

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

UNIONES ESTRUCTURALES EN EL PINO

Julio Fernando Samayoa Bonilla

Trabajo de graduación presentado
para optar el grado académico de
Ingeniero Civil



Guatemala, 1994

DEDICATORIA

A Dios nuestro señor, por sus bendiciones.

A mi madre, que siempre me ha alentado a seguir adelante.

A mi padre, fuente inagotable de ejemplo y apoyo.

A mi hermano y hermanas por su colaboración y amor.

A mi novia Anaité, que siempre me motivó para que concluyera mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a las siguientes personas por su colaboración en la elaboración de este trabajo:

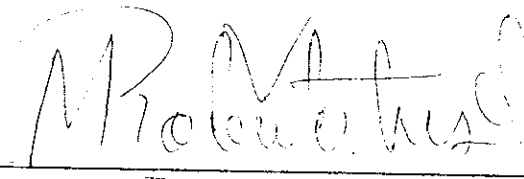
Ing. Milton Matus

Ing. Juan Carlos Gramajo

Ing. Franklin Matzdorf

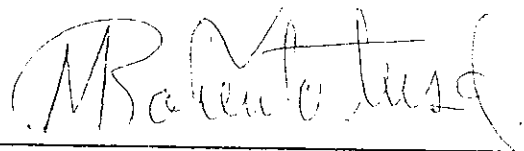
Mi hermano Alejandro Samayoa

Vo.Bo.

(f) 

Ing. Milton Matus

Vo.Bo TRIBUNAL EXAMINADOR

(f) 

Ing. Milton Matus

(f) 

Ing. Franklin Matzdorf

(f) 

Ing. Luis Pineda

INDICE

I. INTRODUCCION	1
II. CONSTRUCCION CON MADERA.....	4
A. La madera en construcción como estructura.....	4
B. Sistemas de Armadura.	6
Desventajas del sistema de armaduras.....	8
C. Entrepisos.....	9
D. Muros.	11
E. Marcos.	12
F. Elementos de unión.	13
III. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL PINO	15
A. Características físicas.....	15
B. Contenido de humedad.	15
C. Resistencia al corte.	16
D. Resistencia a la tensión y compresión.....	16
E. Comportamiento al fuego.....	17
IV. ELEMENTOS METALICOS UTILIZADOS EN UNIONES.	19
A. Clavos.	19
B. Pernos.	21
V. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UNIONES	
ESTRUCTURALES.....	26
A. Espaciamientos.	26
B. Humedad.	27
VI. ENSAYOS EN TIPOS DE UNIONES.....	29
GRAFICA PERNOS 1/4	33
GRAFICA PERNOS DE 1/2	35
GRAFICA PERNOS 3/4	37
VII. DISCUSION DE RESULTADOS.....	44
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
IX BIBLIOGRAFIA.....	47

I. INTRODUCCION

De los materiales de construcción, la madera es el principal recurso renovable. Siempre cabe la posibilidad de plantar más árboles con el fin de obtener de ellos la madera necesaria para construir.

Por su origen, la madera, como material de construcción, posee características inherentes que todo constructor debe conocer. Por ejemplo, aunque dos tablas sean aserradas simultáneamente de dos árboles de la misma especie, que crecieron juntos en el mismo bosque, la resistencia de una y otra es diferente. Así, la tarea de describir este material heterogéneo no es fácil en absoluto. Pero gracias a la útil información recabada en fechas recientes sobre las propiedades de la madera y su comportamiento en las estructuras, en la actualidad es posible describir este material con mejor precisión que antaño.

Por ejemplo, las investigaciones han demostrado que la madera clasificada como apta para soportar la compresión no se puede usar sin modificaciones en un sector sometido a tensión dentro de un elemento de gran peralte que resiste fuerzas de flexión o se utiliza para soportar dicha tensión.

Según indica la experiencia, las características de crecimiento habituales afectan en mayor grado, de modo que afecta los esfuerzos básicos tanto de tensión como

compresión. Además, los estudios han promovido un mejor aprovechamiento de la madera desde el punto de vista ingenieril. Es decir, ya no es necesario atenerse a la inspección visual, basada en promedios, a fin de estimar las cualidades estructurales de una pieza de madera.

En el pasado, el criterio que se seguía para constuir viviendas de madera no era el diseño estructural, sino el conocimiento empírico. De ahí que a menudo no se aprovechara plenamente la resistencia de ese material. En la actualidad gracias al mejor conocimiento que se tiene sobre la madera, a la disponibilidad de criterios bien cimentados de diseño estructural y al desarrollo de procesos de fabricación económicos, se está logrando un uso cada vez mayor y más eficiente de ésta en la construcción de viviendas.

También han contribuido a la optimización de esta aplicación de la madera las mejoras realizadas en los adhesivos y pegamentos. Un ejemplo muy notorio de este fenómeno es el proceso de terciado o contrachapado, que permite, gracias al uso de adhesivos, fabricar elementos de gran peralte a partir de tablas delgadas, los cuales, además, tienen mejores cualidades que la madera en estado natural. De este modo, no sólo se producen elementos estructurales más fuerte, sino que también se abre la posibilidad de colocar madera de óptima calidad en las zonas sujetas a mayor esfuerzo

dejar la de mala calidad en los puntos de menor esfuerzo, lo que reduce los costos generales. Debido a su mínima variabilidad, la resistencia en las tablas de madera terciada y pegada, es predecible.

II.CONSTRUCCION CON MADERA

A. La madera en construcción como estructura

En las uniones o conexiones de estructuras de madera se utilizan clavos, tornillos, pernos y conectores para madera, como placas de cortante y anillos hendidos. Dada la complejidad de la distribución de esfuerzos, tanto en la madera como en los elementos de unión metálicos, la información sobre el diseño de uniones se obtuvo empíricamente.

Las cargas o esfuerzos permisibles, así como los métodos de diseño para pernos, conectores y otros elementos de unión usados en elementos macizos aserrados, también son aplicables a elementos terciados.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que pueden presentarse problemas si una sección, peraltada en el apoyo de un arco, se sujeta por medio de pernos muy separados a una zapata anclada en el cimiento. La contracción y disminución del contenido de humedad de la madera producirá un considerable esfuerzo de tensión perpendicular a las vetas, lo que puede ocasionar agrietamientos o rajaduras.

Si el contenido de humedad en el ensamblaje es igual al que prevalecerá en condiciones de servicio, o si los agujeros para pernos en la zapata se taladran en forma

alargada, para que haya una holgura que permita el desplazamiento de los pernos, decrecerá el riesgo de agrietamiento.

Los elementos de unión expuestos a corrosión o al ataque de sustancias químicas se deben proteger pintándolos, galvanizándolos o enchapándolos con un material protector.

En atmósferas muy corrosivas, como la de las plantas químicas, los elementos de unión metálicos deben ser galvanizados o de acero inoxidable. Incluso se debe evaluar la conveniencia de proteger las uniones con brea o alquitrán calientes. En estas condiciones extremas, con el fin de reducir al mínimo la contracción, la humedad de la madera debe ser igual o menor que la humedad de equilibrio en el momento de la fabricación. La contracción puede abrir vías para el ataque de la atmósfera corrosiva.

Con frecuencia, las sales de hierro son muy ácidas y, en presencia de agua libre, ejercen una acción hidrolítica sobre la madera. Esto explica el reblandecimiento y cambio de coloración de la madera en torno a clavos que han sufrido los efectos de la corrosión. Este fenómeno es particularmente notorio en maderas ácidas, como el roble y en otras como la secoya, que contienen concentraciones importantes de taninos y otros compuestos similares. Sin embargo, sus efectos se pueden evitar al usar clavos con baño de zinc o hechos de cobre o aluminio.

B. Sistemas de Armadura.

Es el sistema de techado conformado por cerchas, armaduras o tijeras que cubren alrededor de diez metros de luz y están espaciadas entre 0.60 a 1.20 mts. Las cerchas o armaduras de cubierta, como también se las conoce, son elementos estructurales de mucha resistencia y muy económicos, tanto en mano de obra como en materiales.

Para la fabricación de las cerchas se emplean piezas esbeltas y de poca longitud, ya que éstas pueden empalmarse a todo lo largo de la cercha. Son fáciles de prefabricar y almacenar. Por su propio peso no tienen problemas de transporte y el montaje se realiza en forma manual. Por los esfuerzos a que están sometidos sus elementos, las armaduras no deben ser cortadas o taladradas en ningún lugar.

El espacio que queda en su interior forma una cámara de aire que protege a los ambientes de la radiación solar y puede ser usado para correr los cables de energía eléctrica, ductos de aire acondicionado, la chimenea y para colocar el tanque de agua.

Existen distintos tipos de cerchas, que se emplean de acuerdo a las necesidades particulares de la edificación. Puede tener una sola agua, dos aguas y cuerdas superiores casi paralelas sólo con una ligera pendiente.

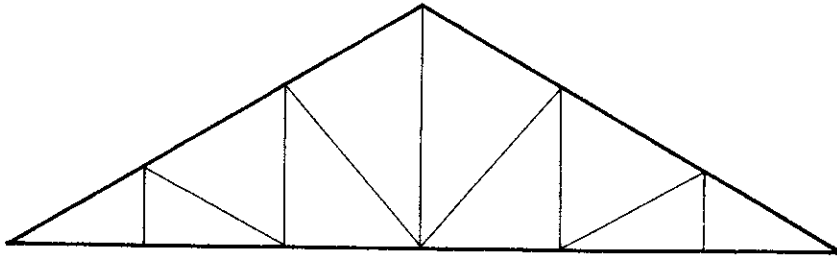


FIGURA 1-A
2 AGUAS

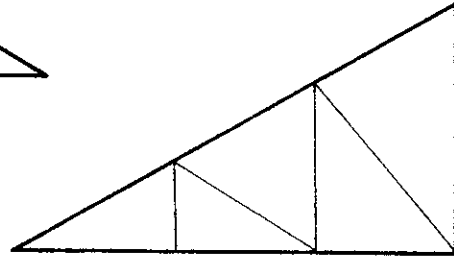


FIGURA 1-B
1 AGUA

Ventajas del Sistema de Armaduras.

Existen muchas ventajas que pueden ser aprovechadas haciendo uso del sistema de armaduras:

1- Por la característica del sistema, el peso muerto es bajo ya que resiste eficientemente.

2- Cada uno de los elementos de la armadura puede ser diseñado y ubicado de tal manera que su capacidad final sea mucho mayor que la de una viga sólida de madera.

3- Las armaduras son muy fáciles de fabricar y pueden ser producidas masiva y eficientemente.

4- Especialmente para armaduras ligeras no son necesarios procedimientos de erección complejos, que pueden ser realizados por mano de obra no especializada.

5- La capacidad de cubrir grandes luces generalmente elimina la necesidad de disponer interiormente de paredes portantes, ofreciendo de este modo una gran flexibilidad de diseño en la planta arquitectónica.

6- Dependiendo de la luz, la pendiente y el espaciamiento, el sistema de armaduras puede significar un ahorro sustancioso de material y, sobre todo, el techo puede ser erigido en una fracción del tiempo que suelen tomar a otros sistemas tradicionales en madera. De este modo la construcción se encuentra inmediatamente protegida del clima, por lo tanto, la velocidad de construcción es mayor y el costo final menor.

7-El sistema de armaduras ofrece gran variedad de pendientes de techo y formas de cielo raso, dándole al diseñador muchas alternativas para obtener efectos visuales agradables, tanto interior como exteriormente.

En el caso que la armadura sea de cuerdas paralelas, es decir, para un techo plano, el sistema favorece el acondicionamiento y sobre todo ventilación.

8- Considerando que las armaduras son diseñadas para cada ocasión que van a ser usadas, es posible proponer condiciones de carga y formas estructurales especiales sin que ésto represente mayores problemas.

Desventajas del sistema de armaduras.

1- En caso de no ser tratada la madera, esta puede ser atacada por la polilla, la humedad u otros factores climáticos.

2- En comparación con el acero, se necesitarán mayores peraltes en vigas de madera que en vigas de acero para determinada carga.

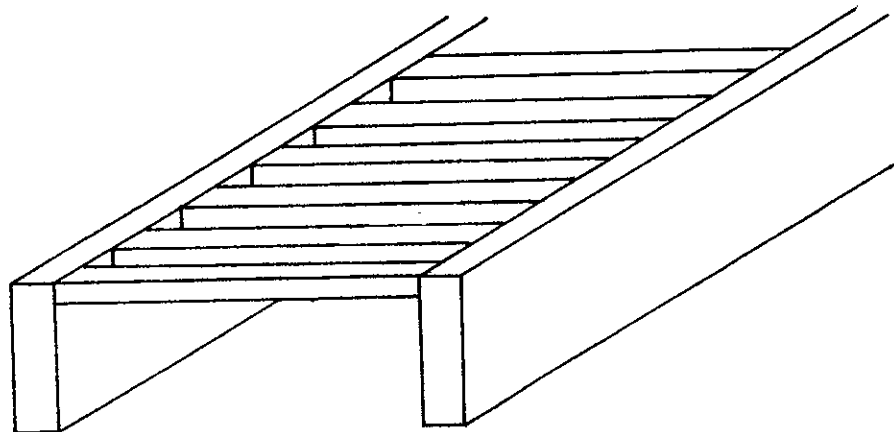
3- La madera debe ser seleccionada ya que no debe contar nudos en áreas críticas.

C. Entrepisos.

Los sistemas de entrepisos de madera pueden clasificarse en dos grandes grupos: los formados por viguetas a separaciones pequeñas sobre las que se apoya una cubierta de 9 duelas o de triplay, y los formados por vigas robustas a separaciones relativamente grandes, que soportan tablones.

El primero de los sistemas mencionados es el más utilizado frecuentemente en la construcción de viviendas.

Las viguetas tienen un ancho nominal de 2 pulgadas, 8 pulgadas, o de 10 pulgadas dependiendo de la carga que deba soportar el piso. Las separaciones usuales son 12 pulgadas, 16 pulgadas, 24 pulgadas y menos frecuentemente, 48 pulgadas. Se acostumbra proporcionar apoyo lateral a las viguetas por medio de detalles como los de la siguiente figura.



Según algunos estudios experimentales, la utilidad de estos elementos es dudosa respecto de su durabilidad.

Para la cubierta, generalmente se usa duela, que en algunos casos tienen machihembrado, colocándola ya sea en forma diagonal sobre la vigueta o perpendicularmente, siendo el primer caso el más utilizado. Cuando la duela estructural es perpendicular a las viguetas, si se utiliza duela superpuesta para el acabado del piso, ésta debe quedar perpendicular a la duela estructural. La colocación en diagonal de la duela estructural tiene la ventaja de colocar las duelas de acabado, tanto perpendicular como paralelamente a las viguetas.

Los espesores de las cubiertas de triplay varían de 3/4 pulgada a 1 pulgada.

La forma en que los sistemas de piso soportan las cargas de viguetas y cubierta depende de la rigidez relativa de ambos elementos. Se supone, por ejemplo, que las viguetas contiguas a la vigueta sobre la que actúa una carga concentrada contribuirán en algún grado a resistir dicha carga gracias a la presencia del triplay o duela.

Por regla general, la capacidad de carga de un piso como los descritos se determina con base en las propiedades de las viguetas y de la cubierta. Sin duda influyen también en el comportamiento de estos pisos las características de los materiales empleados en sus acabados, que varían desde duelas hasta algún tipo de alfombrado.

El segundo sistema mencionado, el de vigas y tablones, es de uso menos común que el de viguetas con separaciones pequeñas. Suele asociarse con la construcción de poste y dintel, en él una viga es apoyada sobre un poste y sujeta por medio de piezas metálicas.

D. Muros.

En el diseño de los sistemas de muros deben hacerse consideraciones estructurales, así como considerarse los aspectos de durabilidad y estética.

Desde un punto de vista estructural pueden distinguirse los muros que deben soportar tanto cargas verticales como fuerzas horizontales, tales como los propios de los sistemas, de armazón tipo plataforma o tipo "ballon frame" (armazón globo) y los muros cuya función estructural se limita a proporcionar rigidez ante las fuerzas horizontales, como sucede con los muros de los sistemas de poste y dintel.

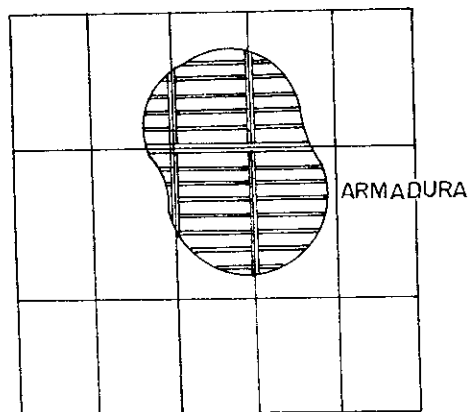


FIGURA 3

MURO

E. Marcos.

El sistema de marcos o de poste y dintel es uno de los sistemas más antiguos utilizados para construir estructuras de madera. Se caracteriza por el empleo de miembros robustos colocados con separaciones relativamente grandes, con los que forman estructuras reticulares espaciales.

La construcción de poste y dintel brinda gran libertad a la planeación arquitectónica. Recientemente se obtienen beneficios de las cualidades estéticas de la madera, en la que se dejan aparentes las vigas y los postes. En tal caso el tratamiento apropiado de las uniones puede resaltar el atractivo del proyecto. Si se emplean vigas de madera laminada encolada es posible lograr espacios libres de grandes proporciones. Debe advertirse que el sistema de marcos no es económico debido al alto costo de las piezas robustas de madera maciza o de madera laminada que se requieren.

Dadas las dimensiones de las uniones suelen realizarse con pernos, conectores, frecuentemente combinados con detalles a base de placas de acero.

Un aspecto importante del diseño de estructuras de marcos es la forma de obtener suficiente resistencia y rigidez frente a las fuerzas horizontales. Dadas las incertidumbres en el grado de continuidad que puede lograrse en las uniones entre las

vigas y las columnas y entre éstas y la cimentación, es recomendable buscar la estabilidad adecuada con muros convenientemente localizados y diseñados para que resistan las fuerzas horizontales sin deformaciones excesivas. La rigidez necesaria se puede obtener por medio de rellenos de mampostería, barras en diagonal que formen triangulaciones, diafragmas de madera contrachapada u otros elementos equivalentes, adecuadamente unidos al esqueleto de postes y vigas. Los techos o pisos deben diseñarse como diafragmas con capacidad para transmitir las fuerzas horizontales a los elementos rigidizantes verticales.

El techo de vigas y tablonos, diseñado para actuar como diafragma, transmite las fuerzas horizontales a los muros de cortante de mampostería. Conservadoramente puede despreciarse la contribución de los postes a la resistencia a estas fuerzas horizontales.

F. Elementos de unión.

El dimensionamiento de las uniones es uno de los aspectos más fáciles del diseño de estructuras de madera. Como en las estructuras de otros materiales, es importante reconocer el comportamiento del conjunto estructural, ya que éste no será adecuado si las uniones no tienen la resistencia necesaria para que los elementos estructurales que unen, puedan desarrollar la capacidad requerida de ellos. El comportamiento de las uniones o conexiones de madera depende, no sólo de las características de la madera

sino también de la orientación de la carga respecto del elemento de unión y de éste respecto de las fibras de madera. Es tan complejo, que es difícil establecer métodos de análisis racionales. Por lo tanto, el dimensionamiento suele basarse, esencialmente en cuadros de capacidades y fórmulas que han sido establecidas sin las normas científicas. Los elementos de unión más comúnmente utilizados son los clavos y las grapas, así como los pernos, los tornillos, las placas de metal o triplay y los pegamentos o colas de diversos tipos. Además existen conectores, generalmente patentados, tales como los de anillo abierto, los de placa de cortante y los de rejillas, así como accesorios de unión diversos.

III. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PINO

A. Características físicas.

El pino es un árbol de la familia de las coníferas, tienen flores masculinas y femeninas que están colocadas en distintas ramas, su fruto es el cono o piña y su semilla es el piñón.

La identificación se hace tomando como base: coloración y grosor de las acículas, densidad y forma del follaje, la longitud, el color y disposición de las vetas en la madera y la acumulación de resina en las mismas.

El pino utilizado en este trabajo es de una coloración blanco amarillenta con un alto contenido de resina.

B. Contenido de humedad.

La humedad en la madera se presenta como agua libre localizada en las cavidades celulares o como agua capilar.

10

Cuando el porcentaje de humedad oscila entre el 25% y el 30% se presenta el fenómeno llamado "punto de saturación de la fibra", esto significa, que el agua libre se ha evaporado y el agua capilar se ha empezado a evaporar. El contenido de humedad en la madera se expresa como porcentaje de su peso secado al horno.

El contenido de humedad afecta mucho las propiedades físicas de la madera, como se verá más adelante. También aumenta la tendencia a ser atacada por hongos.

El contenido de humedad en el pino de Guatemala, específicamente al proveniente del departamento de El Petén, que fue el utilizado en este trabajo, fue analizado en el trabajo de tesis del Ing. Luis S. Pineda del Cid. En dicho trabajo se obtuvo un peso específico aparente (seco al horno) de 0.525gr /cm

C. Resistencia al corte.

La resistencia al corte es la capacidad de la madera a resistir desplazarse una parte de otra. El valor del esfuerzo de resistencia al corte en el pino es de 83.05 kg/cm².(1)

D. Resistencia a la tensión y compresión.

Estas resistencias dependen de la dirección de la carga respecto de la fibra de la

madera, con que se calculan paralela y perpendicularmente a la fibra. Estas resistencias siempre serán mayores cuando la carga es perpendicular a la fibra, especialmente cuando se trata de tensión y la diferencia será mas considerable.

E. Comportamiento al fuego.

Es ampliamente conocida la facilidad de la madera para arder. Sin embargo, con base en observaciones efectuadas en estructuras de madera que han sido afectadas por el fuego, se ha podido observar que la madera no pierde su resistencia a elevadas temperaturas como sucede con el del acero, que a temperaturas de 1700 grados Fahrenheit tiene sólo la mitad de su resistencia a la tensión.

Estas temperaturas son fáciles de alcanzar en lugares donde hay elementos volátiles, así como se pudo observar que las bodegas hechas de madera, donde la llama no había alcanzado a la estructura, mantenían su resistencia estructural. Esta ventaja en la madera ha sido aumentada con el uso y mejoramiento de los tratamientos que existen para la madera.

Estos tratamientos son aplicados por medio de dos métodos:

Método de impregnación: La madera es colocada en cilindros de acero y dentro de ellos se aspira para luego inyectarle la solución química con una presión entre 125 y 175 libras por centímetro cuadrado. Entre los químicos que se utilizan, los más importantes son: sulfato de amonio, fosfato de amonio y cloruro de zinc.

Método de revestimiento: Este método no es tan efectivo como el de impregnación. Este consiste en aplicarle a la madera pinturas que sean retardantes de fuego. Estas requieren una renovación periódica y no soportan fuegos muy grandes.

IV. ELEMENTOS METALICOS UTILIZADOS EN UNIONES.

A. Clavos.

Los factores básicos que determinan la fuerza para mantener uniones con un clavo son la gravedad específica de la madera, el diámetro del clavo, la profundidad de penetración y el contenido de humedad de la madera.

Con base en estos factores, se puede obtener la resistencia de un clavo en una unión. Al ser utilizado más de un clavo, la resistencia total será igual a la suma de las resistencias de cada clavo.

Las cargas a las que se somete un clavo son:

Carga lateral

Esta provocará un esfuerzo de corte en el clavo y podría tomarse como la fórmula $P=KD^{3/2}$, en la cual P es la carga máxima en libras por clavo, K es una constante que depende de la gravedad específica de la madera y D es el diámetro del clavo. Cuando en una ocasión se use dos tipos diferentes de madera, será utilizado el valor de la gravedad específica menor. "El valor P se aplica donde la profundidad de penetración en el bloque que recibe la punta no es menor de $2/3$ del largo del clavo en

maderas suaves y $1/2$ de la longitud del clavo en maderas duras."(1).

Cuando no se cumplen los mínimos antes mencionados, la carga permisible deberá ser determinada por interpolación directa entre carga y penetración estándar, siempre teniendo en cuenta que la penetración mínima en el miembro principal deberá ser $1/2$ de la longitud del clavo en maderas suaves y $2/5$ en maderas duras.

Se ha estimado que la carga lateral óptima para maderas suaves es de aproximadamente 3 veces la obtenida en la fórmula $P=KD^{3/2}$ y casi 7 veces en maderas duras, lo que nos dice que estas fórmulas nos dan valores bastante conservadores. También se ha estimado que el deslice a carga máxima de la junta es de más de 20 veces 0.015 plg.

Cuando existan miembros inclinados entre sí, el clavo debe quedar perpendicular a la fibra en el miembro que recibe la punta y debe dimensionarse para que resista lateralmente la componente horizontal de la carga.

En los casos que el clavo deba ir inclinado será necesario inclinarlo un ángulo de 30 grados, en este caso el clavo tendrá como función principal la transmisión de fuerzas cortantes entre las piezas cortantes de las piezas de madera.

Generalmente se suele recomendar tomar como carga lateral permisible para este tipo de unión, 83% de la carga lateral permisible y 67% de la carga de extracción

permisible.

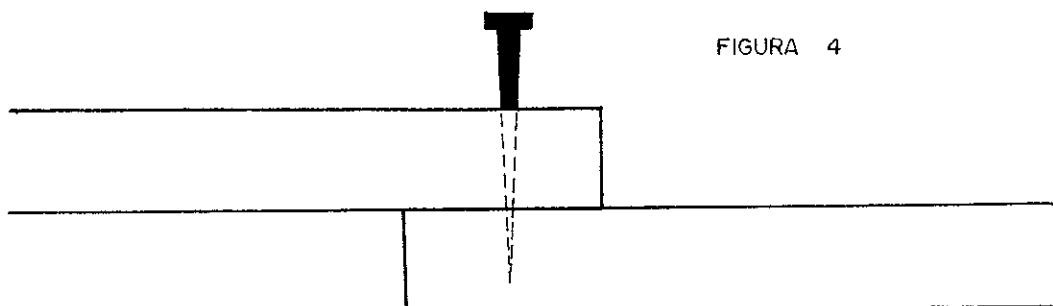


FIGURA 4

PIEZA UNIDA CON CLAVOS

2. Extracción.

La resistencia a la extracción se calcula por la fórmula $P=1380 \cdot D \cdot G^{5/2}$, en la cual el valor de 1380 es una constante obtenida experimentalmente, P es la carga por pulgada de penetración, G es la gravedad específica de la madera y D el diámetro del clavo. El valor resultante será la carga permisible para madera seca mientras que para la madera húmeda su valor será $1/4$ de la madera seca.

B. Pernos.

El perno es uno de los elementos de unión más utilizados en las uniones estructurales debido a su capacidad de resistir grandes cargas. Estos existen en varios tamaños, que van desde $1/4$ hasta 3 pulgadas.

Hay diferentes tipos de pernos, los de cabeza en un lado y rosca en el otro, o de rosca en ambos extremos; por lo general se usan roldanas para reducir los esfuerzos por aplastamiento. El grado más común de los pernos usados en madera es el que cumple con las normas de ASTM A307, y su relación entre la longitud y su diámetro nos da la esbeltez del perno.

Para el diseño de uniones de madera con pernos se deben considerar los siguientes factores:

- Especies de madera.
- Tamaño del perno y su rigidez.
- Ancho de los miembros de la conexión.
- Número de planos de corte.
- Tipo de plaqueta (madera o acero).
- Arreglo de las plaquetas con las filas de pernos.
- Técnica de fabricación.

Existen diferentes formas para el diseño de uniones en las que se utilizan pernos y la carga es paralela a la fibra de madera. Una de ellas es encontrando el valor promedio del esfuerzo de proporcionalidad. Este esfuerzo nos indica en donde deja de ser proporcional el deslizamiento de la carga.

Esto se obtiene de pruebas de laboratorio en las cuales los resultados se dibujarán en una gráfica carga-deformación.

FIGURA 5

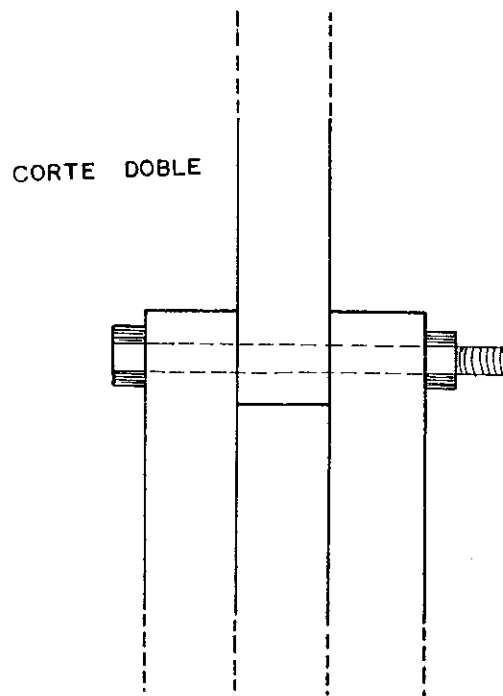
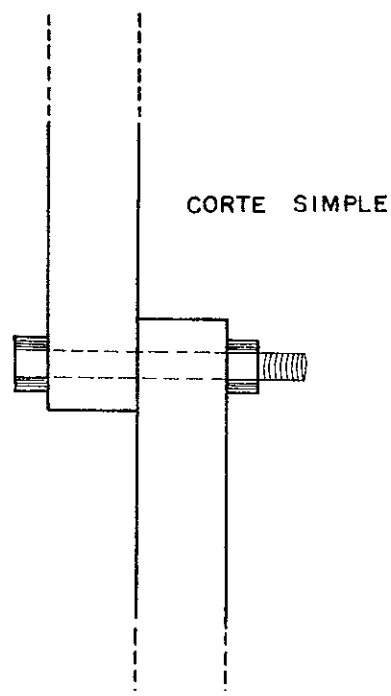


FIGURA 6



Así se podrá obtener el valor de P en donde se termina la proporcionalidad. Esta carga se divide entre el factor LD, donde L es la longitud del perno en la pieza principal (esto es el espesor de la pieza principal) y D el diámetro del perno.

$$F=P/LD$$

El esfuerzo promedio f , no es el esfuerzo real para la carga límite proporcional; en los extremos del miembro de madera, el esfuerzo es mucho más grande que este valor y cerca del centro es mucho menor.

La prueba de laboratorio necesaria para obtener el valor de P (carga) en la fórmula anterior, que consiste en unir dos piezas de madera con un espesor $L/2$ con una pieza

de espesor L mediante uso de un perno y aplicarles una carga de compresión.

Otra forma de obtener la carga permisible es obteniendo S , que es el esfuerzo básico de la madera. Este esfuerzo se obtiene siguiendo las normas especificadas en el ASTM D2555, las cuales nos indican que al valor promedio obtenido en las pruebas se debe establecer 5% de valor de exclusión y luego se multiplicará por 1.9 y se dividirá entre 1.2 como factores de seguridad.

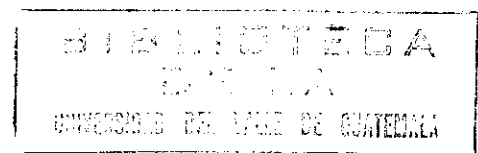
Con el valor de S se puede obtener la carga permisible al multiplicarlo por el diámetro del perno a ser usado y por un factor r que depende de la relación L/D . Entre más grande es este factor, el esfuerzo sobre el perno se convierte menos uniforme.

Escrito en fórmula obtenemos:

$$P=SLDr$$

Para los valores de carga de diseño, podemos utilizar el valor de P para un deslizamiento de 0.1 plg, de nuestra gráfica carga-deformación. A este valor de P debemos aplicarle los factores de seguridad recomendados, los cuales dependen del tipo de madera y así obtenemos nuestra carga de diseño.

Otra forma de obtener nuestra carga de diseño es dividiendo la carga última por un factor de 4. En este método se debe verificar que este valor no exceda $5/8$ de la carga del límite de proporcionalidad.



V. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UNIONES ESTRUCTURALES

A. Espaciamientos.

Los espaciamientos entre el borde de la pieza de madera y el perno que se encuentra tanto a tensión como a compresión en la madera, son de mucha importancia en la resistencia de la unión. Por este motivo deben evaluarse estas distancias con mucha precisión.

Para el cálculo de esos espaciamientos debe tomarse en cuenta el área proyectada neta de la pieza. Esta área se obtiene restándole el área proyectada del conector a la sección crítica de la pieza en estudio. Para piezas serruchadas el esfuerzo tanto, a compresión como a tensión, en el área neta no debe exceder el esfuerzo para "madera limpia" en compresión paralela a la fibra. Para poder hacer uso del valor de este esfuerzo, se supone que no habrá nudos en la madera en una distancia no menor de la mitad del diámetro del conector en el área neta. Si esto no se cumple y existen nudos dentro de la distancia crítica, generalmente se desechan las piezas.

El espaciamiento entre el borde de la pieza de madera y el centro del perno debe ser al menos 1.5 veces el diámetro del perno. Sin embargo, este margen será usualmente controlado por:

- La práctica común de tener un margen con el borde igual a la mitad de la distancia entre la filas de pernos.
- Los requerimientos de área de la sección crítica.

El espaciamiento del perno con el final de la pieza de madera, cuando las piezas están en tensión, debe ser por lo menos de 7 veces el diámetro del perno en maderas suaves y 5 veces en maderas duras. Cuando las piezas están a compresión, el espaciamiento debe ser por lo menos 4 veces el diámetro del perno.

El espaciamiento entre centro y centro de los conectores, cuando esto se encuentran en forma sucesiva en la dirección de la carga, debe ser al menos 4 veces el diámetro del perno para cargas paralelas a la fibra. Para el espaciamiento de filas de pernos, cuando la carga es paralela a la fibra de madera, está regido por la reducción de la sección crítica. Esta sección es aquella que, tomada a ángulos rectos a la dirección de la carga, da el esfuerzo máximo, basado en el área neta restante después de la reducción de los agujeros de los pernos. Para maderas suaves, el área neta en la sección crítica debe ser por lo menos 80% del área total en soporte por todos los pernos en la pieza, y 100% para maderas duras.

B. Humedad.

El efecto de la humedad de la madera es de mucha consideración en el diseño en las uniones estructurales.

Para piezas húmedas que se secarán en el lugar, el área neta en la sección crítica debe de ser al menos 33% para maderas suaves y por lo menos 44% para maderas duras.

Por lo regular, las piezas de madera deben ser secadas a un contenido de humedad lo más parecido al que van a estar las piezas cuando estén en servicio. Si no se puede cumplir con lo anterior, los valores de diseño deberán ser reducidos en una cantidad que dependerá de qué tan poco favorables estén las condiciones a las que sean metidas las piezas de madera.

VI. ENSAYOS EN TIPOS DE UNIONES

Los ensayos realizados en este trabajo son lo más estrictamente posible las normas de ASTM D1761. Para las pruebas de tensión se utilizaron 7 piezas de madera conectadas por un clavo de 2 1/2 pulgadas. La pieza por la cual atravesaba el clavo tenía una longitud de 12 pulgadas, un espesor de 2 pulgadas, y un espesor de 25/32 pulgadas. Estas piezas se traslaparon 4 pulgadas, de forma que la probeta quedó con una longitud total de 20 pulgadas. El clavo fue centrado respecto de los bordes longitudinales y a 2 pulgadas del borde de cada pieza. Para ensamblar la probeta en la máquina universal se utilizó un perno de 3/4 plg, a una distancia de 2 plg de cada extremo de la probeta una vez ensamblada la probeta se colocó un apoyo de modo que se evitara una fuerza excéntrica. Para las pruebas de compresión se utilizaron dos piezas de 10 plg, de longitud, 2 plg de ancho, y 2 plg de espesor.

Esta última pieza se traslapó una longitud de 4.5 plg. con las dos anteriores El perno se separó del final de las piezas laterales cumpliendo con el espaciamiento mínimo requerido.

Para hacer estándar la presión de la tuerca, se apretó con la mano lo máximo posible y luego se giró con una llave media vuelta para evitar una presión muy grande

que pudiera aumentar el efecto de aplastamiento.

Tanto la prueba de compresión como la de tensión se realizaron en una máquina universal con capacidad de 60,000 libras, la cual se podía variar según la estimación de la carga última de la probeta; ésta se cambió desde una carga de 2400 hasta 12000 libras según era conveniente para una mejor lectura en la pantalla digital.

En el momento de la prueba se colocó un deformómetro electrónico que permitió que la máquina fuera gráficamente la deformación contra la carga en un papel milimetrado. Para facilidad de lectura en la gráfica, la deformación se amplió a una relación de 1:40 o de 1:20 pulgadas según fuera necesaria. En ambas pruebas se utilizó material que es fácilmente obtenido en el mercado, siendo el pino proveniente del departamento de El Petén, los pernos y clavos comprados en ferreterías que distribuyen productos de las fábricas más grandes del país.

En las pruebas de compresión con pernos de 1/4 de pulgada, se usaron 5 probetas en las cuales se obtuvieron las deformaciones mostradas en el cuadro 1.1.

De los resultados obtenidos en las pruebas de compresión, se tabularon los datos que se muestran en los cuadros 1.1, 1.2, y 1.3. Estos datos muestran las deformaciones sufridas que se observaron en las probetas a diferentes cargas, y las

gráficas 1, 2 y 3 nos muestran los puntos ya ploteados donde podemos ver el punto donde se termina la proporcionalidad entre la carga y la deformación, este es el punto llamado límite de proporcionalidad. También se puede obtener el valor de la carga última con la cual obtuvimos el valor del esfuerzo S , dividiendo todos estos valores dentro del espesor de la pieza principal, que en este caso es de 2 pulgadas, y dentro del diámetro del perno respectivo. Con los valores obtenidos se obtuvo el valor medio del esfuerzo y su desviación estándar, haciéndole una exclusión del 5% para cumplir con las normas de ASTM, tal como se muestra en la campana de distribución (ver figura 7). Los valores del esfuerzo S se muestran en el cuadro 1.4 para cada probeta.

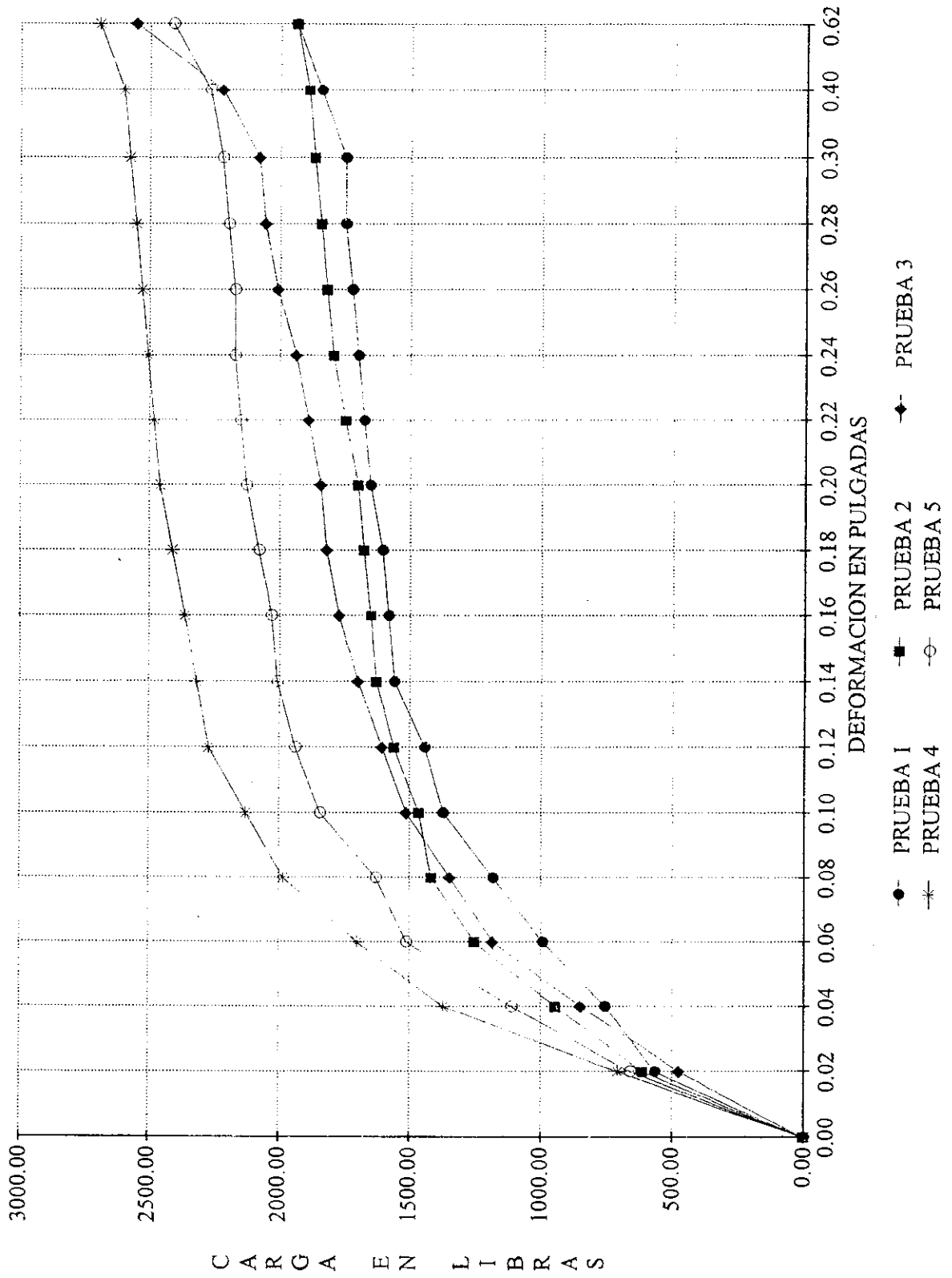
Para las pruebas de tensión, se obtuvieron los datos tabulados en los cuadros 2.1 y 2.2, que corresponden a las diez probetas utilizadas para esta prueba; su gráfica respectiva la podemos ver en las gráficas 4 y 5, donde se puede ver el valor de carga necesario para un desplazamiento de 0.015 pulgadas. Este es el valor con el que se puede obtener la constante K de la fórmula $P=KD$. Los valores se muestran en el cuadro 2.3 con su valor medio y su desviación estándar.

CUADRO 1.1
DATOS PARA LAS PRUEBAS CON PERNOS DE 1/4

(PULGADAS) DEFORMACION	VALOR DE LA CARGA EN LIBRAS				
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	566.93	614.17	472.44	708.66	661.42
0.04	755.90	944.88	850.39	1370.08	1110.23
0.06	992.12	1251.97	1181.10	1700.78	1511.81
0.08	1181.10	1417.32	1346.45	1984.25	1629.92
0.10	1370.08	1464.56	1511.81	2125.98	1842.52
0.12	1440.94	1559.05	1606.30	2267.71	1937.00
0.14	1559.05	1629.92	1700.78	2314.96	2007.87
0.16	1582.67	1653.54	1771.65	2362.20	2031.49
0.18	1606.30	1677.16	1818.89	2409.44	2078.74
0.20	1653.54	1700.78	1842.52	2456.69	2125.98
0.22	1677.16	1748.03	1889.76	2480.31	2149.60
0.24	1700.78	1795.27	1937.00	2503.93	2173.22
0.26	1724.41	1818.89	2007.87	2527.55	2173.22
0.28	1748.03	1842.52	2055.11	2551.18	2196.85
0.30	1748.03	1866.14	2078.74	2574.80	2220.47
0.40	1842.52	1889.76	2220.47	2598.42	2267.71
0.62	1937.00	1937.00	2551.18	2692.91	2409.44

PRUEBAS CON PERNOS DE 1/4

GRAFICA I

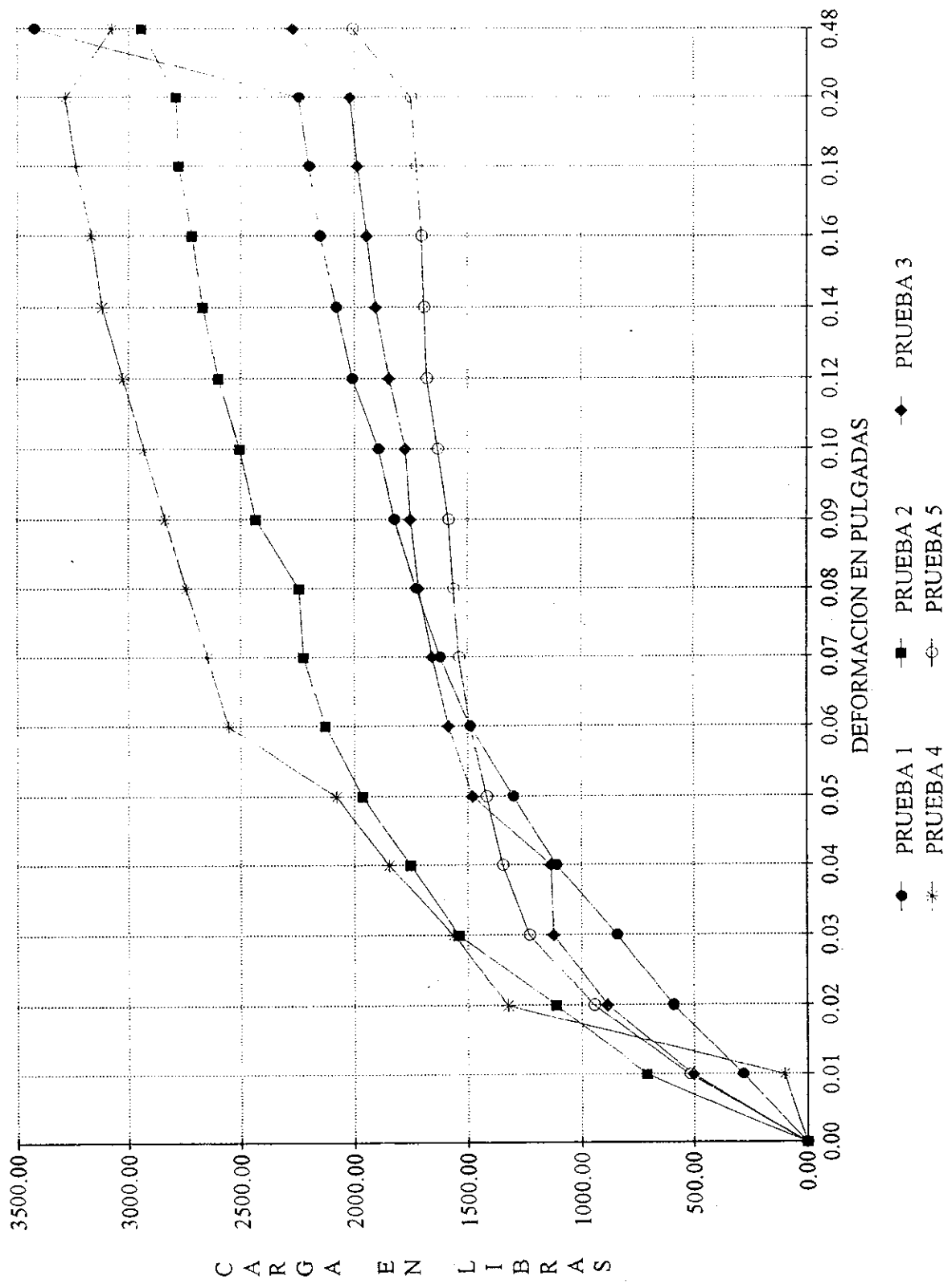


CUADRO 1.2
DATOS DE LAS PRUEBAS CON PERNOS DE 1/2"

(PULGADAS) DEFORMACION	VALOR DE LA CARGA EN LIBRAS				
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	283.46	708.66	501.96	101.57	519.68
0.02	590.00	1110.24	885.83	1322.83	944.88
0.03	843.00	1535.43	1122.00	1559.83	1228.35
0.04	1110.24	1748.03	1133.86	1842.00	1346.47
0.05	1299.21	1960.63	1476.38	2078.74	1417.32
0.06	1488.19	2125.98	1582.68	2551.18	1488.19
0.07	1618.11	2220.47	1653.54	2645.67	1535.46
0.08	1724.41	2238.52	1712.60	2740.16	1559.06
0.09	1818.90	2433.07	1748.03	2834.64	1582.68
0.10	1889.76	2503.94	1771.65	2929.13	1630.00
0.12	2007.87	2598.43	1842.52	3023.62	1677.17
0.14	2078.74	2669.29	1901.57	3118.11	1689.00
0.16	2149.60	2716.53	1942.91	3165.35	1700.00
0.18	2196.85	2775.59	1984.25	3236.22	1724.40
0.20	2244.09	2787.40	2019.69	3283.46	1748.00
0.48	3425.00	2940.94	2267.71	3074.00	2007.87

PRUEBAS CON PERNOS DE 1/2

GRAFICA 2

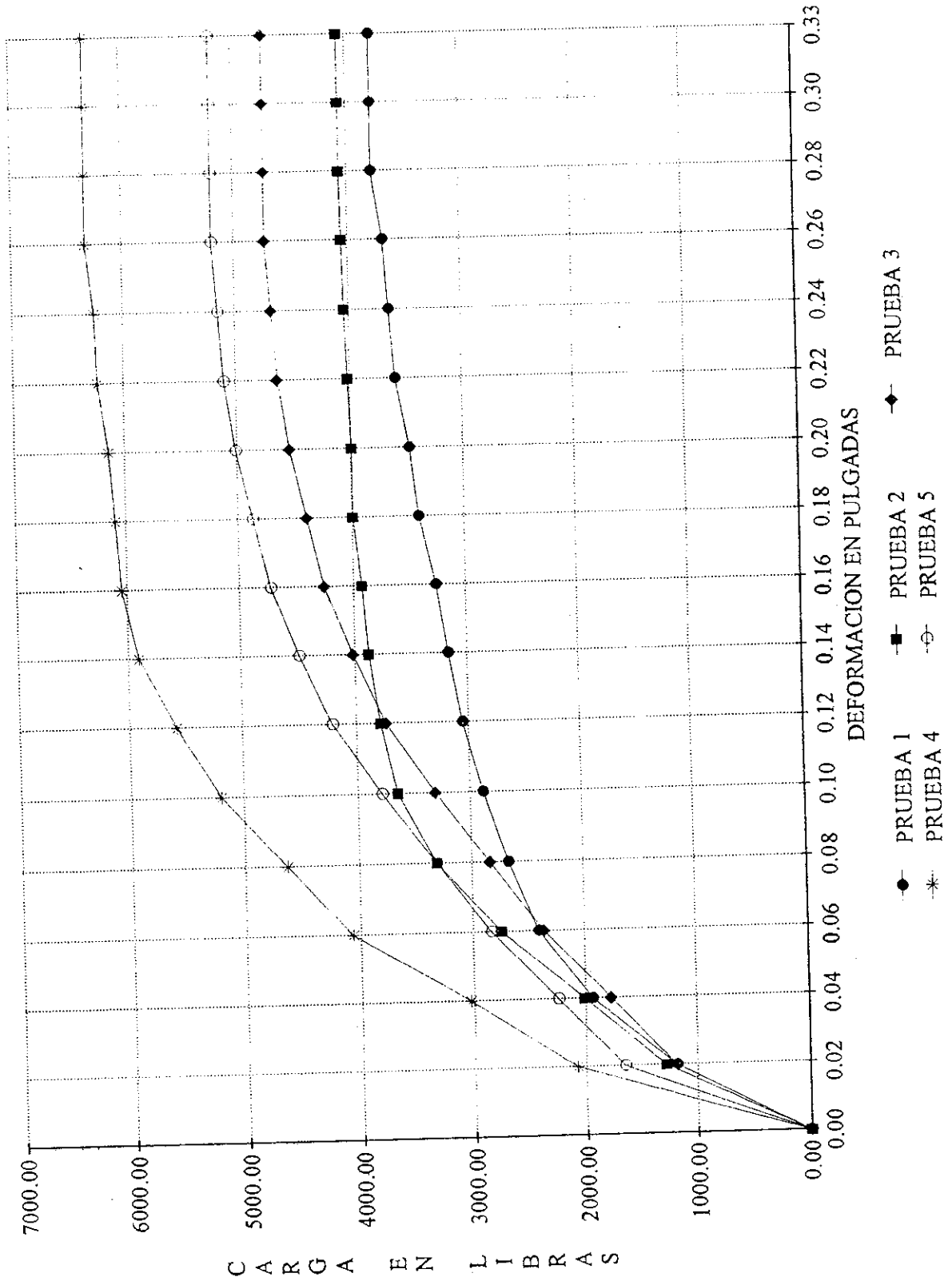


CUADRO 1.3
DATOS PARA LAS PRUEBAS CON PERNOS DE 3/4"

(PULGADAS) DEFORMACION	VALOR DE LA CARGA EN LIBRAS				
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	1181.10	1275.59	1181.10	2078.74	1653.54
0.04	1937.00	2007.87	1771.65	3023.62	2244.09
0.06	2409.44	2740.15	2362.20	4062.98	2834.64
0.08	2669.29	3307.08	2834.64	4629.91	3307.08
0.10	2881.28	3637.79	3307.08	5196.84	3779.52
0.12	3047.24	3779.52	3732.28	5574.79	4204.72
0.14	3165.35	3874.01	4015.74	5905.50	4488.18
0.16	3259.84	3921.25	4251.96	6047.23	4724.40
0.18	3401.57	3992.12	4393.69	6094.48	4866.13
0.20	3472.43	3992.12	4535.42	6141.72	5007.86
0.22	3590.54	4015.74	4629.91	6236.21	5102.35
0.24	3637.79	4039.36	4677.16	6259.83	5149.60
0.26	3685.03	4053.54	4724.40	6330.70	5196.84
0.28	3779.52	4062.98	4724.40	6330.70	5196.84
0.30	3779.52	4062.98	4724.40	6330.70	5196.84
0.33	3779.52	4062.98	4724.40	6330.70	5196.84

PRUEBA CON PERNOS DE 3/4

GRAFICA 3



CUADRO 1.4
ESFUERZOS PROMEDIO PARA CADA PRUEBA
LIBRAS/PULGADA CUADRADA

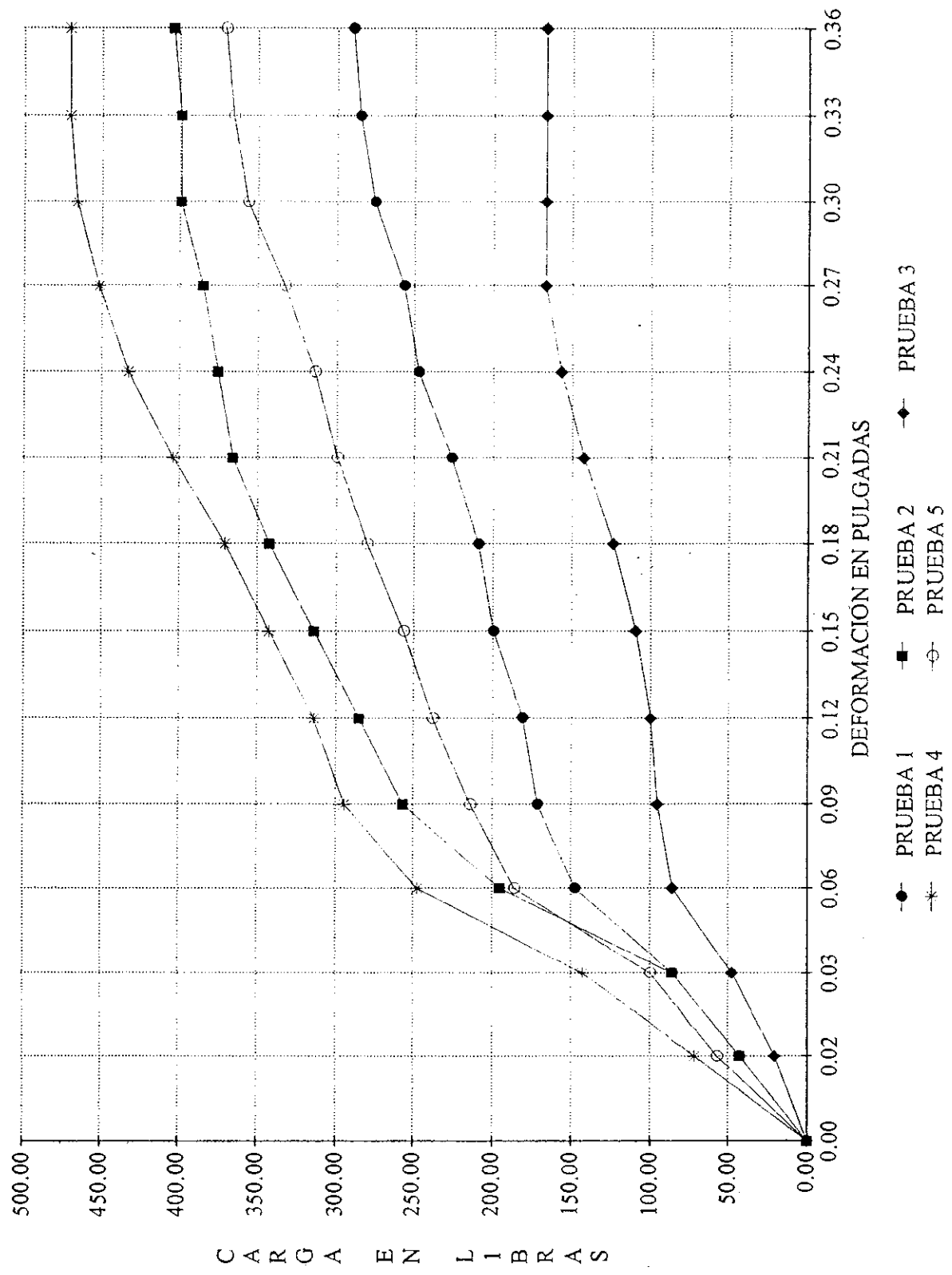
	<u>PRUEBA 1</u>	<u>PRUEBA 2</u>	<u>PRUEBA 3</u>	<u>PRUEBA 4</u>	<u>PRUEBA 5</u>
PERNOS 1/4	3874.01	3874.01	5102.35	5385.82	4018.89
PERNOS 1/2	3425.00	2940.94	2267.71	3874.00	2007.87
PERNOS 3/4	2519.68	2708.66	3149.60	4220.46	3464.56
ESFUERZO PROMEDIO		3575.57			
DESVIACION ESTANDAR		1017.38			

CUADRO 2.1
DATOS PARA LAS PRUEBAS CON CLAVOS

(PULGADAS) DEFORMACION	VALOR DE LA CARGA EN LIBRAS				
PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	42.75	42.75	20.50	71.25	57.00
0.03	85.50	85.50	47.50	142.50	99.75
0.06	147.25	194.75	85.50	247.00	185.75
0.09	171.00	256.50	95.00	294.50	213.75
0.12	180.50	285.00	99.75	313.50	237.50
0.15	199.50	313.50	109.25	342.00	256.50
0.18	209.00	342.00	123.50	370.50	280.25
0.21	226.00	365.75	142.50	403.75	299.25
0.24	247.00	375.25	156.75	432.25	313.50
0.27	256.50	384.75	166.25	451.25	332.50
0.30	275.50	399.00	166.25	465.50	356.25
0.33	285.00	399.00	166.25	470.25	365.75
0.36	289.75	403.75	166.25	470.25	370.50

PRUEBAS CON CLAVOS

GRAFICA 4

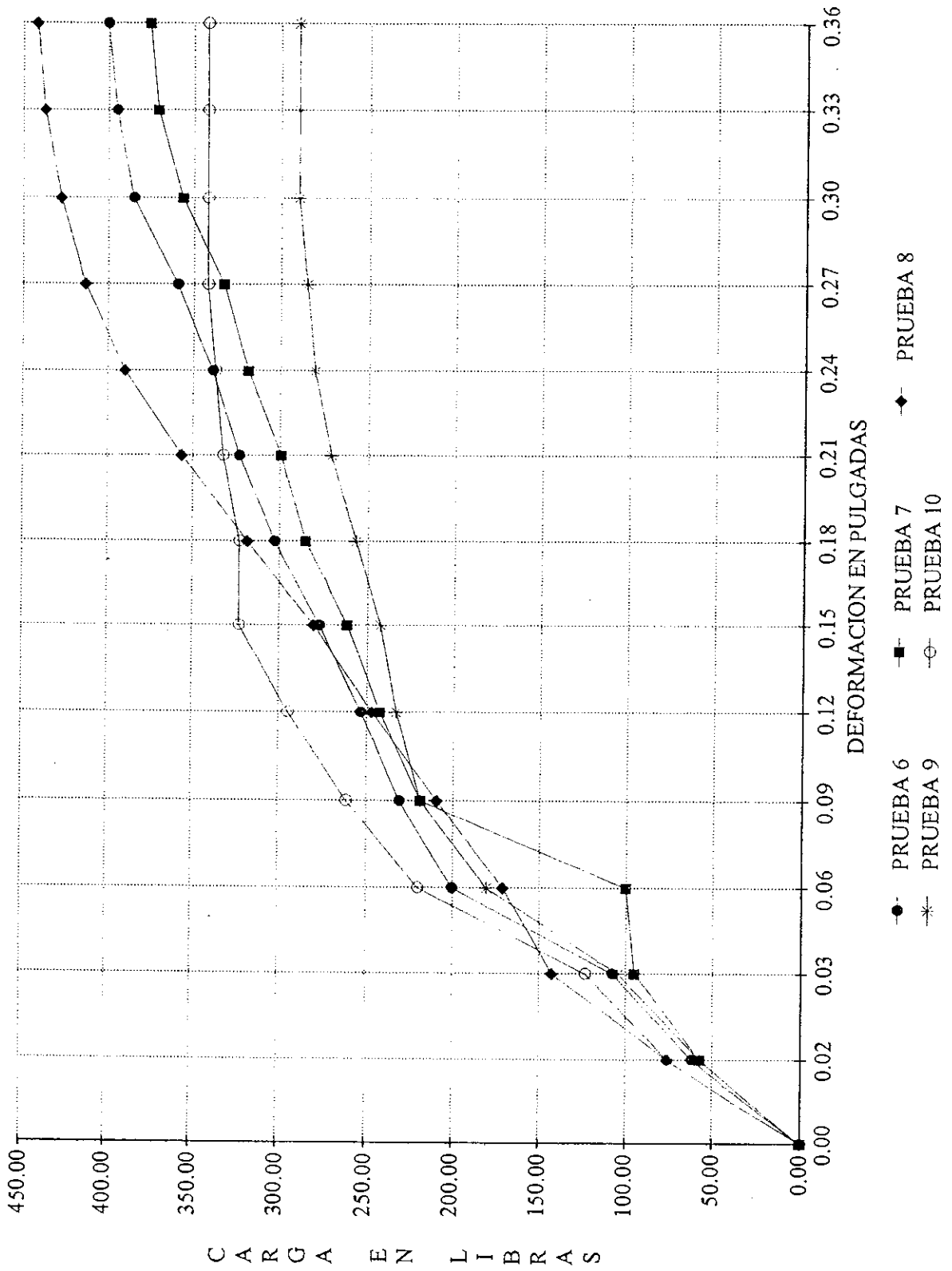


CUADRO 2.2
DATOS PARA LAS PRUEBAS CON CLAVOS

(PULGADAS) DEFORMACION	VALOR DE LA CARGA EN LIBRAS				
PRUEBA 6	PRUEBA 7	PRUEBA 8	PRUEBA 9	PRUEBA 10	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	61.56	57.00	76.00	57.00	76.00
0.03	107.73	95.00	142.50	104.50	123.50
0.06	200.07	100.00	171.00	180.50	220.00
0.09	230.85	218.50	209.00	218.50	261.25
0.12	253.50	242.25	247.00	232.75	294.50
0.15	277.02	261.25	280.25	242.25	323.00
0.18	302.67	285.00	318.25	256.50	323.00
0.21	323.19	299.25	356.25	270.75	332.50
0.24	338.58	318.25	389.50	280.25	337.25
0.27	359.10	332.50	413.25	285.00	342.00
0.30	384.75	356.25	427.50	289.75	342.00
0.33	395.01	370.50	437.00	289.75	342.00
0.36	400.14	375.25	441.75	289.75	342.00

PRUEBA CON CLAVOS

GRAFICA 5



CUADRO 2.3

VALORES PARA LA CONSTANTE K

NUMERO DE PRUEBA	VALORES DE K (LB/PLG)
1	901.63
2	901.73
3	601.09
4	1502.72
5	1202.17
6	1290.35
7	1202.17
8	1602.99
9	11202.17
10	1602.99
VALOR MEDIO DE K	1201.8
DESVIACION ESTANDAR	326.91

VII. DISCUSION DE RESULTADOS

Se pudo observar que en las pruebas de compresión con pernos de 1/4, la falla se mostró principalmente por flexión en el perno y al mismo tiempo por el aplastamiento en la madera provocado por la cabeza del perno y por la rosca.

Al principio de cada prueba de compresión fue necesario aplicarle una carga relativamente pequeña para que el perno se asentara y así evitar medir deformaciones en las que no está trabajando la madera y el perno como una misma pieza.

A pesar que las probetas fueron cortadas de las mismas piezas de madera que se obtuvieron del aserradero, se pudo observar que unas tenían diferente peso, probablemente debido a que unas piezas estaban más húmedas que otras.

En las pruebas de tensión se observó que la falta fue por aplastamiento en la madera, lo que provocó el deslizamiento de una pieza respecto de otra.

Habría que considerar que los valores aquí obtenidos, son valores para uniones con doble corte y para piezas que guardan la relación entre sí aquí dada. En caso de no guardarse esta relación deben aplicarse los factores necesarios recomendados por el ASTM u otras normas que existan en el país.

En las gráficas de las pruebas de compresión se puede ver que en la curva se fue haciendo una línea horizontal conforme aumentaba la deformación, esto nos indica el límite de carga de la probeta.

Una de las causas por las que variaron tanto los valores de los esfuerzos S , es que no se varió el tamaño de las piezas de madera junto con el diámetro de los pernos, esto nos daba un área neta menor en la sección crítica.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo, que tiene como objeto calcular los esfuerzos básicos de soporte del perno en la madera de pino y el cálculo de la constante K del pino para la obtención de la carga permisible en uniones con clavos, se pudo observar la diferencia entre los datos obtenidos y los que se encuentran en libros para diferentes tipos de pino en Estados Unidos. Estas diferencias nos muestran la importancia de obtener valores para nuestras maderas y piezas estructuralmente más efectivos, tanto por su resistencia como por su costo.

Recomendamos ampliar más los estudios sobre los esfuerzos básicos y los factores de seguridad necesarios, ya que en este estudio se tomaron como base los valores que recomienda la National Design Specifications.

Es importante ver la influencia que tiene la relación L/D en la proporcionalidad entre la carga y la deformación, ya que entre más grande es este factor, mayor será la influencia de la flexión del perno en el deslizamiento de la pieza principal respecto de las otras piezas.

Se recomienda usar un valor de K de 1200 libras/pulgada cuadrada, siendo este valor bastante conservador para el diseño, ya que en estas pruebas no se usaron roldanas las cuales ayudan a disminuir los esfuerzos de aplastamiento en la madera.

IX BIBLIOGRAFIA.

Breyer, Donald. Design of wood structures. México D.F.

1988 Editorial McGraw Hill.

Wood as an Engineering Material. Wood handbook.

1987

Wood structures. ASCE Committe en wood.

1975

Rafik Y. Faherty K. Structural wood research. American

1984 American Society of CivilEngineers. 209 pp.

Fleming, S Modern timber engineers. Southern Pine

1954 Association. 4a. edición. 232 pp.

Gurfinkel, G. Wood Engineering. Editorial Kendal/Hunt

1981 Iowa, E.E.U.U. 2a edición. 537 pp.

Pineda, Luis. Propiedades fisico mecánicas del Pinus Caribea

1963