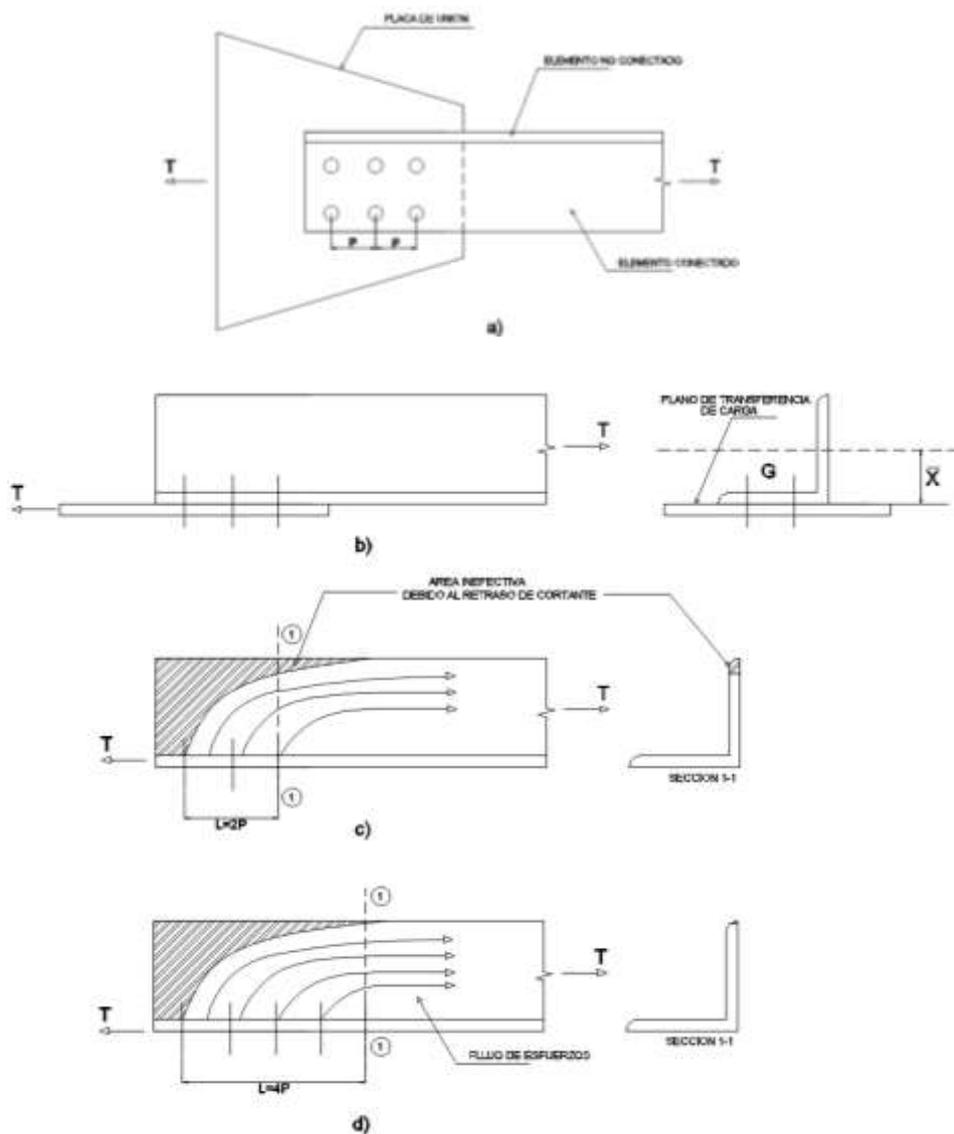


Figura 2.1. Distribución de Esfuerzos por Retraso de Cortante Fuente: Vinnakota

El área neta efectiva de los miembros tensionados debe ser determinada de la siguiente forma:

$$A_e = A_n \cdot U \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde U , el factor de corte diferido (shear lag), es determinado como se muestra en Anexos la Tabla D3.1 del AISC/ANSI 360-16. El corte diferido se presenta cuando alguno de los elementos del miembro no está conectado.

2.2.10. FACTOR DE CORTE DIFERIDO PARA MIEMBROS ATORNILLADOS

$$U = 1 (\bar{X} / L) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

La longitud L usada en esta expresión es igual a la distancia entre el primero y el último tornillo en la línea. Cuando hay dos o más líneas de pernos, es la longitud de la línea con el número máximo de tornillos. En la Figura 2.1 se muestra, con sombreado el material que no es efectivo en la sección crítica (ver sección 1-1 para c y d). Como se indicó, el miembro con tres tornillos, que tiene una longitud menor de conexión, tiene un área neta efectiva menor que la conexión más larga. En consecuencia, a mayor longitud de conexión se origina un esfuerzo más uniforme en el área neta de la sección.

La excentricidad de la conexión \bar{X} , es la distancia desde el plano de contacto entre la placa de unión y el elemento conectado al centro de gravedad del área del miembro (ver figura 2.1b).

2.2.11. RESISTENCIA DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONEXIÓN EN TRACCIÓN

La resistencia de diseño, R_n , de elementos de conexión soldados o empernados cargados estáticamente en tracción (por ejemplo, planchas de nudo o de empalme) será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de fluencia, de rotura del elemento de conexión y de rotura por bloque de corte.

2.2.11.1. FLUENCIA EN TRACCIÓN DEL ELEMENTO DE CONEXIÓN:

Para el estado límite de fluencia del área total de la sección transversal A_g (para prevenir el alargamiento desmedido del miembro y si falla A_g lo último que va a resistir será T_u), entonces se tiene la siguiente expresión:

$$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_y \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

ϕ = Factor de resistencia ($\phi = 0.9$ para fluencia por área bruta).

T_n = Fuerza de diseño requerida [kN], [kg].

A_g = Área total de la sección transversal (área bruta) [mm²], [pulg²].

F_y = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero [MPa], [kg/cm²].

2.2.11.2. ROTURA EN TRACCIÓN DEL ELEMENTO DE CONEXIÓN:

Para el estado límite de ruptura del área neta A_n en los extremos de miembro a tensión será:

$$\phi T_n = \phi \cdot A_n \cdot F_u \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

ϕ = Factor de resistencia ($\phi = 0.75$ para fluencia por área bruta).

T_n = Fuerza de diseño requerida [kN], [kg].

A_g = Área total de la sección transversal (área bruta) [mm²], [plg²].

F_y = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero [MPa], [kg/cm²].

2.2.12. DISEÑO DE CONEXIONES

El diseño de una conexión se realiza a partir del cálculo de la resistencia que tiene cada uno de los elementos que la componen, frente a las características de falla que pueda presentar.

La falla de una conexión puede manifestarse en los elementos conectados, en los elementos de conexión, o en los conectores, por esta razón se debe evaluar la resistencia de cada una de las partes de la unión y determinar la menor de todas las resistencias que ellas aportan, siendo esta resistencia la que gobierna el diseño.

Para que todo el material en el elemento a tracción sea efectivo, las conexiones de extremo deben diseñarse más fuertes que el cuerpo del miembro.

2.2.12.1. TAMAÑO DE AGUJEROS PARA PERNOS

Los tamaños máximos de perforaciones para pernos se entregan en las Tablas 2.1 y 2.2 que es adaptación de la tabla J3.3 del ANSI/AISC-360-16 y la Norma E.90 respectivamente.

Huecos estándar deben usarse en las conexiones miembro a miembro, a menos que el diseñador apruebe el empleo de huecos agrandados, de ranura corta o de ranura larga en las conexiones empernadas.

Huecos agrandados se permiten en alguna o todas las planchas de una conexión de deslizamiento crítico, pero no serán empleados en

conexiones de aplastamiento. Se colocarán arandelas endurecidas sobre los huecos agrandados en una de las planchas exteriores.

Tabla 2.1

Dimensiones de Agujero Nominal (plg)		
diámetro del perno(plg)	Estándar (Diam.)	Agrandado (Diam.)
1/2"	9/16"	5/8"
5/8"	11/16"	13/16"
3/4"	13/16"	15/16"
7/8"	15/16"	1 1/16"
1"	1 1/8"	1 1/4"
≥ 1 (1/8)"	d+ 1/8"	d+ 5/16"

Fuente: Tabla J3.3 del ANSI/AISC- 360-16 pag. 186

Tabla 2.2

Dimensiones de Agujero Nominal (mm)		
diámetro del perno(mm)	Estándar (Diam.)	Agrandado (Diam.)
M16	18	20
M20	22	24
M22	24	28
M24	27	30
M27	30	35
M30	33	38
≥ M36	d+3	d+8

Fuente: Tabla 10.3.3 de la E-090

2.2.12.2. ESPACIAMIENTO MÍNIMO

La distancia entre centros de perforaciones estándar, sobre medidas, o ranuradas, no debe ser menor que $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro nominal, d, del conector; se prefiere una distancia de 3d.

2.2.12.3. DISTANCIA MÍNIMA AL BORDE

Las distancias mínimas a bordes (en cualquier dirección), medidas desde el centro del agujero, están en la Tabla 2.3 que es una reproducción de la Tabla J3.4 del ANSI/AISC – 360-16 y Tabla 10.3.4 de la Norma E.090 como función del tamaño del perno y del tipo de borde (cortado con cizalla, laminado o cortado con gas). La separación y la distancia al borde, denotadas por s y Le están ilustradas en las tablas 2.3 y 2.4

Tabla 2.3

Distancia Mínima al Borde[a], plg, desde el Centro del Agujero Estándar[b] hasta el Borde de la Parte Conectada	
diametro del perno(plg)	distancia mínima al borde
1/2"	3/4"
5/8"	7/8"
3/4"	1"
7/8"	1 1/8"
1"	1 1/4"
1 1/8"	1 1/2"
1 1/4"	1 5/8"
Sobre 1 1/4"	1 1/4"x d

[a] De ser necesario, se permite utilizar distancias de borde menores provisto que se satisfacen las disposiciones de la Sección J3.10 y de Sección J4, sin embargo distancias al borde menores que (1) diámetro del perno no son permitidas sin aprobación del ingeniero a cargo.
[b] Para agujeros sobretamaño y ranurados, ver la Tabla J3.5.

Fuente: Tabla J3.4 del ANSI/AISC-360-16 pag 188

Tabla 2.4

Distancia mínima al borde, [a] mm (Centro del hueco estándar [b] al borde de la parte conectada)		
diametro del perno(mm)	En bordes Cizallados	En bordes laminados de planchas, perfiles o barras, o bordes cortados con soplete[c]
16	28	22
20	34	26
22	38	28
24	42[d]	30
27	48[d]	34
30	52	38
36	64	46
mayores a 36	1,75 d	1,25 d

[a] Se permiten menores distancias al borde si se satisfacen las ecuaciones adecuadas de la Sección 10.3.10.
[b] Para agujeros agrandados o en ranura, véase la Tabla 10.3.7.
[c] Se permite reducir en 3 mm todas las distancias al borde de esta columna cuando el hueco esta en un punto donde los esfuerzos no exceden al 25 por ciento de la máxima resistencia de diseño del elemento.
[d] Estos valores pueden ser 32 mm en los ángulos de conexión y planchas extremas de corte en los extremos de las vigas.

Fuente: Tabla 10.3.4 de la E-090

2.2.13. LONGITUDES DE PERNOS

La RCSC Specification y el LRFD, establece las dimensiones de pernos de alta resistencia, tuercas y arandelas. La longitud del perno es la suma de las placas a unir (grip), más los espesores de las arandelas, más el valor agregado al grip especificado en la tabla 2.5.

Tabla 2.5

Diámetro Nominal del Perno db, plg.	Para Determinar la Longitud requerida, Anadir al Grip, plg.
1/2	11/16
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1 1/8
1	1 1/4
1 1/8	1 1/2
1 1/4	1 5/8
1 3/8	1 3/4
1 1/2	1 7/8

Fuente: Commentary on Specifications for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts pag. 1125

2.2.14. REVISION POR APLASTAMIENTO

Según Clavijo Rodríguez (2016). La falla por aplastamiento ocurre cuando por acción de las fuerzas axiales o cortantes los elementos se deslizan entre sí, hasta que el perno entra en contacto con el elemento de unión, y gran parte del material que compone al elemento se acumula en la zona de contacto de este con el perno (Figura 2.2), por lo que se produce una deformación gradual y un aumento en la dimensión de la perforación. Este fenómeno no indica una falla directa ya que el material se confina y no llega a fracturarse, sin embargo, el hecho de sobrepasar este límite permite una gran deformación en el material y de paso un alargamiento excesivo de las perforaciones lo que ocasiona un mal funcionamiento y posible falla de la conexión.

El aplastamiento también ocurre en la superficie del perno, sin embargo, la calidad del material del perno generalmente es superior a la del elemento de conexión, por lo que no se tiene en cuenta.



Figura 2.2- Aplastamiento -Fuente: Clavijo Rodríguez

Dentro de la resistencia al aplastamiento del elemento deben considerarse dos estados límites:

- ❖ **Ovalamiento del agujero:** Esta situación se presenta cuando el espesor de los elementos a unir es delgado y la perforación comienza a alargarse por acción de la fuerza, sin embargo, el gran espacio entre las perforaciones o entre una perforación y el borde no permite que el elemento se desgarre.
- ❖ **Desgarramiento por cortante del elemento:** Este evento ocurre, cuando existe una distancia muy pequeña entre una perforación y el borde del elemento conectado o entre dos perforaciones, lo que hace que el material entre estos se rasgue y genere un posible desprendimiento de los elementos conectados. Para evitar que este suceso se presente prematuramente, es necesario cumplir con unas distancias mínimas entre perforaciones y bordes propuestas por la norma AISC 360-16 en la sección J3.3., donde se indica que la distancia entre agujeros estándar, agrandados o ranurados no debe ser menor a $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro nominal del perno, sin embargo, es recomendable usar una distancia de 3 veces el diámetro (Figura 2.3).

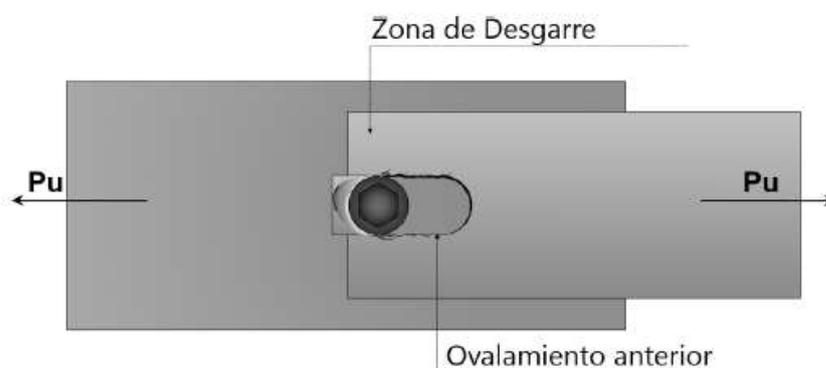


Figura 2.3- Desgarramiento -Fuente: Clavijo Rodríguez

Según la Norma E.090, La resistencia de diseño en los huecos de los pernos es:

$$\phi Rn, \text{ (Ec. 2.10)}$$

donde:

$$\phi = 0,75$$

Rn = resistencia nominal en aplastamiento

(a) Cuando **$Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$** y hay dos o más pernos en la línea de fuerza: Para huecos estándar; para huecos de ranura corta y larga perpendiculares a la línea de fuerza; para huecos agrandados en conexiones de deslizamiento crítico; y para huecos de ranura corta y larga en conexiones de deslizamiento crítico cuando la línea de fuerza es paralela al eje del hueco:

Cuando la deformación alrededor de los huecos para pernos es una consideración de diseño

$$Rn = 2,4 d * t * Fu \quad \text{(Ec. 2.11)}$$

Cuando la deformación alrededor de los huecos para pernos no es una consideración de diseño, para el perno más cercano al borde

$$Rn = Le * t * Fu \leq 3 * d * t * Fu \quad \text{(Ec. 2.12)}$$

y para los pernos restantes

$$Rn = (s - \frac{d}{2}) * t * Fu \leq 3 * d * t * Fu \quad \text{(Ec. 2.13)}$$

Para huecos de pernos de ranura larga perpendiculares a la línea de fuerza

$$Rn = 2 * d * t * Fu \quad \text{(Ec. 2.14)}$$

(b) Cuando **$Le < 1,5d$ o $s < 3d$** o para un solo perno en la línea de fuerza:

Para huecos estándar; para huecos de ranura corta y larga perpendiculares a la línea de fuerza; para huecos agrandados en conexiones de deslizamiento crítico; y para huecos de ranura corta y larga en conexiones de deslizamiento crítico cuando la línea de fuerza es paralela al eje del hueco:

Para un único hueco de perno o para el hueco de perno más cercano al borde cuando hay dos o más huecos para pernos en la línea de fuerza

$$Rn = Le * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu \quad \text{(Ec. 2.15)}$$

Para los restantes huecos de pernos

$$R_n = \left(s - \frac{d}{2}\right) * t * F_u \leq 2,4 * d * t * F_u \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Según el ANSI/AISC 360-16, La resistencia de diseño ϕR_n para el estado límite de aplastamiento se calcula de la siguiente forma:

Donde $\phi=0.75$, y la resistencia R_n se determina dependiendo del estado inicial y final de la perforación así:

a) Para un perno en una perforación estándar, agrandada o de ranura corta, independientemente de la dirección de aplicación de la carga, o en una perforación de ranura larga con la ranura paralela a la dirección de la fuerza de aplastamiento:

i. Cuando la deformación alrededor de la perforación del perno, bajo cargas de servicio, es una consideración de diseño:

$$R_n = 1.2 * L_c * t * F_u \leq 2.4 * d * t * F_u \quad (\text{Ec. 2.17})$$

ii. Cuando la deformación alrededor de la perforación del perno, bajo cargas de servicio, no es una consideración de diseño:

$$R_n = 1.5 * L_c * t * F_u \leq 3.0 * d * t * F_u \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

F_u = Esfuerzo de tensión mínimo especificado para el material

F_y = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado para el material

d = Diámetro nominal del perno

L_c = Distancia libre en la dirección de la fuerza, entre el borde de la perforación considerada y el borde de la perforación adyacente o el borde del material.

t = Espesor del material conectado

La resistencia al aplastamiento de una conexión se calcula como la sumatoria de las resistencias por cada uno de los pernos. Por lo tanto, si se necesita incrementar la resistencia al aplastamiento debe aumentarse el número de pernos en la conexión, para prevenir el desgarramiento debe aumentarse la separación entre pernos, y para evitar el ovalamiento excesivo debe aumentarse el espesor del elemento conectado.

Según Može & Beg (2011). En investigaciones recientes permiten apreciar la manera como se presentan cada uno de estos fenómenos a medida que se va aumentando la carga sobre una conexión pernada de alta resistencia, y de esta forma comprueban la gran aproximación que tiene los resultados obtenidos por las ecuaciones expuestas anteriormente.

2.2.15. RESISTENCIA DE DISEÑO EN TRACCIÓN O CORTE DE PERNOS

2.2.15.1. VERIFICACIÓN DE LOS PLANOS DE CORTE

Este estado límite considera la falla por cortante del vástago del perno en el plano c-d-e-f. Cuando existe un solo plano de corte, el perno está en corte simple. Capas adicionales de material pueden incrementar los planos de corte y, por lo tanto, la resistencia por corte del perno (cortante doble).

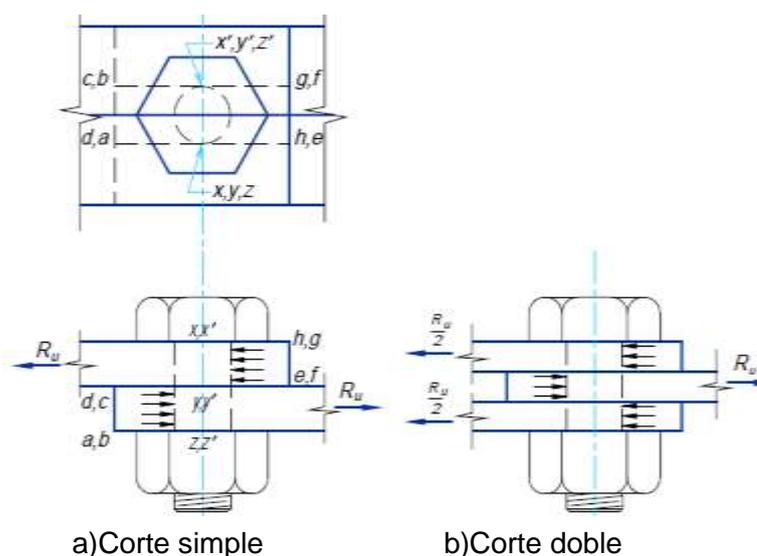


Figura 2.4 Tipos de Corte-Fuente: LRFD part 8 Bolted Construcción pag.1252

Adicionalmente, los pernos de alta resistencia se pueden especificar con la rosca incluida (N) o excluida (X) del plano de corte de la conexión. La resistencia a corte de pernos con la rosca incluida es aproximadamente 25% menor que la de pernos con a rosca excluida. La resistencia al corte de un perno está dada por la siguiente expresión:

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

F_v =Fuerza nominal [ksi]. (ver Anexos tabla J3.2 Nominal Strength Fasteners)

A_b =Área nominal del perno [plg^2]. (ver Anexos tabla 8-11 Design Strength of One Bolt)

n =número de pernos

m =planos de corte

2.2.15.2. TRACCIÓN EN EL PERNO

Este tipo de falla se presenta cuando la fuerza de tensión transmitida por los elementos a la conexión, ya sea tensión directa o debida al apalancamiento por deformación de los elementos, es superior a la tensión que resiste el perno.

Al igual que la resistencia a cortante, la resistencia por tensión depende de la calidad del material del perno, del diámetro del perno y de la presencia de la rosca, sin embargo, en este último punto como no hay plano de cortante la presencia de la rosca no se trata de la misma forma.

La reducción de área por la presencia de la rosca genera una disminución en la resistencia a tensión ya que esta es directamente proporcional al área transversal del perno, por tal motivo la norma AISC 360-16 especifica un esfuerzo nominal a tensión en la tabla J3.2 AISC 360-16 determinado como un 75% del esfuerzo último de tensión según el material del perno, y de esta forma se incorpora una reducción en la resistencia debida a la reducción del área generada por la rosca. Para calidades de acero diferentes a A307, A325, y A490 su valor no aparece especificado, ya que primero debe cumplir con los requerimientos de la sección A3.4.

A continuación, se muestra la resistencia nominal especificada por la norma AISC 360-16, la cual corresponde al 75% de la resistencia mínima especificada mostrada en la Tabla 2.6. Resistencia nominal para pernos y piezas roscadas.

Tabla 2.6

RESISTENCIA NOMINAL PARA PERNOS Y PIEZAS ROSCADAS, ksi (Mpa)		
Descripción del conector	Resistencia Nominal a Tensión Fnt (Mpa)	Resistencia Nominal a Cortante en Conexiones tipo Aplastamiento Fnv (Mpa)
Pernos A307	45 (310)	27 (188)
Pernos Grupo A (tipo A325), con roscas incluidas en los planos de corte	90 (620)	54 (372)
Pernos Grupo A (tipo A325), con roscas excluidas de los planos de corte	90 (620)	68 (457)
Pernos Grupo B (tipo A490), con roscas incluidas en los planos de corte	113(780)	68(457)
Pernos Grupo B (tipo A490), con roscas excluidas de los planos de corte	113(780)	84(579)
Piezas roscadas que satisfacen los requisitos de la sección A3.4, con roscas incluidas en los planos de corte	0.75 Fu	0.450 Fu
Piezas roscadas que satisfacen los requisitos de la sección A3.4, con roscas excluidas de los planos de corte	0.75 Fu	0.563 Fu

Fuente: Tabla J3.2 del ANSI/AISC- 360-16 pag. 185

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

AISC	Instituto Americano de Construcción de Acero (American Institute Of Steel Construction).
AISI	Instituto americano del hierro y el acero (American Iron and Steel Institute)
ASD	Diseño por esfuerzos admisibles (Allowable Stress Design)
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales (American Society for Testing and Materials)
Grip	Parte del perno o tornillo que sirve como agarre, y que puede tener más de un plano de corte
LRFD	Diseño por Factores de Carga y Resistencia (Load and Resistance Factor Design)
RCSC	Consejo de investigación sobre conexiones estructurales (Research Council on Structural Connections)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo, se hizo uso de una investigación de tipo explicativo, ya que nuestro objetivo es analizar y conocer el comportamiento de falla en las conexiones metálicas atornilladas, mediante la realización de ensayos de tracción.

3.1.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se realizó dentro de un diseño de laboratorio, se realizaron ensayos de tracción en diferentes tipos de aceros, el escenario fue el laboratorio de la Universidad Privada de Tacna, el resultado de los ensayos nos servirá para hacer comparaciones con los diseños estructurales que se detallan más adelante.

3.2. POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población con la cual se realizó esta investigación está conformada por los diferentes tipos de uniones metálicas atornilladas.

3.2.2. MUESTRA DE ESTUDIO

El muestreo utilizado para la presente investigación consiste en la realización de 90 ensayos de tracción, para diferentes dos tipos de acero (acero A-36 y acero A-50), se consideran 05 tipos de uniones simples atornilladas, en platinas de diferentes espesores.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de variables nos ayudará a construir una unión lógica entre nuestras bases teóricas y nuestros instrumentos, además nos dará una razón a toda la información obtenida y analizada, con esto se pretende asignar significado

a una variable, describiéndola en términos observables y comprobables para poder identificarla.

Tabla 2.6 Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Conexiones metálicas atornilladas.	Unión que sirve para transmitir esfuerzos entre elementos estructurales.	Diseño de estructuras metálicas.	Resistencia a la tracción.
			Resistencia al cortante.
Comparación entre diseños teóricos y ensayos a tracción	Diferencias entre diseños teóricos y ensayos a tracción.	Diseño de estructuras metálicas.	Resistencia ultima
			Resistencia Nominal
Resultados de ensayos de tracción	Valor obtenido por resistencia a la rotura, producida por un esfuerzo axial.	Ensayo de Tracción en Maquina Universal.	Laboratorio Universidad Privada Tacna
			Estado operacional del equipo.

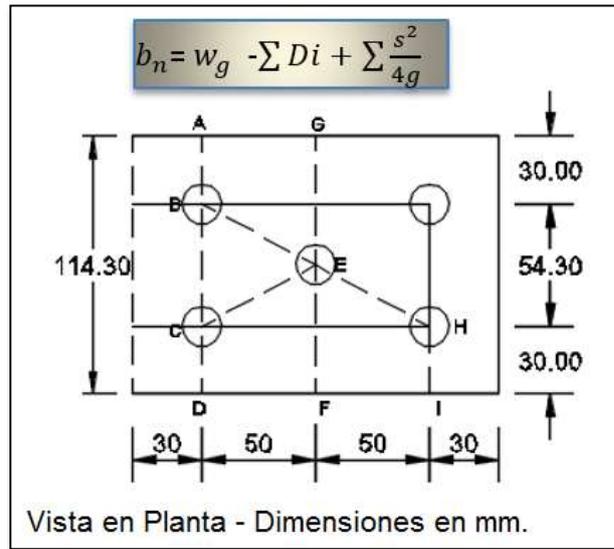
Fuente: Elaboración propia

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la realización de la presente tesis se inició con una investigación del tipo documental, se revisaron investigaciones relacionadas al tema en cuestión, normativas y métodos para el diseño de conexiones atornilladas, se diseñaron teóricamente 90 conexiones atornilladas, también se hizo uso de la técnica observación experimental, utilizándose como instrumento una maquina universal de ensayos, para la realización de 90 ensayos de tracción, en laboratorio de la Universidad Privada de Tacna, posteriormente se realizó el análisis y comparación de los resultados obtenidos, las conclusiones obtenidas serán detalladas más adelante.

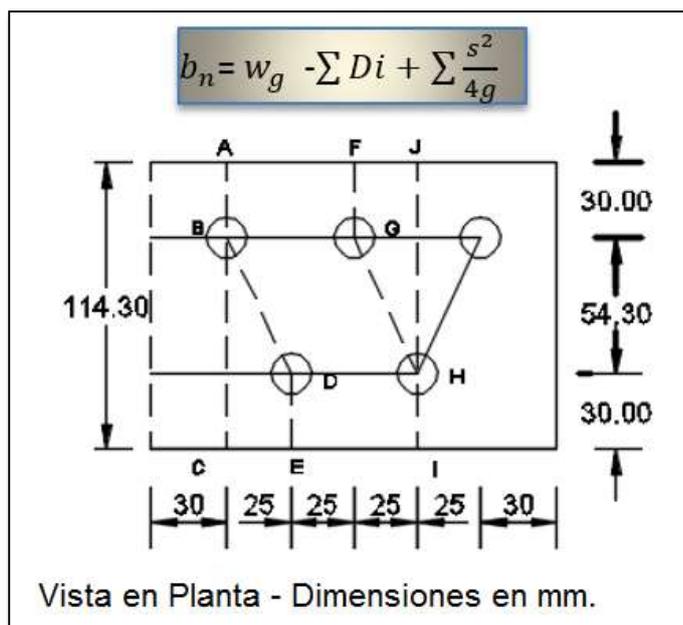
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1. ANÁLISIS DE CADENA CRÍTICA



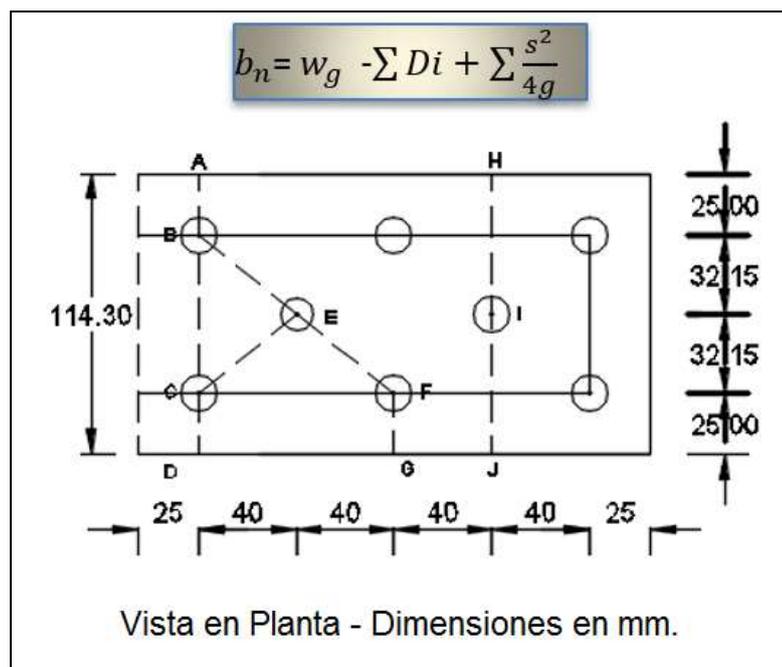
CADENA ABCD			CADENA ABEF		
wg	114.3	mm	wg	114.30	mm
$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8)^{\circ}25.4$		$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8)^{\circ}25.4$	
	38.10	mm		38.10	mm
			$+\sum \frac{s^2}{4g}$	23.02	
bn	76.20	mm	bn	99.22	mm
CADENA ABEHI			CADENA ABCEI		
wg	114.3	mm	wg	114.30	mm
$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8)^{\circ}25.4$		$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8)^{\circ}25.4$	
	57.15	mm		57.15	mm
$+\sum \frac{s^2}{4g}$	46.04	mm	$+\sum \frac{s^2}{4g}$	46.04	mm
bn	103.19	mm	bn	103.19	mm
CADENA GEF			CADENA GEHI		
wg	114.3	mm	wg	114.30	mm
$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8)^{\circ}25.4$		$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8)^{\circ}25.4$	
	19.05	mm		38.10	mm
			$+\sum \frac{s^2}{4g}$	23.02	mm
bn	95.25	mm	bn	99.22	mm

Figura N° 3.1 Análisis de cadena crítica conexión tipo 1



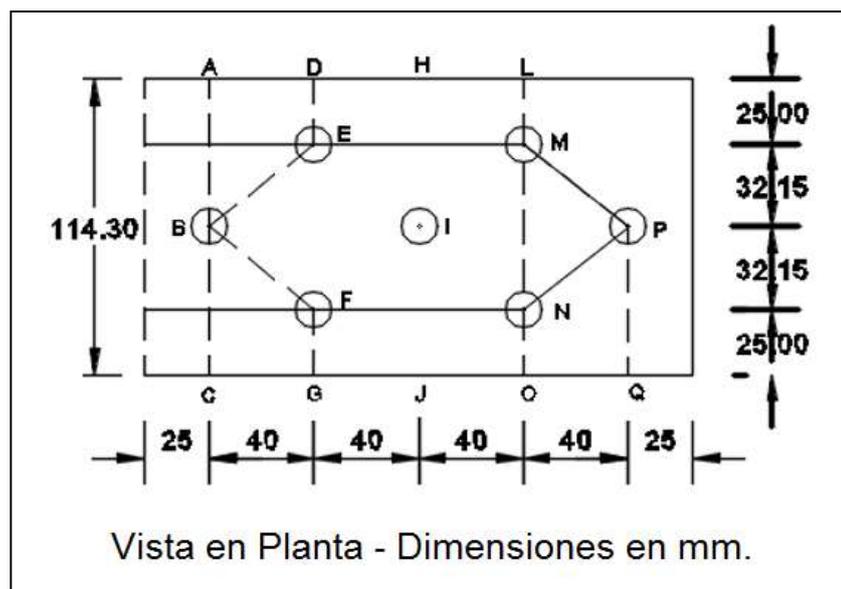
CADENA ABC			CADENA ABDE		
w_g	114.3	mm	w_g	114.30	mm
-∑ Di	$n^{\circ} \times (\text{huecos} + 1/8") \times 25.4$		-∑ Di	$n^{\circ} \times (\text{huecos} + 1/8") \times 25.4$	
	19.05	mm		38.10	mm
			+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	2.88	
bn	95.25	mm	bn	79.08	mm
CADENA FGHI			CADENA JHI		
w_g	114.3	mm	w_g	114.30	mm
-∑ Di	$n^{\circ} \times (\text{huecos} + 1/8") \times 25.4$		-∑ Di	$n^{\circ} \times (\text{huecos} + 1/8") \times 25.4$	
	38.10	mm		19.05	mm
+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	2.88	mm			
bn	79.08	mm	bn	95.25	mm

Figura N° 3.2 Análisis de cadena crítica conexión tipo 2



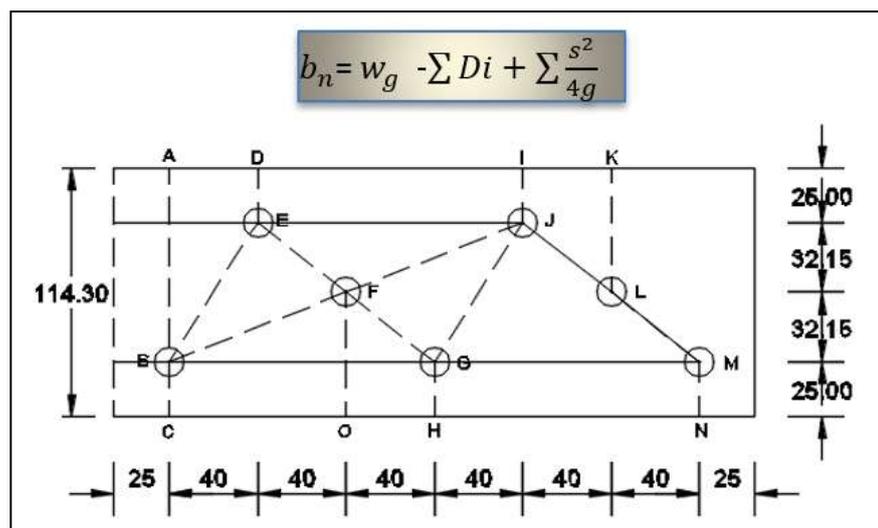
CADENA ABCD		CADENA ABECD	
wg	114.3 mm	wg	114.30 mm
-∑ Di	n°x(huecos +1/8")*25.4 31.75 mm	-∑ Di	n°x(huecos +1/8")*25.4 47.63 mm
		+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	24.88 mm
bn	82.55 mm	bn	91.56 mm
CADENA ABEFG		CADENA HIJ	
wg	114.3 mm	wg	114.30 mm
-∑ Di	n°x(huecos +1/8")*25.4 47.63 mm	-∑ Di	n°x(huecos +1/8")*25.4 15.88 mm
+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	24.88 mm		
bn	91.56 mm	bn	98.43 mm

Figura N° 3.3 Análisis de cadena crítica conexión tipo 3



CADENA ABC			CADENA DEBFG		
wg	114.3	mm	wg	114.30	mm
$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8")*25.4$		$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8")*25.4$	
	15.88	mm	$+\sum \frac{s^2}{4g}$	47.63	mm
				24.88	mm
bn	98.43	mm	bn	91.56	mm
CADENA LMPQ			CADENA LMNO		
wg	114.3	mm	wg	114.30	mm
$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8")*25.4$		$-\sum Di$	$n^{\circ}x(\text{huecos} + 1/8")*25.4$	
	31.75	mm		47.63	mm
$+\sum \frac{s^2}{4g}$	12.44	mm	$+\sum \frac{s^2}{4g}$	24.88	mm
bn	94.99	mm	bn	91.56	mm

Figura N° 3.4 Análisis de cadena crítica conexión tipo 4

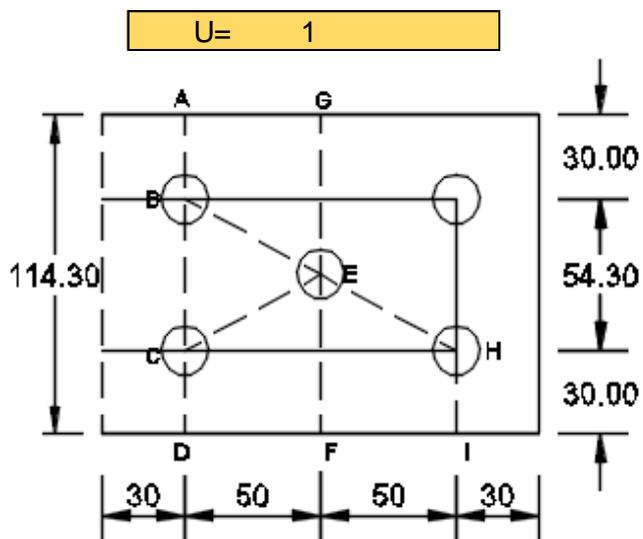


CADENA ABC		CADENA DEBC	
w_g	114.3 mm	w_g	114.30 mm
-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 15.88 mm	-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 31.75 mm
		+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	6.22 mm
bn	98.43 mm	bn	88.77 mm
CADENA DEFGH		CADENA IJGH	
w_g	114.3 mm	w_g	114.30 mm
-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 47.63 mm	-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 31.75 mm
+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	24.88 mm	+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	6.22 mm
bn	91.56 mm	bn	88.77 mm
CADENA KL MN		CADENA IJFO	
w_g	114.3 mm	w_g	114.30 mm
-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 31.75 mm	-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 31.75 mm
+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	12.44 mm	+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	49.77 mm
bn	94.99 mm	bn	132.32 mm
CADENA IJLMN		CADENA IJFBC	
w_g	114.3 mm	w_g	114.30 mm
-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 47.63 mm	-∑ D_i	n' x (huecos + 1/8") * 25.4 47.63 mm
+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	24.88 mm	+ ∑ $\frac{s^2}{4g}$	99.53 mm
bn	91.56 mm	bn	166.21 mm

Figura N° 3.5 Análisis de cadena crítica conexión tipo 5

3.5.2. ANÁLISIS Y DISEÑO DE CONEXIONES METÁLICAS

PROBETAS DE 1/8" (M-01; M-02; M-03)



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

$T_n = A_g \cdot F_y$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 363 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ MPA}$ $T_n = 90.73 \text{ kN}$	$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 0.563 \text{ plg}^2 \cdot (2.54 \text{ cm})^2 / \text{plg}^2 \cdot 2530 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 9181.43 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_y$	
$\phi T_n = 81.65 \text{ kN}$	$\phi T_n = 8,263.29 \text{ Kg}$

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu	Tn= An*U*t*Fu
Tn= 76.20mm*1*1/8plg*(25.4mm/plg)*400MPA	Tn=76.2mm*1cm/10mm*1*1/8plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2
Tn= 96.77 kN	Tn= 9870.95 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 72.58 kN	øTn= 7,403.21 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

$Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*5/8plg*(25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 48.39 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(50mm-((5/8plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/8plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn2= 52.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((5/8plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

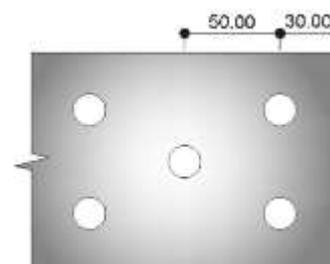
$$Rn3= 66.53 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn2*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(48.39*2) + \phi(52.41*3)$$

$$\phi Rn= 190.51 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*5/8plg*(2.54cm/1plg)*(1/8plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$Rn= 4935.47 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn=(5cm-(5/8plg+1/16plg))*2.54cm/1plg*(1/8plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$R_n = 5345.95 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 3 * ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * (1/8 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_n = 6786.28 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$R_n = R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi(4935.47 * 2) + \phi(5345.95 * 3)$$

$$\phi R_n = 19431.61 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo L_{c1} , y la distancia entre bordes de perforaciones L_{c2} respectivamente.

$$R_n = (1,2 * L_{c1} * t * F_u \leq 2,4 * d * t * F_u)$$

Sistema Internacional

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

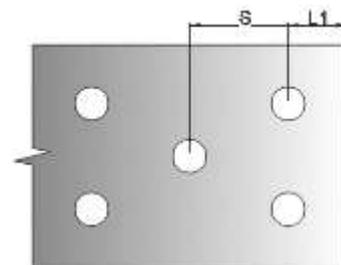
$$L_{c1} = 30 \text{ mm} - ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (25.4 \text{ mm} / 1 \text{ plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 21.27 \text{ mm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 50 \text{ mm} - ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (25.4 \text{ mm} / 1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 21.27 \text{ mm} * (1/8 \text{ plg} * 25.4 \text{ mm} / 1 \text{ plg}) * 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 32.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 32.54 \text{ mm} * (1/8 \text{ plg} * 25.4 \text{ mm} / 1 \text{ plg}) * 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 49.59 \text{ kN}$$

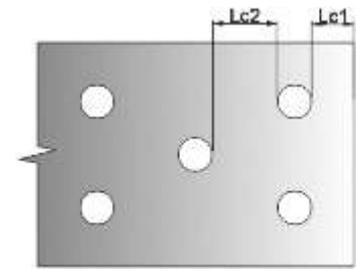
$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 25.4 \text{ mm} / 1 \text{ plg} * (1/8 \text{ plg} * 25.4 \text{ mm} / 1 \text{ plg}) * 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 53.23 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 121.55 \text{ kN}$$



Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 3\text{ cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{ cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 2.13\text{ cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 5\text{ cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{ cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 3.25\text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.13\text{ cm} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{ cm}/1\text{plg}) * 4080\text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 3306.18\text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 3.25\text{ cm} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{ cm}/1\text{plg}) * 4080\text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 5057.89\text{ kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{ cm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{ cm}/1\text{plg}) * 4080\text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 5429.02\text{ kg}$$

$$\phi Rn = \phi (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi Rn = 12398.19\text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi Rn = \phi * Fv * Ab * n * m$$

Donde:

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi Rn = \phi * Fv * Ab * n * m$$

$$\phi Rn = \phi * 372\text{ MPA} * (0.3068\text{ plg}^2 * 25.4\text{ mm}^2/1\text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi Rn = 276.12\text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

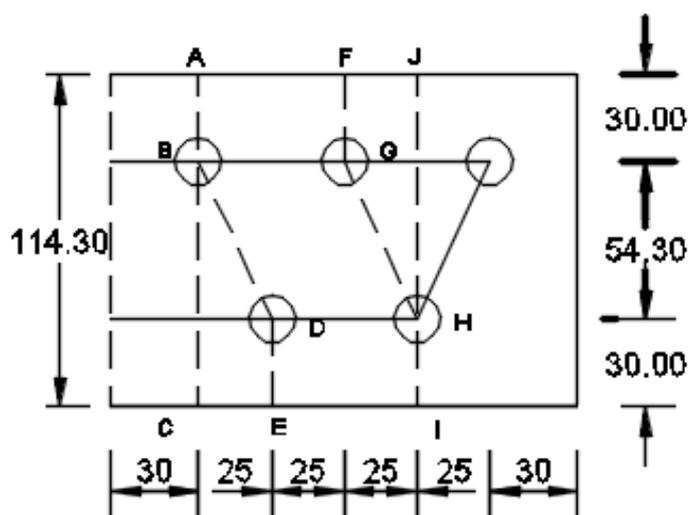
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 28205.75 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal (kN)	Resistencia de Diseño (kN)	Resistencia Nominal (Kg)	Resistencia de Diseño (Kg)	Resistencia de Diseño (kN)	Resistencia de Diseño (Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	90.73	81.65	9,181.43	8,263.29	81.65	8,263.29
Fractura en la Sección neta	0.75	96.77	72.58	9,870.95	7,403.21	72.58	7,403.21
Aplastamiento en los agujeros	0.75	254.01	190.51	25,908.81	19,431.61	121.55	12,398.19
Corte en pernos	0.75	368.16	276.12	37,607.67	28,205.75	276.12	28,205.75

PROBETAS DE 1/8" (M-04; M-05; M-06)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *250MPA	Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 90.73 kN	Tn= 9181.43 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 81.65 kN	∅Tn= 8,263.29 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 76.20mm*1*1/8plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 96.77 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=76.20mm*1cm/10mm*1*1/8plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 9870.95 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 72.58 kN	øTn= 7,403.21 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le < 1,5d y s < 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=Le*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=30mm*(1/8plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 38.10 \quad kN \quad \checkmark$$

$$Rn2=2.4*(5/8plg*25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/plg)*400MPA$$

$$Rn2= 48.39 \quad kN$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn3=(25mm-((5/8plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/8plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn3= 20.66 \quad kN \quad \checkmark$$

$$Rn4=2.4*((5/8plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn4= 53.23 \quad kN$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn3*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(38.10*1) + \phi(20.66*4)$$

$$\phi Rn= 90.56 \quad kN$$

Sistema MKS

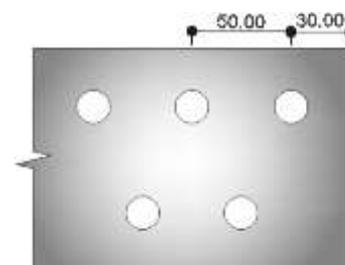
Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=Le*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=3cm*(1/8plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$Rn1= 3886.20 \quad kg \quad \checkmark$$

$$Rn2=2.4*(5/8plg*2.54cm/1plg)*(1/8plg*2.54cm/plg)*4080kg/cm2$$



$$Rn2 = 4935.47 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn = (s-d/2) \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn = (2.5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 2107.45 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 2.4 \cdot ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot (1/8\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn4 = 5429.02 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 \cdot N^\circ \text{ de pernos} + Rn3 \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(3886.20 \cdot 1) + \phi(2107.45 \cdot 4)$$

$$\phi Rn = 9237.01 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1.2 \cdot Lc \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

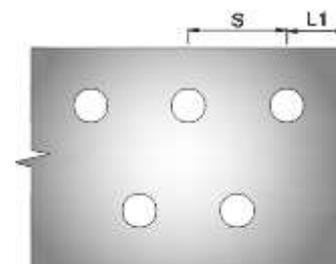
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1.2 \cdot Lc1 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 21.27\text{mm} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 32.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1.2 \cdot Lc2 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 32.54\text{mm} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 49.59 \text{ kN}$$

$$R_n = 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 2,4 \cdot (5/8 \text{plg} + 1/16 \text{plg}) \cdot 25,4 \text{mm} / 1 \text{plg} \cdot (1/8 \text{plg} \cdot 25,4 \text{mm} / 1 \text{plg}) \cdot 400 \text{MPa}$$

$$R_n = 53,23 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi (R_n \cdot N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 121,55 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

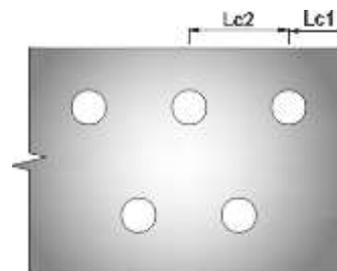
$$L_{c1} = 3 \text{cm} - ((5/8 \text{plg} + 1/16 \text{plg}) \cdot (2,54 \text{cm} / 1 \text{plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 2,13 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 5 \text{cm} - ((5/8 \text{plg} + 1/16 \text{plg}) \cdot (2,54 \text{cm} / 1 \text{plg}))$$

$$L_{c2} = 3,25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 \cdot L_{c1} \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 2,13 \text{cm} \cdot (1/8 \text{plg} \cdot 2,54 \text{cm} / 1 \text{plg}) \cdot 4080 \text{kg/cm}^2$$

$$R_n = 3306,18 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 \cdot L_{c2} \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 3,25 \text{cm} \cdot (1/8 \text{plg} \cdot 2,54 \text{cm} / 1 \text{plg}) \cdot 4080 \text{kg/cm}^2$$

$$R_n = 5057,89 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_n = 2,4 \cdot (5/8 \text{plg} + 1/16 \text{plg}) \cdot 2,54 \text{cm} / 1 \text{plg} \cdot (1/8 \text{plg} \cdot 2,54 \text{cm} / 1 \text{plg}) \cdot 4080 \text{kg/cm}^2$$

$$R_n = 5429,02 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_n \cdot N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 12398,19 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot n \cdot m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 372 \text{MPa} (0.3068 \text{plg}^2 * 25.4 \text{mm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 276.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

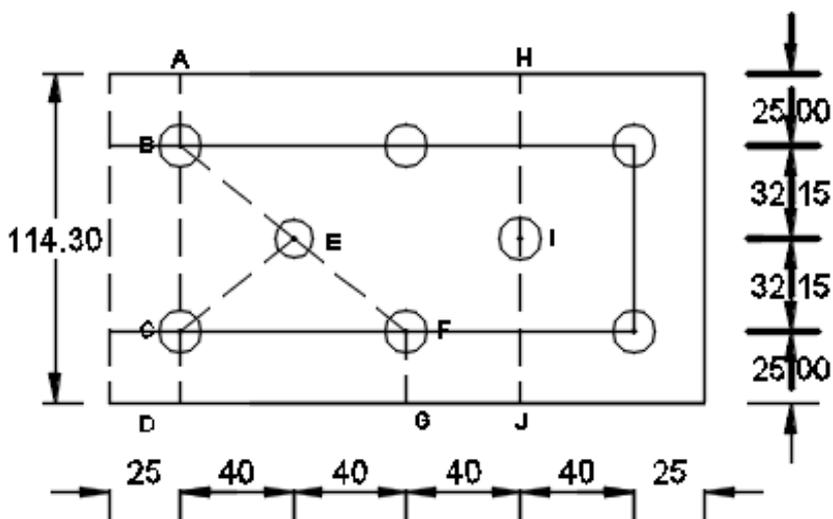
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{kg/cm}^2 (0.3068 \text{plg}^2 * 2.54 \text{cm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 28205.75 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño (Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	90.73	81.65	9,181.43	8,263.29	81.65	8,263.29
Fractura en la Sección neta	0.75	96.77	72.58	9,870.95	7,403.21	72.58	7,403.21
Aplastamiento en los agujeros	0.75	120.75	90.56	12,316.02	9,237.01	121.55	12,398.19
Corte en pernos	0.75	368.16	276.12	37,607.67	28,205.75	276.12	28,205.75

PROBETAS DE 1/8" (M-07; M-08; M-09)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPa	kg/cm ²
F _y	36	250	2530
F _u	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
A _g	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
	pulg	4.5
	mm	114.3
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

T _n = A _g * F _y	
Sistema Internacional	Sistema MKS
T _n = A _g * F _y	T _n = A _g * F _y
T _n = 363 mm ² * 250 MPa	T _n = 0.563 plg ² * (2.54 cm) ² / plg ² * 2530 kg/cm ²
T _n = 90.73 kN	T _n = 9181.43 kg
∅T _n = ∅ * A _g * F _y	
∅T _n = 81.65 kN	∅T _n = 8,263.29 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 82.55 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$ $T_n = 104.84 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 82.55 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 10693.53 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 78.63 \text{ kN}$	$\phi T_n = 8,020.15 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 38.71 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 41.73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

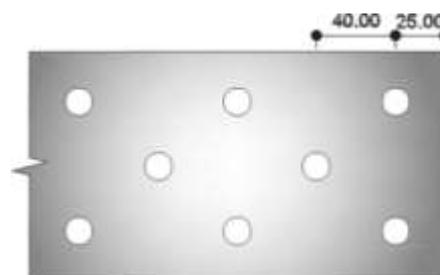
$$R_{n3} = 54.44 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (38.71 \cdot 2) + \phi (41.73 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 245.84 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 3948.38 \text{ kg} \quad \checkmark$$

para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 4256.20 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 5552.41 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(3948.38 * 2) + \phi(4256.20 * 6)$$

$$\phi Rn = 25075.46 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

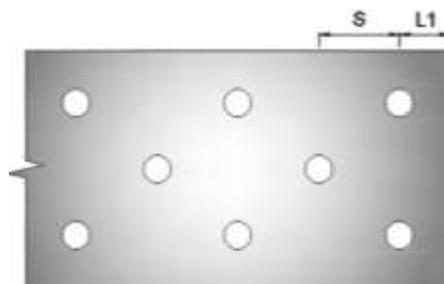
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 27.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 39.19 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = 43.55 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 163.28 \quad \text{kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

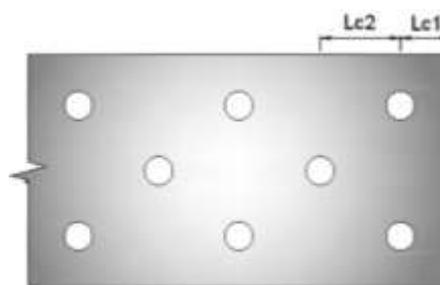
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g)) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \quad \text{cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g))$$

$$L_{c2} = 2.57 \quad \text{cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 1,79 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2,54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 2775,72 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 2,57 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2,54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 3996,96 \quad \text{kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * 2,54 \text{ cm} / 1 p_l g * (1/8 p_l g * 2,54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 4441,93 \quad \text{kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 16654,31 \quad \text{kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 372 \text{ MPA} * (0,1963495 p_l g^2 * 25,4 \text{ mm}^2 / 1 p_l g^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 282,74 \quad \text{kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

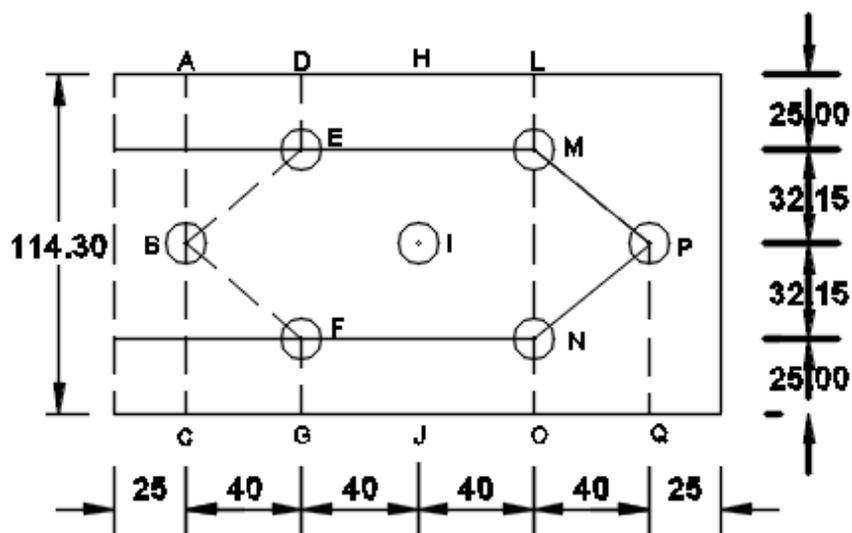
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 28882.32 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	90.73	81.65	9,181.43	8,263.29	81.65	8,263.29
Fractura en la Sección neta	0.75	104.84	78.63	10,693.53	8,020.15	78.63	8,020.15
Aplastamiento en los agujeros	0.75	327.78	245.84	33,433.95	25,075.46	163.28	16,654.31
Corte en pernos	0.75	376.99	282.74	38,509.76	28,882.32	282.74	28,882.32

PROBETAS DE 1/8" (M-10; M-11; M-12)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *250MPA	Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 90.73 kN	Tn= 9181.43 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 81.65 kN	∅Tn= 8,263.29 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$ $T_n = 116.28 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 11860.47 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 87.21 \text{ kN}$	$\phi T_n = 8,895.35 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 38.71 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) / 2)) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 41.73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

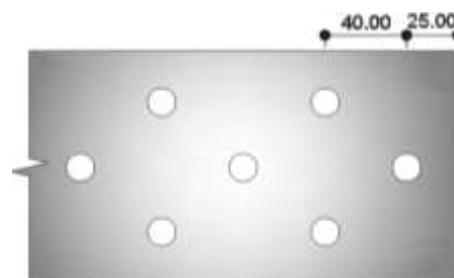
$$R_{n3} = 54.44 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (38.71 \cdot 1) + \phi (41.73 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 216.81 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 3948.38 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 4256.20 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 5552.41 \quad \text{kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\emptyset Rn = \emptyset(3948.38 * 1) + \emptyset(4256.20 * 6)$$

$$\emptyset Rn = 22114.18 \quad \text{kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo Lc1, y la distancia entre bordes de perforaciones Lc2 respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \quad \text{mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \quad \text{mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 27.21 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 39.19 \quad \text{kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = 43.55 \quad \text{kN}$$

$$\emptyset Rn = \emptyset(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\emptyset Rn = 142.87 \quad \text{kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

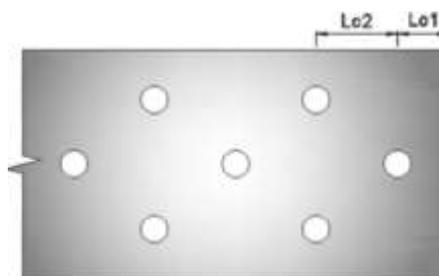
$$Lc1 = 2.5\text{cm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 1.79 \text{ cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 4\text{cm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 1.79\text{cm} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 2775.72 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.57\text{cm} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 3996.96 \text{ kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 4441.93 \text{ kg}$$

$$\varnothing Rn = \varnothing (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\varnothing Rn = 14572.52 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\varnothing Rn = \varnothing * Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\varnothing Rn = \varnothing * Fv * Ab * n * m$$

$$\varnothing Rn = \varnothing * 372\text{MPa} * (0.1963495\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 7 * 1$$

$$\varnothing Rn = 247.40 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

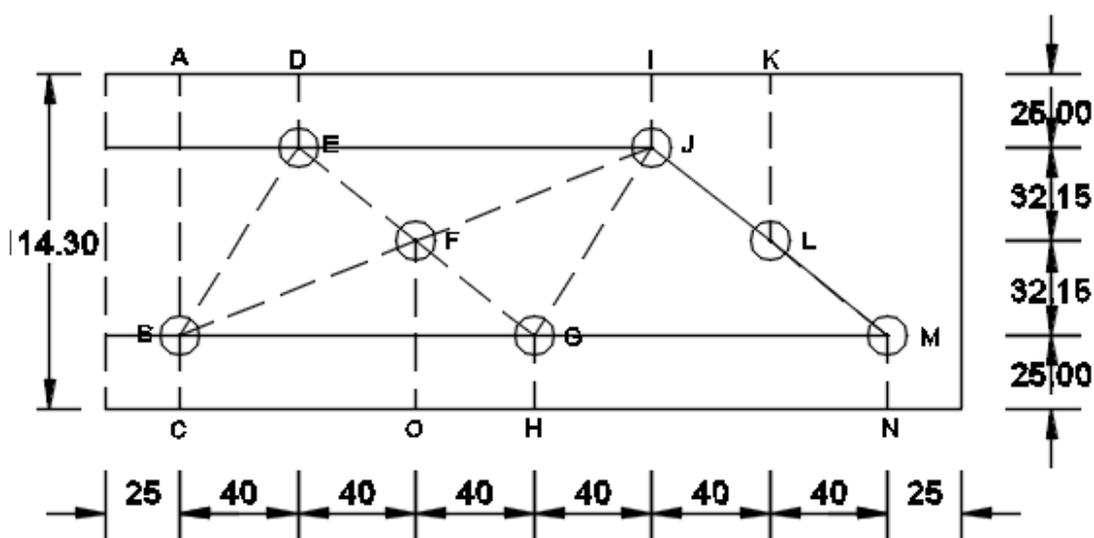
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 25272.03 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	90.73	81.65	9,181.43	8,263.29	81.65	8,263.29
Fractura en la Sección neta	0.75	116.28	87.21	11,860.47	8,895.35	87.21	8,895.35
Aplastamiento en los agujeros	0.75	289.07	216.81	29,485.57	22,114.18	142.87	14,572.52
Corte en pernos	0.75	329.87	247.40	33,696.04	25,272.03	247.40	25,272.03

PROBETAS DE 1/8" (M-13; M-14; M-15)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Limite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *250MPA	Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 90.73 kN	Tn= 9181.43 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 81.65 kN	∅Tn= 8,263.29 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 88.77mm*1*1/8plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 112.74 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=88.77mm*1cm/10mm*1*1/8plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 11499.37 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 84.55 kN	øTn= 8,624.53 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le ≥ 1,5d y s ≥ 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 * 1/2plg * (25.4mm/1plg) * (1/8plg * 25.4mm/1plg) * 400MPA$$

$$R_{n1} = 38.71 \quad kN \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) * t * F_u \leq 3 * d * t * F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40mm - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4mm/1plg) / 2)) * (1/8plg * 25.4mm/1plg) * 400MPA$$

$$R_{n2} = 41.73 \quad kN \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 * ((1/2plg + 1/16plg) * 25.4mm/1plg) * (1/8plg * 25.4mm/1plg) * 400MPA$$

$$R_{n3} = 54.44 \quad kN$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (38.71 * 1) + \phi (41.73 * 6)$$

$$\phi R_n = 216.81 \quad kN$$

Sistema MKS

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 * 1/2plg * (2.54cm/1plg) * (1/8plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm2$$

$$R_{n1} = 3948.38 \quad kg \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s - d/2) * t * F_u \leq 3 * d * t * F_u$$



Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4cm - (1/2plg + 1/16plg)/2) * 2.54cm/1plg * (1/8plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm2$$

$$Rn2 = 4256.20 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2plg + 1/16plg) * 2.54cm/1plg) * (1/8plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm2$$

$$Rn2 = 5552.41 \quad \text{kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(3948.38 * 1) + \phi(4256.20 * 6)$$

$$\phi Rn = 22114.18 \quad \text{kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo Lc1, y la distancia entre bordes de perforaciones Lc2 respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$



Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25mm - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4mm/1plg))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \quad \text{mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40mm - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4mm/1plg))$$

$$Lc2 = 25.71 \quad \text{mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86mm * (1/8plg * 25.4mm/1plg) * 400MPa$$

$$Rn1 = 27.21 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71mm * (1/8plg * 25.4mm/1plg) * 400MPa$$

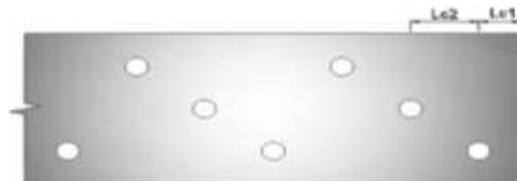
$$Rn2 = 39.19 \quad \text{kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2plg + 1/16plg) * 25.4mm/1plg * (1/8plg * 25.4mm/1plg) * 400MPa$$

$$Rn3 = 43.55 \quad \text{kN}$$

$$\begin{aligned} \emptyset R_n &= \emptyset(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos}) \\ \emptyset R_n &= 142.87 \quad \text{kN} \end{aligned}$$



Sistema MKS

$$\begin{aligned} L_{c1} &= L_1 - d/2 \\ L_{c1} &= 2.5\text{cm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (2.54\text{cm}/1plg))/2 \\ L_{c1} &= 1.79 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{c2} &= s - d \\ L_{c2} &= 4\text{cm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (2.54\text{cm}/1plg)) \\ L_{c2} &= 2.57 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 * L_{c1} * t * F_u \\ R_n &= 1.2 * 1.79\text{cm} * (1/8plg * 2.54\text{cm}/1plg) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2 \\ R_{n1} &= 2775.72 \quad \text{kg} \quad \checkmark \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 * L_{c2} * t * F_u \\ R_n &= 1.2 * 2.57\text{cm} * (1/8plg * 2.54\text{cm}/1plg) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2 \\ R_{n2} &= 3996.96 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 * d * t * F_u \\ R_n &= 2,4 * (1/2plg + 1/16plg) * 2.54\text{cm}/1plg * (1/8plg * 2.54\text{cm}/1plg) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2 \\ R_{n3} &= 4441.93 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset R_n &= \emptyset(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos}) \\ \emptyset R_n &= 14572.52 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\emptyset R_n = \emptyset * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\emptyset R_n = \emptyset * F_v * A_b * n * m$$

$$\emptyset R_n = \emptyset * 372\text{MPa} * (0.1963495plg^2 * 25.4\text{mm}^2/1plg^2) * 7 * 1$$

$$\emptyset R_n = 247.40 \quad \text{kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

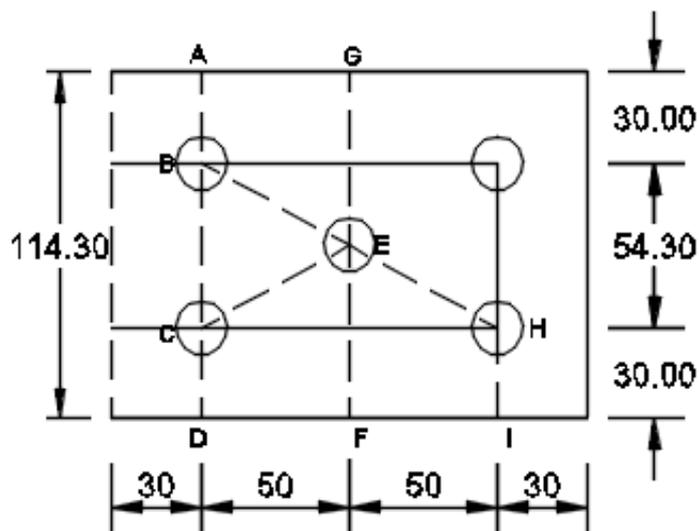
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) \cdot 7 \cdot 1$$

$$\phi R_n = 25272.03 \quad \text{kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	90.73	81.65	9,181.43	8,263.29	81.65	8,263.29
Fractura en la Sección neta	0.75	112.74	84.55	11,499.37	8,624.53	84.55	8,624.53
Aplastamiento en los agujeros	0.75	289.07	216.81	29,485.57	22,114.18	142.87	14,572.52
Corte en pernos	0.75	329.87	247.40	33,696.04	25,272.03	247.40	25,272.03

PROBETAS DE 3/16" (M-16; M-17; M-18)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
pulg	4.5	3/16
mm	114.3	4.76
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 544mm ² *250MPA	Tn=0.844plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 136.09 kN	Tn= 13772.15 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 122.48 kN	∅Tn= 12,394.93 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 76.20 \text{ mm} \cdot 1 \cdot \frac{3}{16} \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$ $T_n = 145.16 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 76.20 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot \frac{3}{16} \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 14806.42 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 108.87 \text{ kN}$	$\phi T_n = 11,104.82 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1.5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot \frac{5}{8} \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 72.58 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (50 \text{ mm} - ((\frac{5}{8} \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) / 2)) \cdot (\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 78.62 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((\frac{5}{8} \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

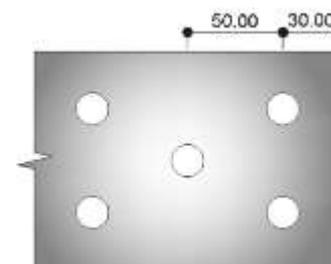
$$R_{n3} = 99.80 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (72.58 \cdot 2) + \phi (78.62 \cdot 3)$$

$$\phi R_n = 285.76 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot \frac{5}{8} \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 7403.21 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_n = (5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 8018.93 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 3 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 10179.42 \quad \text{kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$R_n = R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi(7403.21 * 2) + \phi(8018.93 * 3)$$

$$\phi R_n = 29147.41 \quad \text{kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$R_n = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

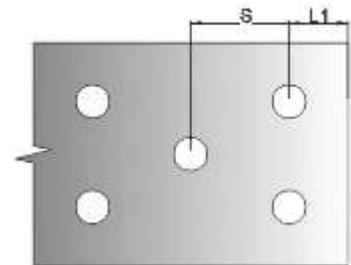
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \quad \text{mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \quad \text{mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$R_n = 1,2 * 21.27\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$R_{n1} = 48.62 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$R_n = 1,2 * 32.54\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$R_{n2} = 74.38 \quad \text{kN}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$R_{n3} = 79.84 \quad \text{kN}$$

$$\phi R_n = \phi(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 182.33 \quad \text{kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

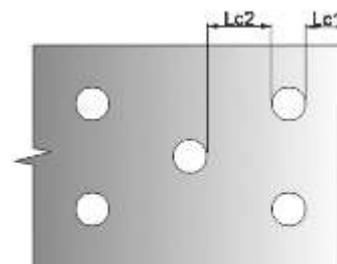
$$Lc1 = 3\text{cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 2.13 \quad \text{cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 5\text{cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 3.25 \quad \text{cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.13\text{cm} * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 4959.28 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 3.25\text{cm} * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 7586.83 \quad \text{kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 8143.53 \quad \text{kg}$$

$$\emptyset Rn = \emptyset (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\emptyset Rn = 18597.29 \quad \text{kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\emptyset Rn = \emptyset * Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\emptyset Rn = \emptyset * Fv * Ab * n * m$$

$$\emptyset Rn = \emptyset * 372\text{MPa} * (0.3068\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\emptyset Rn = 276.12 \quad \text{kN}$$

Sistema MKS

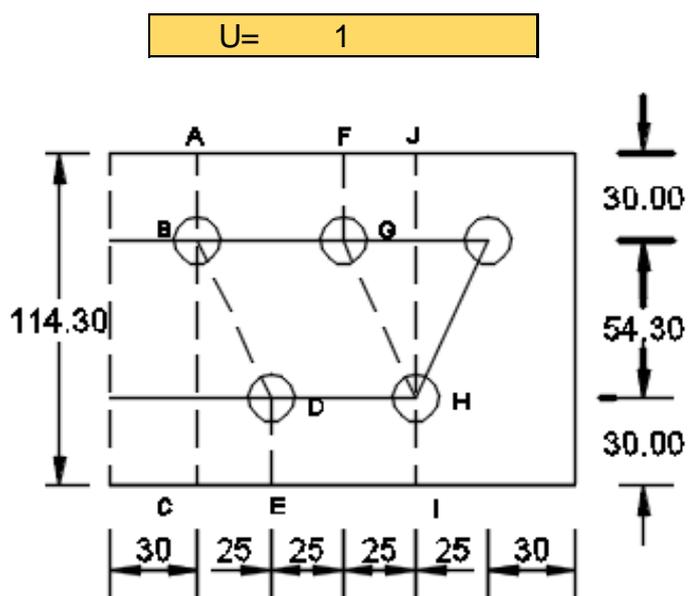
$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 28205.75 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	136.09	122.48	13,772.15	12,394.93	122.48	12,394.93
Fractura en la Sección neta	0.75	145.16	108.87	14,806.42	11,104.82	108.87	11,104.82
Aplastamiento en los agujeros	0.75	381.01	285.76	38,863.21	29,147.41	182.33	18,597.29
Corte en pernos	0.75	368.16	276.12	37,607.67	28,205.75	276.12	28,205.75

PROBETAS DE 3/16" (M-19; M-20; M-21)



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
	pulg	4.5
	mm	114.3
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

$T_n = A_g \cdot F_y$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 544 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ MPA}$ $T_n = 136.09 \text{ kN}$	$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 0.844 \text{ plg}^2 \cdot (2.54 \text{ cm})^2 / \text{plg}^2 \cdot 2530 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 13772.15 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_y$	
$\phi T_n = 122.48 \text{ kN}$	$\phi T_n = 12,394.93 \text{ Kg}$

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot F_u$ $T_n = 79.08 \text{ mm} \cdot 1 \cdot \frac{3}{16} \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$ $T_n = 150.64 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot F_u$ $T_n = 79.08 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot \frac{3}{16} \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 15365.56 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 112.98 \text{ kN}$	$\phi T_n = 11,524.17 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$L_e < 1,5d$ y $s < 3d$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = L_e \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 30 \text{ mm} \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \right) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 57.15 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n2} = 2.4 \cdot \left(\frac{5}{8} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \right) \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \right) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 72.58 \quad \text{kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n3} = \left(25 \text{ mm} - \left(\frac{5}{8} \text{ plg} + \frac{1}{16} \text{ plg} \right) \cdot \left(\frac{25.4 \text{ mm/plg}}{2} \right) \right) \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \right) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 30.99 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n4} = 2.4 \cdot \left(\frac{5}{8} \text{ plg} + \frac{1}{16} \text{ plg} \right) \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \right) \cdot 400 \text{ MPA}$$

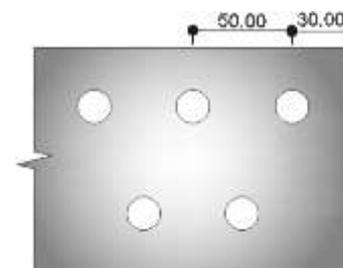
$$R_{n4} = 79.84 \quad \text{kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n3} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (57.15 \cdot 1) + \phi (30.99 \cdot 4)$$

$$\phi R_n = 135.84 \quad \text{kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = L_e \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 3 \text{ cm} \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg} \right) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 5829.30 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$R_{n2} = 2.4 \cdot \left(\frac{5}{8} \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg} \right) \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg} \right) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$Rn2 = 7403.21 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn = (s-d/2) \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn = (2.5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg} \cdot (3/16\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 3161.18 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 2.4 \cdot ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot (3/16\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn4 = 8143.53 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 \cdot N^\circ \text{ de pernos} + Rn3 \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(5829.30 \cdot 1) + \phi(3161.18 \cdot 4)$$

$$\phi Rn = 13855.52 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1.2 \cdot Lc \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

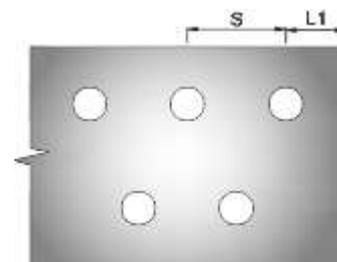
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1.2 \cdot Lc1 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 21.27\text{mm} \cdot (3/16\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 48.62 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1.2 \cdot Lc2 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 32.54\text{mm} \cdot (3/16\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 74.38 \text{ kN}$$

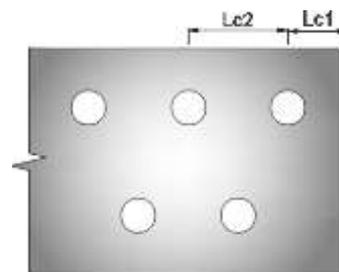
$$Rn = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 25.4mm/1plg * (3/16plg * 25.4mm/1plg) * 400MPA$$

$$R_{n3} = 79.84 \quad kN$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 182.33 \quad kN$$



Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

$$L_{c1} = 3cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm/1plg))/2$$

$$L_{c1} = 2.13 \quad cm$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 5cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm/1plg))$$

$$L_{c2} = 3.25 \quad cm$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.13cm * (3/16plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm^2$$

$$R_{n1} = 4959.28 \quad kg \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 3.25cm * (3/16plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm^2$$

$$R_{n2} = 7586.83 \quad kg$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 2.54cm/1plg * (3/16plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm^2$$

$$R_{n3} = 8143.53 \quad kg$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 18597.29 \quad kg$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPA] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 372 \text{MPa} (0.3068 \text{plg}^2 * 25.4 \text{mm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 276.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

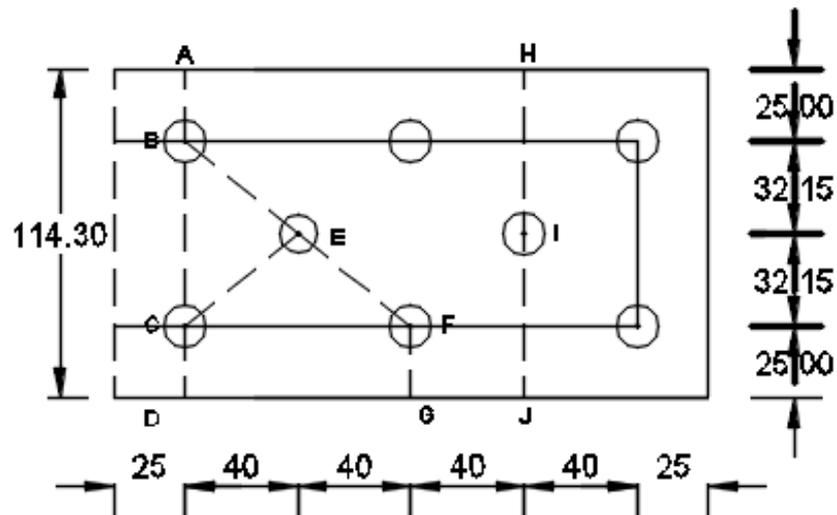
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{kg/cm}^2 (0.3068 \text{plg}^2 * 2.54 \text{cm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 28205.75 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	136.09	122.48	13,772.15	12,394.93	122.48	12,394.93
Fractura en la Sección neta	0.75	150.64	112.98	15,365.56	11,524.17	112.98	11,524.17
Aplastamiento en los agujeros	0.75	181.12	135.84	18,474.02	13,855.52	182.33	18,597.29
Corte en pernos	0.75	368.16	276.12	37,607.67	28,205.75	276.12	28,205.75

PROBETAS DE 3/16" (M-22; M-23; M-24)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
F _y	36	250	2530
F _u	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
A _g	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
	pulg	4.5
	mm	114.3
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

T _n = A _g * F _y	
Sistema Internacional	Sistema MKS
T _n = A _g * F _y	T _n = A _g * F _y
T _n = 544 mm ² * 250 MPA	T _n = 0.844 plg ² * (2.54 cm) ² / plg ² * 2530 kg/cm ²
T _n = 136.09 kN	T _n = 13772.15 kg
∅T _n = ∅ * A _g * F _y	
∅T _n = 122.48 kN	∅T _n = 12,394.93 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 82.55 \text{ mm} \cdot 1 \cdot \frac{3}{16} \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$ $T_n = 157.26 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 82.55 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot \frac{3}{16} \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 16040.29 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 117.94 \text{ kN}$	$\phi T_n = 12,030.22 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1.5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot \frac{1}{2} \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg} \right) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 58.06 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 62.59 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

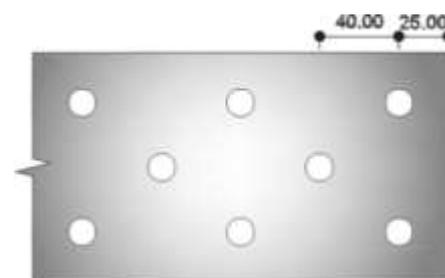
$$R_{n3} = 81.65 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (58.06 \cdot 2) + \phi (62.59 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 368.76 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot \frac{1}{2} \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot \left(\frac{3}{16} \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg} \right) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 5922.57 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = \quad 6384.30 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = \quad 8328.61 \quad \text{kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será
 $Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$
 $\varnothing Rn = \varnothing(5922.57 * 2) + \varnothing(6384.30 * 6)$
 $\varnothing Rn = \quad 37613.19 \quad \text{kg}$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo Lc1, y la distancia entre bordes de perforaciones Lc2 respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

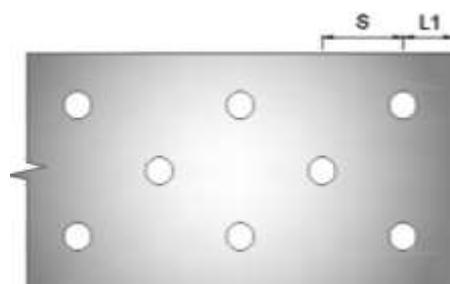
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = \quad 17.86 \quad \text{mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = \quad 25.71 \quad \text{mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = \quad 40.82 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = \quad 58.78 \quad \text{kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = \quad 65.32 \quad \text{kN}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 244.92 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

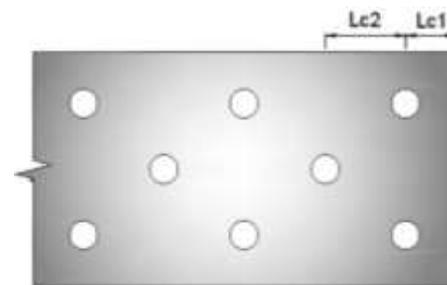
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}))/2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 1.79 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$R_{n1} = 4163.58 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 2.57 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$R_{n2} = 5995.44 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$R_{n3} = 6662.89 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 24981.47 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 372 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2/1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 282.74 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

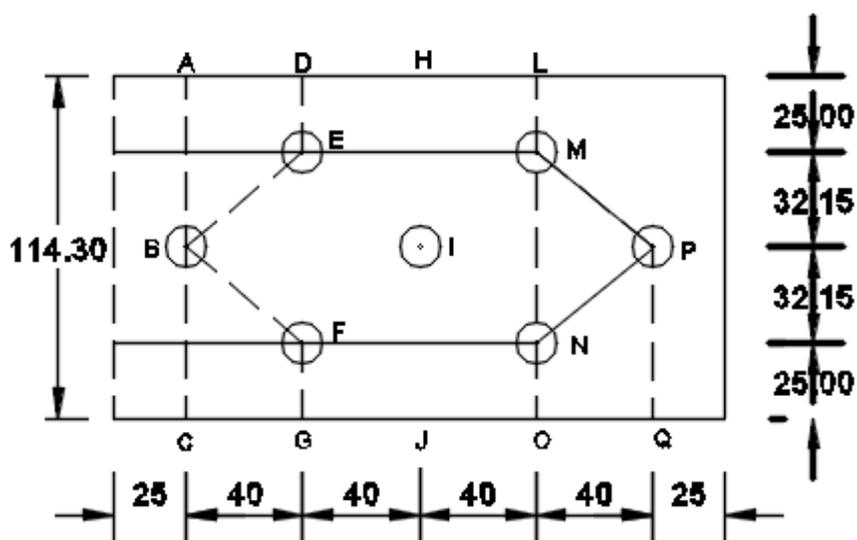
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 28882.32 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	136.09	122.48	13,772.15	12,394.93	122.48	12,394.93
Fractura en la Sección neta	0.75	157.26	117.94	16,040.29	12,030.22	117.94	12,030.22
Aplastamiento en los agujeros	0.75	491.68	368.76	50,150.93	37,613.19	244.92	24,981.47
Corte en pernos	0.75	376.99	282.74	38,509.76	28,882.32	282.74	28,882.32

PROBETAS DE 3/16" (M-25; M-26; M-27)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
pulg	4.5	3/16
mm	114.3	4.76
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 544mm ² *250MPA	Tn=0.844plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 136.09 kN	Tn= 13772.15 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 122.48 kN	∅Tn= 12,394.93 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 91.56mm*1*3/16plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 174.42 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=91.56mm*1cm/10mm*1*3/16plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 17790.70 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 130.81 kN	øTn= 13,343.03 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

$$Le \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 58.06 \quad kN \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(3/16plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn2= 62.59 \quad kN \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

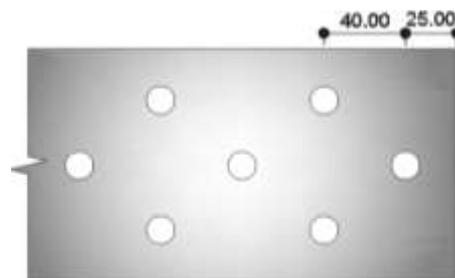
$$Rn3= 81.65 \quad kN$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn2*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(58.06*1) + \phi(62.59*6)$$

$$\phi Rn= 325.21 \quad kN$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(3/16plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$Rn1= 5922.57 \quad kg \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 6384.30 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 8328.61 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^{\circ} \text{ de pernos} + Rn2 * N^{\circ} \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(5922.57 * 1) + \phi(6384.30 * 6)$$

$$\phi Rn = 33171.27 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

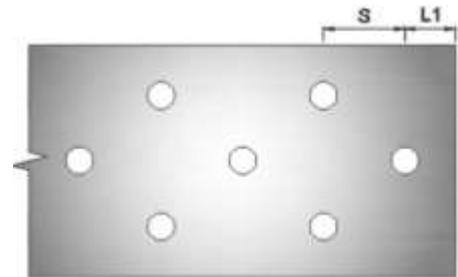
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 40.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 58.78 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = 65.32 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^{\circ} \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 214.30 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

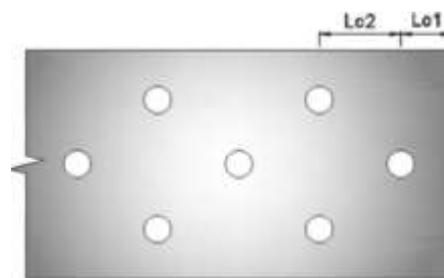
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}))/2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$R_{n1} = 4163.58 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$R_{n2} = 5995.44 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$R_{n3} = 6662.89 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 21858.78 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 372 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2/1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 247.40 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

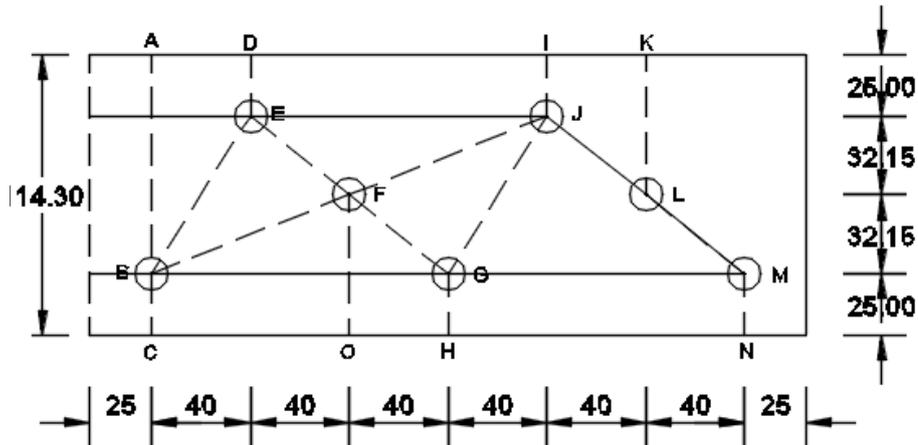
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 25272.03 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	136.09	122.48	13,772.15	12,394.93	122.48	12,394.93
Fractura en la Sección neta	0.75	174.42	130.81	17,790.70	13,343.03	130.81	13,343.03
Aplastamiento en los agujeros	0.75	433.61	325.21	44,228.36	33,171.27	214.30	21,858.78
Corte en pernos	0.75	329.87	247.40	33,696.04	25,272.03	247.40	25,272.03

PROBETAS DE 3/16" (M-28; M-29; M-30)

$U = 1$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
ϕ	0.90	fluencia	
ϕ	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
pulg	4.5	3/16
mm	114.3	4.76
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

$T_n = A_g \cdot F_y$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 544 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ MPA}$ $T_n = 136.09 \text{ kN}$	$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 0.844 \text{ plg}^2 \cdot (2.54 \text{ cm})^2 / \text{plg}^2 \cdot 2530 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 13772.15 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_y$	
$\phi T_n = 122.48 \text{ kN}$	$\phi T_n = 12,394.93 \text{ Kg}$

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae*Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 88.77mm*1*3/16plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 169.11 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=88.77mm*1cm/10mm*1*3/16plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 17249.06 kg
øTn=ø*Ag*Fu	
øTn= 126.83 kN	øTn= 12,936.80 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le ≥ 1,5d y s ≥ 3d**Sistema Internacional**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 58.06 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(3/16plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn2= 62.59 \quad \text{kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn3= 81.65 \quad \text{kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

øRn= øRn1*N° de pernos+øRn2*N° de pernos

$$\text{øRn} = \text{ø}(58.06*1)+\text{ø}(62.59*6)$$

$$\text{øRn} = 325.21 \quad \text{kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(3/16plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$Rn1= 5922.57 \quad \text{kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 6384.30 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 8328.61 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(5922.57 * 1) + \phi(6384.30 * 6)$$

$$\phi Rn = 33171.27 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc1 * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 40.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 58.78 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = 65.32 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$



$$\phi R_n = 214.30 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

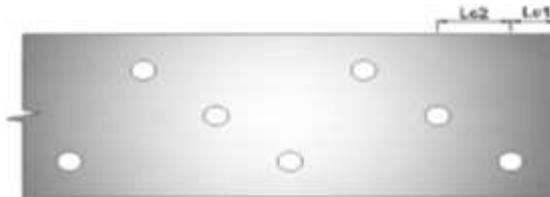
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 4163.58 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 5995.44 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 6662.89 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 21858.78 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Numero de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 372 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 247.40 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

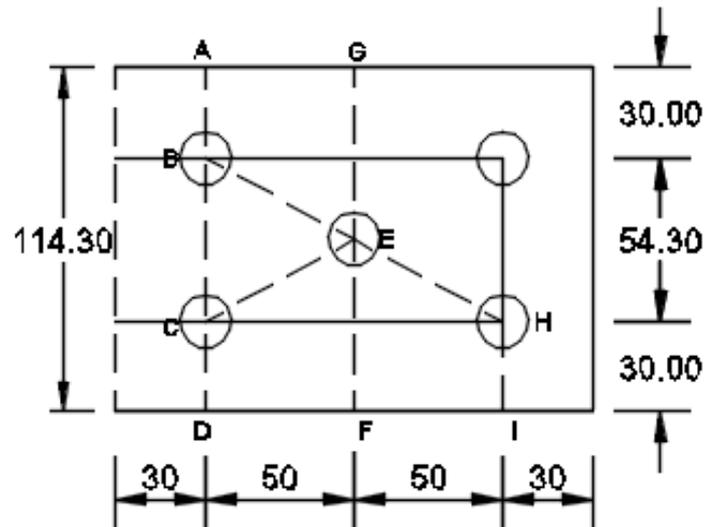
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 25272.03 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	136.09	122.48	13,772.15	12,394.93	122.48	12,394.93
Fractura en la Sección neta	0.75	169.11	126.83	17,249.06	12,936.80	126.83	12,936.80
Aplastamiento en los agujeros	0.75	433.61	325.21	44,228.36	33,171.27	214.30	21,858.78
Corte en pernos	0.75	329.87	247.40	33,696.04	25,272.03	247.40	25,272.03

PROBETAS DE 1/4" (M-31; M-32; M-33)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm ² *250MPA	Tn=1.125plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 181.45 kN	Tn= 18362.87 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 163.31 kN	∅Tn= 16,526.58 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae*Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 76.20mm*1*1/4plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 193.55 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=76.20mm*1cm/10mm*1*1/4plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 19741.90 kg
øTn=ø*Ag*Fu	
øTn= 145.16 kN	øTn= 14,806.42 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

$$Le \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*5/8plg*(25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 96.77 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(50mm-((5/8plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn2= 104.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((5/8plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

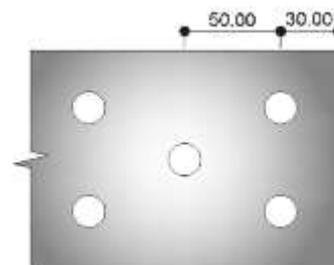
$$Rn3= 133.06 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn2*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(96.77*2) + \phi(104.82*3)$$

$$\phi Rn= 381.01 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*5/8plg*(2.54cm/1plg)*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$Rn= 9870.95 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_n = (5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 10691.91 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 3 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 13572.55 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$R_n = R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi(9870.95 * 2) + \phi(10691.91 * 3)$$

$$\phi R_n = 38863.21 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$R_n = (1,2 * L_c * t * F_u \leq 2,4 * d * t * F_u)$$

Sistema Internacional

$$L_{c1} = L1 - d/2$$

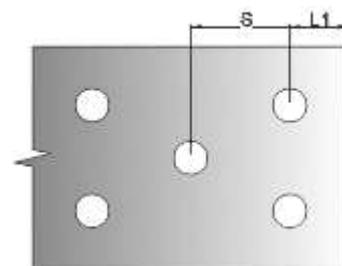
$$L_{c1} = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$L_{c1} = 21.27 \text{ mm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$L_{c2} = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 21.27\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$R_{n1} = 64.83 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 32.54\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$R_{n2} = 99.17 \text{ kN}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$R_{n3} = 106.45 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 243.10 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

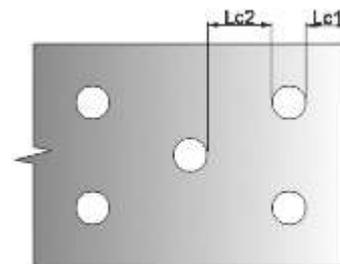
$$Lc1 = 3\text{cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 2.13 \text{ cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 5\text{cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 3.25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.13\text{cm} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 6612.37 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 3.25\text{cm} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 10115.78 \text{ kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 10858.04 \text{ kg}$$

$$\phi Rn = \phi (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi Rn = 24796.38 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi Rn = \phi * Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi Rn = \phi * Fv * Ab * n * m$$

$$\phi Rn = \phi * 372\text{MPa} * (0.3068\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi Rn = 276.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

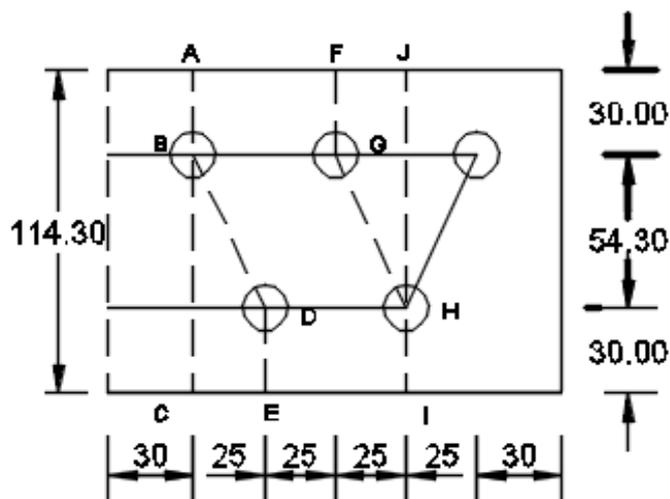
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 28205.75 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal (kN)	Resistencia de Diseño (kN)	Resistencia Nominal (Kg)	Resistencia de Diseño (Kg)	Resistencia de Diseño (kN)	Resistencia de Diseño (Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	181.45	163.31	18,362.87	16,526.58	163.31	16,526.58
Fractura en la Sección neta	0.75	193.55	145.16	19,741.90	14,806.42	145.16	14,806.42
Aplastamiento en los agujeros	0.75	508.02	381.01	51,817.62	38,863.21	243.10	24,796.38
Corte en pernos	0.75	368.16	276.12	37,607.67	28,205.75	276.12	28,205.75

PROBETAS DE 1/4" (M-34; M-35; M-36)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm ² *250MPA	Tn=1.125plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 181.45 kN	Tn= 18362.87 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 163.31 kN	∅Tn= 16,526.58 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 79.08mm*1*1/4plg*(25.4mm/plg)*400MPa Tn= 200.86 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=79.08mm*1cm/10mm*1*1/4plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 20487.41 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 150.64 kN	øTn= 15,365.56 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le <1,5d y s < 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = L_e \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 30\text{mm} \cdot (1/4\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$R_{n1} = 76.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n2} = 2.4 \cdot (5/8\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot (1/4\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$R_{n2} = 96.77 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n3} = (25\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg})/2)) \cdot (1/4\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$R_{n3} = 41.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n4} = 2.4 \cdot ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot (1/4\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 400\text{MPa}$$

$$R_{n4} = 106.45 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n3} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (76.20 \cdot 1) + \phi (41.32 \cdot 4)$$

$$\phi R_n = 181.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

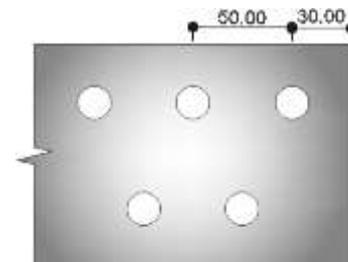
Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = L_e \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 3\text{cm} \cdot (1/4\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4080\text{kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 7772.40 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_{n2} = 2.4 \cdot (5/8\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot (1/4\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4080\text{kg/cm}^2$$



$$Rn2 = 9870.95 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn = (s - d/2) * t * Fu \leq 2.4 * d * t * Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn = (2.5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 4214.91 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 2.4 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn4 = 10858.04 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn3 * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(7772.40 * 1) + \phi(4214.91 * 4)$$

$$\phi Rn = 18474.02 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1.2 * Lc * t * Fu \leq 2.4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

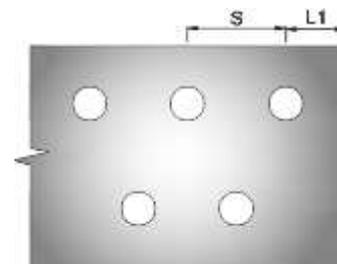
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1.2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 21.27\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 64.83 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1.2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 32.54\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 99.17 \text{ kN}$$

$$Rn = 2.4 * d * t * Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 25.4mm/1plg * (1/4plg * 25.4mm/1plg) * 400MPa$$

$$R_{n3} = 106.45 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

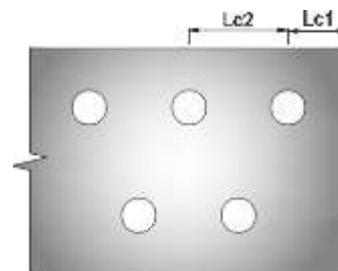
$$\phi R_n = 243.10 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

$$L_{c1} = 3cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm/1plg))/2$$

$$L_{c1} = 2.13 \text{ cm}$$



$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 5cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm/1plg))$$

$$L_{c2} = 3.25 \text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.13cm * (1/4plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm^2$$

$$R_{n1} = 6612.37 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 3.25cm * (1/4plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm^2$$

$$R_{n2} = 10115.78 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 2.54cm/1plg * (1/4plg * 2.54cm/1plg) * 4080kg/cm^2$$

$$R_{n3} = 10858.04 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 24796.38 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 372 \text{MPa} (0.3068 \text{plg}^2 * 25.4 \text{mm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 276.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

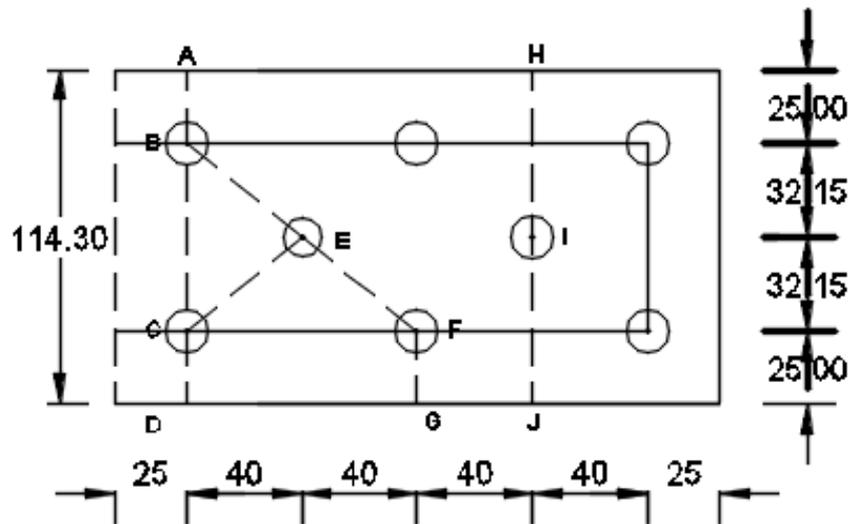
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{kg/cm}^2 (0.3068 \text{plg}^2 * 2.54 \text{cm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 28205.75 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	181.45	163.31	18,362.87	16,526.58	163.31	16,526.58
Fractura en la Sección neta	0.75	200.86	150.64	20,487.41	15,365.56	150.64	15,365.56
Aplastamiento en los agujeros	0.75	241.49	181.12	24,632.03	18,474.02	243.10	24,796.38
Corte en pernos	0.75	368.16	276.12	37,607.67	28,205.75	276.12	28,205.75

PROBETAS DE 1/4" (M-37; M-38; M-39)

$U = 1$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
F _y	36	250	2530
F _u	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
A _g	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

T _n = A _g * F _y	
Sistema Internacional	Sistema MKS
T _n = A _g * F _y	T _n = A _g * F _y
T _n = 726 mm ² * 250 MPA	T _n = 1.125 plg ² * (2.54 cm) ² / plg ² * 2530 kg/cm ²
T _n = 181.45 kN	T _n = 18362.87 kg
∅T _n = ∅ * A _g * F _y	
∅T _n = 163.31 kN	∅T _n = 16,526.58 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 82.55mm*1*1/4plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 209.68 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=82.55mm*1cm/10mm*1*1/4plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 21387.05 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 157.26 kN	øTn= 16,040.29 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

$$Le \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 77.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn2= 83.45 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn3= 108.87 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

øRn= øRn1*N° de pernos+øRn2*N° de pernos

$$\text{øRn} = \text{ø}(77.42*2) + \text{ø}(83.45*6)$$

$$\text{øRn} = 491.68 \text{ kN}$$

Sistema MKS

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

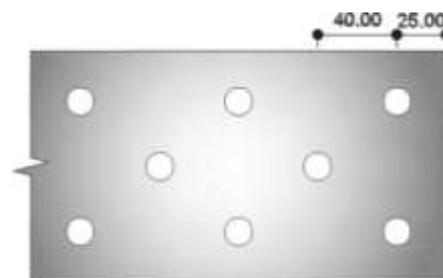
$$Rn1= 7896.76 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(4cm-(1/2plg+1/16plg)/2)*2.54cm/1plg*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$



$$Rn2 = 8512.40 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2plg + 1/16plg) * 2.54 \text{ cm} / 1plg) * (1/4plg * 2.54 \text{ cm} / 1plg) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$Rn2 = 11104.82 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(7896.76 * 2) + \phi(8512.40 * 6)$$

$$\phi Rn = 50150.93 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

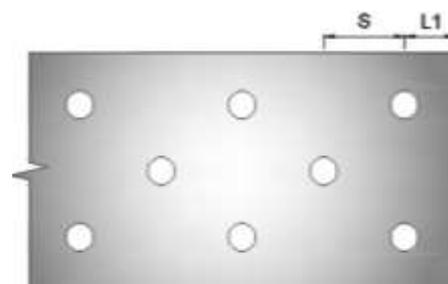
$$Lc1 = 25 \text{ mm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4 \text{ mm} / 1plg)) / 2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40 \text{ mm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4 \text{ mm} / 1plg))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86 \text{ mm} * (1/4plg * 25.4 \text{ mm} / 1plg) * 400 \text{ MPA}$$

$$Rn1 = 54.43 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71 \text{ mm} * (1/4plg * 25.4 \text{ mm} / 1plg) * 400 \text{ MPA}$$

$$Rn2 = 78.37 \text{ kN}$$

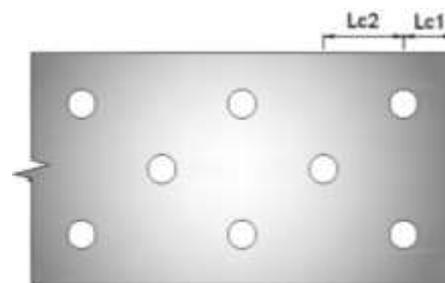
$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2plg + 1/16plg) * 25.4 \text{ mm} / 1plg * (1/4plg * 25.4 \text{ mm} / 1plg) * 400 \text{ MPA}$$

$$Rn3 = 87.10 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi Rn = 326.56 \text{ kN}$$



Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 2.5\text{cm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 1.79 \text{ cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 4\text{cm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 2.57 \text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 1.79\text{cm} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 5551.44 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.57\text{cm} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 7993.91 \text{ kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 8883.85 \text{ kg}$$

$$\varnothing Rn = \varnothing (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\varnothing Rn = 33308.62 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\varnothing Rn = \varnothing Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\varnothing Rn = \varnothing Fv * Ab * n * m$$

$$\varnothing Rn = \varnothing 372\text{MPa} * (0.1963495\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 8 * 1$$

$$\varnothing Rn = 282.74 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

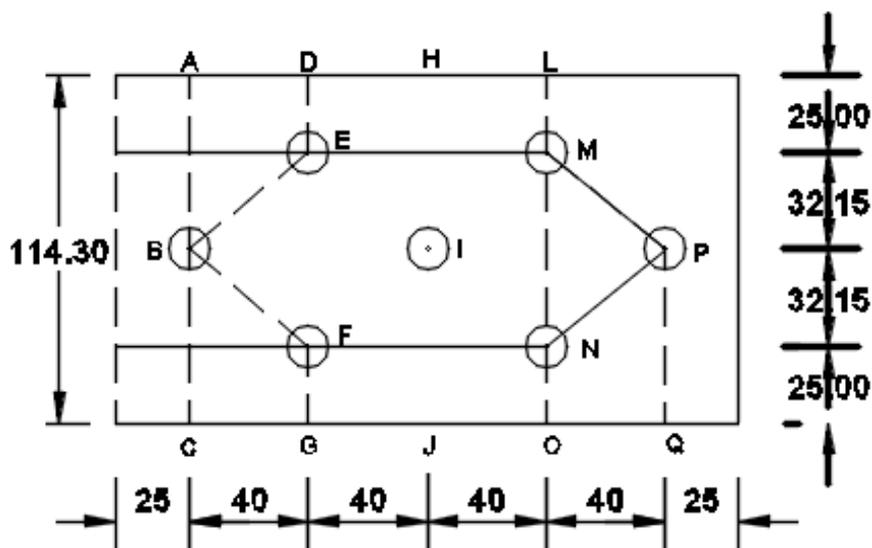
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 28882.32 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	181.45	163.31	18,362.87	16,526.58	163.31	16,526.58
Fractura en la Sección neta	0.75	209.68	157.26	21,387.05	16,040.29	157.26	16,040.29
Aplastamiento en los agujeros	0.75	655.57	491.68	66,867.90	50,150.93	326.56	33,308.62
Corte en pernos	0.75	376.99	282.74	38,509.76	28,882.32	282.74	28,882.32

PROBETAS DE 1/4" (M-40; M-41; M-42)

$$U = 1$$



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm ² *250MPA	Tn=1.125plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *2530kg/cm ²
Tn= 181.45 kN	Tn= 18362.87 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 163.31 kN	∅Tn= 16,526.58 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae*Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 91.56mm*1*1/4plg*(25.4mm/plg)*400MPA Tn= 232.56 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=91.56mm*1cm/10mm*1*1/4plg*(2.54cm/1plg)*4080kg/cm2 Tn= 23720.94 kg
øTn=ø*Ag*Fu	
øTn= 174.42 kN	øTn= 17,790.70 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

$Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn1= 77.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

$$Rn2= 83.45 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*400MPA$$

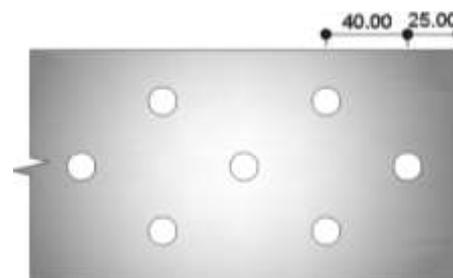
$$Rn3= 108.87 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn2*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(77.42*1) + \phi(83.45*6)$$

$$\phi Rn= 433.61 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4080kg/cm2$$

$$Rn1= 7896.76 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 8512.40 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 11104.82 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\emptyset Rn = \emptyset(7896.76 * 1) + \emptyset(8512.40 * 6)$$

$$\emptyset Rn = 44228.36 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

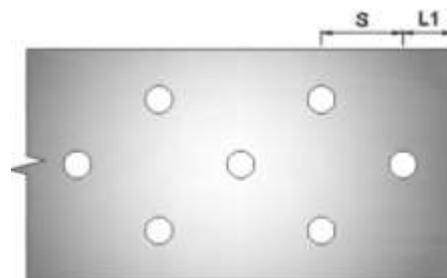
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 54.43 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 78.37 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = 87.10 \text{ kN}$$

$$\emptyset Rn = \emptyset(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 285.74 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

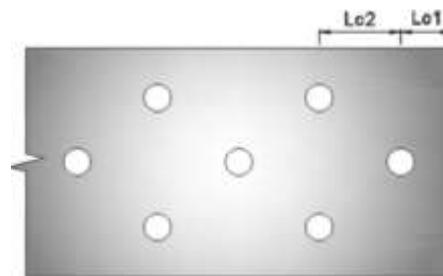
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g)) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (1/4 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 5551.44 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (1/4 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 7993.91 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g * (1/4 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 8883.85 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 29145.04 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 372 \text{ MPA} * (0.1963495 p_l g^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 p_l g^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 247.40 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

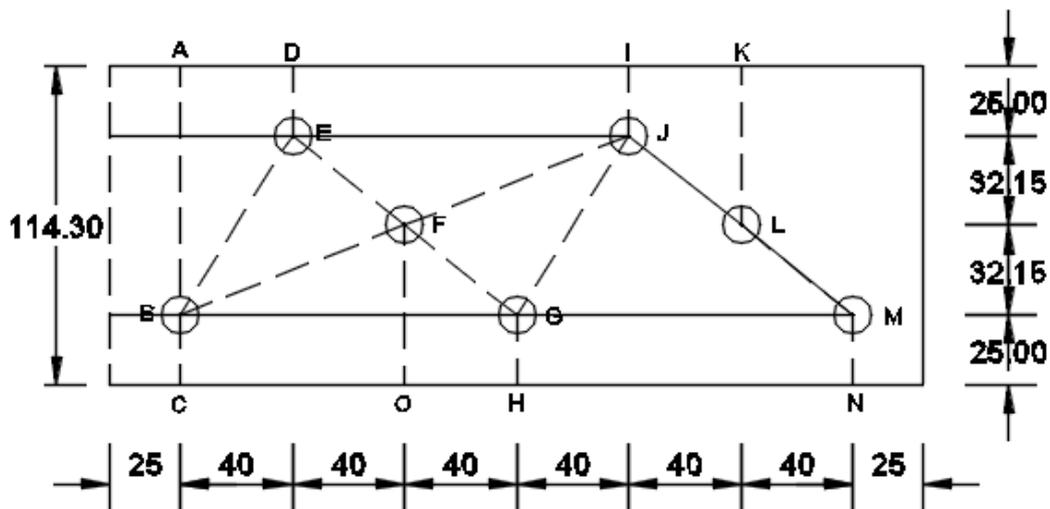
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 25272.03 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	181.45	163.31	18,362.87	16,526.58	163.31	16,526.58
Fractura en la Sección neta	0.75	232.56	174.42	23,720.94	17,790.70	174.42	17,790.70
Aplastamiento en los agujeros	0.75	578.15	433.61	58,971.14	44,228.36	285.74	29,145.04
Corte en pernos	0.75	329.87	247.40	33,696.04	25,272.03	247.40	25,272.03

PROBETAS DE 1/4" (M-43; M-44; M-45)

U= 1



Acero A-36	ksi	MPA	kg/cm2
Fy	36	250	2530
Fu	58	400	4080
ϕ	0.90	fluencia	
ϕ	0.75	fractura	
Ag	726	mm2	
	1.125	plg2	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A325	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm2*250MPA	Tn=1.125plg2*(2.54cm)^2/plg2*2530kg/cm2
Tn= 181.45 kN	Tn= 18362.87 kg
$\phi Tn=\phi*Ag* Fy$	
$\phi Tn= 163.31$ kN	$\phi Tn= 16,526.58$ Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 88.77 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$ $T_n = 225.48 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 88.77 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 22998.75 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 169.11 \text{ kN}$	$\phi T_n = 17,249.06 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

 $Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$ **Sistema Internacional**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 77.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 83.45 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 400 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 108.87 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

 $\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (77.42 \cdot 1) + \phi (83.45 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 433.61 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 7896.76 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 8512.40 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4080\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 11104.82 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(7896.76 * 1) + \phi(8512.40 * 6)$$

$$\phi Rn = 44228.36 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$



Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn1 = 54.43 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn2 = 78.37 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 400\text{MPa}$$

$$Rn3 = 87.10 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 285.74 \text{ kN}$$



Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_{lg} + 1/16 p_{lg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_{lg})) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_{lg} + 1/16 p_{lg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_{lg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 1.79 \text{ cm} * (1/4 p_{lg} * 2.54 \text{ cm} / 1 p_{lg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 5551.44 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 2.57 \text{ cm} * (1/4 p_{lg} * 2.54 \text{ cm} / 1 p_{lg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 7993.91 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (1/2 p_{lg} + 1/16 p_{lg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 p_{lg} * (1/4 p_{lg} * 2.54 \text{ cm} / 1 p_{lg}) * 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 8883.85 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 29145.04 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 372 \text{ MPA} * (0.1963495 p_{lg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 p_{lg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 247.40 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

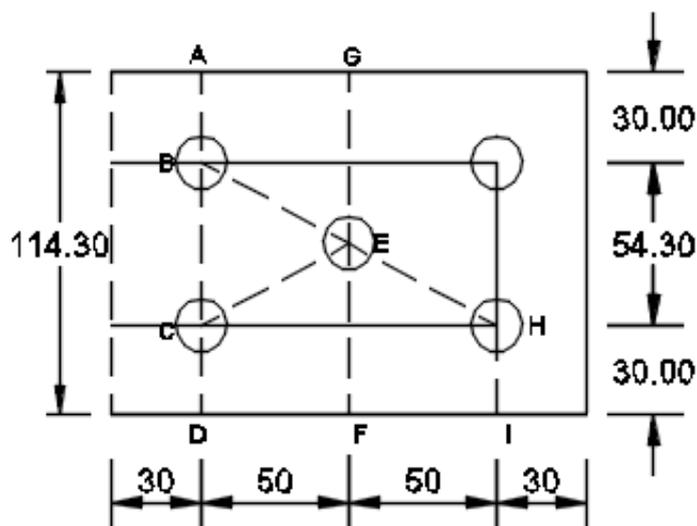
$$\phi R_n = \phi 3800 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 25272.03 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	181.45	163.31	18,362.87	16,526.58	163.31	16,526.58
Fractura en la Sección neta	0.75	225.48	169.11	22,998.75	17,249.06	169.11	17,249.06
Aplastamiento en los agujeros	0.75	578.15	433.61	58,971.14	44,228.36	285.74	29,145.04
Corte en pernos	0.75	329.87	247.40	33,696.04	25,272.03	247.40	25,272.03

PROBETAS DE 1/8" (M-46; M-47; M-48)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *346MPA	Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 125.56 kN	Tn= 12756.02 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 113.01 kN	∅Tn= 11,480.42 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 76.20 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 108.87 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 76.20 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 11056.43 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 81.65 \text{ kN}$	$\phi T_n = 8,292.32 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1.5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 5/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 54.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (50 \text{ mm} - ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 58.96 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

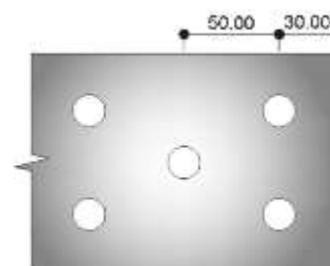
$$R_{n3} = 74.85 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (54.44 \cdot 2) + \phi (58.96 \cdot 3)$$

$$\phi R_n = 214.32 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 5/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 5528.21 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_n = (5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 5987.99 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 3 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 7601.30 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$R_n = R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi(5528.21 * 2) + \phi(5987.99 * 3)$$

$$\phi R_n = 21765.31 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$R_n = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

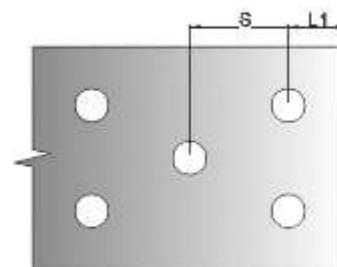
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$R_n = 1,2 * 21.27\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n1} = 36.47 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$R_n = 1,2 * 32.54\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n2} = 55.79 \text{ kN}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n3} = 59.88 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 136.74 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1=L1- d/2$$

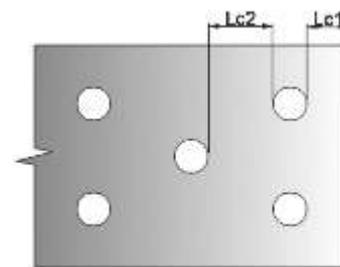
$$Lc1=3\text{cm} - ((5/8\text{plg}+1/16\text{plg})*(2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1= 2.13 \text{ cm}$$

$$Lc2= s - d$$

$$Lc2=5\text{cm} -((5/8\text{plg}+1/16\text{plg})*(2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2= 3.25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn=1,2*Lc1*t*Fu$$

$$Rn=1,2*2.13\text{cm}*(1/8\text{plg}*2.54\text{cm}/1\text{plg})*4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1= 3703.25 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn=1,2*Lc2*t*Fu$$

$$Rn=1,2*3.25\text{cm}*(1/8\text{plg}*2.54\text{cm}/1\text{plg})*4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2= 5665.33 \text{ kg}$$

$$Rn=2,4*d*t*Fu$$

$$Rn=2,4*(5/8\text{plg}+1/16\text{plg})*2.54\text{cm}/1\text{plg}*(1/8\text{plg}*2.54\text{cm}/1\text{plg})*4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3= 6081.04 \text{ kg}$$

$$\varnothing Rn= \varnothing(Rn1*N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\varnothing Rn= 13887.19 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\varnothing Rn=\varnothing Fv*Ab*n*m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos[MPa][kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno[plg²][cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n= Número de pernos

m=planos de corte

Sistema Internacional

$$\varnothing Rn=\varnothing Fv*Ab*n*m$$

$$\varnothing Rn=\varnothing 469\text{MPa}*(0.3068\text{plg}^2*25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2)*5*1$$

$$\varnothing Rn= 348.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

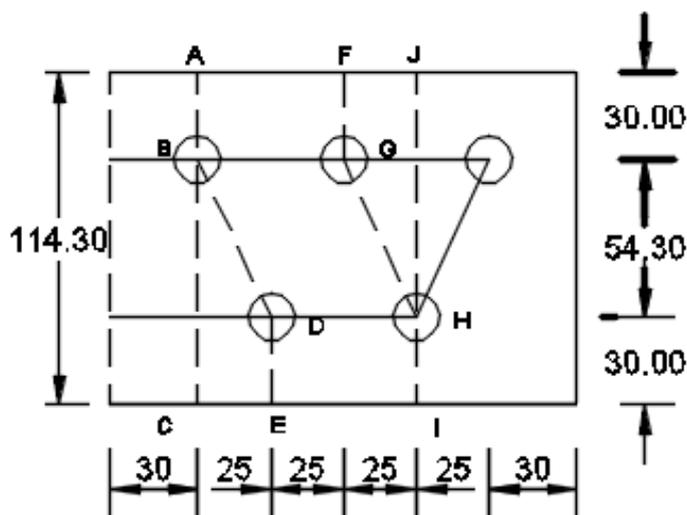
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 35479.86 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	125.56	113.01	12,756.02	11,480.42	113.01	11,480.42
Fractura en la Sección neta	0.75	108.87	81.65	11,056.43	8,292.32	81.65	8,292.32
Aplastamiento en los agujeros	0.75	285.76	214.32	29,020.41	21,765.31	136.74	13,887.19
Corte en pernos	0.75	464.16	348.12	47,306.49	35,479.86	348.12	35,479.86

PROBETAS DE 1/8" (M-49; M-50; M-51)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *346MPA	Tn=0.56plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 125.56 kN	Tn= 12756.02 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 113.01 kN	∅Tn= 11,480.42 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 79.08mm*1*1/8plg*(25.4mm/plg)*450MPA Tn= 112.98 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=79.1mm*1cm/10mm*1*1/8plg*(2.54cm/1plg)*4570kg/cm2 Tn= 11473.95 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 84.74 kN	øTn= 8,605.46 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le < 1,5d y s < 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=Le*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=30mm*(1/8plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn1= 42.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn2=2.4*(5/8plg*25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/plg)*450MPA$$

$$Rn2= 54.44 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn3=(25mm-((5/8plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/8plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn3= 23.24 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn4=2.4*((5/8plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn4= 59.88 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn3*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(42.86*1) + \phi(23.24*4)$$

$$\phi Rn= 101.88 \text{ kN}$$

Sistema MKS

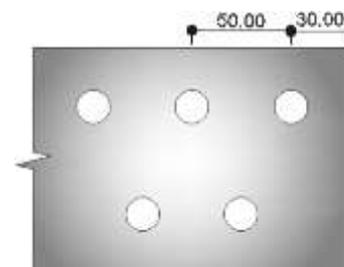
Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=Le*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=3cm*(1/8plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm2$$

$$Rn1= 4352.93 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2=2.4*(5/8plg*2.54cm/1plg)*(1/8plg*2.54cm/plg)*4570kg/cm2$$



$$Rn2 = 5528.21 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn = (s-d/2) \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn = (2.5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 2360.55 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 2.4 \cdot ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot (1/8\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn4 = 6081.04 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 \cdot N^\circ \text{ de pernos} + Rn3 \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(4352.93 \cdot 1) + \phi(2360.55 \cdot 4)$$

$$\phi Rn = 10346.36 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1.2 \cdot Lc \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

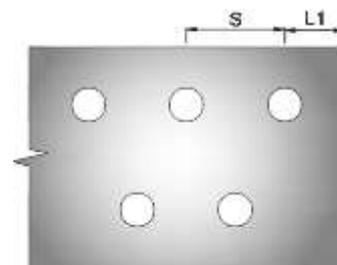
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1.2 \cdot Lc1 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 21.27\text{mm} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 36.47 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1.2 \cdot Lc2 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 32.54\text{mm} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 55.79 \text{ kN}$$

$$Rn = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 2.4 \cdot (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg} \cdot (1/8\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 450\text{MPa}$$

$$Rn3= 59.88 \text{ kN}$$

$$\phi Rn= \phi(Rn1 * N^{\circ} \text{ de pernos})$$

$$\phi Rn= 136.74 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1=L1- d/2$$

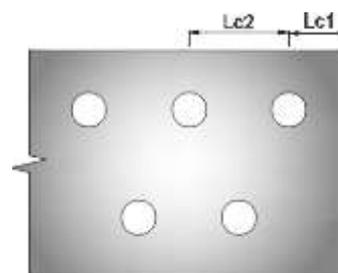
$$Lc1=3\text{cm} - ((5/8\text{plg}+1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1= 2.13 \text{ cm}$$

$$Lc2= s - d$$

$$Lc2=5\text{cm} - ((5/8\text{plg}+1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2= 3.25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn=1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn=1.2 * 2.13\text{cm} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1= 3703.25 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn=1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn=1.2 * 3.25\text{cm} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2= 5665.33 \text{ kg}$$

$$Rn=2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn=2,4 * (5/8\text{plg}+1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3= 6081.04 \text{ kg}$$

$$\phi Rn= \phi(Rn1 * N^{\circ} \text{ de pernos})$$

$$\phi Rn= 13887.19 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi Rn= \phi * Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi Rn= \phi * Fv * Ab * n * m$$

$$\phi Rn= \phi * 469\text{MPa} * (0.3068\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 348.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

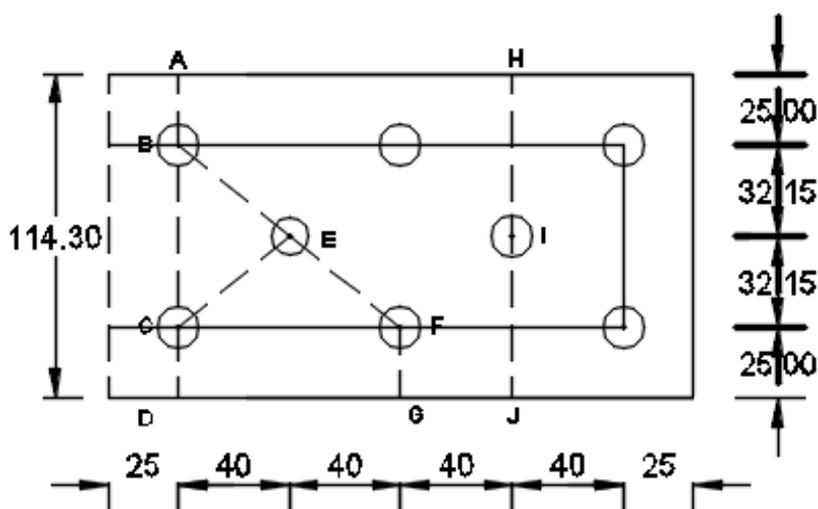
$$\phi R_n = \phi * 4780 \text{ kg/cm}^2 * (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 35479.86 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	125.56	113.01	12,756.02	11,480.42	113.01	11,480.42
Fractura en la Sección neta	0.75	112.98	84.74	11,473.95	8,605.46	84.74	8,605.46
Aplastamiento en los agujeros	0.75	135.84	101.88	13,795.14	10,346.36	136.74	13,887.19
Corte en pernos	0.75	464.16	348.12	47,306.49	35,479.86	348.12	35,479.86

PROBETAS DE 1/8" (M-52; M-53; M-54)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *346MPA	Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 125.56 kN	Tn= 12756.02 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 113.01 kN	∅Tn= 11,480.42 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 82.55 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 117.94 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 82.55 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 11977.80 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 88.46 \text{ kN}$	$\phi T_n = 8,983.35 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm}/1 \text{ plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm}/1 \text{ plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 43.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm}/1 \text{ plg})/2)) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm}/1 \text{ plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 46.94 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm}/1 \text{ plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm}/1 \text{ plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 61.24 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (43.55 \cdot 2) + \phi (46.94 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 276.57 \text{ kN}$$

Sistema MKS

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

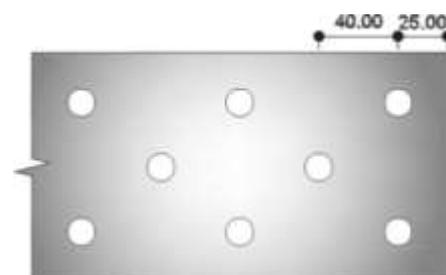
$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm}/1 \text{ plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 4422.57 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia



$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 4767.36 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 6219.24 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(4422.57 * 2) + \phi(4767.36 * 6)$$

$$\phi Rn = 28086.98 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

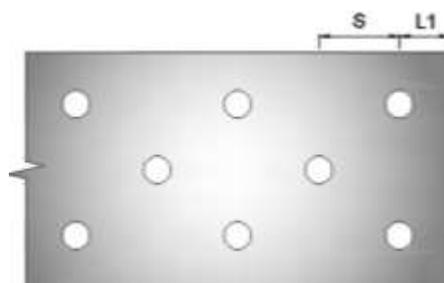
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 30.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 44.08 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 48.99 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 183.69 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

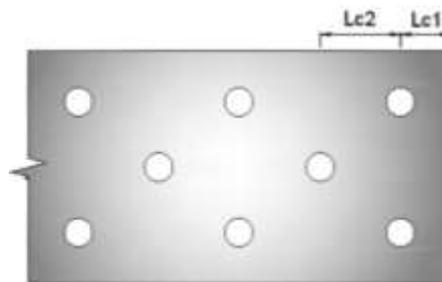
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g)) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 3109.08 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 4476.98 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 4975.39 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 18654.46 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 p_l g^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 p_l g^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 356.47 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

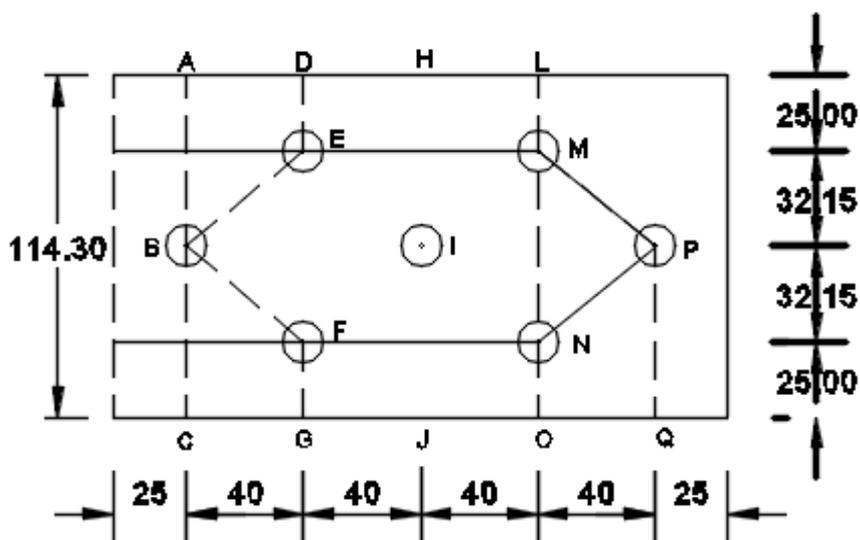
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 36330.92 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	125.56	113.01	12,756.02	11,480.42	113.01	11,480.42
Fractura en la Sección neta	0.75	117.94	88.46	11,977.80	8,983.35	88.46	8,983.35
Aplastamiento en los agujeros	0.75	368.76	276.57	37,449.30	28,086.98	183.69	18,654.46
Corte en pernos	0.75	475.29	356.47	48,441.22	36,330.92	356.47	36,330.92

PROBETAS DE 1/8" (M-55; M-56; M-57)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm2
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
ϕ	0.90	fluencia	
ϕ	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 363mm ² *346MPA	Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 125.56 kN	Tn= 12756.02 kg
$\phi Tn = \phi * Ag * Fy$	
$\phi Tn = 113.01$ kN	$\phi Tn = 11,480.42$ Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 130.81 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 13284.89 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 98.11 \text{ kN}$	$\phi T_n = 9,963.67 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 43.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 46.94 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 61.24 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (43.55 \cdot 1) + \phi (46.94 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 243.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

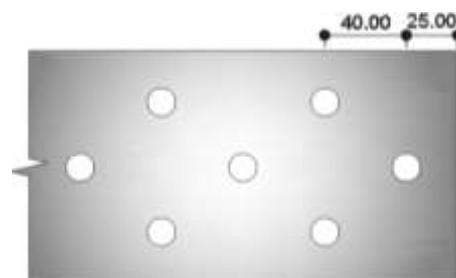
$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/8 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 4422.57 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia



$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 4767.36 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 6219.24 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(4422.57 * 1) + \phi(4767.36 * 6)$$

$$\phi Rn = 24770.05 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

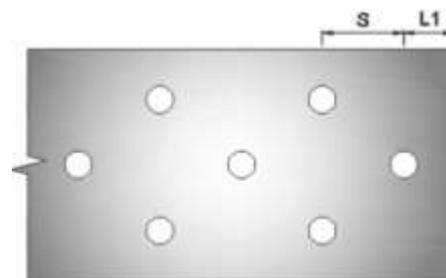
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 30.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 44.08 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 48.99 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 160.73 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

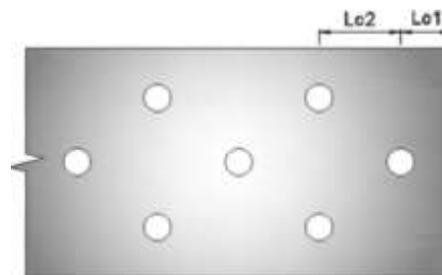
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g)) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 3109.08 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 4476.98 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 4975.39 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 16322.65 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 p_l g^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 p_l g^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 311.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

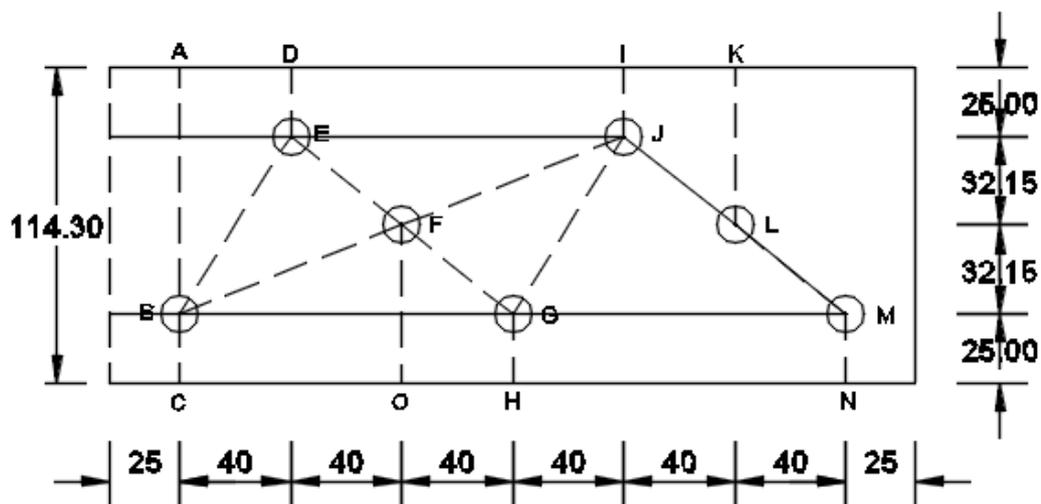
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 31789.55 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	125.56	113.01	12,756.02	11,480.42	113.01	11,480.42
Fractura en la Sección neta	0.75	130.81	98.11	13,284.89	9,963.67	98.11	9,963.67
Aplastamiento en los agujeros	0.75	325.21	243.91	33,026.73	24,770.05	160.73	16,322.65
Corte en pernos	0.75	415.88	311.91	42,386.07	31,789.55	311.91	31,789.55

PROBETAS DE 1/8" (M-58; M-59; M-60)

$U = 1$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
ø	0.90	fluencia	
ø	0.75	fractura	
Ag	363	mm ²	
	0.563	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/8
mm	114.3	3.18
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy Tn= 363mm ² *346MPA Tn= 125.56 kN	Tn= Ag*Fy Tn=0.563plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ² Tn= 12756.02 kg
øTn=ø*Ag* Fy	
øTn= 113.01 kN	øTn= 11,480.42 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 88.77mm*1*1/8plg*(25.4mm/plg)*450MPA Tn= 126.83 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=88.77mm*1cm/10mm*1*1/8plg*(2.54cm/1plg)*4570kg/cm2 Tn= 12880.43 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 95.12 kN	øTn= 9,660.32 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le ≥ 1,5d y s ≥ 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn1= 43.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/8plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn2= 46.94 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/8plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

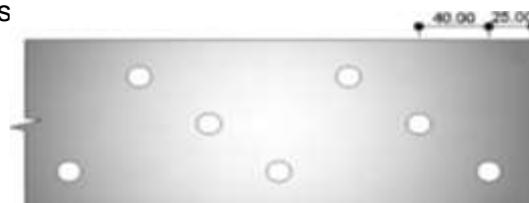
$$Rn3= 61.24 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

øRn= øRn1*N° de pernos+øRn2*N° de pernos

$$\text{øRn} = \text{ø}(43.55*1) + \text{ø}(46.94*6)$$

$$\text{øRn} = 243.91 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(1/8plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm2$$

$$Rn1= 4422.57 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 4767.36 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/8\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 6219.24 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(4422.57 * 1) + \phi(4767.36 * 6)$$

$$\phi Rn = 24770.05 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.



$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 30.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 44.08 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/8\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 48.99 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 160.73 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

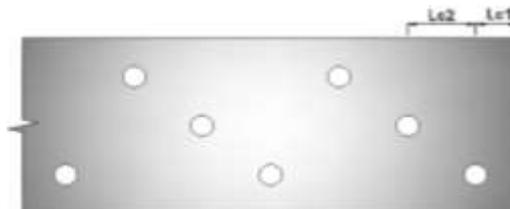
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g)) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 3109.08 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 4476.98 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g * (1/8 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 4975.39 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 16322.65 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 p_l g^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 p_l g^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 311.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

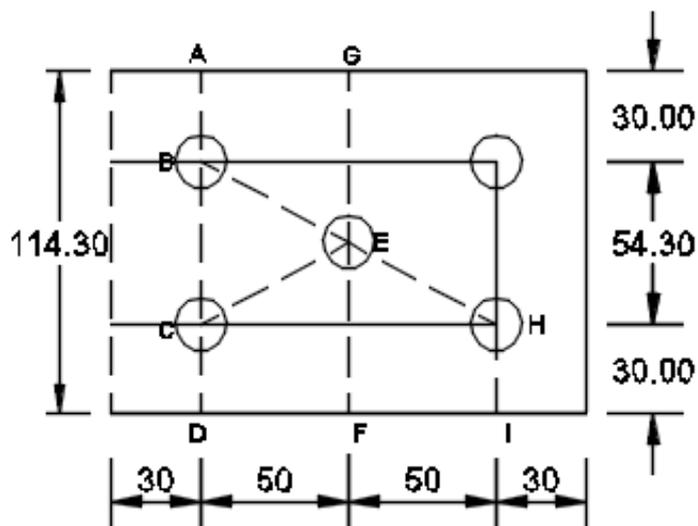
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 31789.55 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	125.56	113.01	12,756.02	11,480.42	113.01	11,480.42
Fractura en la Sección neta	0.75	126.83	95.12	12,880.43	9,660.32	95.12	9,660.32
Aplastamiento en los agujeros	0.75	325.21	243.91	33,026.73	24,770.05	160.73	16,322.65
Corte en pernos	0.75	415.88	311.91	42,386.07	31,789.55	311.91	31,789.55

PROBETAS DE 3/16" (M-61; M-62; M-63)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
pulg	4.5	3/16
mm	114.3	4.76
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 544mm ² *346MPA	Tn=0.84plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 188.35 kN	Tn= 19134.03 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 169.51 kN	∅Tn= 17,220.63 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 76.20 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 3/16 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 163.31 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 76.20 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 3/16 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 16584.64 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 122.48 \text{ kN}$	$\phi T_n = 12,438.48 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

 $Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$ **Sistema Internacional**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 5/8 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 81.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (50 \text{ mm} - ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) / 2)) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 88.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

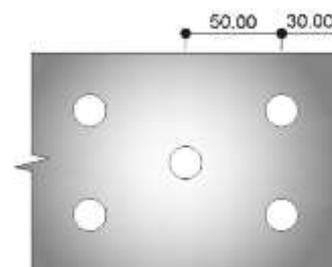
$$R_{n3} = 112.27 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

 $\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (81.66 \cdot 2) + \phi (88.44 \cdot 3)$$

$$\phi R_n = 321.48 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 5/8 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 8292.32 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_n = (5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 8981.99 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 3 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 11401.94 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$R_n = R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi(8292.32 * 2) + \phi(8981.99 * 3)$$

$$\phi R_n = 32647.96 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo L_{c1} , y la distancia entre bordes de perforaciones L_{c2} respectivamente.

$$R_n = (1,2 * L_{c1} * t * F_u \leq 2,4 * d * t * F_u)$$

Sistema Internacional

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

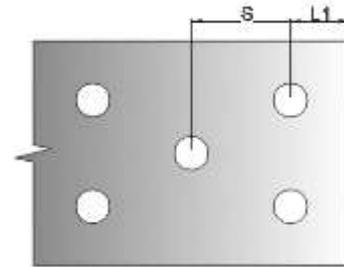
$$L_{c1} = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$L_{c1} = 21.27 \text{ mm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$L_{c2} = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 21.27\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n1} = 54.70 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 32.54\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n2} = 83.68 \text{ kN}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n3} = 89.82 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 205.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1=L1- d/2$$

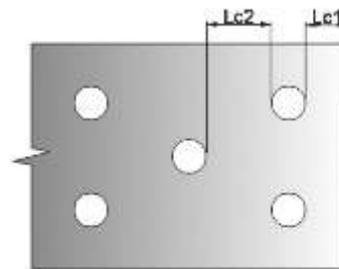
$$Lc1=3\text{cm} - ((5/8\text{plg}+1/16\text{plg})*(2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1= 2.13 \text{ cm}$$

$$Lc2= s - d$$

$$Lc2=5\text{cm} -((5/8\text{plg}+1/16\text{plg})*(2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2= 3.25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn=1,2*Lc1*t*Fu$$

$$Rn=1.2*2.13\text{cm}*(3/16\text{plg}*2.54\text{cm}/1\text{plg})*4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1= 5554.88 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn=1,2*Lc2*t*Fu$$

$$Rn=1.2*3.25\text{cm}*(3/16\text{plg}*2.54\text{cm}/1\text{plg})*4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2= 8498.00 \text{ kg}$$

$$Rn=2,4*d*t*Fu$$

$$Rn=2,4*(5/8\text{plg}+1/16\text{plg})*2.54\text{cm}/1\text{plg}*(3/16\text{plg}*2.54\text{cm}/1\text{plg})*4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3= 9121.55 \text{ kg}$$

$$\varnothing Rn= \varnothing(Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos})$$

$$\varnothing Rn= 20830.79 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\varnothing Rn=\varnothing*Fv*Ab*n*m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos[MPA][kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno[plg²][cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n= Número de pernos

m=planos de corte

Sistema Internacional

$$\varnothing Rn=\varnothing*Fv*Ab*n*m$$

$$\varnothing Rn=\varnothing*469\text{MPa}*(0.3068\text{plg}^2*25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2)*5*1$$

$$\varnothing Rn= 348.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

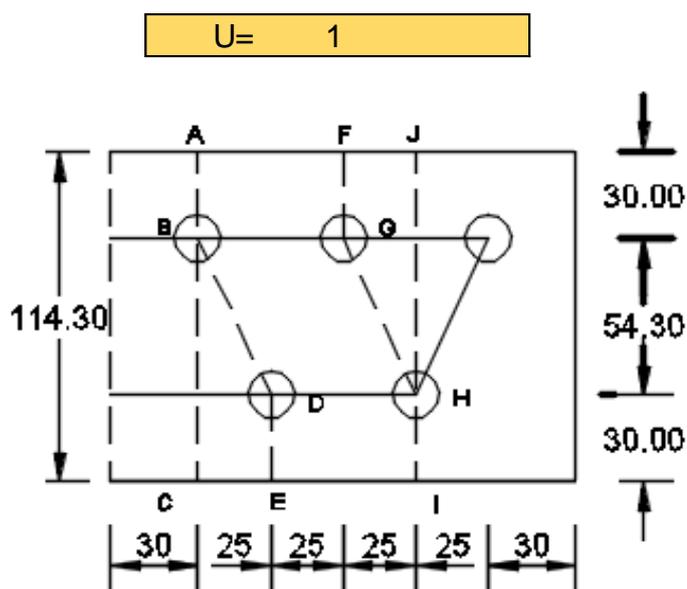
$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 35479.86 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	188.35	169.51	19,134.03	17,220.63	169.51	17,220.63
Fractura en la Sección neta	0.75	163.31	122.48	16,584.64	12,438.48	122.48	12,438.48
Aplastamiento en los agujeros	0.75	428.64	321.48	43,530.61	32,647.96	205.12	20,830.79
Corte en pernos	0.75	464.16	348.12	47,306.49	35,479.86	348.12	35,479.86

PROBETAS DE 3/16" (M-64; M-65; M-66)



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
	pulg	4.5
	mm	114.3
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

$T_n = A_g \cdot F_y$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 544 \text{ mm}^2 \cdot 346 \text{ MPA}$ $T_n = 188.35 \text{ kN}$	$T_n = A_g \cdot F_y$ $T_n = 0.844 \text{ plg}^2 \cdot (2.54 \text{ cm})^2 / \text{plg}^2 \cdot 3515 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 19134.03 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_y$	
$\phi T_n = 169.51 \text{ kN}$	$\phi T_n = 17,220.63 \text{ Kg}$

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu	Tn= An*U*t*Fu
Tn= 79.08mm*1*3/16plg*(25.4mm/plg)*450MPA	Tn=79.08mm*1cm/10mm*1*3/16plg*(2.54cm/1plg)*4570kg/cm2
Tn= 169.47 kN	Tn= 17210.93 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 127.10 kN	øTn= 12,908.20 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le <1,5d y s < 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=Le*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=30mm*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn1= 64.29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn2=2.4*(5/8plg*25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/plg)*450MPA$$

$$Rn2= 81.65 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn3=(25mm-((5/8plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn3= 34.87 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn4=2.4*((5/8plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn4= 89.82 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn3*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(64.29*1) + \phi(34.87*4)$$

$$\phi Rn= 152.82 \text{ kN}$$

Sistema MKS

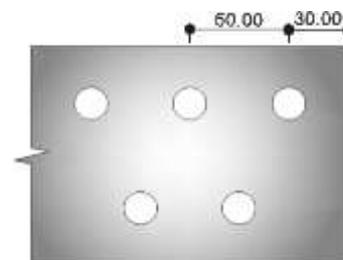
Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=Le*t*Fu \leq 2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=3cm*(3/16plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm2$$

$$Rn1= 6529.39 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2=2.4*(5/8plg*2.54cm/1plg)*(3/16plg*2.54cm/plg)*4570kg/cm2$$



$$Rn2 = 8292.32 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn = (s-d/2) \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn = (2.5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg} \cdot (3/16\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 3540.83 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 2.4 \cdot ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot (3/16\text{plg} \cdot 2.54\text{cm}/1\text{plg}) \cdot 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn4 = 9121.55 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 \cdot N^\circ \text{ de pernos} + Rn3 \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(6529.39 \cdot 1) + \phi(3540.83 \cdot 4)$$

$$\phi Rn = 15519.54 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1.2 \cdot Lc \cdot t \cdot Fu \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

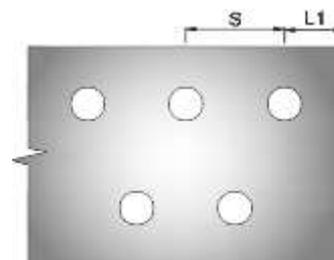
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) \cdot (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1.2 \cdot Lc1 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 21.27\text{mm} \cdot (3/16\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 54.70 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1.2 \cdot Lc2 \cdot t \cdot Fu$$

$$Rn = 1.2 \cdot 32.54\text{mm} \cdot (3/16\text{plg} \cdot 25.4\text{mm}/1\text{plg}) \cdot 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 83.68 \text{ kN}$$

$$Rn = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 25.4mm / 1plg * (3/16plg * 25.4mm / 1plg) * 450MPA$$

$$R_{n3} = 89.82 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 205.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

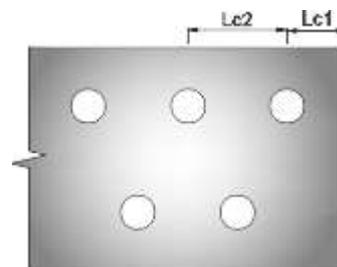
$$L_{c1} = 3cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm / 1plg)) / 2$$

$$L_{c1} = 2.13 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 5cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm / 1plg))$$

$$L_{c2} = 3.25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 2.13cm * (3/16plg * 2.54cm / 1plg) * 4570kg/cm^2$$

$$R_{n1} = 5554.88 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 3.25cm * (3/16plg * 2.54cm / 1plg) * 4570kg/cm^2$$

$$R_{n2} = 8498.00 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 2.54cm / 1plg * (3/16plg * 2.54cm / 1plg) * 4570kg/cm^2$$

$$R_{n3} = 9121.55 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 20830.79 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPA][kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²][cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 469 \text{MPa} \cdot (0.3068 \text{plg}^2 \cdot 25.4 \text{mm}^2 / 1 \text{plg}^2) \cdot 5 \cdot 1$$

$$\phi R_n = 348.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

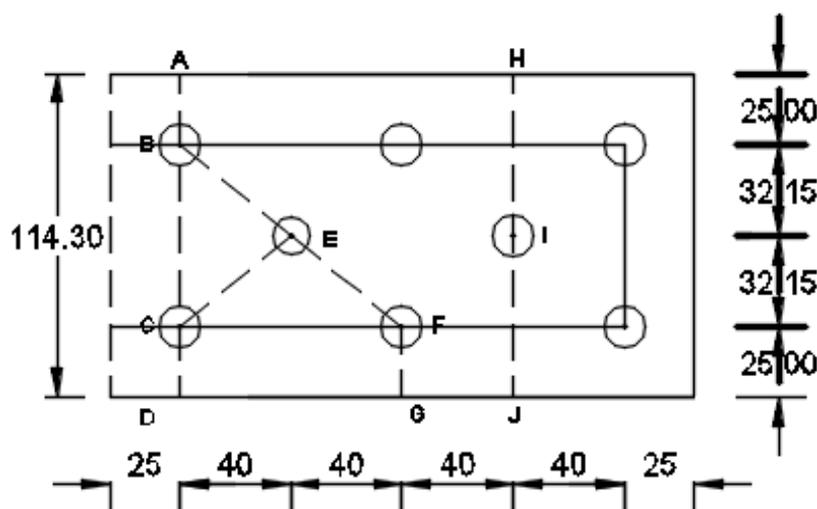
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{kg/cm}^2 \cdot (0.3068 \text{plg}^2 \cdot 2.54 \text{cm}^2 / 1 \text{plg}^2) \cdot 5 \cdot 1$$

$$\phi R_n = 35479.86 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	188.35	169.51	19,134.03	17,220.63	169.51	17,220.63
Fractura en la Sección neta	0.75	169.47	127.10	17,210.93	12,908.20	127.10	12,908.20
Aplastamiento en los agujeros	0.75	203.76	152.82	20,692.72	15,519.54	205.12	20,830.79
Corte en pernos	0.75	464.16	348.12	47,306.49	35,479.86	348.12	35,479.86

PROBETAS DE 3/16" (M-67; M-68; M-69)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
	pulg	4.5
	mm	114.3
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 544mm ² *346MPA	Tn=0.844plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 188.35 kN	Tn= 19134.03 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 169.51 kN	∅Tn= 17,220.63 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 82.55mm*1*3/16plg*(25.4mm/plg)*450MPA Tn= 176.91 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=82.55mm*1cm/10mm*1*3/16plg*(2.54cm/1plg)*4570kg/cm2 Tn= 17966.70 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 132.69 kN	øTn= 13,475.02 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le ≥ 1,5d y s ≥ 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn1= 65.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn2= 70.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

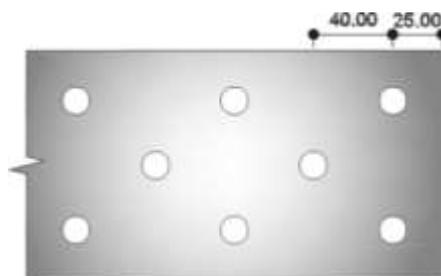
$$Rn3= 91.86 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn2*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(65.32*2) + \phi(70.42*6)$$

$$\phi Rn= 414.85 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(3/16plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm2$$

$$Rn1= 6633.86 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 7151.04 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 9328.86 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(6633.86 * 2) + \phi(7151.04 * 6)$$

$$\phi Rn = 42130.46 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

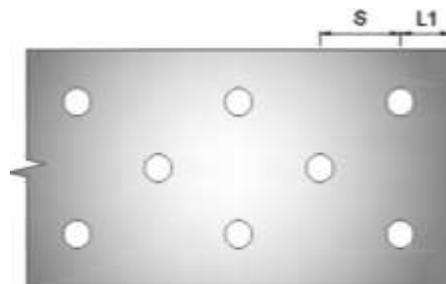
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 45.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 66.13 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 73.49 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 275.53 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

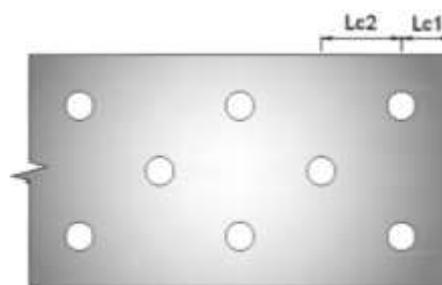
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 4663.62 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 6715.48 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 7463.09 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 27981.69 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 356.47 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

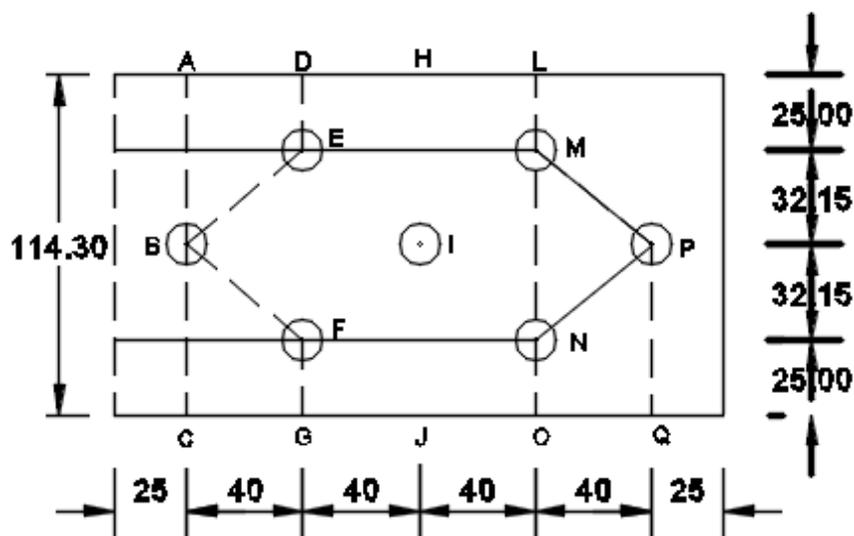
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 36330.92 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	188.35	169.51	19,134.03	17,220.63	169.51	17,220.63
Fractura en la Sección neta	0.75	176.91	132.69	17,966.70	13,475.02	132.69	13,475.02
Aplastamiento en los agujeros	0.75	553.14	414.85	56,173.95	42,130.46	275.53	27,981.69
Corte en pernos	0.75	475.29	356.47	48,441.22	36,330.92	356.47	36,330.92

PROBETAS DE 3/16" (M-70; M-71; M-72)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
pulg	4.5	3/16
mm	114.3	4.76
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag*Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 544mm ² *346MPA	Tn=0.844plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 188.35 kN	Tn= 19134.03 kg
∅Tn=∅*Ag*Fy	
∅Tn= 169.51 kN	∅Tn= 17,220.63 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 3/16 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 196.22 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 3/16 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 19927.33 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 147.17 \text{ kN}$	$\phi T_n = 14,945.50 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 65.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 70.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

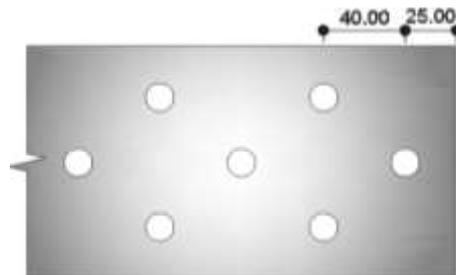
$$R_{n3} = 91.86 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (65.32 \cdot 1) + \phi (70.42 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 365.86 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (3/16 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 6633.86 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 7151.04 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 9328.86 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(6633.86 * 1) + \phi(7151.04 * 6)$$

$$\phi Rn = 37155.07 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

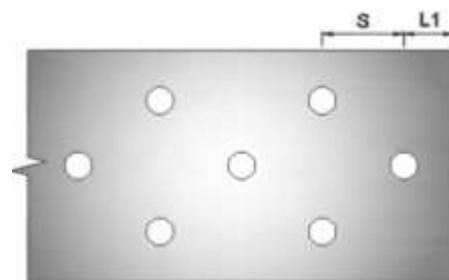
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 45.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 66.13 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 73.49 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 241.09 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

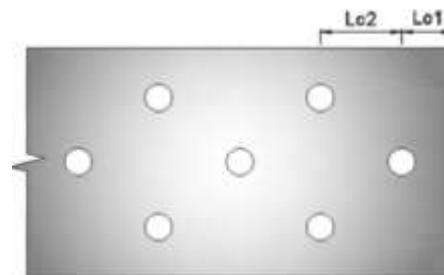
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 4663.62 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 6715.48 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 7463.09 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 24483.98 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 311.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

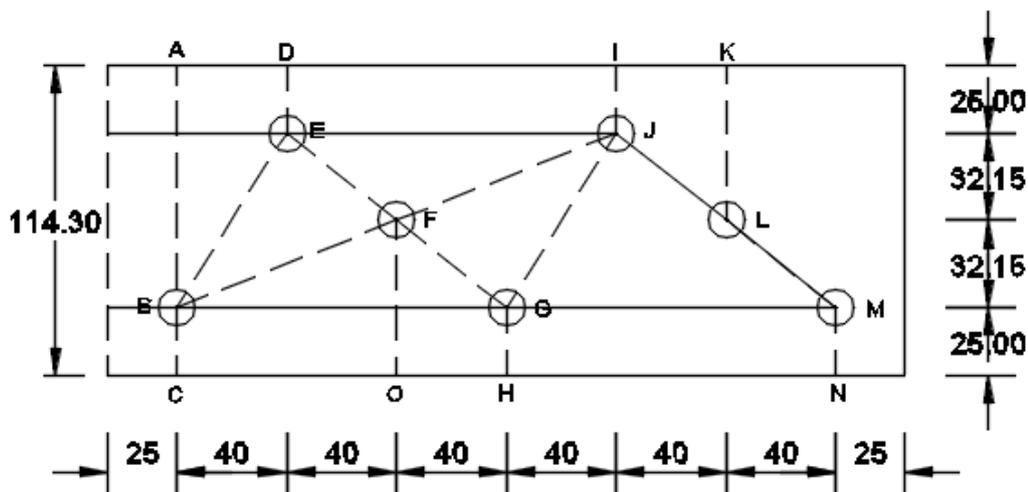
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) \cdot 7 \cdot 1$$

$$\phi R_n = 31789.55 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	188.35	169.51	19,134.03	17,220.63	169.51	17,220.63
Fractura en la Sección neta	0.75	196.22	147.17	19,927.33	14,945.50	147.17	14,945.50
Aplastamiento en los agujeros	0.75	487.81	365.86	49,540.10	37,155.07	241.09	24,483.98
Corte en pernos	0.75	415.88	311.91	42,386.07	31,789.55	311.91	31,789.55

PROBETAS DE 3/16" (M-73; M-74; M-75)

$U = 1$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
F _y	50	346	3515
F _u	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
A _g	544	mm ²	
	0.844	plg ²	

platina 4.5" x 3/16"	ancho	espesor
pulg	4.5	3/16
mm	114.3	4.76
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

T _n = A _g * F _y	
Sistema Internacional	Sistema MKS
T _n = A _g * F _y T _n = 544mm ² * 346MPA T _n = 188.35 kN	T _n = A _g * F _y T _n = 0.844plg ² * (2.54cm) ² / plg ² * 3515kg/cm ² T _n = 19134.03 kg
∅T _n = ∅ * A _g * F _y	
∅T _n = 169.51 kN	∅T _n = 17,220.63 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 88.77mm*1*3/16plg*(25.4mm/plg)*450MPA Tn= 190.25 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=88.77mm*1cm/10mm*1*3/16plg*(2.5cm/1plg)*4570kg/cm2 Tn= 19320.64 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 142.69 kN	øTn= 14,490.48 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le ≥ 1,5d y s ≥ 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn1= 65.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn2= 70.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(3/16plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn3= 91.86 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

øRn= øRn1*N° de pernos+øRn2*N° de pernos

$$\text{øRn} = \text{ø}(65.32*1) + \text{ø}(70.42*6)$$

$$\text{øRn} = 365.86 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(3/16plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm2$$

$$Rn1= 6633.86 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 7151.04 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (3/16\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 9328.86 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(5922.57 * 1) + \phi(6384.30 * 6)$$

$$\phi Rn = 37155.07 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$



Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 17.86\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 45.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 25.71\text{mm} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 66.13 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (3/16\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 73.49 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 241.09 \text{ kN}$$



Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 1.79 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 4663.62 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 2.57 \text{ cm} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 6715.48 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg} * (3/16 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 7463.09 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 24483.98 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 311.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

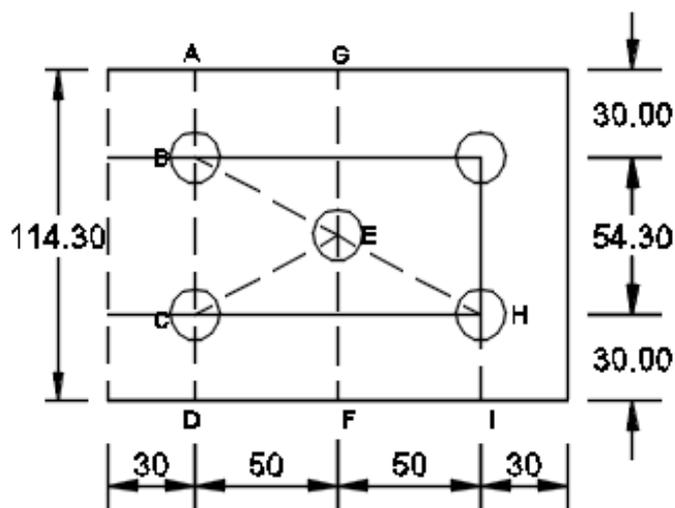
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 31789.55 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	188.35	169.51	19,134.03	17,220.63	169.51	17,220.63
Fractura en la Sección neta	0.75	190.25	142.69	19,320.64	14,490.48	142.69	14,490.48
Aplastamiento en los agujeros	0.75	487.81	365.86	49,540.10	37,155.07	241.09	24,483.98
Corte en pernos	0.75	415.88	311.91	42,386.07	31,789.55	311.91	31,789.55

PROBETAS DE 1/4" (M-76; M-77; M-78)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
F _y	50	346	3515
F _u	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
A _g	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

T _n = A _g * F _y	
Sistema Internacional	Sistema MKS
T _n = A _g * F _y	T _n = A _g * F _y
T _n = 726mm ² * 346MPA	T _n = 1.125plg ² * (2.54cm) ² / plg ² * 3515kg/cm ²
T _n = 251.13 kN	T _n = 25512.05 kg
∅T _n = ∅ * A _g * F _y	
∅T _n = 226.02 kN	∅T _n = 22,960.84 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae* Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 76.20mm*1*1/4plg*(25.4mm/plg)*450MPa Tn= 217.74 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=76.20mm*1cm/10mm*1*1/4plg*(2.54cm/1plg)*4570kg/cm2 Tn= 22112.86 kg
øTn=ø*Ag* Fu	
øTn= 163.31 kN	øTn= 16,584.64 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

Le ≥ 1,5d y s ≥ 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*5/8plg*(25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*450MPa$$

$$Rn1= 108.87 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(50mm-((5/8plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/4plg*25.4mm/1plg)*450MPa$$

$$Rn2= 117.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((5/8plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*450MPa$$

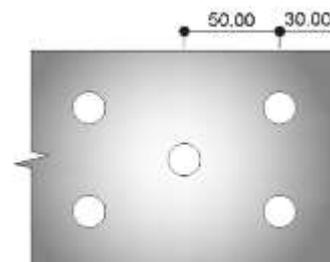
$$Rn3= 149.70 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ}$ de pernos+ $\phi Rn2*N^{\circ}$ de pernos

$$\phi Rn= \phi(108.87*2)+\phi(117.93*3)$$

$$\phi Rn= 428.64 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*5/8plg*(2.54cm/1plg)*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm2$$

$$Rn= 11056.43 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_n = (5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 11975.98 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 3 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$R_n = 15202.59 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$R_n = R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos} + R_{n2} * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi(9870.95 * 2) + \phi(10691.91 * 3)$$

$$\phi R_n = 43530.61 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$R_n = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

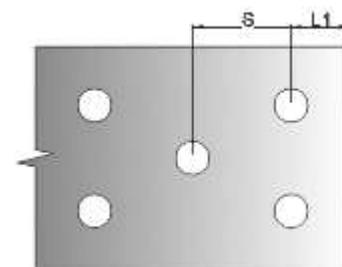
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$R_n = 1,2 * 21.27\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n1} = 72.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$R_n = 1,2 * 32.54\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n2} = 111.57 \text{ kN}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$R_{n3} = 119.76 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi(R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 273.49 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

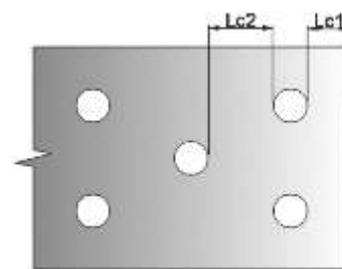
$$Lc1 = 3\text{cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 2.13 \text{ cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 5\text{cm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (2.54\text{cm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 3.25 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.13\text{cm} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 7406.50 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 3.25\text{cm} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 11330.66 \text{ kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 12162.07 \text{ kg}$$

$$\varnothing Rn = \varnothing (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\varnothing Rn = 27774.38 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\varnothing Rn = \varnothing * Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\varnothing Rn = \varnothing * Fv * Ab * n * m$$

$$\varnothing Rn = \varnothing * 469\text{MPa} * (0.3068\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\varnothing Rn = 348.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

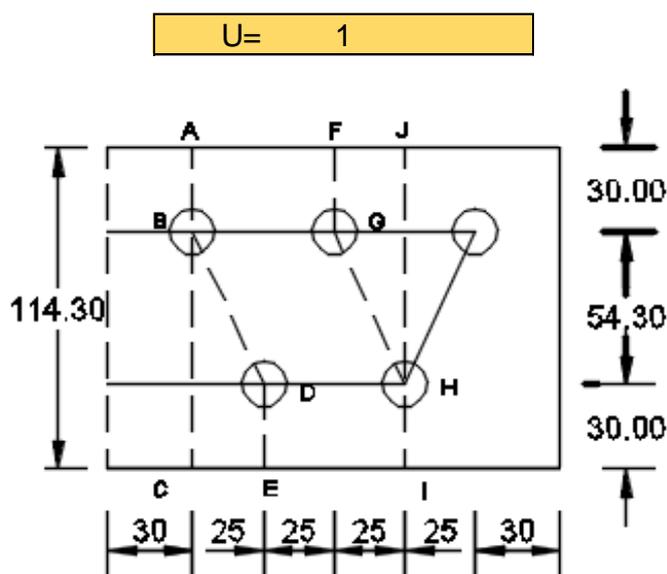
$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.3068 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 35479.86 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	251.13	226.02	25,512.05	22,960.84	226.02	22,960.84
Fractura en la Sección neta	0.75	217.74	163.31	22,112.86	16,584.64	163.31	16,584.64
Aplastamiento en los agujeros	0.75	571.52	428.64	58,040.81	43,530.61	273.49	27,774.38
Corte en pernos	0.75	464.16	348.12	47,306.49	35,479.86	348.12	35,479.86

PROBETAS DE 1/4" (M-79; M-80; M-81)



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	5/8	15.88

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm ² *346MPA	Tn=1.125plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 251.13 kN	Tn= 25512.05 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 226.02 kN	∅Tn= 22,960.84 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 79.08 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 225.96 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 79.08 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (2.5 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 22947.90 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 169.47 \text{ kN}$	$\phi T_n = 17,210.93 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

Le < 1,5d y s < 3d

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = L_e \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 30 \text{ mm} \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 85.73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n2} = 2.4 \cdot (5/8 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 108.87 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n3} = (25 \text{ mm} - ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) / 2)) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 46.49 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n4} = 2.4 \cdot ((5/8 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n4} = 119.76 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n3} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi R_n = \phi (85.73 \cdot 1) + \phi (46.49 \cdot 4)$$

$$\phi R_n = 203.76 \text{ kN}$$

Sistema MKS

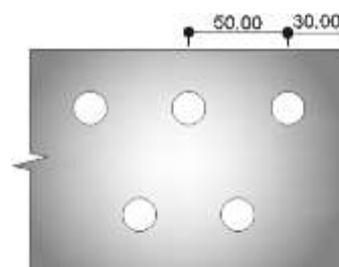
Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = L_e \cdot t \cdot F_u \leq 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 3 \text{ cm} \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 8705.85 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_{n2} = 2.4 \cdot (5/8 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$



$$Rn2 = 11056.43 \text{ kN}$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn = (s - d/2) * t * Fu \leq 2.4 * d * t * Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn = (2.5\text{cm} - (5/8\text{plg} + 1/16\text{plg})) * 2.54\text{cm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 4721.11 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 2.4 * ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn4 = 12162.07 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn3 * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(8705.85 * 1) + \phi(4721.11 * 4)$$

$$\phi Rn = 20692.72 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1.2 * Lc * t * Fu \leq 2.4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

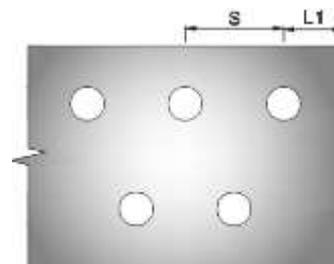
$$Lc1 = 30\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 21.27 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 50\text{mm} - ((5/8\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 32.54 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1.2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 21.27\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 72.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1.2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 32.54\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 111.57 \text{ kN}$$

$$Rn = 2.4 * d * t * Fu$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 25.4mm/1plg * (1/4plg * 25.4mm/1plg) * 450MPa$$

$$R_{n3} = 119.76 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

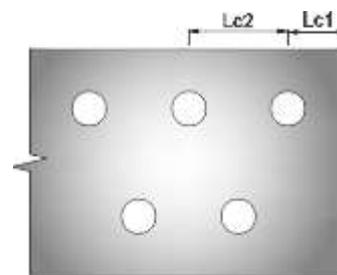
$$\phi R_n = 273.49 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

$$L_{c1} = 3cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm/1plg)) / 2$$

$$L_{c1} = 2.13 \text{ cm}$$



$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 5cm - ((5/8plg + 1/16plg) * (2.54cm/1plg))$$

$$L_{c2} = 3.25 \text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.13cm * (1/4plg * 2.54cm/1plg) * 4570kg/cm^2$$

$$R_{n1} = 7406.50 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 3.25cm * (1/4plg * 2.54cm/1plg) * 4570kg/cm^2$$

$$R_{n2} = 11330.66 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (5/8plg + 1/16plg) * 2.54cm/1plg * (1/4plg * 2.54cm/1plg) * 4570kg/cm^2$$

$$R_{n3} = 12162.07 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 27774.38 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 469 \text{MPa} (0.3068 \text{plg}^2 * 25.4 \text{mm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 348.12 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

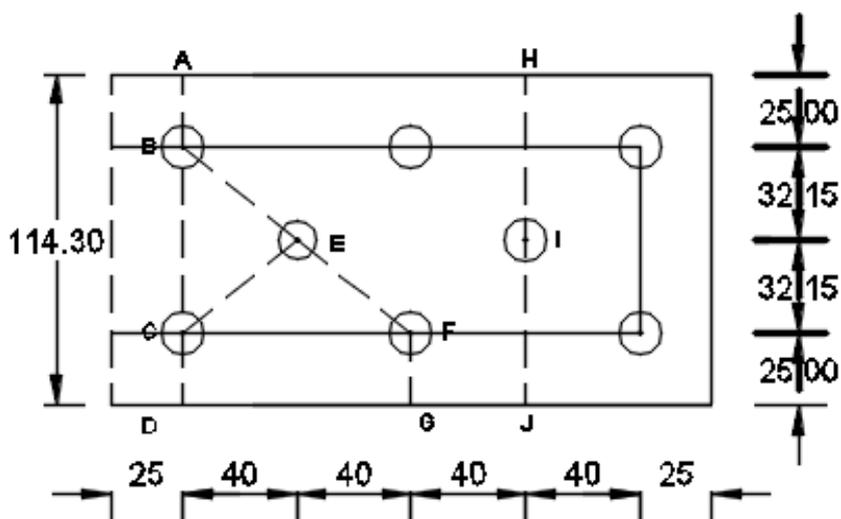
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{kg/cm}^2 (0.3068 \text{plg}^2 * 2.54 \text{cm}^2 / 1 \text{plg}^2) * 5 * 1$$

$$\phi R_n = 35479.86 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	251.13	226.02	25,512.05	22,960.84	226.02	22,960.84
Fractura en la Sección neta	0.75	225.96	169.47	22,947.90	17,210.93	169.47	17,210.93
Aplastamiento en los agujeros	0.75	271.68	203.76	27,590.29	20,692.72	273.49	27,774.38
Corte en pernos	0.75	464.16	348.12	47,306.49	35,479.86	348.12	35,479.86

PROBETAS DE 1/4" (M-82; M-83; M-84)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/8"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Limite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy Tn=726mm ² *346MPA Tn= 251.13 kN	Tn= Ag*Fy Tn=1.125plg ² *(2.54cm) ² /plg ² *3515kg/cm ² Tn= 25512.05 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 226.02 kN	∅Tn= 22,960.84 Kg

b) Estado Límite de Fractura

Tn=Ae*Fu	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= An*U*t*Fu Tn= 82.55mm*1*1/4plg*(25.4mm/plg)*450MPA Tn= 235.89 kN	Tn= An*U*t*Fu Tn=82.55mm*1cm/10mm*1*1/4plg*(2.54cm/1plg)*4570kg/cm ² Tn= 23955.60 kg
øTn=ø*Ag*Fu	
øTn= 176.91 kN	øTn= 17,966.70 Kg

c) Estado Límite de aplastamiento

$$Le \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn1= 87.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(40mm-((1/2plg+1/16plg)*(25.4mm/1plg)/2))*(1/4plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

$$Rn2= 93.89 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn3=3*((1/2plg+1/16plg)*25.4mm/1plg)*(1/4plg*25.4mm/1plg)*450MPA$$

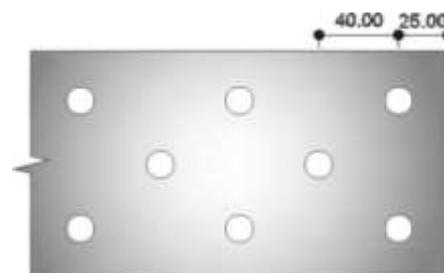
$$Rn3= 122.48 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$\phi Rn= \phi Rn1*N^{\circ} \text{ de pernos} + \phi Rn2*N^{\circ} \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn= \phi(87.10*2) + \phi(93.89*6)$$

$$\phi Rn= 553.14 \text{ kN}$$

**Sistema MKS**

Para huecos más cercanos al borde

$$Rn1=2.4*d*t*Fu$$

$$Rn1=2.4*1/2plg*(2.54cm/1plg)*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm^2$$

$$Rn1= 8845.14 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$Rn2=(s-d/2)*t*Fu \leq 3*d*t*Fu$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$Rn2=(4cm-((1/2plg+1/16plg)/2)*2.54cm/1plg)*(1/4plg*2.54cm/1plg)*4570kg/cm^2$$

$$Rn2 = 9534.72 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2plg + 1/16plg) * 2.54 \text{ cm} / 1plg) * (1/4plg * 2.54 \text{ cm} / 1plg) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$Rn2 = 12438.48 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$$

$$\phi Rn = \phi(8845.14 * 2) + \phi(9534.72 * 6)$$

$$\phi Rn = 56173.95 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

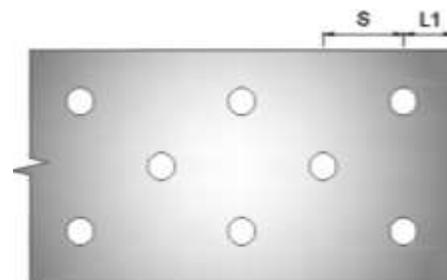
$$Lc1 = 25 \text{ mm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4 \text{ mm} / 1plg)) / 2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40 \text{ mm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (25.4 \text{ mm} / 1plg))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86 \text{ mm} * (1/4plg * 25.4 \text{ mm} / 1plg) * 450 \text{ MPA}$$

$$Rn1 = 61.23 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71 \text{ mm} * (1/4plg * 25.4 \text{ mm} / 1plg) * 450 \text{ MPA}$$

$$Rn2 = 88.17 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2plg + 1/16plg) * 25.4 \text{ mm} / 1plg * (1/4plg * 25.4 \text{ mm} / 1plg) * 450 \text{ MPA}$$

$$Rn3 = 97.98 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi Rn = 367.37 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$Lc1 = L1 - d/2$$

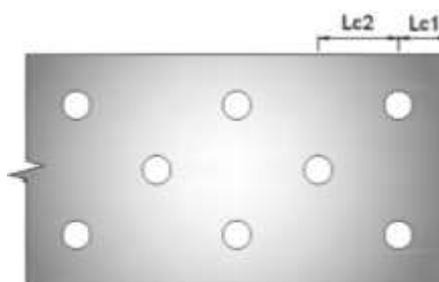
$$Lc1 = 2.5\text{cm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (2.54\text{cm}/1plg))/2$$

$$Lc1 = 1.79 \text{ cm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 4\text{cm} - ((1/2plg + 1/16plg) * (2.54\text{cm}/1plg))$$

$$Lc2 = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 1.79\text{cm} * (1/4plg * 2.54\text{cm}/1plg) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn1 = 6218.15 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1,2 * 2.57\text{cm} * (1/4plg * 2.54\text{cm}/1plg) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 8953.97 \text{ kg}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2plg + 1/16plg) * 2.54\text{cm}/1plg * (1/4plg * 2.54\text{cm}/1plg) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn3 = 9950.79 \text{ kg}$$

$$\varnothing Rn = \varnothing (Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\varnothing Rn = 37308.92 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\varnothing Rn = \varnothing * Fv * Ab * n * m$$

Donde

Fv = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

Ab = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\varnothing Rn = \varnothing * Fv * Ab * n * m$$

$$\varnothing Rn = \varnothing * 469\text{MPa} * (0.1963495\text{plg}^2 * 25.4\text{mm}^2/1\text{plg}^2) * 8 * 1$$

$$\varnothing Rn = 356.47 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

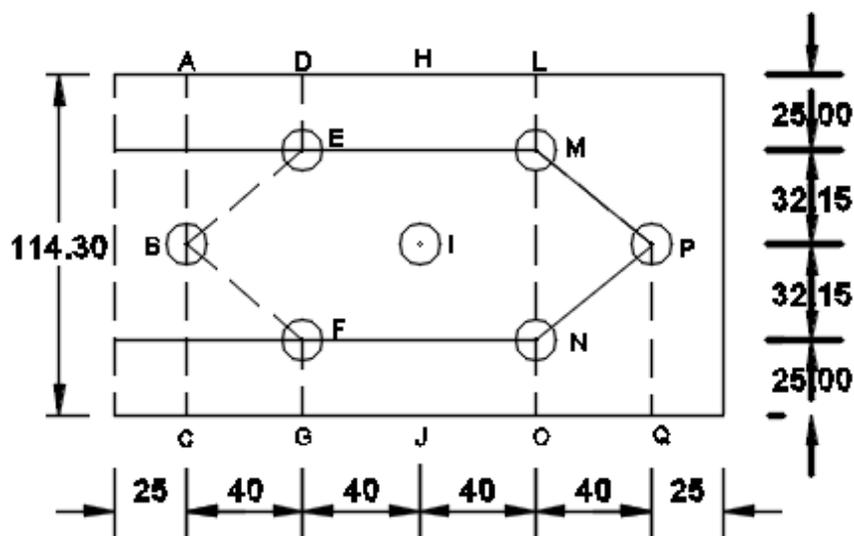
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 8 * 1$$

$$\phi R_n = 36330.92 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	251.13	226.02	25,512.05	22,960.84	226.02	22,960.84
Fractura en la Sección neta	0.75	235.89	176.91	23,955.60	17,966.70	176.91	17,966.70
Aplastamiento en los agujeros	0.75	737.51	553.14	74,898.60	56,173.95	367.37	37,308.92
Corte en pernos	0.75	475.29	356.47	48,441.22	36,330.92	356.47	36,330.92

PROBETAS DE 1/4" (M-85; M-86; M-87)

$$U = 1$$



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm ²
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm ²	
	1.125	plg ²	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm ² *346MPA	Tn=1.125plg ² *(2.54cm) ² *plg ² *3515kg/cm ²
Tn= 251.13 kN	Tn= 25512.05 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 226.02 kN	∅Tn= 22,960.84 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
<i>Sistema Internacional</i>	<i>Sistema MKS</i>
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 261.63 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 91.56 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (2.5 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 26569.78 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 196.22 \text{ kN}$	$\phi T_n = 19,927.33 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

 $Le \geq 1,5d$ y $s \geq 3d$ ***Sistema Internacional***

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 87.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg})/2)) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 93.89 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 122.48 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

 $\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (87.10 \cdot 1) + \phi (93.89 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 487.81 \text{ kN}$$

Sistema MKS

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

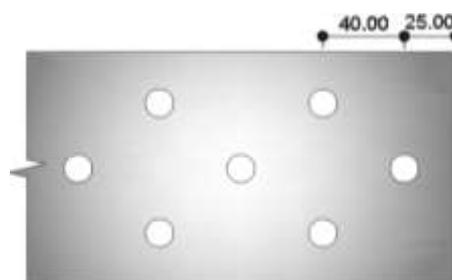
$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 8845.14 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s - d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia



$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 9534.72 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 12438.48 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi Rn = \phi(8845.14 * 1) + \phi(9534.72 * 6)$$

$$\phi Rn = 49540.10 \text{ kg}$$

Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

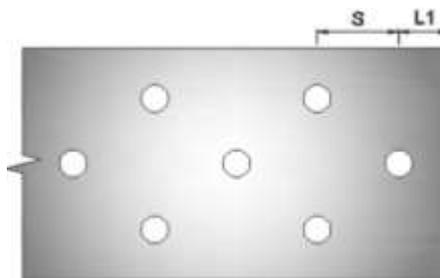
$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 61.23 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 88.17 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 97.98 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 321.45 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

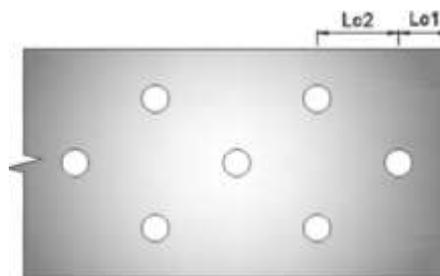
$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g)) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * (2.54 \text{ cm} / 1 p_l g))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$



Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1,2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 1.79 \text{ cm} * (1/4 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 6218.15 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1,2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1,2 * 2.57 \text{ cm} * (1/4 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 8953.97 \text{ kg}$$

$$R_n = 2,4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2,4 * (1/2 p_l g + 1/16 p_l g) * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g * (1/4 p_l g * 2.54 \text{ cm} / 1 p_l g) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 9950.79 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 32645.31 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 p_l g^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 p_l g^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 311.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

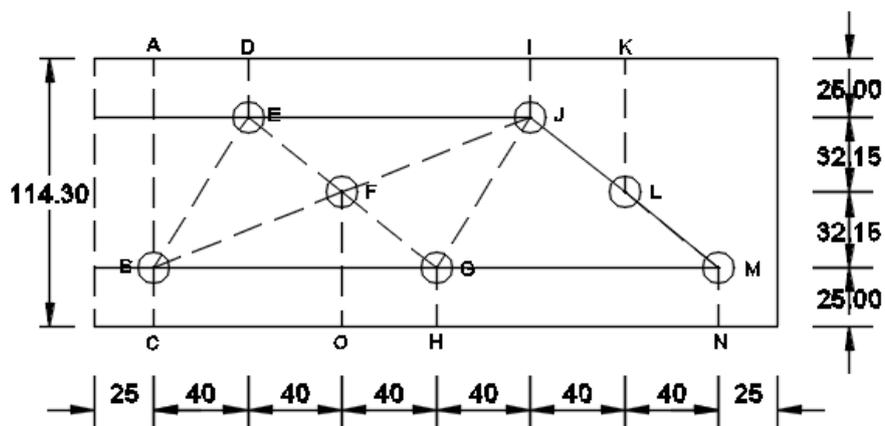
$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 31789.55 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	251.13	226.02	25,512.05	22,960.84	226.02	22,960.84
Fractura en la Sección neta	0.75	261.63	196.22	26,569.78	19,927.33	196.22	19,927.33
Aplastamiento en los agujeros	0.75	650.42	487.81	66,053.46	49,540.10	321.45	32,645.31
Corte en pernos	0.75	415.88	311.91	42,386.07	31,789.55	311.91	31,789.55

PROBETAS DE 1/4" (M-88; M-89; M-90)

U= 1



Acero A-50	ksi	MPA	kg/cm2
Fy	50	346	3515
Fu	65	450	4570
∅	0.90	fluencia	
∅	0.75	fractura	
Ag	726	mm2	
	1.125	plg2	

platina 4.5" x 1/4"	ancho	espesor
pulg	4.5	1/4
mm	114.3	6.35
pernos A490	diam.(pulg)	diam.(mm)
	1/2	12.70

a) Estado Límite de Fluencia

Tn=Ag* Fy	
Sistema Internacional	Sistema MKS
Tn= Ag*Fy	Tn= Ag*Fy
Tn= 726mm2*346MPA	Tn=1.125plg2*(2.54cm)^2/plg2*3515kg/cm2
Tn= 251.13 kN	Tn= 25512.05 kg
∅Tn=∅*Ag* Fy	
∅Tn= 226.02 kN	∅Tn= 22,960.84 Kg

b) Estado Límite de Fractura

$T_n = A_e \cdot F_u$	
Sistema Internacional	Sistema MKS
$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 88.77 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$ $T_n = 253.66 \text{ kN}$	$T_n = A_n \cdot U \cdot t \cdot F_u$ $T_n = 88.77 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm} / 10 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1/4 \text{ plg} \cdot (2.5 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$ $T_n = 25760.85 \text{ kg}$
$\phi T_n = \phi \cdot A_g \cdot F_u$	
$\phi T_n = 190.25 \text{ kN}$	$\phi T_n = 19,320.64 \text{ Kg}$

c) Estado Límite de aplastamiento

$$L_e \geq 1,5d \text{ y } s \geq 3d$$

Sistema Internacional

Para huecos más cercanos al borde

$$R_n = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n1} = 87.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_n = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia

$$R_{n2} = (40 \text{ mm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot (25.4 \text{ mm/plg}) / 2)) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n2} = 93.89 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$R_{n3} = 3 \cdot ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 25.4 \text{ mm/plg}) \cdot 450 \text{ MPA}$$

$$R_{n3} = 122.48 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será

$\phi R_n = \phi R_{n1} \cdot N^\circ \text{ de pernos} + \phi R_{n2} \cdot N^\circ \text{ de pernos}$

$$\phi R_n = \phi (87.10 \cdot 1) + \phi (93.89 \cdot 6)$$

$$\phi R_n = 487.81 \text{ kN}$$

Sistema MKS

Para huecos más cercanos al borde

$$R_{n1} = 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$R_{n1} = 2.4 \cdot 1/2 \text{ plg} \cdot (2.54 \text{ cm/plg}) \cdot (1/4 \text{ plg} \cdot 2.54 \text{ cm/plg}) \cdot 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 8845.14 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Para los demás huecos de pernos

$$R_{n2} = (s-d/2) \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

Se calculará para cada una de las expresiones, y se elegirá la de menor resistencia



$$Rn2 = (4\text{cm} - (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg})/2) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 9534.72 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$Rn2 = 3 * ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * (1/4\text{plg} * 2.54\text{cm}/1\text{plg}) * 4570\text{kg}/\text{cm}^2$$

$$Rn2 = 12438.48 \text{ kN}$$

Finalmente la resistencia de diseño será
 $Rn = Rn1 * N^\circ \text{ de pernos} + Rn2 * N^\circ \text{ de pernos}$
 $\phi Rn = \phi(7896.76 * 1) + \phi(9534.72 * 6)$
 $\phi Rn = 49540.10 \text{ kg}$



Revisión con ANSI/AISC-360-16

Se determina la resistencia al desgarre del material en la zona externa e intermedia, para lo cual se calcula la distancia desde el borde de la primera perforación, al borde del ángulo $Lc1$, y la distancia entre bordes de perforaciones $Lc2$ respectivamente.

$$Rn = (1,2 * Lc * t * Fu \leq 2,4 * d * t * Fu)$$

Sistema Internacional

$$Lc1 = L1 - d/2$$

$$Lc1 = 25\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))/2$$

$$Lc1 = 17.86 \text{ mm}$$

$$Lc2 = s - d$$

$$Lc2 = 40\text{mm} - ((1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * (25.4\text{mm}/1\text{plg}))$$

$$Lc2 = 25.71 \text{ mm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$Rn = 1,2 * Lc1 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 17.86\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn1 = 61.23 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$Rn = 1,2 * Lc2 * t * Fu$$

$$Rn = 1.2 * 25.71\text{mm} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn2 = 88.17 \text{ kN}$$

$$Rn = 2,4 * d * t * Fu$$

$$Rn = 2,4 * (1/2\text{plg} + 1/16\text{plg}) * 25.4\text{mm}/1\text{plg} * (1/4\text{plg} * 25.4\text{mm}/1\text{plg}) * 450\text{MPa}$$

$$Rn3 = 97.98 \text{ kN}$$

$$\phi Rn = \phi(Rn1 * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 321.45 \text{ kN}$$



Sistema MKS

$$L_{c1} = L_1 - d/2$$

$$L_{c1} = 2.5 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg})) / 2$$

$$L_{c1} = 1.79 \text{ cm}$$

$$L_{c2} = s - d$$

$$L_{c2} = 4 \text{ cm} - ((1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * (2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}))$$

$$L_{c2} = 2.57 \text{ cm}$$

Finalmente se determina la resistencia al aplastamiento y desgarre, considerando la menor de las resistencias obtenidas, y multiplicándola por el número de pernos

$$R_n = 1.2 * L_{c1} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 1.79 \text{ cm} * (1/4 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n1} = 6218.15 \text{ kg} \quad \checkmark$$

$$R_n = 1.2 * L_{c2} * t * F_u$$

$$R_n = 1.2 * 2.57 \text{ cm} * (1/4 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n2} = 8953.97 \text{ kg}$$

$$R_n = 2.4 * d * t * F_u$$

$$R_n = 2.4 * (1/2 \text{ plg} + 1/16 \text{ plg}) * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg} * (1/4 \text{ plg} * 2.54 \text{ cm} / 1 \text{ plg}) * 4570 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_{n3} = 9950.79 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi (R_{n1} * N^\circ \text{ de pernos})$$

$$\phi R_n = 32645.31 \text{ kg}$$

d) Resistencia por corte en pernos

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

Donde

F_v = Fuerza nominal en corte de pernos [MPa] [kg/cm²], ver Anexos Tabla J3.2

A_b = Área nominal del perno [plg²] [cm²], ver Anexos Tabla 8-11

n = Número de pernos

m = planos de corte

Sistema Internacional

$$\phi R_n = \phi * F_v * A_b * n * m$$

$$\phi R_n = \phi * 469 \text{ MPA} * (0.1963495 \text{ plg}^2 * 25.4 \text{ mm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 311.91 \text{ kN}$$

Sistema MKS

$$\phi R_n = \phi F_v A_b n m$$

$$\phi R_n = \phi 4780 \text{ kg/cm}^2 (0.1963495 \text{ plg}^2 * 2.54 \text{ cm}^2 / 1 \text{ plg}^2) * 7 * 1$$

$$\phi R_n = 31789.55 \text{ kg}$$

CUADRO RESUMEN						ANSI/AISC-360-16	
MODO DE FALLA	ϕ	Resistencia Nominal(kN)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia Nominal(Kg)	Resistencia de Diseño(Kg)	Resistencia de Diseño(kN)	Resistencia de Diseño(Kg)
Fluencia en la Sección Total	0.90	251.13	226.02	25,512.05	22,960.84	226.02	22,960.84
Fractura en la Sección neta	0.75	253.66	190.25	25,760.85	19,320.64	190.25	19,320.64
Aplastamiento en los agujeros	0.75	650.42	487.81	66,053.46	49,540.10	321.45	32,645.31
Corte en pernos	0.75	415.88	311.91	42,386.07	31,789.55	311.91	31,789.55

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN

En esta sección detallaremos los resultados obtenidos de ensayos a tracción realizados en máquina universal de ensayos del laboratorio de la Universidad Privada de Tacna, las lecturas tomadas de la máquina mediante manómetro están expresadas en unidad psi, las cuales serán convertidas a su equivalencia en Kilo Newton (KN), para poder hacer la posterior comparación con los cálculos obtenidos de diseño de conexiones.

4.1.1. RESULTADOS DE ENSAYOS M-1, M-2 Y M-3

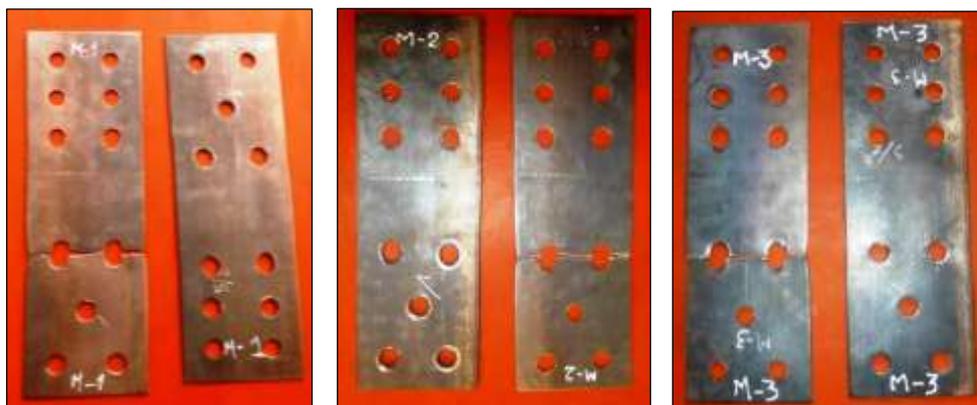


Figura N° 4.1 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/8" (M-1, M-2 y M-3)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/8" conexión Tipo 1, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-1
Lectura = 640 psi.
Resistencia Última = **101.87 KN.**

- ❖ Probeta M-2
Lectura = 600 psi.
Resistencia Última = **95.51 KN.**

- ❖ Probeta M-3
Lectura = 600 psi.
Resistencia Última = **95.51 KN.**

4.1.2. RESULTADOS DE ENSAYOS M-4, M-5 Y M-6



Figura N° 4.2 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/8" (M-4, M-5 y M-6)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/8" conexión Tipo 2, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-4
Lectura = 600 psi.
Resistencia Última = **95.51 KN.**

- ❖ Probeta M-5
Lectura = 680 psi.
Resistencia Última = **108.24 KN.**

- ❖ Probeta M-6
Lectura = 620 psi.
Resistencia Última = **98.69 KN.**

4.1.3. RESULTADOS DE ENSAYOS M-7, M-8 Y M-9

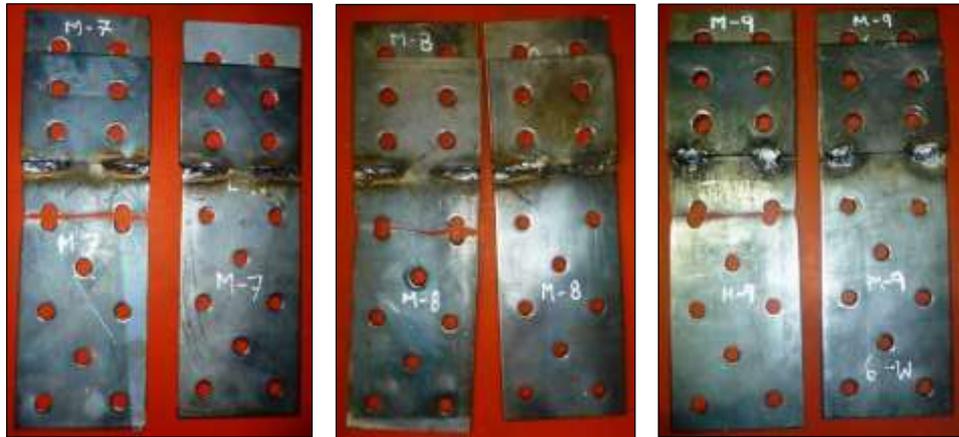


Figura N° 4.3 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/8" (M-7, M-8 y M-9)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/8" conexión Tipo 3, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-7
Lectura = 700 psi.
Resistencia Última = **111.42 KN.**

- ❖ Probeta M-8
Lectura = 650 psi.
Resistencia Última = **103.47 KN.**

- ❖ Probeta M-9
Lectura = 650 psi.
Resistencia Última = **103.47 KN.**

4.1.4. RESULTADOS DE ENSAYOS M-10, M-11 Y M-12



Figura N° 4.4 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/8" (M-10, M-11 y M-12)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/8" conexión Tipo 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-10
Lectura = 720 psi.
Resistencia Última = **114.61 KN.**

- ❖ Probeta M-11
Lectura = 680 psi.
Resistencia Última = **108.24 KN.**

- ❖ Probeta M-12
Lectura = 650 psi.
Resistencia Última = **103.47 KN.**

4.1.5. RESULTADOS DE ENSAYOS M-13, M-14 Y M-15



Figura N° 4.5 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/8" (M-13, M-14 y M-15)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/8" conexión Tipo 5, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-13
Lectura = 650 psi.
Resistencia Última = **103.47 KN.**

- ❖ Probeta M-14
Lectura = 660 psi.
Resistencia Última = **105.06 KN.**

- ❖ Probeta M-15
Lectura = 620 psi.
Resistencia Última = **98.69 KN.**

4.1.6. RESULTADOS DE ENSAYOS M-16, M-17 Y M-18



Figura N° 4.6 Probetas ensayadas de acero A-36 E=3/16" (M-16, M-17 y M-18)

Las platinas de acero A-36 y espesor 3/16" conexión Tipo 1, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-16
Lectura = 960 psi.
Resistencia Última = **152.81 KN.**

- ❖ Probeta M-17
Lectura = 900 psi.
Resistencia Última = **143.26 KN.**

- ❖ Probeta M-18
Lectura = 930 psi.
Resistencia Última = **148.04 KN.**

4.1.7. RESULTADOS DE ENSAYOS M-19, M-20 Y M-21

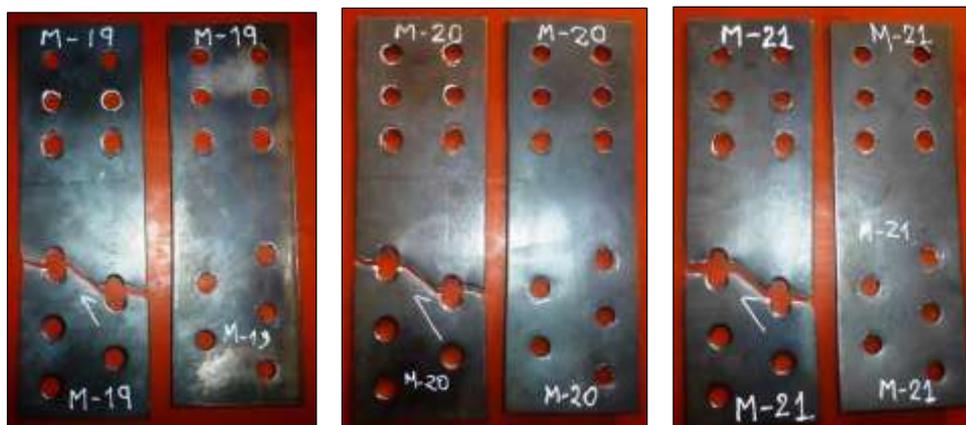


Figura N° 4.7 Probetas ensayadas de acero A-36 E=3/16" (M-19, M-20 y M-21)

Las platinas de acero A-36 y espesor 3/16" conexión Tipo 2, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-19
Lectura = 960 psi.
Resistencia Última = **152.81 KN.**

- ❖ Probeta M-20
Lectura = 960 psi.
Resistencia Última = **152.81 KN.**

- ❖ Probeta M-21
Lectura = 940 psi.
Resistencia Última = **149.63 KN.**

4.1.8. RESULTADOS DE ENSAYOS M-22, M-23 Y M-24



Figura N° 4.8 Probetas ensayadas de acero A-36 E=3/16" (M-22, M-23 y M-24)

Las platinas de acero A-36 y espesor 3/16" conexión Tipo 3, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-22
Lectura = 1000 psi.
Resistencia Última = **159.18 KN.**

- ❖ Probeta M-23
Lectura = 1020 psi.
Resistencia Última = **162.36 KN.**

- ❖ Probeta M-24
Lectura = 960 psi.
Resistencia Última = **152.81 KN.**

4.1.9. RESULTADOS DE ENSAYOS M-25, M-26 Y M-27



Figura N° 4.9 Probetas ensayadas de acero A-36 E=3/16" (M-25, M-26 y M-27)

Las platinas de acero A-36 y espesor 3/16" conexión Tipo 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-25
Lectura = 980 psi.
Resistencia Última = **155.99 KN.**

- ❖ Probeta M-26
Lectura = 1120 psi.
Resistencia Última = **178.28 KN.**

- ❖ Probeta M-27
Lectura = 980 psi.
Resistencia Última = **155.99 KN.**

4.1.10. RESULTADOS DE ENSAYOS M-28, M-29 Y M-30

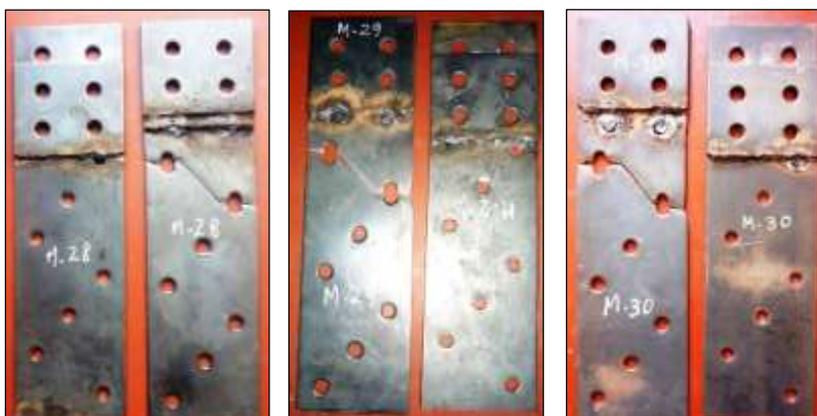


Figura N° 4.10 Probetas ensayadas de acero A-36 E=3/16" (M-28, M-29 y M-30)

Las platinas de acero A-36 y espesor 3/16" conexión Tipo 5, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-28
Lectura = 990 psi.
Resistencia Última = **157.59 KN.**

- ❖ Probeta M-29
Lectura = 1000 psi.
Resistencia Última = **159.18 KN.**

- ❖ Probeta M-30
Lectura = 960 psi.
Resistencia Última = **152.81 KN.**

4.1.11. RESULTADOS DE ENSAYOS M-31, M-32 Y M-33



Figura N° 4.11 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/4" (M-31, M-32 y M-33)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/4" conexión Tipo 1, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-31
Lectura = 1240 psi.
Resistencia Última = **197.38 KN.**

- ❖ Probeta M-32
Lectura = 1260 psi.
Resistencia Última = **200.56 KN.**

- ❖ Probeta M-33
Lectura = 1300 psi.
Resistencia Última = **206.93 KN.**

4.1.12. RESULTADOS DE ENSAYOS M-34, M-35 Y M-36



Figura N° 4.12 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/4" (M-34, M-35 y M-36)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/4" conexión Tipo 2, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-34
Lectura = 1290 psi.
Resistencia Última = **205.34 KN.**

- ❖ Probeta M-35
Lectura = 1280 psi.
Resistencia Última = **203.75 KN.**

- ❖ Probeta M-36
Lectura = 1260 psi.
Resistencia Última = **200.56 KN.**

4.1.13. RESULTADOS DE ENSAYOS M-37, M-38 Y M-39



Figura N° 4.13 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/4" (M-37, M-38 y M-39)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/4" conexión Tipo 3, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-37
Lectura = 1370 psi.
Resistencia Última = **218.07 KN.**

- ❖ Probeta M-38
Lectura = 1390 psi.
Resistencia Última = **221.26 KN.**

- ❖ Probeta M-39
Lectura = 1330 psi.
Resistencia Última = **211.71 KN.**

4.1.14. RESULTADOS DE ENSAYOS M-40, M-41 Y M-42



Figura N° 4.14 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/4" (M-40, M-41 y M-42)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/4" conexión Tipo 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-40
Lectura = 1390 psi.
Resistencia Ultima = **221.26 KN.**
- ❖ Probeta M-41
Lectura = 1340 psi.
Resistencia Ultima = **213.30 KN.**
- ❖ Probeta M-42
Lectura = 1400 psi.
Resistencia Ultima = **222.85 KN.**

4.1.15. RESULTADOS DE ENSAYOS M-43, M-44 Y M-45



Figura N° 4.15 Probetas ensayadas de acero A-36 E=1/4" (M-43, M-44 y M-45)

Las platinas de acero A-36 y espesor 1/4" conexión Tipo 5, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-43
Lectura = 1350 psi.
Resistencia Última = **214.89 KN.**
- ❖ Probeta M-44
Lectura = 1320 psi.
Resistencia Última = **210.12 KN.**

- ❖ Probeta M-45
Lectura = 1350 psi.
Resistencia Última = **214.89 KN.**

4.1.16. RESULTADOS DE ENSAYOS M-46, M-47 Y M-48



Figura N° 4.16 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/8" (M-46, M-47 y M-48)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/8" conexión Tipo 1, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-46
Lectura = 690 psi.
Resistencia Última = **109.83 KN.**

- ❖ Probeta M-47
Lectura = 720 psi.
Resistencia Última = **114.61 KN.**

- ❖ Probeta M-48
Lectura = 680 psi.
Resistencia Última = **108.24 KN.**

4.1.17. RESULTADOS DE ENSAYOS M-49, M-50 Y M-51



Figura N° 4.17 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/8" (M-49, M-50 y M-51)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/8" conexión Tipo 2, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-49
Lectura = 740 psi.
Resistencia Última = **117.79 KN.**

- ❖ Probeta M-50
Lectura = 720 psi.
Resistencia Última = **114.61 KN.**

- ❖ Probeta M-51
Lectura = 680 psi.
Resistencia Última = **108.24 KN.**

4.1.18. RESULTADOS DE ENSAYOS M-52, M-53 Y M-54



Figura N° 4.18 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/8" (M-52, M-53 y M-54)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/8" conexión Tipo 3, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-52
Lectura = 780 psi.
Resistencia Última = **124.16 KN.**

- ❖ Probeta M-53
Lectura = 760 psi.
Resistencia Última = **120.98 KN.**

- ❖ Probeta M-54
Lectura = 700 psi.
Resistencia Última = **111.42 KN.**

4.1.19. RESULTADOS DE ENSAYOS M-55, M-56 Y M-57



Figura N° 4.19 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/8" (M-55, M-56 y M-57)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/8" conexión Tipo 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-55
Lectura = 820 psi.
Resistencia Última = **130.53 KN.**

- ❖ Probeta M-56
Lectura = 710 psi.
Resistencia Última = **113.02 KN.**

- ❖ Probeta M-57

Lectura = 860 psi.

Resistencia Última = **136.89 KN.**

4.1.20. RESULTADOS DE ENSAYOS M-58, M-59 Y M-60

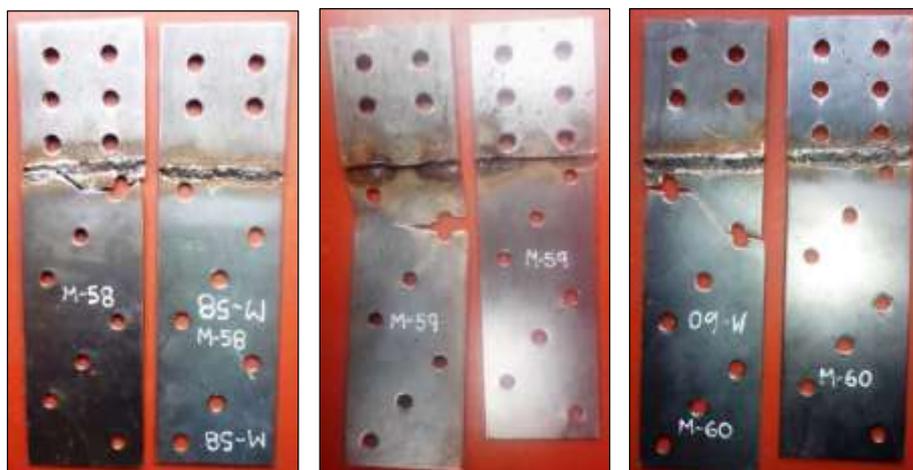


Figura N° 4.20 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/8" (M-58, M-59 y M-60)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/8" conexión Tipo 5, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

❖ Probeta M-58

Lectura = 800 psi.

Resistencia Última = **127.34 KN.**

❖ Probeta M-59

Lectura = 740 psi.

Resistencia Última = **117.79 KN.**

❖ Probeta M-60

Lectura = 720 psi.

Resistencia Última = **114.61 KN.**

4.1.21. RESULTADOS DE ENSAYOS M-61, M-62 Y M-63



Figura N° 4.21 Probetas ensayadas de acero A-50 E=3/16" (M-61, M-62 y M-63)

Las platinas de acero A-50 y espesor 3/16" conexión Tipo 1, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-61
Lectura = 980 psi.
Resistencia Última = **155.99 KN.**

- ❖ Probeta M-62
Lectura = 1100 psi.
Resistencia Última = **175.10 KN.**

- ❖ Probeta M-63
Lectura = 1020 psi.
Resistencia Última = **162.36 KN.**

4.1.22. RESULTADOS DE ENSAYOS M-64, M-65 Y M-66

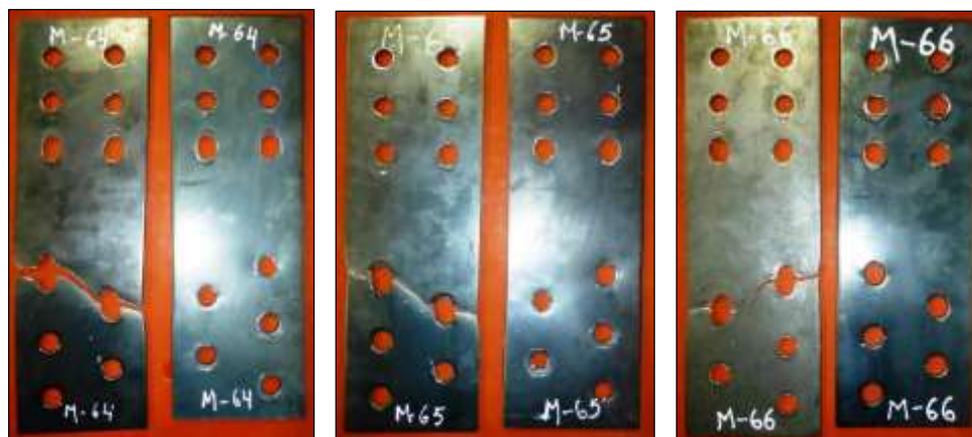


Figura N° 4.22 Probetas ensayadas de acero A-50 E=3/16" (M-64, M-65 y M-66)

Las platinas de acero A-50 y espesor 3/16" conexión Tipo 2, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-64
Lectura = 1080 psi.
Resistencia Última = **171.91 KN.**

- ❖ Probeta M-65
Lectura = 1100 psi.
Resistencia Última = **175.10 KN.**

- ❖ Probeta M-66
Lectura = 1070 psi.
Resistencia Última = **170.32 KN.**

4.1.23. RESULTADOS DE ENSAYOS M-67, M-68 Y M-69

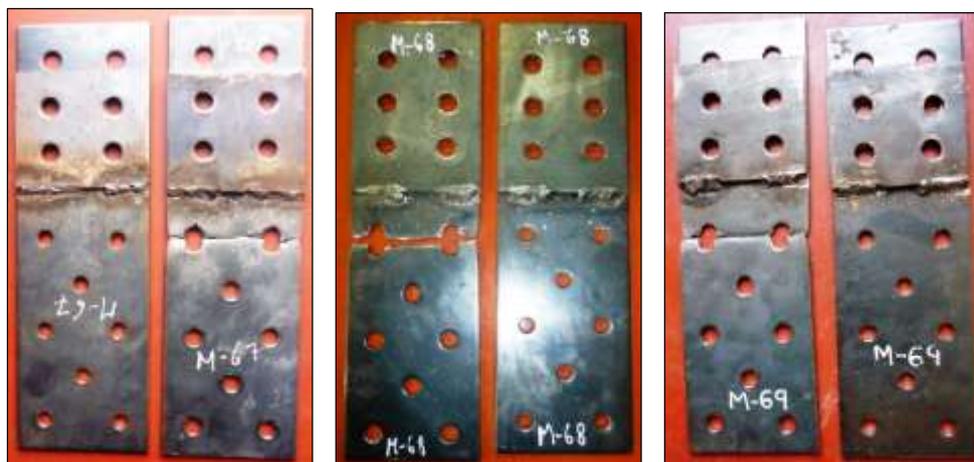


Figura N° 4.23 Probetas ensayadas de acero A-50 E=3/16" (M-67, M-68 y M-69)

Las platinas de acero A-50 y espesor 3/16" conexión Tipo 3, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-67
Lectura = 1100 psi.
Resistencia Última = **175.10 KN.**

- ❖ Probeta M-68
Lectura = 1170 psi.

Resistencia Última = **186.24 KN.**

❖ Probeta M-69

Lectura = 1080 psi.

Resistencia Última = **171.91 KN.**

4.1.24. RESULTADOS DE ENSAYOS M-70, M-71 Y M-72

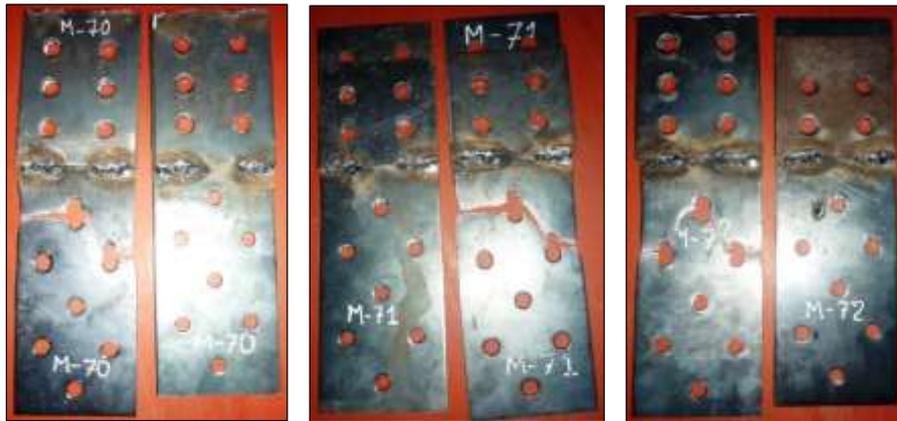


Figura N° 4.24 Probetas ensayadas de acero A-50 E=3/16" (M-70, M-71 y M-72)

Las platinas de acero A-50 y espesor 3/16" conexión Tipo 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

❖ Probeta M-70

Lectura = 1240 psi.

Resistencia Última = **197.38 KN.**

❖ Probeta M-71

Lectura = 1260 psi.

Resistencia Última = **200.56 KN.**

❖ Probeta M-72

Lectura = 1100 psi.

Resistencia Última = **175.10 KN.**

4.1.25. RESULTADOS DE ENSAYOS M-73, M-74 Y M-75



Figura N° 4.25 Probetas ensayadas de acero A-50 E=3/16" (M-73, M-74 y M-75)

Las platinas de acero A-50 y espesor 3/16" conexión Tipo 5, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-73
Lectura = 1100 psi.
Resistencia Última = **175.10 KN.**

- ❖ Probeta M-74
Lectura = 1200 psi.
Resistencia Última = **191.01 KN.**

- ❖ Probeta M-75
Lectura = 1200 psi.
Resistencia Última = **191.01 KN.**

4.1.26. RESULTADOS DE ENSAYOS M-76, M-77 Y M-78



Figura N° 4.26 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/4" (M-76, M-77 y M-78)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/4" conexión Tipo 1, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-76
Lectura = 1360 psi.
Resistencia Última = **216.48 KN.**

- ❖ Probeta M-77
Lectura = 1380 psi.
Resistencia Última = **219.67 KN.**

- ❖ Probeta M-78
Lectura = 1420 psi.
Resistencia Última = **226.03 KN.**

4.1.27. RESULTADOS DE ENSAYOS M-79, M-80 Y M-81



Figura N° 4.27 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/4" (M-79, M-80 y M-81)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/4" conexión Tipo 2, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-79
Lectura = 1410 psi.
Resistencia Última = **224.44 KN.**

- ❖ Probeta M-80
Lectura = 1440 psi.

Resistencia Última = **229.22 KN.**

❖ Probeta M-81

Lectura = 1430 psi.

Resistencia Última = **227.62 KN.**

4.1.28. RESULTADOS DE ENSAYOS M-82, M-83 Y M-84



Figura N° 4.28 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/4" (M-82, M-83 y M-84)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/4" conexión Tipo 3, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

❖ Probeta M-82

Lectura = 1400 psi.

Resistencia Última = **222.85 KN.**

❖ Probeta M-83

Lectura = 1530 psi.

Resistencia Última = **243.54 KN.**

❖ Probeta M-84

Lectura = 1440 psi.

Resistencia Última = **229.22 KN.**

4.1.29. RESULTADOS DE ENSAYOS M-85, M-86 Y M-87



Figura N° 4.29 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/4" (M-85, M-86 y M-87)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/4" conexión Tipo 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-85
Lectura = 1680 psi.
Resistencia Última = **267.42 KN.**

- ❖ Probeta M-86
Lectura = 1650 psi.
Resistencia Última = **262.64 KN.**

- ❖ Probeta M-87
Lectura = 1620 psi.
Resistencia Última = **257.87 KN.**

4.1.30. RESULTADOS DE ENSAYOS M-88, M-89 Y M-90



Figura N° 4.30 Probetas ensayadas de acero A-50 E=1/4" (M-88, M-89 y M-90)

Las platinas de acero A-50 y espesor 1/4" conexión Tipo 5, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ Probeta M-88
Lectura = 1640 psi.
Resistencia Última = **261.05 KN.**

- ❖ Probeta M-89
Lectura = 1600 psi.
Resistencia Última = **254.69 KN.**

- ❖ Probeta M-90
Lectura = 1580 psi.
Resistencia Última = **251.50 KN.**

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-1, M-2 Y M-3

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-1 = **101.87 KN.**
- ❖ Resistencia última M-2 = **95.51 KN.**
- ❖ Resistencia última M-3 = **95.51 KN.**

En las conexiones de tipo 1, de acero A-36 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 6.65%, teniéndose como promedio un valor de **97.63 KN.**

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 96.77 KN y resistencia de diseño **72.58 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **97.63 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **96.77 KN.**

5.2. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-4, M-5 Y M-6

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-4 = **95.51 KN.**
- ❖ Resistencia última M-5 = **108.24 KN.**
- ❖ Resistencia última M-6 = **98.69 KN.**

En las conexiones de tipo 2, de acero A-36 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABDE coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 13.3%, teniéndose como promedio un valor de **100.81 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 100.43 KN y resistencia de diseño **75.32 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **100.81 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **100.43 KN**.

5.3. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-7, M-8 Y M-9

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-7 = **111.42 KN**.
- ❖ Resistencia última M-8 = **103.47 KN**.
- ❖ Resistencia última M-9 = **103.47 KN**.

En las conexiones de tipo 3, de acero A-36 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 7.7%, teniéndose como promedio un valor de **106.12 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 104.84 KN y resistencia de diseño **78.63 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **106.12 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **104.84 KN**.

5.4. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-10, M-11 Y M-12

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-10 = **114.61 KN**.
- ❖ Resistencia última M-11 = **108.24 KN**.
- ❖ Resistencia última M-12 = **103.47 KN**.

En las conexiones de tipo 4, de acero A-36 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, las roturas de las probetas no coinciden con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, para las probetas M-10 y M-11 la rotura se dio por la línea LMPQ y la probeta M-12 presentó una línea de rotura ABC, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 10.77%, teniéndose como promedio un valor de **108.77 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 116.28 KN y resistencia de diseño **87.21 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **108.77 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **116.28 KN**; siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.94, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.5. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-13, M-14 Y M-15

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-13 = **103.47 KN**.
- ❖ Resistencia última M-14 = **105.06 KN**.
- ❖ Resistencia última M-15 = **98.69 KN**.

En las conexiones de tipo 5, de acero A-36 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea DEBC coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 6.45%, teniéndose como promedio un valor de **102.40 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 112.74 KN y resistencia de diseño **84.55 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **102.40 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **112.74 KN**; siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.91, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.6. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-16, M-17 Y M-18

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-16 = **152.81 KN**.
- ❖ Resistencia última M-17 = **143.26 KN**.
- ❖ Resistencia última M-18 = **148.04 KN**.

En las conexiones de tipo 1, de acero A-36 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 6.7%, teniéndose como promedio un valor de **148.04 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 145.16 KN y resistencia de diseño **108.87 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **148.04 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **145.16 KN**.

5.7. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-19, M-20 Y M-21

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-19 = **152.81 KN**.
- ❖ Resistencia última M-20 = **152.81 KN**.
- ❖ Resistencia última M-21 = **149.63 KN**.

En las conexiones de tipo 2, de acero A-36 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABDE coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 2.1%, teniéndose como promedio un valor de **151.75 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 150.64 KN y resistencia de diseño **112.98 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **151.75 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **150.64 KN**.

5.8. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-22, M-23 Y M-24

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-22 = **159.18 KN**.
- ❖ Resistencia última M-23 = **162.36 KN**.
- ❖ Resistencia última M-24 = **152.81 KN**.

En las conexiones de tipo 3, de acero A-36 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose

un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 6.25%, teniéndose como promedio un valor de **158.12 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 157.26 KN y resistencia de diseño **117.94 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **158.12 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **157.26 KN**.

5.9. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-25, M-26 Y M-27

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-25 = **159.18 KN**.
- ❖ Resistencia última M-26 = **162.36 KN**.
- ❖ Resistencia última M-27 = **152.81 KN**.

En las conexiones de tipo 4, de acero A-36 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea LMPQ lo cual difiere con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 6.25%, teniéndose como promedio un valor de **158.12 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 174.42 KN y resistencia de diseño **130.81 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **158.12 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **174.42 KN**; siendo

este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.91, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.10. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-28, M-29 Y M-30

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-28 = **157.59 KN.**
- ❖ Resistencia última M-29 = **159.18 KN.**
- ❖ Resistencia última M-30 = **152.81 KN.**

En las conexiones de tipo 5, de acero A-36 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea DEBC lo cual coincide con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 4.17%, teniéndose como promedio un valor de **156.53 KN.**

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 169.11 KN y resistencia de diseño **126.83 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **156.53 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **169.11 KN**; siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.93, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.11. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-31, M-32 Y M-33

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-31 = **197.38 KN.**
- ❖ Resistencia última M-32 = **200.56 KN.**
- ❖ Resistencia última M-33 = **206.93 KN.**

En las conexiones de tipo 1, de acero A-36 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose

un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 4.84%, teniéndose como promedio un valor de **201.62 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 193.55 KN y resistencia de diseño **145.16 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **201.62 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **193.55 KN**.

5.12. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-34, M-35 Y M-36

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-34 = **205.34 KN**.
- ❖ Resistencia última M-35 = **203.75 KN**.
- ❖ Resistencia última M-36 = **200.56 KN**.

En las conexiones de tipo 2, de acero A-36 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABDE coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 2.38%, teniéndose como promedio un valor de **203.22 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 200.86 KN y resistencia de diseño **150.64 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **203.22 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **200.86 KN**.

5.13. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-37, M-38 Y M-39

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-37 = **218.07 KN.**
- ❖ Resistencia última M-38 = **221.26 KN.**
- ❖ Resistencia última M-39 = **211.71 KN.**

En las conexiones de tipo 3, de acero A-36 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 4.51%, teniéndose como promedio un valor de **217.01 KN.**

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 209.68 KN y resistencia de diseño **157.26 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **217.01 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **209.68 KN.**

5.14. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-40, M-41 Y M-42

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-40 = **221.26 KN.**
- ❖ Resistencia última M-41 = **213.30 KN.**
- ❖ Resistencia última M-42 = **222.85 KN.**

En las conexiones de tipo 4, de acero A-36 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea LMPQ lo cual difiere con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una

variación máxima de 4.47%, teniéndose como promedio un valor de **219.14 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 232.56 KN y resistencia de diseño **174.42 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **219.14 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **232.56 KN**; siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.94, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.15. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-43, M-44 Y M-45

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-43 = **214.89 KN**.
- ❖ Resistencia última M-44 = **210.12 KN**.
- ❖ Resistencia última M-45 = **214.89 KN**.

En las conexiones de tipo 5, de acero A-36 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, , para M-43 la rotura se dio por la línea ABC, la probeta M-44 presento una línea de rotura IJLMN y para M-45 por la línea DEBC, solo la probeta M-45 coincide con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 2.27%, teniéndose como promedio un valor de **213.3 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 225.48 KN y resistencia de diseño **169.11 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **213.3 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **225.48 KN**; siendo

este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.94, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.16. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-46, M-47 Y M-48

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-46 = **109.83 KN.**
- ❖ Resistencia última M-47 = **114.61 KN.**
- ❖ Resistencia última M-48 = **108.24 KN.**

En las conexiones de tipo 1, de acero A-50 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 5.89%, teniéndose como promedio un valor de **110.89 KN.**

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 108.87 KN y resistencia de diseño **81.65 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **110.89 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **108.87 KN.**

5.17. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-49, M-50 Y M-51

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-49 = **117.79 KN.**
- ❖ Resistencia última M-50 = **114.61 KN.**
- ❖ Resistencia última M-51 = **108.24 KN.**

En las conexiones de tipo 2, de acero A-50 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABDE coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis

de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 8.82%, teniéndose como promedio un valor de **113.55 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 112.98 KN y resistencia de diseño **84.74 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **113.55 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **112.98 KN**.

5.18. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-52, M-53 Y M-54

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-52 = **124.16 KN**.
- ❖ Resistencia última M-53 = **120.98 KN**.
- ❖ Resistencia última M-54 = **111.42 KN**.

En las conexiones de tipo 3, de acero A-50 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 11.43%, teniéndose como promedio un valor de **118.85 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 117.94 KN y resistencia de diseño **88.46 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **118.85 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **117.94 KN**.

5.19. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-55, M-56 Y M-57

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-55 = **130.53 KN.**
- ❖ Resistencia última M-56 = **113.02 KN.**
- ❖ Resistencia última M-57 = **136.89 KN.**

En las conexiones de tipo 4, de acero A-50 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, para las probetas M-55 y M-57 la rotura se dio por la línea LMPQ y la probeta M-56 presentó una línea de rotura DEBFG, solo M-56 coincide con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 21.12%, teniéndose como promedio un valor de **126.81 KN.**

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 130.81 KN y resistencia de diseño **98.11 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **126.81 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **130.81 KN**, siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.97, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.20. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-58, M-59 Y M-60

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-58 = **127.34 KN.**
- ❖ Resistencia última M-59 = **117.79 KN.**
- ❖ Resistencia última M-60 = **114.61 KN.**

En las conexiones de tipo 5, de acero A-50 y espesor 1/8", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, las roturas de

las probetas M-59 y M-60 coinciden con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, para las probetas M-59 y M-60 la rotura se dio por la línea DEBC y la probeta M-58 presento una línea de rotura NM, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 8.10%, teniéndose como promedio un valor de **119.91 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 126.83 KN y resistencia de diseño **95.12 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **119.91 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **126.83 KN**, siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.94, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.21. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-61, M-62 Y M-63

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-61 = **155.99 KN**.
- ❖ Resistencia última M-62 = **175.10 KN**.
- ❖ Resistencia última M-63 = **162.36 KN**.

En las conexiones de tipo 1, de acero A-50 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 12.2%, teniéndose como promedio un valor de **164.48 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 163.31 KN y resistencia de diseño **122.48 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **164.48 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **163.31 KN**.

5.22. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-64, M-65 Y M-66

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-64 = **171.91 KN**.
- ❖ Resistencia última M-65 = **175.10 KN**.
- ❖ Resistencia última M-66 = **170.32 KN**.

En las conexiones de tipo 2, de acero A-50 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABDE coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 2.8%, teniéndose como promedio un valor de **172.44 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 169.47 KN y resistencia de diseño **127.10 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **172.44 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **169.47 KN**.

5.23. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-67, M-68 Y M-69

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-67 = **175.10 KN**.
- ❖ Resistencia última M-68 = **186.24 KN**.
- ❖ Resistencia última M-69 = **171.91 KN**.

En las conexiones de tipo 3, de acero A-50 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio

por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 8.3%, teniéndose como promedio un valor de **177.75 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 176.91 KN y resistencia de diseño **132.69 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **177.75 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **176.91 KN**.

5.24. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-70, M-71 Y M-72

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-70 = **197.38 KN**.
- ❖ Resistencia última M-71 = **200.56 KN**.
- ❖ Resistencia última M-72 = **175.10 KN**.

En las conexiones de tipo 4, de acero A-50 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, las roturas de las probetas solo M-72 coincide con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, para las probetas M-70 y M-71 la rotura se dio por la línea LMPQ y la probeta M-72 presentó una línea de rotura DEBFG, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 14.5%, teniéndose como promedio un valor de **191.01 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 196.22 KN y resistencia de diseño **147.17 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **191.01 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **196.01 KN**, siendo

este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.97 lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.25. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-73, M-74 Y M-75

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-73 = **175.10 KN.**
- ❖ Resistencia última M-74 = **191.01 KN.**
- ❖ Resistencia última M-75 = **191.01 KN.**

En las conexiones de tipo 5, de acero A-50 y espesor 3/16", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea DEBC lo cual coincide con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 9.1%, teniéndose como promedio un valor de **185.71 KN.**

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 190.25 KN y resistencia de diseño **142.69 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **185.71 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **190.25 KN**, siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.98, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.26. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-76, M-77 Y M-78

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-76 = **216.48 KN.**
- ❖ Resistencia última M-77 = **219.67 KN.**
- ❖ Resistencia última M-78 = **226.03 KN.**

En las conexiones de tipo 1, de acero A-50 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 4.4%, teniéndose como promedio un valor de **220.73 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 217.74 KN y resistencia de diseño **163.31 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **220.73 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **217.74 KN**.

5.27. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-79, M-80 Y M-81

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-79 = **224.44 KN**.
- ❖ Resistencia última M-80 = **229.22 KN**.
- ❖ Resistencia última M-81 = **227.62 KN**.

En las conexiones de tipo 2, de acero A-50 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABDE coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 2.1%, teniéndose como promedio un valor de **227.09 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 225.96 KN y resistencia de diseño **169.47 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **227.09 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **225.96 KN**.

5.28. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-82, M-83 Y M-84

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-82 = **222.85 KN**.
- ❖ Resistencia última M-83 = **243.54 KN**.
- ❖ Resistencia última M-84 = **229.22 KN**.

En las conexiones de tipo 3, de acero A-50 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea ABCD coincidiendo con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 9.3%, teniéndose como promedio un valor de **231.87 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 235.89 KN y resistencia de diseño **176.91 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **231.87 KN** es menor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **235.89 KN**; siendo este el caso se obtiene un factor de resistencia de 0.98, lo cual es mayor al factor $\phi=0.75$, indicado en la norma E.090.

5.29. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-85, M-86 Y M-87

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-85 = **267.42 KN**.
- ❖ Resistencia última M-86 = **262.64 KN**.
- ❖ Resistencia última M-87 = **257.87 KN**.

En las conexiones de tipo 4, de acero A-50 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea LMPQ lo cual difiere con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 3.7%, teniéndose como promedio un valor de **262.64 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 261.63 KN y resistencia de diseño **196.22 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **262.64 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **261.63 KN**.

5.30. ANÁLISIS DE ENSAYOS M-88, M-89 Y M-90

Los resultados de los ensayos vistos en capítulo iv, se resumen a continuación:

- ❖ Resistencia última M-88 = **261.05 KN**.
- ❖ Resistencia última M-89 = **254.69 KN**.
- ❖ Resistencia última M-90 = **251.50 KN**.

En las conexiones de tipo 5, de acero A-50 y espesor 1/4", para los tres ensayos se presentó una falla de fractura en la sección neta, evidenciándose un pequeño adelgazamiento en la sección debido a fluencia, la rotura se dio por la línea DEBC lo cual coincide con lo indicado en el numeral 3.5.1.1 Análisis de cadena crítica, los resultados obtenidos presentan entre sí una variación máxima de 3.8%, teniéndose como promedio un valor de **255.75 KN**.

Los resultados del diseño detallado anteriormente en el numeral 3.5, para el modo de falla de fractura en la sección neta, se obtuvo mediante cálculos teóricos la resistencia nominal 253.66 KN y resistencia de diseño **190.25 KN** con factor de resistencia $\phi=0.75$.

Al realizarse la comparación de ambos resultados tenemos que el valor promedio de ensayos a tracción **255.75 KN** es mayor al valor obtenido mediante cálculos de diseño para resistencia nominal **253.66 KN**.

CONCLUSIONES

1. Se realizó la fabricación de las probetas de acero, según las medidas indicadas en los diseños, tratando de disminuir las limitaciones constructivas, de manera que se garantice el correcto comportamiento de la conexión durante el ensayo, la mayoría de ensayos tuvieron resultados muy satisfactorios (el 12% se comportó de manera diferente a la ruta crítica), se pudo evidenciar el verdadero comportamiento de falla en las conexiones y comparar estos resultados con diseños teóricos.
2. En la actualidad los procedimientos de cálculos especificados en las normativas RNE, es más conservador y excede en más del 1.50% en la revisión por aplastamiento de agujeros; mientras que el ANSI/ AISC-360-16, nos dan resultados muy aproximados en comparación con las solicitaciones reales estudiadas en la presente tesis.
3. En todos los ensayos que se realizaron los tornillos tuvieron una resistencia óptima, ninguno fallo por corte, lo cual demuestra que tuvieron una correcta fabricación.
4. Los ensayos en general tuvieron un buen comportamiento presentaron una falla de fractura en la sección neta, para las conexiones tipo 1,2 y 3 en aceros A-36 y A50 se observa que las roturas tuvieron el mismo ancho crítico detallada anteriormente en el análisis de cadena crítica, los valores de resistencia última son muy similares a los de resistencia nominal obtenidos mediante cálculos teóricos.
5. Para las conexiones tipo 4, también presentan una falla de fractura en la sección neta, se observa que la mayoría tuvieron roturas con ancho crítico diferente al del análisis de cadena crítica, en cuanto a resistencias últimas se tuvieron valores muy cercanos a los de resistencia nominal.
6. Para las conexiones tipo 5, también presentan una falla de fractura en la sección neta, solamente M-43, M-44 y M-58 tuvieron roturas con ancho crítico diferente al análisis de cadena crítica, sus resistencias últimas tuvieron valores cercanos a los de resistencia nominal, no es muy clara la razón por la cual se presenten este tipo de fallas, no obstante un factor que está relacionado a esto

es la pequeña excentricidad de la conexión cuando es sometida a tracción, puesto que el acero estructural no es homogéneo ni isótropo, las propiedades varían de una muestra a otra.

RECOMENDACIONES

1. Con la presente tesis se pretende incentivar el uso del acero estructural en proyectos de ingeniería y que las generaciones futuras realicen investigaciones sobre el comportamiento del acero ante diferentes solicitaciones.
2. Se debe hacer una buena distribución de agujeros (de manera simétrica), para que todo el miembro a conectar trabaje eficientemente.
3. Siempre contar con implementos de seguridad, para evitar accidentes al momento de realizar los ensayos.
4. Se recomienda a la universidad implementar una máquina universal de ensayos digital, para que las lecturas y cálculos sean más exactos, deseando obtener mejores datos como pueden ser, por ejemplo: graficas de esfuerzo vs deformación.
5. Se recomienda en la adquisición de los materiales a ensayar, aceros A-36 y A-50 respectivamente, cuenten con certificación que respalden los valores mínimos de fluencia y esfuerzo último.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aceros y Sistemas Hidráulicos de México, Disponible en:
<http://www.ashm.mx/blog/como-se-calcula-la-fuerza-de-un-cilindro/>
Consultado: 5 de marzo de 2017.

ALVAREZ POMMIER, José Francisco y VARGAS VASQUEZ, Grover. (2013). Diseño de Estructuras de Acero con LRFD. (Tesis). Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.

Aplicación de la Norma AISC-360-05, octubre 2010. Grupo Sísmica Consultoría y Proyectos. Venezuela Carabobo: Sismiadiestramiento C.A.

Apuntes de Curso de Diseño en Acero y Madera, (2010). ZEGARRA CIQUERO, Luis. Lima: Universidad Pontificia Católica de Lima.

CLAVIJO RODRIGUEZ, Fabián (2016). Desarrollo de Software para Diseño de Conexiones en Estructuras de Acero Bajo las Especificaciones del AISC. (Tesis). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Especificaciones para construcción en acero – AISC/ANSI-360-16. Disponible en:
http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/especificacion_para_construcciones_de_acero_-_aisc_360-16_0.pdf

Consultado:8 de abril de 2018

GARCÍA COBAS, Sandra Liliana. (2003). Confrontación de la Teoría Estructural de Falla de Conexiones Metálicas Atornilladas y Soldadas contra los Resultados Obtenidos en Ensayos de Laboratorio. (Tesis). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

GUZMÁN SALINAS, Oscar. (2006). Diseño de Conexiones con AISC-LRFD-1999. (Tesis). México: Instituto Politécnico Nacional.

MANRIQUE, Angel. (2010). Diseño Simplificado de Elementos de Acero Estructural.

McCORMAC, Jack C. y CSERNAK, Stephen F. (2013). Diseño de Estructuras de Acero. (5ta Edición). México: Alfaomega.

Miembros en Tensión. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/245946001/Miembros-en-Tension-pdf>

Consultado 5 enero 2017

MOŽE, Primož, y BEG, Darko. Investigation of high strength steel connections with several bolts in double shear. Journal of constructional steel research. Investigaciones [en línea].2011 Disponible en: <https://es.scribd.com/document/229612902/4-P-Moze-D-Beg-On-the-Bearing-Resistance-of-Bolted-Connections> ISSN:0143974X
Consultado 1 enero 2017

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). Capitulo E.090.Lima. Perú.

Specification for Structural Steel Buildings - AISC/ANSI-360-16. Disponible en: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf>

Consultado:8 de abril de 2018

VINNAKOTA, Sriramulu. (2006). Estructuras de Acero: Comportamiento y LRFD. (1ra Edición). México: McGraw-Hill.

ZAPATA BAGLIETTO, Luis F. (1997). Diseño Estructural en Acero. (1ra Edición). Lima: UNI.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Planteamiento del Problema	Hipótesis	Objetivo	Variable	Indicador	Método	Estadística
¿Se podrá analizar y conocer el verdadero comportamiento de falla en las conexiones metálicas atornilladas de aceros A-50 y A36 mediante la realización de ensayos de tracción?	Mediante los ensayos de tracción se puede analizar y conocer el verdadero comportamiento de falla, en las conexiones metálicas atornilladas de aceros A-50 y A36.	Analizar y conocer el comportamiento de falla en las conexiones metálicas atornilladas de aceros A-50 y A36, mediante la realización de ensayos de tracción.	Conexiones metálicas atornilladas.	Resistencia a la tracción. Resistencia al cortante en tornillos.	Ensayo de Tracción	Técnica de Observación Experimental.
¿Se podrá realizar la comparación de los resultados de ensayos de tracción con los diseños teóricos de conexiones metálicas atornilladas?	Al comparar los resultados obtenidos de ensayos de tracción con los fundamentos teóricos, se puede tener un criterio más acertado de la disposición de tornillos en conexiones metálicas atornilladas.	Comparar los resultados de ensayos de tracción con los fundamentos teóricos en tipos de falla de las conexiones metálicas atornilladas.	Diferencias entre diseños teóricos y ensayos a tracción.	Resistencia ultima Resistencia Nominal	Ensayo de Tracción Diseño de Conexiones atornilladas.	Técnica de Observación Experimental. Técnica de Investigación documental.
¿Los ensayos de tracción serán correctamente realizados y cumplirán con normativas vigentes?	Se construirán probetas para las conexiones metálicas atornilladas, las cuales son sometidas a ensayos de tracción, cumpliendo con las normativas vigentes.	Que los ensayos de tracción sean realizados correctamente y los diseños de conexiones metálicas cumplan con las normativas vigentes.	Resultados de ensayos de tracción	Laboratorio Universidad Privada Tacna Estado operacional del equipo.	Ensayo de Tracción	Técnica de Observación Experimental.

PANEL FOTOGRÁFICO



Proceso de corte de platinas de acero en taller.



Proceso de perforaciones de platinas, en taller.



Vista frontal de Maquina universal de ensayos, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista posterior de Maquina universal de ensayos, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista frontal Manómetro de medición de Máquina universal de ensayos, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista antes y después de rotura, ensayo de tracción conexión tipo 01, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista antes y después de rotura, ensayo de tracción conexión tipo 02, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista antes y después de rotura, ensayo de tracción conexión tipo 03, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista antes y después de rotura, ensayo de tracción conexión tipo 04, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna.



Vista antes y después de rotura, ensayo de tracción conexión tipo 05, en Laboratorio de Universidad Privada de Tacna

TABLAS DE CONVERSIÓN Y EQUIVALENCIAS

Table 7-9. Summary of SI Conversion Factors		
Multiply	by:	to obtain:
inch (in.)	25.4	millimeters (mm)
foot (ft)	305	millimeters (mm)
pound-mass (lb)	0.454	kilogram (kg)
pound-force (lbf)	4.448	newton (N)
ksi	6.895	N/mm ²
ft-lbf	1.356	joule (J)
psf	47.88	N / m ²
plf	14.59	N / m

Tabla de factores de conversión

Table 7-10. SI Equivalents of Fractions of an Inch		
Fraction, in.	Exact conversion, mm	Rounded to: (mm)
1/16	1.5875	2
1/8	3.175	3
3/16	4.7625	5
1/4	6.35	6
5/16	7.9375	8
3/8	9.525	10
7/16	11.125	11
1/2	12.7	13
5/8	15.875	16
3/4	19.05	19
7/8	22.225	22
1	25.4	25

Equivalencias de pulgadas a milímetros

TABLAS DE DISEÑO DE ESFUERZO CORTANTE DE CONECTORES, TENSIÓN NOMINAL, FACTOR DE CORTE DIFERIDO (U)

Table 8-11. Design Shear Strength of One Bolt, kips												
ASTM Desig.	Thread Cond.	σF _u (ksi)	Loading	Nominal Bolt Diameter d, in.								
				1/8	1/4	3/8	1	1 1/2	1 3/4	1 3/8	1 1/2	
				Nominal Bolt Area, in. ²								
				0.3068	0.4418	0.6013	0.7854	0.9940	1.227	1.485	1.767	
A325	N	36.0	S	11.0	15.9	21.6	28.3	35.8	44.2	53.5	63.6	
			D	22.1	31.8	43.3	56.5	71.6	88.4	107	127	
	X	45.0	S	13.8	19.9	27.1	35.3	44.7	55.2	66.8	79.5	
			D	27.6	39.8	54.1	70.7	89.5	110	134	159	
A490	N	45.0	S	13.8	19.9	27.1	35.3	44.7	55.2	66.8	79.5	
			D	27.6	39.8	54.1	70.7	89.5	110	134	159	
	X	56.3	S	17.3	24.9	33.9	44.2	56.0	69.1	83.6	99.5	
			D	34.5	49.7	67.7	88.4	112	138	167	199	
A307	—	18.0	S	5.52	7.95	10.8	14.1	17.9	22.1	26.7	31.8	
			D	11.0	15.9	21.6	28.3	35.8	44.2	53.5	63.6	

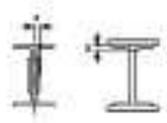
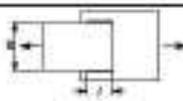
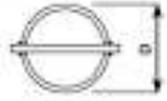
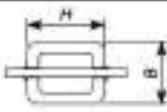
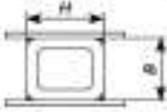
N = Threads included in shear plane
X = Threads excluded from shear plane
S = Single shear
D = Double shear

Diseño de esfuerzo cortante de conectores

Tabla J3.2 Tensión Nominal de Conectores y Partes Roscadas, kgf/cm ² (MPa)		
Descripción del Conector	Tensión de Tracción Nominal, F _{tu} , kgf/cm ² (MPa) ^(a)	Tensión de Corte Nominal en Conexiones de Tipo Aplastamiento, F _{cu} , kgf/cm ² (MPa)
Pernos A307	3160 (310) ^(a)	1900 (188) ^{(b)=(c)}
Grupo A (ej. Pernos A325), cuando la rosca no está ex- cluida en el plano de corte	6320 (620)	3800 (372) ^(d)
Grupo A (ej. Pernos A325), cuando la rosca está excluida en el plano de corte	6320 (620)	4780 (469) ^(d)
Grupo B (ej. Pernos A490), cuando la rosca no está ex- cluida en el plano de corte	7950 (780)	4780 (469) ^(d)
Grupo B (ej. Pernos A490), cuando la rosca está excluida en el plano de corte	7950 (780)	5900 (579) ^(d)
Grupo C (ej. Ensamblajes de pernos F3043), cuando la rosca y el área de transición del cuerpo del perno no están excluidos en el plano de corte	10200 (1040)	6080 (620)
Grupo C (ej. Ensamblajes de pernos F3043), cuando la rosca y el área de transición del cuerpo del perno no están excluidos en el plano de corte	10200 (1040)	7640 (779)
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4, cuando la rosca no está excluida en el plano de corte	0.75F _u	0.450F _u ^(e)
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4, cuando la rosca está excluida en el plano de corte	0.75F _u	0.563F _u [b]

^(a) Para pernos de alta resistencia sujetos a fatiga por cargas de tracción, ver Anexo 3.
^(b) Para conexiones en los extremos con un patrón de conectores con una longitud mayor a 38 in. (965 mm), F_{tu} debe ser reducido a un 83,3% de los valores tabulados. La longitud del patrón de conectores es la máxima distancia paralela a la línea de fuerzas entre la línea central de los pernos que conectan dos partes con una superficie de apriete.
^(c) Para pernos A307 los valores tabulados deben ser reducidos por 1% para cada 2 mm sobre 5 diámetros de longitud en el agarre.
^(d) Rosca permitida en los planos de corte.

Tensión Nominal de conectores Expresado en Kg/cm² y MPa

TABLA D3.1 Factor de Corte Diferido para Conexiones de Miembros en Tracción				
Caso	Descripción del Miembro		Factor de Corte Diferido, U	Ejemplo
1	Todos los miembros en tracción donde la carga es transmitida directamente a cada uno de los elementos de la sección por conectores o soldaduras (excepto en los Casos 3, 4, 5 y 6)		$U = 1.0$	—
2	Todos los miembros en tracción, excepto las planchas y tubos, donde la carga es transmitida por sólo algunos de los elementos de la sección por conectores o soldaduras (Alternativamente, el Caso 7 puede ser utilizado para perfiles W, M, S y HP)		$U = 1 - \bar{x}/l$	
3	Todos los miembros en tracción donde la carga es transmitida por soldaduras transversales a sólo algunos elementos de la sección.		$U = 1.0$ y $A_n = \text{área de los elementos conectados directamente}$	—
4	Planchas donde la carga de tracción es transmitida solamente por soldaduras longitudinales.		$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	
5	Tubos redondos con sólo una plancha gusset concéntrica.		$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	Tubo Rectangular	con sólo una plancha gusset concéntrica	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
		con dos placas gusset concéntricas	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	Perfiles W, M, S o HP, o T cortadas a partir de estos perfiles (Si U es calculado según Caso 2, se permite utilizar el mayor valor)	con ala conectada con 3 o más conectores por línea en la dirección de carga	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$	—
		con alma conectada con 4 o más conectores en la dirección de carga	$U = 0.70$	—
8	Ángulos simples (Si U es calculado según Caso 2, se permite utilizar el mayor valor)	con 4 o más conectores por línea en la dirección de carga	$U = 0.80$	—
		con 2 o 3 conectores por línea en la dirección de carga	$U = 0.60$	—

l = longitud de conexión, cm (mm); w = ancho plancha, cm (mm); \bar{x} = excentricidad de conexión, cm (mm); B = ancho total del tubo rectangular, medido 90° respecto al plano de conexión, cm (mm); H = altura total del tubo rectangular, medido en el plano de conexión, cm (mm)

Factores de corte diferido(U), según el tipo de conexión