

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS Y DISEÑO DE JUNTAS
CARGADAS EXCENTRICAMENTE

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

LUIS FERNANDO LAVARREDA PAZ

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO 1, 1997



08
7(4104)
C.4

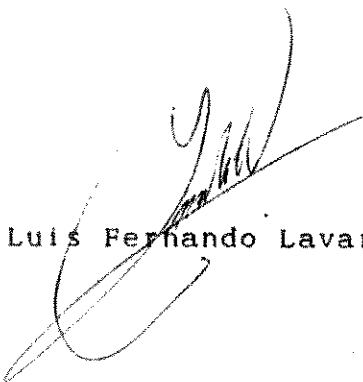


HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**ANALISIS Y DISEÑO DE JUNTAS
CARGADAS EXCENTRICAMENTE**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 20 de febrero de 1,997.


Luis Fernando Lavarreda Paz.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios.
VOCAL 1o.: Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra.
VOCAL 2o.: Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
VOCAL 3o.: Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
VOCAL 4o.: Br. Victor Lobos Aldana.
VOCAL 5o.: Br. Wagner Gustavo López Caceres
SECRETARIA: Inga. Gilda M. Castellanos De Illescas.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Julio Ismael González Podszueck.
EXAMINADOR: Inga. Miriam Ruballos De Rossal.
EXAMINADOR: Ing. Maynor Feizal Zimeri Corado.
EXAMINADOR: Ing. Héctor Alfonso Castañeda Samayoa..
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López.

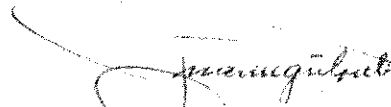
Guatemala, 16 de junio de 1,997

Ingeniero
Ricardo Augusto Ibarra Menéndez
Jefe del Area de Estructuras
Facultad de Ingeniería
PRESENTE

Estimado Ingeniero

Habiendo revisado el trabajo de tesis titulado "ANALISIS Y DISEÑO DE JUNTAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE", del estudiante universitario Luis Fernando Lavarreda Paz, manifiesto a usted que dicho trabajo de tesis ha llenado los requerimientos del programa dentro del cual se efectuó y por la importancia de su aplicación en la rama de la construcción la doy por APROBADA.

Sin otro particular me suscribo de usted,



ING. JUAN MIGUEL RUBIO ROMERO
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, agosto de 1,997

Señor Director
Escuela de Ingeniería Civil
Ing. Jack Douglas Ibarra
Su despacho.

Señor Director:

Como parte de las funciones de la jefatura de este Departamento, he tenido para consideración el trabajo de tesis titulado "ANALISIS Y DISEÑO DE JUNTAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE" del estudiante universitario de Ingeniería Civil, Luis Fernando Lavarreda Paz; trabajo que satisface los objetivos planteados y que presenta un aporte significativo para el Area de Estructuras por lo que con la aprobación respectiva lo remito a esa Dirección para lo pertinente.

Me suscribo de usted, cordialmente.

ING. RICARDO AUGUSTO IBARRA MENENDEZ
Jefe del Area de Estructuras

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Juan Miguel Rubio Romero y del Jefe del Departamento de Estructuras Ing. Ricardo A. Ibarra M., del trabajo de tesis del estudiante Luis Fernando Lavarreda Paz, titulado ANALISIS Y DISEÑO DE JUNTAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, agosto de 1,997.

JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **ANALISIS Y DISEÑO DE JUNTAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE**, del estudiante Luis Fernando Lavarreda Paz, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO

Guatemala, agosto de 1,997

/bbdeb.



ACTO QUE DEDICO

A:

Mis padres:

Héctor Julio Lavarreda Alburez
Eileen Patricia Paz De Lavarreda
Por todo el apoyo y sacrificios
que me han brindado

Mis hermanos:

Jorge Eduardo
Analucía
Mi amor y aprecio de siempre

Mis abuelos

Mis familiares

Mis amigos y compañeros

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de
Guatemala

A G R A D E C I M I E N T O

A Nuestro Señor por haberme permitido llegar a este momento lleno de dicha y felicidad.

Al Ingeniero Juan Miguel Rubio Romero, por su asesoramiento en el presente trabajo de tesis.

INDICE GENERAL

	Página No.
GLOSARIO.....	1
INTRODUCCION.....	IV
OBJETIVOS.....	V
CAPITULO I	
JUNTAS Y CONECCIONES.....	1
1.1 DEFINICION DE EMPALME O CONECCION.....	1
1.2 TIPOS DE CONECCIONES.....	1
1.3 TIPOS DE SUJETADORES.....	5
CAPITULO II	
ANALISIS DE CONECCIONES CON PERNOS O PASADORES...10	
2.1 CARGAS EXCENTRICAS EN JUNTAS.....	10
2.2 COMPORTAMIENTO DE UN GRUPO DE PASADORES BAJO CARGAS EXCENTRICAS.....	11
2.3 ANALISIS DE EXCENTRICIDAD PARA UN GRUPO DE PASADORES.....	15
2.3.1 RESISTENCIA DE LAS JUNTAS AL DESGARRE.....	17
2.4 ANALISIS DEL ESFUERZO ULTIMO.....	21
CAPITULO III	
APLICACIONES DE ANALISIS Y EXPERIMENTACION.....	24
3.1 GENERAL.....	24
3.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	32
3.3 ANALISIS PARA CONECCIONES CON CARGA EXCENTRICA SUJETADORES A CORTANTE.....	33
3.4 DISEÑO DE CONECCIONES CON CARGA EXCENTRICA.....	38
3.5 EJEMPLOS Y ANALISIS DE ALGUNOS MODELOS MATEMATICOS.....	42

3.5.1 EJEMPLO No. 1.....	42
3.5.2 EJEMPLO No. 2.....	45
3.5.3 EJEMPLO No. 3.....	47
3.6 ENSAYOS EXPERIMENTALES_PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.....	49
3.6.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES MODELOS 1, 2 Y 3.....	50
3.7 COMPARACION DE LOS RESULTADOS ANALITICOS Y EXPERIMENTALES.....	54
CONCLUSIONES.....	VI
RECOMENDACIONES.....	VIII
BIBLIOGRAFIA.....	IX
ANEXO	

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURA		PAGINA
1.1	Tipos de conexiones	2
1.2	Carga en las conexiones	4
1.3	Pasos en el remachado	6
1.4	Tipos de tornillos	7
1.5	Conjunto de un tornillo	8
1.6	Tipos de pasadores	9
2.1	Cargas exéntricas típicas en conexiones	10
2.2	Elemento con cargas exéntricas	12
2.3	Diagrama idealizado carga-rotación	13
2.4	Curva carga-rotación para tornillos	14
2.5	Centro instantáneo de rotación	18
2.6	Análisis de un grupo de pasadores bajo carga exéntrica.	20
3.1	Espaciamiento de sujetadores	26
3.2	Distancias al borde para evitar fallas por desgarramiento.	29
3.3	Fuerzas cortantes en sujetadores debidos a cargas exéntricas.	34
3.4	Centro instantáneo de rotación	36
3.5	Area equivalente de un grupo de sujetadores	39
3.6	Modelo matemático y experimental No. 1	42
3.7	Modelo matemático y experimental No. 2	45
3.8	Modelo matemático y experimental No. 3	47

TABLAS

3-1	Esfuerzos permisibles para sujetadores	28
3-2	Deformación vrs. carga	50

GRAFICAS

3.1	Carga vrs. Deformación para modelo No.1	51
3.2	Carga vrs. Deformación para modelo No. 2	52
3.3	Carga vrs. Deformación para modelo No. 3	53

G L O S A R I O

1. CENTROIDE:

En una superficie, es el punto cuya distancia a un eje cualquiera, multiplicada por el área, es igual al momento de la superficie respecto del eje.

2. CENTRO INSTANTANEO DE ROTACION:

La rotación y traslación de una placa rígida pueden reducirse a una rotación pura con respecto a un cierto punto, el cual es llamado el centro "instantáneo".

3. DISTANCIA AL BORDE:

Distancia entre el centro del agujero del sujetador o tornillo y el borde adyacente de la placa.

4. DISTANCIA ENTRE REMACHES:

Separación centro a centro de los sujetadores desfasados, medidas oblicuamente al eje del miembro.

5. EMPALME:

En construcción se define como la unión de los extremos de dos o más piezas de madera, hierro o cuerdas para sumar sus longitudes en la dirección de sus ejes.

6. EXCENTRICIDAD:

Falta de coincidencia entre el centro de la graduación de un círculo y el eje de giro.

7. ESTEREOTOMIA:

Ciencia que estudia los empalmes de dos maderos que se encuentran formando un cierto ángulo, y los empalmes que consisten en que uno de ellos sea continuación de otro en la dirección de su eje.

8. GRAMIL:

Separación centro a centro de sujetadores, medidos a lo ancho del miembro o de la conexión.

9. PASO:

Separación centro a centro de sujetadores, medida a lo largo del miembro o de la conexión.

10. PASADORES:

Varilla de metal que en las bisagras, charnelas y piezas semejantes une las palas pasando por los anillos y sirve de eje para el movimiento de estas piezas.

11. REMACHE:

Se llama remache a una pieza de sección transversal circular, de acero dúctil, forjado en el sitio, para unir entre sí varias piezas de acero o madera.

12. TORNILLO:

Un tornillo es un pasador de metal con una cabeza formada en un extremo y el vástago roscado en el otro, para recibir una tuerca.

I N T R O D U C C I O N

Este trabajo de tesis enfoca lo que es el análisis y diseño de conexiones cargadas excentricamente, teniendo como principal objetivo observar el comportamiento de dichas conexiones.

Para ello este documento trata en una primera parte la teoría relacionada con los diferentes tipos de sujetadores, realizando las particulares características de cada uno de ellos, para obtener una selección adecuada de los mismos, dependiendo del uso y conformación del elemento en el que trabajarán.

En la segunda parte se explica y esquematiza el procedimiento de análisis y diseño de conexiones cargadas excéntricamente, para por último estudiar el comportamiento de algunas conexiones, por medio de tres elementos de madera que fueron sometidos a ensayos de carga excéntrica, y en base a dichos resultados hacer las observaciones y recomendaciones para este tipo de cargas.

Como conclusiones importantes es necesario destacar que este tipo de conexiones sufren desgaste con el paso de los años y que los análisis para su diseño están basados en pruebas experimentales, que son cargadas en cuestión de unos minutos, de ahí el cuidado en aplicar criterios de seguridad bastante altos para no incidir en la calidad de las construcciones u obras físicas.

O B J E T I V O S

1. Que el trabajo sirva como guía a las personas que se dedican al diseño o a la simple conformación de este tipo de elementos, para que apliquen las restricciones o normas mínimas de seguridad en las técnicas descritas y su incidencia en la calidad de las construcciones u otro tipo de obras físicas.

2. Estudiar el comportamiento de este tipo de conexiones, para obtener por medio de la experimentación y observación, las conclusiones que indiquen el porque de algunas diferencias porcentuales de fallas respecto de un análisis teórico y uno experimental.

CAPITULO I

JUNTAS Y CONEXIONES

1.1 DEFINICION DE EMPALME O CONEXION

En construcción se define como la unión de los extremos de dos o más piezas de madera, hierro, tubos, alambres, cables o cuerdas para sumar sus longitudes en la dirección de sus ejes. La ESTEREOTOMIA estudia los empalmes de la madera y del hierro que se emplean en las estructuras y construcciones.

La ESTEREOTOMIA de la madera comprende: los ensambles, o union de dos maderos que se encuentran formando un cierto ángulo; los empalmes que consisten en que uno de ellos sea continuación del otro en la dirección de su eje; y acopladuras que es la unión de dos piezas con sus ejes paralelos de modo que la escuadria del conjunto sea la suma de las maderas acopladas. Generalmente, se refuerzan las uniones con diversas piezas accesorias llamadas cubrejuntas, carteles, pasadores, etc.

1.2 TIPOS DE CONEXIONES

Las conexiones pueden clasificarse de acuerdo con el modo de transmisión de la carga. Las conexiones cargadas según se muestra en las figs. 1-1 a, b y c tienden a cortar los sujetadores y se denominan "conexiones a cortante"; las que están cargadas como se

muestran en las figs. 1-1d tienden a hacer fallar los sujetadores por tensión y se llaman "conexiones a tensión".

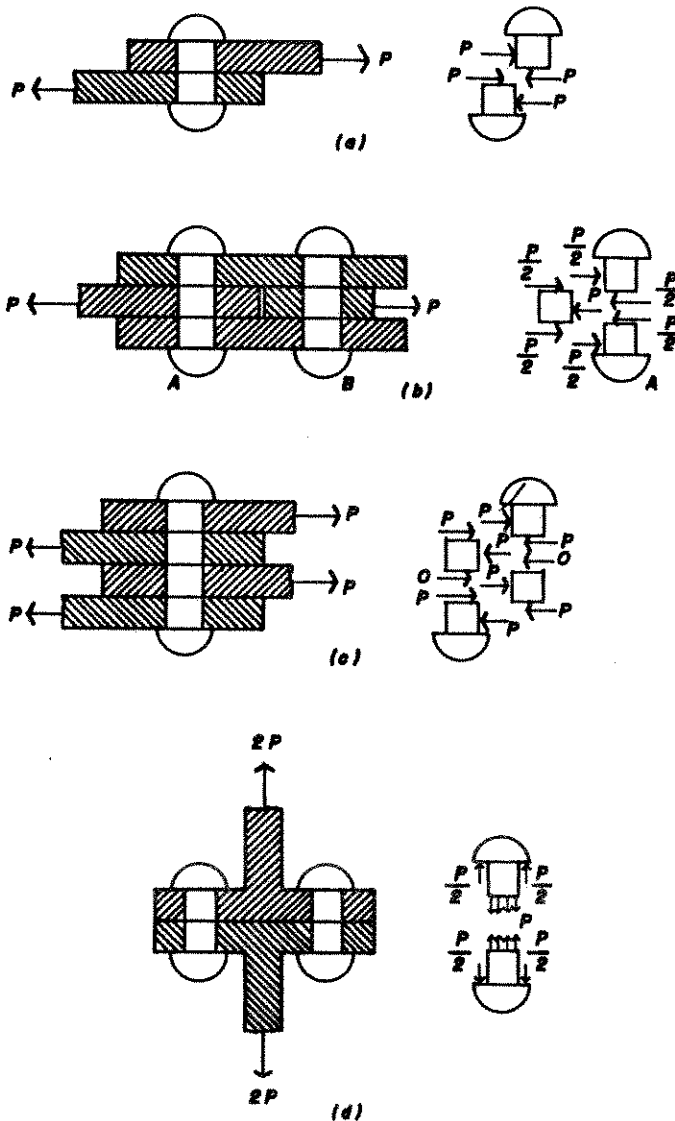


Fig. 1-1 Tipos de conexiones (a) Junta de traslape, remache en cortante simple. (b) Junta a tope, remache en cortante doble. (c) Remache en cortante múltiple. Y (d) Remache en tensión.

Si la transmisión de carga en una conexión a cortante se efectúa únicamente por la fricción producida entre las placas por grandes fuerzas de apriete, a la conexión se la denomina "conexión por fricción", y no puede admitirse ningún deslizamiento entre las placas. En caso de existir deslizamiento entre éstas, y si la carga se transmite por apoyo entre las placas y los sujetadores, ocasionándose esfuerzos de corte en éstos, se le llama "conexión por aplastamiento". Comúnmente se clasifican como conexiones de este tipo todas las remachadas y las hechas con tornillos A307. Los tornillos de alta resistencia pueden usarse tanto en conexiones por fricción como en conexiones por aplastamiento.

Se recomiendan las conexiones por fricción para juntas a cortante sujetas a inversión de esfuerzos o a fluctuaciones severas en los valores de éstos, y en aquellas aplicaciones donde pueda ser indeseable el deslizamiento de las placas. Pueden usarse conexiones por apoyo cuando las cargas sean esencialmente estáticas. En conexiones por fricción no es necesario considerar el aplastamiento del tornillo sobre la placa, mientras que en las conexiones por aplastamiento se supone que el tornillo se apoya en la placa, con una presión nominal calculada sobre la base de una distribución uniforme de esfuerzos, sobre un área igual al diámetro nominal del tornillo, multiplicada por el

espesor de la placa conectada.

Pruebas efectuadas en conexiones de apoyo han indicado que la falla tiene lugar bajo una carga 15% menor cuando uno de los dos planos de corte del tornillo pasa a través de la rosca, y bajo una carga 30% menor cuando la rosca está en ambos planos de corte. Esta última falla ocurre también en las juntas a cortante simple con las cuerdas en el plano de corte; se ha observado que los tornillos ordinarios se comportan también de una manera similar. Estas pruebas únicamente reflejan la relación del área en la raíz de la rosca al área nominal del tornillo; esto mismo se refleja, también, en los esfuerzos permisibles asignados a los tornillos.

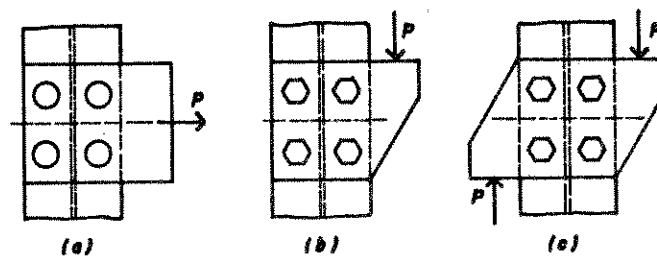


Fig. 1-2 Tipos de conexiones. (a) Conexión a carga directa. (b) Conexión a carga excéntrica, y (c) Conexión a momento puro.

Los tornillos ordinarios se comportan de manera similar a los tornillos de alta resistencia utilizados en conexiones por aplastamiento, pero a esfuerzos permisibles más reducidos.

Las conexiones atornilladas y remachadas pueden clasificarse también de acuerdo con la naturaleza y localización de la carga con respecto al grupo de sujetadores (fig. 1-2). Cuando la carga pasa por el centroide de las áreas transversales de los sujetadores, se dice que la conexión está bajo carga directa. Cuando la carga transmitida consiste en un momento flexionante o de torsión puro, se denomina conexión a momento puro.

Algunas veces, una conexión transmite la carga de manera tal que los sujetadores trabajan tanto a corte como a tensión; por ejemplo, en una conexión ordinaria de viga a columna, existe por lo general un cortante en el extremo de la viga y también una cierta cantidad de momento entre el extremo de la viga y la columna. Una conexión de este tipo se denomina conexión a momento o conexión a cortante y momento.

1.3 TIPOS DE SUJETADORES

Remaches. Se llama remache a una pieza de sección transversal circular de acero dúctil, forjado en el sitio, para unir entre sí varias piezas de acero. El remache se fabrica con una cabeza especial, que se

denomina cabeza manufacturada, y se instala mediante una pistola remachadora, la cual forma otra cabeza durante la instalación. El proceso completo se llama remachado, y los pasos esenciales se ilustran en la fig. 1-3.

Los diámetros nominales de los remaches para propósitos estructurales varían de $\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ pulgadas, con incrementos de $\frac{1}{8}$ de pulgada. Los tamaños que se usan más frecuentemente en estructuras son de $\frac{3}{4}$ de pulgada para edificios y $\frac{7}{8}$ de pulgada para puentes. Se usan tamaños mayores especialmente en conexiones pesadas.

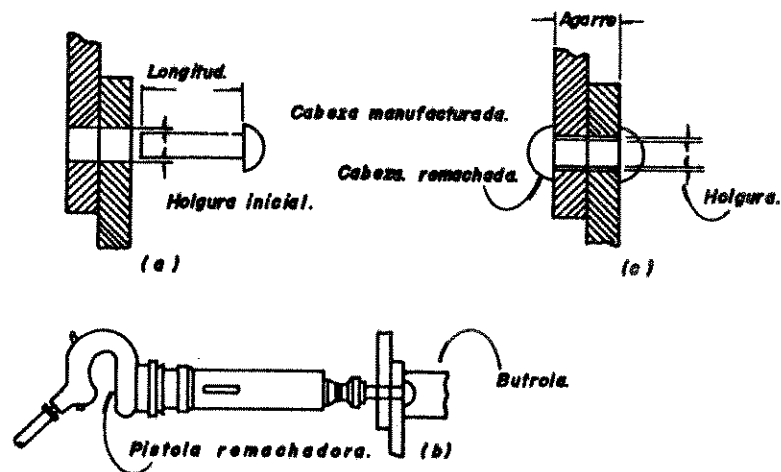


Fig. 1-3 Pasos esenciales en el remachado

El tipo más común de acero para remaches es el ASTM A141 (American Society for Testing Materials), el cual se usa para conectar elementos de acero estructural al carbono o aceros de resistencias más elevadas; los remaches de acero de alta resistencia hechos de acero ASTM A195 o A502 pueden emplearse también para

estructuras hechas con acero de alta resistencia. La elección del acero de los remaches depende de la aplicación y del costo de instalación.

Tornillos. Un tornillo es un pasador de metal con una cabeza formada en un extremo y el vástago roscado en el otro, para recibir una tuerca (fig 1-4).



Fig. 1-4 Tipos de tornillos

Los tornillos se usan para unir entre sí piezas de metal, insertándolos a través de agujeros hechos en dichas piezas, y apretando la tuerca en el extremo roscado. Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características: tipo de vástago -sin acabar o maquillado; material y resistencia- acero estructural ordinario o de alta resistencia; forma de la cabeza y de la tuerca -cuadrada o hexagonal, normal o pesada; paso y tipo de la rosca- estándar, gruesa o fina.

La práctica común es usar tornillos con cabeza

hexagonal y tuercas cuadradas o hexagonales. Pueden requerirse tuercas pesadas para tornillos sometidos a cargas de tensión, o cuando se desarrolla una tensión inicial alta en el tornillo, debido al apriete, como en el caso de tornillos de alta resistencia. (fig. 1-5).

La porción roscada de los tornillos estructurales y de alta resistencia tiene los hilos de acuerdo con las normas American Standard. Los diámetros total y neto y las áreas de los tornillos, así como el paso de las cuerdas de la rosca, aparecen en el Manual AISC 1963, págs. 4-91 y siguientes.

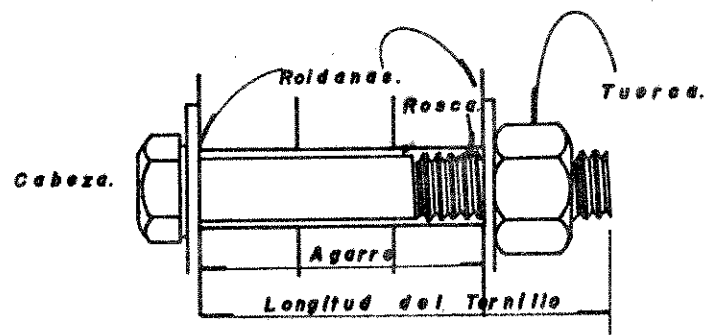


Fig. 1-5 Conjunto de un tornillo

Pasadores. Algunas veces se usa un solo pasador cilíndrico de acero para conectar miembros que deben tener una rotación relativa entre uno y otro. Se supone que el pasador gira libremente en la conexión; por tanto, no es deseable la acción de apriete debida a la tensión inicial. Como se emplea un solo pasador en una conexión que de otro modo requeriría varios tornillos o

remaches, su tamaño es generalmete mayor que el de los tornillos o remaches mencionados. Los diámetros comunes de los pasadores estructurales varían de 1½ a 2 pulgadas, aunque hay tamaños mayores disponibles, llegando hasta 24 pulgadas.

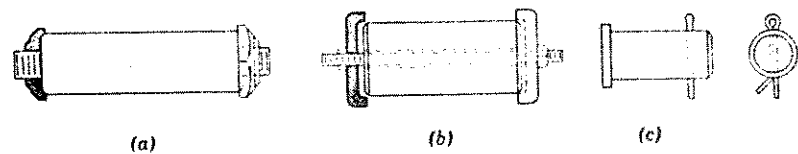


Fig. 1-6. Tipos de pasadores; (a) con tuercas remetidas (b) con tapas y perno, y (c) con chaveta.

El tipo más común de pasador tiene extremos roscados y dos tuercas remetidas, atornilladas en los extremos para mantenerlo en su sitio (fig 1-6). Para pasadores mayores de 10 pulgadas de diámetro es preferible usar un perno largo que pase a través de él y de unas tapas remetidas, fijándolos de esta manera entre sí (fig 1-6b). Esto elimina el uso de grandes tuercas de cierre. Para pasadores más pequeños, que llevan cargas ligeras, puede forjarse una cabeza en un extremo e insertarse una chaveta en el otro (fig. 1-6c), o bien pueden usarse dos chavetas, una en cada extremo. En el manual AISC 1963, págs. 4-97, se muestran detalles típicos de estos pasadores.

CAPITULO II
ANALISIS DE CONEXIONES
CON PERNOS O PASADORES

2.1 CARGAS EXCENTRICAS EN JUNTAS

En juntas cargadas excéntricamente la conexión está sujeta a las cargas utilizadas, esto resulta en una línea de acción que pasa al extremo del centro de rotación del grupo de pasadores.-

Algunos ejemplos comunes son tipos de conectores pared-repisa, obras empalmadas en vigas y los modelos de vigas con conexiones cortas mostrados en la fig. 2.1.

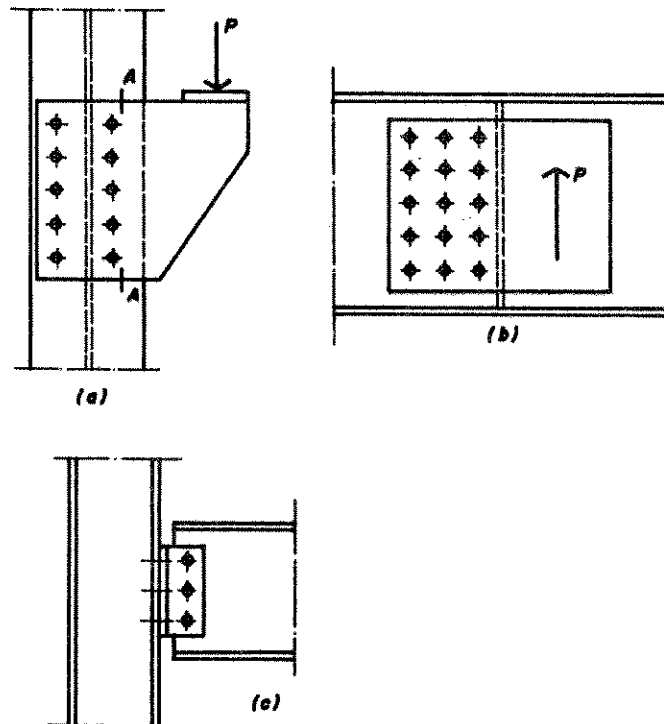


Fig. 2-1 Cargas excéntricas típicas en conexiones

Debido a la excentricidad de las cargas aplicadas, el grupo de pasadores está sujeto a una fuerza de corte y a un momento de torsión.-

Ambos, el momento y la fuerza de corte dan lugar a esfuerzos cortantes en los pasadores.-

De aquí que el dominio del cortante en cada tornillo es el resultado de dos componentes, uno causado por la aplicación de la fuerza de corte y el otro del momento debido a la excentricidad de la carga.-

Usualmente la fuerza central de corte es asumida para equilibrar la distribución entre los pasadores. La evaluación de la influencia del momento sobre el perno es mas complicada y estudiada a partir de 1870.

Este capítulo trata el análisis y diseño de los pasadores sometidos a cargas excéntricas.

2.2 COMPORTAMIENTO DE UN GRUPO DE PASADORES BAJO CARGAS EXCENTRICAS.

Ensayos sobre conexiones especiales están destinados a evaluar, en base a cargas-deformaciones, el comportamiento del grupo de pasadores sometidos a una fuerza cortante excéntrica.

Todos los experimentos o pruebas eran del tipo mostrado en la fig. 2.2 con un grupo de pasadores que consisten en una o dos filas verticales. Desde entonces la conexión es simétrica respecto a la línea de acción de la carga, cada ensayo provee dos deformaciones (de carga) curvas para conexiones idénticas.

En general, el diseño de los ensayos causaron en el alma, ángulos críticos en los componentes.

Desde el grupo de pasadores que componen la parte crítica los resultados del ensayo pueden usarse para fijar la resistencia del grupo de sujetadores.

De cualquier modo, el comportamiento de la carga-deformación también puede ser afectado por otros componentes de la conexión en medida.

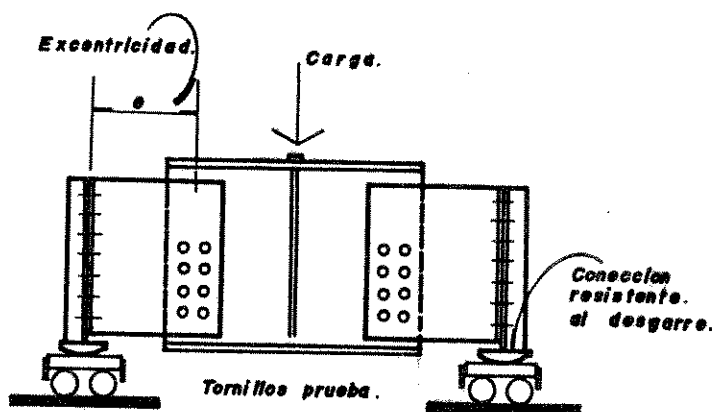


Fig. 2-2 Elemento con cargas excéntricas en un grupo de pasadores.

El comportamiento de varios pasadores bajo diferentes muestras de excéntricas puede ser representado por las curvas de rotación y carga mostradas en la fig. 2.3.

La línea recta desde el origen hacia el punto A representa la elástica de rotación. La transición del segmento AB representa la elástica a medida que se dan

las deformaciones plásticas. Más allá del punto B la rotación es producida principalmente por las deformaciones plásticas.-

Este segmento de rotación-carga en la curva finaliza con la falla de la carga la cual se da al final de uno o más de los pasadores que fallan al corte.-

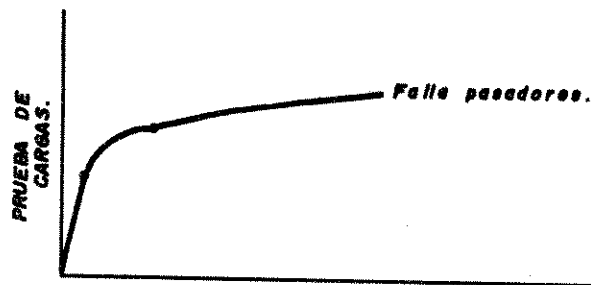


Fig. 2-3 Diagrama idealizado carga-rotación para una carga excéntrica en un grupo de pasadores.

Curvas diferentes de carga-rotación se tienen para los remaches dependiendo de los diferentes tornillos.-

En la fig. 2.4 se muestra una curva típica de rotación carga de la fig. 2.2 para un tipo de tornillo con dos filas verticales de 3/4" (tornillo tipo A325).-

La distancia horizontal al centroide del grupo de sujetadores fue igual a 12". Dentro de esta serie de ensayos los agujeros de los tornillos en el tramo de viga y el tramo de ángulos se encajaron los tornillos en los tramos barrenados.

El resultado fue un mínimo de espacio libre entre los tornillos y los agujeros para soltarse de la junta.-

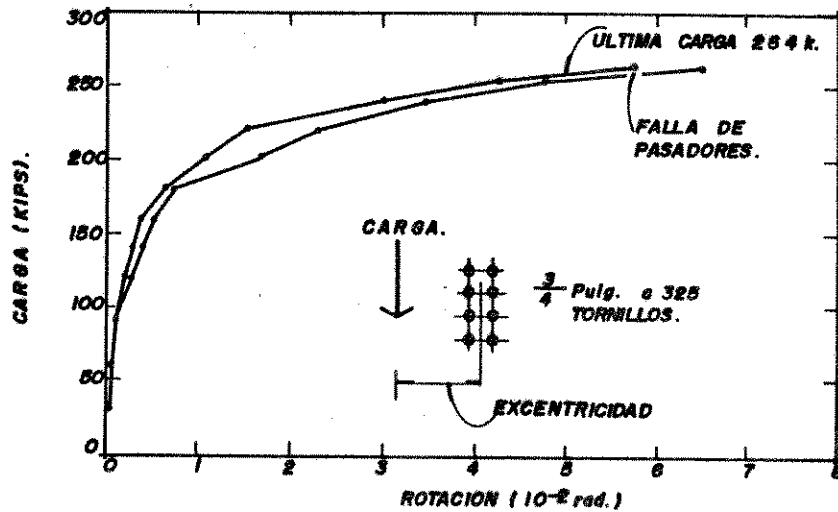


Fig. 2.4 Curva Carga-Rotación para tornillos conectados (Ref. 2.2). (Experimento mostrado en la Fig. 2-2)

Dentro de la práctica, los tornillos son usualmente colocados en agujeros con $1/16$ " plg. libre.

Si se presentan agujeros libres el desgarre puede ocurrir cuando la resistencia de la conexión es excedida.-

2.3 ANALISIS DE EXCENTRICIDAD PARA UN GRUPO DE PASADORES.

Por muchos años el análisis y diseño de grupos de pasadores cargados excéntricamente se basó en la suposición de que los pasadores se comportan elásticamente y no sufrían esfuerzos más allá del límite de proporcionalidad. La carga excéntrica fue resuelta sometiendo el grupo de pasadores a la acción de una carga 'P' y un momento 'pe' actuando en el centroide del grupo. Se asumió que la acción de la fuerza de corte se distribuye uniformemente entre los pasadores. Luego se supuso que las fuerzas varían linealmente con la distancia del momento hacia el centro de rotación.

Debido a que se asumió una conducta elástica de los pasadores; el centro de rotación para evaluar la componente del corte de un pasador pegado al momento coincidió con el centroide del grupo de pasadores.-

El resultado de los esfuerzos en los pasadores fue evaluado por vectores agregados al esfuerzo de cada componente de la carga, éstos referentes al centro de la fuerza de corte y momentos.

Más allá del método supuesto, las placas conexas deben quedar bastante rígidas, esencialmente para no deformarse durante la torsión y no crear una variación de la fuerza lineal por los remaches.

La influencia de la resistencia friccionante entre las partes y la capacidad de carga-deformación de los

pasadores se desprecia.

Pruebas de cargas excéntricas en conexiones con pasadores indicaron que el análisis elástico produjo un diseño conservador.-

En base a los resultados de la prueba se modificó el método para introducir una excentricidad efectiva que es un tanto menor que la excentricidad real.

Las fórmulas empíricas para determinar la excentricidad efectiva son en medida una función de un tipo de pasadores específicos. La reducción en excentricidad produce un factor de seguridad más compatible al valor usado para una sola fuerza cortante.-

El método se basa esencialmente en la conducta elástica del grupo de pasadores descrito aquí. Reduciendo la excentricidad decrece la magnitud de la flexión de los componentes y se reconoce la fuerza real de la junta observada en las pruebas.

Aunque el uso de una excentricidad efectiva o una mayor ha provisto diseños seguros, el factor de seguridad con respecto a la carga última es aún variable aunque el uso de la excentricidad efectiva reduzca esta variabilidad.-

Ningún método toma mayor ventaja de la capacidad de deformación del pasador. Recientemente un método racional para predecir la última fuerza de carga excéntrica de un grupo de pasadores ha desarrollado las

consideraciones que completan la relación carga-deformación de un pasador aislado. Con una consideración ligera este método de análisis es también aplicable a la resistencia de juntas al desgarre.-

2.3.1 RESISTENCIA DE LAS JUNTAS AL DESGARRE

Inicialmente la curva carga-deformación de una junta cargada excéntricamente es aproximadamente igual a una línea recta, representando la rotación elástica.

Durante esta fase la aplicación de la carga es completamente soportada por resistencia friccional entre las partes que constituyen la conexión.

Esta fase de transferencia de carga termina generalmente con un desgarre de la conexión. La carga en que la resistencia al desgarre del grupo de pasadores es excedida causa movimiento y a uno o más tornillos un sufrimiento interno.

La carga al desgarre puede aproximarse asumiendo las siguientes consideraciones:

1. En la carga al desgarre la conexión gira en torno a un centro instantáneo de rotación.
2. En la carga al desgarre de la conexión se incrementa la resistencia máxima de cada pasador. Una suposición análoga se ha usado para describir la resistencia al desgarre en las juntas sometidas a corte simple.

3. La resistencia al desgarre de los pasadores individuales puede ser representada por una fuerza del perno actuando perpendicularmente al radio de rotación.

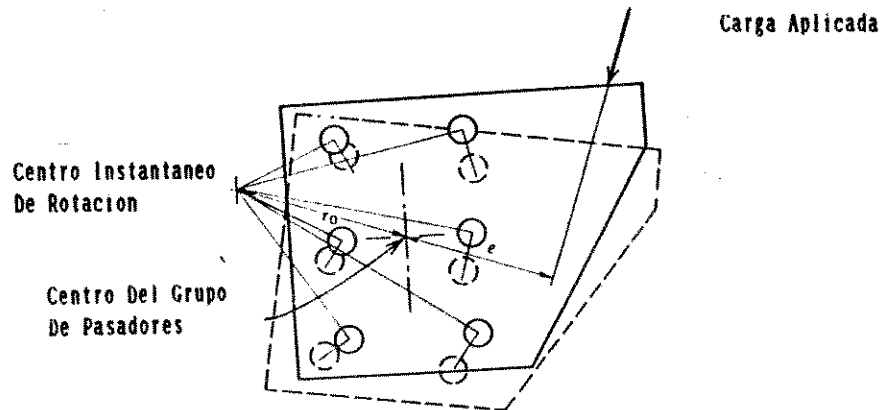


Fig. 2-5 Centro Instantáneo de rotación.

El centro instantáneo se define a continuación. La carga excéntrica en la conexión produce una rotación respecto del centroide del grupo de pasadores junto con un traslado de una placa (sobrejunta) respecto a la otra.-

La rotación y el traslado pueden producir una rotación pura respecto a un punto definido como el centro instantáneo de rotación.-

La localización de este punto depende del arreglo de los pasadores así como de la dirección y el punto de aplicación de la carga.- (ver fig.2.5). La resistencia

máxima al desgarre "Rs" puede ser expresado como:

$$R_s = m K_s T_i \quad (1) \quad \text{ec. 2.1}$$

Por eso, basados en las suposiciones indicadas previamente, la carga al desgarre en los pasadores está sujeta a una carga "Rs" actuando perpendicular al radio de rotación. La fig. 2.6 presenta esquemáticamente el traslado de carga para un modelo de pasadores. Las tres ecuaciones de equilibrio se pueden emplear para determinar las coordenadas del centro instantáneo y el valor máximo de la carga que resulta en el desgarre de la conexión. La solución a este problema es resuelta generalmente por medio de un procedimiento iterativo. Un ensayo local del centro instantáneo puede ser seleccionado. Por conveniencia el origen del sistema de coordenadas puede colocarse sobre el centro instantáneo con el eje "x" perpendicular a la carga aplicada. El radio de rotación "ri" de los pasadores es igual a:

$$r_i = (x_i^2 + y_i^2)^{1/2} \quad \text{ec. 2.2}$$

igualando la suma de todas las fuerzas en las direcciones "x" e "y" así como la suma de los momentos a cero respecto del centro instantáneo, producen:

$$\sum_{i=1}^n R_s \cdot \text{Sen } Q_i = 0 \quad \text{ec. 2.3}$$

$$\sum_{i=1}^n R_s \cdot \text{Cos } Q_i = 0 \quad \text{ec. 2.4}$$

$$P \cdot (e + r_o) - \sum_{i=1}^n r_i R_s = 0 \quad \text{ec. 2.5}$$

Las ecuaciones 2.3 y 2.4 son escritas usualmente como sigue:

$$R_s = \sum_{i=1}^n (y_i / r_i) = 0 \quad \text{ec. 2.6}$$

$$R_s \sum_{i=1}^n (x_i/r_i) - P = 0 \quad \text{ec. 2.7}$$

La solución al problema es alcanzada si el valor de "ro" satisface las tres ecuaciones de equilibrio. El procedimiento se puede repetir hasta que se alcanza esta condición. Un modelo simétrico de pasadores fue usado en la fig. 13.6 y la carga aplicada fue normal al eje de simetría, en tales situaciones el centro instantáneo de rotación debe acomodarse sobre el eje perpendicular a la carga aplicada para satisfacer la ecuación 13.7.-

El procedimiento también aplica al caso más general donde ningún eje de simetría existe, o la carga aplicada actúa en una dirección arbitraria como en la fig. 2.5. Esto también es claro de las ecs. 2.5, 2.6 y 2.7, ello si el centro instantáneo de pasadores coincide en el espacio de un tornillo, los pasadores en general no pueden ser totalmente efectivos a medida que la resistencia se acerca al desgarre.-

Por lo tanto, se debe tener cuidado en asumir que todos los pernos poseen una resistencia máxima cuando existen grandes excentricidades.-

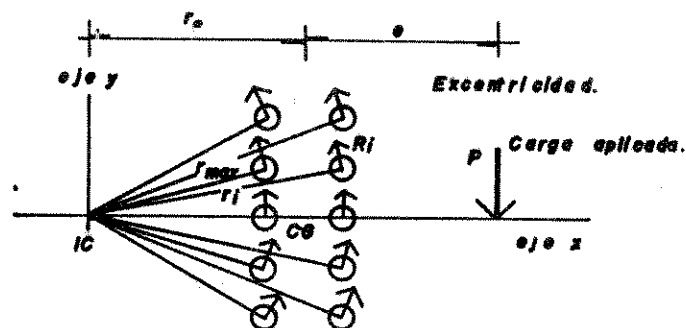


Fig. 2-6 Análisis de un grupo de pasadores bajo carga.

2.4 ANALISIS DEL ESFUERZO ULTIMO

Una aproximación teórica para predecir el esfuerzo último de un grupo de sujetadores de carga excéntrica fue desarrollado por Crawford y Kulak. Esta aproximación considera que la deformación de carga depende de un sólo sujetador como una base para determinar el esfuerzo de un grupo de sujetadores. El método propuesto por Crawford y Kulac utiliza el comportamiento de la deformación de carga de un simple pasador, cargado a doble corte. Esta relación ha sido expresada como:

$$R=Rut(1-e^{(-u)})^T \quad \text{ec. 2.8}$$

en el cual:

R= fuerza cortante en el perno

Rut= la carga última de corte en el sujetador

Δ = la deformación cortante sostenida, inclinada del sujetador así como la deformación local sostenida de las placas conectoras.

u,T= coeficiente de regresión

e= logaritmo de base natural

Valores numéricos de Rut,T y u para varias combinaciones de materiales de conexión y pernos pueden ser determinados experimentalmente por medio de pruebas de corte especial.

Para la prueba de corte ha sido recomendado el tipo de tensión, desde el límite bajo del rendimiento hacia la última capacidad del corte Rut del perno.

La evaluación del esfuerzo último de un grupo de sujetadores con carga excéntrica es comparable al análisis de la resistencia de juntas al desgarre.

La rotación de la conexión es asumida en el centro instantáneo y las placas conectoras se suponen que permanecen rígidas durante esta rotación. La última suposición implica que la deformación ocurrida por cada sujetador varía linealmente con la distancia desde el centro instantáneo.

La deformación del sujetador y el resultado del corte de carga en el sujetador actúa perpendicular al radio de rotación los pasadores. Cuando se alcanza el supuesto esfuerzo último del grupo de sujetadores entonces el sujetador más lejano es alcanzado desde el centro instantáneo.

Para un sujetador conocido y una excentricidad de carga igual a "e", una prueba de localización del centro instantáneo puede ser seleccionada a una distancia "ro", desde el centroide del grupo de sujetadores (ver. fig. 2.6). El radio de rotación 'ri' del primer sujetador está dado por la ecuación 2.2. Con la carga última, la deformación cortante del sujetador crítico, establecido a una distancia 'rmax' desde el centro instantáneo, es asumida igual a " Δ_{max} ", la máxima deformación de los pasadores es obtenida desde un simple examen de corte de un tornillo. La deformación de otros sujetadores puede ser determinada por:

$$\Delta_i = (r_i/r_{max}) * \max \quad \text{ec. 2.9}$$

La carga de los sujetadores correspondiente a i es realmente obtenida de la ecuación 2.8. Equilibrando las fuerzas horizontales y verticales se tiene:

$$\sum F_x = 0; \sum R_i \cdot \text{Sen } Q_i = 0 \quad \text{ec. 2.10}$$

$$\sum F_y = 0; \sum R_i \cdot \text{Cos } Q_i = 0 \quad \text{ec. 2.11}$$

La sumatoria de los momentos respecto el centro instantáneo es una tercera ecuación:

$$P \cdot (e + r_o) - \sum r_i R_i \quad \text{ec. 2.12}$$

Las ecuaciones 2.10 y 2.11 pueden ser convenientemente escritas en terminos de las coordenadas X_i , Y_i de los sujetadores,

$$\sum (R_i \cdot Y_i) / r_i = 0 \quad \text{ec. 2.13}$$

$$\sum (R_i \cdot X_i) / R_i - P = 0 \quad \text{ec. 2.14}$$

La solución es obtenida cuando el valor estimado de "ro" satisface las ecuaciones 2.12, 2.13 y 2.14 simultáneamente.

CAPITULO III
APLICACIONES DE ANALISIS
Y EXPERIMENTACION

3.1 General. Cuando la línea de acción de la carga de corte coincide con el centro de gravedad de las áreas de los sujetadores, la práctica convencional es suponer una distribución uniforme de los esfuerzos cortantes. El diseño de tales conexiones se basa en los esfuerzos nominales, los cuales no deben exceder los esfuerzos permisibles.

El tamaño del sujetador depende usualmente de las limitaciones de espacio en la conexión, de la carga de diseño y de los esfuerzos permisibles.

Generalmente es más económico usar unos cuantos sujetadores de diámetro grande que una gran cantidad de sujetadores pequeños, los cuales requieren mayor trabajo de instalación; sin embargo, si la carga permisible es controlada por el aplastamiento, aumenta sólo en proporción directa al diámetro del remache, mientras que si está controlada por el cortante, aumenta según el cuadrado del diámetro. Es claro, pues, que para cualquier espesor dado de placa se obtiene una mayor ventaja al incrementar el tamaño del sujetador cuando la capacidad de éste es controlada por el cortante permisible, que cuando la controla el aplastamiento.

El espesor de la placa se deja a la elección del

diseñador, ya que el tamaño del sujetador está generalmente determinado de antemano; en tal caso, la práctica usual es determinar el espesor mínimo de placa necesario para desarrollar el valor total al aplastamiento del sujetador, de modo que se utilice completamente su resistencia al cortante.

Es práctica general, por economía y ahorro de espacio en la conexión, colocar los conectores tan cerca unos de otros como sea posible; esto reduce también la cantidad de material adicional en la conexión. Por otro lado, el espaciamiento no debe ser tan cercano como para reducir considerablemente la sección transversal de las partes principales, o para producir fallas por desgarramiento entre los sujetadores. Usualmente se establece en las especificaciones un espaciamiento mínimo, basado en los espacios necesarios para la operación de las herramientas requeridas para la instalación de los sujetadores. Puede también establecerse un espaciamiento máximo, para asegurar una acción adecuada de las placas y evitar el pandeo local en miembros a compresión.

Por economía de fabricación y para normalización de los materiales de conexión, la mayoría de los perfiles laminados tienen localizaciones estándar para los agujeros, las cuales se denominan líneas de gramil o gramiles. Estos gramiles se indican en el manual AISC; pueden usarse otras dimensiones, pero éstas requieren en

general modificaciones en las herramientas, por lo que resultan más costosas.

Espaciamiento de sujetadores. Para discutir el espaciamiento de los sujetadores deben aclararse varias definiciones; éstas son:

Gramil: Separación centro a centro de sujetadores, medidos a lo ancho del miembro o de la conexión.

Paso: Separación centro a centro de sujetadores, medida a lo largo del miembro o de la conexión.

Distancia entre remaches: Separación centro a centro de los sujetadores desfasados, medidas oblicuamente al eje del miembro.

Distancia al borde: Distancia entre el centro del agujero del sujetador y el borde adyacente de la placa.

Cuando se conectan placas anchas, es imposible hacer distinción entre su anchura y su longitud; en tales casos se da el nombre de paso al espaciamiento de sujetadores en el sentido longitudinal de la conexión, y el de gramil, a la separación de los miembros en el sentido perpendicular al anterior. (ver fig. 3-1).

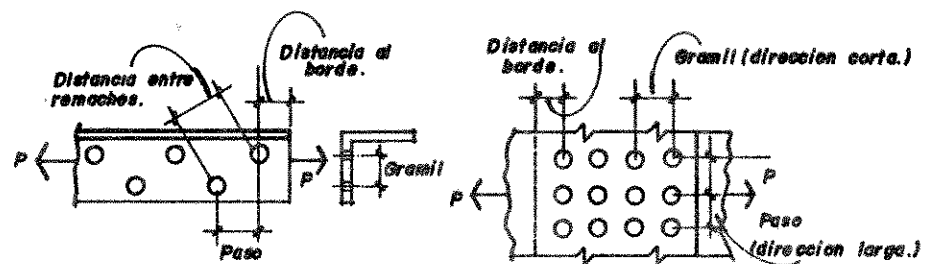


Fig.3-1 Espaciamiento de sujetadores. (a) perfiles laminados, (b) placas anchas.

CONDICIONES DE CARGA.	ACOE GRADO 1+		ACOE GRADO 2 F		TORNILLOS A 325		TORNILLOS A 490		TORNILLOS A 507		PASADORES.	
	EDIFICIOS	PUENTES	EDIFICIOS	PUENTES	EDIFICIOS	PUENTES	EDIFICIOS	PUENTES	EDIFICIOS	PUENTES	EDIFICIOS	PUENTES
TENSION, KG/cm ²	1408	—	1900	—	2810	—	3600	3378	988	988	—	—
CORTANTE, KG./cm. ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40 F _y
TIPO FRICCIÓN	—	—	—	—	1088	988	1408	1288	—	—	—	—
TIPO APLASTAMIENTO, CUERDAS EXCLUIDAS.	1088	988	1408	1408	1847	1408	2280	2040	708	778	—	—
TIPO APLASTAMIENTO, CUERDAS NO EXCLUIDAS.	—	—	—	—	1088	988	1880	1408	—	—	—	—
APLASTAMIENTO KG./cm. ²	1.38 F _y	2.810	1.38 F _y	2.810	1.38 F _y	1.22 F _y	1.38 F _y	1.22 F _y	1.38 F _y	1.408	0.8 F _y	0.80 F _y
FLEXION KG./cm. ²	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9 F _y
CORTE Y TENSION COMBINADOS * KG./cm. ²	1970	—	2670	—	3818	—	—	—	1408	—	—	—
	1408	—	1900	—	2810	—	—	—	988	—	—	—

Puentes (Especificaciones para Edificios AISC y las Especificaciones AASHTO para Puentes de caminos)

Tabla 3-1. Esfuerzos permisibles para sujetadores.

Separación de sujetadores. Deben observarse las siguientes limitaciones en la separación de los sujetadores: (a) el área de la sección neta no debe ser menor que la requerida; (b) las distancias al borde no deben ser menores que las requeridas; (c) deben observarse las limitaciones de espacio para construcción; (d) la separación y la distancia al borde no deben exceder los límites especificados, particularmente en placas a compresión.

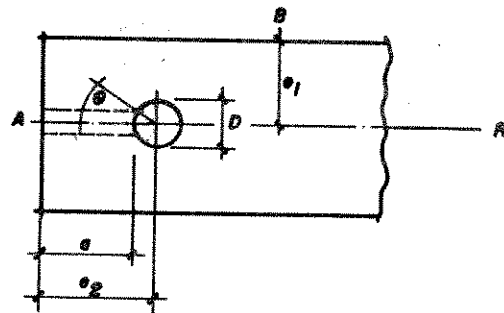


Fig. 3-2 Distancia al borde para evitar fallas por desgarramiento.

Deben considerarse dos tipos de distancia al borde: (a) perpendicular a la línea de esfuerzos, llamada a veces distancia al "borde descargado" "e1" y (b) paralela a la línea de esfuerzos o distancia al "borde cargado" "e2" fig. 3-2.

Es difícil definir de una manera racional la distancia mínima al borde "e1" requerida para evitar una

fluencia prematura en el borde "descargado" B (fig. 3-2) y, consecuentemente, una reducción en el ancho efectivo de la sección neta. Un criterio empírico empleado comúnmente señala que "e1" debe ser mayor o igual que kD, donde k varía con el grado de acabado del borde. El AISC especifica k= 1 3/4 pulgadas para bordes recortados con cizalla y k= 1 1/4 pulgadas para bordes laminados o cortados con soplete. La AASHTO especifica k= 1 3/4 y 1 1/2 pulgadas para bordes recortados con cizalla, y laminados o recortados con soplete, respectivamente.

Cuando se aplica una carga R a una placa, a través de un sujetador colocado a una distancia "e2" del borde, se inducen en ella esfuerzos cortantes y normales. Si la distancia "e2" no es adecuada, puede presentarse el flujo plástico a lo largo de líneas que forman un ángulo "Q" con la carga, mientras que en otros elementos de la conexión los esfuerzos están dentro de los límites elásticos. Esta fluencia puede causar distorsión excesiva del agujero y una falla prematura; la distancia mínima al borde (fig. 3-2) para evitar esta falla es tal que:

$$e2 \geq a + \frac{1}{2} D \cos Q \quad \text{ec. 3.1}$$

Despreciando los esfuerzos normales y usando para la placa un valor nominal del esfuerzo cortante igual a Fv, el valor mínimo de a es tal que:

$$a \geq R / (2Fvt) \quad \text{ec. 3.2}$$

donde t es el espesor de la placa. Los valores de "Q" y

F_v pueden ser tomados razonablemente como 40 grados y $0.95F_y$, respectivamente. Las Especificaciones AISC están basadas en $Q=90$ grados y F_v igual a la mitad del esfuerzo permisible para el material del vástago del remache; el AISC hace caso omiso de esta limitación para e_2 cuando existen más de dos remaches en la línea considerada. Sin embargo, la distancia e_2 en ningún caso debe ser menor que e_1 .

La distancia mínima al borde e_2 requerida para evitar el "desgarramiento" cuando el borde de la placa falla por tensión en el punto A (fig. 3-2), es más difícil de estimar de una manera racional. Usualmente se evitará este tipo de falla con una distancia al borde mayor que dos diámetros del agujero.

3.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

- a. Fijar las características de la conexión en forma preliminar, y determinar las cargas que obran sobre ella por medio del respectivo análisis.
- b. Establecer el tipo de sujetador a usar, y estimar su tamaño.
- c. Calcular la capacidad permisible del sujetador. La práctica usual es determinar el espesor de la placa requerido para desarrollar las capacidades totales al cortante y aplastamiento. Si el aplastamiento es crítico, puede aumentarse el tamaño del sujetador.
- d. Calcular la cantidad de sujetadores requerida para soportar la carga.
- e. Espaciar adecuadamente los sujetadores. Para economía y ahorro de espacio en la conexión, es recomendable colocar los sujetadores lo más cerca posible unos de otros; esto también reduce la cantidad de material adicional requerido para la conexión.
- f. Revisar la sección neta sobre la base del espesor determinado en (c). Si la sección neta no es adecuada, puede aumentarse el espesor de la placa o redistribuirse los sujetadores de modo que se aumente el ancho neto de la conexión.
- g. Revisar la distribución de sujetadores para asegurarse de que las separaciones no están por debajo de los valores mínimos necesarios para evitar fallas por desgarramiento y para suministrar los

espacios suficientes para las herramientas usadas durante la instalación. La separación no debe exceder los valores máximos, particularmente para evitar el pandeo local de las placas en miembros a compresión.

3.3 ANALISIS PARA CONEXIONES CON CARGA EXCENTRICA SUJETADORES A CORTANTE.

Las fuerzas sobre los sujetadores de una conexión con carga excéntrica se determinan usualmente por el método de superposición. La carga excéntrica (fig.3.3) se descompone en una directa P , que se hace pasar por el centroide O del grupo de sujetadores, más un momento puro P_e , donde e es la excéntrica de la carga P con respecto a O . Las cargas sobre cualquier sujetador, debidas a la carga directa P y al momento puro P_e , se calculan separadamente y luego se suman vectorialmente. El cálculo se simplifica usualmente descomponiendo la carga P en sus componentes x e y , y P_x y P_y .

Sea. R' = carga sobre el sujetador debida a la carga directa P

R'' = carga sobre el sujetador debida al momento P_e

R = carga resultante sobre el sujetador.

Las componentes x e y de las cargas en los sujetadores se indican por medio de los subindices correspondientes. Entonces, la carga en cualquier sujetador con coordenadas x , y , y una sección transversal del área A , puede calcularse como sigue:

$$\begin{aligned} R_x' &= (P_x / A) * A & R_y' &= (P_y / A) * A & \text{ec. 3.3} \\ R_x'' &= ((P_e) y A) / (A(x^2 + y^2)) & R_y'' &= ((P_e) x A) / (A(x^2 + y^2)) \end{aligned}$$

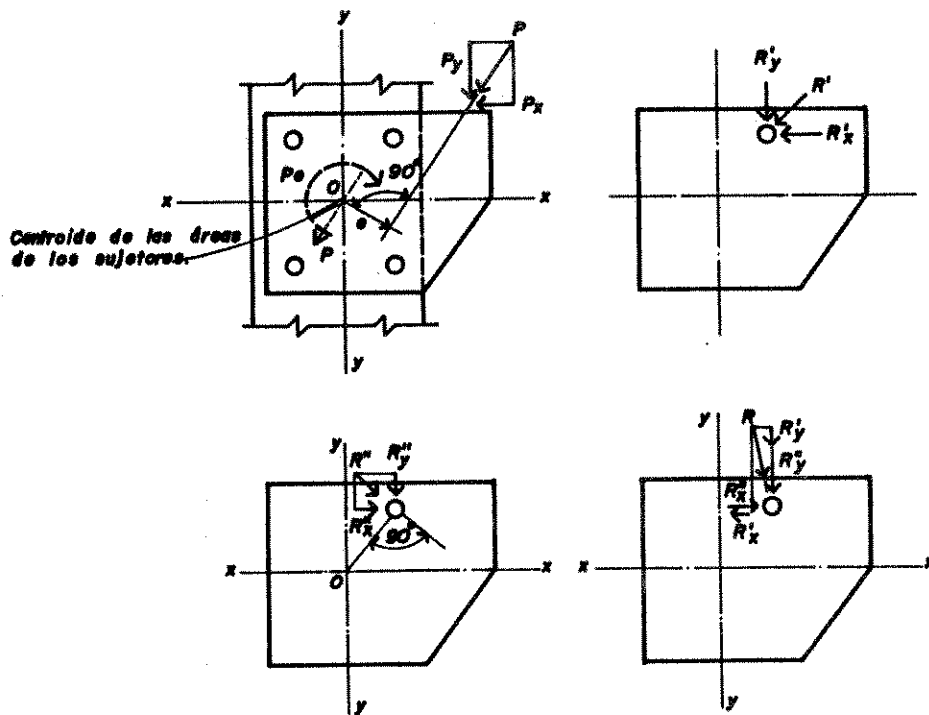


Fig. 3-3 Fuerzas cortantes en sujetadores, debidas a cargas excéntricas, (a) carga resultante en el grupo de sujetadores, (b) fuerza en el sujetador debida solamente a la carga directa P, (c) fuerza en el sujetador debida al momento P_e , y (d) fuerza resultante en el sujetador.

Sumando estas fuerzas vectorialmente, se obtiene:

$$R = ((R_x' + R_x'')^2 + (R_y' + R_y'')^2)^{1/2} \quad \text{ec. 3.4}$$

Centro instantáneo de rotación. La investigación de una junta cargada excéntricamente puede limitarse a lo siguiente: (1) localización del sujetador más cargado, llamado usualmente sujetador crítico; y (2) determinación de la magnitud de la carga soportada por ese sujetador crítico. En juntas sencillas el sujetador crítico puede localizarse por inspección; el siguiente método es a menudo ventajoso.

Una carga excéntrica en una conexión produce una rotación con respecto al centroide del grupo de sujetadores, junto con una translación de una placa con respecto a la otra. La rotación y translación de una placa rígida pueden reducirse a una rotación pura con respecto a un cierto punto, el cual es llamado el centro "instantáneo" (fig 3-4). El centro se denomina instantáneo porque varía no sólo con la colocación de los sujetadores, sino también con la localización y la dirección de la carga excéntrica. Una vez determinado este centro para una carga dada, puede determinarse el desplazamiento relativo entre las placas en cualquiera de los sujetadores, ya que la magnitud de este desplazamiento es proporcional a la distancia del sujetador al centro instantáneo, y su dirección es perpendicular al radio vector, cuyo origen está en dicho centro. El esfuerzo cortante unitario sobre los sujetadores es proporcional al desplazamiento y, por tanto, el sujetador más forzado se localiza a la mayor

distancia del centro instantáneo.

El centro instantáneo O_i puede localizarse haciendo uso de la condición de que un sujetador imaginario situado en él no soportaría ninguna carga. (Fig. 3.4).

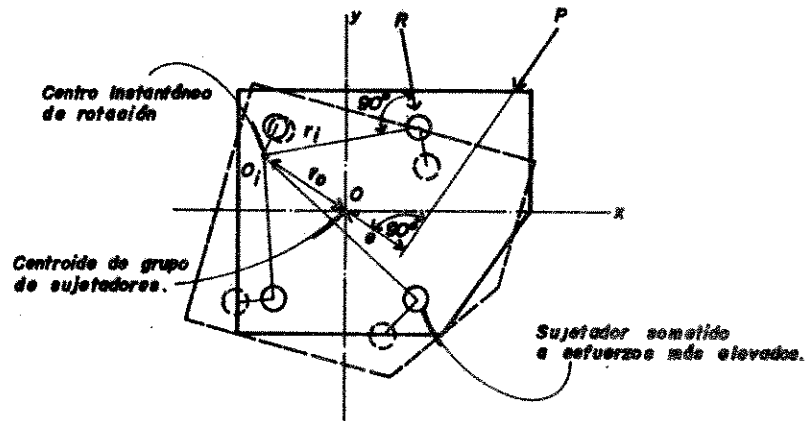


Fig. 3-4 Centro Instantáneo de Rotación

La carga en cualquier sujetador consiste en componentes causados por la fuerza directa y por el momento; puesto que la carga debida a la fuerza directa es constante en magnitud y dirección, es evidente que en el punto donde la carga R'' , debida al momento, contrarresta exactamente a la carga R' debida a la fuerza directa, tiene lugar una carga resultante igual a cero. Para que R'' sea paralela y opuesta a R' , el radio vector medido desde el centroide O del grupo de sujetadores hasta O_i , debe ser perpendicular a la carga P_y , O_i y P deben quedar en lados opuesto de O . Para que la carga R'' equilibre exactamente a R' , el centro debe

localizarse a una distancia r_o del centroide, de modo que:

$$R' = PA/\Sigma A = -R'' = -(P e_o A) / \Sigma A r_i^2 \quad \text{ec.3.5}$$

$$r_o = -\Sigma A r_i^2 / A$$

Si todos los sujetadores del grupo tienen la misma área, entonces $r_o = -\text{Sum } r_i^2 / n$, donde n es el número de sujetadores.

Una vez que se ha encontrado el centro instantáneo de rotación, la dirección de la carga resultante en cualquier sujetador se localiza perpendicularmente a su radio vector r_i , desde ese centro, y su magnitud está dada por

$$R = (P * (e + r_o) r_i A) / \Sigma A r_i^2 \quad \text{ec.3.6}$$

donde r_i se refiere al centro instantáneo, y r_o es la distancia del centroide O al centro instantáneo O_i .

Evidentemente el sujetador con el mayor valor de r_i tiene el mayor desplazamiento y por lo tanto el esfuerzo más grande. Sabiendo que el centro instantáneo O_i está del lado opuesto a la carga excéntrica P y sobre una perpendicular a P , que pasa por el centroide O , a menudo puede determinarse por simple inspección el sujetador en el que el esfuerzo es máximo.

3.4 DISEÑO DE CONEXIONES CON CARGA EXCÉNTRICA.

El diseño de conexiones con carga excéntrica se basa en los métodos de análisis descritos anteriormente. Por supuesto, es deseable diseñar la conexión de manera que se utilicen al máximo las capacidades de los sujetadores extremos y, por tanto, es a menudo necesario probar varios diseños para lograr el más económico. Al diseñar conexiones con carga excéntrica será útil tener en mente las siguientes relaciones:

- (a) Cuando la carga está cerca del centroide del grupo de sujetadores, predomina el efecto de la carga directa.
- (b) Cuando la carga está fuera del grupo de sujetadores, predomina el efecto del momento.
- (c) Cuando la carga está a la mitad de la distancia entre el centroide y el borde del grupo de sujetadores, los efectos de la carga directa y del momento son más o menos los mismos.

Para el caso general de una conexión cargada excéntricamente, la relación entre la carga por sujetadores y la carga aplicada puede obtenerse de la manera siguiente: Considerando m líneas de n sujetadores por línea, todos ellos con secciones transversales de área A , separados uniformemente a q y p centímetros, como se muestra en la fig. 3.5. Con el objeto de simplificar el cálculo de las cantidades $\sum Ax^2$ y $\sum Ay^2$, los

sujetadores pueden transformarse en rectángulos equivalentes que tengan las mismas propiedades. Para el cálculo de $\sum Ay^2$ cada sujetador se transforma en un rectángulo con un peralte p y un ancho (A/p) , coincidiendo el centro del rectángulo con el del sujetador. De este modo se transforma cada línea de sujetadores en un rectángulo continuo con dimensiones np y (A/p) . El conjunto completo de sujetadores en la junta se transforma así en m rectángulos de este tipo con las siguientes propiedades:

$$\sum A = mnp (A/p) = mnA \quad \text{ec. 3.8}$$

$$I_x = \sum (Ix' + Ay^2) = \frac{m(A/p)(np^3)}{12} = \frac{mp^2n^3A}{12} \quad \text{ec. 3.9}$$

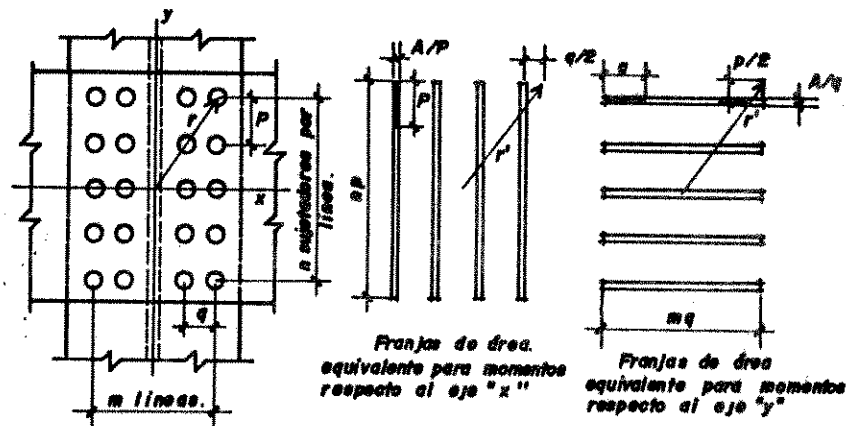


Fig. 3.5 Area equivalente de un grupo de sujetadores.

donde I_x' es el momento de inercia de cada rectángulo equivalente con respecto a su propio eje, esto es,

$$I_x' = \frac{(A/p)p^3}{12} \quad \text{y} \quad \sum I_x' = mnI_x' \quad \text{ec.3.10}$$

Entonces

$$\sum Ay^2 = I_x - \sum I_x' = \frac{mp^2n^3A}{12} - \frac{mnp^2A}{12} = \frac{mnp^2A}{12}(n^2 - 1) \quad \text{ec.3.11}$$

Cuando n^2 es mucho mayor que 1, $\sum Ay^2$ se define aproximadamente por:

$$\sum Ay^2 = \frac{mn^3p^2A}{12} \quad \text{ec.3.12}$$

Puede demostrarse de manera similar que aproximadamente:

$$\sum Ax^2 = \frac{mn^3q^2A}{12} \quad \text{ec.3.13}$$

Para un sujetador de esquina, que es el que más probabilidades tiene de ser el más esforzado:

$$x_i = \frac{1}{2}q(m-1) \quad \text{y} \quad y_i = \frac{1}{2}p(n-1) \quad \text{ec.3.14}$$

Cuando n y m son mucho mayores que 1, los valores de x_i y y_i son aproximadamente:

$$x_i = \frac{1}{2}mq \quad \text{y} \quad y_i = \frac{1}{2}np \quad \text{ec.3.15}$$

La carga del sujetador de esquina puede expresarse como sigue: $R = [(R_x' + R_x'')^2 + (R_y' + R_y'')^2]^{1/2}$

$$\begin{aligned} &= \left[\left(\frac{P_x \cdot A}{\sum A} + \frac{My_i A}{\sum A(x^2 + y^2)} \right)^2 + \left(\frac{P_y \cdot A}{\sum A} + \frac{Mx_i A}{\sum A(x^2 + y^2)} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \frac{P}{mn} \left[\left(\frac{P_x}{P} + \frac{6e}{[(mq/np)^2 + 1]np} \right)^2 + \left(\frac{P_y}{P} + \frac{6e}{[(np/mq)^2 + 1]mq} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \frac{P}{C} \quad \text{ec.3.16} \end{aligned}$$

donde $e=M/P$, y

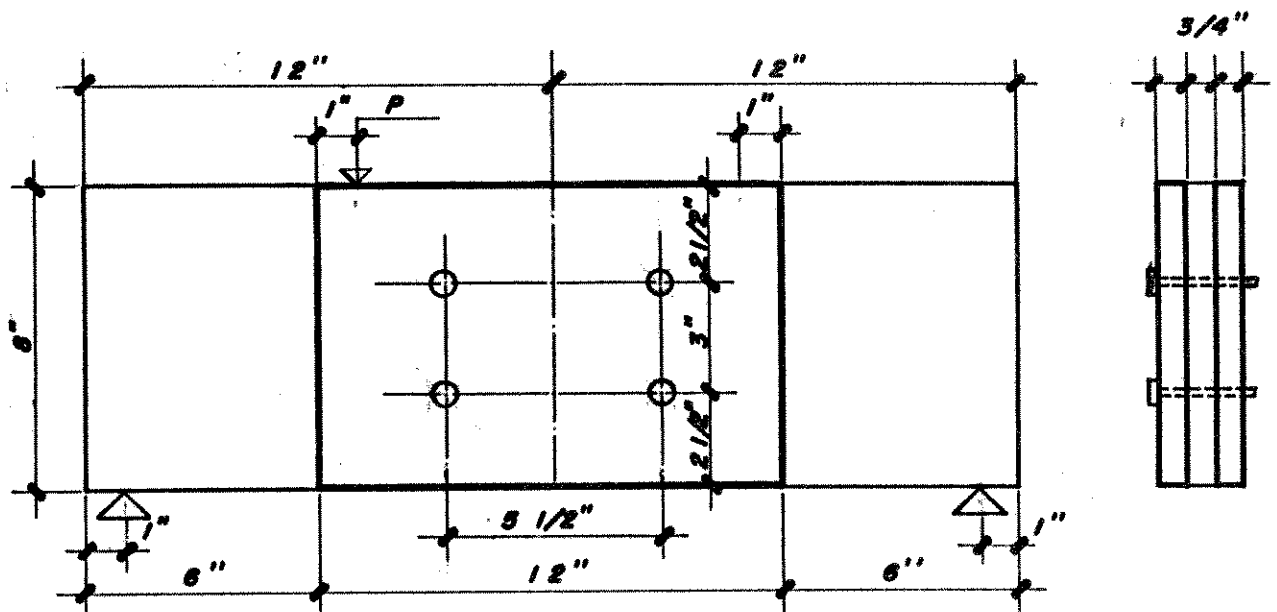
$$C = \frac{mn}{\left[\left(\frac{P_x}{P} + \frac{6e}{[(mq/np)^2 + 1]np} \right)^2 + \left(\frac{P_y}{P} + \frac{6e}{[(np/mq)^2 + 1]mq} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \text{ec.3.17}$$

Los valores de C pueden calcularse y tabularse para valores dados de p, q, m, n, e, (Px/P), y (Py/P). En el manual AISC, Págs. 4-52 a 4-55, se han recopilado tales tablas de pasos y gramiles. El procedimiento de diseño, cuando se cuenta con dichas tablas es el siguiente:

- (a) Se calcula el C requerido como P/R_a , donde R_a es el valor permisible para el sujetador seleccionado.
- (b) Se selecciona la conexión que tenga un valor de C igual o mayor que el valor requerido.

3.5 EJEMPLOS Y ANALISIS DE ALGUNOS MODELOS MATEMATICOS

3.5.1 EJEMPLO No. 1.



MODELO MATEMATICO Y EXPERIMENTAL No.1

Fig. 3-5

DATOS:

- 4 Pernos utilizando todos con un diametro de 1/2", ademas de roldanas en los dos extremos.
- Las sobrejuntas y la pieza central son de madera de pino.
- El espesor de las piezas es de 3/4".

ANALISIS TEORICO.

Para La disposici3n en cuanto a colocaci3n de los pernos se utilizaron las distancias de pasos y gramiles m1s comunes en el mercado, con distancias desde 3" hasta 6". Para el an1lisis te3rico se utilizar1 una fuerza 'P' de aplicaci3n igual a 4,000 lbs, obteniendose as1 reacciones instant1neas en esa carga.

CALCULO DE LA REACCION (Ra) SOBRE EL PERNO MAS CRITICO.

Como se describió anteriormente el perno más crítico es el que tiene el radio más cercano a la fuerza de aplicación. Para este caso es el de la esquina superior izquierda.

- Localización del centro instantáneo (Oi) a una distancia 'ro' del centroide.

Para sujetadores de igual área se tiene:

$$r_o = \frac{\text{Sumatoria}(x^2 + y^2)}{e \cdot n}$$

donde 'e' se refiere a la distancia desde el centro del conjunto de sujetadores hacia la fuerza de aplicación y 'n' es el número de sujetadores.

de ello:

$$r_o = \frac{2(1.5^2 + 1.5^2) + 2(2.75^2 + 2.75^2)}{5 \cdot 4}$$

$$r_o = 1.96''$$

$$R_a = \frac{P(e + r_o)}{\text{Sum}(r_i^2)}$$

$$R_a = \frac{4,000(5 + 1.96)((2.75 + 1.96)^2 + 1.5^2)}{2((4.71^2 + 1.5^2) + (0.79^2 + 1.5^2))}$$

$$R_a = 2,519 \text{ lbs.}$$

CALCULO DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES

* DISTANCIA AL BORDE DESCARGADO (e1)

$e1 > KD$ $K = 1.75$ (bordes recortados con cizalla según códigos AISC Y AASHO).

$D =$ Diámetro del sujetador.

$$e1 > (1.75)(0.5) = 0.875''.$$

* DISTANCIA AL BORDE CARGADO (e2)

$$e2 > a + 0.5(D)(\cos Q) ; \quad a > R/(2Fvt)$$

aplicando las especificaciones recomendadas

se utilizaron: $Q = 40$ grados y $Fv = 0.95fy = 0.95(4,200$

$$\text{Kg/cm}^2 = 59,612 \text{ Lb/plg}^2)$$

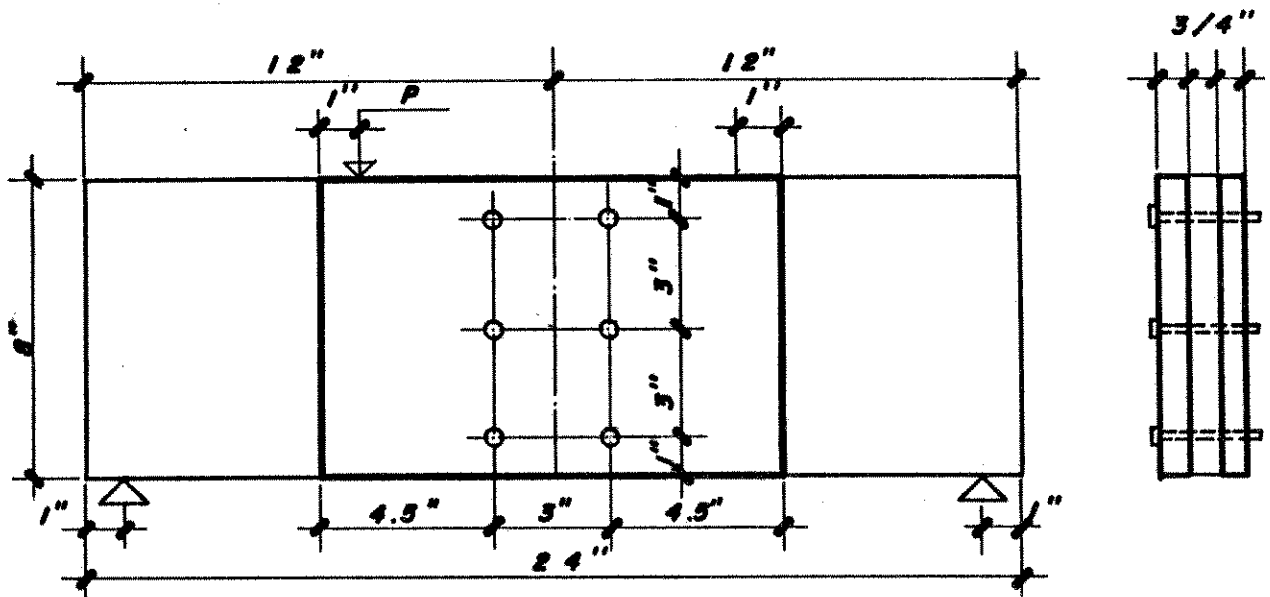
$$\text{entonces; } a > \frac{2519}{2(56632)(0.75'')}$$

$$a > 0.03''$$

$$e2 > 0.03 + 0.5(0.5) \cos 40$$

$$e2 > 0.22''$$

3.5.2 EJEMPLO No. 2.



MODELO MATEMATICO Y EXPERIMENTAL No.2

Fig. 3-6

DATOS:

- Se utilizaran 6 Pernos con un diámetro de $3/8$ " y roldanas en ambos extremos.
- Las sobrejuntas y la pieza central son de madera de pino.
- El espesor de las piezas es de $3/4$ "

ANALISIS TEORICO

Para la disposición en cuanto a la colocación de los pernos se utilizaron las distancias de paso y gramil más comunes en el mercado. Para el análisis teórico se utilizará una carga $P = 4,000$ lbs, con la cual se obtendrán las reacciones instantáneas en ese momento.

CALCULO DE LA REACCION (Ra) SOBRE EL PERNO MAS CRITICO

- Localización del centro instantáneo (Oi) a una distancia ro del centroide.

$$r_o = \frac{\text{Sumatoria } (x^2 + y^2)}{n}$$

$$r_o = \frac{6(1.5^2) + 4(3^2)}{5 * 6}$$

$$r_o = 1.65''$$

De ello se obtiene la carga resultante como:

$$R_a = \frac{P(e + r_o)(R_a)}{\text{Sum } r_i^2}$$

$$R_a = \frac{4,000 (5 + 1.65) ((1.65 + 1.5)^2 + 3^2)}{2(3.15^2) + (3.15^2 + 0^2) + (0.15^2 + 0^2) + 2(0.15^2 + 3^2)}$$

$$R_a = 1,757.57 \text{ Lbs}$$

CALCULO DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES

* DISTANCIA AL BORDE DESCARGADO (e1)

$$e1 > (1.75)(3/8) = 0.656''$$

* DISTANCIA AL BORDE CARGADO (e2)

e2 > a + 0.5(D)cosQ; aplicando los valores de Q=40 grados y Fv = 0.95fy = (0.95 * 59,612 Lb/plg²)
recomendados se obtiene:

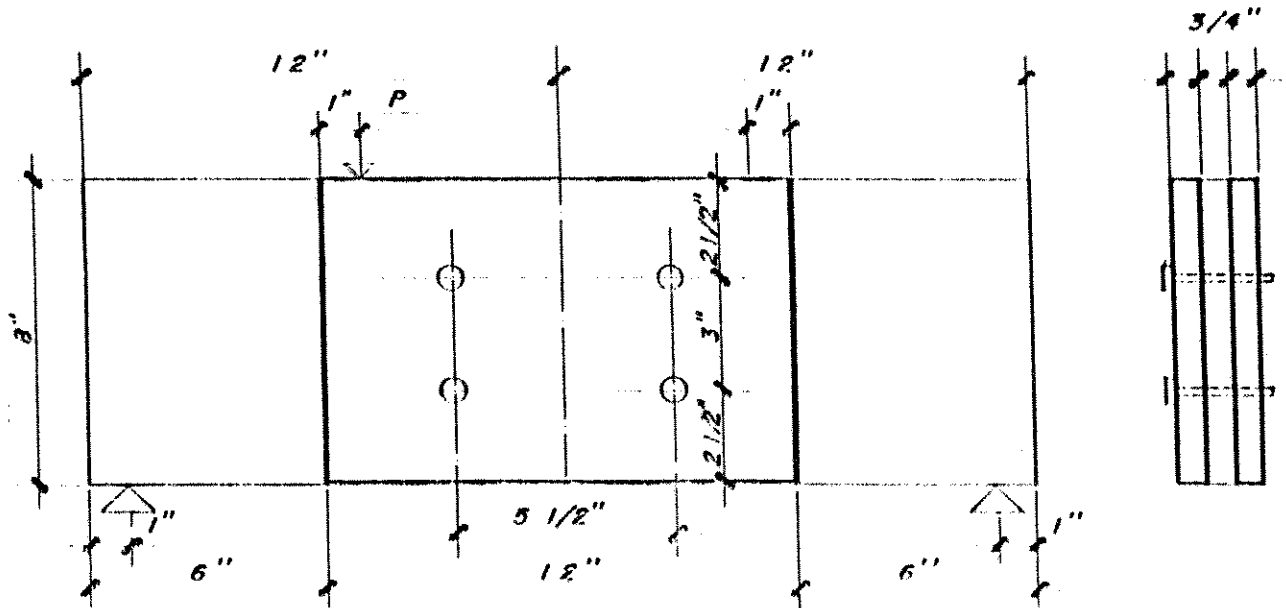
$$a > 1757 / (2 * 56632) (0.75'')$$

$$a > 0.02''$$

$$e2 > 0.02 + 0.5 (3/8) \cos 40$$

$$e2 > 0.16''$$

3.5.3 EJEMPLO No. 3.



MODELO MATEMATICO Y EXPERIMENTAL No. 3

Fig. 3-7

DATOS:

- Se utilizaran 4 pernos con un diámetro de $1/4$ " y roldanas en ambos extremos.
- Las sobrejuntas y la pieza central son de madera de pino.
- El espesor de las piezas es de $3/4$ ".

ANALISIS TEORICO

Para la disposición en cuanto a la colocación de los pernos se utilizaron las distancias de paso y gramil más comunes en el mercado. Para el análisis teórico se utilizará una carga $P = 4,000$ lbs, con la cual se obtendrán las reacciones instantáneas en ese momento.

CALCULO DE LA REACCION (Ra) SOBRE EL PERNO MAS CRITICO

- Debido a que la conformación del elemento de prueba es igual a la del ejemplo No. 1, lo único que cambia es el diámetro de los pernos, se obtiene entonces la misma reacción. $R_a = 2,519$ Lbs.

CALCULO DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES

- * DISTANCIA AL BORDE DESCARGADO (e_1)

$$e_1 > (1.75)(1/4) = 0.44''$$

- * Distancia al borde cargado (e_2)

$e_2 > a + 0.5(D)\cos Q$; $a > R/(2F_v t)$, aplicando los valores de $Q=40$ grados y $F_v = 0.951y = 0.95 (59612 \text{ lb/plg}^2)$ recomendados se obtiene:

$$a > 2,519 / (2 * 56632) (1/4'')$$

$$a > 0.09''$$

$$e_2 > 0.09 + (0.5)(1/4) \cos 40$$

$$e_2 > 0.19''$$

3.6 ENSAYOS EXPERIMENTALES PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Las características en cuanto a las dimensiones de los ejemplares, son las que se muestran al principio de cada ejemplo desarrollado anteriormente.

Luego de tomar una carga 'P' para desarrollar analíticamente el cálculo de las dimensiones mínimas para los bordes, fueron fabricados los tres modelos. La madera en los tres elementos contenía de 10 a 14% de humedad, y la única variación en cuanto a la fabricación fue la composición de los pernos que se conformaron de diferente manera y en diámetros distintos.

Los ejemplares fueron probados en una máquina hidráulica universal y colocados como se observa en el anexo al final. Se leyeron deformaciones exactamente debajo de la carga aplicada hasta que la conexión llegase a su punto de ruptura.

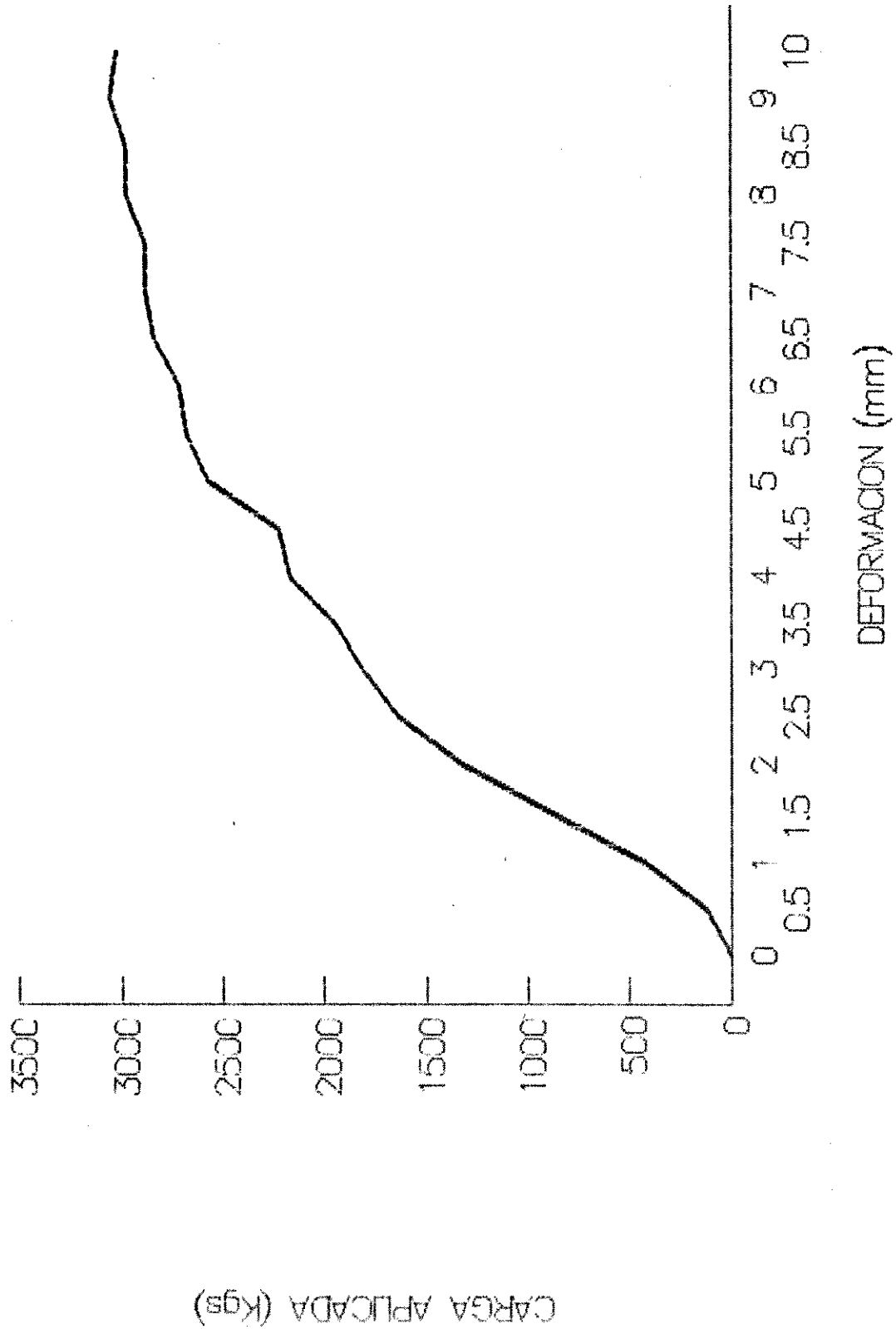
3.6.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES MODELOS 1, 2 Y 3

Carga Aplicada (kgs)			
DEFORMACION (mm)	MODELO No.1 (1/2")	MODELO No.2 (3/8")	MODELO No.3 (1/4")
0	0	0	0
0.5	120	50	----
1.0	430	180	80
1.5	880	290	----
2.0	1320	580	100
2.5	1640	750	----
3.0	1810	1060	100
3.5	1940	1260	160
4.0	2170	1370	200
4.5	2220	1490	220
5.0	2570	1580	250
5.5	2680	----	280
6.0	2710	----	310
6.5	2840	1840	360
7.0	2880	----	
7.5	----	1970	
8.0	2970		
8.5	----		
9.0	3050		
10.0	3020		

Tabla 3-2. Tabla Deformación vrs. Carga para los Ensayos Experimentales en modelos 1, 2 y 3.

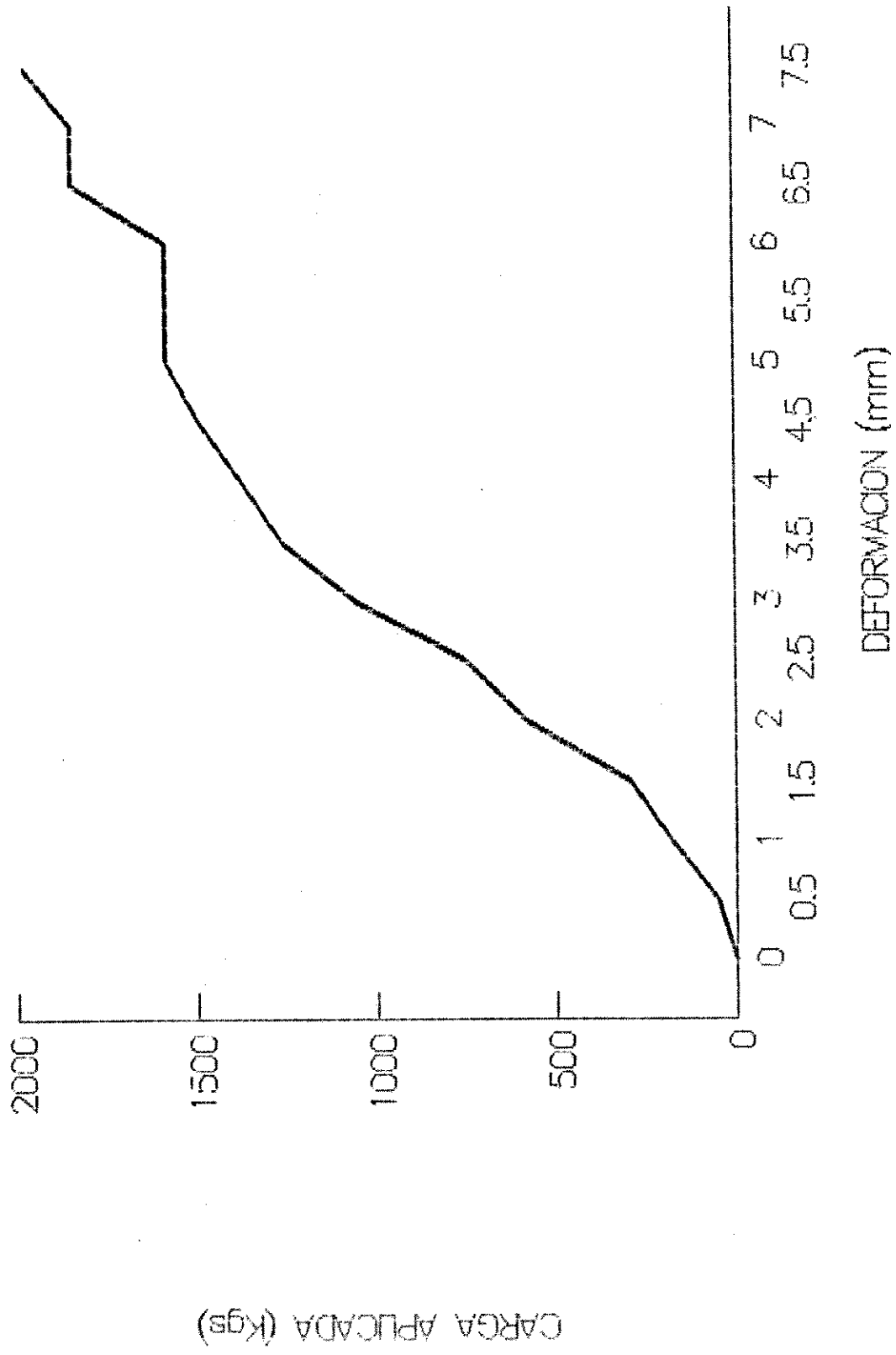
MODELO No.1

DIAMETRO 1/2"



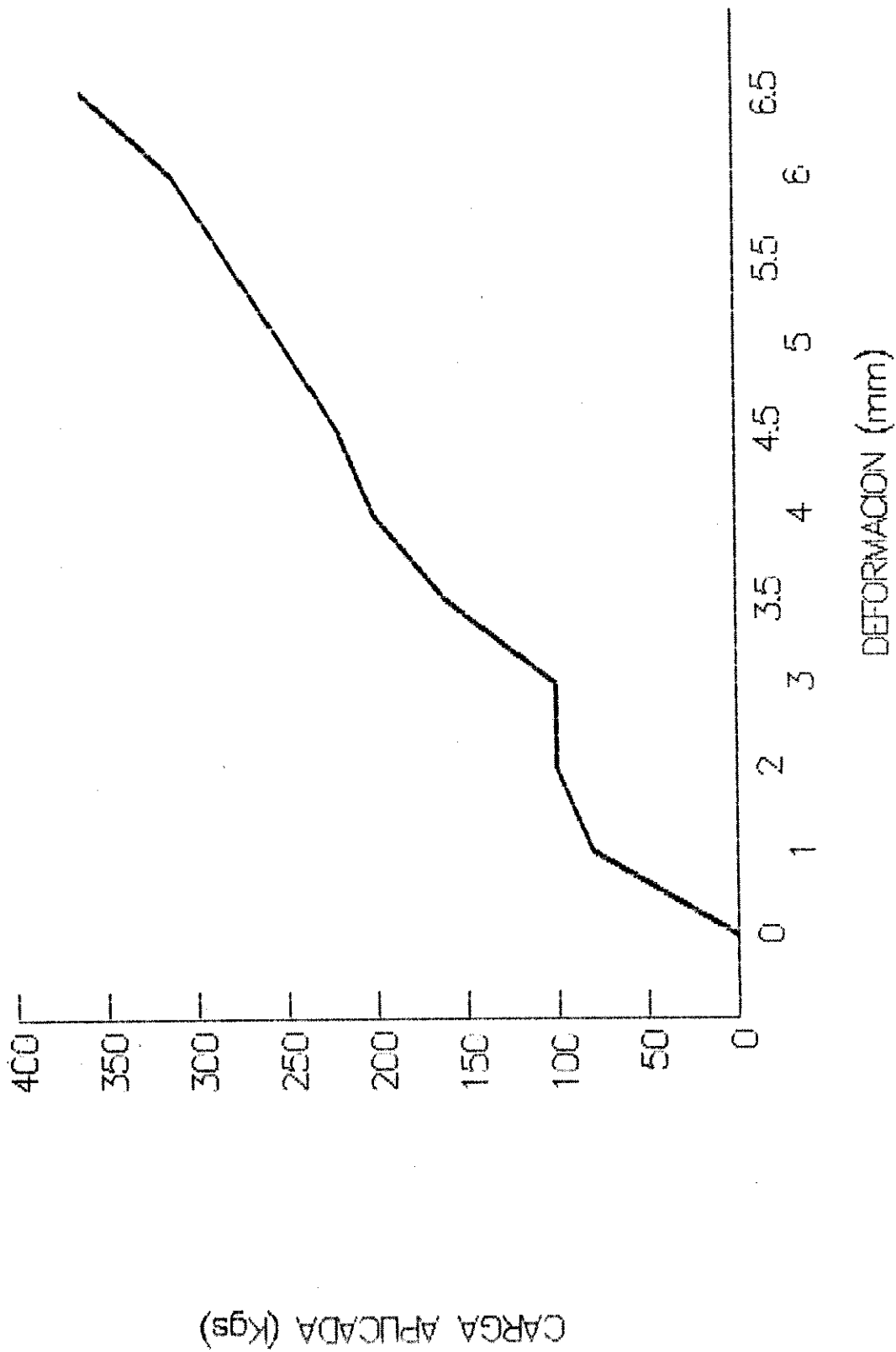
MODELO No.2

DIAMETRO 3/8"



MODELO No. 3

DIAMETRO 1/4"



3.7 COMPARACION DE LOS RESULTADOS ANALITICOS Y EXPERIMENTALES

La validez del análisis de la fuerza última ha sido chequeada prediciendo resultados por medio de análisis experimentales. Se ha encontrado que el análisis arroja resultados entre el 5% y el 14% más altos que las fallas observadas de las conexiones; porcentajes que se cumplieron en los ensayos efectuados.

Una de las razones de esta diferencia, es porque la deformación del sujetador crítico en la conexión no es verdaderamente el valor máximo observado en una prueba de corte simple para el tornillo; puesto que en las pruebas de este tipo las cargas y las deformaciones no cambian de dirección.

En la conexión de la carga excéntrica, la carga y la deformación de cada perno cambia continuamente de dirección, debido a que el centro instantáneo se mueve con el incremento aplicado a la carga.

El pronóstico del esfuerzo último en la referencia 2.2, donde está basada la deformación de carga, está determinado en relación a los tipos de compresión.

De cualquier modo la falla del sujetador ha sido observada principalmente en la región de tensión de las placas, donde se notó un desgarre entre estas y la viga principal.

Contribuye además a ese porcentaje de error mencionado, no incluir los efectos de la fricción sobre las capacidades de resistirse a la fuerza de las

ensambladuras de la madera. La desventaja de incluir las fuerzas de fricción en el diseño de la ensambladura es que éstas son extremadamente variables y poco confiables. El coeficiente de fricción en una ensambladura de madera depende mucho de los cambios en el contenido de humedad en las áreas donde ocurre encogimiento de la madera.

C O N C L U S I O N E S

1. Por regla general el tamaño del sujetador a utilizar depende usualmente de las limitaciones de espacio en la conexión, de la carga de diseño y de los esfuerzos permisibles.
2. En el caso de la madera se observó que algunos aspectos, tales como la humedad y la formación de nudos influyen en gran medida en el desgarre producido por los pernos que están cercanos al eje de rotación.
3. Es notorio en los ensayos que utilizando diámetros de tornillos muy pequeños como en el 3er elemento, se producen deflexiones grandes a cargas pequeñas; esto debido a la no proporción de éstos respecto del espesor de los elementos. Además de que en este tipo de diámetros se observó un desgarre mayor que en los otros elementos; esto debido a la fineza del área de contacto entre los tornillos y la madera, pues se produce un efecto de punzonamiento.
4. En el modelo No.1 compuesto con pernos de diámetro igual a $\frac{1}{4}$ " se observó una rotación muy pequeña, además de arrojar el resultado de mayor carga, el tipo de falla fué por alabeo lateral y un desgarre en la zona de tensión producido en uno de los

apoyos.

5. El modelo No.2, con tornillos de diámetro igual a "3/8", es en el que se presentan pocos daños visibles, pues lo único es una leve rotación entre las placas, ello debido a la conformación en cuanto a la disposición de los pernos, que fue fundamental en este caso, ya que una colocación vertical y con poca separación produjo una mejor inercia.

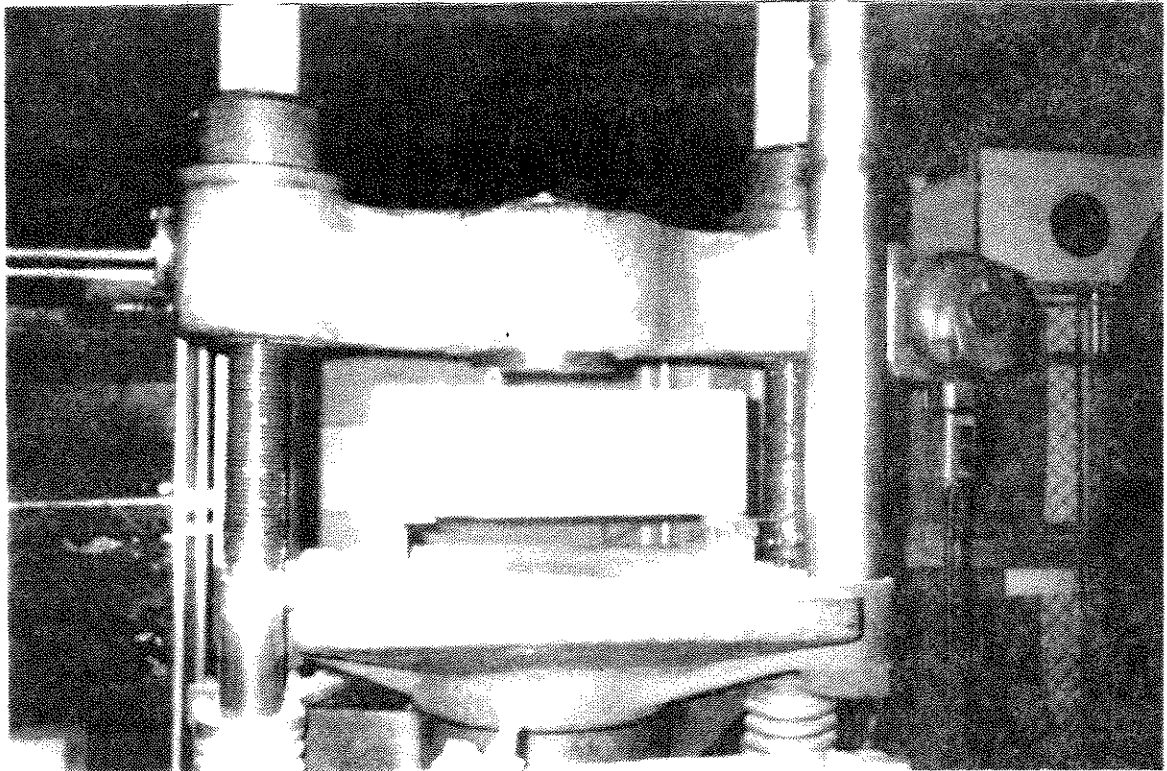
RECOMENDACIONES

1. En el diseño de conexiones se deben utilizar esfuerzos nominales, los cuales no deben exceder los esfuerzos permisibles.
2. Generalmente es más económico usar unos cuantos sujetadores de diámetro grande que una gran cantidad de sujetadores pequeños, los cuales requieren mayor trabajo de instalación.
3. Es práctica general, por economía y ahorro de espacio en la conexión, colocar los conectores tan cerca unos de otros como sea posible; esto reduce también la cantidad de material adicional en dicha conexión.
4. El espesor de la placa se deja a la elección del diseñador, ya que el tamaño del sujetador está generalmente determinado de antemano; en tal caso, la práctica usual es determinar el espesor mínimo de placa necesario para desarrollar el valor total al aplastamiento del sujetador, de modo que se utilice completamente su resistencia al cortante.

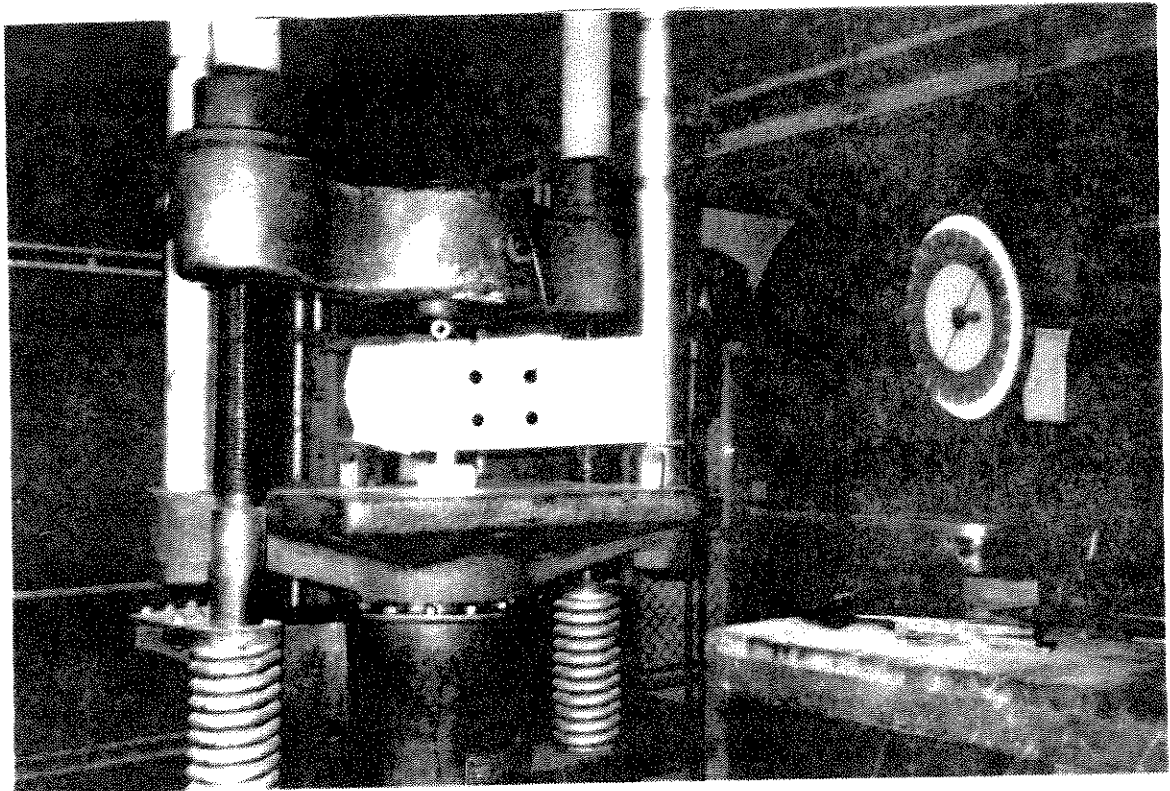
B I B L I O G R A F I A

- Bresler, Lin y Scalzi. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. Editorial Limusa. Primera edición Mexico. 1,990, 926 pag.
- John W. Fisher y John H. Struik. GUIDE TO DESIGN CRITERIA FOR BOLTED AND RIVET JOINTS. Estados Unidos De Norte America. Julio de 1,973. 311 pag.
- DICCIONARIO ENCICLOPEDICO UTEHA. Editorial Hispanoamericana. Mexico. 1979. 10 Tomos.
- R.H. Perkins, S.K. Suddarth y A.C. Dale. RESISTENCIA ROTACIONAL DE ENSAMBLADURAS CLAVADAS DE TRES MIEMBROS SUJETAS A MOMENTO ROTACIONAL. Estados Unidos De Norte America. 1,983. 20 pag.

ANEXO

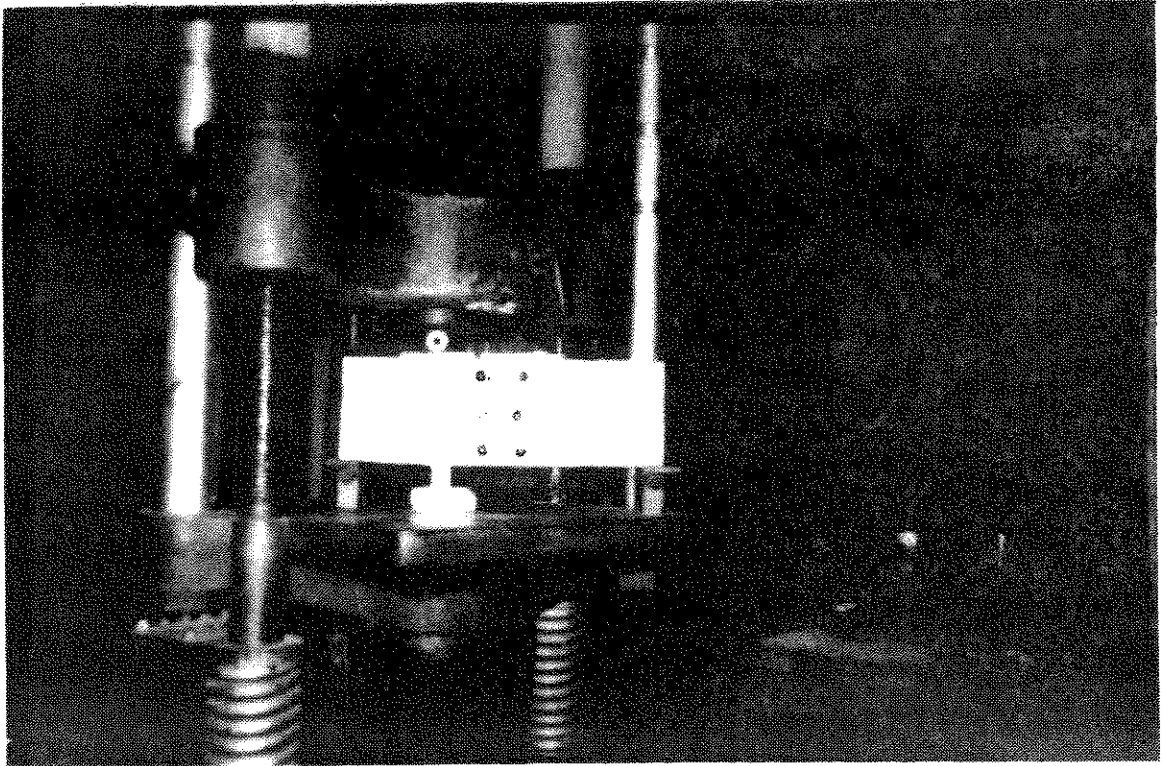


COLOCACION DEL MODELO No. 1

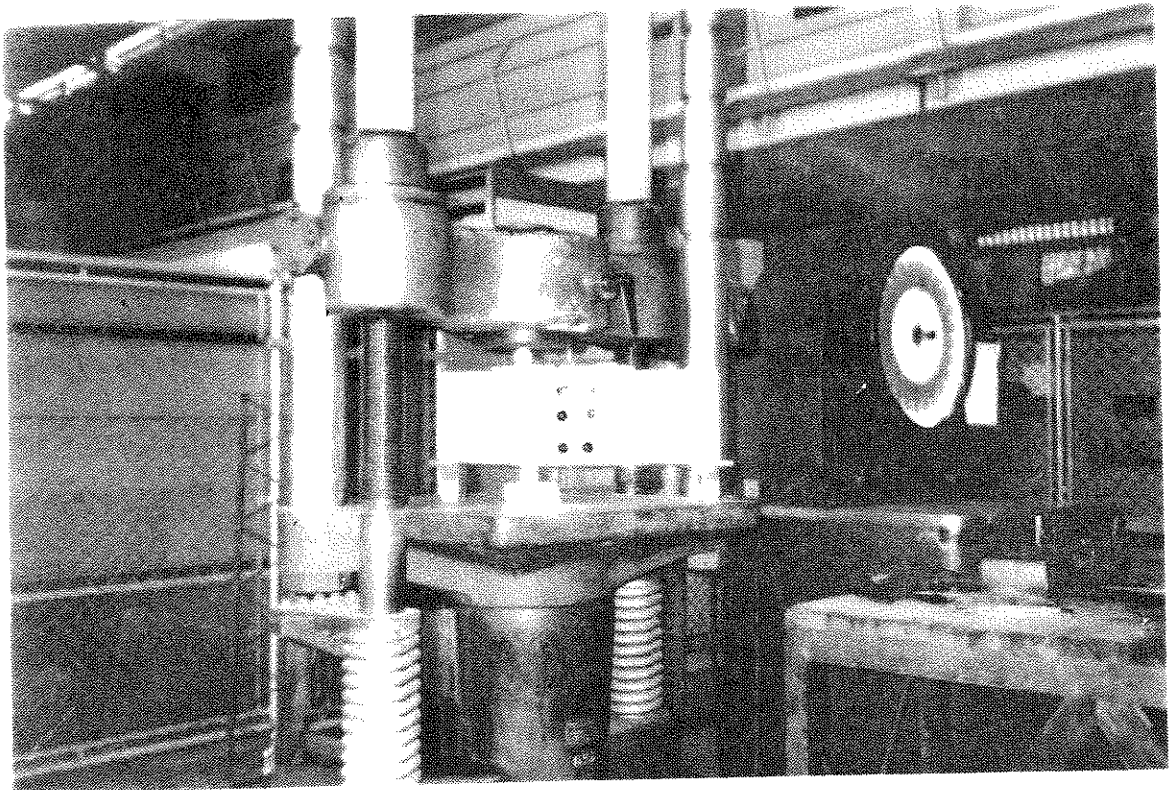


MOMENTO DE FALLA MODELO No. 1.

MODELO No. 2. (DIAMETRO DE LOS TORNILLOS = 1/2")

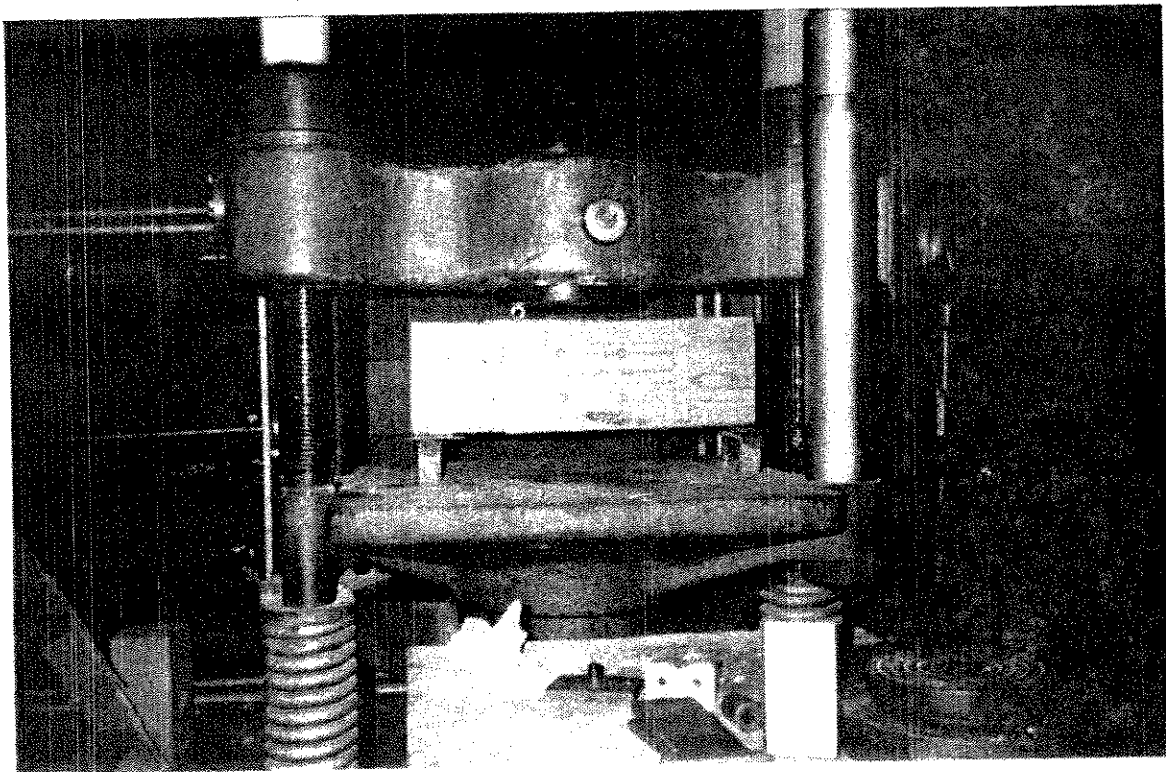


COLOCACION DEL MODELO No. 2

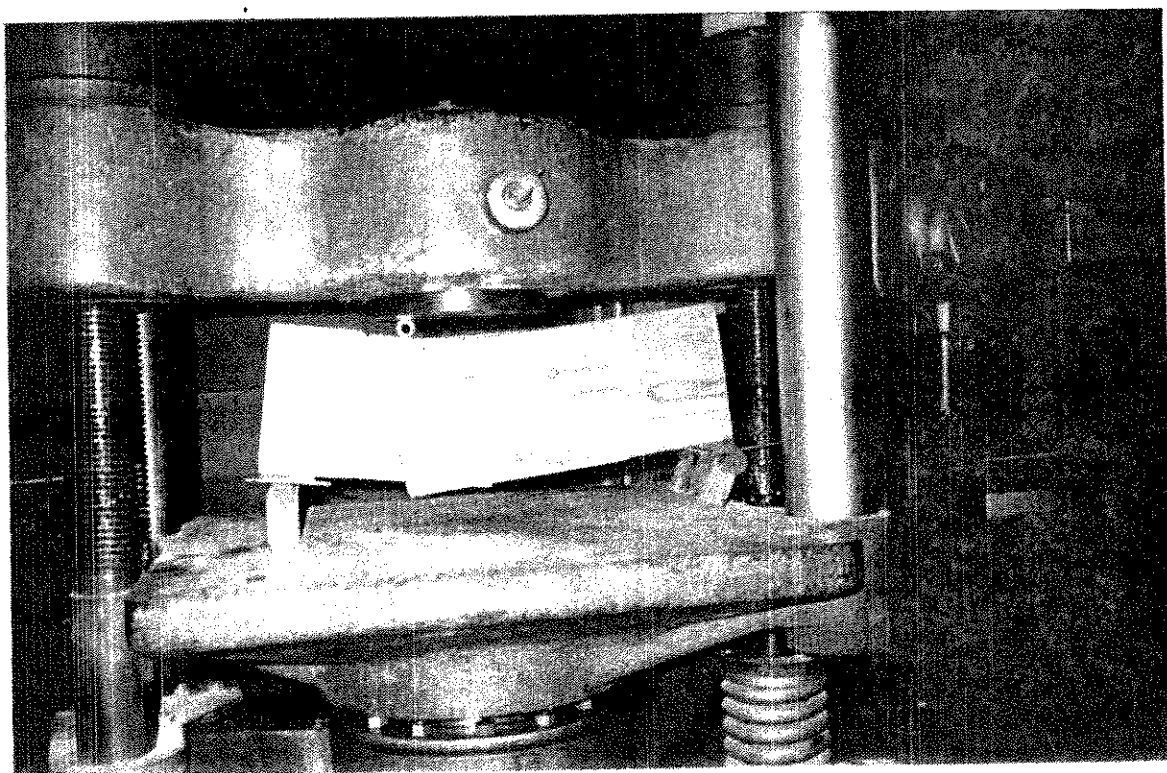


MOMENTO DE FALLA MODELO No. 2.

MODELO No. 2. (DIAMETRO DE LOS TORNILLOS = 3/8")



COLOCACION DEL MODELO No. 3



MOMENTO DE FALLA MODELO No. 3

MODELO No. 3. (DIAMETRO DE LOS TORNILLOS = 1/4")

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central