

ESTRUCTURAL
624.32 E72e
Escuela de Ingenieros Militares

EMPLEO ESTRUCTURAL DE LA MADERA EN PUENTES

Escuela de
Ingenieros Militares

EMPLEO ESTRUCTURAL DE LA MADERA EN PUENTES

Escuela de
Ingenieros Militares

Bogotá 1988

EMPLEO ESTRUCTURAL DE LA MADERA EN PUENTES

© 1988, ESCUELA DE INGENIEROS MILITARES

Jefe Departamento Técnico ESING
CT. ERWIN RUBIANO R.

Redacción
E.5. NESTOR ROJAS M.

Dirección de Arte
ALBERTO POSSO GOMEZ

Diseño de Carátula
RIGOBERTO FONSECA R.

*Preparación Litográfica
e Impresión*
EDITORIAL MARGABBY Ltda.
Calle 12 No. 27-58
Tels. 2772747 - 2018561
Bogotá, D.E.

FUERZAS MILITARES DE COLOMBIA EJERCITO NACIONAL

EMPLEO ESTRUCTURAL DE LA MADERA

Quando visité la casa paterna de GEORGE WASHINGTON en MOUNT VERNON, Virginia, hace algunos años, observando el excelente estado de una obra hecha toda en madera, que después de más de dos siglos se mantiene igual o mejor que en sus años de construcción, pensé que en nuestro medio, por innumerables factores, hemos subestimado el empleo de la madera, especialmente en su aspecto estructural. Para este poco empleo han influido factores que a veces se nos salen de las manos como es el caso del trópico, con la infinidad de organismos vivos que la afectan, pero que al final pueden ser controlados por el hombre por medio de tratamientos adecuados de corte, secado, inmunización, etc., y otros más incidentes que los anteriores, que nacen de la falta de información que existe sobre su empleo.

*Me propuse entonces, aprovechar la excelente oportunidad que en el campo experimental me brindaba la **Escuela de Ingenieros Militares** con sus abundantes medios y personal de investigación, para hacer realidad la idea de presentar al país un texto que sirviera de guía técnica para el empleo de la madera en la construcción en su forma estructural. Se ha logrado llevar a cabo esta iniciativa por el decidido apoyo de organismos como: La Junta del Acuerdo de Cartagena, el Himat, el Fondo Nacional de Caminos Vecinales y la Dirección de Ingenieros del Ejército Nacional, para los cuales extendemos nuestros sinceros agradecimientos.*

*Es el deseo de la **Escuela de Ingenieros Militares** que esta obra sea una valiosa guía de trabajo y texto de consulta para Estudiantes, Profesores, Ingenieros y Técnicos en la construcción de puentes, para que el empleo de este material de construcción sea cada vez más frecuente en nuestro país.*

Teniente Coronel **AUGUSTO BAHAMON DUSSAN**
Comandante Escuela de Ingenieros Militares

CONTENIDO

CAPITULO I

1.	MADERA	15
1.1.	Importancia de la Madera como Materia Prima en la Construcción de Puentes de Circunstancias	15
1.2.	Maderas Tropicales	15
1.3.	Especies Estudiadas	16
1.4.	Estructura de la Madera	17
1.5.	Características Físicas de la Madera	18
1.5.1.	Contenido de Humedad	18
1.5.2.	Cambios Dimensionales	18
1.5.3.	Densidad y Peso Específico	20
1.5.4.	Expansión y Conductividad Térmica	21
1.5.5.	Transmisión y Absorción del Sonido	22
1.5.6.	Conductividad Eléctrica	23
1.5.7.	Composición Química de la Madera	23
1.6.	Productos Forestales	23
1.6.1.	Productos Naturales	23
1.6.2.	Productos Artificiales	25
1.7.	Factores que afectan a la Madera Talada	27
1.7.1.	Factores Ambientales	27
1.7.2.	Factores Estructurales o Internos a la Constitución de la Madera	27
1.8.	Propiedades Resistentes de la Madera	28
1.8.1.	Resistencia a la Compresión Paralela	28
1.8.2.	Resistencia a la Compresión Perpendicular	29
1.8.3.	Resistencia a la Tracción	30
1.8.4.	Resistencia al Corte	30

1.8.5.	Resistencia a la Flexión Paralela al Grano	31
1.9.	Propiedades Elásticas de la Madera	33
1.9.1.	Módulo de Elasticidad (MOE)	33
1.9.2.	Módulo de Corte o Rigidez (G)	34
1.9.3.	Módulo de Poisson	34
1.10.	Factores que afectan el Comportamiento de la Madera	35
1.10.1.	Defectos de Crecimiento	35
1.10.2.	Influencia del Contenido de Humedad	37
1.10.3.	Influencia de la Densidad	38
1.10.4.	Influencia de la Temperatura	39
1.10.5.	Duración de la Carga	40
1.10.6.	Degradación	40
1.10.7.	Ataque de Insectos	41
1.10.8.	Ataques Químicos	42

CAPITULO II

2.	ASERRADO	43
2.1.	Aserrado	43
2.1.1.	Cortes del Tronco	43
2.2.	Secado	44
2.2.1.	Influencia del Secado sobre los Elementos de Madera	44
2.2.2.	Secado Natural	47
2.2.2.1.	Talanqueras	48
2.2.2.2.	Apilado	48
2.2.2.3.	Presecado	50
2.2.3.	Secado Artificial	51
2.2.3.1.	Procedimiento de Secado en Horno	51
2.2.3.2.	Precauciones para el Apilado en el Secado Artificial	53
2.2.4.	Variación Dimensional	53
2.2.5.	Defectos Originados por el Secado	54
2.3.	Protección de la Madera	56
2.3.1.	Preservación	56
2.3.2.	Tipos de Preservantes	57
2.3.3.	Métodos de Preservación	59
2.3.3.1.	Tratamientos sin Presión	60
2.3.3.2.	Tratamientos con Presión	61
2.3.4.	Características de Permeabilidad de Especies Tropicales	62
2.3.5.	Ignifugos	63

2.4.	Protección y Cuidado de los Materiales en Obra	63
2.5.	Defectos y Enfermedades de la Madera	64
2.5.1.	Defectos	64
2.5.2.	Enfermedades de la Madera	64

CAPITULO III

3.	CLASES DE MADERAS	67
3.1.	Madera Selecta	67
3.2.	Madera Común	67
3.3.	Tipos y Tamaños Corrientes de Madera	68
3.4.	Madera de Construcción Estructural	69
3.4.1.	Requisitos Generales	70
3.4.2.	Contenido de Humedad	71
3.4.3.	Durabilidad Natural y Preservación	71
3.5.	Clasificación Visual por Defectos para Madera Estructural	73
3.5.1.	Defectos Relativos a la Constitución Anatómica	74
3.5.2.	Defectos Relativos al Ataque de Agentes Biológicos	74
3.5.3.	Defectos Originados durante el Apeo, Transporte y Almacenamiento	75
3.5.4.	Defectos Originados durante el Secado	75
3.5.5.	Defectos Originados durante el Aserrijo	76
3.5.6.	Control de Defectos	76
3.5.7.	Norma de Clasificación Visual	79
3.5.7.1.	Alabeo	79
3.5.7.2.	Arista Faltante	81
3.5.7.3.	Duramen Quebradizo	82
3.5.7.4.	Escamadura o Acebolladura	82
3.5.7.5.	Fallas de Compresión	83
3.5.7.6.	Grano Inclinado	83
3.5.7.7.	Grieta	84
3.5.7.8.	Médula	84
3.5.7.9.	Nudo	85
3.5.7.10.	Parénquima	86
3.5.7.11.	Perforaciones	87
3.5.7.12.	Rajaduras	88
3.6.	Agrupaciones de las Maderas Tropicales en Grupos Estructurales	90

CAPITULO IV

4.	HERRAMIENTAS DE TRABAJO	93
4.1.	Herramientas de Trabajos de la Madera	93
4.2.	Ferretería de Construcción	95
4.2.1.	Clavos	96
4.2.2.	Tornillos	99
4.2.3.	Pernos	101
4.2.4.	Brocas Pasadoras	103
4.2.5.	Sujetadores Corrugados	104
4.2.6.	Conectores de Madera	105

CAPITULO V

5.	MECANICA DE LAS ESTRUCTURAS	107
5.1.	Generalidades	107
5.2.	Los tres Esfuerzos Simples	107
5.2.1.	Fuerzas Externas e Internas	107
5.2.2.	Resultante de dos fuerzas que actúan en una misma línea recta	108
5.2.3.	Acción y Reacción	110
5.2.4.	Tensión y Compresión	110
5.2.5.	Esfuerzos	111
5.2.6.	Esfuerzo Cortante	115
5.2.7.	Esfuerzo Cortante en Pernos y Remaches	116
5.3.	Diseño de Vigas Simples	118
5.3.1.	Definiciones	119
5.3.1.1.	Momento	119
5.3.1.2.	Equilibrio	119
5.3.1.3.	Módulo de Sección	119
5.3.1.4.	Reacciones	119
5.3.2.	Ejemplo de Viga Simple	120
5.3.2.1.	Reacciones	120
5.3.2.2.	Momento Externo	121
5.3.2.3.	Momento Interno	122
5.3.2.4.	Fórmula de Flexión	124
5.3.3.	Viga Simple con una Carga Concentrada	124
5.3.4.	Viga Simple con una Carga uniformemente distribuida	126
5.3.5.	Método abreviado	128
5.3.5.1.	Carga Concentrada en la Mitad de la Luz	128
5.3.5.2.	Carga Uniformemente Distribuida	129

5.3.6.	Viga Simplemente Apoyada, con una Carga Uniformemente Repartida y una Carga en la Mitad de su Luz	130
5.4.	Esfuerzo Cortante	131
5.4.1.	Definiciones	131
5.4.1.1.	Esfuerzo Cortante Vertical	131
5.4.1.2.	Esfuerzo Cortante Horizontal	132
5.4.2.	Relación entre los Esfuerzos Cortantes, Horizontal y Vertical	133
5.4.3.	Fórmula para determinar el Esfuerzo Cortante Unitario Horizontal	135
5.4.3.1.	Esfuerzo Cortante Horizontal en Vigas de Sección Rectangular	136
5.4.3.2.	Esfuerzo Cortante Horizontal en Secciones de Acero. La Ecuación General	138
5.4.4.	Esfuerzo Cortante Vertical	140
5.4.5.	Ejemplo de una Viga de Acero	141
5.4.6.	Ejemplo para una Viga de Madera	141
5.4.7.	Colocación de las Cargas para Obtener un Máximo Esfuerzo Cortante	142
5.4.7.1.	Vigas de Acero	142
5.4.7.2.	Reglas de Largueros de Madera	145
5.4.7.3.	Torsión en las Vigas (Largueros)	147
5.4.7.4.	Pandeo Lateral del Alma de las Vigas	147
5.4.7.5.	Aplastamiento en el Alma de las Vigas (Largueros)	148
5.4.7.6.	Fatiga	149
5.4.7.7.	Pandeo en Miembros Sometidos a Compresión (Montantes y Pilotes)	149
5.4.7.8.	Resumen	149
5.5.	Otros Tipos de Fallas	149
5.5.1.	Deflexión Excesiva de las Vigas (Largueros)	150
5.5.2.	Pandeo Lateral de las Vigas (Largueros)	150
5.5.3.	Vigas de Madera	150

CAPITULO VI

6.	CABALLETES Y PILARES DE MADERA	151
6.1.	Generalidades	151
6.1.1.	Propósito	151
6.1.2.	Consideraciones Básicas	151
6.1.2.1.	Economía de Tiempo	151
6.1.2.2.	Simplicidad	152
6.1.2.3.	Economía de Materiales	152

6.1.2.4.	Ubicación	152
6.1.2.5.	Resistencia y Durabilidad	152
6.1.2.6.	Planeamiento	152
6.1.3.	Nomenclatura	152
6.2.	Diseño de los Caballetes de Madera	153
6.2.1.	Generalidades	153
6.2.2.	Consideraciones con respecto al Diseño	154
6.2.3.	Selección del Numero de Postes Basada en Esfuerzo de Apoyo entre la Solera Superior y el Poste	156
6.2.3.1.	Generalidades	156
6.2.3.2.	Explicación Detallada del Procedimiento de Diseño	159
6.2.3.2.1.	Carga Viva	159
6.2.3.2.2.	Carga Muerta	159
6.2.3.2.3.	Carga Total	160
6.2.3.2.4.	Area Total de Apoyo	160
6.2.3.2.5.	Area Transversal del Poste	160
6.2.3.2.6.	Número de Postes	161
6.2.3.3.	Resumen de los Procedimientos de Diseño	161
6.2.4.	Selección del Número de Postes Basada en los Esfuerzos de Flexión y de Cortante en la Solera Superior	162
6.2.4.1.	Generalidades	162
6.2.4.2.	Consideración de (1) de Modo Optativo	164
6.2.4.3.	Consideración de (2) de un Modo Optativo	164
6.2.5.	Diseño de la Solera	165
6.2.5.1.	Resumen	165
6.2.6.	Diseño de las Zapatas	165
6.2.6.1.	Procedimiento de Diseño de las Zapatas	166
6.2.6.1.1.	Longitud de las Zapatas	166
6.2.6.1.2.	Longitud de la Zapata	167
6.2.6.1.3.	Capacidad de Carga de una Zapata	167
6.2.6.1.4.	Número de Zapatas Requeridas	167
6.2.6.1.5.	Resumen	168
6.2.7.	Problema de Ejemplo	168
6.2.7.1.	Procedimientos de Diseño	169
6.2.7.2.	Diseño de las Zapatas	172
6.2.7.3.	Resumen	173
6.3.	Diseño de los Pilares de Madera	174
6.3.1.	Generalidades-	174
6.3.2.	Problema Ejemplar	176
6.3.3.	Diseño de las Placas de Apoyo	183
6.3.4.	Arriostramiento	185

CAPITULO VII

7.	PUENTES SEMIPERMANENTES FIJOS NO REGLAMENTARIOS	187
7.1.	Definiciones	187
7.1.1.	Nomenclatura	187
7.2.	Subestructura	189
7.2.1.	Estribos	189
7.2.2.	Tipo de Pilotes	190
7.2.3.	Diseño de la Subestructura	190
7.2.4.	Soportes Intermedios	192
7.2.4.1.	Pila de Pilotes	192
7.2.4.2.	Caballetes	193
7.2.4.3.	Pilar de Pilotes	194
7.2.4.4.	Pilar de Caballete	194
7.2.4.5.	Pilar Encofrado	195
7.2.5.	Apuntalamiento	196
7.2.5.1.	Apuntalamiento Longitudinal	196
7.2.5.2.	Apuntalamiento Transversal	196
7.2.5.3.	Diafragmas	196
7.2.6.	Procedimiento de Construcción de la Subestructura	196
7.2.6.1.	Trazado de la Línea Central	196
7.2.6.2.	Construcción de Estribos	197
7.2.6.2.1.	Trazado	197
7.2.6.2.2.	Construcción	198
7.2.6.3.	Muros de Retención	198
7.2.6.3.1.	Clases de Muro de Retención	199
7.2.6.3.2.	Combinación de Estribos y Muros de Retención	199
7.2.7.	Construcción de Caballetes	200
7.2.7.1.	Trazado	200
7.2.7.2.	Colocación de las Bases	200
7.2.7.3.	Altura del Caballete	200
7.2.7.4.	Altura de los Postes de Caballete	200
7.2.7.5.	Procedimientos Adicionales de Construcción	200
7.3.	Superestructura de un Puente de Cabaltes de Madera	201
7.3.1.	Largueros	201
7.3.2.	Diseño de la Superestructura	203
7.4.	Selección del Número de Largueros para que resistan el Momento Flector	208
7.5.	Entarimado	209
7.5.1.	Cubierta	209
7.5.2.	Piso	210
7.5.2.1.	Diseño del Piso o Tablero	211
7.5.3.	Cordones	213

7.5.4.	Pasamanos	213
7.5.5.	Andenes	214
7.5.6.	Muro de Contención	214

CAPITULO VIII

8.	PUENTE MODULAR DE MADERA	217
8.1.	Diseño	217
8.1.1.	Dimensiones Básicas y Elementos de Arriostramiento ..	217
8.2.	Componentes Básicos	219
8.2.1.	Tablero Modular	219
8.2.2.	Cordones	221
8.2.3.	Cerchas	221
8.2.4.	Arriostramiento Vertical	223
8.2.5.	El Arriostramiento de la Cubierta	226
8.2.6.	Cubierta	226
8.2.7.	Soportes	226
8.3.	Proceso de Diseño	226
8.3.1.	Carga	228
8.4.	Determinación del Diseño	229
8.5.	Diseño de la Cubierta	229
8.6.	Obtención de Materiales y Ensamble	229
8.6.1.	Obtención del Acero	229
8.6.2.	Obtención y Tratamiento de los Componentes de la Madera	246
8.6.3.	Componentes del Acero	248
8.6.3.1.	Corte y Perforación	248
8.6.3.2.	Soldadura	248
8.7.	Ensamble del Tablero	248
8.8.	Levantamiento	263
8.8.1.	Componentes y Equipo de Levantamiento	263
8.8.1.1.	Equipo de Levantamiento para Cruce Húmedo	263
8.8.1.2.	Equipo de Levantamiento para Cruce Seco	265
8.9.	Método de Cruce Húmedo	265
8.9.1.	Preparación	265
8.9.2.	Ensamble Inicial	265
8.9.3.	Lanzamiento Inicial	274
8.9.4.	Lanzamientos Sucesivos	275
8.9.5.	Etapa Final	275
8.9.6.	Tendido del Suelo	275
8.9.7.	Cerchas Extras	275
8.9.8.	Terminación	276
8.10.	Método de Cruce Seco	276

8.10.1.	Estructura de Levantamiento	276
8.10.2.	Nivelación	276
8.10.3.	Construcción de Cerchas	276
8.10.4.	Etapa Final en la Construcción de Cerchas	290
8.11.	Hormigón y Terraplenes	290
ANEXO I	.....	291
ANEXO II	.....	294
ANEXO III	.....	297
GLOSARIO	.....	299
ABREVIATURAS	.....	300
BIBLIOGRAFIA	.....	301

CAPITULO I

M A D E R A

1.1. IMPORTANCIA DE LA MADERA COMO MATERIA PRIMA EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES DE CIRCUNSTANCIA

El hombre ha utilizado la madera desde tiempos inmemoriales, y como es natural, no poseía ningún conocimiento profesional o científico de su manejo, que le permitiera el uso adecuado en cantidad y calidad, lo que le conducía a un gasto exagerado con poca durabilidad en sus obras.

Este elemento posee favorables condiciones como son su fácil labrado, su notable resistencia a la tracción, compresión y flexión, así como su ligereza, tenacidad y alternancia.

A estas condiciones favorables hay que oponer serios inconvenientes, especialmente su fácil combustibilidad, por lo que actualmente ha tenido que ceder plaza, por no poder ofrecer competencia a las estructuras metálicas y a las de hormigón armado.

De todas maneras, para nuestro caso particular la madera adquiere especial importancia en la construcción de medios de paso, porque es el elemento que seguramente vamos a encontrar a la mano, así como el más fácil de manejar.

1.2. MADERAS TROPICALES (latifoliadas) Y CONIFERAS

Los bosques tropicales de la Subregión Andina cubren aproximadamente el 47 por ciento de su superficie (220 millones de hectáreas) constituyendo un considerable recurso para la obtención de madera

para construcción. Se estima que hay alrededor de 2.500 especies forestales en estos bosques, de las cuales unas 600 serían aptas para construir.

La práctica ilimitada en el diseño y construcción con madera ha estado basada en información proveniente de países consumidores de madera de coníferas, que por su distinta constitución anatómica a la madera latifoliada presenta propiedades y comportamiento diferentes.

Este manual ha sido preparado para facilitar el diseño de construcciones de medios de paso, usando las maderas de los bosques andinos. Por ser éstos en su mayoría tropicales y subtropicales, a las maderas provenientes de las especies que los constituyen se las denominan genéricamente maderas tropicales. Estas especies, conocidas también con el nombre de latifoliadas o frondosas, se diferencian tanto externa como internamente de las maderas de coníferas que, en general crecen en climas templados. En la Subregión existen en limitada proporción algunas especies de coníferas de bosques naturales y otras de zonas reforestadas. Sin embargo, son las especies tropicales las que representan el volumen importante.

Una de las diferencias existentes entre maderas de coníferas y latifoliadas, que constituye una característica notoria en el comportamiento mecánico es aquella relacionada con la resistencia y rigidez (capacidad para experimentar deformación).

De modo general puede afirmarse que, a igual densidad, las maderas latifoliadas de los bosques andinos muestran mayor resistencia que la madera de coníferas. Las características de elasticidad son similares o en algunos casos mayores. En ensayos de vigas a escala natural se observan deformaciones importantes antes de que se produzca la falla; si se descarga el espécimen durante el ensayo se recupera casi toda la deformación.

La deformación máxima que se presenta en la rotura, comparada con aquella de límite elástico es grande, lo que resulta en un comportamiento dúctil, mayor aún cuando se trata de vigas en condición verde.

1.3. ESPECIES ESTUDIADAS

Con el objeto de usar racionalmente el heterogéneo bosque tropical, las especies se han agrupado en tres grupos estructurales. Cualquiera de estas especies tiene cuando menos las propiedades asignadas al grupo. Los grupos incluyen un total de 51 especies, que son aquellas que han sido ensayadas a escala natural.

Solamente esas especies, cuyas propiedades pueden considerarse como válidas y confiables, son las que pueden usarse para diseñar con este Manual.

1.4. ESTRUCTURA DE LA MADERA

El personal que se dedica al empleo de la madera para fabricar toda clase de elementos estructurales y muebles, debe tener conocimiento de la madera (materia prima) que emplea para poder entender su comportamiento en diferentes medios. Entre los principales conocimientos están:

- *¿Qué es la madera?* Es la parte sólida de la estructura de los árboles.
- *¿De qué está compuesta la madera?* Si se considera la sección de un árbol cortado perpendicularmente a su eje se le presenta formando capas concéntricas de naturalezas diferentes divididas en dos porciones por la zona generatriz o cambium, en la cual se produce la circulación de la savia, que es el jugo nutritivo del vegetal.

Las células del árbol tienen sus paredes compuestas por celulosa de constitución leñosa, que en su interior; a medida que va creciendo el protoplasma, se va transformando en lignina, la cual llega a taponar la célula, formando así la madera.

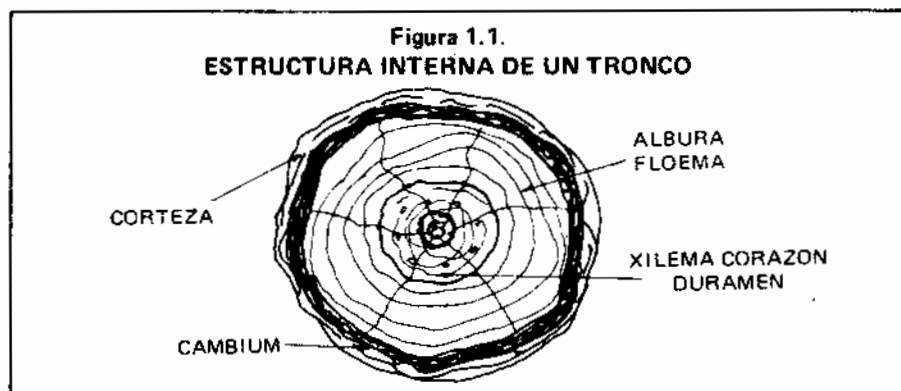
Este fenómeno de Lignificación se realiza desde la parte central del tronco hacia la periferia, dando lugar a dos segmentos bien diferenciados, así:

Xilema o Duramen: En el corte de un tronco en su parte central, el proceso de lignificación se ha realizado de tal manera que todas sus células vegetales vivas se llenaron de Lignina. En el lenguaje popular le llaman "corazón".

Albura o Floema. Se llama así a la parte externa de la madera o tronco que es más clara que el xilema y está constituida por células vivas, ricas en proteínas, almidón, etc.

Cambium: Es el anillo de tejido leñoso reproductor que cubre la parte externa del floema y a continuación la corteza.

Entre la corteza y el cambium hay conductos a manera de arterias, que son los encargados de transportar savia a toda la planta.



1.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA

1.5.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre se encuentra llenando las cavidades celulares. El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares. El agua de constitución se encuentra formando parte de la estructura molecular.

Cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua iniciándose el proceso de secado. En el transcurso del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica; el agua de constitución no se pierde sino por combustión de la madera. En función de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, seco y anhidrido. Se dice que la madera seca está verde cuando ha perdido parte del agua libre, será madera seca cuando ha perdido la totalidad del agua libre y parte del agua higroscópica, finalmente, será madera anhidra cuando ha perdido todo el agua libre y toda el agua higroscópica.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para una muestra de madera, el CH será:

$$\text{CH}\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100$$

El peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a $103^{\circ} \pm 2\text{C}$, también se le llama peso seco al horno.

Existen dos valores de CH que son particularmente importantes, al primero se le llama *Punto de Saturación de las Fibras* (PSF) y es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre, y comienza a perder el agua higroscópica. Al segundo CH se le llama *Contenido de Humedad de Equilibrio* (CHE), cuando la madera expuesta al aire, pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar un CH en equilibrio con la humedad relativa del aire.

El PSF varía de 25 a 35 por ciento. Cuando el CH es menor que el PSF, la madera sufre cambios dimensionales, variando también sus propiedades mecánicas

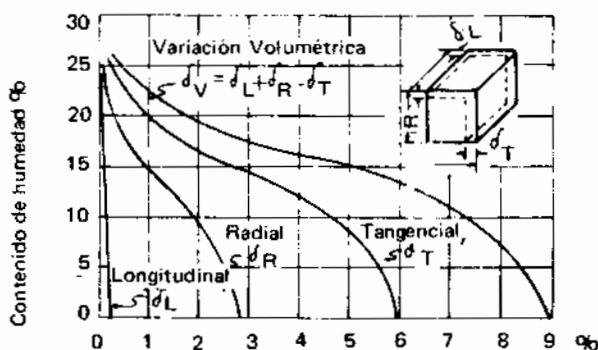
1.5.2. CAMBIOS DIMENSIONALES

Las variaciones en el CH producen cambios dimensionales en la madera, estos cambios se deben principalmente a la pérdida o ganancia del agua higroscópica en la pared celular.

El agua libre de las cavidades celulares no tiene ninguna influencia en la variación de las dimensiones, es decir, los cambios dimensionales se producen cuando el CH varía por debajo del PSF.

La contracción y la expansión presentan valores diferentes en las tres dimensiones de la madera. La contracción longitudinal (CL) es del orden del 0.1 por ciento. La contracción tangencial CT y la contracción radial CR, son las principales responsables del cambio volumétrico. Según Kollmann*, la relación CT/CR varía del 1.65 al 2.30. Los valores de esta relación encontrados para maderas latifoliadas de la región varían de 1.4 a 2.9.

Figura 1.2.
CAMBIOS DIMENSIONALES EN LA MADERA
CON EL CONTENIDO DE HUMEDAD



La contracción (expansión) es para efectos prácticos una función lineal del CH. Considerando que la contracción (expansión) es igual a 0% cuando CH es mayor o igual al PSF e igual a K, cuando el CH ha descendido a 0% se tiene que para una variación a un CH cualquiera entre 0 y PSF, la contracción (expansión) se puede calcular usando la expresión que a continuación se relaciona. Esta fórmula no es aplicable cuando CH_i, CH_f son mayores que PSF.

$$E \text{ ó } C\% = \frac{CH_f - CH_i}{PSF} \times K$$

*/ Kollmann, *Manual de Diseño de Madera de la JUNAC*.

Entre las maderas estudiadas, las contracciones volumétricas obtenidas varían desde el 6% en maderas livianas (Bonga a 20% en Oloroso) (Tabla 1.1.).

Tabla 1.1.
COEFICIENTES DE CONTRACCION TOTAL
(VERDE A ANHIDRO)

Especie	Radial %	Tangencial %	Volumétrica %
1. Aceite marino	6.6	10.9	16.8
2. Bálsamo	5.6	7.2	12.4
3. Bonga	2.3	4.1	6.2
4. Caimito colorado	6.3	9.2	14.9
5. Canime	3.7	5.1	8.6
6. Caracolí	2.7	4.4	7.0
7. Carbonero	6.1	9.5	15.0
8. Carrá	5.7	8.7	13.9
9. Chanul	7.4	11.1	17.7
10. Chaquiro	5.4	8.5	13.5
11. Mora	2.6	4.9	7.4
12. Nato	5.0	9.3	13.8
13. Oloroso	8.0	13.1	20.2
14. Pantano	5.6	10.8	15.9
15. Cocuelo	3.6	4.9	8.4
16. Dormilón	3.9	9.8	13.3
17. Hobo colorado	3.1	5.1	8.0
18. Machare	5.3	11.3	16.0
19. Púnula	3.9	7.1	10.7
20. Sajo	5.6	8.8	13.9
21. Sande	4.1	7.3	11.1
22. Sebo	5.6	10.5	15.5
23. Soroga	4.0	10.3	13.9
24. Tangaré	4.7	8.6	12.9

1.5.3. DENSIDAD Y PESO ESPECIFICO

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre, cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando está en el estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra de madera.

La densidad verde (DV) es la relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV).

La densidad seca al aire (DSA) es la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA).

La densidad anhidra (DA) es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH).

La densidad básica (DB) es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). Es la menor de las cuatro.

La densidad básica es la que se usa con ventaja, ya que las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada. La densidad de la parte sólida de la madera es 1.56 g/cm^3 con variaciones insignificantes entre especies.

El peso específico (PE) es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen del agua desplazado por el volumen de la madera. Considerando que el agua tiene densidad igual 1, puede decidirse que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua, igualan a su peso específico. En el sistema métrico, la densidad y peso específico tienen el mismo valor con la diferencia que éste último no tiene unidades. La gravedad específica es equivalente al peso específico.

1.5.4. EXPANSION Y CONDUCTIVIDAD TERMICA

La medida de cantidad de calor que fluye de un material sometido a un gradiente de temperatura, se llama conductividad térmica. Este valor se expresa comúnmente en kilocalorías por metro, por hora y por grados centígrados. En la *Tabla 1.2* se presentan valores de conductividad de la madera que es solo una fracción de la conductividad de los otros materiales. La madera es por lo tanto un material aislante por excelencia debido a su naturaleza porosa.

Tabla 1.2.
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES

<i>Material</i>	<i>Conductividad en kcal/hora-m-C</i>
Aire	0.0216
Lana mineral	0.03
Madera anhidra (DA = 0.4)	0.03
Madera anhidra (DA = 0.8)	0.12
Corcho	0.08
Mortero de yeso	0.30
Ladrillo	0.50-0.80
Concreto	1.15-1.40
Acero	35.00-50.00
Cobre	350.00

La conductividad térmica de la madera es directamente proporcional al contenido de humedad y a la densidad. Es además de 2 a 2.8 veces mayor en la dirección longitudinal que en la dirección radial o tangencial. Para una madera de densidad básica 0.8 gramos/cm³ y un CH del 30 por ciento, el valor de la conductividad térmica alcanza a 0.20 kcal/hora-m-C.

La madera cambia de dimensiones cuando sufre variaciones de temperatura. La madera como material anisotrópico posee valores diferentes de dilatación térmica en sus tres dimensiones anatómicas. La dilatación tangencial y radial aumentan con la densidad de la madera, siendo la tangencial mayor que la radial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad pero varía entre las especies. Valores típicos de la dilatación tangencial se encuentran entre 3 y 4 x 10 por C. La dilatación tangencial varía entre 25 a más de 40 x 10 por C y la radial entre 15 y 30 x 10 por C.

1.5.5. TRANSMISION Y ABSORCION DEL SONIDO

Una de las principales ventajas de la madera es su capacidad para absorber vibraciones producidas por las ondas sonoras. Esta propiedad está íntimamente relacionada a su estructura fibrovascular, su naturaleza elastoplástica y su densidad. La capacidad que tiene un cuerpo de absorber ondas es directamente proporcional a su densidad. La velocidad con la que se propagan las ondas compresionales en un material elástico es:

$$v = \frac{E}{D}$$

en donde: v = velocidad de las ondas
E = módulo de la elasticidad
D = densidad.

Tabla 1.3.
VELOCIDAD DE LA PROPAGACION DE ONDAS

<i>Material</i>	<i>Densidad</i>	<i>Velocidad en m/seg</i>
Corcho	0.25	430-530
Madera	0.52	4.760
Madera	0.69	4.300
Agua	1.00	1.435
Vidrio	2.50	5.000-6.000
Acero	7.85	5.000

La madera es menos efectiva en bloquear la transmisión del sonido, ya que esta propiedad depende del peso del material y la madera es más liviana que otros materiales estructurales. Por ello es conveniente seguir recomendaciones de diseño que permiten a las construcciones a base de madera aumentar su capacidad de aislamiento.

1.5.6. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

La resistencia eléctrica de las maderas es muy sensible a cambios en su contenido de humedad, variando exponencialmente entre resistencias tan altas como 10.000 Megaohms, para contenido de humedad del orden del 5 por ciento, hasta resistencia de 1 Megaohms en el punto de saturación de la fibra. Sin embargo, bajo condiciones normales de uso, la madera en estado seco al aire se comporta como un material aislante debido a que su resistencia eléctrica es aproximadamente 500 Megaohms.

La conductividad de la madera varía según las tres direcciones anatómicas de la misma. La conductividad paralela a las fibras es el doble que la conductividad en el sentido transversal. Entre la conductividad en el sentido tangencial y radial existe una diferencia de aproximadamente 10 por ciento, siendo en el sentido radial mayor que la tangencial.

Esta característica se aprovecha para medir el contenido de humedad de la madera usando detectores eléctricos que relacionan esta propiedad con la cantidad de agua que se encuentra en la pieza.

1.5.7. COMPOSICION QUIMICA DE LA MADERA

La madera está constituida por los siguientes elementos: Carbono (C), 49 por ciento; Hidrógeno (H), 6 por ciento; Oxígeno (O), 44 por ciento; Nitrógeno (N) y Minerales, 1 por ciento; la combinación de estos elementos forman los siguientes componentes de la madera: Celulosa (40-60 por ciento), Hemicelulosa (5-25 por ciento) y la Lignina (20-40 por ciento).

1.6. PRODUCTOS FORESTALES

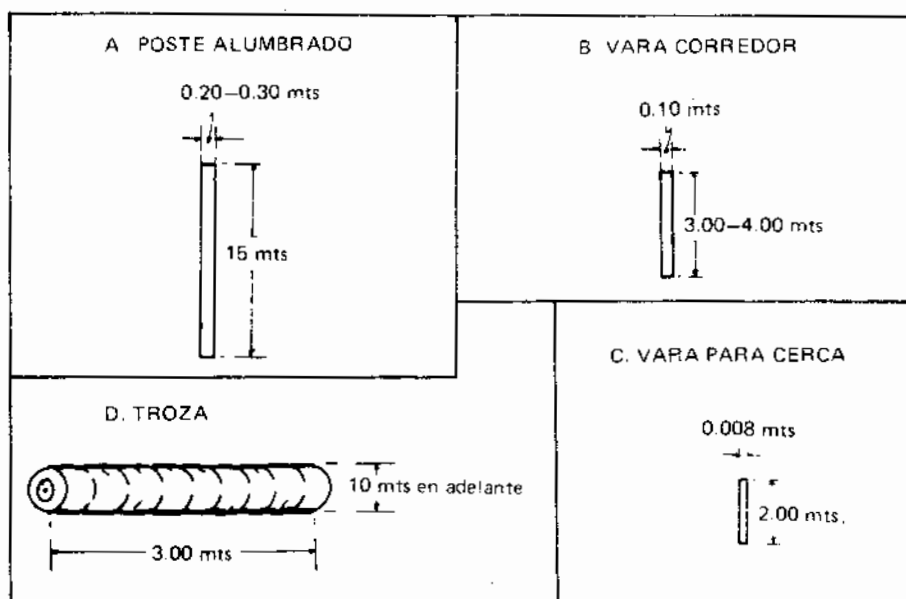
Se pueden clasificar así: Naturales y Artificiales.

1.6.1. NATURALES

Son aquellos que proporciona la naturaleza, sin sufrir alteraciones en su constitución química. Entre éstos figuran:

- a. **Alimentos:** Toda clase de frutos producidos por los árboles.
- b. **Madera:** Que es empleada para la construcción de viviendas, puentes, naves, etc., la cual se utiliza de dos maneras:
- 1) **Madera Rolliza:** El producto se emplea tal y como lo hace la naturaleza, conservando la forma del tallo, siendo procesado únicamente para su tala e inmunización. Entre estos productos están:
 - **Troza:** Pedazo, parte del tronco de un árbol, cilíndrico, generalmente de tres mts de longitud.
 - **Poste de Alumbrado:** Es el tallo completo de un árbol que ha sido sometido a inmunización para evitar plagas y enfermedades, con una altura de 15 mts.
 - **Vara de Corredor:** Son trozos de diámetro de 10 cms de promedio y una altura de 3 a 4 mts; se emplea para vigas, empalizadas, construcción de andamios y techos, generalmente también inmunizadas.
 - **Vara para Cerca:** Tiene una longitud de 2.50 mts y un diámetro de 0.05 a 0.08 mts. Empleada para la construcción de cercas, también es inmunizada.
 - **Vigas Rollizas:** Son varas de 4 a 6 mts de largo y un diámetro de 0.05 a 0.06 mts, que es empleada para la construcción de techos o columnas para construcciones rústicas.

Figura 1.3.
PRODUCTOS FORESTALES NATURALES



2) **Madera Aserrada o Procesada:** La madera de bosque que ha pasado por un aserrado manual o un aserrijo se puede convertir en:

- *Bloque:* $3.0 \times 0.3 \times 0.3$ (0.10 – 0.15 – 0.20) mts³
 - *Pieza:* $3.0 \times 0.3 \times 0.09$ mts³
 - *Tablón:* $3.0 \times 0.3 \times 0.09$ mts³
 - *Tabla:* $3.0 \times 0.3 \times 0.04$ mts³
 $3.0 \times 0.3 \times 0.018$ mts³
 - *Chapa:* $3.0 \times 0.20 \times 0.0021$ mts³
 $3.0 \times 0.20 \times 0.0070$ mts³
 $3.0 \times 0.20 \times 0.005$ mts³
 - *Chafalón:* $3.0 \times 0.20 \times 0.04$ mts³
 $3.0 \times 0.15 \times 0.04$ mts³
 - *Moldura:* $3.0 \times 0.05 \times 0.015$ mts³
 $3.0 \times 0.05 \times 0.015$ mts³
- c) *Bloque:* Es el producto inicial que se origina del proceso del aserrado de una troza, el cual tiene las dimensiones antes anotadas.
- *Pieza:* Divide el bloque en tres o menos partes iguales.
 - *Tablón:* Se deriva del aserrado de un bloque o de una pieza.
 - *Tabla:* Salen dos o más de un tablón. Con un ancho más pequeño.
 - *Chapa:* Es la madera que se emplea en el enchapado de muebles o habitaciones.
 - *Chafalón:* Es la madera que se emplea en usos varios como durmientes, tirantes, etc., debido a sus dimensiones.
 - *Moldura:* Es un producto decorativo que se emplea para enchapar.

1.6.2. ARTIFICIALES

Son aquellos que el hombre procesa para su beneficio, entre éstos figuran:

a. Líquidos:

- | | | | |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| ● <i>Curtiembres.</i> | ● <i>Grasas.</i> | ● <i>Alquitrán.</i> | ● <i>Tiner.</i> |
| ● <i>Medicamentos.</i> | ● <i>Aceites.</i> | ● <i>Gasolina.</i> | ● <i>Látex.</i> |
| ● <i>Gomas.</i> | ● <i>Perfumes.</i> | ● <i>A.C.P.M.</i> | ● <i>Pinturas.</i> |
| | | | ● <i>Venenos.</i> |

b. Sólidos:

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| ● <i>Plásticos.</i> | ● <i>Fibras para telas.</i> |
| ● <i>Papeles varios.</i> | ● <i>Explosivos.</i> |
| ● <i>Cartones.</i> | ● <i>Caucho.</i> |
| ● <i>Celofán.</i> | |

Figura 1.4.
PRODUCTOS FORESTALES ARTIFICIALES

A. LIQUIDOS

Curtiembres



A.C.P.M.



Medicamentos



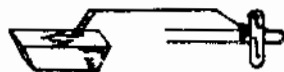
Tiner



Latex



Grasas



Pinturas



Aceites



Venenos



Perfumes



Alquitran



Gasolina



B. SOLIDOS

Plásticos



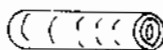
Papeles varios



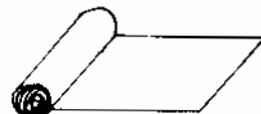
Cartones



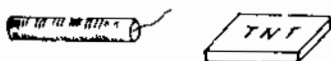
Celofán



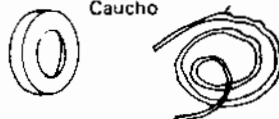
Fibras para telas



Explosivos



Caucho



1.7. FACTORES QUE AFECTAN A LA MADERA TALADA

Se considera como madera talada toda la que ha sido derribada para provecho del hombre; puede ser rolliza o aserrada. Los factores que más la afectan son:

1.7.1. AMBIENTALES

- a. **Temperatura:** Es el calor del medio ambiente, influye sobre la madera de tal manera que el agua que forma parte de la savia, se va evaporando, notándose que los productos tanto rollizos como aserrados en sus puntas presentan una mayor evaporización y en ellas se presentan agrietamientos o rajaduras.
- b. **Humedad:** Es el agua contenida dentro de un recipiente en un momento dado; en el caso de la madera, es la contenida en las células de las mismas; ésta generalmente es ocasionada por la savia que queda en el tronco.
Cuando la madera está seca por absorción adquiere vapor de agua humedeciéndose hasta nivelarse con el medio ambiente que la rodea.
- c. **Humedad—Temperatura:** La combinación de estos factores genera la saturación del medio ambiente con una alta cantidad de vapor de agua. Cuando estos dos factores son altos, se crean las condiciones aptas para la reproducción y desarrollo de toda clase de insectos, hongos y bacterias.
- d. **Vientos:** Los vientos al friccionar el aire contra la madera originan una energía que eleva la temperatura y disminuye la cantidad de humedad de la misma, afectándola cuando su acción es muy fuerte, causando el agrietamiento de las plantas por deshidratación.

1.7.2. ESTRUCTURALES O INTERNOS A LA CONSTITUCION DE LA MADERA

- a. **Tamaño Celular:** A medida que en una pieza o porción de madera, las células que las forman son de mayor tamaño, disminuye la cantidad de ellas, lo que permite que el agua que circula en sus tejidos sea menor por efecto del aire y temperatura que penetra dentro de ella, ocasionando una respiración más acelerada a la par de una mayor evaporación
En este caso, la madera es de poco peso y baja resistencia mecánica.

Si la madera tiene una constitución pesada o maciza, denota que su estructura interna celular tiene mayor cantidad de células más pequeñas, que permite que la madera retenga mayor cantidad de agua, debido al poco aire que penetra dentro de ella. En estos casos es más difícil eliminar la humedad interna.

- b. **Constitución Química:** La madera, por su formación celular, permite que dentro de cada célula se forme lignina hasta llegar a llenar todo el volumen celular, cristalizándose (corazón de madera), en la medida en que la concentración de lignina aumenta; la madera es más pesada y resistente, a la vez que presenta un veteado más bello. En las maderas oscuras se presenta una calidad alta, mientras que en las blancas predomina la celulosa, que las hace propensas al ataque de plagas y enfermedades.

- c. **Forma de la Célula.** La forma de la célula de la madera también afecta su resistencia.

Es así, que cuando se presenta una forma alargada, la capacidad de evaporación del agua interna aumenta, lo que da lugar a que las trizas y demás productos se agrieten al secarse por efecto del vapor de agua que sale por las puntas.

Si es pequeña la forma, constituyen una estructura más compacta, aumentando la resistencia mecánica y la retención del agua.

1.8. PROPIEDADES RESISTENTES DE LA MADERA

En la madera se pueden reconocer tres direcciones principales que pueden considerarse ortogonales entre sí, estas direcciones son: la longitudinal, la tangencial y la radial. En la *Figura 1.5.* puede observarse que la dirección radial y la tangencial son perpendiculares al grano. En la práctica se consideran dos direcciones; la dirección longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano.

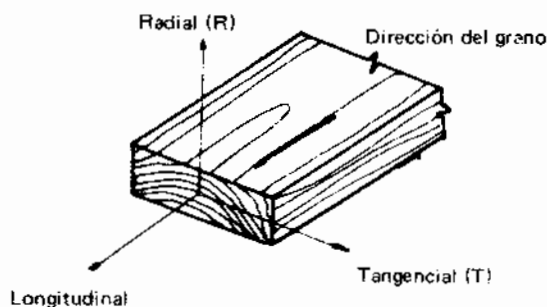
Las principales propiedades resistentes de la madera son: Resistencia a la compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, la flexión, tracción y corte paralelo al grano. Los esfuerzos básicos para cada una de estas propiedades resistentes son obtenidos de probetas pequeñas libres de defectos.

1.8.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION PARALELA

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras.

Esta proviene del hecho de que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy

Figura 1.5.
DIRECCIONES OCTOGONALES DE LA MADERA



cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras.

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. Cuando se trata de elementos a escala natural como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud/ancho) menor que 10, desarrollan toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad. Para elementos más esbeltos, que son los más comunes, la resistencia está determinada por su capacidad a resistir el pandeo lateral, que depende mayormente de la geometría de la pieza más que la capacidad resistente de la madera que la constituye.

La resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción.

Los valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos con probetas de laboratorio varían entre 100 y 900 kg/cm² para maderas tropicales. Esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.8 de D.B.). El esfuerzo en el límite proporcional es aproximadamente el 75 por ciento del esfuerzo máximo, y la deformación es del orden del 60 por ciento de la máxima.

1.8.2. RESISTENCIA A LA COMPRESION PERPENDICULAR

Bajo este tipo de carga, las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje, que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga, la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños

cilindros que semejan las fibras), aumentando la densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga.

La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre $1/4$ a $1/5$ del esfuerzo a límite proporcional en compresión paralela.

Cuando las fibras reciben la carga a un ángulo intermedio entre 0° C (paralela a las fibras) y 90° C (perpendicular a las fibras), la resistencia alcanza valores intermedios que siguen aproximadamente la fórmula de Hankinson* (*Figura 1.10*).

1.8.3. RESISTENCIA A LA TRACCION

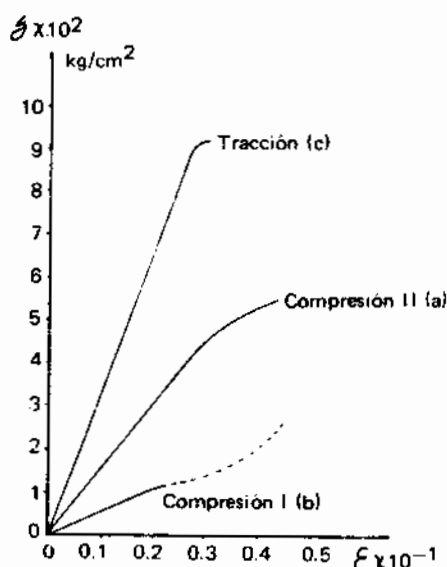
La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. En la *Figura 1.6*, se puede observar el comportamiento lineal y elástico de la curva esfuerzo-deformación, se observa también la naturaleza explosiva y violenta con la que se produce la falla. El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía entre 500 y 1.500 kg/cms². La resistencia a la tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano. Por ejemplo, para una inclinación de 1 en 8(7), el esfuerzo de rotura es del 75 por ciento del esfuerzo de rotura paralelo al grano, para una inclinación de 1 en 4(14), el esfuerzo de rotura es sólo el 45 por ciento. El esfuerzo de rotura perpendicular al grano (90°) es del 2 al 5 por ciento del esfuerzo de rotura paralelo al grano. Para efectos prácticos, la resistencia a la tracción perpendicular es nula. La influencia de otros defectos característicos de la madera hacen que la resistencia de elementos a escala real puede ser tan baja como un 15 por ciento del esfuerzo de rotura en tracción de probetas.

1.8.4. RESISTENCIA AL CORTE

En elementos constructivos, el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado, los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas dos direcciones. La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del "ce-

*/ Hankinson, *Manual de Diseño de la Madera de la JUNAC*.

Figura 1.6.
CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
PARA MADERAS LATIFOLIADAS



mentante" de las fibras —la lignina— a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras, la resistencia es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección paralela.

El esfuerzo de rotura en probetas sometidas a corte paralelo varía entre 25 y 200 kg/cm² en promedio. Es mayor en la dirección radial que en la tangencial. Aumenta con la densidad aunque en menor proporción que la resistencia a la compresión.

En elementos a escala natural hay una disminución por la presencia de defectos como por la influencia del tamaño de las piezas. Por otro lado este esfuerzo casi siempre se presenta combinado con otros, lo que puede resultar en menores valores.

1.8.5. RESISTENCIA A LA FLEXION PARALELA AL GRANO

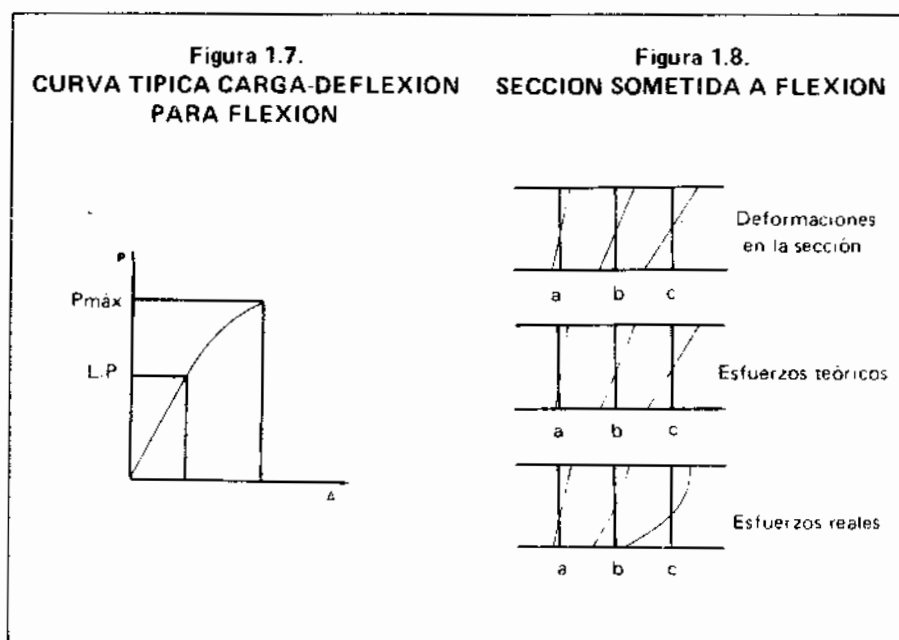
La diferencia entre la resistencia a la tracción y a la compresión paralela, resulta en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión. Como la resistencia a la compresión es menor que a

la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción. En vigas secas, sin embargo, no se presenta primeramente una falla visible de la zona comprimida sino que ocurre directamente la falla de tracción; la *Figura 1.8.* ilustra la situación descrita anteriormente.

Esta información experimental evidencia que la hipótesis de Navier* sobre la permanencia de la sección plana durante la deformación no se cumple, y la aplicación de las fórmulas de la teoría de vigas para el cálculo de los esfuerzos no es estrictamente aplicable. Por lo tanto, la resistencia a la flexión así estimada resulta en esfuerzos mayores que los de compresión y menores que los de tracción.

En la *Figura 1.7.* se presenta una curva típica carga deformación para maderas tropicales, en ella se puede apreciar que la carga en el límite proporcional es aproximadamente el 60 por ciento de la carga máxima.

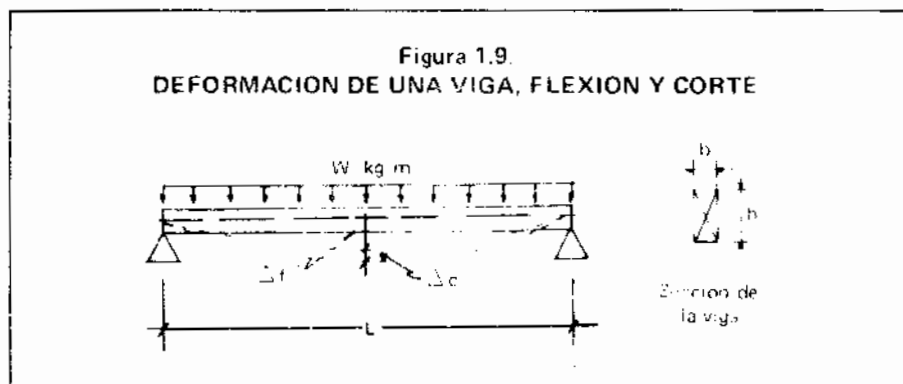
En ensayos de probetas pequeñas libres de defectos, los valores promedios de la resistencia a la flexión varían entre 200 y 1.700 kg/cm² dependiendo de la densidad de la especie y del contenido de humedad.



* Navier, *Manual de Diseño de las Maderas.*

1.9. PROPIEDADES ELASTICAS DE LA MADERA

El módulo de elasticidad, el módulo de corte y el módulo de Poisson, representa las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos según los tres ejes ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril, puede suponerse que el material es homogéneo, lo que permite considerar sólo tres.



1.9.1. MODULO DE ELASTICIDAD (MOE)

El módulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva de esfuerzo-deformación, vg. un ensayo de compresión paralela. Puede ser hallado también por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. Según los resultados obtenidos en maderas tropicales, el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión, criterio básico en su dimensionamiento.

La deflexión en la viga de la *Figura 1.9.* es la suma de dos deflexiones; la debida a flexión y la debida a corte, cuando se obtiene el módulo de la elasticidad se calcula considerando solamente la contribución de la flexión, encontrándose un MOE aparente, menor que el MOE real que tiene el material. El valor del MOE así obtenido es corregido para obtener el MOE real.

Por ejemplo, para una viga simplemente apoyada, con carga uniformemente repartida y sección rectangular uniforme, las deflexiones por flexión y corte son:

$$f = \frac{5}{384} \frac{wL^4}{E I} = \frac{1}{96E} \frac{wL^2}{b h} \left(\frac{L}{h} \right)^2$$

$$c = \frac{1.2}{8} \frac{wL^2}{G A} = \frac{14.4}{96 G} \frac{wL^2}{b h}$$

En donde:

- I = momento de inercia de la sección
- A = área de la sección recta
- E = MOE
- G = módulo de corte
- w, l b y h definidos en la Figura.

La relación entre f y el total = f + c será:

$$\frac{f}{\text{total}} = \frac{1}{1 + \frac{14.4E}{15 G \left(\frac{L}{h} \right)^2}}$$

Así para $(L/h) = 15$ y $(E/G) = 16$, se tiene de la Ec. (1.7) que f es 0.9361 del total, es decir, la deflexión debida a flexión es del 93 por ciento de la deflexión total o la deflexión media.

1.9.2. MODULO DE CORTE O RIGIDEZ (G)

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen, = G. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo el más usual es el que sigue la dirección de las fibras. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de la elasticidad lineal.

1.9.3. MODULO DE POISSON

Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre la deformación lateral y deformación longitudinal. Para el caso de la madera existe en general 6 módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial.

La madera presenta diferentes valores según las direcciones que se consideren. Se han reportado para madera conífera valores del orden de 0.325 a 0.40 para densidades de 0.5 gr/cm³.

1.10. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

1.10.1. DEFECTOS DE CRECIMIENTO

Existen algunas características de la madera que han sido adquiridas o desarrolladas por el árbol durante su crecimiento y por afectar su comportamiento o aspectos de ella se les llama defectos de crecimiento. Las principales son: Nudos, inclinación del grano, fallas de compresión, perforaciones y médula excéntrica.

Los nudos son discontinuidades en la parte leñosa del tronco producidas por el nacimiento y posterior desarrollo de las ramas. La influencia de los nudos en el comportamiento de elementos estructurales depende de la ubicación que éstos tengan con respecto a la distribución de los esfuerzos. En zonas de tracción su influencia es muy importante, no así en zonas de compresión, los nudos producen inclinaciones en la dirección del grano que son zonas débiles de la madera. Existen tolerancias en las dimensiones de los nudos, que dan criterio de rechazo o de aceptación de los elementos estructurales.

La inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco tiene marcada influencia en el comportamiento de los elementos estructurales. La inclinación del grano puede tener dos causas principales: Una inclinación constante que sigue la forma de espiral según la dirección longitudinal del tronco o trozas que por su mal aserrado presentan grano inclinado. La resistencia que presenta una pieza con grano inclinado puede estimarse según la fórmula de Hankison, la cual es función de la resistencia paralela, la resistencia perpendicular y función del ángulo ϕ .

$$N = \frac{PQ}{P \sin \phi + Q \cos \phi}$$

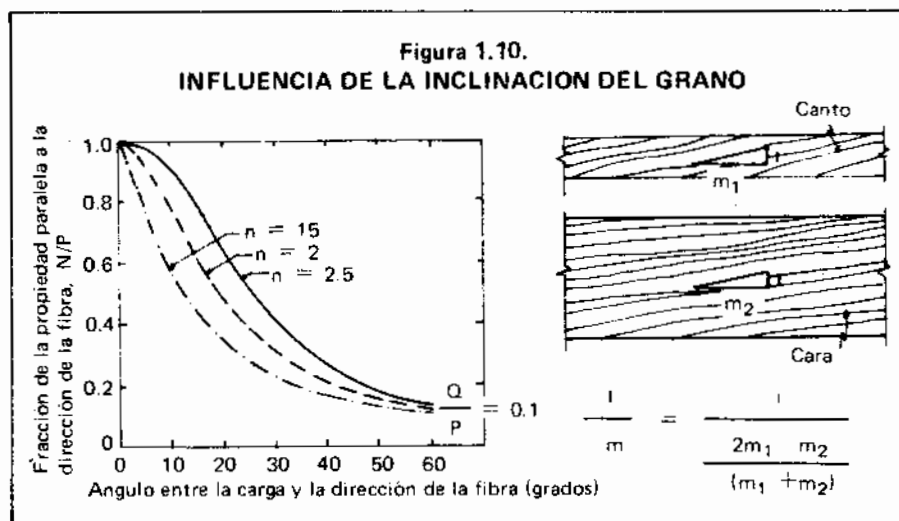
En la *Tabla 1.4*, se presentan los valores de n y Q/P , que han sido encontrados experimentalmente.

En la *Figura 1.10*, se presentan curvas para el valor de la propiedad N en función de ϕ .

Las fallas de compresión son zonas de la madera en que las fibras están interrumpidas. Esto significa que al momento de cargar las piezas

Tabla 1.4.
VALORES EXPERIMENTALES PARA LA FORMULA
DE HANKISON

Propiedades	n	Q/P
Tensión	1.5-2	0.04-0.07
Compresión	2-2.5	0.03-0.40
Flexión	1.5-2	0.04-0.10
Módulo de elasticidad	2	0.04-0.12



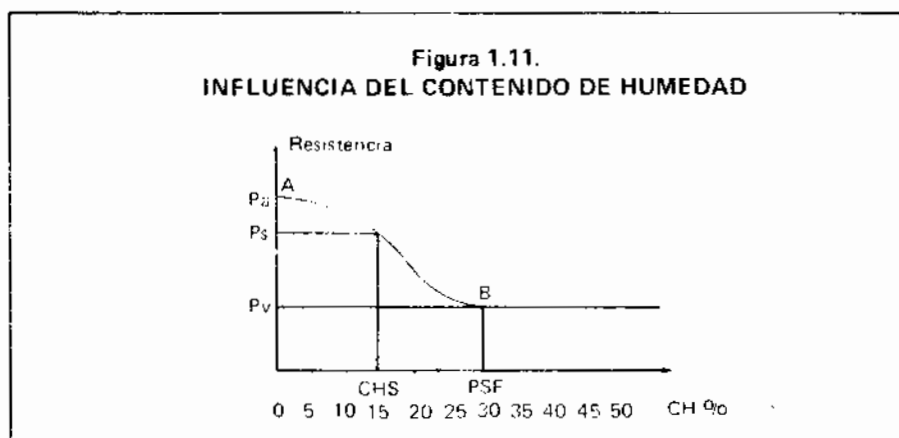
no será posible transmitir esfuerzos a través de dichas secciones. Se deben tomar precauciones especiales para evitar clasificar piezas que incluyan este defecto ya que la resistencia en esas zonas es nula.

Las perforaciones son discontinuidades que aparecen en las piezas de madera que han sido atacadas antes de su aserrado por lo general. La magnitud y número de las mismas está limitada por la regla de clasificación.

La médula excéntrica es consecuencia del crecimiento de árboles en condiciones adversas, tales como, la excesiva pendiente del terreno, la presencia de vientos dominantes en un solo sentido, luz intensa en un solo lado, etc. La médula excéntrica permite que se formen anillos angostos de un lado y anillos anchos en el lado opuesto del tronco, esto produce tensiones internas y una configuración oval de la sección transversal. Las tensiones así "almacenadas" se hacen presentes durante el secado, agrietando y deformando las trozas. Una buena técnica en el aserrado elimina en parte las tensiones y puede mejorar la calidad de la madera.

1.10.2. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

En la *Figura 1.11.* se presenta una curva típica, que representa la variación de la resistencia con el contenido de humedad para probetas pequeñas libres de defectos. En ella se puede observar como la madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad, se puede observar también, que la resistencia permanece constante cuando el contenido de humedad varía por encima del PSF.



La curva resistencia CH se idealiza por una expresión de tipo exponencial, que es la siguiente:

$$P = P_s \left(\frac{P_s}{P_v} \right)^{-k} \quad (1.a)$$

$$k = \frac{CH - CHS}{PSF - CHS} \quad (1.b)$$

En donde:

- P = valor de la propiedad a un CH dado.
- P_s = valor de la propiedad a un CHS.
- P_v = valor de la propiedad en estado verde.
- CH = contenido de humedad.
- CHS = contenido de humedad en estado seco.
- PSF = punto de saturación de las fibras.

El valor de CHS es generalmente el 12 por ciento considerado como el valor que define la madera seca al aire y el PSF se puede considerar

igual al 30 por ciento. Por ejemplo: el valor de una propiedad a un CH del 12 por ciento es igual a 130 unidades, el valor de la propiedad en estado verde es 78 unidades, si el PSF de la especie es 27 por ciento, se desea conocer el valor de la propiedad a un CH del 15 por ciento.

De la Ec (1.b) se tiene que k es igual a $(15-12)/(27-12) = 0.2$, reemplazando en la expresión (1.a) se tiene:

$$P = 130 \left(\frac{130}{78} \right)^{-0.2} = 117 \text{ unidades}$$

Algunos autores, prefieren realizar una interpretación lineal entre dos valores extremos como A y B en la *Figura 1.11*. Para maderas del país se han encontrado los valores indicados en la *Tabla 1.5*.

Tabla 1.5.
VARIACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS
PARA UNA VARIACION UNITARIA EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD

<i>Propiedad</i>	<i>% de variación</i>
Compresión paralela	4.6
Tracción paralela	3
Corte	3
Flexión	4
Módulo de elasticidad	2

En ensayos llevados a cabo en vigas a escala natural se ha observado que en promedio las vigas secas son más resistentes que las húmedas. La falla que se observa en las primeras es por lo general más frágil.

1.10.3. INFLUENCIA DE LA DENSIDAD

La densidad es una medida de la cantidad de material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de ésta. En probetas pequeñas libres de defectos puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir, a mayor densidad mayor resistencia. Los ensayos de laboratorio con estas probetas indican que existe buen nivel de correlación entre todas y cada una de las propiedades mecánicas y la densidad del material. En la *Tabla 1.6*, se presentan algunas correlaciones de tipo exponencial y lineal obtenidas para maderas de la región.

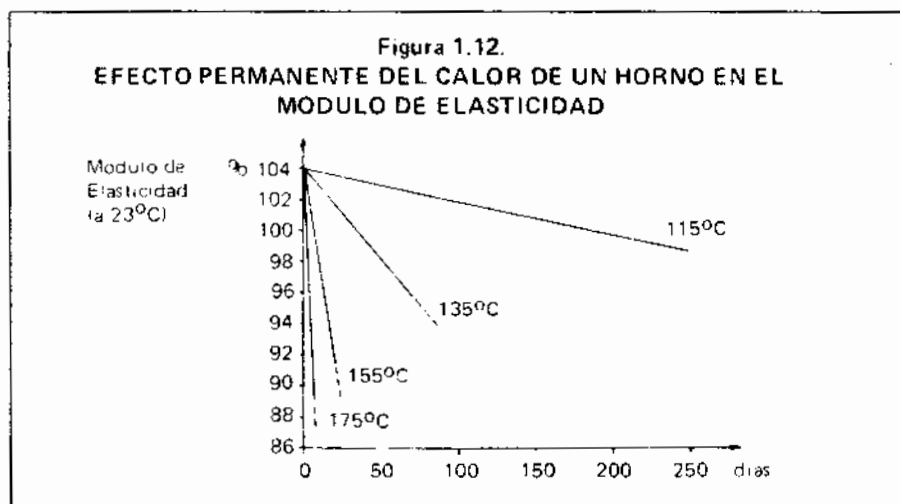
Tabla 1.6.
CORRELACIONES PROPIEDAD MECANICA
vs. DENSIDAD BASICA

Propiedad mecánica (verde) *	Exponencial	Lineal
FLEXION		
Esfuerzo de rotura	1.412	-109 + 1.482
Módulo de elasticidad	186.000	8.000 - 177.000
COMPRESION PARALELA		
Esfuerzo de rotura	708	-83.5 - 777

* / kg/cm³

1.10.4. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

En general, las propiedades mecánicas de la madera disminuyen con el aumento de la temperatura y aumentan con la disminución de ésta. Estos efectos son inmediatos porque cuando la madera es expuesta un tiempo prolongado a altas temperaturas se producen cambios irreversibles en sus propiedades. A un contenido de humedad constante y una variación en la temperatura de alrededor 200°C, la variación de las propiedades (con la temperatura) es aproximadamente lineal y los efectos irreversibles, es decir, que la propiedad regresa a su valor original si el cambio de temperatura es rápido. En la *Figura 1.12*, podemos observar la variación del módulo de elasticidad con el tiempo de exposición en días y para distintas temperaturas, los gráficos han sido obtenidos para cuatro especies de coníferas y dos latifoliadas.



1.10.5. DURACION DE LA CARGA

Cuando un elemento de madera se carga por primera vez se deforma elásticamente. Si la carga se mantiene, se presenta una deformación adicional dependiente del tiempo. Este fenómeno se denomina flujo plástico ("creep"). Para algunas especies latifoliadas se ha encontrado que este incremento de deformación puede llegar a ser, en promedio, de dos a tres veces la deformación elástica inicial. Descargando el elemento, la deformación inicial elástica se recobra totalmente y sólo una fracción de la deformación plástica se recupera tardando un tiempo en hacerlo.

Si en vez de controlar la carga se aplica una deformación constante, y mantenida, el esfuerzo inicial decrece a un 60 por ciento de su valor inicial luego de unos meses. Esta reducción de esfuerzos se denomina relajación.

Además del flujo plástico y de la relajación se presenta un efecto dependiente del tiempo en la resistencia de la madera. Investigaciones llevadas a cabo en probetas pequeñas libres de defectos en el laboratorio indicaban que la carga requerida para producir la falla después de un período de 10 años es aproximadamente el 60 por ciento de la carga que se hubiera requerido en un ensayo de cinco minutos de duración. Por otro lado la carga que una madera puede resistir a una carga de impacto es mayor que la predicha por el mismo ensayo mencionado. Sin embargo, a los niveles de esfuerzo que un elemento estructural de tamaño natural está sometido, esa reducción de la resistencia no es tan dramática y menos evidente. Debe recordarse que los elementos reales se diseñan con esfuerzos admisibles que se basan en la resistencia mínima y están afectados por coeficiente de seguridad que lo reducen aún más.

1.10.6. DEGRADACION

Por ser un material orgánico y natural, la madera está constituida principalmente por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno, puede ser degradada. La degradación de la madera se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son los hongos y los insectos xilófagos que a dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera y si no son detectados a tiempo, destruyen las células que las componen, afectando sus propiedades físicas y químicas y reduciendo severamente su resistencia estructural.

El ataque de hongos xilófagos provoca lo que se conoce como la pudrición de la madera y esta según el tipo de hongo puede ser: "Pudri-

ción Suave o Blanda” cuando se destruye la celulosa y se caracteriza por ser superficial, degradando la madera hasta adquirir una consistencia grasosa de color oscuro. *“Pudrición Blanca”* cuando se destruyen todos los componentes de la madera (lignina y carbohidratos), el material residual semeja un esqueleto de madera sin coloración oscura. *“Pudrición Parda”* cuando se descompone la celulosa y sus pentosas asociadas, afectando poco o nada a la lignina. La parte atacada se contrae agrietándose perpendicularmente a las fibras tomando conformaciones cúbicas.

Otro tipo de ataque es el ocasionado por los mohos y hongos cromógenos. Estos organismos no destruyen las células sino que se alimentan de las sustancias que contienen en su interior. Atacan la madera con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (27 a 32 por ciento de CH).

Los mohos requieren abundante humedad constituyendo formaciones algodonosas en la superficie. En la madera seca se eliminan fácilmente mediante el cepillado. Los hongos cromógenos penetran en la madera oscureciéndola por zonas como el ataque conocido con el nombre de Mancha Azul.

Para evitar el ataque de organismos biológicos degradantes, la madera sin durabilidad natural, puede ser tratada mediante la impregnación de sustancias preservantes.

La durabilidad natural de la madera depende principalmente de la especie y de la zona del tronco de donde ha sido extraída. Generalmente el duramen contiene sustancias tóxicas como las fenólicas por ejemplo, que rechazan a los agentes biológicos que quieran invadirla. En su estado natural, la albura se considera no durable.

1.10.7. ATAQUE DE INSECTOS

La madera atacada por insectos es fácilmente destruida por lo que es necesario protegerla adecuadamente.

Por lo general se consideran dos tipos de insectos que atacan la madera: unos los que atacan antes de su puesta en servicio y los otros, que son los más importantes desde el punto de vista del usuario, que atacan después de su puesta en servicio. Dentro de estos figuran: los termitas subterráneos y los de madera seca —que son los más dañinos— y los de nido aéreo: Los escarabajos tipo *lyctus* o bostrichidos y las hormigas carpinteras o comejenes. Los termitas se alimentan de la madera y la utilizan como vivienda, perforando túneles dentro de ella que la debilitan seriamente. Los escarabajos depositan sus huevos en los poros de la madera, de donde nace la larva que perfora túneles en el interior. Las hormigas carpinteras aunque no se alimentan de la madera, la perforan con el objeto de fabricar galerías para vivir.

1.10.8. ATAQUES QUÍMICOS

El efecto de las sustancias químicas en la madera es altamente dependiente del tipo específico de compuesto. Líquidos que no producen hinchamiento de la madera, como aceites de petróleo o creosota, no tienen efectos apreciables, mientras que líquidos que hinchan la madera, tales como el agua y el alcohol, pueden tener algún efecto aún cuando no produzcan degradación química. Esta pérdida en las propiedades dependen del hinchamiento y éste es un proceso reversible. Por otro lado, soluciones químicas que descomponen las sustancias constitutivas de la madera tienen un efecto permanente. Se pueden hacer las siguientes generalizaciones:

- Algunas especies son bastante resistentes al ataque de minerales diluïdos y ácidos orgánicos.
- Ácidos oxidantes degradan la madera más que ácidos no-oxidantes.
- Soluciones alcalinas son más destructivas que soluciones ácidas.

La protección a la madera contra ataques de insectos o contra el fuego se logra mediante tratamientos con preservantes o con sales retardantes del fuego. Las propiedades mecánicas prácticamente no cambian con los preservantes, pero son afectadas en algo por la combinación de los métodos de tratamiento químico retardante al fuego, métodos de tratamiento y secado al horno. Comúnmente la resistencia a la flexión se reduce alrededor del 10 por ciento, sin embargo, la rigidez no es afectada apreciablemente.

CAPITULO II

2.1. ASERRADO

El primer procesamiento al que se somete un tronco luego de su extracción del bosque es el aserrado. Este se realiza mediante sierras de cinta o con sierras circulares de grandes dimensiones. La práctica importante se concentra en la obtención de piezas de dimensiones grandes, dejando para una etapa posterior la obtención de secciones más pequeñas. Esta última operación se denomina reaserrado y por lo general se ejecuta con sierras de menor dimensión y muchas veces directamente en los depósitos.

La diversidad de especies del bosque tropical y sus diferentes características anatómicas, mecánicas, rango de densidades, entre otras, plantea condiciones variadas para su procesamiento. Hay especies de gran densidad que son difíciles de aserrar con las sierras convencionales (en su mayoría desarrolladas para maderas coníferas, con diferente estructura anatómica), otras que contienen sustancias corrosivas o extractos que dificultan el proceso. La mayoría, sin embargo, puede aserrarse sin mayores dificultades. Las maderas que oponen dificultad al aserrado también pueden trabajarse con éxito, introduciendo variantes en la velocidad de las sierras o en la inclinación de los dientes (ángulo de ataque).

2.1.1. CORTES DEL TRONCO

La madera puede cortarse del tronco de tres maneras distintas: tangente a los anillos de crecimiento, obteniéndose lo que se llama madera de "corte tangencial" perpendicularmente a los anillos es decir siguiendo la dirección de los radios o de los radios de la circunferencia

definidas por los anillos, obteniéndose madera de "corte radial" (*Figura 2.1.*) y siguiendo una dirección arbitraria obteniéndose en general madera de "corte oblicuo".

Para la obtención de piezas con estos cortes, el tronco debe disponerse en el carro de tal manera que permita a la sierra estos ángulos en correspondencia con los radios o anillos. Si se desea producir principalmente piezas con un tipo de corte determinado será necesario rotar sucesivamente el tronco en el carro.

Para producir madera de calidad estructural es conveniente aserrar las piezas en corte radial, para reducir las distorsiones y defectos debidos al secado. Por ser el tronco cilíndrico, esto no es siempre posible, por lo que debe decidirse el tipo de elemento que se quiere obtener con este corte —por ejemplo vigas o viguetas— y aserrar el resto para otros tipos de elementos menos exigentes en estabilidad dimensional.

Otro aspecto importante que se debe considerar para controlar las distorsiones por concentración de esfuerzos es realizar el aserrado liberando progresivamente las tensiones presentes en el árbol. Esto se efectúa alternando los cortes entre ambos lados del tronco.

Desde el punto de vista del diseñador o constructor, la actividad del aserradero escapa de su control, aunque siempre puede servirse de esta información para reconocer las piezas y su tipo de corte o solicitar de antemano que el aserrado se realice siguiendo estas consideraciones.

Normalmente la madera radial o tangencial no es exactamente cortada perpendicular o paralelamente a los anillos de crecimiento; se considera sin embargo madera radial a aquella cuyos anillos hacen un ángulo de entre 60 y 90 grados con la cara mayor. Se acepta como madera tangencial a aquella cuyos anillos hacen un ángulo entre 0 a 30 grados. A la madera cuyos anillos hacen un ángulo entre 30 y 60 grados se denomina oblicua. Madera para otros usos no estructurales se produce con otros cortes que no es el radial y muchas veces se prefiere por razones decorativas.

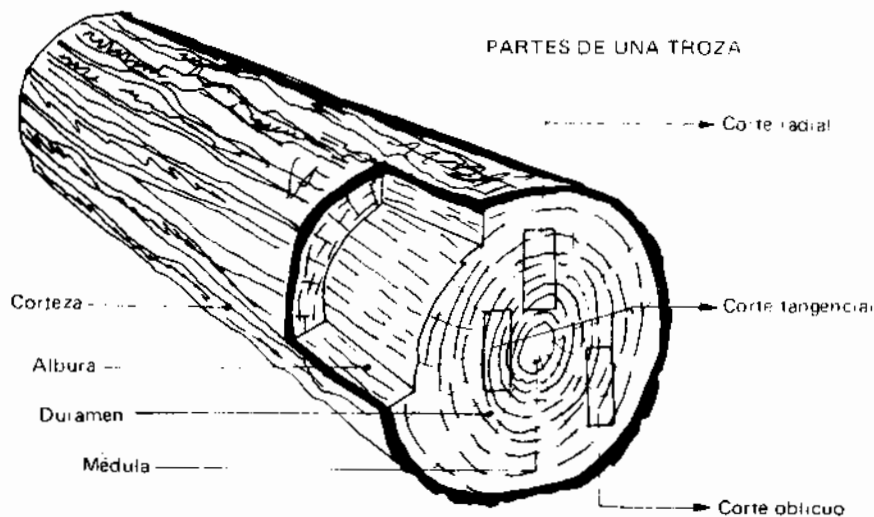
2.2. SECADO

Es la utilización de un clima determinado para extraer el contenido de humedad de la madera hasta el deseado.

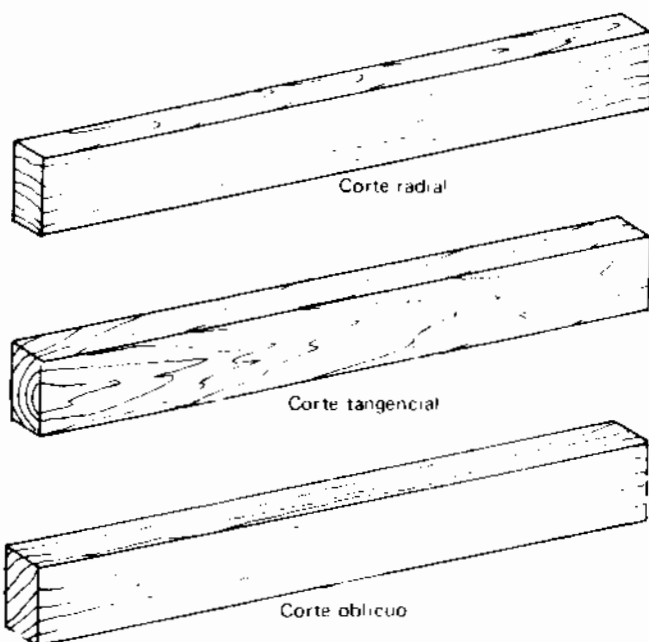
2.2.1. INFLUENCIA DEL SECADO SOBRE LOS ELEMENTOS DE MADERA

En probetas de laboratorio se ha comprobado que la madera al secarse mejora sus propiedades tecnológicas y estabilidad dimensional: Es por eso que prácticamente todas las maderas reciben un acondicionamiento físico antes de su empleo.

Figura 2.1.
DENOMINACION DE LOS TIPOS DE CORTE SEGUN
SU ORIENTACION EN EL TRONCO



PARTES DEL TRONCO

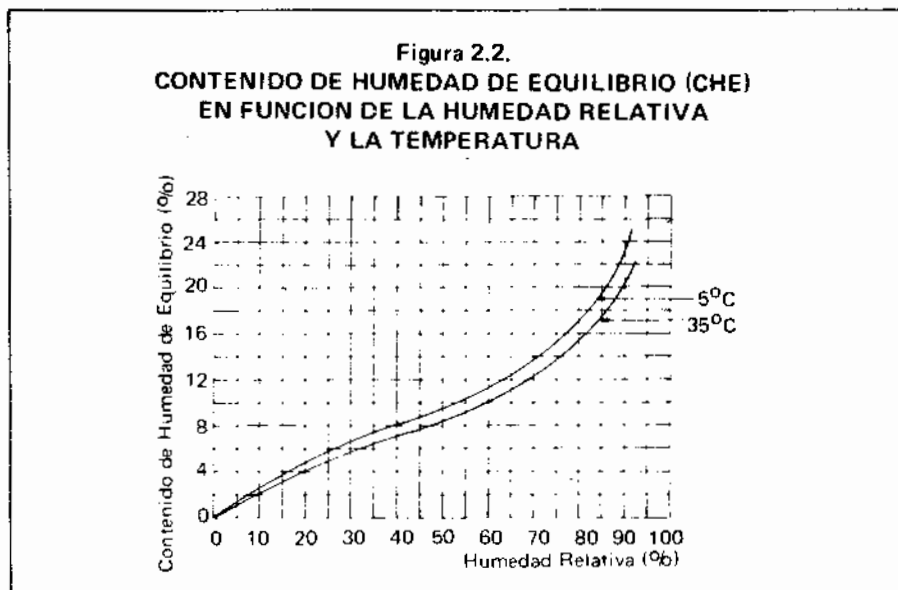


La eliminación del agua obedece a diversos propósitos, algunos de los cuales son indispensables para conseguir buena calidad de los productos acabados (durabilidad y estabilidad en las dimensiones, por ejemplo) y economía en la producción (reducción del peso de la madera).

Cualquiera que sea el método, debe tenerse en cuenta que en este proceso se producen cambios dimensionales que pueden originar defectos en la pieza. La técnica del secado tiene, por consiguiente, que evitar fundamentalmente la aparición de defectos que disminuyen su valor o la limiten para determinado uso, y debe además aplicarse tomando en cuenta la rapidez y economía del secado. Otra de las funciones del secado es obtener un producto que tenga un contenido de humedad (CH) compatible con el que tendrá que adquirir una vez que esté puesto en servicio. Este CH denominado de equilibrio (CHE) depende fundamentalmente de las condiciones ambientales a las que se encuentra sujeta la madera.

Para usos específicos en construcción se pueden presentar diferentes alternativas.

Por ejemplo, las piezas de madera que van a ser utilizadas bajo agua o en contacto con el suelo, no es necesario que sean secadas a menos que vayan a ser sometidas a tratamientos de preservación. La madera estructural para vigas puede ser utilizada directamente en estado verde si el tiempo y costo del secado resultan excesivos. En caso de madera estructural como viguetas, se debe utilizar la madera con un CH cercano al CHE.



La madera que será utilizada en pisos, ya sea en forma de tablas o parqué, en molduras, puertas, ventanas o machihembrado requiere de un secado cuyo grado puede ser incluso inferior al de la humedad de equilibrio del lugar.

Con la posible excepción de piezas de grandes dimensiones, es conveniente proceder a un secado previo a la madera para obtener ventajas en su utilización. La madera seca tiene menor peso, mayor capacidad mecánica, mejor estabilidad dimensional, menor susceptibilidad al ataque de organismos xilófagos, permite un mejor aislamiento térmico, acústico y eléctrico, una mejor penetración de preservantes en tratamientos industriales y una aplicación más eficiente de pinturas y barnices.

Para reducir el CH de la madera se tienen dos tipos de métodos comúnmente usados en la industria. Secado al aire o secado natural y secado artificial.

2.2.2. SECADO NATURAL

Este tipo de secado se consigue exponiendo la madera a la acción del medio ambiente. El éxito de esta práctica depende de la forma en que se apile la madera, la cual debe permitir la libre circulación del aire alrededor de cada pieza que se seca. La evaporación del agua y su difusión en forma de vapor dependen de la temperatura, estado higrométrico y velocidad del movimiento del aire. Estos factores son los que influyen sobre la intensidad y velocidad del secado.

La madera recién aserrada no debe exponerse directamente al sol por ser propensa al agrietamiento. Para evitar el ataque de insectos y hongos, durante el primer período de secado, se sumerge la madera recién aserrada en soluciones preservadoras como pentaclorofenato de sodio al 2 por ciento.

Mientras la migración de humedad se produzca exclusivamente por los conductos capilares, la madera cede y gana agua con igual facilidad en la dirección de las fibras así como perpendicularmente a ellas; pero sucede lo contrario cuando las fibras no han llegado al estado de saturación. La migración radial es de 20 a 25 por ciento menor a la longitudinal; es por eso que si la salida de agua es muy rápida, se rajan los extremos. Es una buena práctica pintar los extremos con pinturas de aluminio o al óleo para evitar la pérdida acelerada de humedad.

El secado al aire se realiza generalmente en patios de secado ubicados en un terreno plano, alto con buen drenaje y sin obstáculos que impidan la libre circulación del aire.

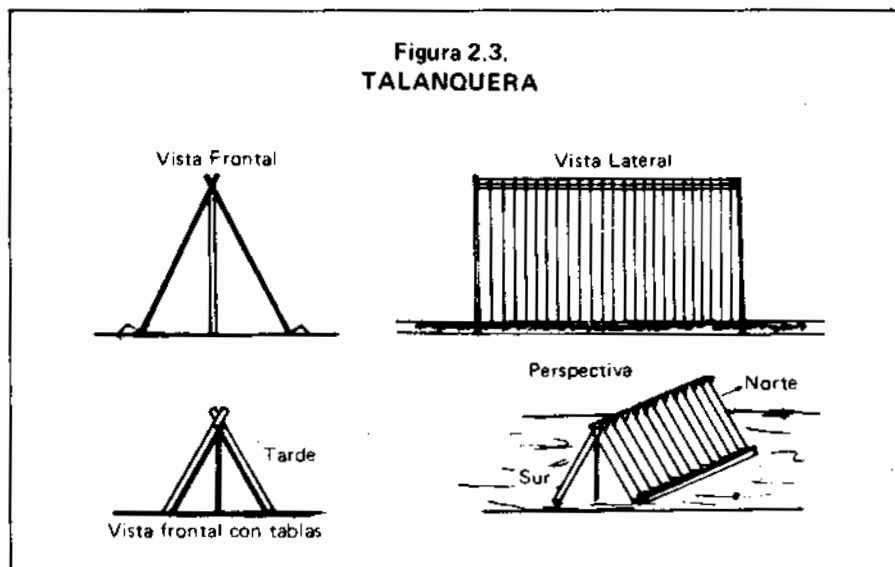
El sitio debe mantenerse limpio, cortando el crecimiento de vegetación, así como la acumulación de desperdicios que puedan afectar el estado sanitario de la madera.

El secado natural o al aire, es la forma más sencilla y a veces la más económica para secar la madera, sobre todo si se dispone de buenos patios de secado y condiciones climáticas apropiadas.

El apilado de la madera puede hacerse de varias formas, pero la más común, para la madera aserrada, es la denominada pila horizontal.

2.2.2.1. TALANQUERAS

Consiste en colocar la madera o tablas sobre un apoyo de madera de tal manera que se crucen en forma de equis X. Cada semana, cambiar las puntas de las tablas, de tal manera que las altas pasen hacia abajo y viceversa. Este movimiento se realiza para evitar que la madera se raje, pues la evaporación en las puntas es alta por la influencia de la temperatura solar y si se descuidan las tablas se cuarteán.

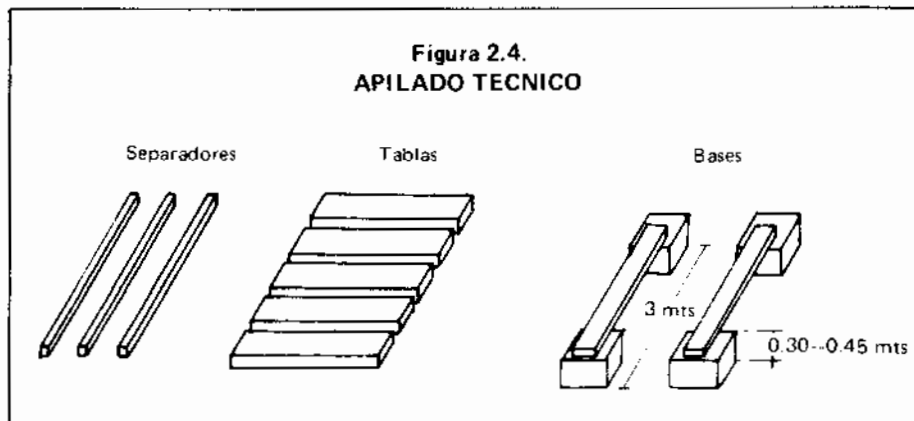


2.2.2.2. APILADO

Consiste en colocar la madera en disposición horizontal cuando se pretende almacenar por algún tiempo en condiciones que le permitan mantener un nivel de secado óptimo.

Condiciones del apilado

1. **Orientación:** Las puntas deben quedar de tal manera que el sol actúe en un lado por la mañana y en el otro por la tarde, para que la

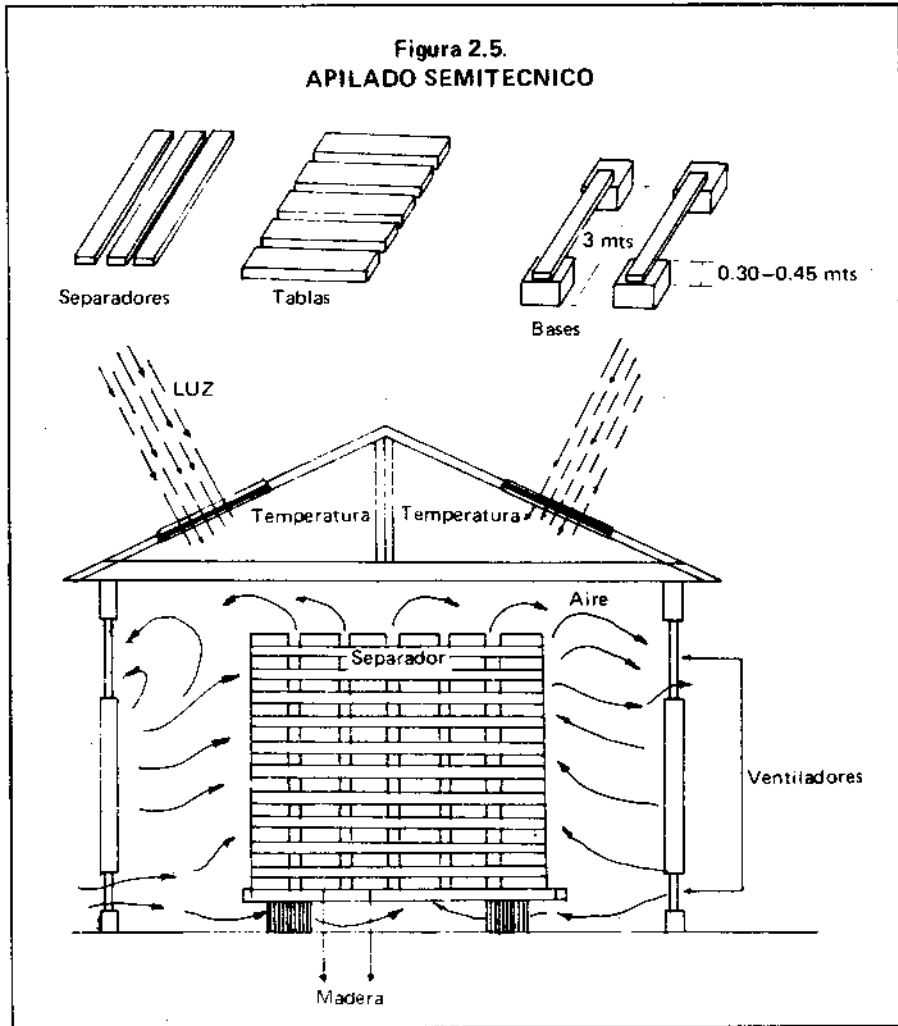


evaporación en las puntas no sea constante todo el día, porque se pueden rajar.

2. *Ventilación:* Las tablas deben quedar sobre un apoyo a la altura de 20 a 30 cms sobre el suelo y colocarse cada tendido dejando 5 cms de espacio entre las tablas. Cuando las tablas se han presecado en la talanquera, se puede entrecruzar los tendidos de apilado, para que el contacto entre tablas no va a quedar humedad que pueda generar hongos y plagas.

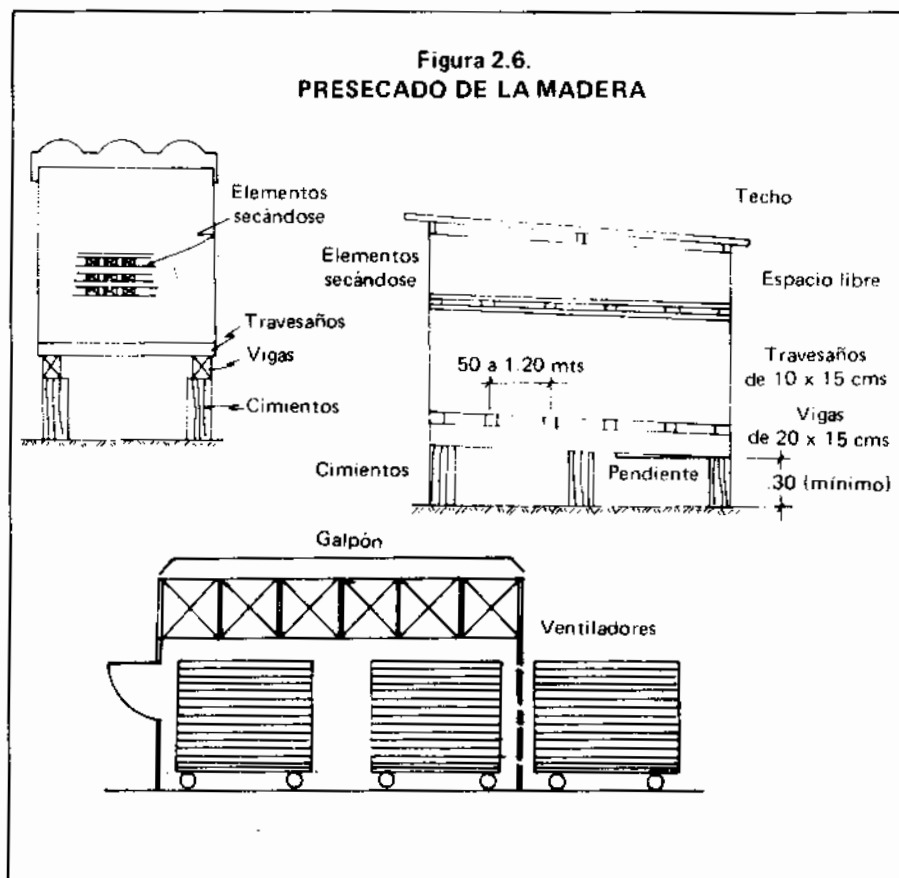
Si la madera se va a almacenar sin haberse presecado en talanquera, es necesario colocar cada tendido sobre listones secos separados, para evitar el contacto entre tablas húmedas y acelerar el secado al incrementar la aireación.

3. La longitud máxima de una pila debe ser de 3.0 mts.
4. El ancho 2 a 3 mts.
5. La altura de 2 a 3 veces el ancho.
6. Para almacenamiento prolongado, se debe colocar sobre la pila un cobertizo o dentro de una ventilación amplia y con claraboyas.
7. Los listones separadores deben tener las siguientes especificaciones:
 - Una altura correspondiente al espesor de las tablas.
 - Los listones serán de una especie resistente a hongos, insectos, golpes. En lo posible, inmunizados.
8. Al aprovechar la madera de una pila, es preferible emplear la madera más baja, debido a que lleva mayor tiempo de secado y almacenaje.



2.2.2.3. PRESECADO

El presecado es una modificación del secado del aire que puede tener diversas modalidades, pero que básicamente consiste en proteger la madera apilada de la acción directa de la lluvia mediante la construcción de galpones en los cuales pueden instalarse sistemas sencillos para el movimiento e incluso el calentamiento del aire. En esta forma, es posible reducir el tiempo del secado a una fracción de aquel que se requiere para secar la madera mediante el secado al aire.

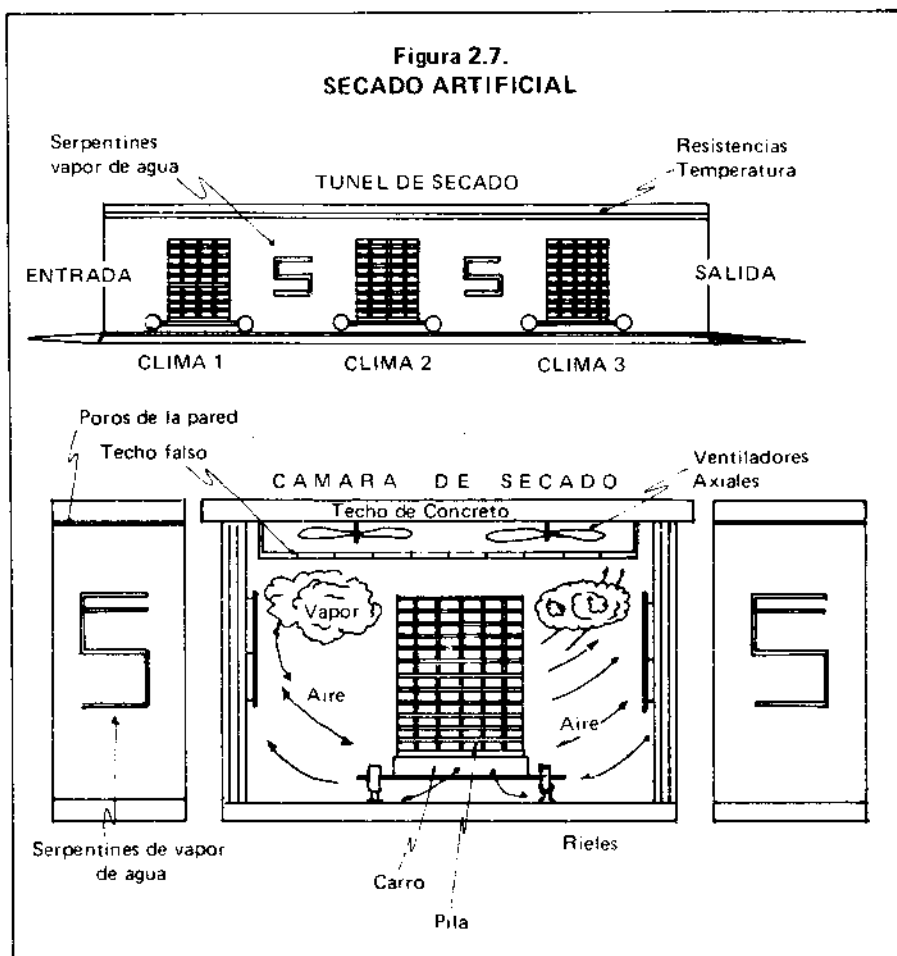


2.2.3. SECADO ARTIFICIAL

El secado artificial es el proceso por el cual se elimina el agua de la madera mediante el empleo de temperatura, humedad y ventilación, diferentes a las naturales, obtenidas por medio de aparatos e instalaciones especiales, siendo los hornos secadores los más comunes. El secado artificial reduce considerablemente el tiempo de secado y la madera secada artificialmente adquiere mejores propiedades.

2.2.3.1. PROCEDIMIENTO DE SECADO EN HORNOS

Una vez introducida la carga de madera dentro del horno, se controla cuidadosamente la temperatura y humedad de la cámara, éstas pueden variar a voluntad del operador, de acuerdo con la clase de madera.



Los cambios de temperatura y humedad relativa que el operador deberá realizar durante el tiempo de secado constituyen lo que se denomina programa de secado.

El programa de secado es suave cuando los cambios de temperatura y humedad se realizan en períodos más o menos largos de tiempo; en caso contrario, el programa de secado será severo, existiendo evidentemente el caso intermedio o programa moderado.

Prácticamente cada especie tiene un programa propio de secado. Con suficiente experiencia se puede formular un programa para una especie determinada o grupos de especies de similar comportamiento, basándose en el tiempo de secado; sin embargo, este programa variará también con el grosor de las tablas y con el CH de la madera al iniciarse el secado.

El CH de una tabla que está secando, representa un índice de las tensiones que se desarrollan dentro de ella. En las primeras etapas del secado se debe usar humedad relativa alta, para controlar los esfuerzos de tracción sobre la superficie de la tabla.

Al final del secado, la humedad relativa baja compensa estos esfuerzos de la madera y ésta no sufre deformación.

En las etapas intermedias del secado, la superficie de la tabla estará en compresión, pudiendo resistir humedades relativas algo bajas, sin peligro de rajar la superficie.

2.2.3.2. PRECAUCIONES PARA EL APILADO EN EL SECADO ARTIFICIAL

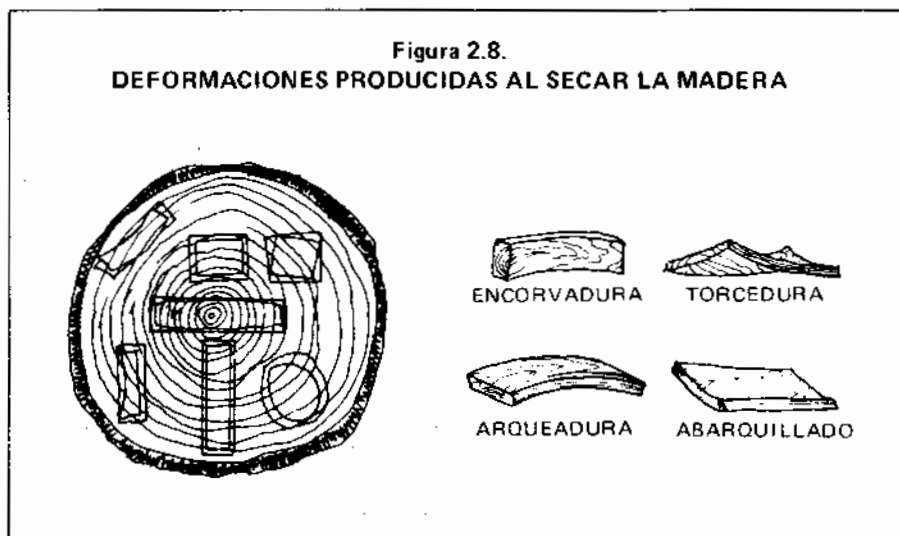
1. Las tablas deben estar limpias.
2. De la misma especie.
3. Que tenga un contenido de humedad aproximado entre sí.
4. El espesor de las tablas debe ser homogéneo.
5. Apilar hasta cerca al techo falso de la pila, para lograr un mejor aprovechamiento del horno.

2.2.4. VARIACION DIMENSIONAL

Cuando se seca la madera se presentan contracciones que son las que originan los cambios dimensionales de las piezas de madera al cambiar su contenido de humedad.

Para disminuir los cambios dimensionales en los elementos de la estructura, la madera se seca a un contenido de humedad entre 12 y 15 por ciento antes de usarla. Los diferentes cortes de las piezas pueden influir notablemente en las deformaciones que ésta pueda presentar luego de secarse (*Figura 2.8.*) y debido a las diferencias entre la contracción radial y tangencial, por lo que se recomienda que las piezas para el material estructural presenten de preferencia corte radial.

Cuando se utiliza madera con un alto contenido de humedad, es necesario considerar los cambios dimensionales que se presentan por la contracción. En esta misma sección, se mencionan algunos aspectos a considerar en el diseño de edificaciones de madera debido a los posibles cambios dimensionales.



2.2.5. DEFECTOS ORIGINADOS POR EL SECADO

La humedad de la madera, no está uniformemente repartida, es máxima en el centro y mínima en las capas externas. Esto origina en la madera que se seca, que la humedad circule del centro hacia la periferia, con una velocidad que es función de la diferencia del CH entre las dos zonas.

En una pieza de madera el secado comienza desde la superficie. La madera, una vez que su CH baja del punto de saturación de las fibras (PSF) empieza a contraerse. La contracción, sin embargo no alcanza a manifestarse en toda su magnitud debido a la restricción impuesta por la madera, todavía húmeda, del interior. En estas circunstancias, las capas exteriores de la madera se estabilizan en una dimensión mayor que la que le correspondería si pudiese contraerse libremente, quedando en estado de tracción. A su vez trata de reducir el interior a una menor dimensión, pero como éste todavía no empieza a contraerse, queda en estado de compresión.

Al continuar el proceso de desecado, las capas inferiores empiezan a secar bajo el PSF y se contraen, pero en magnitud inferior a lo normal pues se lo impiden las capas exteriores estabilizadas en un estado de dilatación forzada. De esta manera se produce una inversión de tensiones quedando el centro de la pieza en estado de tracción y el exterior en estado de compresión.

La situación antes descrita combinada con el tipo de corte que tiene la madera y los diferentes coeficientes de contracción, producen alebeos, colapso y cuando las tensiones exceden ciertos límites se producen rajaduras y grietas.

Tabla 2.1.
TIEMPO APROXIMADO DE SECADO (DIAS) PARA MADERA DE
DENSIDAD BASICA (D.B.)
Promedio y CH Inicial entre 60-70 por ciento

<i>Velocidad secado</i>	<i>Bogotá (aire libre)</i>	<i>Medellín (aire libre)</i>	<i>Mérida (en galpón)</i>
MR	< 33	< 6	< 50
R	33 - 70	6 - 12	50 - 105
M	71 - 140	13 - 25	106 - 210
L	> 14	> 25	> 210
D.B.	0.58	0.42	0.58

PROGRAMAS DE SECADO

<i>CH de la madera (%)</i>	<i>Temperatura °C</i>		<i>Humedad relativa aproximada (%)</i>
	<i>Termómetro seco</i>	<i>Termómetro húmedo</i>	

Programa Fuerte para maderas latifoliadas de secado fácil, A

Verde	60	56	80
60	65	58	70
50	70	60	60
40	75	61	50
30	80	62	40
20	80	60	35

*Programa Moderado para maderas latifoliadas de secado lento
o que son propensas a sufrir ciertas deformaciones o agrietaduras, B*

Verde	50	47	80
60	55	49	70
40	60	51	60
30	65	52	50
25	70	54	40
20	70	50	35

Programa Suave para maderas latifoliadas de secado difícil, C

Verdes	40	37	80
40	40	35	70
30	45	37	60
25	50	40	50
20	55	42	40
15	55	37	30

Tabla 2.2.
COMPORTAMIENTO AL SECADO
DE MADERAS TROPICALES

<i>Especie</i>	<i>Aire 1/</i>	<i>Horno 2/</i>	<i>Defectos principales Secado en Horno 3/</i>
1. Aceite marino	---	C	Torcedura-Encorvadura
2. Bálsamo	---	---	-----
3. Bonga	M	A	Torcedura-Abarquillado
4. Caimito colorado	R	A	Rajaduras-Abarquillado
5. Canime	---	A	Torcedura-Rajadura
6. Caracoli	M	A	Encorvadura-Arqueadura
7. Carbonero	M	A	Torcedura-Encorvadura
8. Carra	MR	A	Torcedura-Abarquillado
9. Chanul	R	C	Torcedura-Arqueadura
10. Chaquiro	M	B	Abarquillado-Torcedura
11. Cocuelo	M	A	Arqueadura-Encorvadura
12. Cuangare	---	A	Torcedura-Abarquillado
13. Dormilón	M	C	Torcedura-Arqueadura
14. Hobo colorado	M	A	Arqueadura-Encorvadura
15. Machare	MR	---	-----
16. Mora	R	C	Torcedura-Arqueadura
17. Nato	M	---	-----
18. Otoroso	R	---	-----
19. Pantano	R	C	Torcedura-Encorvadura
20. Punula	R	A	Rajadura-Torcedura
21. Sajo	---	B	Torcedura-Abarquillado
22. Sande	MR	A	Torcedura-Encorvadura
23. Sebo	---	A	Torcedura-Abarquillado
24. Soroga	---	A	Torcedura-Abarquillado
25. Tangare	M	C	Torcedura-Arqueadura

2.3. PROTECCION DE LA MADERA

La madera, como cualquier otro material, tiene sus limitaciones. Una de ellas, quizá la más importante, es la posibilidad de sufrir ataque de insectos y hongos; o de ser afectada por el fuego, desgaste mecánico y otros, por lo que es necesario preservarla.

2.3.1. PRESERVACION

La durabilidad natural de la madera es la resistencia que opone este material a la pudrición por hongos o al ataque de insectos u otros

agentes destructores. Ciertas clases de madera son notables por su resistencia biológica. Su empleo debe ser recomendado para las situaciones más expuestas. Otras maderas son de buena o regular durabilidad y finalmente, hay maderas que son conocidas por su facilidad para ser atacadas.

La densidad de la madera es un índice de durabilidad; así por ejemplo, las más pesadas son en general las más durables. Esta apreciación tiene muchas excepciones y por ello, en cada caso es necesario determinar la durabilidad real de la especie.

La durabilidad natural se puede aumentar mediante procedimientos artificiales, ya sea por un simple secado o por tratamientos preservadores especiales.

La preservación de la madera es la respuesta moderna de la técnica para satisfacer los requisitos tecnológicos actuales y futuros, frente al agotamiento de los bosques naturales con maderas naturales durables, reemplazados paulatinamente por especies de crecimiento rápido.

2.3.2. TIPOS DE PRESERVANTES

La preservación o inmunización de la madera tiene por objeto modificar la composición química de este material, haciéndolo no apetecible a los organismos biológicos.

El efecto protector se consigue tornando a la madera venenosa o repelente a los elementos biológicos que la atacarían, sino estuviese preservada:

Los preservadores pueden ser compuestos químicos puros o mezclas de compuestos. Varían ampliamente en naturaleza, eficiencia y costo. Por lo general son compuestos sólidos que requieren de un solvente para penetrar en la madera. Se agrupan según el tipo de solvente que necesitan, en: Hidrosoluble y oleosolubles, según sea agua o aceite lo que necesita para disolverse.

Para que un preservador sea tóxico, ha de ser suficientemente soluble en los líquidos celulares de los agentes biológicos, para que proporcione una dosis letal. Como estos líquidos son principalmente agua, esto significa que el preservador ha de ser hidrosoluble, por lo menos parcialmente.

En la madera se desea un grado elevado de protección, en consecuencia, el preservador debe penetrar hasta una profundidad considerable.

La protección de las capas superficiales de la madera, únicamente, no es eficaz; ya que éstas se quiebran con facilidad, por las condiciones del clima; y se desgastan o agrietan mientras la madera está secándose.

Los principales preservantes son:

CREOSOTA	{	Ordinaria para preservación Líquida a temperatura ordinaria Mezclas de creosota	
ORGANICOS	{	Pentaclorofenol (soluble en aceite) Pentaclorofenato de sodio (soluble en agua) Naftenatos	{ de cobre de zinc
INORGANICOS	{	Sal simple Sal doble Multisal	{ Tipo CCA Tipo CCB

- **Creosota:** Consiste principalmente en hidrocarburos aromáticos sólidos y líquidos; contiene notables cantidades de ácidos y bases de alquitrán. Es más pesada que el agua. La creosota es una mezcla de compuestos y puede variar en cierta extensión; por eso para la preservación de la madera, debe cumplir con los requisitos de las normas técnicas.

- **Pentaclorofenol:** Es un compuesto químico cristalino formado por reacción de cloro sobre fenol. Es soluble en la mayoría de los aceites de petróleo en ebullición elevada. Irrita la piel y las mucosas, por lo que al trabajar con él hay que tomar las precauciones debidas y evitar el contacto directo con las soluciones y/o el producto. El pentaclorofenol es insoluble en agua, no es volátil y posee gran estabilidad química. No resulta tóxico, solamente para los perforadores marítimos. La concentración más apropiada de este producto en producción de solución de aceite es del 5 por ciento el peso. Es muy eficaz contra los hongos e insectos xilófagos.

- **Naftenatos:** Son compuestos cerosos o gomosos. Los más comunes, para la preservación de la madera son los naftenatos de cobre y de zinc. En el comercio se venden como concentrados que contienen de 60 a 80 por ciento de naftenatos metálicos, o de 6 a 8 por ciento de cobre o zinc como metales.

- **Hidrosolubles o inorgánicos:** Los preservadores hidrosolubles son los más generalizados en la impregnación de la madera, sobre todo en los últimos tiempos, en donde han demostrado ser muy eficaces. El uso de sales simples como los productos arsénicos, cobre y otros, es en la actualidad raro, debido a que son fáciles de lixivarse al menor contacto

con el agua del medio que rodea la madera. Sólo se recomienda para interiores y en pequeña escala.

Las combinaciones de productos simples, para formar las sales dobles, tuvo su origen en la necesidad de reforzar la actividad tóxica de los preservadores simples. Suelen ser ácidas y por lo tanto corrosivas. Las mezclas de ácido bórico y tetraborato de sodio son muy buenas, pero sólo para interiores por que se lavan o lixivian con facilidad. Modernamente, a las formulaciones anteriores se les ha agregado el cromo, para hacerlas no lixiviables (lavables), lo que ha dado buenos resultados y origen a las multisales. A este tipo de preservadores pertenecen la mayoría de sales comerciales del mundo. Cuando se emplean para usos al exterior, sujetas a ciertas condiciones de humedad, deben perder su solubilidad al penetrar en la madera para quedar fijadas e incorporadas a ellas en forma definitiva. En las multisales intervienen productos fungicidas e insectidas. El cromo, que siempre llevan, se adiciona como cromato alcalino para contrarrestar la acción de los ácidos y en consecuencia, se reduce el efecto corrosivo para los metales. Estas se pueden usar en las condiciones más desfavorables para la madera, por eso se han generalizado en todo el mundo.

La mayor ventaja de este grupo de preservadores es que se conocen perfectamente sus componentes activos; se transportan en forma sólida; utilizan agua —que es abundante y no cuesta mucho como solvente—, no desprenden olores y permiten el acabado de la madera por lo que es posible aplicar lacas, barnices, pintura y otros. No aumenta la inflamabilidad de la madera, y no son fitotóxicas. Su mayor ventaja es la de humedecer o hinchar la madera, lo cual obliga a no poder utilizarla de inmediato por tener que secarla nuevamente.

Las multisales que han demostrado ser las más eficientes en la preservación de la madera son las del grupo CCA (cobre-cromo-arsénico) y las CCB (cobre-cromo-boro).

- **Sales CCA:** Compuestas por 56 por ciento de Dicromato de Potasio, 33 por ciento de Sulfato de Cobre, 11 y por ciento de Pentóxido de Arsénico. La temperatura de utilización de este preservador, o los que deriven del patrón, no debe ser superior a los 50°C.
- **Sales CCB:** Estas sales no contienen arsénico, el cual ha sido reemplazado por boro, que por ser menos tóxico es aceptado por las nuevas disposiciones sanitarias de varias partes del mundo.

2.3.3. METODO DE PRESERVACION

Los tratamientos preservadores requieren que la madera se encuentre en condiciones especiales, que varían según el método de preserva-

ción seleccionado. Así por ejemplo, los procedimientos por ósmosis y difusión necesitan que la madera conserve toda la humedad posible, para lograr la incorporación de los preservadores salinos en su interior. Todos los otros métodos exigen que la madera esté seca, es decir, entre 15 y 25 por ciento de humedad. El agua libre retrasa o impide la entrada de los preservadores, y la impregnación que se logra, no es satisfactoria. Con frecuencia, la madera preservada que no es previamente secada, necesita tratamientos complementarios para cubrir adecuadamente las partes no impregnadas a causa de distribución irregular de la humedad. Por otra parte, hay que procurar que todos los cortes o perforaciones que se tengan que hacer a la madera, para colocarlas en obra, se deben practicar antes del tratamiento, evitando que se elimine parte del material preservado o que se rompa el anillo que la protege de la acción biológica, ignífuga u otra como el intemperismo. Cuando por alguna razón, esta indicación no se puede cumplir, cortándose o perforándose, después de su tratamiento se debe restablecer lo mejor posible, el anillo protector mediante el agregado de pastas preservadoras. Si no se procede así, es posible que la impregnación efectuada ya no sea efectiva, por muy buena que haya sido.

Cuando se tiene maderas que resultan difíciles de preservar, por ser impermeables, se pueden hacer incisiones superficiales, con máquinas apropiadas, para lograr una penetración lateral aceptable, o una mejor distribución del preservador para formar un verdadero anillo protector. Por lo general, las incisiones se practican en la zona crítica, es decir, en la zona de empotramiento, que es por donde se inician las pudriciones. No es raro hacer incisiones a lo largo de toda la pieza que haya mostrado deficiencias en la distribución de los preservadores. En general, los métodos de preservación se pueden dividir en tratamientos sin presión y tratamientos con presión.

2.3.3.1. TRATAMIENTOS SIN PRESION

- **Brocha:** Es el método más simple y más antiguo, pero el tratamiento brinda una protección limitada. Sólo se emplea como mantenimiento o protección temporal.
- **Pulverización:** Es la aplicación superficial de un preservador mediante un pulverizador. Cuando se usa este procedimiento, algo del líquido tóxico penetra en la madera por capilaridad, pero la penetración es muy escasa, aunque se empape bien la superficie de la madera. Los preservadores que generalmente se emplean por brocha y pulverización, son los solubles en aceite.

- **Inmersión:** La inmersión consiste simplemente en sumergir la madera en una tina de tratamiento en donde se encuentra el preservador. La inmersión puede ser breve o prolongada, pero siempre a temperatura ordinaria. La madera se mantiene sumergida mediante dispositivos que facilitan la inmersión.

Terminado el tratamiento, se deja escurrir y secar antes de ponerla en uso. Cuando más prolongado sea el tiempo de tratamiento, mayor será la eficiencia del mismo, dependiendo de las características propias de la madera. Los tratamientos por inmersión son los más recomendados para marcos de puertas y ventanas, así como para otros trabajos de carpintería.

- **Baño Caliente y Frío:** Consiste en la inmersión de la madera seca durante unas horas, en baños sucesivos de preservador caliente y relativamente frío. El objeto del baño caliente es la expulsión del aire de las capas externas de la madera y el de evaporar la humedad de la superficie. La duración del baño y la temperatura del preservador, determinan en gran parte la eficacia del método. El baño frío hace que el aire y el vapor de agua que permanecen en las capas externas de las maderas se contraigan, formando así un vacío parcial.

Para compensar este vacío, la presión atmosférica tiende a forzar al preservador circundante dentro de la madera. Durante el baño caliente, se efectúa cierta penetración del preservador en la madera, pero la mayor parte de la absorción y penetración, se producen durante el baño frío. Conviene elevar al máximo permisible la temperatura del primer baño, pero sin poner en peligro la marcha de la operación o la eficacia del producto químico. La creosota y el pentaclorofenol, son los que mejor se adaptan a este método de tratamiento, debido a que permiten alcanzar temperaturas de 80 a 100°C. La duración del tratamiento puede variar considerablemente, según la clase de madera, el grado de preservación que se quiere dar a las piezas tratadas o de la naturaleza del preservador. Por lo general, el baño caliente es de 3 a 4 horas y el baño frío de 6 a 8 horas. En casos especiales, el ciclo de tratamiento se puede prolongar como máximo hasta 24 horas. La aplicación de este método obliga a disponer de sistemas de calefacción y otras instalaciones complementarias que permitan trasladar la madera y transvasar el preservador utilizado.

2.3.3.2. TRATAMIENTOS CON PRESION

En estos métodos, el preservador se aplica a la madera utilizando presiones distintas a la de la atmósfera dentro de un autoclave. Comprende los métodos de célula llena y célula vacía. Estos métodos

tienen una serie de ventajas sobre los métodos sin presión. En la mayoría de los casos, puede conseguirse una penetración profunda y uniforme, así como una mayor absorción, con lo cual, se comunica a la madera una protección más eficaz. Por otra parte, en estos métodos pueden regularse las condiciones del tratamiento, de modo que es posible variar la penetración y retención de los preservadores, satisfaciendo así las exigencias de la utilización moderna de la madera. Finalmente, los procedimientos a presión se adaptan mejor a la producción en gran escala de madera preservada. Entre los inconvenientes que se presentan a estos métodos, está el valor elevado de las instalaciones.

- **Célula Llena:** También llamado proceso Bethell. Consiste en colocar la madera en un autoclave para aplicar luego un vacío inicial. Aprovechando este vacío se llena el autoclave con la solución preservadora, hasta alcanzar un lleno total. Luego se ejerce una presión hidráulica especificada. Esta presión se mantiene el tiempo suficiente para obtener el grado de tratamiento deseado (retención y absorción). Terminado el tratamiento, se drena el autoclave y se aplica, opcionalmente, un vacío final que limpia la superficie de la carga de madera para facilitar su manejo. En este proceso, se emplean preservadores hidrosolubles (multisales) y las células de la madera quedan con sus cavidades llenas de líquido, que al evaporarse, deposita los componentes químicos activos en las paredes.

- **Célula Vacía:** Existen dos modalidades de este método conocidas como proceso Ruping y proceso Lowry. El proceso Ruping consiste en colocar la carga en el autoclave e inyectar primero aire a presión y a continuación, manteniendo esa presión, se aplica la solución preservadora (creosota) y se bombea hasta alcanzar la presión hidráulica especificada. Terminado el tratamiento, se evacúa el líquido y se efectúa el vacío final. El proceso Lowry es semejante al anterior, con la excepción de que al principio del tratamiento no inyecta aire a presión. En este método se emplean preservadores oleo e hidrosolubles. En el proceso por célula vacía, el preservador queda en las paredes celulares pero las cavidades de ésta quedan vacías.

2.3.4. CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDAD DE ESPECIES TROPICALES

La permeabilidad es un índice de facilidad de aplicación del tratamiento preservador, siendo las especies más permeables las más fáciles de tratar.

De acuerdo con su permeabilidad, las especies se clasifican en:

P = Permeables	AA y PT, en albura y duramen
MP = Moderamente Permeables	AM y PT o PP, albura y duramen
EP = Escasamente Permeables	AP y PP o PI, en albura y duramen
I = Impermeable	AN y PN

Donde AA, AM, AP y AN se refieren a la escala de absorción y PT, PP, PI y PN se refieren a la escala de penetración que se presenta a continuación.

Escala de Absorción

Absorción Alta (AA)	: Más de 150 kilos de solución/m ³
Absorción Buena (AB)	: Entre 100 y 150 kilos de solución/m ³
Absorción Pobre (AP)	: Entre 50 y 100 kilos de solución/m ³
Absorción Nula (AN)	: Menos de 50 kilos de solución/m ³

Escala de Penetración

Penetración Total (PT)	: Toda la sección penetrada.
Penetración Parcial (PP)	: Forma un anillo periférico.
Penet. Irregular (PI)	: No hay anillo definido.
Penetración Nula (PN)	: No hay penetración.

2.3.5. IGNIFUGOS

Dentro de los tratamientos a que se somete la madera, puede considerarse a los ignífugos. Estos son materiales retardadores del fuego, que reducen el grado de combustibilidad de la madera y la velocidad de propagación de la llama.

2.4. PROTECCION Y CUIDADO DE LOS MATERIALES EN OBRA

La madera recibida en la obra debe ser protegida de la lluvia y daños adicionales. La madera de construcción ya colocada como parte de la estructura antes de ser revestida, puede mojarse debido a la lluvia, pero esta humedad está principalmente en la superficie expuesta y puede secarse rápidamente.

Las piezas secas pueden apilarse directamente unas sobre otras, sin espaciadores, pero la pila debería estar separada del suelo por lo menos de 15 a 20 cms y estar cubierta por una lona o tela impermeable, como una forma de drenar el agua que caiga en su superficie, lados y extremos.

La madera verde o casi verde, debe apilarse sobre separadores, como se indica en los métodos de secado al aire y bajo techo. El mismo procedimiento debe utilizarse para madera preservada que no se ha secado completamente.

2.5. DEFECTOS Y ENFERMEDADES DE LA MADERA

2.5.1. DEFECTOS

En los troncos apeados pueden comprobarse los siguientes casos:

- **Contorsión:** Es debida al crecimiento con las fibras retorcidas o reviradas, que se disponen en espiral de manera que los círculos anuales forman capas helicoidales. Si la torsión es muy grande, esta madera no sirve, más que para pilotes o traviesas.
- **Crecimiento Curvo:** Da lugar a la llamada madera vuelta y no tiene otra aplicación que la indicada en el caso anterior.
- **Acebolladura o Colaina:** Es debida a la desigualdad en el desarrollo de los círculos anuales, apareciendo en forma de arcos de círculo que tienden a desprender unos de otros los anillos anuales de madera, que al apearlos se separan trozas en forma de conos más o menos gruesos como si estuvieran enchufados.
- **Grietas Medulares:** Aparecen en los árboles sujetos a fuertes vendavales y toman la dirección de los radios medulares llegando hasta el corazón. También debida a la fuerte presión del viento en árboles muy ramosos, y siendo esta presión casi constante por un solo lado, se producen grietas de torsión, casi siempre en los planos de los radios medulares.

2.5.2. ENFERMEDADES DE LA MADERA

Caben citar:

- **Podredura Roja:** Llamada también tabaco o roya. Es enfermedad producida por micelios de Himenomicetos, que disuelven la celulosa y dejan elementos lignificantes determinando un cambio de color en la madera que pasa a tonos parduzcos y rojizos, descomponiendo el leño y convirtiéndose éste por la presión de los dedos, en un polvo amarillo, pardo o rojizo.

- **Podredumbre Blanca:** Es la producida por los hongos del género *Polyporus*, los cuales se desarrollan en el interior del tronco y transforman la madera en una masa blanco-amarillenta.
- **Podredumbre Húmeda:** Cuando los troncos apeados se dejan mucho tiempo sin descortezar, puede aparecer la podredumbre húmeda, debido a que la savia no se evapora, entonces fermenta y se descompone, con lo cual la albura se hace fofa.
- **Podredumbre de la Madera Labrada:** Por acción del Hongo saprofito llamado *Merulius Domesticus*, provoca el enmohecimiento de la madera o podredumbre seca de las maderas de construcción. El desarrollo de ese hongo queda favorecido por la humedad, el aire viciado y la falta de luz. Se reproduce por esporas minúsculas, las cuales, al germinar, producen las fijas, que son los filamentos que se extienden y ramifican entrecruzándose y formando una especie de encaje o blonda, que es el micelio blanco del hongo.

Después de los receptáculos del *Merulius* que son plaquitas esponjosas blancas, en los primeros momentos pasan a pardas y las esporas anaranjadas llegan a presentarse en tal cantidad que forman verdaderas nubes de polvo rojizo.

Estas esporas son vehiculadas por el viento, ratas, ratones, y se posan en la madera húmeda, donde germinan. Este hongo además de propagarse de una madera a otra, trepa por las paredes húmedas de bodegas y cuevas. Sus efectos se previenen con antisépticos creosotados como el carbolineum y si la invasión miceliana está demasiado adelantada, las piezas atacadas deben separarse y quemarse antes de colocar otras piezas sanas.

CAPITULO III

CLASES DE MADERAS

La madera, tal como viene del aserrado, se divide en tres clases principales: madera de barranca, madera estructural y madera por elaborar. Aquí consideraremos la madera de barranca. Se subdivide en; selecta y común.

3.1. MADERA SELECTA

La madera selecta es de buena apariencia y acabado, y se identifica por los siguientes nombres de grados:

- a. **Grado A:** El grado A es apropiada para acabados naturales y es prácticamente clara.
- b. **Grado B:** El grado B es apropiada para acabados naturales, de alta calidad y es generalmente clara.
- c. **Grado C:** El grado C se adapta a acabados de pintura de alta calidad.
- d. **Grado D:** El grado D se adapta a acabados de pintura entre grados de acabados superiores y comunes y tiene algo de la naturaleza de ambos.

3.2. MADERA COMUN

La madera común es apropiada para construcción general y fines de utilidad y tiene los siguientes nombres o grados:

- a. **No. 1—Común:** Es apropiada para uso sin desperdicio; es sólida y de nudo bien adherido; y se puede considerar madera impermeable.
- b. **No. 2—Común:** Es menos restringida en calidad que la No. 1, pero de la misma calidad en general. Se usa para armazón, entablado y otras formas estructurales donde la tensión o deformación no es muy grande.
- c. **No. 3—Común:** Permite algún desperdicio con características de grado prevaleciente menores que en la No. 2. Se usa para trabajos toscos como zarpas, guardarríeles y piso tosco.
- d. **No. 4—Común:** Permite desperdicio, si es de baja calidad y puede tener características ásperas, tales como deterioros y huecos. Se usa para entablados, subpisos y tablas para tejados en los tipos más baratos de construcción, pero su más importante salida industrial es para cajas y embalajes.
- e. **No. 5—Común:** Se produce en algunas especies de madera. El único requerimiento es que se pueda usar. Se utiliza para cajas, embalajes y estiba.

3.3. TIPOS Y TAMAÑOS CORRIENTES DE MADERA

- a. **Armazón:** La armazón de una edificación es la estructura de madera construida para soportar los miembros terminados de la estructura, incluyendo postes, vigas, cambios, subpisos, soleras inferiores, largueros esquinales y cabrios. Las maderas suaves se usan generalmente para armazón liviana y toda la carpintería de construcción descrita en este manual. La madera de barranca se corta en aquellos tamaños corrientes requeridos para armazón ligera, incluyendo piezas de 2 x 4, 2 x 6, 2 x 8, 2 x 10, 2 x 12 y todos los otros tamaños requeridos para trabajo de armazón, con la excepción de aquellos tamaños clasificados como madera estructural, es decir, 5 pulgadas y más gruesa en las dimensiones más pequeñas. Aunque las No. 1 a 3 comunes, son usadas para armazón, la No. 2 común se usa con más frecuencia y es por lo tanto la más abundante y disponible en depósitos de madera en los tamaños comunes usados para varios miembros de armazón. Sin embargo el tamaño de madera necesaria, puede variar con el diseño del miembro particular (vigas o jácenas, por ejemplo). Tales tamaños se fabrican de piezas enteras de madera estructural o se arman según se requiera. Cuando

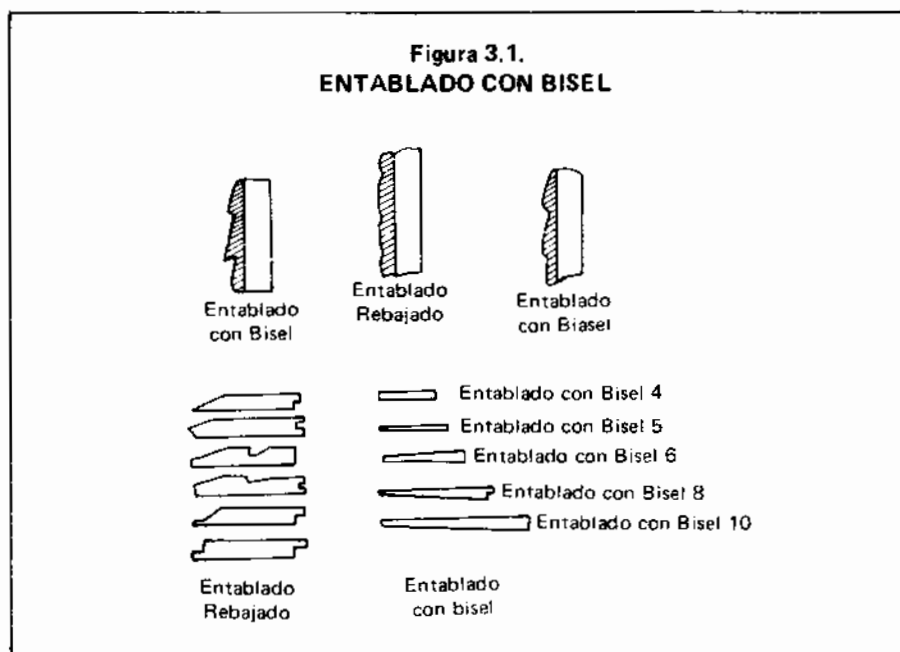
los requerimientos de madera se especifican en una lista de materiales, los símbolos indicados bajo la columna "tipo", muestran el número de superficie o cantos de la madera que han sido cepillados.

- b. **Paredes:** La pared exterior de una estructura de madera, generalmente tiene tres capas: revestimiento, papel de revestimiento y entablado.

La madera de revestimiento es 1 x 6 o 1 x 8, de madera suave común No. 1, No. 2 o No. 3, pero la No. 2 es la usada con más frecuencia, puede ser llana o lengüeta y ranura a traslapada.

La madera de entablado puede ser B y mejor C, D, o grado No. 1 o No. 2, y varía en tamaño desde 1/2 x 4 a 1 x 12. La grado C es la más usada. Los dos principales tipos de madera de entablado son biselados y rebajado. El entablado llano o tinglado se usa con frecuencia pero tiene tendencia a combarse y separarse.

Para los tamaños corrientes de madera de entablado, ver la *Figura 3.1.*, generalmente se obtienen entablados en atados de un número dado de pies cuadrados por atado.



3.4. MADERA DE CONSTRUCCION ESTRUCTURAL

Se denomina así a aquella madera que constituye el armazón estructural de la edificación.

Es decir, forma parte resistente de componentes como muros o paredes, pisos, techos, tales como: pie-derechos, columnas, vigas, cerchas, entre otros. La característica común a todos estos elementos es su función básicamente resistente.

3.4.1. REQUISITOS GENERALES

Las condiciones que debe satisfacer esta madera son las siguientes:

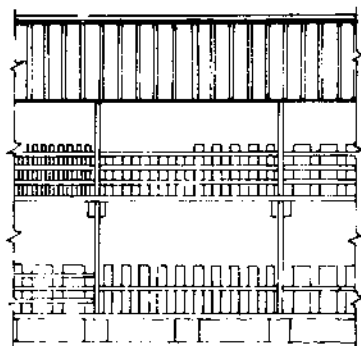
1. Debe ser material clasificado como de calidad estructural, para lo cual debe cumplir con la Norma de Clasificación Visual por Defectos que se presentan en la siguiente sección.
2. Debe ser madera proveniente de las especies forestales consideradas como adecuadas para construir y que se presentan agrupadas en la *Sección 3.5*.
3. Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las escuadrías o secciones preferenciales aquí presentadas.

Las especies que se presentan en los grupos de la *Sección 3.5* son aquellas para las que se han efectuado ensayos de vigas a escala natural, verificándose que las propiedades de la especie correspondan a las del grupo asignado. Es por ello necesario que todas las piezas de madera que se usan para la estructura de la edificación satisfagan los requisitos mencionados. De lo contrario, no es posible usar en el diseño, ni en el dimensionamiento de estos elementos, las propiedades que se han asignado al grupo estructural al que pertenece la especie.

Eventualmente, cuando los Países Andinos hayan incorporado a su normalización, los grupos estructurales con sus respectivas especies, la Regla de Clasificación Visual y las secciones o escuadrías preferenciales, los usuarios podrán contar con piezas de madera de especies identificables, agrupadas, clasificadas en la zona de producción y almacenadas ya en sus dimensiones definitivas, garantizando un costo apropiado a este material de construcción.

Estos grupos no consideran muchas especies no estudiadas todavía, pero que también son aptas para construir. El uso de especies no agrupadas aún, es posible, si previamente se aplica la metodología que se presenta en el *Capítulo 1* para agrupar nuevas especies, una vez identificado el grupo al que se le puede asignar, todas las propiedades del grupo aplicables a esa nueva especie.

Figura 3.2.
MADERA ESTRUCTURAL, CLASIFICADA, ESPECIE
AGRUPADA, DIMENSIONES



3.4.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Es conveniente construir con madera en estado seco o al contenido de humedad de equilibrio. De esta forma se garantiza la estabilidad dimensional de las piezas y disminuye el riesgo de ataque de hongos e insectos. Sin embargo, las especies de mayor densidad (grupo estructural A y algunas del grupo B), ofrecen dificultades al clavado y labrado cuando secas, por lo que comúnmente se trabaja en estado verde ($CH > 30\%$). En este caso deben adoptarse precauciones para garantizar que:

- Las piezas al secarse mantengan su forma inicial.
- Los elementos de unión estén protegidos contra el ataque corrosivo de la madera húmeda.
- Los detalles constructivos permitan a la madera contraerse libremente a medida que se seca.

3.4.3. DURABILIDAD NATURAL Y PRESERVACION

La madera para estructuras debe tener buena durabilidad natural (ver *Tabla 3.1.*) o estar adecuadamente preservada. Adicionalmente deben aplicarse en el diseño, aquellos detalles constructivos destinados a

proteger la edificación contra agentes dañinos a la madera. Factores externos —como la humedad por ejemplo— mal controlados pueden deteriorar el material, o propiciar el crecimiento de hongos e insectos que atacan la madera.

Tabla 3.1.
GUIA DE DURABILIDAD NATURAL DE MADERAS COLOMBIANAS
ENSAYO ACELERADO

<i>No.</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Durabilidad</i>
1.	Aceite Maria	Moderadamente Resistente
2.	Ají—Mora	Altamente Resistente
3.	Algarrobo	Altamente Resistente
4.	Batata	Altamente Resistente
5.	Bálsamo	Altamente Resistente
6.	Bilibil	Resistente
7.	Caimito	Altamente Resistente
8.	Canalete—Moho	Altamente Resistente
9.	Canelo	Altamente Resistente
10.	Canime	Resistente
11.	Caoba	Altamente Resistente
12.	Caracolí	Moderadamente Resistente
13.	Carbonero	Resistente
14.	Carra	Moderadamente Resistente
15.	Carreto	Resistente
16.	Cedro	Moderadamente Resistente
17.	Cedro Amargo	Resistente
18.	Ceiba Bonga	Resistente
19.	Ceiba Tolúa	Altamente Resistente
20.	Cobre	Altamente Resistente
21.	Coco Cristal	Altamente Resistente
22.	Cocuelo Blanco	Resistente
23.	Cuangare	Moderadamente Resistente
24.	Chanul	Resistente
25.	Chaquiro—Zaino	Altamente Resistente
26.	Charo	Moderadamente Resistente
27.	Dormidero	Altamente Resistente
28.	Dormilón	Resistente
29.	Flor Morado	Resistente
30.	Fono	Moderadamente Resistente
31.	Guamo	Moderadamente Resistente
32.	Guarango	Moderadamente Resistente
33.	Guayacán Hobo	Altamente Resistente
34.	Hobo Colorado	Moderadamente Resistente
35.	Leche Chiva	Poco Resistente
36.	Machare	Altamente Resistente

Tabla 3.1.
GUIA DE DURABILIDAD NATURAL DE MADERAS COLOMBIANAS
ENSAYO ACELERADO
 (...Continuación)

<i>No.</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Durabilidad</i>
37.	Nato	Resistente
38.	Oloroso	Altamente Resistente
39.	Mulato	Altamente Resistente
40.	Orejero	Altamente Durable
41.	Otobo	Poco Resistente
42.	Pantano	Altamente Resistente
43.	Punula	Moderadamente Resistente
44.	Puy	Altamente Resistente
45.	Roble Amarillo	Altamente Resistente
46.	Roble Flor Morado	Resistente
47.	Sajo	Poco Resistente
48.	Saman	Altamente Resistente
49.	Sande	Moderadamente Resistente
50.	Sangragao	Poco Resistente
51.	Soroga	Moderadamente Resistente
52.	Tangaré	Moderadamente Resistente
53.	Zapote	Poco Resistente

3.5. CLASIFICACION VISUAL POR DEFECTOS PARA MADERA ESTRUCTURAL

Cualquier irregularidad o imperfección que afecta las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una pieza de madera, puede considerarse como *un defecto*. La finalidad de la clasificación por defectos es limitar la presencia, tipo, forma, tamaño y ubicación de los mismos, con el objeto de obtener piezas de madera con características mínimas garantizadas.

Variando las tolerancias, puede definirse un sin número de clases, sin embargo, a continuación se propone una sola regla o norma para la clasificación de la madera para su uso estructural.

La clasificación mencionada es de tipo "visual", lo que implica una selección o verificación de las tolerancias por personal humano entrenado y certificado oficialmente siguiendo una comprobación visual. La aplicación de la norma se limita a madera aserrada y escuadrada. Para facilitar la aplicación de la norma se presentan conjuntamente con las tolerancias algunas recomendaciones para el reconocimiento de defectos.

Se espera que de la producción de un aserradero que funcione con criterios mínimos de eficiencia, del 40 al 45 por ciento de la producción

se clasificaría como *Madera Estructural*, es decir, piezas que satisfacen los límites de defectos establecidos en la norma que aquí se presenta.

La calidad de la madera es afectada por diversos agentes o factores. A continuación se presentan definiciones para los diferentes tipos de defectos agrupados según su origen.

3.5.1. DEFECTOS RELATIVOS A LA CONSTITUCION ANATOMICA

- **Albura:** Es la parte del leño que sigue a la corteza, que en el árbol en pie contiene células vivas y materiales de reserva. Generalmente es de color claro y es más susceptible al ataque de hongos e insectos que el duramen. En general, sus propiedades mecánicas no son diferentes a las del duramen.

Se considera como defecto cuando ha sido atacada y presenta pudrición y cuando no está preservada. Por lo general, la albura en casi todas las especies es atacable.

3.5.2. DEFECTOS RELATIVOS AL ATAQUE DE AGENTES BIOLÓGICOS

- **Acañonado:** Es el orificio aproximadamente cilíndrico en el interior de una troza como consecuencia del atabacado.
- **Atabacado:** Es el proceso de pudrición castaña de la madera, que se caracteriza, en la etapa avanzada, por la desintegración del leño en un polvo de color parduzco.
- **Mancha:** Es el cambio de color de la madera, producido por hongos que descomponen la estructura leñosa.
- **Perforaciones grandes:** Son agujeros con diámetros mayores a 3 mm producidos por insectos o larvas perforadoras. Ejemplo: *Bostrychidae*, "brocas de los domicilios".
- **Perforaciones pequeñas:** Son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm, producidos por insectos o larvas perforadoras. Ejemplo: *Lyctus*.
- **Pudrición avanzada:** Es la etapa de descomposición en que la madera presenta cambios evidentes en su apariencia, peso específico, composición, dureza, y otras características mecánicas.

- **Pudrición castaña:** Es aquella que se caracteriza por una coloración castaña de la madera, como consecuencia de la descomposición celulosa.
- **Pudrición clara:** Es aquella que se caracteriza por la coloración clara de la madera como consecuencia de la descomposición preponderante de la lignina, además de las holocelulosas.
- **Pudrición incipiente:** Es la etapa inicial de la descomposición en la cual, la madera pierde parte de sus propiedades mecánicas y puede sufrir cambios de color, debido al ataque de hongos.

3.5.3. DEFECTOS ORIGINADOS DURANTE EL APEO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

- **Desgarramiento:** Es el rompimiento que se produce en la base del tronco al ser cortado o talado el árbol.
- **Fractura o falla de compresión:** Es la deformación o rompimiento de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesivas ocasionadas en árboles en pie por la acción del viento, nieve o proceso de crecimiento, y en árboles apeados como resultado de esfuerzos durante las operaciones de explotación y aprovechamiento.
- **Rajadura:** Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje de la pieza afectando totalmente el espesor de la misma o dos puntos opuestos de una madera rolliza.

3.5.4. DEFECTOS ORIGINADOS DURANTE EL SECADO

- **Alabeo:** Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos.
- **Abarquillado:** Es el alabeo de las caras en la dirección transversal.
- **Arqueadura o Combado:** Es el alabeo de las caras en la dirección longitudinal.

- **Colapso:** Es la reducción de dimensiones de la madera que ocurre durante un proceso de secado por encima del punto de saturación de la fibra y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. A menudo se observa como un corrugado de la superficie.
- **Encorvadura:** Es el alabeo de los cantos en sentido longitudinal.
- **Endurecimiento superficial:** Es el estado de tensiones en una pieza, caracterizado por compresión en las capas externas y tensión en la parte interna, como resultado de inadecuadas condiciones de secado.
- **Grieta:** Es la separación de los elementos constitutivos de la madera, cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada o dos puntos opuestos de la periferia de una madera rolliza.
- **Rajadura:** Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje longitudinal de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma o dos puntos opuestos de una madera rolliza.
- **Torcedura:** Es el alabeo simultáneo en las direcciones longitudinal y transversal.

3.5.5. DEFECTOS ORIGINADOS DURANTE EL ASERRIO

- **Arista Faltante.** Es la falta de madera en una o más aristas de una pieza.
- **Malá escuadría:** Se denomina así a la sección transversal de una pieza de madera que está mal labrada a escuadra.
- **Picada:** Es la depresión en la superficie de una pieza producida por un corte anormal.

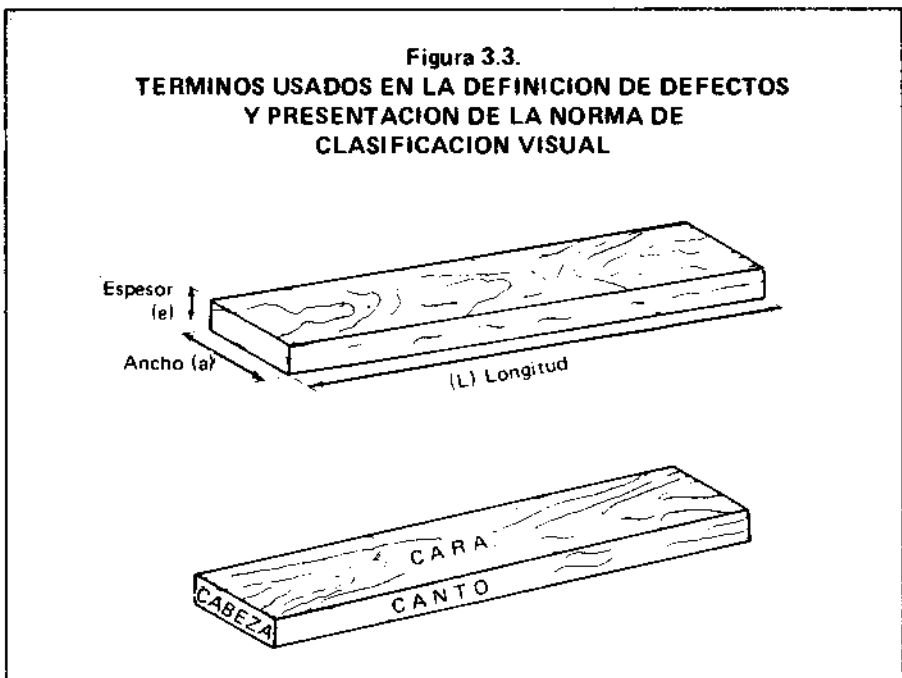
3.5.6. CONTROL DE DEFECTOS

- **Constitución anatómica:** Los defectos relativos a la constitución anatómica de una pieza de madera no son controlables debido a que son características propias de la especie. Propiamente no constituyen defectos sino características de crecimiento que al habilitar las piezas de madera aserrada quedan incorporadas a éstas alterando su

comportamiento estructural. Solamente se evitaría, seleccionando y analizando las características generales de la especie antes de cortar el árbol o aserrar la pieza de madera, seleccionando especies que presenten el tipo de grano, parénquima o volumen de albura, etc., que se encuentren dentro del rango de tolerancia de la clasificación o habilitando teniendo en mente la producción de madera para estructuras orientando debidamente los planos de corte.

- **Ataques Biológicos:** Los defectos relativos al ataque de los agentes biológicos son controlables a su debido tiempo como cualquier tipo de infección. En la actualidad se cuenta con la ayuda de los preservantes hidrosolubles y oleosolubles en el mercado, para controlar los ataques. Si se considera conveniente no usar preservantes, es recomendable elegir una especie que presente buena o alta durabilidad natural.
- **Apeo, Transporte y Aserrío:** Los defectos originados durante el apeo, transporte, almacenamiento y aserrío son ocasionados por lo general por deficiencias manuales o mecánicas durante dichas operaciones.

Se controlan fácilmente teniendo en cuenta la mano de obra calificada y el buen mantenimiento de la maquinaria y equipo durante las operaciones de extracción, transporte, aserrío y apilado.



- **Secado de la Madera:** Los defectos originados durante el secado, son ocasionados por deficiencias en el sistema de apilado y almacenamiento de las piezas al secarse, o por un mal programa de secado al horno.

Se controla tomando en cuenta la constitución anatómica de la madera y considerando especialmente el plano de corte durante el aserrío de determinadas especies. Para ello es necesario contar con una mano de obra calificada conocedora de los conceptos propios del secado de la madera (ver *Capítulo 2*).

- **Bolsa:** Es la presencia de una cavidad bien delimitada, que contiene resina, goma o tanino.

- **Corteza incluida:** Es la presencia de una masa de corteza total o parcialmente comprendida en el leño.

- **Duramen quebradizo o madera de reacción:** Es la madera anormal formada típicamente en algunas zonas limitadas de ramas o fustes, caracterizada por su color, consistencia y propiedades distintas al resto del leño, es esencialmente de la zona central del tronco.

- **Grano inclinado:** Es la desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera, con respecto al eje longitudinal del fuste o canto de una pieza.

- **Madera de compresión:** Es la madera de reacción que se forma típicamente en las coníferas. Generalmente es más dura y oscura que la madera normal.

- **Madera de tensión:** Es la madera de reacción que se forma típicamente en las latifoliadas, generalmente es más clara que la madera normal.

- **Médula:** Es la parte central del duramen, constituida esencialmente por células de parénquima o células muertas. Es susceptible al ataque de hongos e insectos.

- **Nudo:** Es el área de tejido leñoso resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características organolépticas y demás propiedades son diferentes a las de la madera circundante.

- **Parénquima en bandas anchas:** Son células de paredes delgadas que presentan mayor cavidad, las que almacenan sustancias de reserva. Dichas células, agrupadas en bandas de 6 o más series, forman zonas débiles del leño.

3.5.7. NORMA DE CLASIFICACION VISUAL

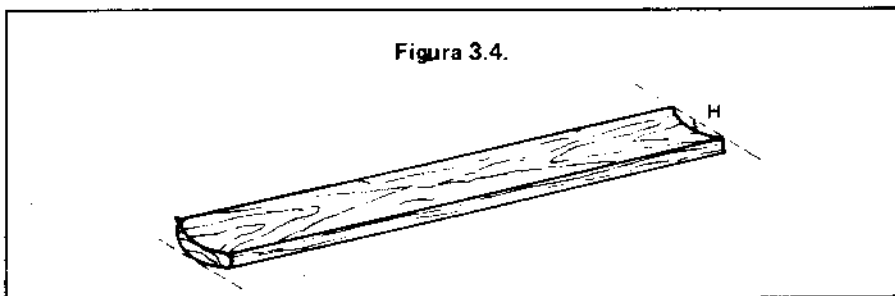
La norma de clasificación visual por defectos PADT-REFORT* que se presenta a continuación, está destinada a la clasificación de madera aserrada para uso estructural. Todas las piezas que satisfagan la mencionada regla se clasifican como madera estructural y todas las propiedades resistentes y elásticas asignadas a las especies agrupadas en grupos resistentes son aplicables sin otras restricciones que las tolerancias en dimensiones para la habilitación y fabricación de componentes.

3.5.7.1. ALABEO

Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o ambos. Se consideran:

- a. Abarquillado.
- b. Arqueadura.
- c. Encorvadura.
- d. Torcedura.

a. **Abarquillado:** Es el alabeo de las piezas cuando las aristas o bordes longitudinales no se encuentran al mismo nivel que la zona central.

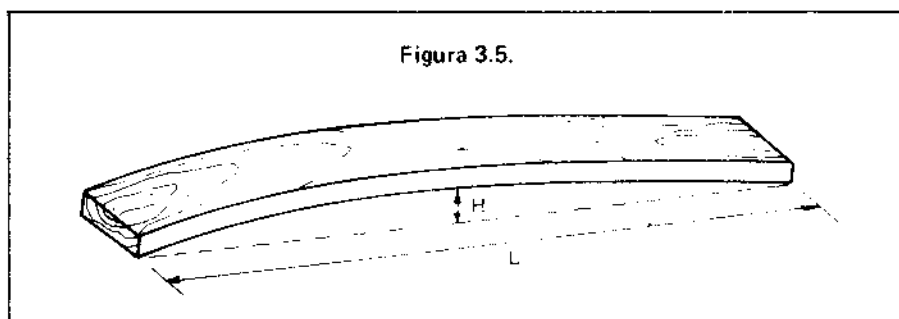


Reconocimiento. Al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana apoyará la parte central de la madera quedando los lados levantados, presentando un aspecto cóncavo o de barquillo.

Tolerancia. Se permiten en forma leve, no mayor de 1 por ciento del ancho de la pieza.

*/ PADT-REFORT, Organización Latinoamericana de Estudio de la Madera con Asesoría Inglesa y Francesa.

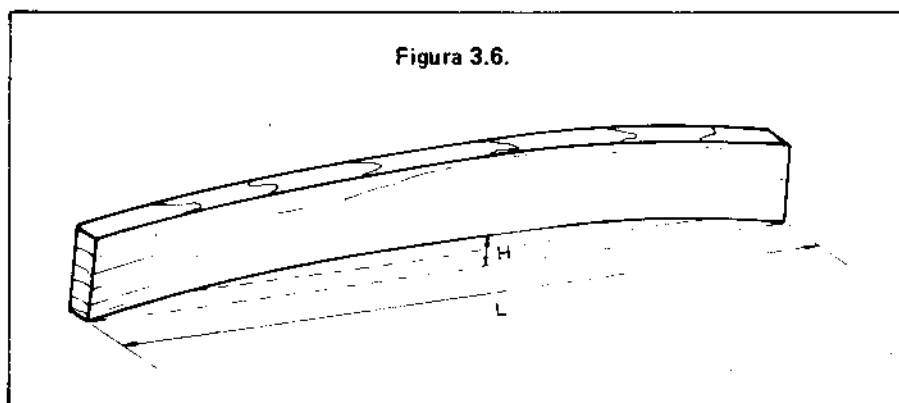
- b. **Arqueadura:** Es el alabeo o curvatura a lo largo de la cara de la pieza.
Reconocimiento. Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará una luz o separación entre la cara de la pieza de madera y la superficie de apoyo.



Tolerancia. Se permite 1 cm por cada 300 cms de longitud en su equivalencia:

$$\frac{H}{L} < 0.33\%$$

- c. **Encorvadura:** Es el alabeo o curvatura a lo largo del canto de la pieza.

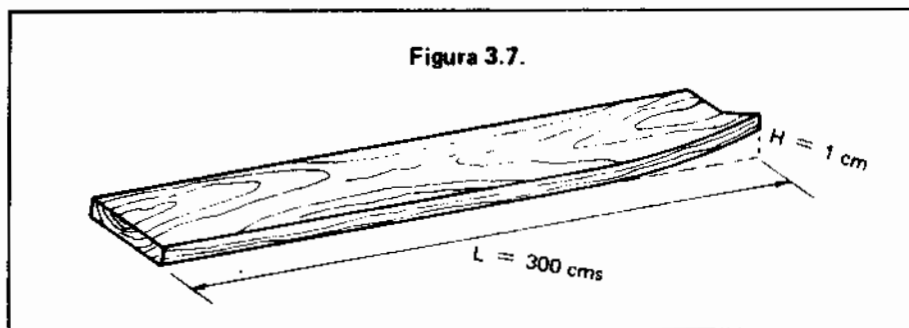


Reconocimiento: Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará una luz o separación entre el canto de la pieza de madera y la superficie de apoyo. Se ubicará el lugar de mayor distanciamiento para ser medido.

Tolerancia. Se permite 1 cm por cada 300 cms de longitud o su equivalente:

$$\frac{H}{L} < 0.33\%$$

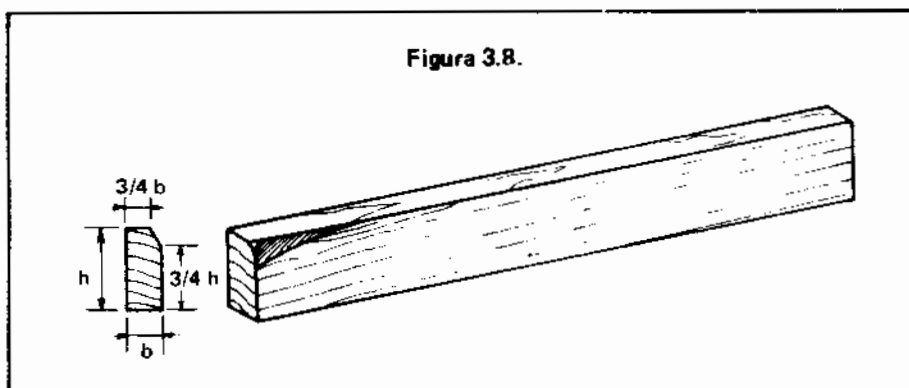
d. **Torcedura:** Es el alabeo que se presenta cuando las esquinas de una pieza de madera no se encuentran en un mismo plano.



Reconocimiento. Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará el levantamiento de una o más aristas en diferentes direcciones.

Tolerancia. Se permite solamente cuando este defecto se presenta en forma muy leve y en una sola arista. Se permite 1 cm de alabeo por una pieza de 3 mts de longitud.

3.5.7.2. ARISTA FALTANTE

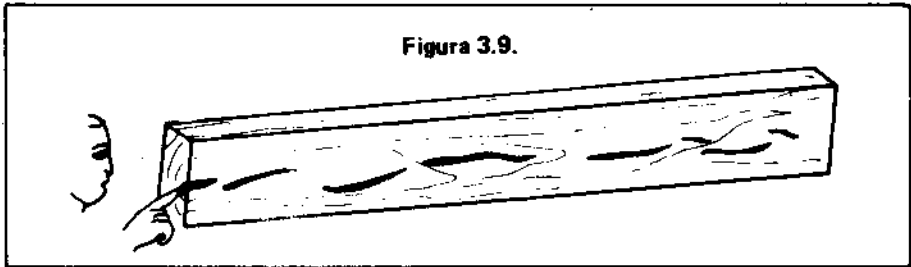


Reconocimiento. Es la falta de madera en una o más aristas de la pieza.

Tolerancia. Se permite en una sola arista. Las dimensiones de la cara y el canto donde falta la arista deberán ser por lo menos los tres cuartos de las respectivas dimensiones de la sección completa.

3.5.7.3. DURAMEN QUEBRADIZO

Es la parte interior del leño, generalmente de color más oscuro y de mayor durabilidad que la albura, aunque no está siempre nítidamente diferenciado de ella. Constituye normalmente la mayor proporción del centro del tronco.

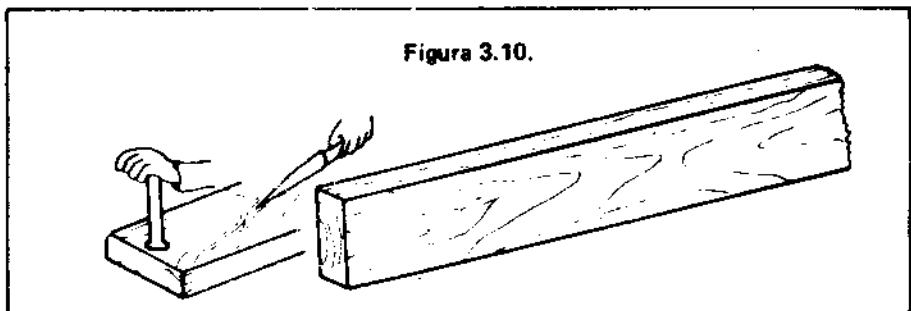


Reconocimiento. Porción de madera en una zona de aproximadamente 10 cms de diámetro, adyacente a la médula, caracterizada por una fragilidad anormal. Se presenta en forma de grietas de media luna. Es más frecuente en árboles viejos y puede presentar deterioro.

Tolerancia. Ninguna. No se permite.

3.5.7.4. ESCAMADURA O ACEBOLLADURA

Es la separación del leño entre dos anillos de crecimiento consecutivos.

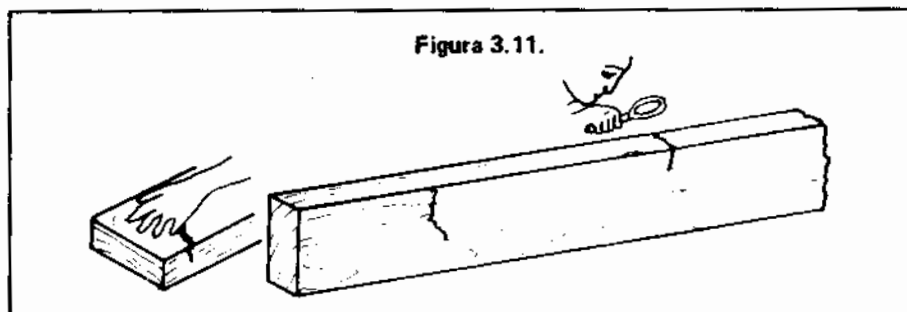


Reconocimiento. Se observan como escamas superficiales en las caras tangenciales de una pieza de madera.

Tolerancia. No se permite en las aristas. Se permite en las caras si es paralela al eje de la pieza, de una profundidad menor de un décimo del espesor y una longitud no mayor de un cuarto de longitud total.

3.5.7.5. FALLAS DE COMPRESION

Es la deformación y rotura de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesiva en árboles en pie causados por su propio peso, o por acción del viento. Pueden producirse además durante las operaciones de corte y apeo de los árboles o por un mal apilado de la madera aserrada.

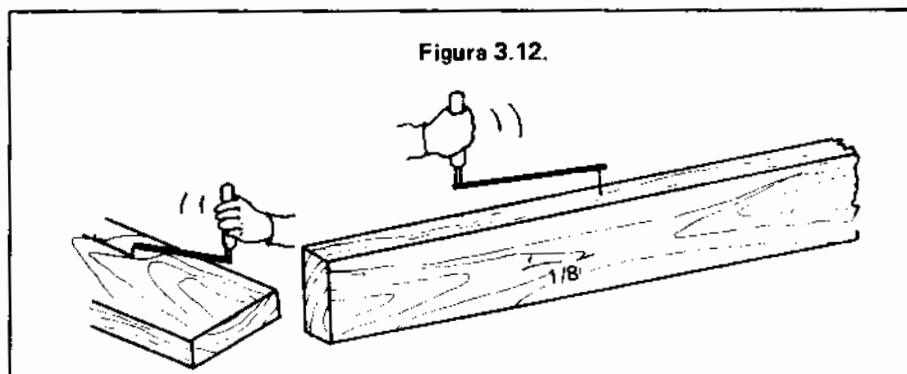


Reconocimiento. Se observan en las superficies bien cepilladas de una pieza como arrugas finas perpendiculares al grano. Estas fallas originan zonas con muy poca o ninguna capacidad mecánica, por lo que su correcta identificación es fundamental para la seguridad de la estructura. Se presenta en árboles que tienen el tallo y fuste muy ahusado o cónico.

Tolerancia. Ninguna. No se permiten.

3.5.7.6. GRANO INCLINADO

Es la desviación angular de las fibras de la madera en relación al eje longitudinal de la pieza.

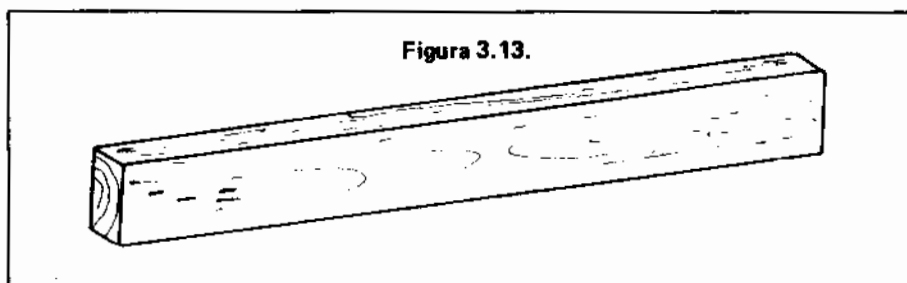


Reconocimiento. Es necesario hacer uso repetido del detector del grano sobre las caras y cantos de la pieza.

Tolerancia. Se permite en cara o canto hasta un máximo de $1/8$ de inclinación.

3.5.7.7. GRIETA

Es la separación de los elementos de la madera en dirección radial y longitudinal que no alcanza a afectar dos caras de una pieza, o dos puntos opuestos de la superficie de una madera rolliza.

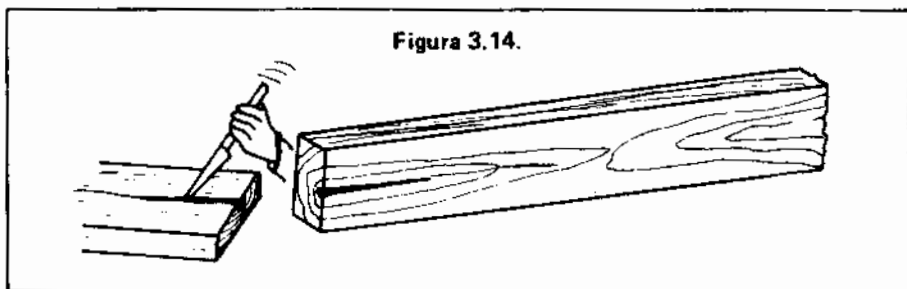


Reconocimiento. Se observan como separaciones discontinuas y superficiales, de aproximadamente un milímetro de separación y 2 a 3 mm de profundidad. Este defecto se produce durante el proceso de secado.

Tolerancia. Se permiten moderadamente. La suma de sus profundidades, medidas desde ambos lados, no debe exceder un cuarto del espesor de la pieza.

3.5.7.8. MEDULA

Es la parte central del duramen constituida esencialmente por parénquima, tejido generalmente blando o células muertas.



Reconocimiento. Es la pequeña zona de tejido esponjoso situada en el centro del duramen.

Es susceptible al ataque de hongos e insectos.

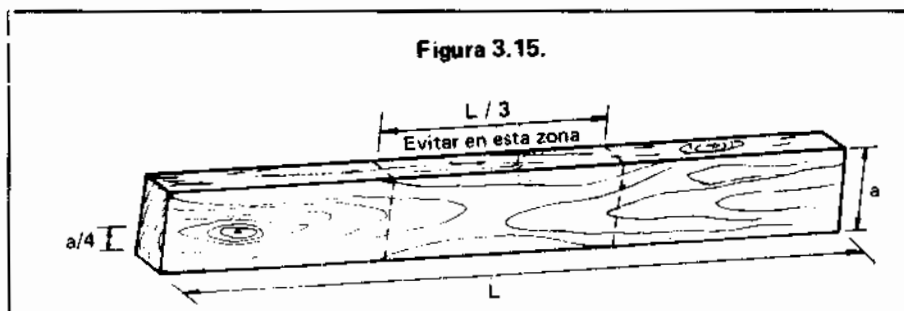
Tolerancia. No se permite.

3.5.7.9. NUDO

Es el área de tejido leñoso, resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características organolépticas y propiedades son diferentes a la madera circundante. Se consideran:

- a. Nudo sano. b. Nudo hueco. c. Nudos arracimados.

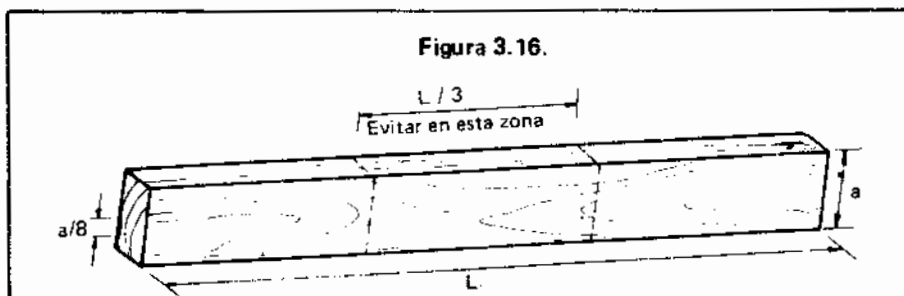
a. Nudo Sano:



Reconocimiento. Es la porción de rama entrecruzada con el resto de la madera y que no se soltará o aflojará durante el proceso de secado y uso. No presenta deterioro ni pudrición.

Tolerancia. Se permite hasta un diámetro de $1/4$ de ancho de la cara, con un máximo de 4 cms y con un distanciamiento entre nudos mayor de 100 cms.

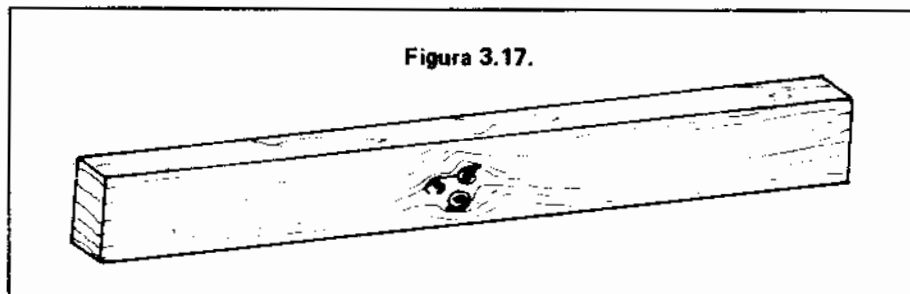
b. Nudo Hueco:



Reconocimiento. Son los espacios huecos dejados por los nudos al desprenderse de la madera. A los nudos sueltos o con deterioro se los debe considerar como nudos huecos.

Tolerancia. Se permite hasta un diámetro de $1/8$ del ancho de la cara y hasta un máximo de 2 cms. Evitarlos en cantos sometidos a tracción.

c. Nudos Arracimados:

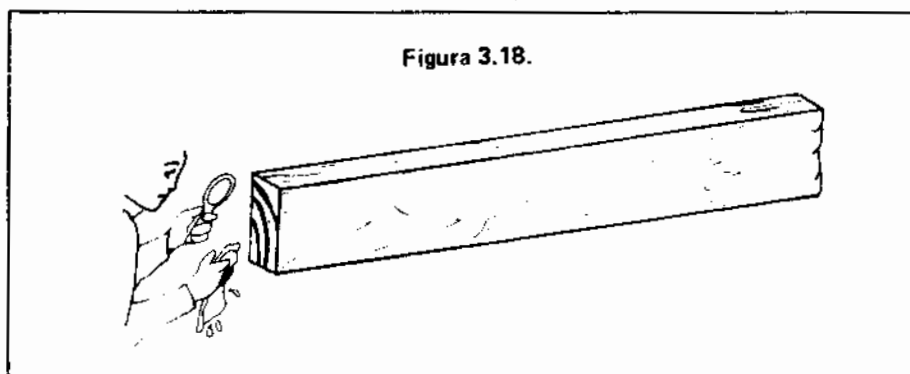


Reconocimiento. Se observan con el agrupamiento de dos o más nudos desviando notoriamente la dirección de las fibras que lo rodean.

Tolerancia. No se permiten.

3.5.7.10. PARENQUIMA

Son células típicamente en forma de paralelepípedo, presentan paredes delgadas. Sirven para almacenar sustancias de reserva. Son susceptibles al ataque de hongos e insectos.



Reconocimiento. Son células correspondientes al tejido blando, por lo general de color más claro que la parte fibrosa del leño. Se distribu-

yen en bandas concéntricas y son visibles a simple vista en la sección transversal de la pieza de madera previamente humedecida.

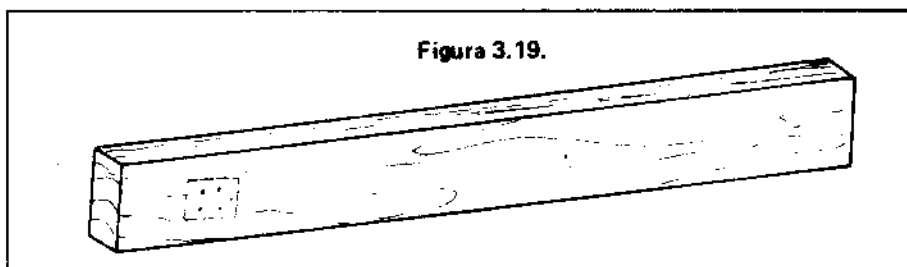
Tolerancia. No se permite en piezas que van a estar sometidas a esfuerzos de compresión paralela al grano. Para otros usos sí se permite. Las bandas parenquimatosas no deben ser mayores de 2 mm de espesor.

3.5.7.11. PERFORACIONES

Son agujeros o galerías causadas por el ataque de insectos o larvas. Se consideran:

- a. Perforaciones pequeñas. b. Perforaciones grandes.

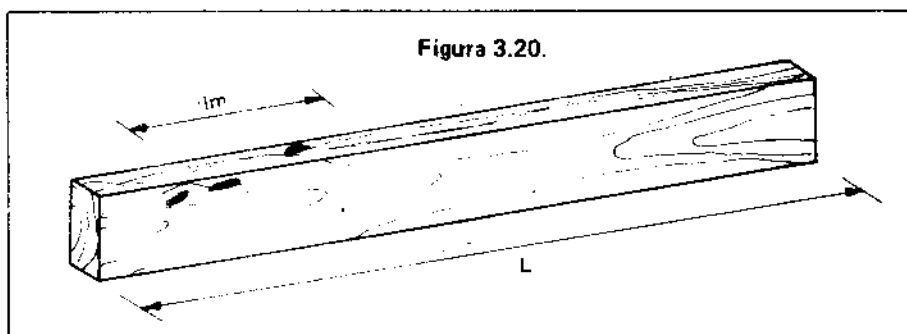
- a. Perforaciones pequeñas:



Reconocimiento. Son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm, producidos por insectos de Tipo *Ambrosia*. Insectos tipo *Lyctus* no se aceptan.

Tolerancia. Se permite cuando su distribución es moderada y comprende una zona menor que un cuarto de la longitud total de la pieza. Máximo 100 agujeros en 100 cms². No alineados ni pasantes.

- b. Perforaciones grandes:

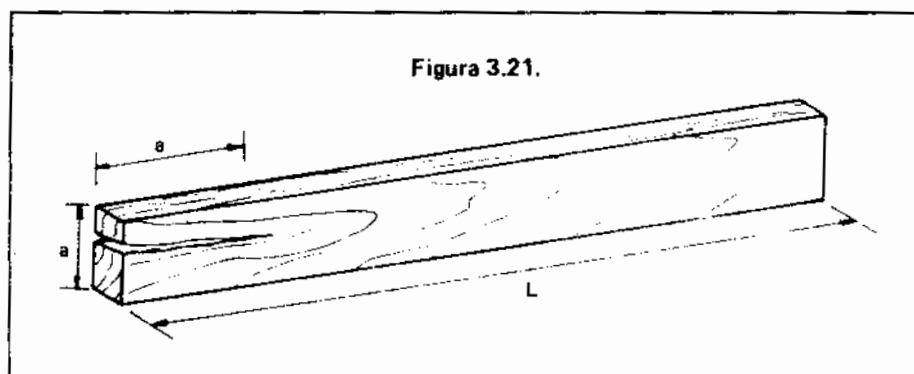


Reconocimiento. Son agujeros con diámetros mayores de 3 mm, producidos por insectos o larvas perforadas tipo "brocas de los domicilios", *Bostrychidae*.

Tolerancia. Se permite cuando su distribución es moderada y superficial. Máximo 3 agujeros por metro lineal. No alineados ni pasantes.

3.5.7.12. RAJADURAS

Son separaciones naturales entre los elementos de la madera que se extienden en la dirección del eje de la pieza y afectan totalmente su espesor, o dos puntos opuestos de una madera rolliza.



Reconocimiento. Se observan como separaciones del tejido leñoso en la dirección del grano.

Tolerancia. Se permite sólo en uno de los extremos de la pieza y de una longitud no mayor al ancho o cara de la pieza.

Tabla 3.2.
CLASIFICACION POR DEFECTOS

Defecto	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Acebolladura	No se permite	No se permite	No se permite
Alabeo	No se permite	No se permite	Ligero y mediano
Agujero	No se permite	No se permite	Máximo 2 por mt lineal
Arista faltante	No se permite	Pequeña: Máximo en un canto.	Pequeña: Máximo en 2 cantos. Mediana: Máximo en un canto.
Bolsas de resina	Pequeñas: Máximo 1 por metro lineal. Medianas: Máximo 1 por metro lineal.	Pequeñas: No se consideran.	No se consideran.
Cepillado desgarrado	No se permite	No se permite	Se permite en máximo 10% de las piezas.

Tabla 3.2.
CLASIFICACION POR DEFECTOS
(...Continuación)

<i>Defecto</i>	<i>Clase 1</i>	<i>Clase 2</i>	<i>Clase 3</i>
Corteza inclusa	No se permite	Pequeña: En una de las superficies	Pequeña: No se considera. Grande: En una de las superficies de la pieza.
Fractura	No se permite	No se permite	No se permite.
Grano inclinado (El característico de la especie no se tiene en cuenta.)	Con máximo 8% de desviación.	Con máximo 12% de desviación.	Con una desviación máxima de 25%.
Grietas	Cortas superficiales: Máximo 5 por metro lineal.	Cortas y medianas superficiales: No se consideran Cortas y medianas profundas: Máximo 5 por metro lineal.	Cortas y medianas: No se consideran Largas: Máximo 5 por metro lineal.
Manchas	No se permiten	Hasta en 1/3 de la superficie de la pieza en máximo 5% de las piezas del lote.	No se consideran
Marcas de sierra	No se permiten	Las superficiales no se consideran.	No se consideran.
Medidas insuficientes	3% en el espesor y 2% en el ancho máximo 10% de las piezas del lote.	10% en el espesor y 3% en el ancho en máximo 10% de las piezas del lote.	10% en el espesor y 3% en el ancho en máximo 10% de las piezas del lote.
Médula inclusa	No se permite	No se permite	Cuando el diámetro no sobrepase el 30% del espesor de la pieza.
Nudos	Pequeños, sanos y firmes: Máximo 1 por metro lineal.	Pequeños, sanos y firmes: No se consideran. Medianos sanos y firmes: Máximo 2 por metro lineal.	Pequeños, sanos y grandes, sanos y firmes: No se consideran. Pequeños no sanos y flojos: Máximo 2 por metro lineal.
Pudrición	No se permite	No se permite	En un área concentrada igual a máximo el 10% de la superficie de la pieza.
Rajaduras	No se permiten	Cortas: Únicamente en los extremos.	Cortas: No se consideran. Medianas: Únicamente en los extremos.
Remolinado	Pequeño: Máximo 1 por metro lineal.	Pequeño: No se considera. Mediano: Máximo dos por metro lineal.	Pequeño, mediano y grande: No se consideran.
Taladrado	Pequeño: Máximo 10 por metro lineal.	Pequeño: Máximo 20 por metro lineal Grande: Máximo 3 por metro lineal.	Pequeño: No se considera. Grande: Máximo 5 por metro lineal.

3.6. AGRUPACION DE LAS MADERAS TROPICALES EN GRUPOS ESTRUCTURALES

Tabla 3.3.
CLASIFICACION EN GRUPOS ESTRUCTURALES

<i>Grupo estructural</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre básico</i>
A	Chanul	Humiriastrum procerum
	Chaquiro	Goupia glabra
	Oloroso	Humiria balsaminifera
B	Machera	Symphonia globulifera
	Nato	Mora megistosperma
	Pantano	Hieronyma chocoensis
C	Aceite mario	Calophyllum mariae
	Carrá	Huberodendron patinoi
	Dormitón	Pentaclethra macroloba
	Mora	Clarisia racemosa
	Sande	Brosimum utile
	Tangare	Carapa guianensis

Las propiedades mecánicas de la madera, especialmente el esfuerzo de rotura en flexión (módulo de rotura o MOR), están correlacionados con la densidad básica.

Por lo tanto, el agrupamiento de las especies en tres grupos está basado —con algunas excepciones— en las densidades. Los límites entre los grupos han sido establecidos considerando tanto las características de resistencia como de rigidez.

Las maderas ensayadas por el PADT-REFORT han sido clasificadas en tres grupos estructurales, en función de su resistencia y densidad básica.

Se denomina A al grupo de maderas de mayor resistencia, B al grupo intermedio y C al grupo de menor resistencia. Las densidades básicas de las maderas del grupo A están por lo general en el rango de 0.71 a 0.90, las del grupo B entre 0.56 y 0.70, y las del grupo C entre 0.40 y 0.55.

A medida que se vayan ensayando nuevas especies será posible ubicarlas directamente en algunos grupos y usar los valores de diseño recomendados. Puede en ciertos casos usarse una metodología, como la propuesta en el *Capítulo 1*, para incorporar directamente una especie en el grupo correspondiente.

Este agrupamiento, así como todas las otras recomendaciones de diseño que se presentan en este manual, es válido solamente para madera que satisface la Norma de Clasificación Visual por Defectos.

Cualquier especie de las ubicadas en un grupo estructural determinado se considera que reúne por igual las características de resistencia y rigidez asignadas al grupo. Desde el punto de vista de comportamiento estructural es indiferente usar cualquiera de ellas una vez seleccionado el grupo que desea. Sin embargo, deben tomarse en cuenta que las maderas del mismo grupo estructural no siempre tienen características similares de trabajabilidad y durabilidad natural.

Tabla 3.4.
DENSIDAD BASICA DE ALGUNAS
MADERAS COLOMBIANAS

<i>Madera</i>	<i>Densidad Básica</i>
Caracolí	.34
Soroga	.37
Sande	.42
Aceite Mario	.46
Sujo	.37
Sebo	.35
Tangore	.49
Bonga	.21
Mora	.46
Canime	.48
Cuangare	.32
Chaquiro	.68
Cocuelo Blanco	.34
Pantano	.62
Carrá	.50
Oloroso	.68
Chanul	.69
Carbonero	.59
Nato	.63
Dormilón	.43
Caimito dorado	.68
Púnula	.45
Hobo colorado	.31
Machare	.58

CAPITULO IV

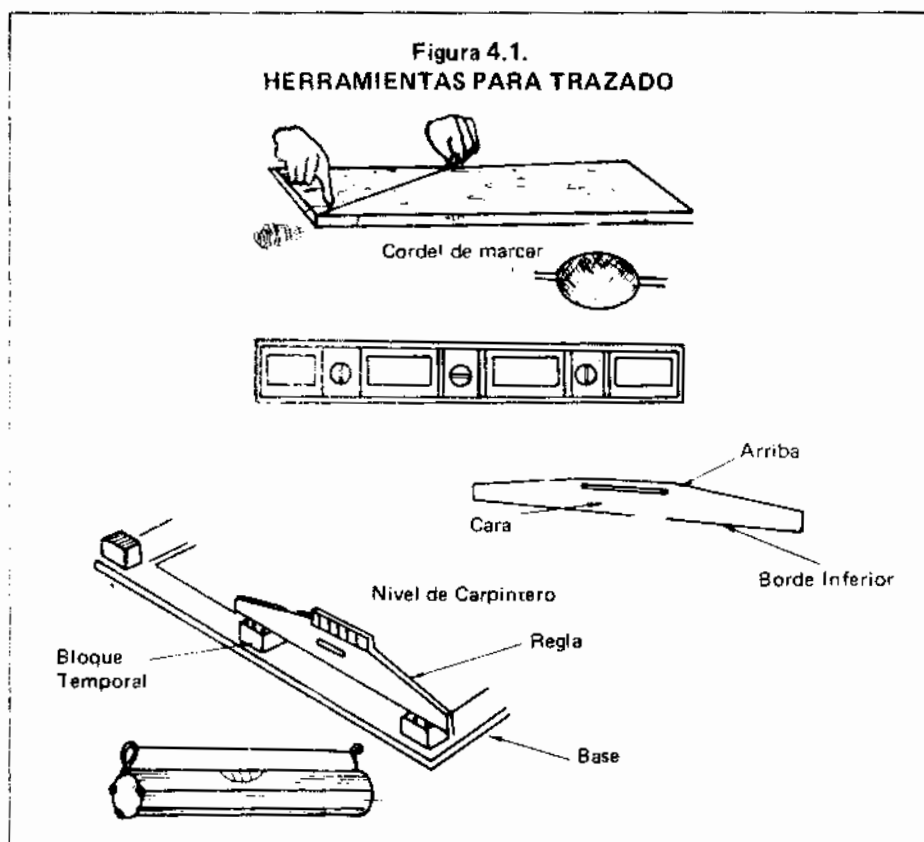
HERRAMIENTAS DE TRABAJO

4.1. GENERALIDADES

Las herramientas y materiales usados en el trazado se deben seleccionar cuidadosamente. Trazado significa las acciones que se ejecutan en la preparación de los materiales y el área de trabajo antes de empezar la construcción. Tan pronto como se ha elegido el sitio de la construcción, se puede empezar el trazado.

Las más usadas comúnmente son mostradas en la *Figura 4.1*.

- a. **Mazo o Mandarria:** Se usa el mazo o mandarria para hundir estacas o esquinas, golpear postes de listones de replanteo.
- b. **Barrena para huecos de postes:** Se usa para cavar los huecos en el suelo requeridos por los postes.
- c. **SERRUCHO DE MANO:** Se usa para cortar listones de replanteo y postes.
- d. **Cordel de marcar:** Es un cordel blanco y retorcido de albañil que se compone de un carrete, cordel y tiza. Se reviste con tiza y se estira tenso entre puntos que se van a conectar por una línea recta por encima de la superficie. Al levantarlo y soltarlo, el cordel deja una línea de guía recta.
- e. **Cinta de trazar:** Es una cinta de algodón de aproximadamente una pulgada de ancho. Viene generalmente en largos de 200 pies para trazar líneas de excavación o fundación.
- f. **Hacha o Hachuela:** Se usa para sacar filo a tablas y estacas.



g. **Martillo:** Se usa para construir tablas provisorias para establecer la línea de excavación.

h. **Postes y estacas:** Los postes de listones de replanteo se hacen de material de 2 x 4 o 4 x 4 las estacas de esquinas de 4 x 4. Los listones de replanteo se hacen de piezas de 1 x 4 o 1 x 6.

i. **Nivel de carpintero:** El nivel de carpintero determina la horizontalidad de la superficie y divide las líneas niveladas. Se puede usar directamente en la superficie o con una regla. La horizontalidad se determina por las burbujas suspendidas dentro de los tubos de vidrio paparetos a una o más superficies del nivel.

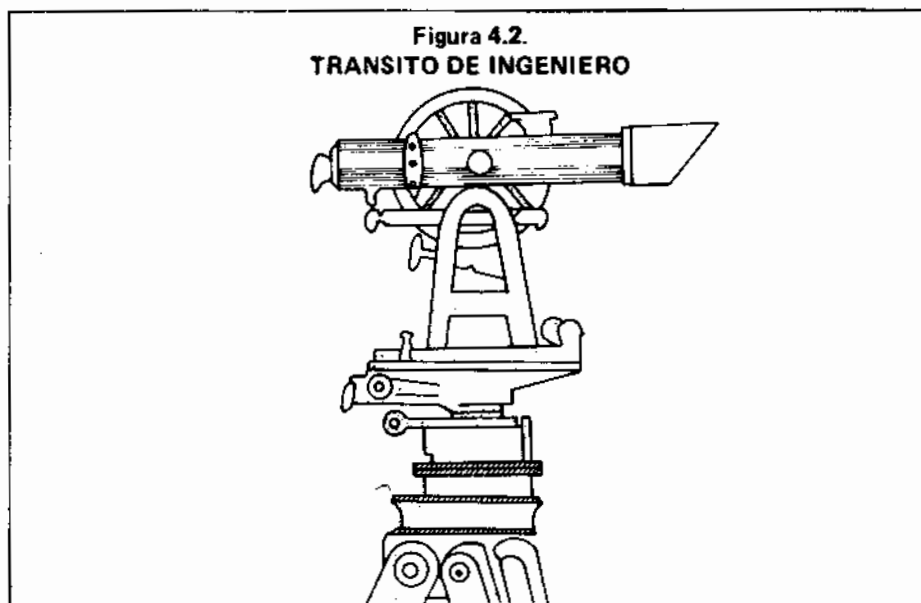
j. **Regla:** Generalmente tiene un agujero para la mano, un borde inferior de por lo menos 30 pulgadas de largo que se usa como una superficie niveladora, y un borde superior por lo menos de 8 a 10 pulgadas de largo que se usa como superficie de trabajo. Se puede usar con el

nivel para aumentar el área que se revisa. Se usa con frecuencia para proyectar líneas rectas entre puntos tan cercanos como para usar el borde como regla.

k. **Nivel de Cuerda:** El nivel de cuerda tiene una burbuja de solución alcohólica para mostrar horizontalidad; se debe suspender de una cuerda. Colocado en la mitad entre los puntos que se nivelan da una mayor precisión.

l. **Tránsito de Ingeniero o Instrumento de Nivelar:** El tránsito de ingeniero establece puntos de referencia o líneas de grado que permitan subir o bajar en cuanto al nivel vertical. Localiza esquinas y traza líneas para edificios o excavaciones.

El tránsito de ingenieros tiene un trípode ajustable y cabeza. Mide ángulos verticales y horizontales. (Figura 4.2.)

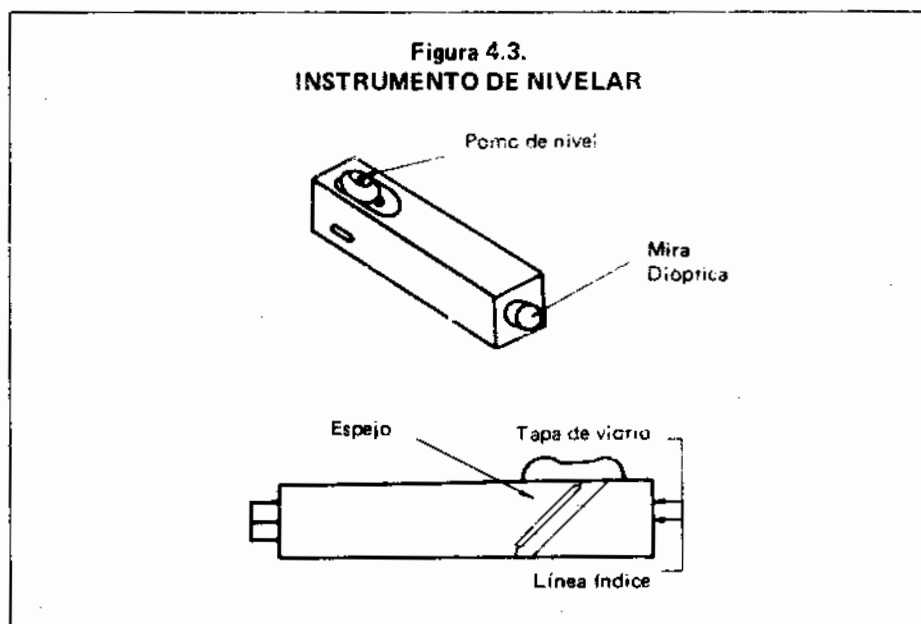


II. **Nivel de mano del localizador:** Mide aproximadamente diferencias en elevación y puede establecer grados sobre distancias limitadas (Figura 4.3.). En el tubo se ven el paisaje, la burbuja del nivel y la línea índice.

4.2. FERRETERIA DE CONSTRUCCION

Los sujetadores usados en la construcción de armazones en el sitio de trabajo están hechos de metal. Están clasificados como clavos,

tornillos, pernos, brocas, pasadores, sujetadores corrugados y conectores de madera.



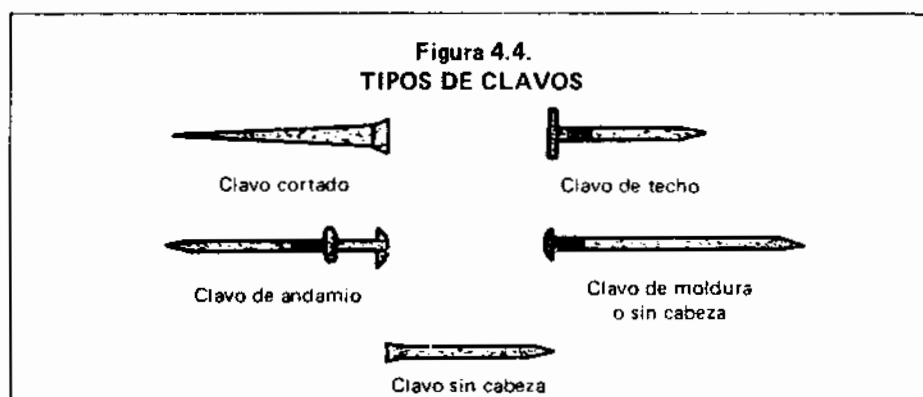
4.2.1. CLAVOS

a. **Uso:** El clavo corriente usado por el carpintero del Ejército está hecho de alambre de acero. Existen muchos tipos de clavos, clasificados de acuerdo con el uso y la forma. El clavo de alambre es redondo, derecho, puntiagudo y varía en tamaño, peso, forma de la cabeza, tipo de punta y acabado. Las siguientes reglas se siguen en el uso de clavos:

1. El clavo debe ser por lo menos tres veces el largo del grueso de la madera que se va a sujetar. Dos tercios del largo del clavo se meten en la segunda pieza para un anclaje apropiado; un tercio ancla la pieza que se sujeta.
2. Unos pocos clavos del tamaño y tipo apropiado, colocados y metidos adecuadamente, sujetarán mejor que muchos metidos juntos.
3. Los clavos son los sujetadores más baratos y más fáciles de usar. Los tornillos de tamaño considerable proporcionan un gran poder de sujeción; los pernos proporcionan aún más.

b. Tipos:

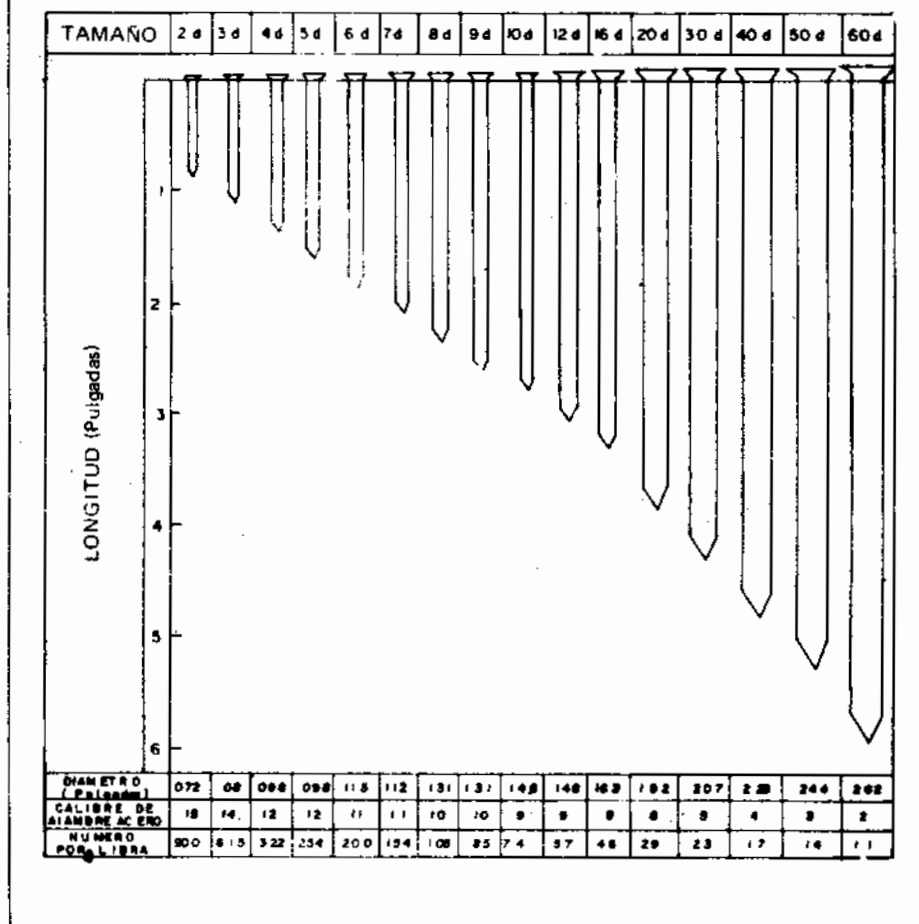
1. *Clavos comunes de alambre*: Los clavos comunes de alambre y los de encajonar son iguales, excepto que los tamaños del alambre son uno o dos números más pequeños, para una longitud dada del clavo de caja. El clavo común de alambre se usa para el armazón de construcción de casas.
2. *Clavos sin cabeza*: El clavo sin cabeza se hace de alambre más fino y tiene una cabeza más pequeña que el clavo común. Se puede clavar debajo de la superficie de la madera y deja sólo un pequeño agujero que se llena fácilmente con masilla. Se usa generalmente para trabajo de acabado interior o exterior y para carpintería o ebanistería acabada.



3. *Clavo de andamio o formaleta*: Este clavo parece tener dos cabezas. La cabeza inferior (Hombro) permite que el clavo sea hundido con seguridad mientras que la cabeza superior se proyecta fuera de la madera para facilitar sacarlo. El clavo de andamio no está destinado a ser permanente.
4. *Clavo para techo*: Los clavos para techo son clavos galvanizados, con punta en forma de diamante, eje redondo, de longitud relativamente corta y cabeza larga, ellos fijan el material flexible para techo y resiste la exposición continua al tiempo. El material asfaltado para techo debe sujetarse con clavos resistentes a la corrosión, nunca con clavos sencillos. El clavo se empieza en el centro de la teja, justamente encima de los cortes o ranuras para evitar combarse.
5. *Clavos cortados*: Los clavos cortados tienen forma de cuña con cabeza grande en el extremo. Se usan con frecuencia para clavar

material para piso, porque son de acero muy duro y tienen buen agarre.

Figura 4.5.
TAMAÑOS DE CLAVOS



c. **Tamaños:** Este término se aplica de acuerdo a la longitud del clavo (tamaño 1, tamaño 2, etc.). El número aproximado de clavos por libra varía de acuerdo con el tipo y tamaño. La *Figura 4.5.* explica el término "tamaño", para cada uno de los clavos aludidos en esta sección. La "d" al lado de los números, es la abreviatura de "tamaño" y se debe leer "tamaño 2", "tamaño 3", etc.

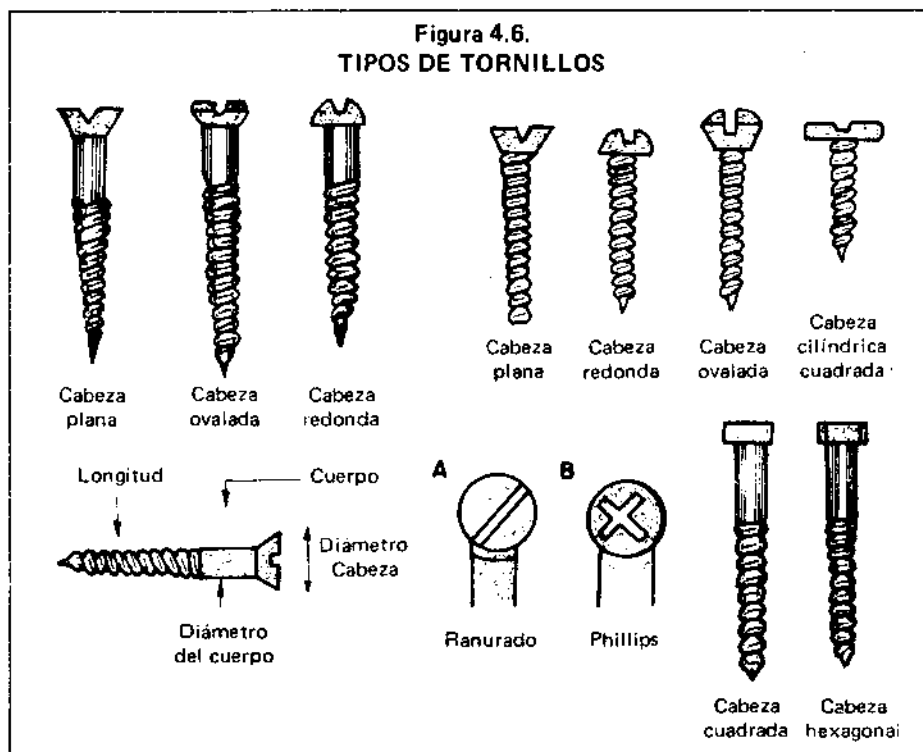
4.2.2. TORNILLOS

Tornillos en lugar de clavos, son más costosos pero algunas veces necesarios para resultados superiores.

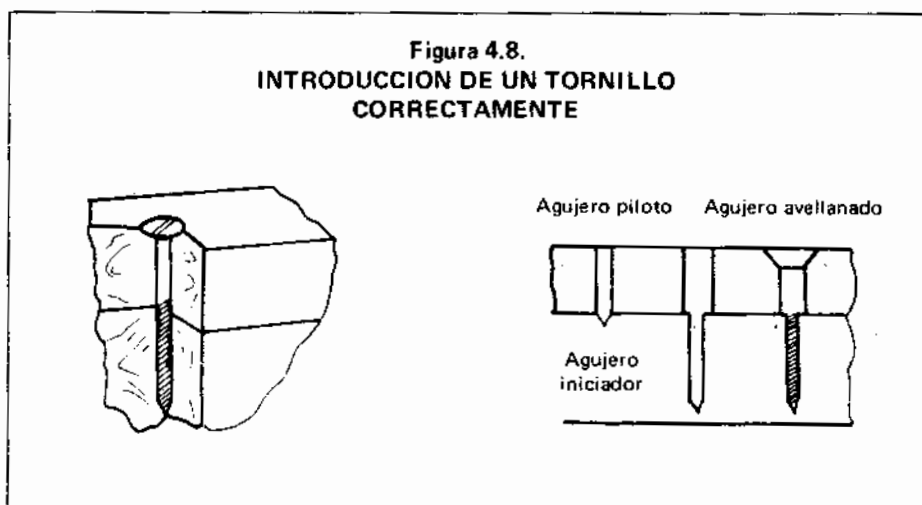
Los tornillos proporcionan más potencia de agarre que los clavos, se pueden apretar más fácilmente para que sea más segura la unión del material; son más nítidos en apariencia y se pueden retirar sin dañar el material. El tornillo común de madera está generalmente hecho de acero no endurecido, acero inoxidable, aluminio o latón. El acero puede ser de acabado brillante o azulado, o revestido en zinc, cadmio o cromo. Los tornillos para madera son enroscados desde una punta de gusanillo por aproximadamente $2/3$ de la longitud del tornillo y tienen una cabeza ranurada para uso de un destornillador.

a. Tipos y Usos:

1. *Tornillos para madera:* Los tornillos para madera son designados de acuerdo con el estilo de la cabeza. Los tipos más comunes son cabeza plana, cabeza ovalada y cabeza redonda, ya sea con ranuras en la cabeza o de phillips.



Para la introducción de los tornillos, se taladra un agujero guía del diámetro del tornillo en la pieza de madera que va a ser unida (*Figura 4.8.*).



Después se taladra un agujero más pequeño en la pieza de madera que va a actuar como ancla para sostener las roscas del tornillo.

Este agujero se taladra con un diámetro menor que aquel de las roscas del tornillo y a una profundidad de $1/2$ ó $2/3$ el largo de las roscas que se van a anclar. Esto asegura precisión en la colocación de los tornillos, reduce la posibilidad de rajar la madera y reduce el tiempo requerido.

2. Tirafondos: Son más largos y pesados que los tornillos de madera comunes y tienen roscas más gruesas que se extienden desde un cono o punta de gusanillo, ligeramente a más de la mitad del largo del tornillo. Los tirafondos de cabeza cuadrada y hexagonal se colocan con una llave de tuerca. Se usan cuando tornillos ordinarios de madera serían muy cortos o muy livianos y clavos largos no serían lo suficientemente fuertes.

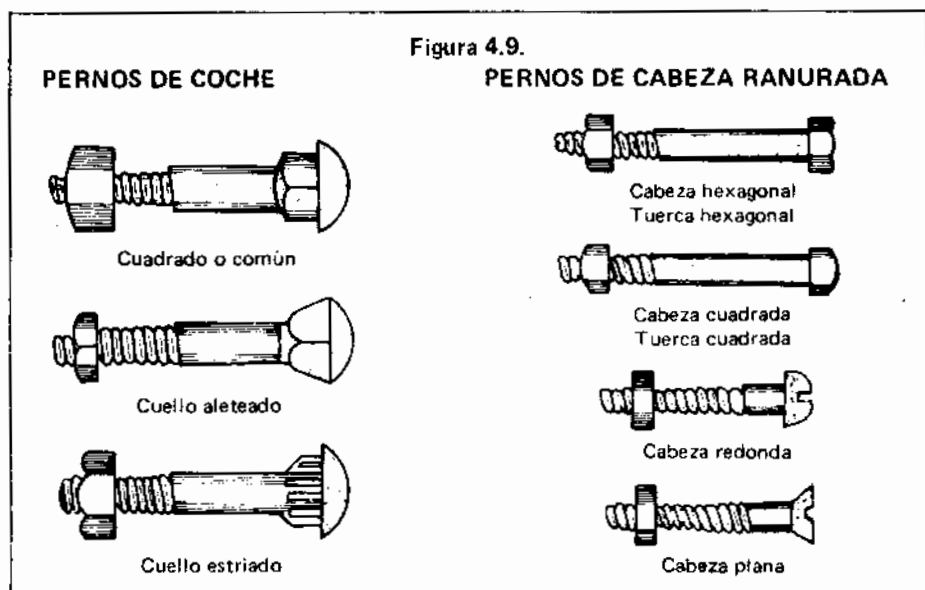
3. Taquetes de expansión: Los taquetes de expansión, que son los mismos anclajes de expansión, se insertan en un agujero taladrado, generalmente en la mampostería, para proporcionar una base de agarre o anclaje para un tornillo, perno o clavo. El taquete se puede obtener separadamente o puede incluir el tornillo, el perno o el clavo. Después de que el taquete de expansión ha sido insertado en el agujero, se mete el sujetador en el hueco del taquete, acufiándolo firmemente contra la superficie del agujero.

b. **Tamaños de tornillo para madera:** Los tamaños de tornillos para madera varían desde 1/4 a 6 pulgadas. Los tornillos hasta 1 pulgada de largo, aumentan por octavos; los de 1 a 3 pulgadas, aumentan un cuarto, y los de 3 a 6 pulgadas aumentan por media pulgada. Los tornillos varían en longitud y tamaño de eje. Cada longitud está hecha en un número de tamaño de ejes identificados por un número que muestra las diferencias relativas en el diámetro de los tornillos. La nomenclatura propia de un tornillo incluye el tipo, material, acabado, longitud y número de tamaño de taladro o broca para el agujero del cuerpo, y el tamaño de taladro o broca para el agujero.

4.2.3. PERNOS

Se usa pernos cuando se requiere mucha fuerza o cuando el trabajo debe ser frecuentemente desarmado. Las tuercas se usan generalmente para sujetar y algunas veces se usan arandelas para proteger la superficie del material que sujeta. Se seleccionan pernos para un uso específico en términos de longitud, diámetro, roscas, estilos de cabeza y tipo. Las arandelas entre la tuerca y la superficie de madera o entre la tuerca y la cabeza y sus superficies opuestas evitarán dañar las superficies y permitirán protección cuando se aprieta.

a. **Pernos de Coche:** Los pernos de coche vienen en tres tipos: Perno cuello cuadrado, perno cuello aleteado, y perno cuello estriado. (Figura 4.9.).



Tienen cabezas redondas que no están hechas para ser atornilladas.

Tienen roscas sólo en parte del eje; generalmente las roscas son dos o cuatro veces tan largas como el diámetro del perno. En cada tipo de perno de coche, la parte superior del eje, inmediatamente debajo de la cabeza, agarra los materiales en los que se inserta el perno y evita que gire cuando se atornilla una tuerca o cuando se remueve. El tipo aleateado tiene dos o más aletas que se extienden desde la cabeza al eje. El tipo de estriado tiene nervaduras, ranuras o recortaduras en todo o parte de un hombro, localizando inmediatamente debajo de la cabeza. Los agujeros taladrados para recibir los pernos de coche son hechos para ajuste apretado del cuerpo del perno y contrataladrado para permitir que la cabeza del perno ajuste a ras con la superficie del material o debajo del material que se va a unir. Entonces se mete el perno en el agujero con un martillo. Los pernos de coche son principalmente para unir madera con madera, pero también se pueden usar para unir madera con metal. Si se usan para aplicación de madera con metal, la cabeza se debe ajustar a la pieza de la madera.

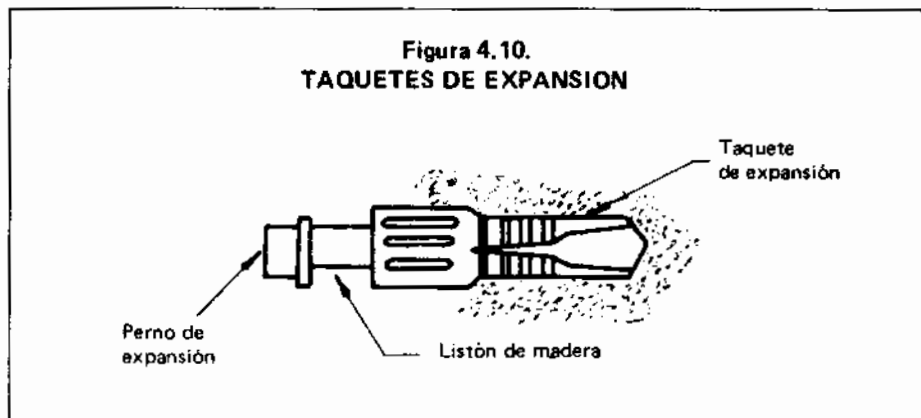
Las superficies de metal son a veces petraladradas y avellanadas para permitir el uso de pernos de coche en metal con metal. Los pernos de coche se pueden obtener desde 1/4 de pulgada a 1 pulgada de diámetro, y desde 3/4 a 20 pulgadas de largo. Se debe usar una arandela plana común con los pernos de coche entre la tuerca y la superficie de madera.

b. **Tornillo Tapón (Pernos comunes):** los pernos comunes están hechos con roscas fina o rosca ordinaria que extienden en longitud desde dos veces el diámetro del perno más 1/4 de pulgada para pernos menores de 6 pulgadas en longitud, a dos veces el diámetro del perno más 1/2 pulgada para pernos de más de 6 pulgadas de longitud. Están hechos con precisión y generalmente se aplican de metal a metal donde es deseable una tolerancia estrecha. La cabeza puede ser cuadrada, hexagonal, doble hexagonal, redonda o plana avellanada. La tuerca generalmente corresponde en forma a la cabeza del perno con el cual se usa. Los pernos comunes sólo se manejan externamente. El perno común apropiado se selecciona sobre la base de estilo de cabeza, longitud, diámetro, número de roscas por pulgada y grosor de la rosca. El hueco por el cual va a pasar el perno se taladra al mismo diámetro de perno. Los pernos comunes se hacen en diámetros desde 1/4 de pulgada a 3 pulgadas y se pueden obtener en cualquier longitud deseada.

c. **Pernos de Estufa:** Fabricados con menos precisión que los pernos de coche; son hechos con cabezas planas o redondas ranuradas y pueden tener roscas que se extienden sobre toda la longitud del cuerpo, sobre

parte del cuerpo o sobre la mayor parte del cuerpo. Generalmente se usan con tuercas cuadradas y se aplican a metal con metal, madera con madera, o metal con madera. Si son de cabeza plana, se avellana el agujero; si son de cabeza redonda, se aprietan a ras con la superficie.

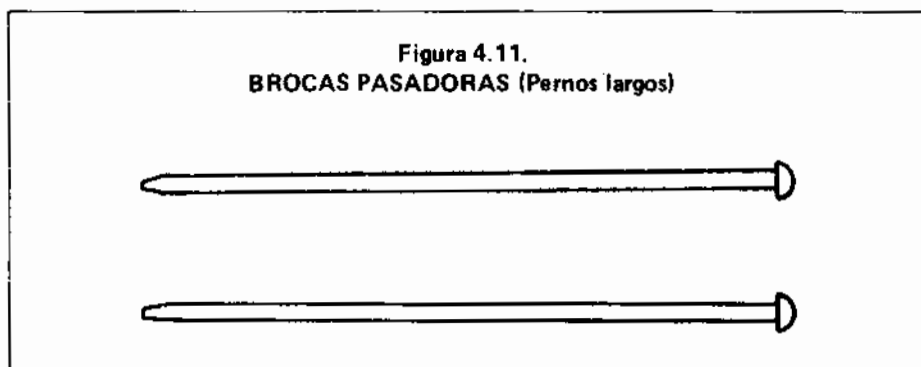
d. Taquetes de expansión: Un taquete de expansión es un perno usado con un escudo de expansión para proporcionar anclaje en sustancias en las que un sujetador con roscas es inútil. (*Figura 4.10.*).



Cuando se inserta el perno y queda acuñado firmemente en el agujero, proporcionando una base segura para el agarre del sujetador.

4.2.4. BROCAS PASADORAS

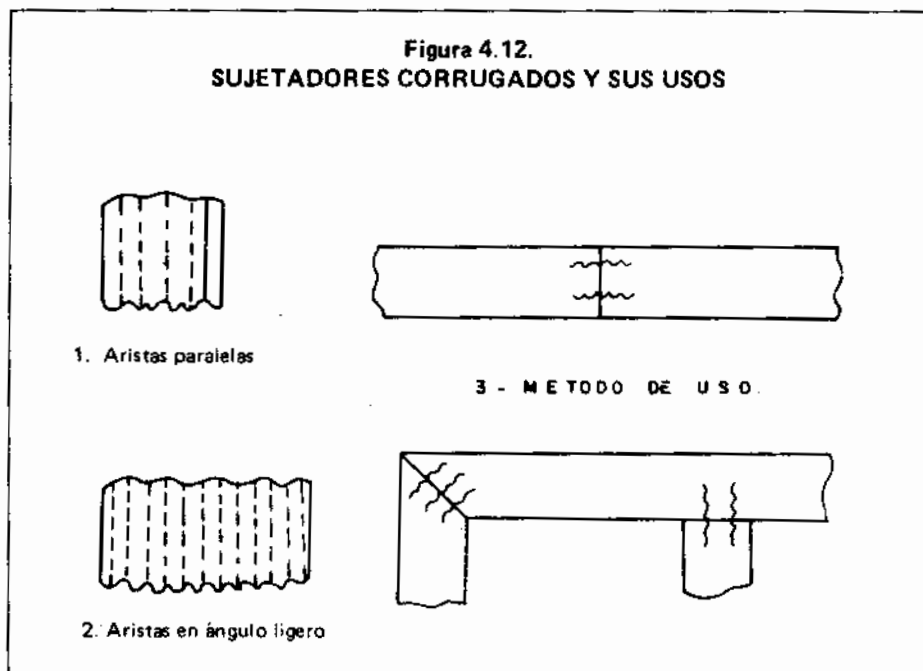
Las brocas pasadoras llamadas pernos largos para fines de abastecimiento, son pernos largos pesados y sin roscas usados para sujetar piezas pesadas juntas. (*Figura 4.11.*).



- a. **Tipos:** Las brocas pasadoras tienen cabezas y varían su diámetro desde 1/2 pulgada a 1 pulgada y longitudes de 18 a 26 pulgadas.
- b. **Usos:** Para usar la broca pasadora, se hacen en el madero un agujero levemente más pequeño que el diámetro del perno. El perno se introduce en el agujero y se mantiene en lugar por acción de compresión de la madera.

4.2.5. SUJETADORES CORRUGADOS

Una manera de unir juntas y empates en pequeños maderos y tablas es usar sujetadores corrugados. Se usan particularmente en juntas o empates. Están hechos de hojalata de 18 a 22 calibres con aristas y analetes alternas; las aristas varían desde 3/16 a 5/16 pulgadas, de centro a centro. Un canto está cortado cuadrado; el otro está afilado con bordes sesgados.



- a. **Tipos:** Existen dos tipos de sujetadores corrugados: Uno con aristas que corren paralelas, el otro con aristas que corren en un ligero ángulo uno al otro. El último tipo tiende a comprimir el material puesto que las aristas y las canaletas están más cercas en la parte superior que en la inferior.

b. Tamaño: Estos sujetadores están hechos en diferentes longitudes y anchuras. La anchura varía desde 5/8 a 1-1/8 de pulgada, mientras que la longitud varía desde 1/4 a 3/4 de pulgada.

Los sujetadores también están hechos con diferentes números de aristas, variando desde 3 a 6 aristas por sujetador.

c. Uso: Se usan sujetadores corrugados con variedad de modo; para sujetar tablas paralelas, como en sobres de mesas; para hacer cualquier clase de juntas; y como sustituto para clavos donde éstos pueden rajar madera. Los sujetadores tienen mayor poder de sujeción que los clavos en madera pequeña.

4.2.6. CONECTORES DE MADERA

Los conectores de madera son dispositivos de metal para aumentar la fuerza de unión en las estructuras de madera. Las conexiones eficaces ya sean para juntas de madera a madera o de madera a acero, las proporcionan los distintos tipos de conectores de madera. El tipo correcto lo determina mayormente la clase de junta que se va a hacer y la carga que va a llevar. Los conectores eliminan mucho del armazón complicada de juntas. Simplifican el diseño de construcción pesada; dan mayor eficacia al material; reduce la cantidad de madera y ferretería usada; y ahorra mucho tiempo y labor.

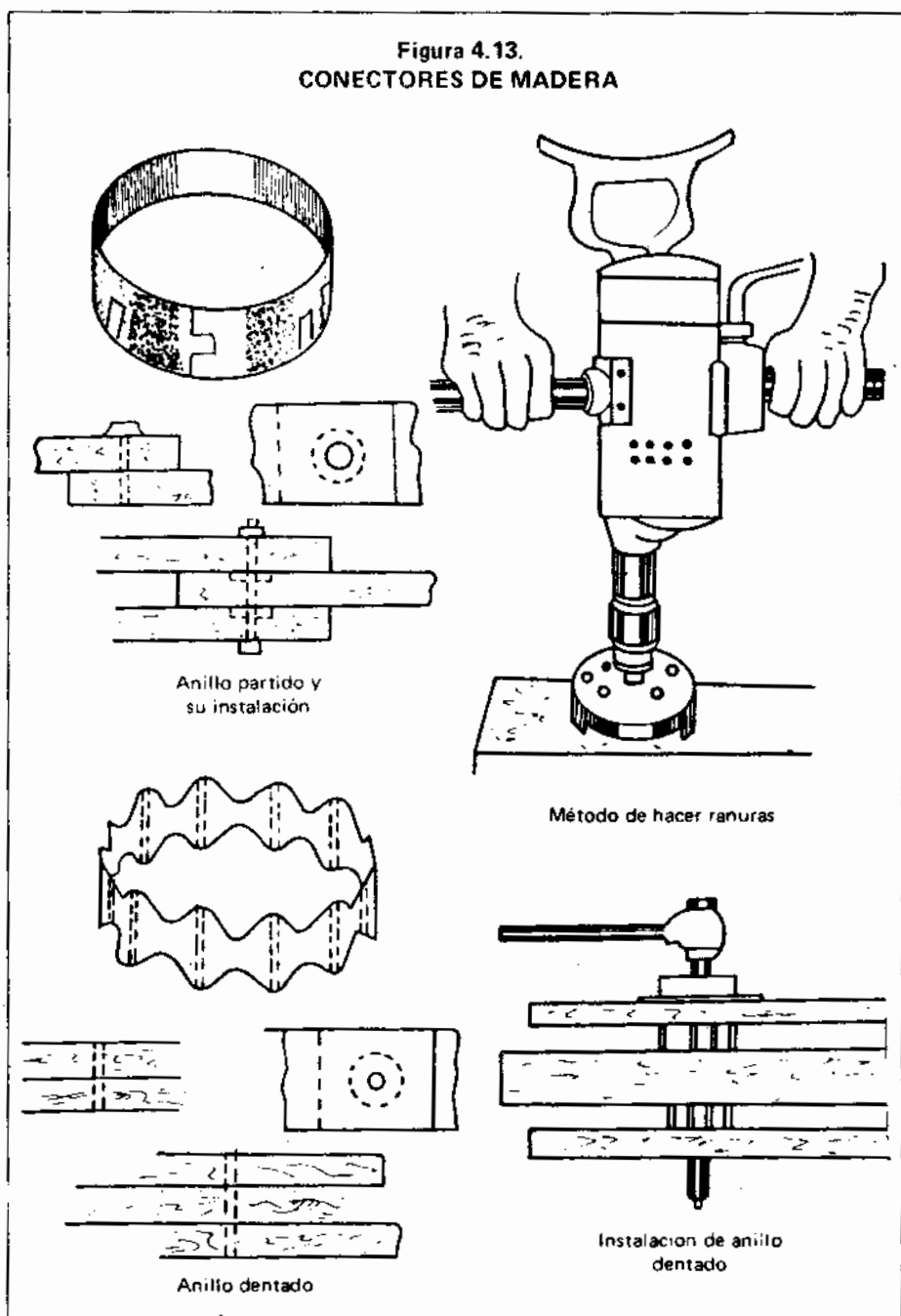
a. Tipos: Los anillos partidos están hechos de acero de bajo carbono y tiene diámetros de 2 1/2 pulgada a 4 pulgadas. Se usan entre las dos caras de la madera para construcción pesada. Se ajustan en ranuras que son cortadas a media profundidad del anillo en cada una de las caras de la madera.

La ranura se hace con una broca especial usada en un taladro eléctrico, de aire o de mano. La ranura y lengüeta en el anillo le permite que resista simultáneamente contra la pared del cono y la pared externa de la ranura dentro de la cual se coloca el anillo. El borde interno biselado y cepillado hace más fácil su instalación y remoción (*Figura 4.13.*).

b. Usos: Los anillos dentados son corrugados, están hechos de plantas de acero de bajo carbono de calibre 16. Se usan entre dos marcos de madera para construcción comparativamente ligera y son empotrados en las caras de los miembros de las juntas que se hacen contacto por medio de presión.

Todas las conexiones entre piezas de madera se clasifican como juntas o empates. Juntas son conexiones entre dos piezas de madera que se juntan en un ángulo.

Empates son conexiones entre dos piezas de madera que se extiende en la misma línea que hace contacto por medio de presión.



CAPITULO V

MECANICA DE LAS ESTRUCTURAS

5.1. GENERALIDADES

a. **Propósito:** El propósito de este capítulo, es familiarizar al estudiante con la teoría básica de la estática y resistencia de materiales y sus aplicaciones en estructuras simples.

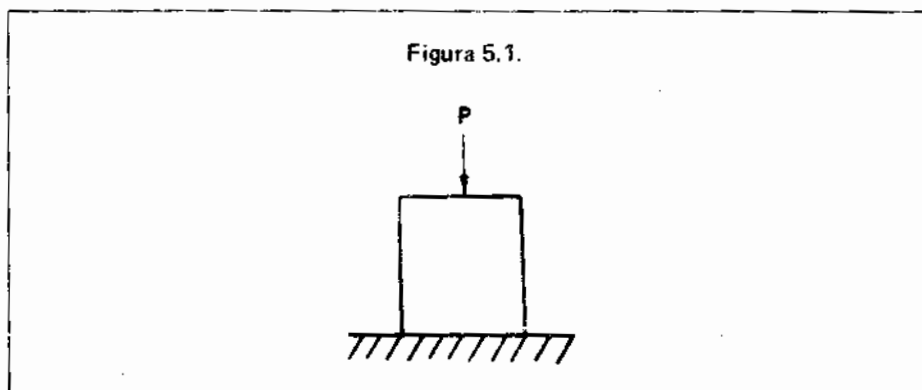
b. **Alcance:** Este capítulo cubre los principios básicos sobre los esfuerzos y el diseño de vigas simplemente apoyadas, con base en la flexión y el esfuerzo cortante. También serán tratadas, otro tipo de fallas que generalmente se presentan.

5.2. LOS TRES ESFUERZOS SIMPLES

5.2.1. FUERZAS EXTERNAS E INTERNAS

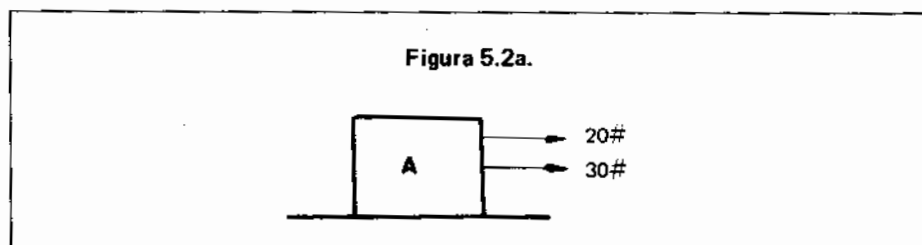
Cuando una fuerza es aplicada a un cuerpo, se denomina fuerza externa. La resistencia que el cuerpo ofrece o presenta para deformarse, se llama fuerza interna.

En la *Figura 5.1*. se aplica una fuerza al cuerpo y ésta es la fuerza externa. El cuerpo ofrece una resistencia para no acortarse. Esta es la fuerza interna.

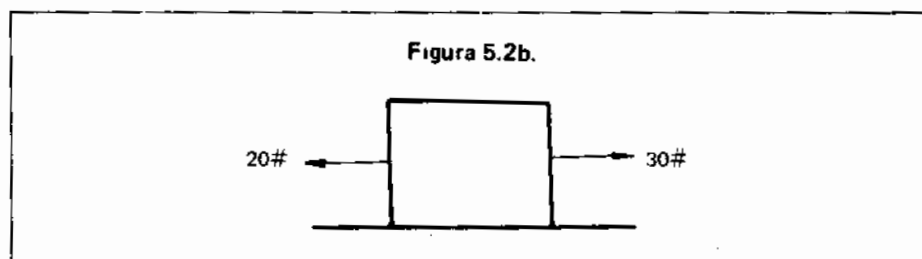


5.2.2. RESULTANTE DE DOS FUERZAS QUE ACTUAN EN UNA MISMA LINEA RECTA

Cuando dos fuerzas actúan sobre un cuerpo en la misma línea recta, aquella fuerza que reemplaza a las dos, produciendo el mismo efecto en el cuerpo se llama resultante. Si a un cuerpo A (Figura 5.2a.) es sometido a las fuerzas de 20 y 30 como se indica, es lógico que una fuerza de 50 será la resultante.

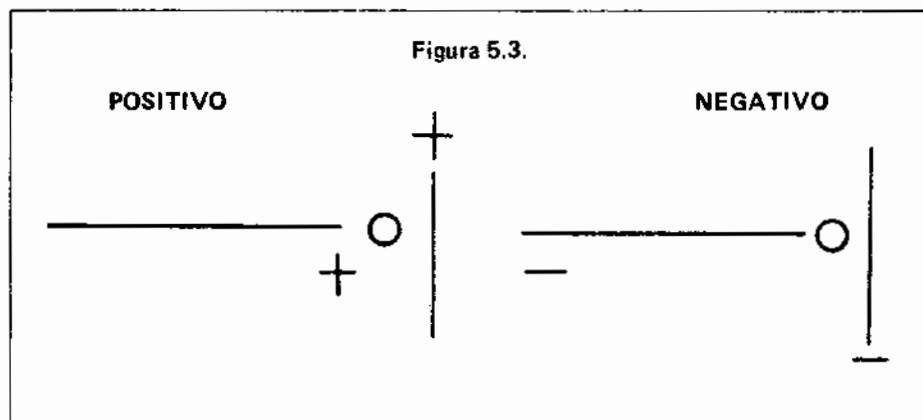


Cuando dos fuerzas actúan en direcciones opuestas 20 y 30 (Figura 5.2b.), la resultante será de 10 actuando hacia la derecha.



Cuando una fuerza actúa hacia arriba o hacia la derecha, se considera *positiva*. Cuando actúa hacia abajo o hacia la izquierda, se conside-

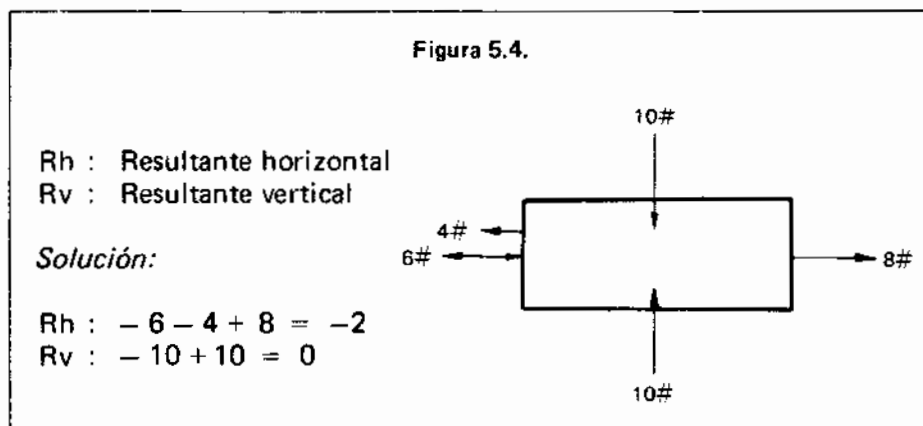
ta *negativa* (Figura 5.3.). La escogencia de los sentidos y de los signos es arbitraria, para nuestro estudio nosotros convenimos lo anteriormente expuesto.



Las fuerzas se leen o expresan en libras, toneladas, etc. Con los siguientes signos *más* o *menos*, según la dirección en que actúen. En la Figura 5.2b., la fuerza BD igual + 30# y la fuerza BC igual - 20#. El signo indica la dirección.

La regla para encontrar la resultante puede expresarse así: La resultante de cualquier número de fuerzas que actúen sobre la misma línea recta, es igual a la suma algebraica de éstas.

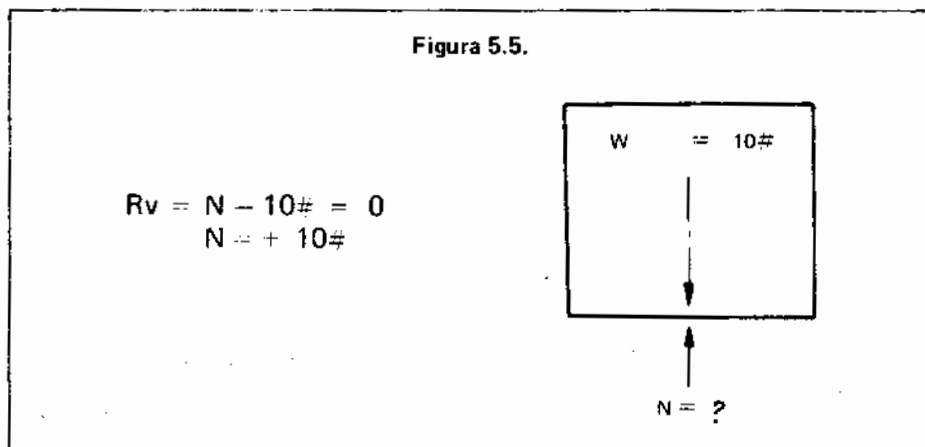
Ejemplo: Encontrar la resultante de las fuerzas que actúan sobre la Figura 5.4.



Las cinco fuerzas, pueden reemplazarse por una fuerza de 2# que actúa horizontalmente hacia la izquierda.

5.2.3. ACCION Y REACCION

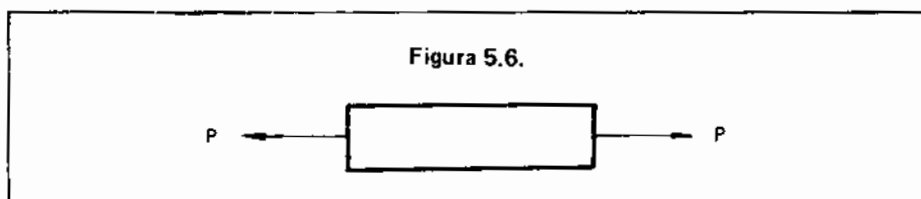
A toda acción, hay una reacción igual y opuesta (Tercera Ley de Newton). Cuando se suspende un peso de un gancho, el peso produce una sección hacia abajo. El gancho produce una fuerza igual y opuesta llamada reacción. una carga suspendida del centro de una viga produce una acción hacia abajo de la viga. Un cuerpo de 10# de peso, descansa sobre una mesa como se indica en la *Figura 5.5*. La fuerza hacia abajo debida a la gravedad es la acción, mientras que la mesa ejerce una reacción hacia arriba. Como el cuerpo no se mueve, las fuerzas están en equilibrio y la resultante R_v debe ser cero. Para encontrar la fuerza que la mesa ejerce sobre el cuerpo, tenemos:



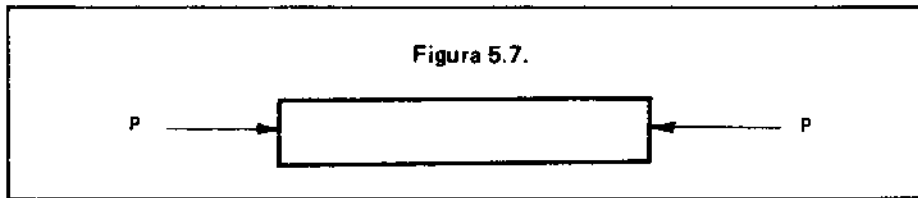
Se supuso que N era positiva, o sea que actuaba hacia arriba; y como el signo de N salió positivo, la suposición de la dirección es correcta

5.2.4. TENSION Y COMPRESION

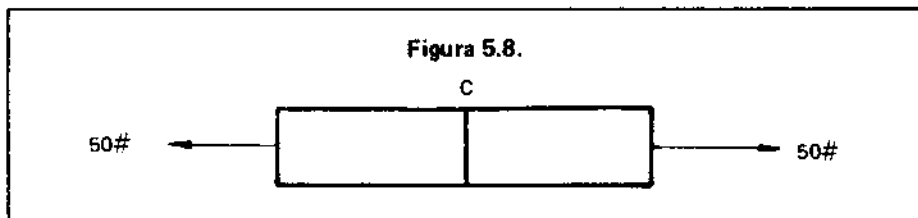
Cuando dos fuerzas iguales y opuestas (P), actúan sobre un cuerpo como se indica en la *Figura 5.6.*, el cuerpo está en tensión.



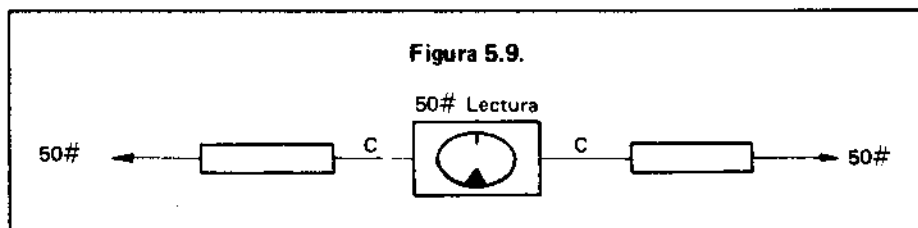
Si las fuerzas actúan como se indica en la *Figura 5.7.*, el cuerpo está en compresión.



Como experimento de tensión, tomemos una cuerda de longitud conveniente y apliquemos una fuerza de 50#, a cada extremo como se indica en la *Figura 5.8.*



Al cortar la cuerda por cualquier punto C, y colocar una balanza de resorte leeremos en ella 50#.



Esta es la fuerza interna que produce las fibras de la cuerda, antes de cortar ésta.

5.2.5. ESFUERZOS

Las fuerzas desarrolladas por las fibras de un cuerpo para impedir la separación de sus partes, cuando éste está sometido a tensión o que impide que el cuerpo se acorte y se rompa cuando está sometido a compresión, se llaman esfuerzos internos o simplemente esfuerzos. Se supone que los esfuerzos se desarrollan uniformemente sobre el área

de la acción transversal del cuerpo; generalmente las unidades se expresan en libras por pulgada cuadrada. Si las fuerzas externas (P), y el esfuerzo unitario permisible del material (f), son conocidos, el área requerida de la sección transversal del cuerpo (A_{reqd}), puede hallarse.

$$A_{reqd} = \frac{P}{f}$$

Donde:

P = Fuerza externa en libras.

f = Esfuerzo unitario permisible en $\#/Pulg^2$.

A_{reqd} = Área requerida de la sección transversal del miembro en pulgadas cuadradas, para resistir con seguridad las fuerzas externas.

Las unidades indicadas anteriormente son las de uso más común, pero debe emplearse cualquier otro tipo de unidades, por ejemplo: kilos y centímetros.

Si el área requerida, está dada en pies cuadrados y el esfuerzo unitario en toneladas por pie cuadrado, la carga se dará en toneladas.

Ejemplo de compresión: Un poste de madera de dos pies de largo, debe soportar una carga de 20.800#. ¿Cuál deberá ser la dimensión del poste?

Solución:

Material disponible:

3" x 3" x 3' 0"

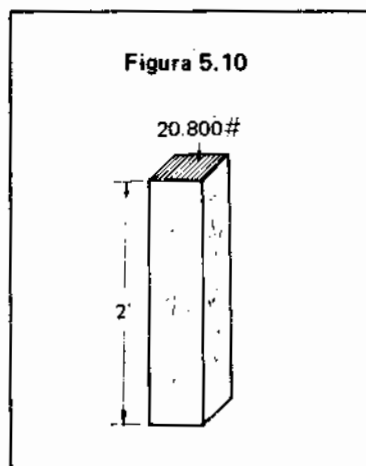
4" x 4" x 3' 0"

5" x 5" x 3' 0"

$P = 20.800\#$

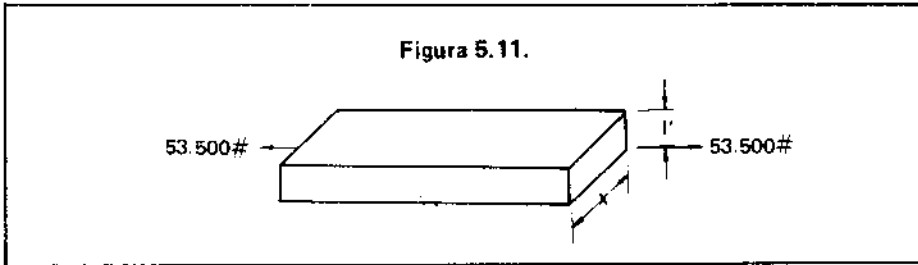
$f = 1.300\#/pulg^2$

$$A_{reqd} = \frac{P}{f} = \frac{20.800}{1.300} = 16 \text{ pulg}^2$$



Se debe emplear un poste de 4" x 4" para soportar 20.800# de carga. ($A = 4" \times 4" = 16 \text{ pulg}^2$).

Ejemplo de tensión: Se necesita una barra de acero para transmitir una fuerza de 53.300#. ¿Qué ancho debe tener la barra si su grueso es de una pulgada?



Solución:

$$P = 53.500\#$$

$$f = 27.000\#/\text{pulg}^2 \text{ de la Tabla 5.1.}$$

$$\text{Areqd} = P/f = \frac{53.500\#}{27.000\#} = 1.98$$

Areqd = Grueso por ancho = 1" x ancho = 1.98" ó 2.00".
Usar una barra de 1" x 2"

Ejemplo de compresión y placa de apoyo: Una viga de acero está apoyada sobre una cumbrera de madera y la carga transmitida por la viga de acero, debe ser soportada por la cumbrera (véase la *Figura 5.12.*). ¿Serán suficientes las superficies de contacto del acero y de la madera para soportar la carga indicada?

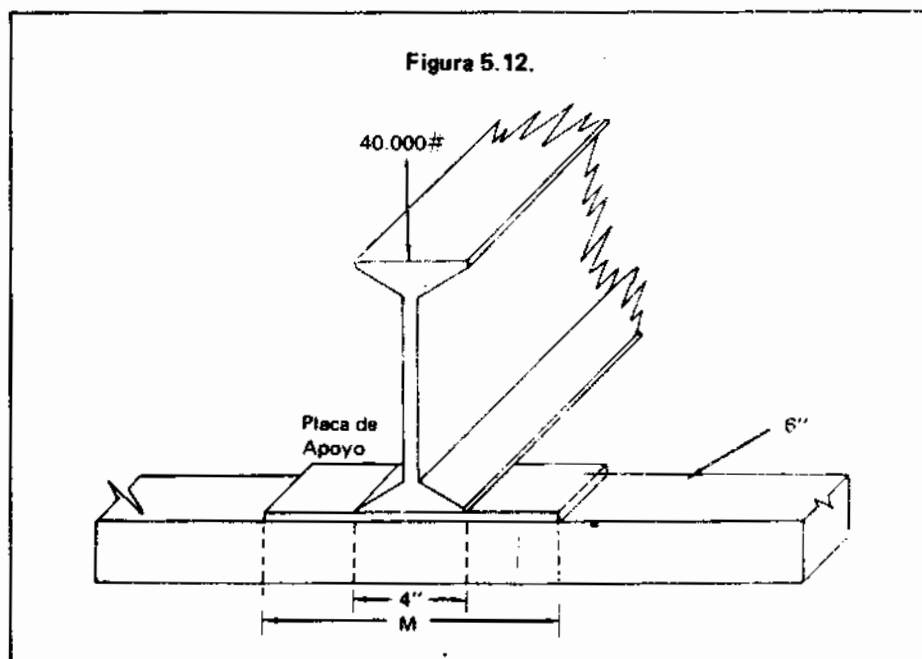
O de lo contrario, encontrar la longitud que debe tener la placa de apoyo (M), para distribuir la carga sobre la cumbrera de madera.

Solución: Determinemos el área necesaria para transmitir la carga de la viga de acero a la placa de apoyo, o sea si la superficie de acero que se encuentra en contacto con la cumbrera, es suficiente.

Donde:

$$P = 40.000\# \text{ y } f = 27.000 \text{ psi (psi = lbs/pulg}^2\text{).}$$

$$\text{Areqd} = P/f = \frac{40.000}{27.000} = 1.48 \text{ pulg}^2$$



$$A_{act} = \text{Ancho de la viga de acero} \times \text{ancho de la cumbrera.} \\ = 4 \times 6 = 24 \text{ pulg}^2.$$

$24 > 1.48$, luego no se requiere aumentar el área de apoyo entre el larguero de acero y la placa de apoyo.

Determinar el área necesaria para transmitir la carga de la placa de apoyo a la cumbrera.

$P = 40.000\#$ y $f_b = 500 \text{ psi}$ ($f_b =$ esfuerzo unitario de compresión perpendicular al grano para la madera. *Tabla 5.1.*).

$$A_{reqd} = P/f = \frac{40.000}{500} = 80 \text{ pulg}^2$$

$$L_{pl} = \frac{A_{reqd}}{\text{Ancho de la cumbrera}} = \text{Longitud de la placa de apoyo}$$

$$L_{pl} = \frac{80 \text{ pulg}^2}{6} = 13.3''$$

Emplear una placa de apoyo de 6'' por 13-1/2''.

Tabla 5.1.
ESFUERZOS PERMISIBLES DE TRABAJO
(lbs/pulg²)

Esfuerzo	Símbolo	Madera	Acero
Flexión	f	2.400	27.000
Esfuerzo cortante	f_s	150	16.500
Compresión	f_b	500	27.000

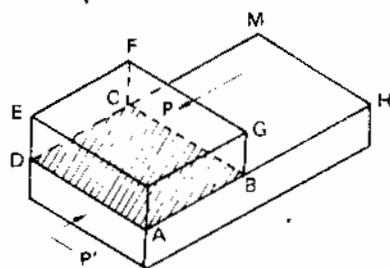
En el diseño de Puentes Militares, en el esfuerzo de compresión entre los largueros de acero y las placas de apoyo (que también son de acero), generalmente no se requiere calcular la superficie de apoyo, como pudo verse en el ejemplo anterior.

Pero sí debe considerarse el Esfuerzo de Compresión sobre la cumbrera y el área necesaria de apoyo para que no falle por compresión.

5.2.6. ESFUERZO CORTANTE

La *Figura 5.13.* nos muestra una pieza de madera de la cual se ha quitado la parte que queda a la derecha del plano BCFG y arriba del plano BCHM. Sobre la superficie BCFG se aplica una fuerza uniformemente distribuida, la cual representamos por P y trata de mover la parte de madera que se encuentra arriba del plano ABCD a la izquierda, una fuerza igual y opuesta P' , actúa hacia la derecha en la parte inferior, impidiendo el movimiento. Las fibras del material en el plano ABCD, son las que resisten las fuerzas que tratan de producir tal movimiento.

Figura 5.13.



Cuando dos fuerzas actúan sobre un cuerpo en direcciones opuestas y planos adyacentes paralelos, las fuerzas se denominan fuerzas cortantes y trabajan como las cuchillas de tijera, las fibras del material en el plano, por el cual trata de cortarse el cuerpo están sometidas a esfuerzos cortantes. El esfuerzo cortante unitario, es aquel que actúa por unidad de superficie y generalmente se expresa en libras por pulgada cuadrada. Debe tenerse en cuenta que las fuerzas P y P' , actúan sobre dos planos paralelos y muy cercano o adyacente. En este caso es el esfuerzo cortante en directo.

Ejemplo de esfuerzo cortante: En la *Figura 5.13.*, ¿cuál será el esfuerzo cortante sobre el área ABCD, si $P = 2.000\#$, $AB = 8'$ y $BC = 4'$? (se trata de determinar el esfuerzo cortante unitario).

Solución:

$$P = 2.000\#$$

$$A = 8 \times 4 = 32 \text{ pulg}^2$$

$$A = p/f_s$$

$$f_s = P/A = \frac{2.000}{32} = 62.5 \text{ psi} = \text{esfuerzo cortante unitario}$$

5.2.7. ESFUERZO CORTANTE EN PERNOS Y REMACHES

1. *Esfuerzo cortante sencillo:* El esfuerzo directo ocurre con mayor frecuencia en los pernos y remaches para unir dos o más partes de una estructura. Supongamos dos piezas de madera unidas mediante un perno o tornillo de diámetro (d) como se indica en la *Figura 5.14*. Cada una de las maderas está en tensión. La pieza superior trata de moverse hacia la izquierda y la pieza de la parte inferior trata de moverse hacia la izquierda y la pieza de la parte inferior trata de moverse hacia la derecha. Opone resistencia a este movimiento la sección CD del tornillo.

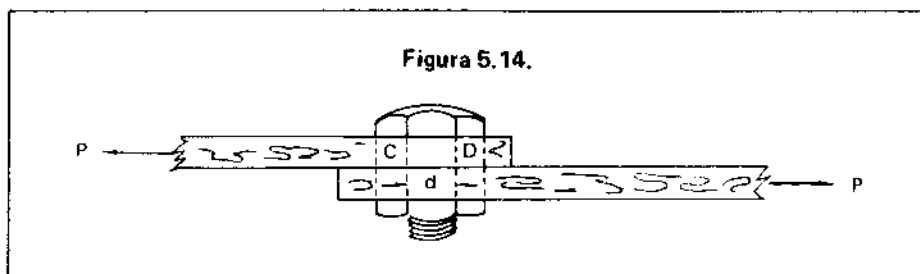
El área que está resistiendo este esfuerzo cortante es:

$$A \text{ del perno} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_{reqd} = \frac{P}{f_s}$$

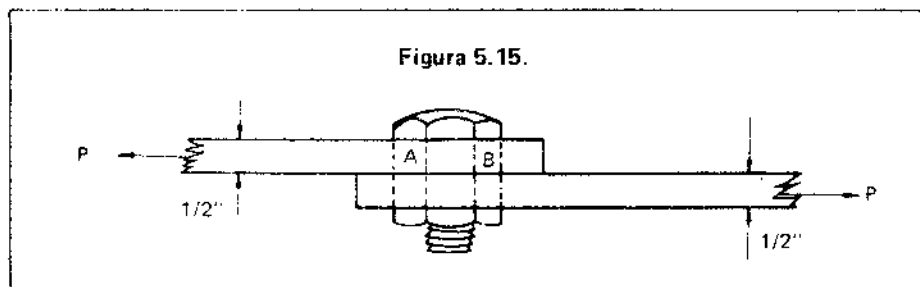
$$\pi \frac{d^2}{4} = \frac{P}{f_s}$$

$$P = \frac{f_s \pi d^2}{4}$$



El tornillo está sometido a corte sencillo, porque la fuerza cortante actúa sobre una sola sección transversal del tornillo.

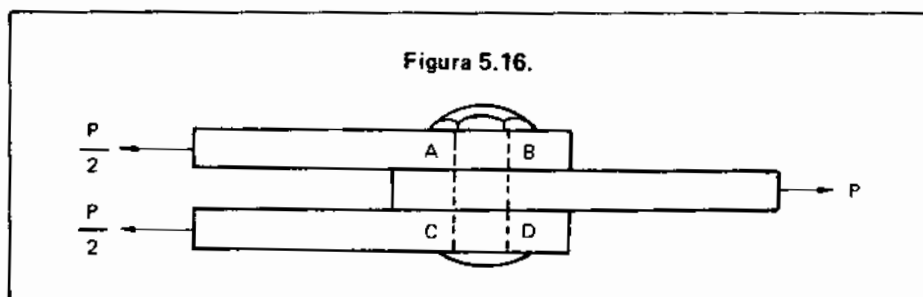
Ejemplo de esfuerzo cortante simple: Un tornillo de una pulgada de diámetro está uniendo dos platinos de 1/2 pulgada de grueso, como se indica en la *Figura 5.15*. ¿Qué carga P puede aplicarse, para que el esfuerzo cortante en la sección transversal del tornillo no exceda de 16.500 psi?



Solución: El área que está soportando el esfuerzo cortante, está localizada en la sección AB del tornillo.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\pi f_s d^2}{4} \\
 &= \frac{16.500\pi (1)^2}{4} \\
 &= 12.959\#
 \end{aligned}$$

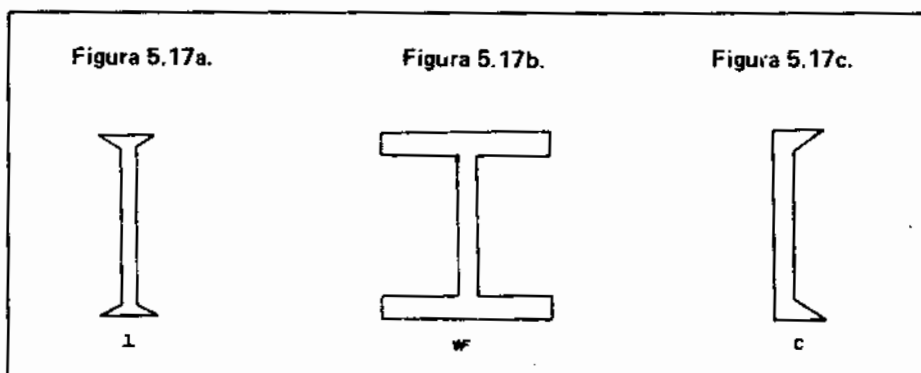
2. *El esfuerzo cortante doble:* Cuando tres platinas están unidas como se indica en la *Figura 5.16.*, se supone que la mitad de la fuerza P está soportándola la sección AB del tornillo y la otra mitad de la fuerza P, está soportándola la sección CD del tornillo.



Entonces son dos los esfuerzos cortantes, encargados de soportar las fuerzas externas.

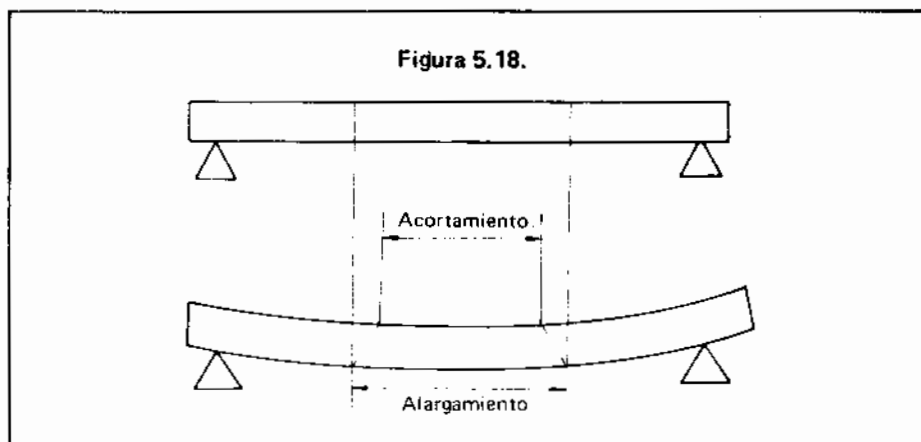
5.3. DISEÑO DE VIGAS SIMPLES

Una viga simple es una pieza cuya función es soportar cargas. Las vigas generalmente son de madera, concreto o acero. La *Figura 5.17a.* indica el método empleado para designar una sección de acero. La *Figura 5.17b.* nos indica las secciones transversales de las vigas de acero.



Flexión: Cuando una viga horizontal se carga, ésta se deflecta curva hacia abajo, siempre y cuando ésta sea simple. Las fibras que forman la parte inferior de la viga, están en tensión, y por lo tanto éstas se alargan; las fibras que forman parte del lado superior de la viga, están en compresión y por lo tanto éstas se acortan (*Figura 5.18.*).

Diseñar una viga, es determinar las dimensiones correctas de ésta y tanto sus fibras superiores como inferiores deben resistir la compresión y tensión respectivamente para no sobrepasar el esfuerzo permisible de trabajo.



5.3.1. DEFINICIONES

5.3.1.1. MOMENTO

Se da el nombre de momento, al efecto que produce una fuerza al rotar sobre un eje. Podemos decir que un momento es el producto de una fuerza por un brazo o sea la distancia perpendicular que hay de ésta al eje de rotación.

5.3.1.2. EQUILIBRIO

Se dice que un cuerpo está en equilibrio, cuando la suma de las fuerzas horizontales y verticales que están sobre éste, es cero y cuando la suma de los momentos también es igual a cero.

5.3.1.3. MODULO DE SECCION

Podemos decir que es un índice de resistencia debido a la forma particular de determinada sección, el módulo de sección depende del área de la sección transversal y en la colocación de esta área respecto a la dirección en que actúa la fuerza.

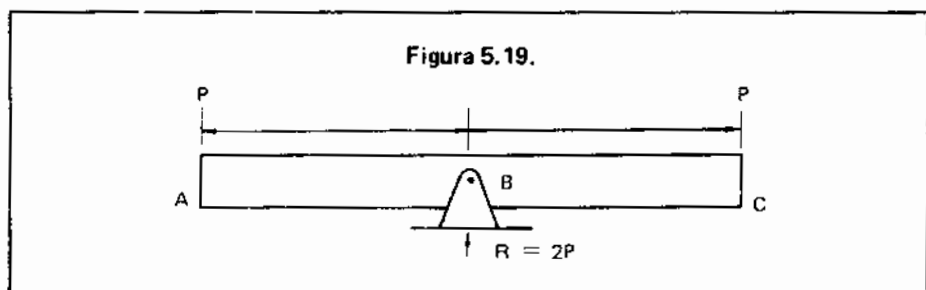
5.3.1.4. REACCIONES

Son las fuerzas que se producen en una viga, y sirven para mantener el equilibrio.

5.3.2. EJEMPLO DE VIGA SIMPLE

5.3.2.1. REACCIONES

La *Figura 5.19.* nos presenta un balancín, el cual tiene en sus extremos dos cargas iguales, P aplicadas a igual distancia del punto de rotación.



En este ejemplo, se ve claramente, que el valor de la reacción (fuerza R) es igual a $2P$; o sea la fuerza necesaria para establecer el equilibrio vertical.

Si complicamos el sistema de carga, el valor de las reacciones, no puede verse tan fácilmente y entonces tenemos que emplear las ecuaciones del equilibrio estático para determinar sus valores.

Σ Es un símbolo empleado en matemáticas y quiere decir suma o sumatoria.

1. $\Sigma F_v = 0$, suma algebraica de fuerzas verticales = 0
2. $\Sigma f_H = 0$, suma algebraica de fuerzas horizontales = 0
3. $\Sigma M = 0$, suma algebraica de los momentos = 0

Aplicando estos principios al ejemplo de la *Figura 5.19.*, el valor de la reacción puede encontrarse analíticamente.

Como en la viga no actúan fuerzas horizontales, la segunda, no es necesaria en este problema.

Reacción en B, empleando la ecuación 1.—

$$\Sigma F_v = C$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_v = 0 &= -P - R + R = 0 \\ &= -2P + R = 0 \\ &= 2P = R \end{aligned}$$

Como el signo de R salió positivo, la suposición que se hizo de tal dirección fue correcta. Si el signo de R hubiera salido negativo, la suposición hecha hubiera sido incorrecta.

Determinemos la reacción R valiéndonos de la ecuación 3, $M=0$. Para emplear esta ecuación, debemos establecer una convención de signos y sean ellos.

Momentos en sentido horario = positivo (+)
Momentos en sentido contrario = negativo (-)

Tenemos el punto A como centro de momentos y tenemos:

$$\begin{aligned} \Sigma M_A = 0 &= (2x) (P) - (R) (x) \\ R_x &= 2 \times P, \text{ Luego } R = 2P. \end{aligned}$$

5.3.2.2. MOMENTO EXTERNO

Hasta este momento, solamente, hemos determinado la fuerza externa para mantener la viga en equilibrio. El tamaño de la viga necesario para poder soportar esta carga, será determinado posteriormente. En la *Figura 5.19*, aparece el balacín en equilibrio. Este se puede probar fácilmente, tomando momentos con relación a un punto.

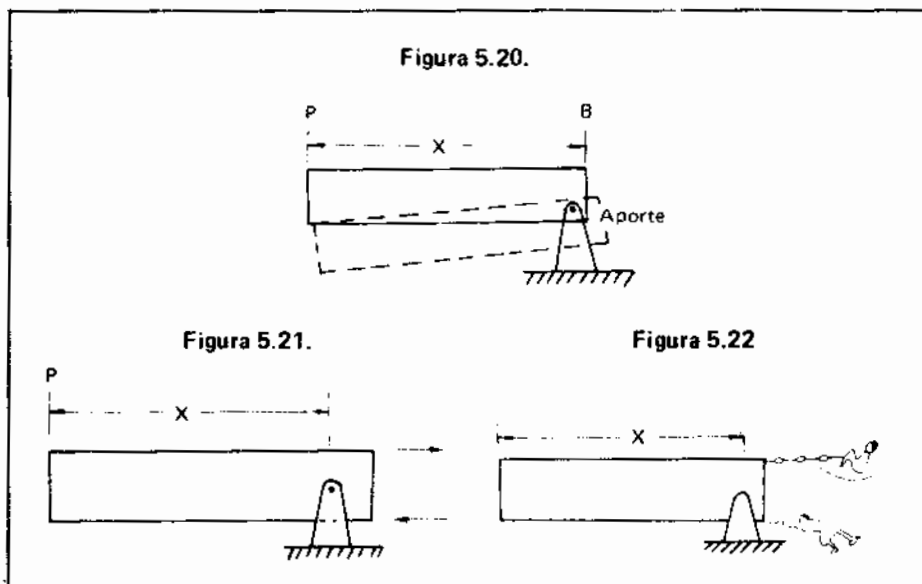
Tomemos el punto B como eje centro de momentos.

Momentos en sentido horario = $X + P X$ (fuerza P y distancia X).

Momento en sentido antihorario = $-P X$ (fuerza P y distancia X).

Suma algebraica de momentos = $M = 0$, por lo tanto la viga no gira.

Supongamos la viga cortada como indica la *Figura 5.20*. La parte izquierda rotará en sentido contrario a las manecillas del reloj.



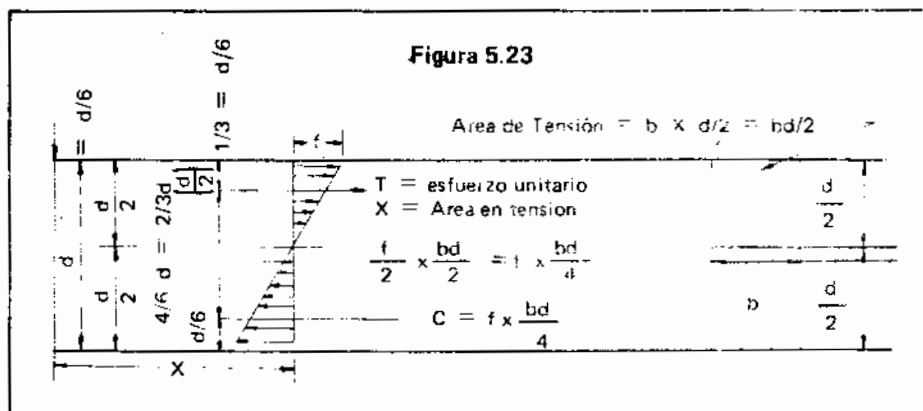
Para que la parte izquierda de la viga, vuelva a su posición original, es necesario aplicar dos fuerzas como indica en la *Figura 5.21*. Esto se puede realizar empujando la parte inferior de la viga y halando en la parte superior como puede verse en la *Figura 5.22*.

Estas fuerzas, están separadas por una distancia y forman un momento. El valor de este momento, debe ser igual al momento externo producido. El momento externo que actúa en una sección, es igual a la suma algebraica de los momentos que actúan a la derecha o izquierda de una sección considerada. En la *Figura 5.21*, M externo fuerza por distancia = $(P) \cdot (X)$.

5.3.2.3. MOMENTO INTERNO

Antes del corte había equilibrio. Por lo tanto las fibras de la viga en esa sección estaban reemplazando el valor de esas fuerzas. En la *Figura 5.23*, puede verse la forma como estaban distribuidos los esfuerzos en la sección de la viga, antes de ser cortada ésta. Las fuerzas sencillas T y C son las resultantes de esas fuerzas que hay distribuidas en la sección. En este ejemplo, tenemos la máxima compresión en las fibras extremas inferiores de las vigas y máxima tensión en las fibras extremas superiores. La resultante de estas fuerzas distribuidas, actúan a la distancia $d/6$ medida a partir de la parte superior de la viga.

Como los esfuerzos, varían de una máxima tensión a una máxima compresión, es lógico suponer que habrá un punto en que su valor sea cero. Esta línea en que el esfuerzo es cero, se llama eje neutro (NA) y generalmente se encuentra en el centro de gravedad de la sección. El esfuerzo promedio de tensión o compresión será $f/2$.



El momento de resistencia interno, que actúa en la viga, puede calcularse tomando momentos con respecto a las fuerzas T ó C .

Tomando momentos respecto a C :

$$M \text{ interno} = \text{fuerza} \times \text{distancia} = T \times 2d/3$$

En el *Parágrafo 5.2*, se demostró que la fuerza total es igual al área por el esfuerzo unitario. El área que se encuentra en tensión = $b \times d/2$.

El esfuerzo unitario promedio = $f/2$.

Luego $T = \text{área} \times \text{esfuerzo unitario promedio}$.

$$= bd/2 \quad \times f/2$$

$$T = \frac{bdf}{4}$$

$$\text{Momento interno} = T \times \frac{2d}{3}$$

$$= \frac{bdf}{4} \quad \times \frac{2d}{3} = f \frac{(bd^2)}{6}$$

En términos generales, para cualquier sección transversal:

M interno = $f \times s$, siendo S el módulo de sección. De esta fórmula se deduce que el momento interno resistente, esta en función de dos variables y ellas son el valor del esfuerzo unitario del material (f) y el valor del módulo sección de la viga el cual su funcionamiento como se dijo anteriormente depende del área de la sección transversal y de su forma. Para una sección transversal rectangular, tenemos que al módulo de sección es $S = bd^2/6$ en que:

- b = Ancho de la sección en pulgadas
- d = Profundidad de la sección en pulgadas
- S = Módulo de sección de una sección rectangular en pulgadas cúbicas.

El valor de S para secciones de acero se puede obtener directamente de tablas.

5.3.2.4. FORMULA DE FLEXION

Para que haya equilibrio, es necesario que el momento externo, sea resistido por un momento interno igual y de sentido opuesto o sea que:

$$\begin{aligned} M \text{ externo} &= M \text{ interno} = 0 \\ M \text{ externo} &= M \text{ interno} = fs \\ M \text{ externo} &= fs \end{aligned}$$

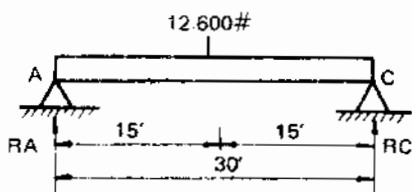
Al momento externo simplemente lo vamos a llamar M , y por lo tanto $M=fs$. A esta fórmula se le conoce con el nombre de fórmula de la flexión, y puede emplearse para determinar el módulo de sección requerido, (S_{reqd}) que pueda soportar un momento externo.

5.3.3. VIGA SIMPLE CON UNA CARGA CONCENTRADA, LA FIGURA 5.24. NOS REPRESENTA UNA VIGA SIMPLE

Cuando una carga se encuentra aplicada en un puente y esta es de extensión muy pequeña, se le llama carga concentrada.

Ejemplo: Debemos escoger una viga de acero del material disponible, que soporta en forma segura una carga concentrada de 12.600# en la mitad de su luz, siendo esta de 30'. (Figura 5.24.)

Figura 5.24.



Material disponible.

10 WF	45
14 WF	30
12 I	50
10 II	25

Determinemos las reacciones:

$$\sum M_C = 0 = R_A \cdot 30' - 12.600\# \times 15$$

$$0 = 30'R_A - 12.600 \times 15$$

$$30R_A = 12.600 \times 15$$

$$R_A = \frac{12.600 \times 15}{30} = 6.300\#$$

$$\sum M_A = 0 = -R_C \cdot 30 + 12.600 \times 15$$

$$30R_C = 12.600 \times 15$$

$$R_C = \frac{12.600 \times 15}{30} = 6.300\#$$

Comprobación: $F_v = 0 = 6.300 + 6.300 - 12.600$

$0 = 0$, luego las reacciones son correctas.

$$M_B = 6.300\# \times 15' \times 12''/\text{Pie} = 1'134.000 \text{ libras pulgadas}$$

Se multiplica por 12' para reducir los pies a pulgadas.

$$M \text{ externo} = 1'134.000 \text{ libras pulgadas} = M \text{ interno} = S f = M$$

$$S \text{ requerido} = M/f = 1'134.000/27.000 = 42 \text{ pulg}^3.$$

Para los siguientes materiales encontramos el siguiente módulo de sección (S):

Sección S

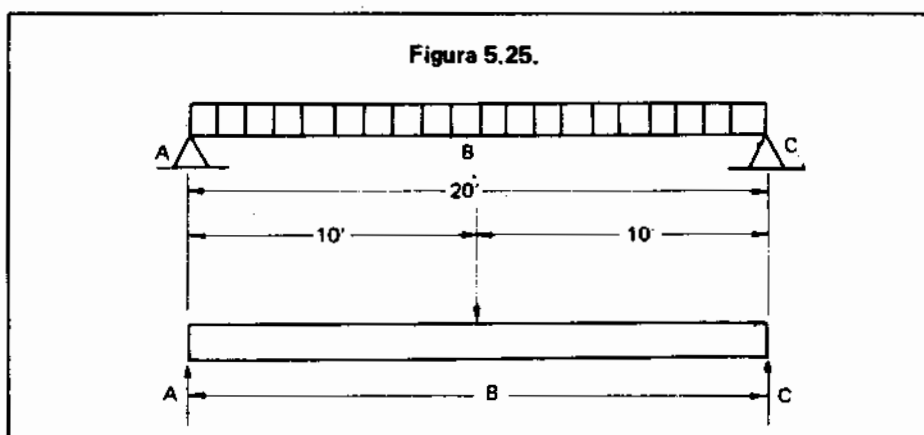
MATERIAL

10 WF 45	49	Emplearemos una viga 14WF 30 ya que es la sección más liviana con un módulo de sección pedido por el problema.
14 WF 30	42	
12 I 50	50	
10 I 25	24,4	

5.3.4. VIGA SIMPLE CON UNA CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

Ejemplo: Se debe diseñar una viga simplemente apoyada de madera, para que soporte una carga uniformemente distribuida de 2160# por pie lineal, siendo la luz de 20 pies, la madera disponible es:

10''	x	14''
10''	x	16''
12''	x	16''
10''	x	18''



La carga total que soporta la viga será igual a:

$$WL = 2.160\#/pie \cdot x \ 20' = 43.200\#$$

Podemos considerar a esta carga uniformemente distribuida, como una carga concentrada aplicada en el centro de la viga, para efectos de determinar las reacciones.

Reacciones: $\Sigma M_C = 0 = R_A (20) - 43.200\# \times 10$

$$R_A = \frac{43.200 \times 10}{20} = 21.600\#$$

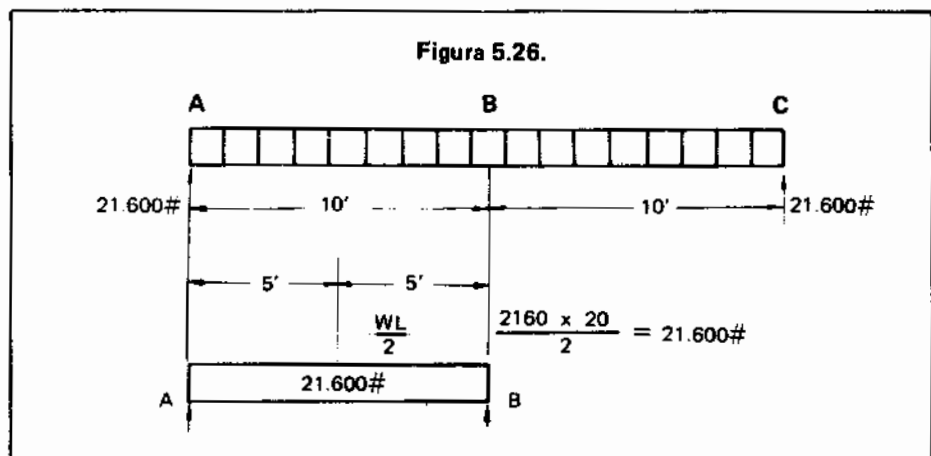
$$\Sigma M_A = 0 = -R_C 20 + 43.200 \times 10$$

$$R_C = 21.600\#$$

Comprobando: $F_v = 0 = 43.200 - 21.600 - 21.600$

$$0 = 0 = \text{Luego las reacciones son correctas.}$$

Módulo de sección requerido. Como el máximo momento flector, se produce en la parte media de la luz, B, este punto crítico será estudiado.



$$M_B = 21.600 \times 10 - 21.600 \times 5 = 108.000 \times 12'' = 1'296.000''$$

$$S_{reqd} = \frac{1'296.000}{2.400} = 540 \text{ pulgadas cúbicas}$$

Se multiplica por 12 para obtener la respuesta en pulgadas.

Tamaño seleccionado:

Dimensiones	$S = \frac{bd^2}{6}$
10 x 14	$\frac{10 \times 14^2}{6} = 327$
10 x 16	$\frac{10 \times 16^2}{6} = 427$
12 x 16	$\frac{12 \times 16^2}{6} = 513$
10 x 18	$\frac{10 \times 18^2}{6} = 540$

La única dimensión disponible que nos da un módulo de sección aceptable para nuestro problema es la de 10 x 18 pulgadas y es la que se debe emplear.

5.3.5. METODO ABREVIADO

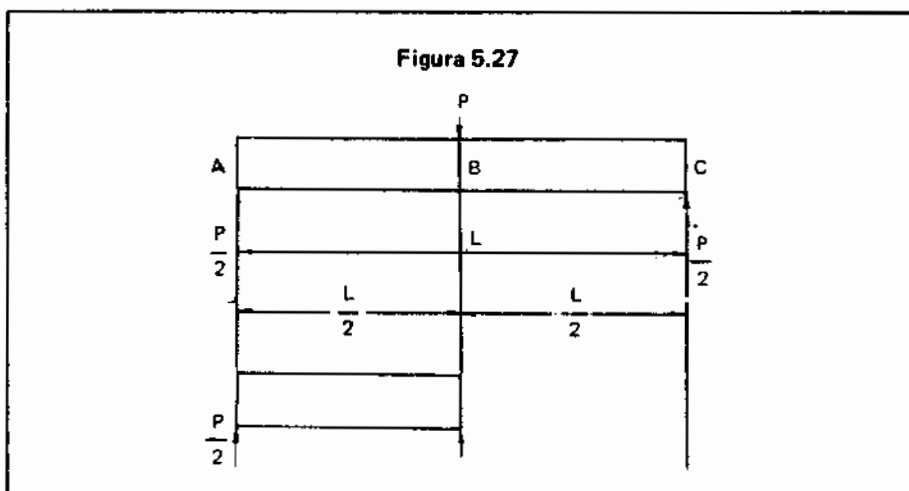
En los ejemplos anteriores, el momento externo se encontró haciendo un corte en la sección transversal del punto crítico y hallando el momento flector mediante la suma algébrica de los momentos que se encontraban a la izquierda de la sección considerada. Estos se pueden simplificar, mediante el empleo de la ecuación general para el M extremo, el cual vamos a determinar, (1), para una carga concentrada en el centro de la viga y (2) para una carga uniformemente repartida.

5.3.5.1. CARGA CONCENTRADA EN LA MITAD DE LA LUZ

$$M_B = \left(\frac{P}{2}\right) \left(\frac{L}{2}\right) = \left(\frac{PL}{4}\right) = M$$

$$M = \frac{PL}{4}$$

$L =$ Luz de la viga en pies
 $M =$ Momento en B en libras pie.
 $P =$ Carga en libras.

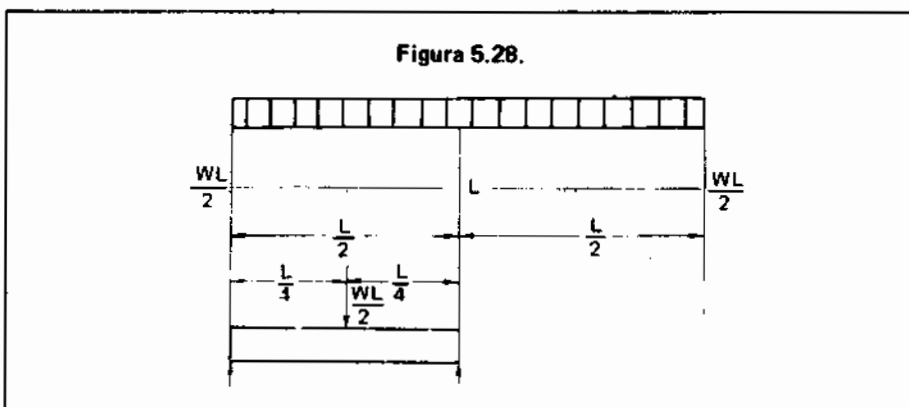


$$M_B = \left(\frac{P}{2}\right) \left(\frac{L}{2}\right) = \left(\frac{PL}{4}\right) = M$$

$$M = \frac{PL}{4}$$

$P =$ Carga en libras
 $L =$ Luz de la viga en pies
 $M =$ Momento en B en libras/pies.

5.3.5.2. CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA



$$M = \frac{WL^2}{2} \cdot \frac{L}{2} - \frac{WL}{2L} \cdot \frac{L}{4}$$

$$= \frac{WL^2}{8}$$

W = Carga en libras por pie

L = Luz de viga en pies

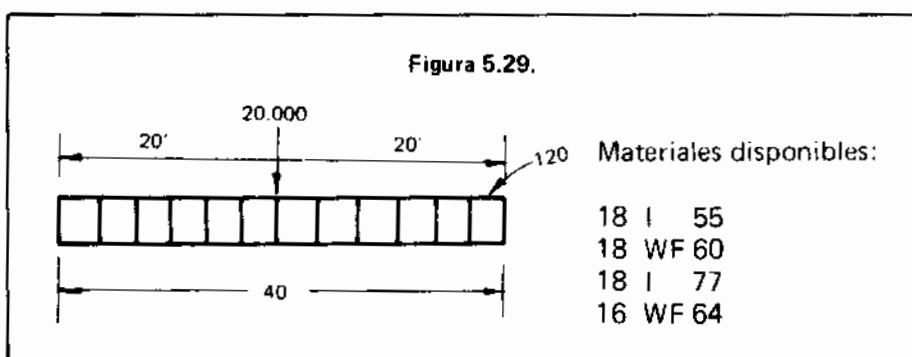
M = Momento en B libras/pies

En estas dos anteriores fórmulas para el momento flector, pueden emplearse no solamente como unidades las libras y los pies sino que se pueden emplear otras como por ejemplo; kilos y centímetros, metros toneladas, pies toneladas, pulgadas libras, etc.

Otras fórmulas para diferentes tipos de carga, se pueden encontrar en forma similar en los libros de resistencia de materiales.

3.5.6. VIGA SIMPLEMENTE APOYADA, CON UNA CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA Y UNA CARGA CONCENTRADA EN LA MITAD DE SU LUZ

Ejemplo: Empleando las fórmulas deducidas anteriormente, seleccionar una viga de los materiales disponibles dados en la lista, y que puede soportar en forma segura las cargas indicadas en la *Figura 5.29*.



Determinemos el módulo de sección requerido S.

Momento causado por P.

$$M_p = \frac{PL}{4} = \frac{20.000 \times 40 \times 12}{4} = 2'400.000 \text{ libras pulgada}$$

Se multiplica por 12 para reducir los pies a pulgadas y obtener la respuesta en libras pulgada.

Momento causado por W.

$$M_w = \frac{WL^2}{8} = \frac{120 \times 40^2 \times 12}{8} = 288.000 \text{ libras pulgada}$$

$$M_{total} = M_p + M_w = 2'400.000 + 288.000$$

$$M_{total} = 2'688.000 \text{ lbs/pulg}$$

$$S \text{ requerido} = \frac{M}{f} = \frac{2'688.000}{27.000} = 99.6$$

Sección que se debe seleccionar.

Sección	S
15 I 55	88 (muy pequeña)
18 WF 60	108
18 I 77	125
18 WF 64	104 (emplear ésta o la 18 WF 60).

5.4. ESFUERZO CORTANTE

En el párrafo anterior se definió el esfuerzo cortante, como la tendencia que tienen dos partes adyacentes de una pieza a separarse o cortarse. Debemos distinguir dos tipos de corte, el *Vertical* y el *Horizontal*. El esfuerzo cortante externo, generalmente se designa por la letra V.

5.4.1. DEFINICIONES

5.4.1.1. ESFUERZO CORTANTE VERTICAL

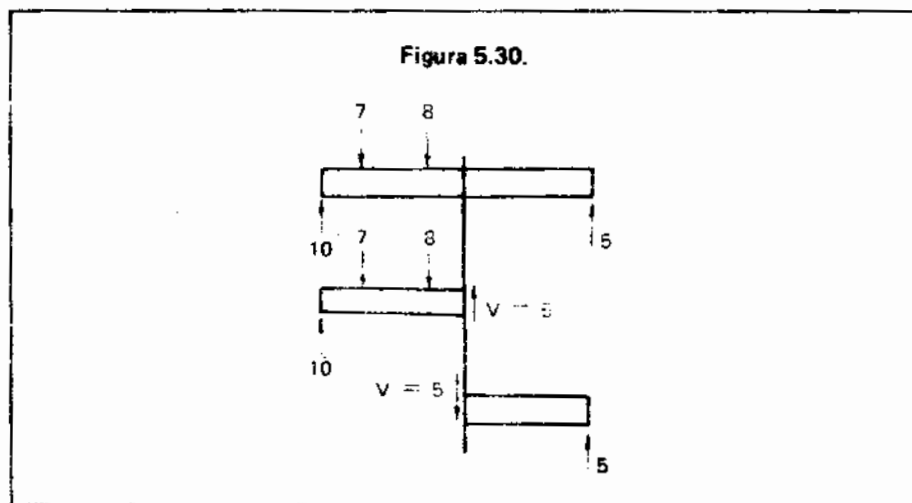
El esfuerzo cortante vertical, V, es la fuerza que actúa en el área de la sección transversal considerada en una viga y es igual en magnitud y

opuesto en sentido a la suma algebraica de las fuerzas externas que actúan a la derecha o izquierda de la sección considerada. Ver la *Figura 5.30*.

$$F_v = 0 = +10 - 7 - 8 + V = 0$$

$$V = -10 + 7 + 8 = +5\#$$

Luego, el esfuerzo cortante en la sección transversal cortada es de 5#, este es el esfuerzo que la sección transversal de viga debe suministrar, para que ésta se mantenga en equilibrio.



5.4.1.2. ESFUERZO CORTANTE HORIZONTAL

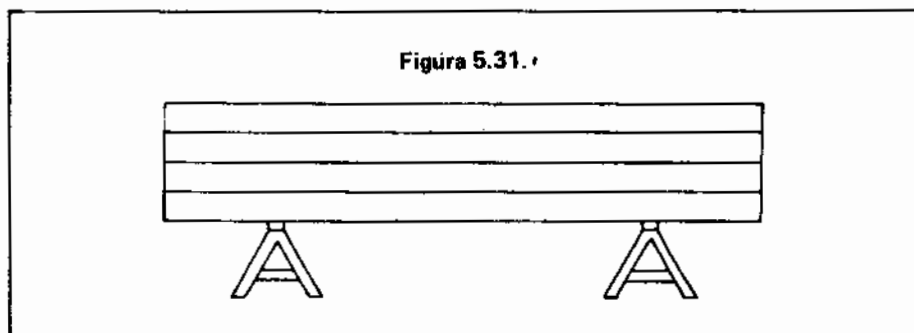
El esfuerzo cortante horizontal, es aquel cuya fuerza se produce en una viga, y trata de hacer desplazar los planos que forman una viga. Se puede explicar mediante las *Figuras 5.31 y 5.32*.

En la *Figura 5.31*, vemos 4 tablas de 12 por 1, colocadas una sobre otra.

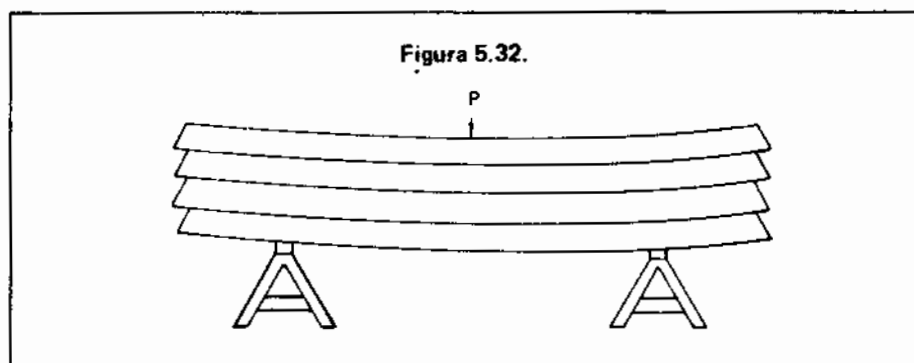
Los extremos de estas tablas, se encuentran alineados.

En la *Figura 5.32*, vemos a las anteriores tablas sometidas a una carga P.

Podemos ver el deslizamiento que se ha producido y que los extremos ya no están alineados. Este desplazamiento, es el resultado del esfuerzo cortante horizontal. Ahora si pegamos con cola o cualquier otro pegante a estas tablas entre sí, y aplicamos una carga pequeña, los extremos de las tablas continuarán alineados.



Naturalmente que la tendencia a deslizarse en las tablas unas sobre otras continúa, pero es resistida por el pegante, si en lugar de las tablas colocamos una viga de 4" x 12" y la sometemos a la carga antes dicha, son las fibras de la viga las que tienen que sustituir al pegante e impiden el desplazamiento. La resistencia que esas fibras ofrecen es lo que se llama esfuerzo cortante horizontal.



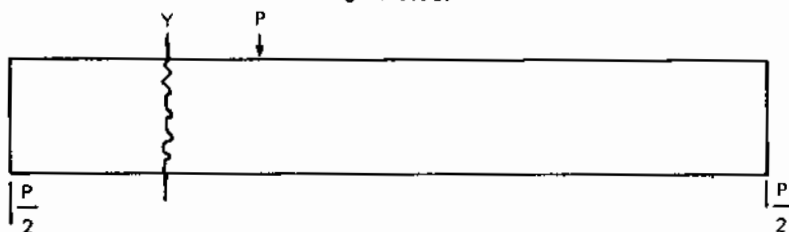
Algunos materiales son más resistentes que otros al esfuerzo cortante horizontal, por ejemplo el hierro es más resistente que la madera.

5.4.2. RELACION ENTRE LOS ESFUERZOS CORTANTES, HORIZONTAL Y VERTICAL

Hacer la prueba matemática de esta relación, está fuera de nuestro propósito, pero vamos a hacer la relación mediante un simple ensayo.

Demostraremos que el esfuerzo cortante horizontal y vertical en cualquier punto de una viga son iguales.

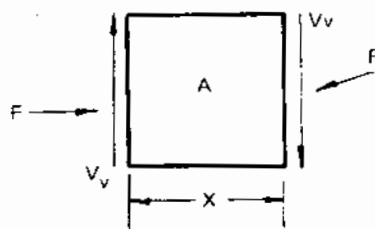
Figura 5.33.



Siendo;

 $F =$ fuerza causada por la flexión.

$V_v =$ Esfuerzo cortante vertical
causado por la reacción $\left(\frac{P}{2}\right)$
y que trata de cortar la viga
por sección $y - y$.



Consideramos el cubo A de la *Figura 5.33*, el cual se ha tomado de la viga simplemente apoyada que se encuentra en equilibrio. Lógicamente el cubo o parte A debe encontrarse también en equilibrio. Y por tanto se debe satisfacer las tres ecuaciones del equilibrio estático.

$$\Sigma F_v = 0 + V_v - V_v = 0 \quad \text{Luego, verticalmente se satisface el equilibrio.}$$

$$\Sigma F_h = 0 + F - F = 0 \quad \text{Luego, horizontalmente se satisface el equilibrio.}$$

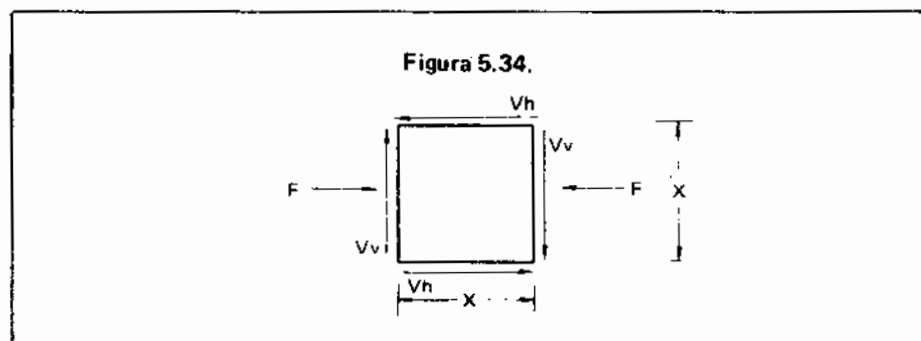
Tomamos momentos con respecto al punto A .

$$\Sigma M_A = 0 + V_v \frac{(X)}{2} + V_v \frac{(X)}{2} = 0$$

$$2V_v \frac{X}{2} = 0 \quad \text{Pero esto no será igual a cero cuando la viga está cargada, luego otra fuerza debe actuar sobre el cubo.}$$

En la *Figura 5.34.* encontramos las fuerzas V_h .

Nuevamente tomamos momentos con respecto al punto A, y determinamos la relación que existe entre V_h y V_v .



$$\Sigma M_A = 0 = +V_v \frac{(X)}{2} + V_v \frac{(X)}{2} - V_h \frac{(X)}{2} - V_h \frac{(X)}{2} = 0$$

$$2V_v \frac{(X)}{2} - 2V_h \frac{(X)}{2} = 0$$

$$V_v = V_h$$

Luego en cualquier punto de una viga, el esfuerzo cortante horizontal y el esfuerzo cortante vertical son iguales para que haya equilibrio.

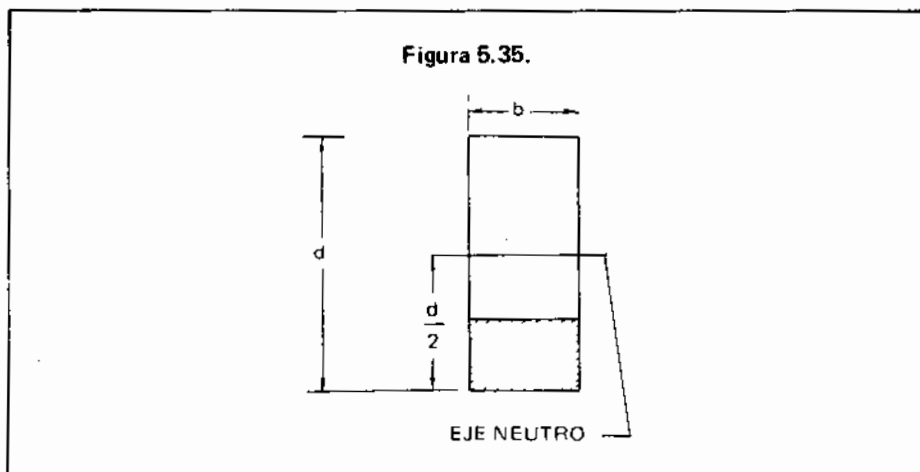
5.4.3. FORMULA PARA DETERMINAR EL ESFUERZO CORTANTE UNITARIO HORIZONTAL

El esfuerzo cortante horizontal v , en cualquier punto de una viga, se puede determinar empleando la siguiente fórmula.

$$v = \frac{VQ}{IB}$$

EN: Eje Neutro

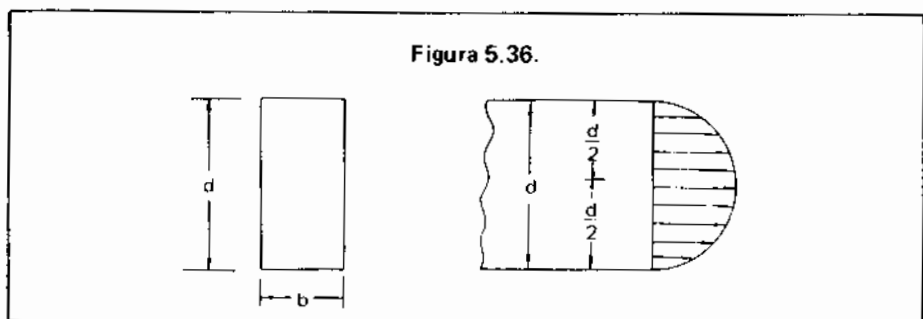
- V = Fuerza cortante vertical externa que actúa en la sección dada.
 Q = Área.
 I = Momentos de inercia con respecto al eje neutro.
 B = Ancho de la sección, en el punto donde se desea determinar el esfuerzo.



El desarrollo para obtener esta fórmula está fuera de nuestro propósito y puede encontrarse en libros de resistencia de materiales. La razón para incluirla es determinar un método para encontrar el esfuerzo cortante horizontal.

5.4.3.1. ESFUERZO CORTANTE HORIZONTAL EN VIGAS DE SECCION RECTANGULAR

Empleando la sección rectangular indicada en la *Figura 5.35*, (5.4.3) una fórmula más simple para determinar el esfuerzo cortante horizontal en vigas de sección rectangular será establecida.



El esfuerzo cortante horizontal, varía de cero en las fibras exteriores a un valor máximo en el eje neutro. Ver la *Figura 5.36*. La fórmula que vamos a deducir será considerada el esfuerzo cortante en el eje neutro.

$$Q = (\text{área sombreada en la } \textit{Figura 5.37}) \times \frac{d}{4}$$

$$= \frac{d}{2} b \times \frac{d}{4} = \frac{bd^2}{8}$$

$I = \frac{bd^3}{12}$, para una sección rectangular y con respecto al centro de g.

g = gravedad.

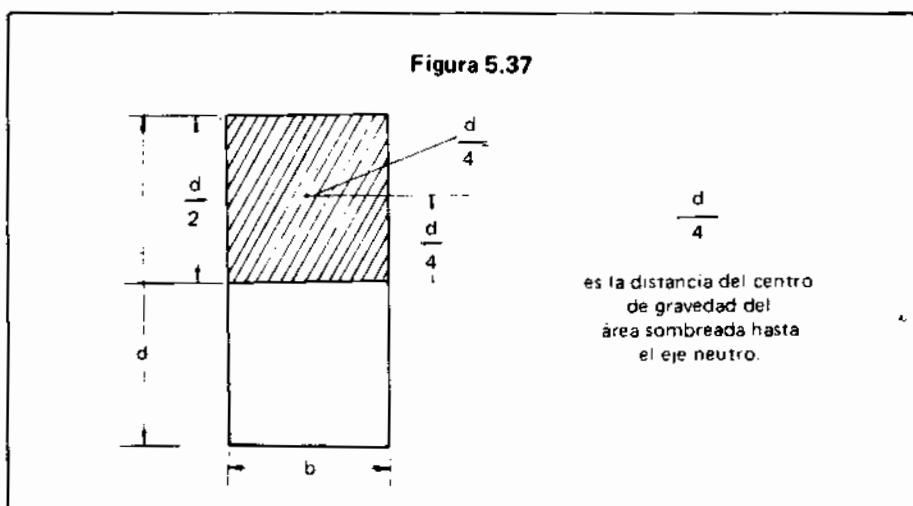
Sustituyendo en la ecuación general el *Parágrafo 5.4.3.*, para v:

$$v = \frac{VQ}{Ib} = \frac{(V) \times \frac{(bd^2)}{8}}{\left(\frac{bd^3}{12}\right) \times b} = \frac{V}{2/3 bd}$$

$$v = \frac{V}{2bd/3}$$

v, en esta fórmula, es el esfuerzo cortante que se produce en el eje neutro de la viga, cuando una fuerza cortante V, actúa en la sección. Este esfuerzo, no debe exceder el esfuerzo permisible de trabajo f_s , o sea:

$$f_s = \frac{V}{2bd/3}$$



Luego podemos concluir que el esfuerzo cortante horizontal V , que puede soportar una viga de sección rectangular, es igual al esfuerzo cortante unitario permisible de trabajo f_s , por $2/3 bd$.

$$\begin{aligned} V &= \text{Área efectiva} \times \text{esfuerzo unitario permisible de trabajo.} \\ &= \frac{2}{3} bd \times f_s \end{aligned}$$

El esfuerzo cortante permisible paralelo al grano, es de 150 libras por pulgadas cuadradas para la madera.

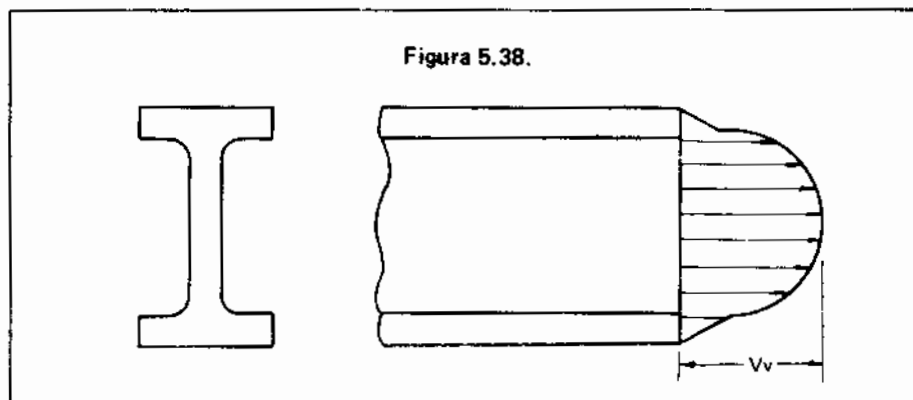
5.4.3.2. ESFUERZO CORTANTE HORIZONTAL EN SECCIONES DE ACERO. LA ECUACION GENERAL

$$v = \frac{VQ}{Ib}$$

Debemos recordarla pues, ella nos ilustra sobre los valores del esfuerzo cortante horizontal y sabemos que varía de cero en las fibras exteriores hasta un máximo valor en el eje neutro. La *Figura 5.38*, nos ilustra respecto a tal variación en la sección de viga indicada.

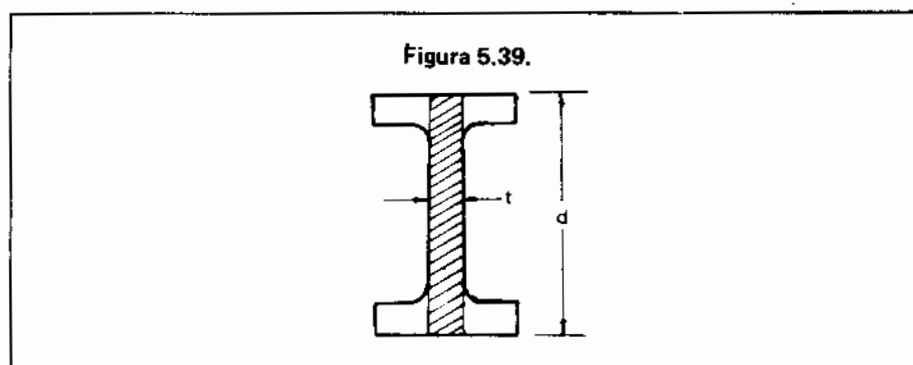
Como puede apreciarse en la *Figura 5.38* los rebordes de una viga de sección I no influyen considerablemente en el esfuerzo cortante que ésta pueda soportar. Por tal motivo el área de sección transversal de una viga de acero efectiva al esfuerzo cortante horizontal es, igual al

grueso del alma de la viga, t , multiplicado por la profundidad de la sección transversal, d , ver la *Figura 5.39*.



La fórmula para el esfuerzo cortante horizontal, en la sección transversal de vigas de acero es:

$$v = \frac{V}{dt}, \text{ esfuerzo unitario} = \frac{\text{carga}}{\text{área que soporta la carga}}$$



Los valores obtenidos mediante esta fórmula, en la cual se suponen repartidos uniformemente los esfuerzos sobre la sección transversal de la viga, son muy similares a los obtenidos por la fórmula que en realidad se obtiene analíticamente.

Podemos entonces escribir:

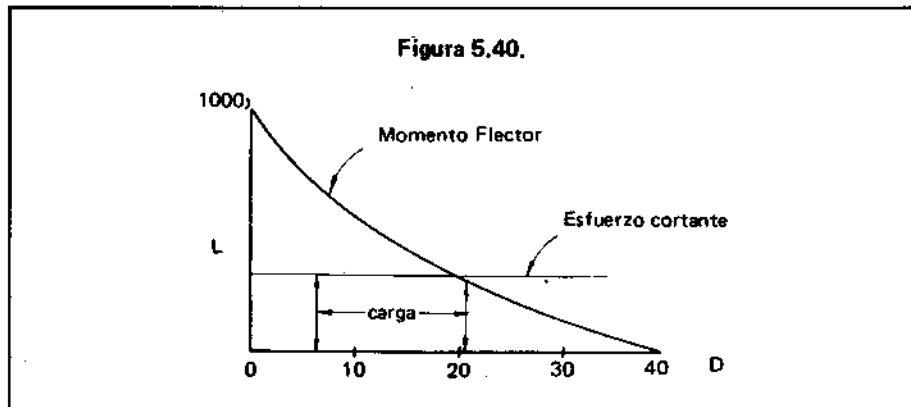
$$v = f_s = \frac{V}{dt} \text{ o } V = (dt) \times f_s$$

Por lo tanto, la carga máxima segura que una sección de acero resiste al esfuerzo cortante horizontal puede obtenerse multiplicando el esfuerzo unitario permisible de trabajo, f_s , por el área efectiva encargada de soportar este esfuerzo, y la cual es igual a, dt . El esfuerzo unitario de trabajo permisible para el acero cuando se trata de esfuerzo cortante horizontal es de 16.500 libras por pulgada cuadrada.

5.4.4. ESFUERZO CORTANTE VERTICAL

Como anteriormente se demostró los esfuerzos cortantes horizontales y verticales son iguales. Luego la fórmula enunciada anteriormente es válida para ambos esfuerzos. Los ejemplos que dan a continuación indican la forma para diseñar las vigas y evitar fallas por esfuerzos cortantes y momentos flectores que se producen en una viga cuando la longitud de su luz varía de cero a un valor mayor.

Podemos ver en este diagrama que el esfuerzo cortante adquiere su valor crítico para una razón L/d antes o después de ser crítico el momento flector.



Estos límites son:

El esfuerzo cortante puede ser crítico y debe ser analizado así:

L/d es menor de diez para el acero

L/d es menor de trece para la madera.

Nota: La comprobación de este esfuerzo cortante debe hacerse después de analizado el momento flector.

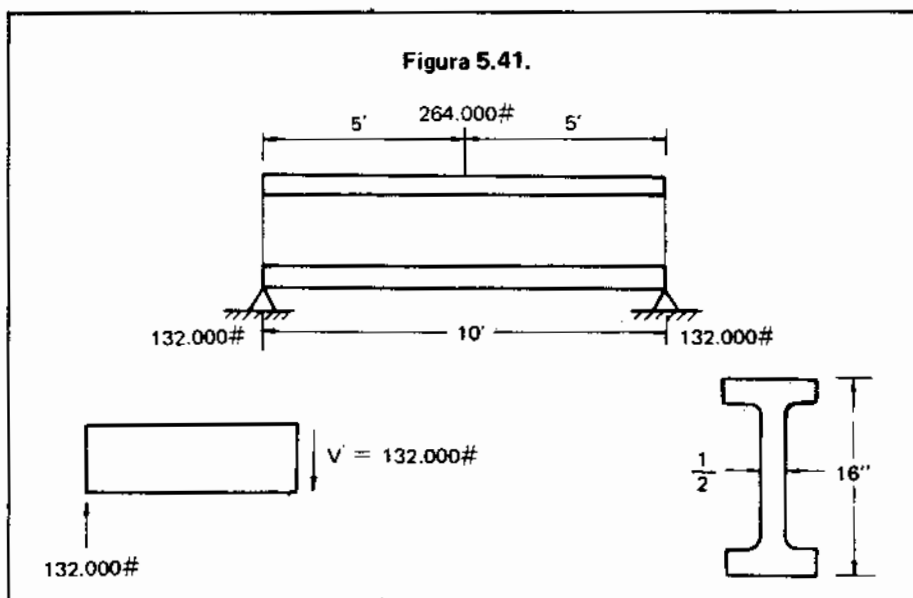
5.4.5. EJEMPLO DE UNA VIGA DE ACERO

Determinar el máximo esfuerzo cortante que produce una carga concentrada de 264.000 libras colocadas en la mitad de la luz de 10' como puede verse en la *Figura 5.41*. La profundidad de la sección transversal de esta viga de acero es de 16". Además necesitamos saber cual debe ser el espesor del alma de esta viga para que no falle por esfuerzo cortante.

$$\begin{aligned}v &= 132.000 \text{ libras} \\f_s &= 16.500 \text{ libras por pulgada cuadrada} \\d &= 16 \text{ pulgadas.}\end{aligned}$$

$$t = \frac{V}{f_s \times d} = \frac{132.000}{16.500 \times 16} = 0.5 \text{ pulgada}$$

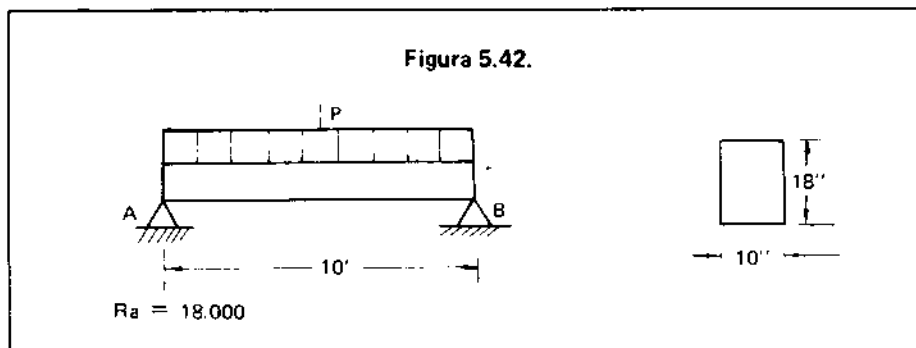
$$f_s = V/dt.$$



5.4.6. EJEMPLO PARA UNA VIGA DE MADERA

La viga de madera que nos indica la *Figura 5.42*, tiene en su sección transversal una profundidad de 18" y debe soportar una carga uniformemente distribuida de 3.600 libras por pie. ¿Cuál debe ser el ancho de la viga en una sección transversal?

$$\begin{aligned} \text{Carga total} &= 3.600 \text{ libras / pie} \times 10' \\ &= 36.000 \text{ libras} \end{aligned}$$



Como esta carga es uniformemente distribuida la mitad de ella será soportada por cada reacción a esa $R_A = 18.000$ libras = R_B .

El esfuerzo cortante máximo se producirá en los apoyos, luego el valor de V será igual a la reacción o sea 18.000 libras, empleando la fórmula para el esfuerzo cortante en vigas de madera y dando un valor a f_s de 150 libras por pulgada cuadrada, fácilmente podemos calcular el ancho de la viga.

$$f_s = \frac{V}{2/3 bd}$$

$$b = \frac{V}{f_s \cdot 2/3 d} = \frac{18.000}{150 \times 2/3 \times 18} = 10''$$

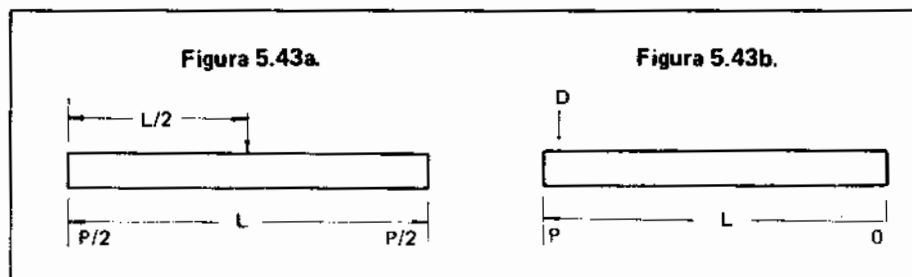
5.4.7. COLOCACION DE LAS CARGAS PARA OBTENER UN MAXIMO ESFUERZO CORTANTE

Como las vigas han de soportar el esfuerzo cortante producido por el paso de vehículos tales como camiones, tanques y trenes así como cualquier otro tipo de cargas se debe tener en cuenta que al paso de éstos sobre los puentes habrá un punto donde producen máximo esfuerzo cortante. Solamente vamos a analizar a continuación una carga concentrada.

5.4.7.1. VIGAS DE ACERO

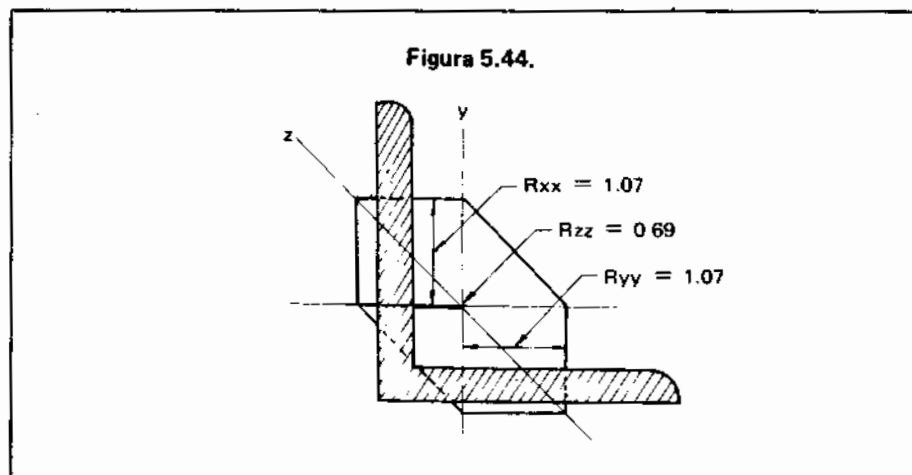
En la *Figura 5.43a*, hemos colocado una carga P en la semituz de la viga. Lógicamente las reacciones serán iguales a $P/2$.

Cuando esta carga se mueve hacia el apoyo izquierdo la reacción irá aumentando. Cuando la carga se encuentre muy próxima al apoyo, el valor de la reacción se puede considerar igual al valor de la carga. Ver *Figura 5.43b*.



Reglas:

(1) Si el miembro no está reforzado a lo largo de toda su longitud: determinar en este caso L/r , empleando r_{zz}



Ejemplo: Empleando ángulos de: $31/2'' \times 31/2'' \times 3/8''$

$$r_{zz} = 0.69$$

$$r_{yy} = 1.07$$

$$r_{xx} = 1.07$$

$$\text{Razón } L/r \text{ crítica} = L/r_{zz} = 90/0.69 = 130$$

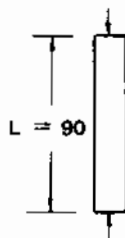
(2) Si el miembro está reforzado en forma que no produzca pandeo con respecto al eje $x-x$, este puede fallar con respecto a cualquiera de los ejes $y-y$, $z-z$. Luego habrá dos razones L/r , y el citado miembro fallará por pandeo, con respecto al eje cuya razón L/r sea mayor.

Ejemplo: Empleando ángulos de $31/2'' \times 31/2'' \times 3/8''$.

El miembro puede fallar con respecto al eje $z-z$ ya que este no tiene refuerzos, en una extensión de $45''$.

$$L/r = L/r_{zz} = 45/0.69 = 65$$

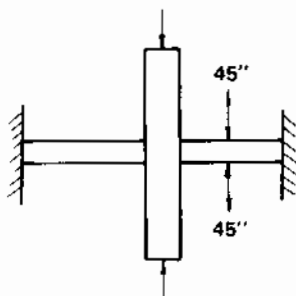
Figura 5.45.



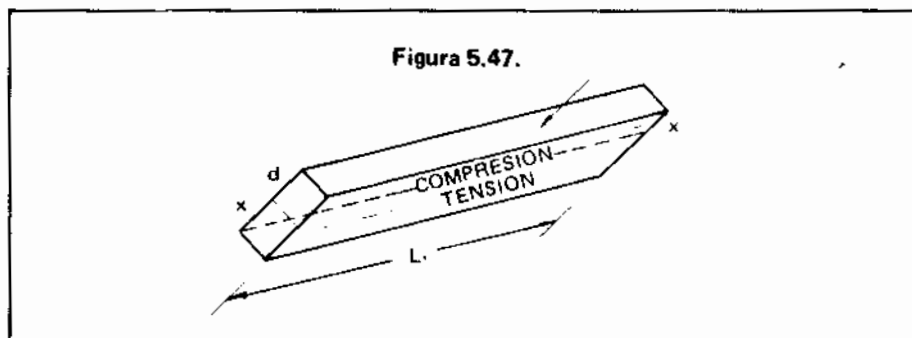
El miembro también puede fallar con respecto al eje $y-y$ pues este no está reforzado en una longitud de $90''$.

$$L/r = L/r_{yy} = 90/1.07 = 84$$

Figura 5.46.



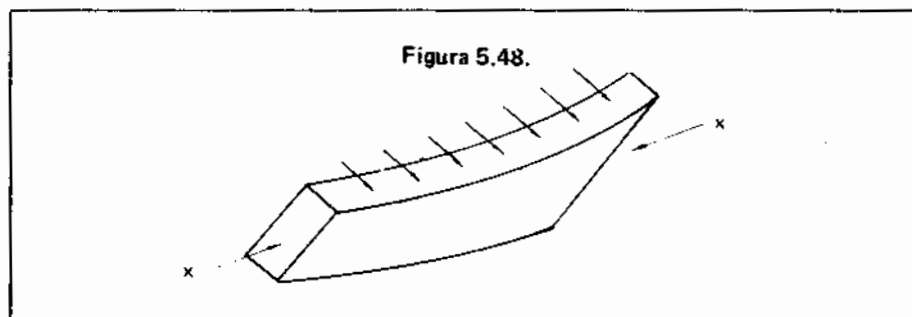
Si una sección pequeña de esta viga es separada como se indica en la Figura 5.48, viene a tener una semejanza a una columna o poste sometido a una carga de compresión.



d = profundidad de larguero

b = ancho de larguero

L_u = longitud sin soporte



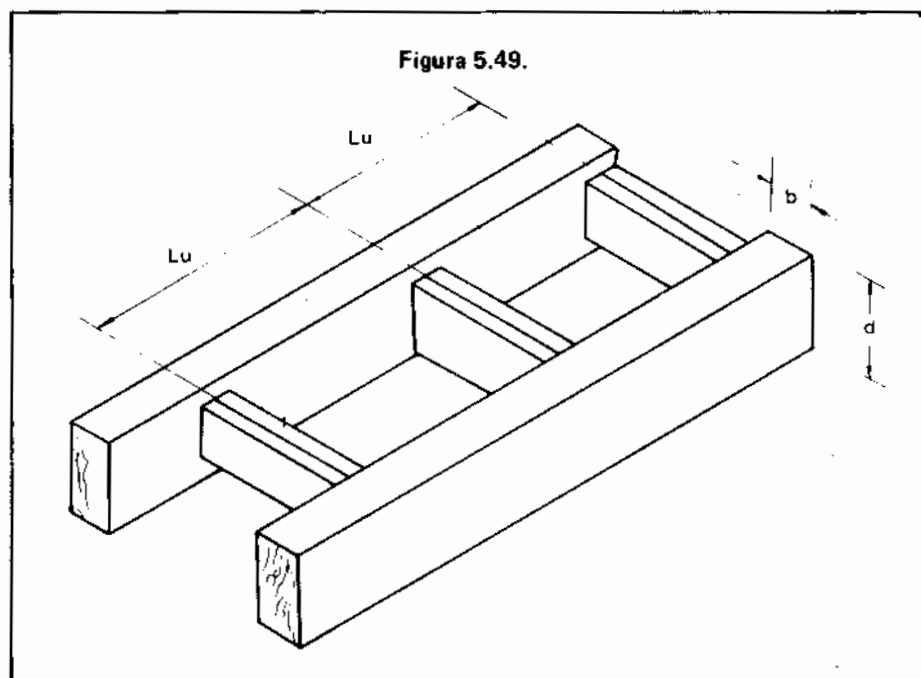
La compresión se produce en la parte superior de la viga.

La parte superior de la viga (arriba del eje $x-x$) está en compresión y se pandea como una columna.

5.4.7.2. CON EL FIN DE PREVENIR ESTE PANDEO LATERAL DEBEMOS TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES REGLAS CUANDO SE TRATA DE LARGUEROS DE MADERA

(1) No es necesario colocar refuerzos cuando la relación d/b es igual ó menor que dos, siendo d = profundidad del larguero en pulgadas, b = ancho del larguero en pulgadas.

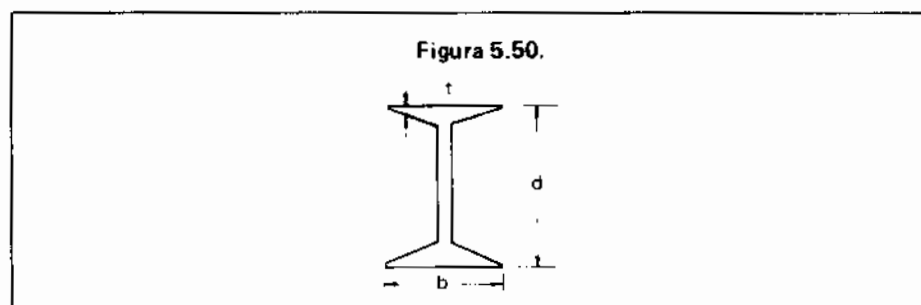
(2) Se requieren refuerzos en la semi-luz y en los extremos cuando la relación d/b es mayor de dos (*Figura 5.49*).



Se requieren refuerzos cuando d/b es mayor que dos.

Es necesario eliminar el pandeo en los largueros de acero. La relación Lud/bt debe ser menor de 400 para que no se vaya a presentar el pandeo lateral.

Siendo: L_u = Luz lateral sin soporte en pulgadas.
 d = Profundidad de la viga en pulgadas.
 t = Espesor del reborde en pulgadas.
 b = Ancho del reborde en pulgadas.

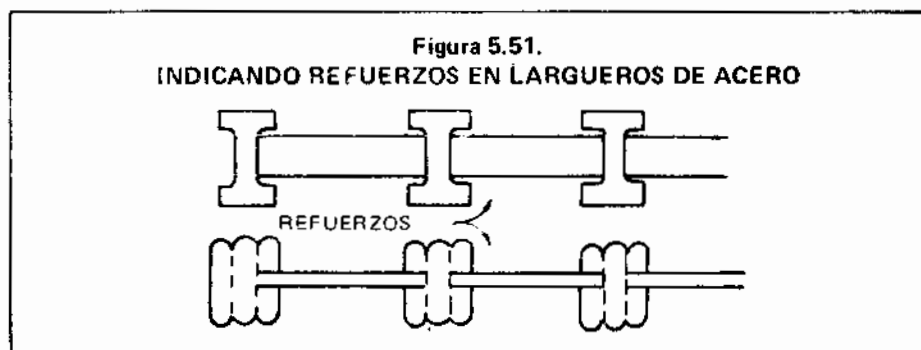


Cuando la razón de Lud/bt es mayor de 400 se debe hacer lo siguiente:

- (1) Conseguir una viga cuyas dimensiones satisfagan la relación.
- (2) Reducir la luz lateral sin soporte empleando refuerzos con el fin de reducir la relación.

Los refuerzos para estos largueros de acero consisten en pedazos de acero asegurados entre las almas de los largueros adyacentes, estos esfuerzos van soldados o remachados.

Debe tenerse en cuenta que cuando se emplean largueros de acero los extremos de estos siempre van reforzados. La siguiente figura nos indica la forma como se efectúa este refuerzo.

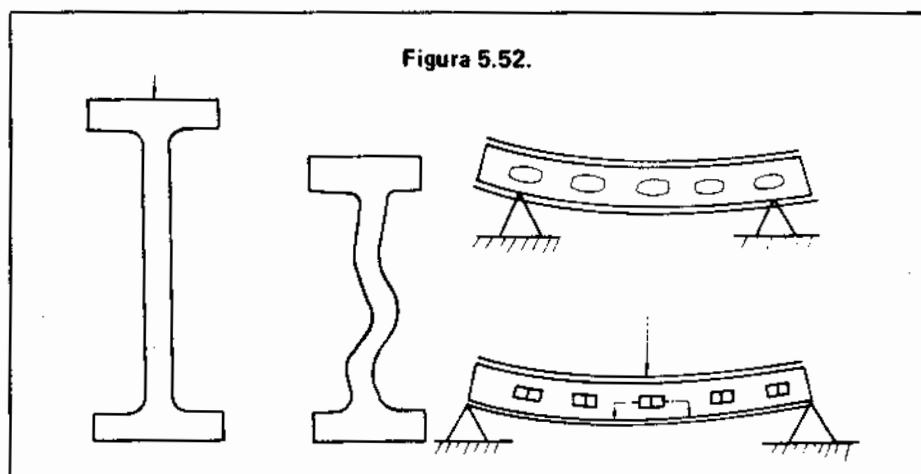


5.4.7.3. TORSION EN LAS VIGAS (LARGUEROS)

La torsión en una viga se presenta cuando se aplica una carga fuera de su eje central, y esta carga trata de hacerla girar. Esto solamente se presenta en los largueros cuando se ha producido el pandeo lateral. Como el pandeo lateral ya fué eliminado limitando la razón d/b la cual debe ser menor de dos, no es necesario tener en cuenta la torsión para nuestros diseños.

5.4.7.4. PANDEO LATERAL DEL ALMA DE LAS VIGAS

Hay dos tipos diferentes de pandeo lateral en el alma de las vigas; en la *Figura 5.52.* podemos ver el primero. Este tipo de fallas se presenta en vigas que tienen un alma muy profunda y delgada y son sometidas a cargas concentradas muy pesadas que producen compresión en su alma. Como las cargas son distribuídas mediante el tablero del puente, las secciones transversales y las vigas de acero, tienen un alma suficientemente gruesa, este tipo de fallas se presentan con poca frecuencia en puentes militares semipermanentes.



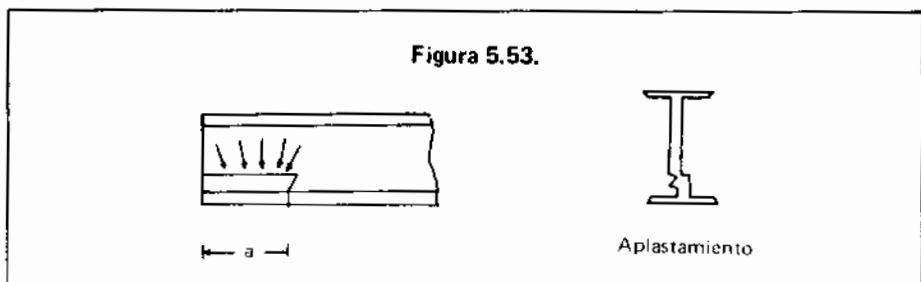
A fin de entender el otro tipo de pandeo lateral es necesario efectuar un análisis matemático. Esto se produce en aquellas vigas que tienen su alma muy delgada debido al momento flector y al esfuerzo cortante.

Si el momento flector y esfuerzos cortantes están trabajando sin que se excedan los esfuerzos permisibles, este tipo de fallas no se producirán. De lo contrario será necesario reforzar las vigas con ángulos para evitar este pandeo.

5.4.7.5. APLASTAMIENTO EN EL ALMA DE LAS VIGAS (LARGUEROS)

Cuando una viga descansa sobre un soporte como se indica en la *Figura 5.53.* y la distancia, a , es muy corta, el área del alma no será suficiente para soportar la carga, presentándose la falla que podemos ver en el corte hecho a la sección transversal.

Como en nuestro diseño de puentes militares los largueros se apoyan sobre todo el ancho de la cumbrera, este tipo de falla muy raras veces se presenta y por eso no lo analizamos.



5.4.7.6. FATIGA

La fatiga es una falla que puede presentarse al someter el material a cargas que no sobrepasan los esfuerzos permisibles de trabajo de éste, pero se producen debido a la gran cantidad de veces que ha de soportarlas. Como nosotros tratamos el diseño de puentes semipermanentes, lógicamente la duración de éstos no ha de permitir que tal falla se presente.

5.4.7.7. PANDEO EN MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESION (MONTANTES Y PILOTES)

Si una pieza larga y delgada trabaja como una columna y se somete a cargas muy pesadas, se producirá pandeo en ésta. Si a esta pieza disminuimos su longitud considerablemente y la sometemos a grandes esfuerzos ya no se presentará el pandeo sino que resultará una falla por compresión ó aplastamiento. Es por esto que la razón L/b debe ser menor de 30 con el fin de evitar pandeo en las piezas, siendo: L = longitud del montante ó pilote, y (b) la menor dimensión del mismo, ambas medidas dadas en las mismas unidades.

5.4.7.8. RESUMEN

Los tres esfuerzos simples, *Tensión, Compresión y Esfuerzo Cortante* fueron explicados y dadas sus aplicaciones para el diseño de puentes militares. Se efectuó el diseño de vigas teniendo en cuenta el momento flector, esfuerzo cortante y vertical, se pusieron ejemplos prácticos. También se explicaron algunos otros tipos de fallas que pueden presentarse en el material y la forma como estas deben evitarse.

5.5. OTROS TIPOS DE FALLAS

Los tipos de fallas que hemos discutido en estas lecciones son:

1. Flexión de la viga (Largueros)
2. Esfuerzo constante en las vigas (Largueros)
3. Esfuerzo de apoyo o compresión (entre largueros y la cumbrera y montantes).

Los otros tipos de fallas que pueden ocurrir, no teniendo en cuenta el desgaste del material son:

1. Deflexión excesiva de las vigas
2. Pandeo lateral de las vigas
3. Torsión en las vigas
4. Pandeo en el alma de las vigas
5. Aplastamiento del alma de las vigas
6. Fatiga
7. Pandeo de los miembros sometidos a compresión.

A continuación analizamos brevemente cada una de estas fallas y la influencia que ellas tienen en el diseño de puentes militares semi-permanentes.

5.5.1. DEFLEXION EXCESIVA DE LAS VIGAS (LARGUEROS)

Esta deflexión excesiva es eliminada teniendo en cuenta que la razón L/d no debe ser mayor de 30" para el acero y esta misma razón L/d no debe ser mayor de 18" para la madera. Siendo L , la luz en pulgadas, y d la profundidad de las vigas en pulgadas cuando la razón L/d es mayor a los valores dados anteriormente, se pueden hacer una de las siguientes cosas; disminuir la luz del tramo o aumentar la profundidad de la viga.

5.5.2. PANDEO LATERAL DE LAS VIGAS (LARGUEROS)

Los factores que producen fallas por pandeo lateral pueden verse en las Figuras 5.47. y 5.48., cuando una viga está en compresión.

Del presente estudio podemos sacar como conclusión que el máximo esfuerzo cortante en las vigas de acero se produce cuando una carga concentrada se aplica lo más cerca posible a uno de los apoyos.

5.5.3. VIGAS DE MADERA

Sería suponer que el máximo esfuerzo cortante en vigas de madera cuando estas están sometidas a una carga concentrada se produce también cuando esta carga se encuentra muy cerca al apoyo como ocurre en las vigas de acero. Pero los experimentos llevados a cabo han demostrado que esto no es cierto y que se produce el esfuerzo máximo cuando la carga concentrada se encuentra a una distancia de $1/4$ de la luz del tramo. Luego el máximo esfuerzo cortante para vigas de madera siempre será igual a $3/4$ de valor de la carga concentrada.

CAPITULO VI

CABALLETES Y PILARES DE MADERA

6.1. GENERALIDADES

6.1.2. CONSIDERACIONES BASICAS

En el diseño y la construcción de todas las subestructuras de puentes fijos militares no reglamentarios se deben considerar las siguientes normas:

6.1.1. PROPOSITO

Se reglamenta este *Capítulo* para proporcionar a los estudiantes de Ingeniería interesados en el diseño de puentes fijos militares no reglamentarios, los procedimientos y criterios básicos para el diseño de subestructuras.

6.1.2.1. ECONOMIA DE TIEMPO

Entre más cerca está la operación hacia el frente, más importante es el elemento tiempo. Se ahorra tiempo mediante el uso eficiente del potencial humano del equipo mecánico, de las herramientas manuales, de los materiales y de los otros medios a disposición.

6.1.2.2. SIMPLICIDAD

Se deben usar diseños sencillos que se basen en los materiales y los abastecimientos que están disponibles y un mínimo de mano de obra idónea.

6.1.2.3. ECONOMIA DE MATERIALES

Se debe mantener a un mínimo el uso de los abastecimientos y los materiales para los proyectos de construcción de puentes, rigiéndose a las necesidades mínimas con miras a la estructura determinada. Se deben conservar los materiales, especialmente aquellos que proceden de la zona del interior, y se deben usar materiales locales cuando sea práctico.

6.1.2.4. UBICACION

La ubicación de los puentes nuevos generalmente la dicta la necesidad militar. Sin embargo, se debe usar, tanto como sea posible, los medios existentes de cruces de agua para evitar la construcción innecesaria.

6.1.2.5. RESISTENCIA Y DURABILIDAD

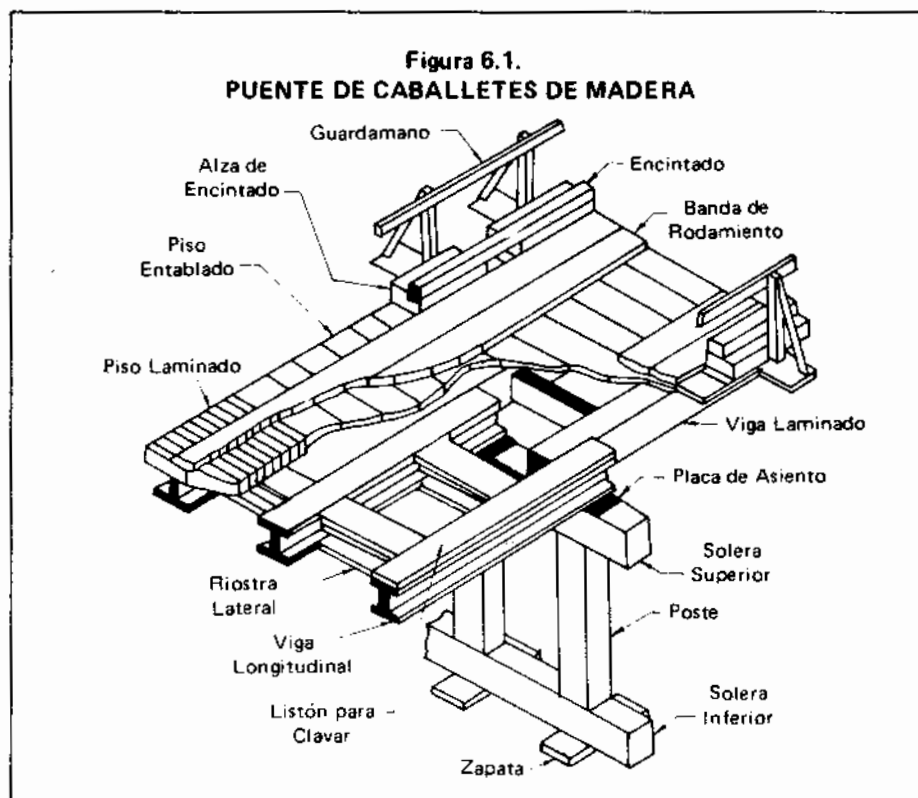
La resistencia y durabilidad de los puentes son menos importantes para el uso militar que para el uso civil. Todas las estructuras de las áreas avanzadas se deben considerar temporales y se consideran de duración mínima. La mayoría de las otras estructuras se consideran como semipermanentes.

6.1.2.6. PLANEAMIENTO

Un trabajo bien planeado acelera la terminación del puente. El tiempo bien usado en el planeamiento nunca es tiempo perdido e indudablemente se convertirá en tiempo ahorrado durante la construcción.

6.1.3. NOMENCLATURA

La *Figura 6.1.* ilustra la nomenclatura de los diversos componentes del puente de caballetes de madera.



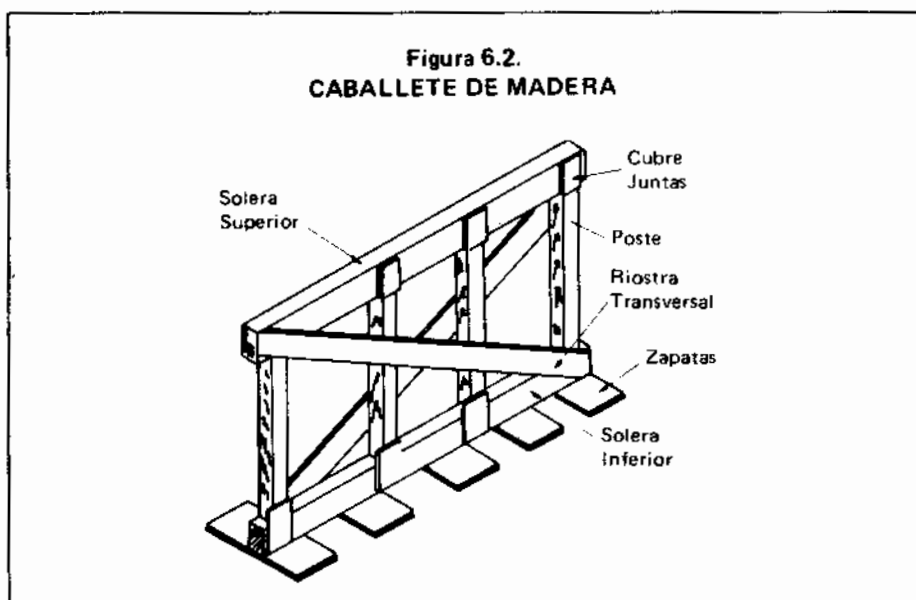
6.2. DISEÑO DE CABALLETES DE MADERA

6.2.1. GENERALIDADES

En la *Figura 6.2.* se muestran los diversos componentes del caballete de madera. Esta disposición del diseño de la subestructura se aplica a los caballetes de madera, pero se puede adaptar también al diseño de caballetes de pilotes y de pilares. Su finalidad es calcular la cantidad mínima de postes que soportarán con seguridad las cargas impuestas y diseñar una solera superior que sea capaz de transmitir las cargas a los postes. Hay unas cuantas condiciones de esfuerzos que se deben investigar:

- El esfuerzo de apoyo perpendicular a las fibras de la solera superior entre esta y el poste.
- El esfuerzo cortante paralelo a las fibras de la solera superior.

- La flexión en la solera superior. En el diseño de puentes militares, abarca la consideración del esfuerzo cortante y la flexión en la solera superior mediante el uso de una regla empírica reglamentaria. El espacio máximo de centro a centro de los postes no debe exceder 5 veces la profundidad de la solera superior o solera inferior. La investigación teórica de los esfuerzos de flexión y de corte en la solera superior involucran cálculos extensos que no se justifican para este elemento en el diseño militar corriente.
- La compresión paralela a las fibras en el poste. Esto muchas veces se menciona como la acción de la columna. En el diseño de puentes militares, si la razón L/b del poste es menor de 30, el esfuerzo de apoyo entre la solera superior y el poste determinarán la capacidad del poste, donde L es la longitud sin soporte del poste y (b) es la menor dimensión del poste. Tratándose de postes redondos, (b) es igual a 0.9 veces del diámetro. El procedimiento que se usa es proporcionar arriostramiento de manera que la longitud (L) sin soporte del poste será menor que 30 veces su menor dimensión. Se puede entonces dejar de tomar en cuenta la acción de la columna.

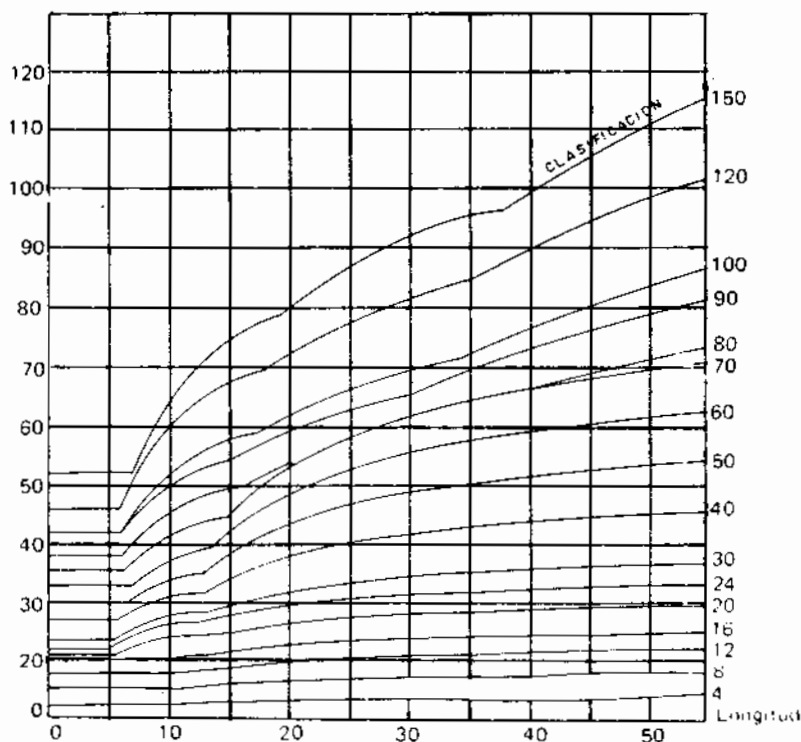


6.2.2. CONSIDERACIONES CON RESPECTO AL DISEÑO

Cuando se diseñan caballetes de madera, son importantes las siguientes consideraciones:

- La carga viva presumida es una carga concentrada que produce la misma carga sobre el soporte como el vehículo en si. Esta carga se toma como la carga viva eficaz P ; No se aplicará ningún factor de distribución lateral ("ldf") a la carga viva. En la *Tabla 6.1*, se muestran las relaciones entre la reacción de la carga y la longitud del tramo para diversas clases de vehículos.

Tabla 6.1.
CURVAS DE CLASE
ESFUERZO CORTANTE PARA TRAMOS DE 0' - 50'



LONGITUD DEL TRAMO (EN PIES)
Suma de las longitudes de los dos tramos apoyados.

- No se considera el impacto en el diseño de las subestructuras.
- La carga muerta se obtiene de la *Tabla 6.2*, en donde se enumera la carga muerta por pie lineal para las diversas clases de puentes de una y dos vías, tipo de sistemas de piso y longitudes del tramo. Se debe recordar que la mayor parte de los cálculos de las reacciones del ca

ballete bajo cargas muertas y vivas han sido llevados a cabo como parte del diseño de la subestructura, y por consiguiente no es necesario repetirlos.

- A menos que se conozcan definitivamente las propiedades de los materiales, se recomiendan los siguientes esfuerzos admisibles en la madera.
 - a. Flexión — 2400 libras/pulgadas cuadradas
 - b. Esfuerzo cortante paralelo a las fibras —150 libras/pulgadas cuadradas.
 - c. Esfuerzo de apoyo perpendicular a las fibras —500 libras/pulgada cuadrada.

En la *Tabla 6.3.* se muestra los esfuerzos admisibles para determinados materiales específicos.

- Ningún caballete tendrá menos de 4 postes.
- Los pilotes se consideran como postes para todo lo relacionado con la solera superior.
- Se deben considerar los siguientes pasos al diseñar las zapatas.
 - a. Cuando se usan zapatas con el caballete, la carga sobre las zapatas será igual a aquella sobre el caballete.
 - b. Debe haber la misma cantidad de zapatas y de postes en el caballete.
 - c. La longitud de cada zapata no debe exceder 8 veces el espesor para capacidades de estabilidad del suelo ("SRC") iguales o menor a 4 toneladas por pie cuadrado y 6 veces el espesor para "SBC" que sobrepasan las 14 toneladas por pie cuadrado.
 - d. La capacidad de las zapatas se basará en la capacidad de la estabilidad del suelo. Véase la *Tabla 6.4.* en cuanto a referencias cuando se desconoce la estabilidad y el Poste.

6.2.3. SELECCION DEL NUMERO DE POSTES BASADA EN ESFUERZO DE APOYO ENTRE LA SOLERA SUPERIOR Y EL POSTE

6.2.3.1. GENERALIDADES

El área de apoyo o área de contacto entre los postes y la solera superior deben ser suficientes para evitar que el esfuerzo de apoyo exceda el esfuerzo admisible.

Se determina el número de postes requeridos, dividiendo el área de apoyo total requerida por el área de apoyo dada por un poste.

Tabla 6.2.
PISO DE MADERA DE SEIS PULGADAS CON LARGUEROS,
ENCINTADO Y PASAMANOS DE MADERA

<i>Clasificación de los Tramos</i>		<i>Tramo en pies</i>												
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
8	1	400	410	410	420	420	430	430	440	440	450	450	460	460
	2	640	650	660	670	680	690	690	700	710	720	730	740	740
24	1	460	470	480	490	500	510	510	520	530	540	550	560	560
	2	730	750	770	790	810	810	840	860	880	900	920	930	950
70	1	500	530	560	580	610	640	660	690	720	740	770	800	820
	2	840	880	930	970	1020	1050	1090	1130	1170	1220	1260	1300	1340

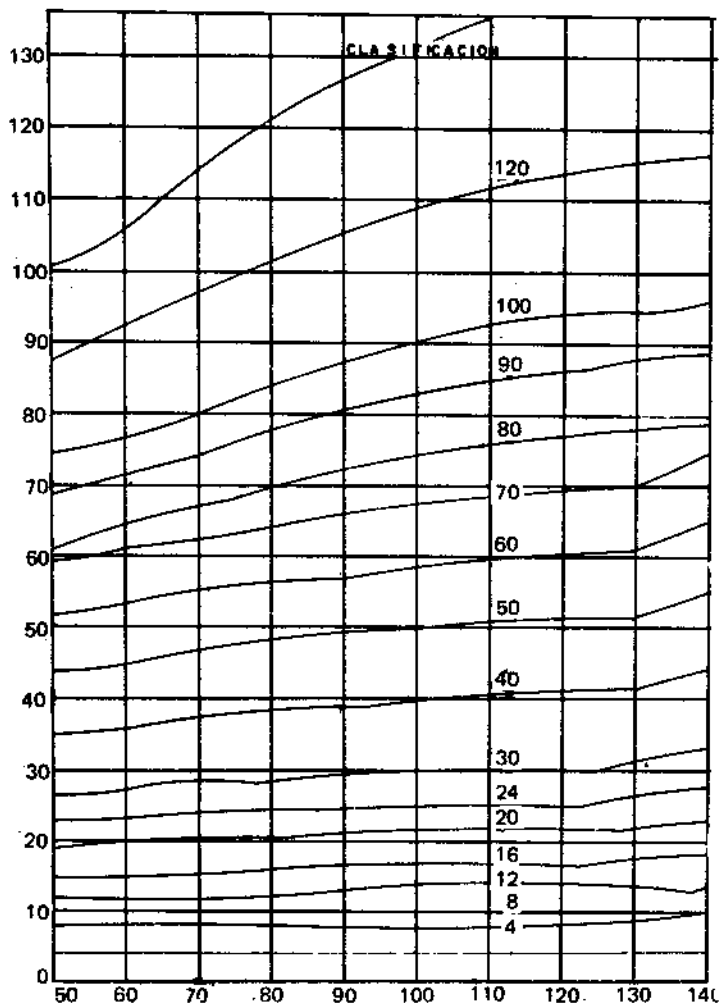
Tabla 6.3.
LARGUEROS DE ACERO CON PISO DE MADERA DE SEIS PULGADAS,
ENCINTADO Y PASAMANOS DE MADERA

<i>Clasificación de los Tramos</i>		<i>Tramo en pies</i>									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	
8	1	480	520	560	600	630	670	710	750	780	
	2	770	840	900	970	1030	1100	1160	1220	1280	
24	1	570	620	660	710	750	800	840	890	930	
	2	940	1010	1080	1150	1220	1290	1360	1430	1500	
70	1	650	740	830	920	1010	1100	1190	1280	1370	
	2	1050	1210	1370	1530	1690	1850	2010	2170	2320	

Tabla 6.4.
LARGUEROS DE ACERO CON PISO Y ENCINTADO DE HORMIGON
DE SEIS PULGADAS. PASAMANOS DE MADERA

<i>Clasificación de los Tramos</i>		<i>Tramo en pies</i>									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	
8	1	1500	1560	1610	1670	1720	1780	1830	1880	1930	
	2	2250	2330	2400	2480	2550	2630	2700	2780	2850	
24	1	1580	1650	1720	1790	1860	1930	2000	2070	2140	
	2	2360	2480	2590	2700	2810	2920	3030	3140	3250	
70	1	1660	1770	1880	1980	2100	2210	2320	2430	2540	
	2	2710	2910	3110	3310	3510	3710	3910	4110	4310	

Tabla 6.1. (...Continuación)
CURVA DE CLASE
ESFUERZO CORTANTE PARA TRAMOS DE 50' - 140'



LONGITUD DEL TRAMO (EN PIES)

Suma de las longitudes de los tramos apoyados.

Observe que esta es la capacidad de cada poste basada en el esfuerzo de apoyo entre el poste y la solera superior y no la capacidad del poste

como columna. Como se expuso en el *Parágrafo A.4.*, la práctica usual es proporcionar arriostramiento de manera que la razón L/b sea siempre menor que 30. En este caso, el esfuerzo admisible en compresión siempre excederá las 500 libras/pulgadas cuadradas de esfuerzo admisible para el esfuerzo de apoyo, es decir, el esfuerzo de apoyo siempre dictará el diseño de los postes.

6.2.3.2. EXPLICACION DETALLADA DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

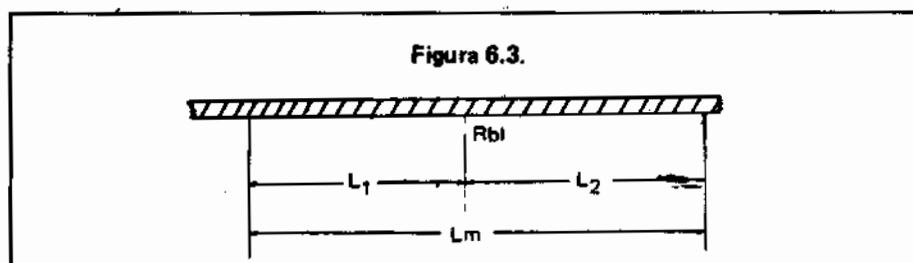
6.2.3.2.1. CARGA VIVA

Se puede encontrar analíticamente la reacción de la carga viva ("R") sobre un caballete, colocando el vehículo hipotético sobre tramos adyacentes, de manera que produzca la carga máxima. La carga del caballete se puede obtener de las curvas, el esfuerzo cortante del vehículo que se muestran en la *Tabla 6.1.* Se obtiene la reacción del caballete, tomando la longitud del tramo, L_m , de la *Tabla 6.1.* en donde L_m es igual a la suma de los tramos en cada lado del caballete, moviéndose verticalmente hasta encontrar la clase de puente que se ha de diseñar y moviéndose luego horizontalmente hacia la izquierda hasta encontrar la reacción del caballete ("Vv") en toneladas por tramo. Se indica entonces la reacción de la carga viva por:

$$R_{LL} = V_v \times \text{Número de Tramos}$$

6.2.3.2.2. CARGA MUERTA

Un caballete sostiene la carga muerta de dos tramos adyacentes, según el ejemplo de la *Figura 6.3.*



Por consiguiente, la reacción total de la carga muerta ("R") sobre un caballete entre dos tramos adyacentes será la mitad de la carga muer-

ta de cada uno de los tramos como L_1 y L_2 , y la carga muerta uniforme como W libras/pies. Se puede calcular la reacción total de la carga muerta ("R") por la fórmula siguiente:

$$R_{DL} = \frac{W_1 L_1}{2} + \frac{W_2 L_2}{2}$$

En la *Tabla 6.2*. se enumeran los valores de W para diversas clases de puentes de una y dos vías, tipo de sistema de piso y longitudes de tramos.

6.2.3.2.3. CARGA TOTAL

La carga total a la cual se someterá el caballete, es la suma de las reacciones de la carga viva y de la carga muerta y se indica por la fórmula:

$$R_{TOT} = R_{LL} + R_{DL}$$

6.2.3.2.4. AREA TOTAL DE APOYO

Habiendo encontrado la carga total presumida sobre el caballete (R), el próximo paso es buscar el esfuerzo total de apoyo requerido. Esta área es el área requerida de contacto entre la solera superior y todos los postes para evitar fallas de apoyo en la solera superior. El área de apoyo ("A_b") se encuentra por la fórmula:

$$A = \frac{R_{TOT}}{f_b}$$

donde A_b = área de apoyo requerida en pulgadas cuadradas.

f_b = esfuerzo de apoyo admisible perpendicular a la solera superior en libras/pulgadas cuadradas. Se supone que este valor es de 500 libras/pulgadas cuadradas pero para determinados materiales, véase la *Tabla 6.3*.

6.2.3.2.5. AREA TRANSVERSAL DEL POSTE

El área transversal de un poste rectangular se encuentra por:

$$A_{\text{RECT}} = (b) (d)$$

El área de la sección transversal de un poste circular se encuentra por:

$$A_{\text{CIR}} = \frac{D^2}{4}$$

6.2.3.2.6. NUMERO DE POSTES

Se encuentra un número de postes de cualquier tamaño dado, dividiendo el área total de apoyo requerida por el área que hace contacto en cada poste. Se construye el caballete de modo que el área total de cada poste esté en contacto con la solera superior. Por consiguiente, el área de contacto entre la solera superior de cada poste es el área transversal del poste. La siguiente fórmula da el número total de postes que se requieren basado en el esfuerzo de apoyo:

$$N_{\text{TOT}} = \frac{A_b}{A/\text{poste}}$$

En donde: A_b es el área de apoyo total requerida y A/poste es el área de apoyo proporcionada por cada poste.

Es posible comparar la cantidad total de material requerido para los diversos tamaños de postes disponibles y economizar en el material seleccionado.

Es importante recordar que la profundidad de la solera superior debe ser por lo menos 1/5 del espacio, de centro a centro de los postes de caballete.

6.2.3.3. RESUMEN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Carga viva (R_{LL})

$$R_{LL} = V_v \times \text{número de vías}$$

donde: V_v es la reacción de la carga viva sobre el caballete por vía, tomada de la *Tabla 6.1*.

Carga muerta (R_{DL}):

$$R_{DL} = \frac{W_1 L_1}{2} + \frac{W_2 L_2}{2}$$

donde: W_1 y W_2 son las cargas muertas uniformes por pie de puente, tomada de la *Tabla 6.2* para los tramos 1 y 2.

L_1 y L_2 son longitudes de los tramos adyacentes 1 y 2.

Carga total (R_{TOT}):

$$R_{TOT} = R_{LL} + R_{DL}$$

Area total de apoyo (A_b)

$$A_b = \frac{R_{TOT}}{f_b}$$

donde: f_b es el esfuerzo de apoyo admisible perpendicular al grano de la solera superior, tomado de la *Tabla 6.3*.

Area de Sección Transversal del Poste (A/poste)

$$A_{RECT} = (b) (d)$$

$$A_{CIR} = \frac{D^2}{4}$$

Número de Postes (N)

$$N_{TOT} = \frac{A_b}{A/\text{poste}}$$

6.2.4. SELECCION DEL NUMERO DE POSTES BASADA EN LOS ESFUERZOS DE FLEXION Y DE CORTANTE EN LA SOLERA SUPERIOR

6.2.4.1. GENERALIDADES

Se ha calculado el número de postes (N) que se necesitan para eliminar la posibilidad de una falla de apoyo entre cada poste y su solera

superior. Sin embargo, puede ser necesario aumentar el número de postes para mantener sus esfuerzos de flexión y de corte en la solera superior dentro de los límites admisibles.

En el diseño de puentes militares no se justifican los cálculos de los esfuerzos de flexión y de corte de la solera superior detalladamente y estos esfuerzos estarán dentro de los límites admisibles si se sigue la siguiente regla empírica:

El espacio de centro a centro de los postes, usando el número de postes no debe exceder 5 veces la profundidad (d) de la solera superior.

- *Explicación detallada del Procedimiento de Diseño*

Se puede calcular el espacio de centro a centro de los postes, usando el número de postes (N) requeridos para satisfacer el esfuerzo de apoyo, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Espacio de centro a centro} = \frac{W_r \times 12}{(N_{\text{TOT}})^2}$$

donde: el espacio de centro a centro se da en pulgadas, W_r es la anchura de la calzada en pies y N es el número de postes requeridos para el esfuerzo de apoyo.

Se puede calcular entonces la profundidad mínima requerida de la solera superior (d_{min}) mediante la regla empírica dada anteriormente:

$$d_{\text{min}} = \text{espacio de centro a centro}$$

$$d_{\text{min}} = \frac{W_r \times 12}{5(N_{\text{TOT}} - 1)}$$

Si la profundidad mínima requerida de la solera superior (d_{min}) es menor que la profundidad del material de la solera superior disponible, entonces los esfuerzos de flexión y de corte en la solera superior están dentro de los límites admisibles y el número de postes (N) requeridos deberá usarse. Sin embargo, si la profundidad mínima requerida (d_{min}) es mayor que la profundidad de todo el material de la solera superior disponible, entonces (1) se debe aumentar el número de postes para satisfacer la regla empírica de 5 veces la profundidad, o (2) el número de postes permanecerá invariable, pero se debe aumentar la profundidad del material disponible por medio de material laminado.

6.2.4.2. CONSIDERACION DE (1) DE MODO OPTATIVO

(1) Asumiendo una profundidad de solera superior (d) dada, la fórmula siguiente proporcionará el espacio máximo de centro a centro de los postes:

$$\text{Espacio máximo de centro a centro} = 5d.$$

(2) La fórmula siguiente dará el número de espacios entre los postes:

$$N \text{ espacios} = \frac{W_r \times 12}{\text{Espacio máximo de centro a centro}}$$

$$N \text{ espacios} = \frac{W_r \times 12}{5d}$$

donde: W_r es la anchura de la calzada en pies.

(3) Se proporciona el número de postes (N) necesarios para satisfacer la regla de 5 veces de profundidad ($5d$) por medio de:

$$N = N \text{ espacios} + 1 = \frac{W_r \times 12}{5d} + 1$$

6.2.4.3. CONSIDERACION DE (2) DE UN MODO OPTATIVO

(1) Debido a que se usará el número de postes (N) necesarios para satisfacer el esfuerzo de apoyo, se hace necesario aumentar la profundidad, d , del material de la solera superior disponible, a una profundidad mínima, proporcionada por:

$$d \text{ mín} = \frac{W_r \times 12}{5 (N_{\text{TOT}} - 1)}$$

donde: W_r es la anchura de la calzada en pies y N es el número de postes necesarios para satisfacer el esfuerzo de apoyo.

Se puede llevar a cabo el aumento de la profundidad del material disponible mediante un procedimiento de laminación.

6.2.5. DISEÑO DE LA SOLERA

Debido a que el espacio libre entre los postes, nunca se somete a la solera inferior a una condición de carga más crítica que aquella sobre la solera superior. Por lo tanto, se hará la solera inferior del mismo material que la solera superior.

6.2.5.1. RESUMEN

Una vez que se haya determinado el número de postes requeridos para satisfacer el esfuerzo de apoyo (N) se hace necesario comprobar el tamaño de la solera superior mediante los pasos siguientes:

- a. La profundidad mínima requerida de la solera superior (d_{\min}) se puede calcular por la regla empírica de $5d$,

$$d_{\min} = \frac{\text{Espacio de centro a centro}}{5} = \frac{W_r \times 12}{5 (N_{\text{TOT}} - 1)}$$

- b. Si d_{\min} existente, (a) se debe aumentar el número de postes para satisfacer el esfuerzo de apoyo (N) hasta el número requerido que satisfaga la regla $5d (N)$ o (b) se debe aumentar la profundidad de la solera superior existente ($d_{\text{existente}}$) hasta d_{\min} por medio de material laminado.

- (1) La siguiente fórmula da el número de postes que satisfacen la regla $5d (N)$:

$$N_{\text{TOT}} = N \text{ espacios } + 1 = \frac{W_r \times 12}{5d} + 1$$

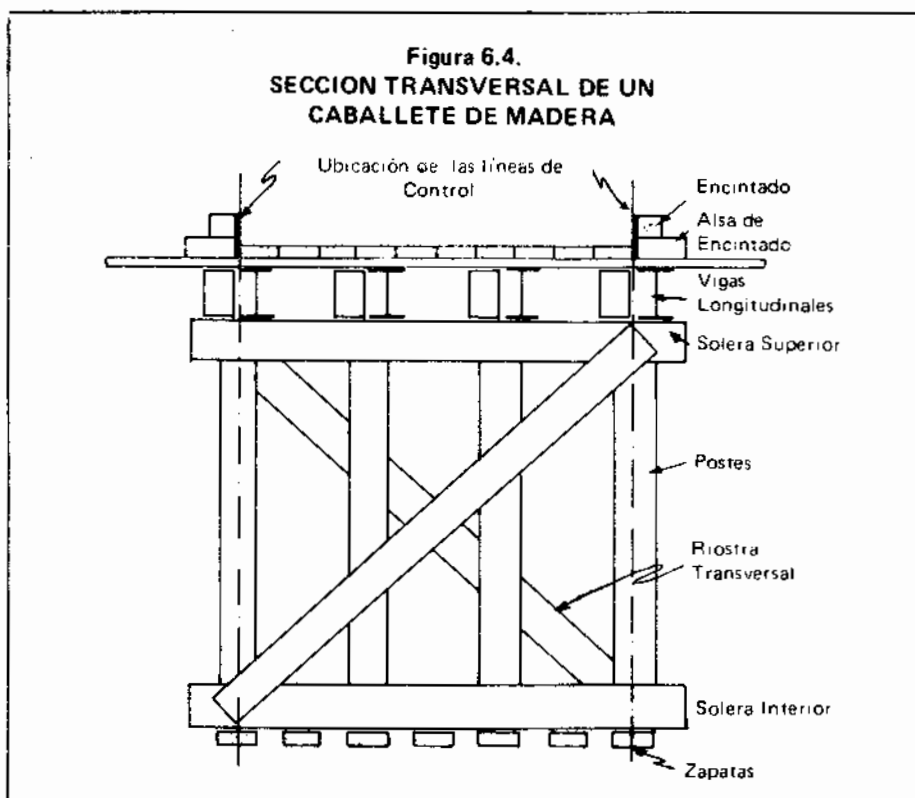
- (2) Se debe aumentar la profundidad de la solera existente ($d_{\text{existente}}$) mediante laminación d_{\min} ,

$$\text{donde: } d_{\min} = \frac{W_r \times 12}{5 (N_{\text{TOT}} - 1)}$$

6.2.6. DISEÑO DE LAS ZAPATAS

1. *Generalidades:* Las zapatas se han de diseñar para que resistan la reacción total del caballete (R). La *Figura 6.4.* nos muestra la manera

como la solera superior pasa la carga a los postes y la solera inferior eventualmente a las zapatas. Existen dos tipos de fallas ocasionadas por las zapatas. Si son muy largas o muy delgadas pueden fallar por flexión. Si el área de la zapata es muy pequeña, pueden ocurrir asentamientos. Se puede eliminar la posibilidad de las fallas por flexión, limitando la razón entre su espesor y su longitud. Se puede encontrar el área requerida de las zapatas, determinando la resistencia del suelo debajo de las zapatas y conociendo la carga que se ha de colocar sobre éstas.



6.2.6.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LAS ZAPATAS

6.2.6.1.1. LONGITUD DE LAS ZAPATAS

Para estabilidad de terreno (SBC) hasta de 4 toneladas por pie cuadrado, la siguiente fórmula proporciona la longitud de zapata (L_{ftg}):

$$L_{ftg} = 8t_{ftg}$$

donde: t_{ftg} es el espesor de la zapata.

6.2.6.1.2. LONGITUD DE LA ZAPATA

Para estabilidad del suelo (SBC) mayores que 4 toneladas por pie cuadrado, la fórmula siguiente proporciona la longitud de la zapata (L_{ftg}):

$$L_{ftg} = 6t_{ftg}$$

En la *Tabla 6.4.* se muestra las estabilidades admisibles del suelo para diversos terrenos.

6.2.6.1.3. CAPACIDAD DE CARGA DE UNA ZAPATA

La fórmula siguiente proporciona la capacidad de soporte de carga (R_{ftg}) de una zapata:

$$R_{ftg} = A_{ftg} \times SBC$$

donde: R_{ftg} es la capacidad de carga de una zapata en toneladas y A es el área de zapata en pies de una zapata.

SBC es la capacidad de estabilidad del suelo en toneladas por pie cuadrado, tomado de la *Tabla 6.5.*

6.2.6.1.4. NUMERO DE ZAPATAS REQUERIDAS

La fórmula siguiente proporciona el número total de zapatas (N) que se requieren:

$$N_{ftg} = \frac{R_{TOT}}{R_{ftg}}$$

donde: R es la reacción total del caballete, R es la capacidad de carga de una zapata.

Para simplificar la ecuación anterior para N_{ftg} se asume que todas las zapatas son idénticas. Se recomienda además que el número mínimo de zapatas sea igual al número de postes para garantizar que no falle la solera inferior.

6.2.6.1.5. RESUMEN

a. Longitud de zapata (L_{ftg})

(1) SBC hasta 4 toneladas por pie cuadrado.

$$L_{ftg} = 8t_{ftg}; \text{ en donde } t_{ftg} \text{ es la longitud del cimiento.}$$

(2) SBC mayor de 4 toneladas por pie cuadrado.

$$L_{ftg} = 6t_{ftg}$$

b. Capacidad de Carga de una Zapata (R_{ftg})

$$R_{ftg} = A_{ftg} \times \text{SBC,}$$

donde: A_{ftg} es el área de la zapata.

c. Número de Zapatas Requeridas (N_{ftg})

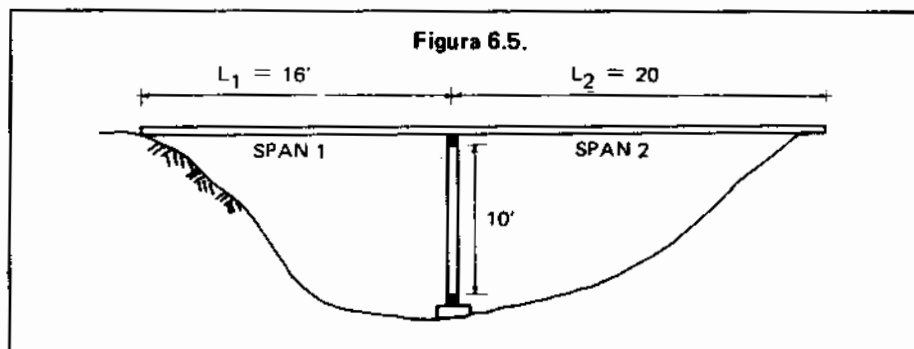
$$N_{ftg} = \frac{R_{TOT}}{R_{ftg}}$$

donde: R_{TOT} es la reacción total del caballete.

$$R_{ftg} = \text{Capacidad de carga de una Zapata.}$$

6.2.7. PROBLEMA DE EJEMPLO

Diseñe la solera superior, los postes, la solera inferior y las zapatas para el puente de caballete de madera que se muestra en la *Figura 6.5*.



Dados:

- Diseñe el puente para vehículo clase 40.
- La anchura de la calzada del puente es 24 pies.
- Materiales disponibles.
 - 6" x 8" Longitudes diversas.
 - 3" x 12" Longitudes diversas.
- Los suelos en lugar son en su mayoría de arenas bien cernidas y compactas. SBC = 5 toneladas/pies²
- La superestructura consta de un piso de madera de 6 pulgs. con largueros, encintados y pasamanos de madera.

6.2.7.1. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Seleccione el número de postes basado en el esfuerzo de apoyo.

(1) *Carga viva:*

$$R_{LL} = V_v \times \text{número de vías}$$

Obtenga el valor de V_v de la *Tabla 6.1.* y con el valor de $LN = 36'$ ($L_1 + L_2 = 16' + 20'$), muévase verticalmente de un modo ascendente hasta encontrar la curva clase 40 y encontrará que el valor de V_v es 33.3 toneladas por vía.

Por consiguiente:

$$R_{LL} = 33.3 \text{ toneladas/vía} \times 2 \text{ vías}$$

$$R_{LL} = 66.6 \text{ toneladas}$$

(2) *Carga Muerta:*

$$R_{DL} = \frac{W_1 L_1}{2} + \frac{W_2 L_2}{2}$$

Los valores de W se obtuvieron de la *Tabla 6.1.* Para el tramo 1, $L_1 = 16'$. Diríjase a la sección de la *Tabla 6.2.* que se refiere al piso de

madera de 6 pulgadas a los largueros de madera al encintado y al pasamanos, con un valor de $L = 16'$, se encontrará que el valor de W para un puente de dos vías es 790 libras por pie de puente para la clase 24 y 970 libras por pie de puente para la clase 70. Interpolando el valor de W_1 para la clase 40, se obtiene que W_1 es aproximadamente igual a 850 libras por pie de puente. De un modo similar, se interpola el valor de W_2 para una longitud de tramo de 20 pies y un puente de dos vías clase 40 y se encuentra que es 950 libras por pie de puente. Por lo tanto:

$$R_{DL} = \frac{850 \text{ lbs/pie (16 pies)}}{2} + \frac{950 \text{ lbs/pie (20 pies)}}{2}$$

$$R_{DL} = 6.800 \text{ libras} + 9.500 \text{ libras}$$

$$R_{DL} = 16.300 \text{ libras} = 8,2 \text{ toneladas}$$

Aquí se ha hecho el cálculo para las reacciones de carga viva y carga muerta como ilustración.

Se debe recordar que la reacción existente (R) a la cual está sujeto el caballete ha sido calculada con precisión como parte del diseño de la superestructura, eliminando de esta manera los cálculos anteriormente realizados.

(3) Carga Total

$$\begin{aligned} R_{TOT} &= R_{LL} + R_{DL} \\ R &= 66.6 \text{ toneladas} + 8.2 \text{ toneladas} \\ R &= 74.8 \text{ toneladas} \end{aligned}$$

(4) Area Total de Apoyo

$$Ab = \frac{R_{TOT}}{fb} = \frac{74.8 \text{ toneladas}}{fb}$$

Se asume que el valor de fb sea 500 libras/pulgadas² entonces:

$$Ab = \frac{74.8 \text{ toneladas}}{500 \text{ lbs/pulg}^2} \times (2.000 \text{ lbs/tons})$$

$$Ab = 299 \text{ pulgadas cuadradas}$$

(5) Area Transversal del Poste

El material que tenemos disponible para los postes es de 6'' x 8''

de diversas longitudes. Por lo tanto el área de contacto, es

$$A_{\text{rect}} = b \times d = 6'' \times 8'' = 48 \text{ pulgadas}^2$$

(6) *Número de Postes Basados en el Esfuerzo de Apoyo*

Se encuentra el número de postes basado en el esfuerzo de apoyo por:

$$N_{\text{TOT}} = \frac{A_b}{A/\text{post}} = \frac{299 \text{ pulg}^2}{48 \text{ pulg}^2} = 6.2 \text{ postes}$$

Se redondea el número de postes al próximo número entero: 7 postes.

(7) *Comprobación de la Razón L/b de los postes*

$$L/b = \frac{10 \text{ pies}}{1/2 \text{ pie}} = 20$$

Esta razón no debe exceder 30. Si lo sobrepasa, se deben añadir riostras de modo que la razón de la longitud no soportada del poste hasta la dimensión más pequeña del poste no exceda a 30.

Selección del número de postes basado en los Esfuerzos de Flexión y corte en la Solera Superior

(1) *Compruebe la dimensión mínima requerida de la Solera Superior.*

$$d_{\text{min}} = \frac{W_r \times 12}{5 (N_{\text{TOT}})^2}$$

donde: W_r es la anchura de la calzada en pies, N es el número de postes para satisfacer el esfuerzo de apoyo.

$$d_{\text{min}} = \frac{24 \text{ pies} \times 12 \text{ pulg/pie}}{5 (7-1)} = 9,6 \text{ pulgs}$$

El único material que tenemos disponible para las soleras superiores es de 6'' x 8''. Por tanto, este material con una profundidad aproximada de 10 pulgadas. Con el fin de que se construyan con más facilidad las obras en el campo, sería mejor aumentar el número de postes de madera que satisfaga la regla empírica 5d en vez de aumentar la profundidad del material a mano.

(2) El Número de Postes Requeridos para satisfacer la Regla 5d., se encuentra mediante la fórmula:

$$N'_{TOT} = \frac{W_r \times 12}{5d} + 1$$

donde: W_r es la anchura de la calzada en pies, d es la profundidad del material para la solera superior disponible en pulgadas,

$$N'_{TOT} = \frac{24 \text{ pies} \times 12 \text{ pulg/pie}}{5 (8 \text{ pulg})} + 1 = 7,2 + 1$$

$$N'_{TOT} = 8,2 \text{ postes, use } 9 \text{ postes.}$$

La Regla 5d. dará aproximadamente el espacio de centro a centro de los postes, pero debido a que se ha redondeado el número de postes hasta próximo número entero, se ha cambiado ligeramente el espaciamento.

$$\text{Espacio de centro a centro} = \frac{W_r \times 12}{(N_{TOT})^1}$$

donde N es el número definido de postes que se usará.

Espacio de centro a centro

$$= \frac{24 \text{ pies} \times 12 \text{ pulg/pies}}{9 - 1} = 36 \text{ pulgs}$$

La dimensión de 6 pulgadas de estos postes de 6" y 8" se debe colocar paralela a la calzada.

6.2.7.2. DISEÑO DE LAS ZAPATAS

(1) *Capacidad de resistencia del suelo (CRS).*

Los suelos en el sitio son arenosos y predominantemente compactos.

Usando la Tabla 6.5. se observa que la CRS máxima admisible es de 5 toneladas por pie cuadrado.

(2) *Longitud de las Zapatas.*

Puesto que la CRS máxima admisible es mayor que 4 toneladas por pie cuadrado, se encuentra la longitud de las zapatas por:

$$L_{ftg} = 6t_{ftg}$$

donde t_{ftg} es el espesor de la zapata.

El material que tomemos disponible para las zapatas es de 3" x 12" de longitudes diversas. Este material, por consiguiente, establece el t_{ftg} como 3 pulgadas. Por lo tanto, la longitud de la zapata se deduce así:

$$L_{ftg} = 6(3 \text{ pulg}) = 18 \text{ pulgadas}$$

(3) Capacidad de una zapata

Se proporciona la capacidad de una zapata por:

$$R_{ftg} = A_{ftg} \times CRS$$

Donde A_{ftg} es el área de la zapata en pies cuadrados.

Por lo tanto:

$$R_{ftg} = \frac{(18 \text{ pulg}) (12'')}{144 \text{ pulg/pies}^2} \times \frac{5 \text{ toneladas}}{\text{pies}^2}$$

$$R_{ftg} = 7.5 \text{ toneladas}$$

(4) Número de zapatas requeridas

Se encuentran las zapatas necesitadas por:

$$N_{ftg} = \frac{74,8 \text{ toneladas}}{7,5 \text{ toneladas}} = \frac{R_{TOT}}{R_{ftg}}$$

$$N_{ftg} = 10 \text{ zapatas}$$

Debido a que hay 9 postes en el caballete y 10 zapatas, se satisface la regla que estipula que deberá haber por lo menos tantas zapatas como postes.

6.2.7.3. RESUMEN

El caballete de madera diseñado anteriormente se resume a continuación:

(1) Postes	9.6" x 8" x 10' - 0"
(2) Solera Superior	1.6" x 9" x 27' - 0"
(3) Solera Inferior	1.6" x 9" x 27' - 0"
(4) Zapata	10.3" x 12" x 1' - 6"

Las longitudes tanto de la solera superior como de la solera inferior son más largas que la anchura de la caizada como se muestra en la *Figura 6.4*.

6.3. DISEÑO DE LOS PILARES DE MADERA

6.3.1. GENERALIDADES

La *Figura 6.6* nos muestra un pilar típico de caballetes de madera.

El pilar se selecciona como un soporte intermedio cuando son tales las cargas que se requiere un número excesivo de postes en un solo caballete, o cuando los tramos adyacentes son tan largos que no es factible la colocación de riostras longitudinalmente entre los caballetes, o cuando los soportes son muy altos y requieren estabilidad longitudinal. Una regla práctica general que se debe seguir es la de instalar pilares cuando las longitudes del tramo excedan a 25 pies.

Los pilares de madera generalmente constan de dos o más caballetes fijados por medio de riostras y puntales longitudinales. Como regla general, el espacio de centro a centro de los caballetes en un pilar debe ser de 1/6 a 1/4 de la altura del pilar con una distancia de centro a centro mínima de aproximadamente 4 pies.

Las cargas de la superestructura generalmente se transmiten a los caballetes del pilar a través de los voladizos. Se usan placas de apoyo o una solera común para transmitir la carga a los voladizos para asegurar que todos están igualmente cargados, es decir, los caballetes (*Figura 6.6*).

El procedimiento de diseño de un pilar es similar al de un solo caballete.

- Determinar la reacción o carga que ha de soportar el pilar; se determina esto de la misma manera que la carga sobre un solo caballete.
- Determinado que se requiere un pilar, se selecciona el número más económico de postes, usando el mismo método que el de un solo caballete y se determine el espacio de centro a centro de los caballetes exteriores.
- Determine el tamaño de la solera superior o verifique la adaptación

de los tamaños disponibles a base del número de postes determinado. Puede que sea necesario que se añadan más postes.

- d. Se debe comprobar tanto el momento de flexión como de corte para asegurar que se diseñen correctamente los voladizos. A fin de llevar a cabo estas comprobaciones, es necesario determinar la carga total sobre cada voladizo por medio de la siguiente fórmula:

$$P_{cor} = \frac{R_{TOT}}{N_{cor}}$$

donde: R se computa sin el factor de distribución de carga cuando se ha de usar una solera común.

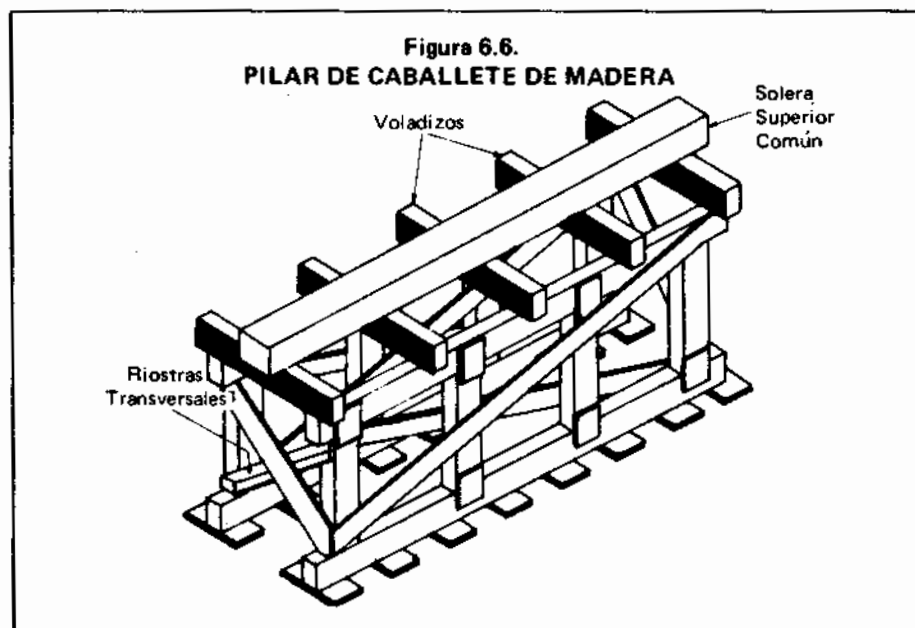
- (1) Se puede determinar el esfuerzo de corte de cada voladizo por:

$$V = \frac{P_{cor}}{2}$$

- (2) Se determina el momento de cada voladizo por:

$$M_{cor} = \frac{P_{cor} L_{cor}}{4}$$

donde: L_{cor} es el tramo del voladizo



- e. Para comprobar el esfuerzo de corte, compare el área de esfuerzos cortante requerido con el área de esfuerzo cortante proporcionado, y para comprobar el esfuerzo de flexión compare el módulo de sección requerido con el módulo de sección proporcionado.
- f. Determine si cada voladizo puede constar de un solo pedazo de madera o si se deben usar dos o más. Es buena práctica tener el mismo número de postes por caballete y de voladizos por cada pilar según la cantidad de largueros que tenga cada tramo cuando se utilizan largueros de acero.
- g. El arriostamiento lateral del pilar debe estar conforme a las reglas para arriostar caballetes sencillos. Se amarran los caballetes de un pilar con riostras transversales longitudinales y con puntales horizontales en uno o más pisos.
- h. Cuando se usan placas de apoyo, deben ser suficientemente largas para que se extiendan la anchura total del voladizo y tan anchas como sean necesarias para proporcionar el esfuerzo de apoyo apropiado, pero no menos de 10 pulgadas de ancho para los largueros de solapa.

6.3.2. PROBLEMA EJEMPLAR

Problema: Diseño para el puente que se muestra en la *Figura 6.7*, un apoyo intermedio del tipo de pilar con los voladizos.

En este caso se necesita un soporte tipo pilar ya que ambas longitudes de los tramos exceden los 25 pies

Dado:

- a. Diseñe el puente para vehículos clase 40.
- b. La anchura de la calzada del puente es de 24 pies.
- c. Hay 6 largueros de acero por cada tramo (30 a la ancho 108).
- d. La presión admisible de resistencia del suelo es 2 toneladas por pie²
- e. La parte sobrante de la superestructura se compone de piso de madera de 6 pulgadas con encintado y pasamanos de madera.
- f. *Materiales a mano:*
 - (1) 6" x 8" x longitudes variadas
 - (2) 8" x 8" x longitudes variadas *poste*
 - (3) 8" x 12" x longitudes variadas *solera (anecillos)*
 - (4) 1' - 1/2" x 10' x longitudes variadas *zapatas*.

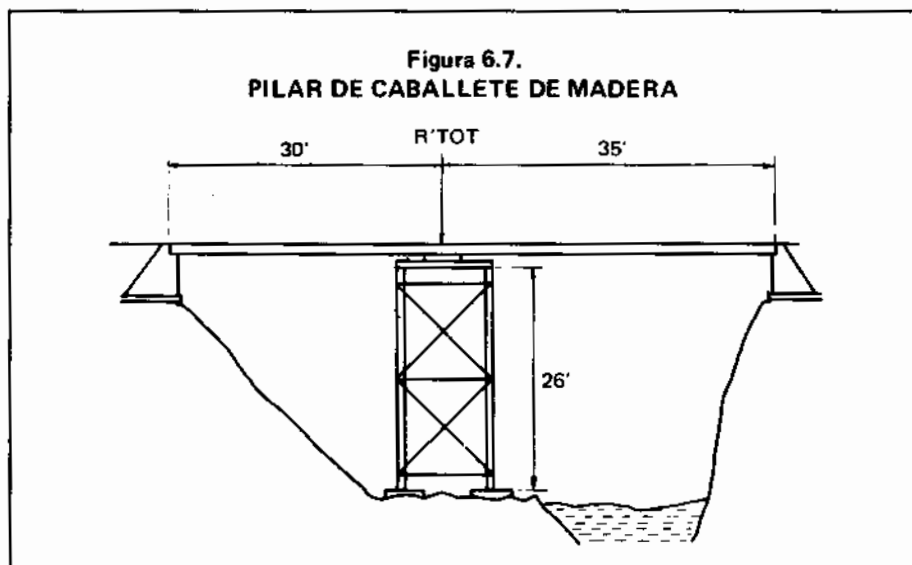
- g. Use placas de apoyo, no una solera común, para transmitir el peso desde los largueros a los voladizos.

Procedimiento de Diseño

(Seleccione un número de postes basado en el Apoyo)

Carga Viva

$$R_{LL} = V_v \times \text{número de vías}$$



Diríjase a la *Tabla 6.1.* con $L_m = 30' + 35' = 65'$, y encontrará que el valor de V_v es 36.7 toneladas por vía, para los vehículos clase 40. Por lo tanto,

$$R_{LL} = 36.7 \text{ ton/vía} \times 2 \text{ vías}$$

$$R_{LL} = 73.4 \text{ ton}$$

Carga Muerta

$$R_{DL} = \frac{W_1 L_1}{2} + \frac{W_2 L_2}{2}$$

Se obtienen los valores de W de la *Tabla 6.2.* Para el tramo 1, L_1 , 30'. Diríjase a la sección de la *Tabla 2.* que se aplica a los largueros de

acero con un piso de madera de 6 pulgadas y encintado y pasamanos de madera, se encontrará que los valores de W para un tramo de puente de dos vías de 30 pies con 1.010 libras por pie y 1.210 libras por pie para las clases 24 y 70, respectivamente. Interpolando, se encontrará que el valor de W es 1.080 libras por pie de puente para la clase 40. Similarmente, se encontrará que el valor de W para una longitud de tramo de 35 pies y de un puente clase 40 de dos vías es 1.130 libras por pie de puente. Por consiguiente,

$$R_{DL} = \frac{1.080 \text{ lbs/pie (30 pies)}}{2} + \frac{1.130 \text{ lbs/pie (35)}}{2}$$

$$R_{DL} = 16.200 \text{ libras} + 19.775 \text{ libras}$$

$$R_{DL} = 35.975 \text{ libras} = 18 \text{ toneladas}$$

Carga Total

$$R_{TOT} = R_{LL} + R_{DL}$$

$$R_{TOT} = 73.4 \text{ ton} + 18 \text{ ton}$$

$$R_{TOT} = 91.4 \text{ ton}$$

Area Total del Esfuerzo de Apoyo

$$A_b = \frac{R_{TOT}}{f_b} = \frac{91.4 \text{ toneladas}}{f_b}$$

Se asume que el valor de f_b sea 500 libras por pulgada cuadrada. Por consiguiente,

$$A_b = \frac{91.4 \text{ toneladas}}{500 \text{ lbs/pulg}^2} \times (2.000 \text{ lbs/ton})$$

$$A_b = 365.6 \text{ pulgadas cuadradas}$$

El número de postes basado en el esfuerzo de Apoyo.

Hay dos clases de materiales disponibles para postes, 6" x 8" x 8" x 8". Se computará el número de postes para cada uno de los dos materiales que están disponibles y la decisión sobre el mejor se basará en el número de postes que se requieren para satisfacer la *Regla 5d*.

Mediante la fórmula siguiente se calcula el número de postes de cada tamaño disponible que se requieren para el esfuerzo de apoyo:

$$N_{\text{TOT}} = \frac{Ab}{A/\text{poste}} \text{ y está enumerado a continuación}$$

$$\text{Tamaño del poste: } N_{\text{TOT}} = \frac{Ab}{A/\text{poste}}$$

$$N_{\text{TOT}} = \frac{365.6 \text{ pulg}^2}{6'' \times 8''} = 7.6 \text{ postes}$$

$$N_{\text{TOT}} = \frac{365.6 \text{ pulg}^2}{8'' \times 8''} = 6.5 \text{ postes}$$

Se deberá recordar que el número de postes calculado anteriormente es el número que se requiere para todo el pilar.

El número de postes basado en el tamaño de la solera superior (*Regla 5d.*).

El número de postes que se requieren para satisfacer la *Regla 5d.*, se proporciona mediante,

$$N'_{\text{TOT}} = \frac{Wr \times 12}{5d} + 1$$

donde: Wr es la anchura de la calzada en pies, d es la profundidad de la solera superior en pulgadas.

Hay solamente una clase de material disponible para las soleras superiores —8'' x 12''. Se calcula que el número de postes que se necesitan en un caballete es:

$$N'_{\text{TOT}} = \frac{24 \text{ pies} \times 12 \text{ pulg/pie}}{5 (12 \text{ pulgadas})} + 1 = 5,8 \text{ postes por/cab}$$

Debido a que se necesita un soporte tipo pilar (dos o más caballetes) debido a las longitudes de tramo largo de 30 x 35 pies, 12 es el número de postes para un pilar de 2 caballetes basado en la *Regla 5d.* (6 postes por caballete). Sin embargo, cálculos previos han demostrado, que solamente se requiere un total de 8 postes de 6'' x 8'' ó 6 postes de 8'' x 8'' para el pilar basado en el esfuerzo de apoyo. En vista de esto, se usará el

poste más pequeño de tamaño 6" x 8", que consta de 6 postes para cada par de caballetes.

Comprobación de la razón L/b de los postes

Los caballetes constarán de postes de 6" x 8". Por consiguiente, la razón L/b es,

$$\frac{L}{b} = \frac{26 \text{ pies}}{6 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pies}}{12 \text{ pulg}}} = 52$$

Este valor excede el valor admisible de 30. Por lo tanto, se deben arriostrar los postes. Llevando a cabo el arriostramiento a media altura, la longitud no soportada es de 13 pies. La nueva razón L/b se convierte en

$$\frac{L}{b} = \frac{13 \text{ pies}}{6 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}}} = 26$$

Esta razón de L/b está dentro del valor máximo admisible de 30.

Diseño de los Voladizos

Espaciamiento de los caballetes. Como regla general, el espacio de centro a centro de los caballetes exteriores en un pilar, con un mínimo aproximado de cuatro pies de centro a centro, debe ser de 1/6 a 1/4 la altura del pilar. Usando un factor de 1/6, el espaciamento (S) del caballete lo proporciona la fórmula,

$$S = \frac{H}{6} = \frac{26 \text{ pies}}{6} = 4,3 \text{ pies. Use 5 pies}$$

Tamaño del Voladizo. Como se explicó previamente, es una buena práctica tener el mismo número de postes por caballete y de voladizo por pilares como largueros de acero haya por tramo. En este caso hay 6 largueros por tramo (30 WF 108) y 6 postes por caballete. Para estar de acuerdo con la regla práctica anterior, deberá haber 6 voladizos que pueden constar de uno o más longitudes de madera. La carga del larguero es transmitida a cada voladizo por medio de una placa de apoyo. En este caso se debe usar un factor de distribución de carga lateral para la

carga viva. El material que se ha de usar como voladizo es 8" x 12". Para una profundidad de 12" de voladizo.

$$L/d = \frac{60 \text{ pulg}}{12 \text{ pulg}} = 5$$

Por consiguiente, debido a que L/d es 5, diseñe los voladizos basados en el esfuerzo cortante y luego compruebe el momento de flexión.

Carga Viva

$$P_{LL} = R_{LL} \times lds$$

$$P_{LL} = 73.4 \text{ tons} \times 1.5$$

$$P_{LL} = 110.1 \text{ tons.}$$

Carga Muerta

$$P_{DL} = R_{DL} = 18 \text{ tons}$$

Carga Total

$$P_{TOT} = P_{LL} + P_{DL} = 110.1 \text{ tons} + 18 \text{ tons}$$

$$P_{TOT} = 128.1 \text{ tons}$$

Carga del voladizo

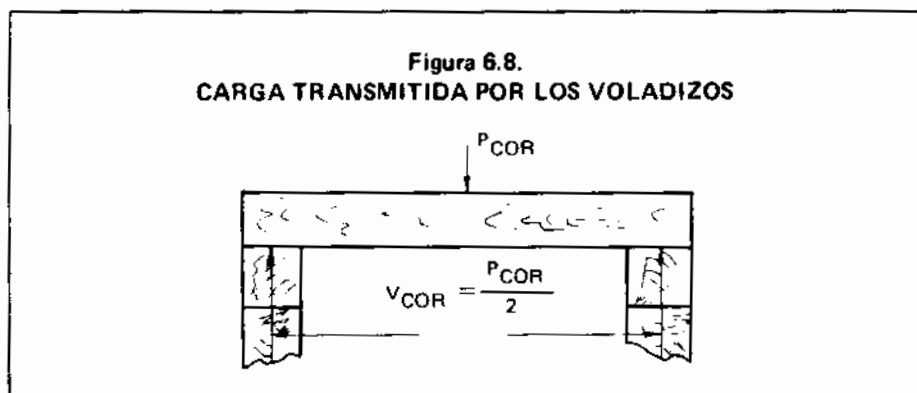
$$P_{cor} = \frac{P_{TOT}}{\text{Número de Voladizos}}$$

$$P_{cor} = 21.6 \text{ toneladas/voladizo}$$

Esfuerzo Cortante en el Voladizo. Como se muestra en la *Figura 6.8.*, la siguiente fórmula proporciona el esfuerzo cortante en el voladizo (V_{cor}).

$$V_{cor} = \frac{P_{cor}}{2} = \frac{21.6 \text{ tons}}{2}$$

$$V_{cor} = 11.0 \text{ toneladas}$$



Área de Esfuerzo Cortante Requerida

$$A_{req} = \frac{11.0 \text{ tons} \times 2.000 \text{ lbs/tons}}{f_s}$$

en donde: f_s es el esfuerzo admisible en esfuerzo cortante. El valor de f_s se asume que es 150 libras por pulgada cuadrada.

Por consiguiente,

$$A_{req} = \frac{22.000 \text{ libras}}{150 \text{ lbs/pulg}^2} = 147 \text{ pulg}^2$$

Área de Esfuerzo Cortante Proporcionada

El material más grande a mano 8" x 12".

El área de la sección transversal de un miembro es de 96 pulgadas cuadradas.

Se considera 2/3 del área transversal como área eficaz, o sea,

$$\frac{2}{3} \times 96'' = 64 \text{ pulg}^2$$

La fórmula siguiente proporciona el número de miembros por voladizo (N_{cor}) que necesitan para resistir el esfuerzo cortante.

$$N_{cor} = \frac{A_{req}}{A_{prov}} = \frac{147 \text{ pulg}^2}{64 \text{ pulg}^2} = 2.3$$

Puesto que el número de miembros que se necesitan por cada voladizo en este caso es mayor que 2, use 3. Por consiguiente, cada voladizo consta de 3 miembros de 8" x 12" y soporta un larguero de acero de 30 WF 108.

Comprobación del Momento. En este caso, la comprobación del momento muestra que el esfuerzo extremo de fibra debido a la flexión es 1.040 lbs/pulg², el cual es menos que el esfuerzo de flexión admisible de 2.400 lbs/pulg².

6.3.3. DISEÑO DE LAS PLACAS DE APOYO

Area de apoyo requerida. Cada placa de apoyo transmite la carga desde un larguero hasta el voladizo. Por consiguiente, se debe diseñar para que lleven la carga (Pcor) para la cual se han diseñado los voladizos. Se puede calcular el área de apoyo requerida Ab por medio de la fórmula,

$$Ab \text{ requerida} = \frac{P_{cor}}{fb} = \frac{21.6 \text{ ton} \times 2.000 \text{ lb/ton}}{fb}$$

Se toma el valor del esfuerzo de apoyo admisible como 500 libras por pulg².

Por consiguiente,

$$Ab = \frac{43.200 \text{ lb}}{500 \text{ lb/pulg}^2} = 86.4 \text{ pulg}^2$$

Area de apoyo proporcionada. Cada voladizo consta de 3 miembros de 8" x 12" colocados lado a lado como se muestra en la *Figura 6.9*. Este proporciona una longitud de apoyo igual a 3 veces la anchura de un miembro voladizo, por consiguiente,

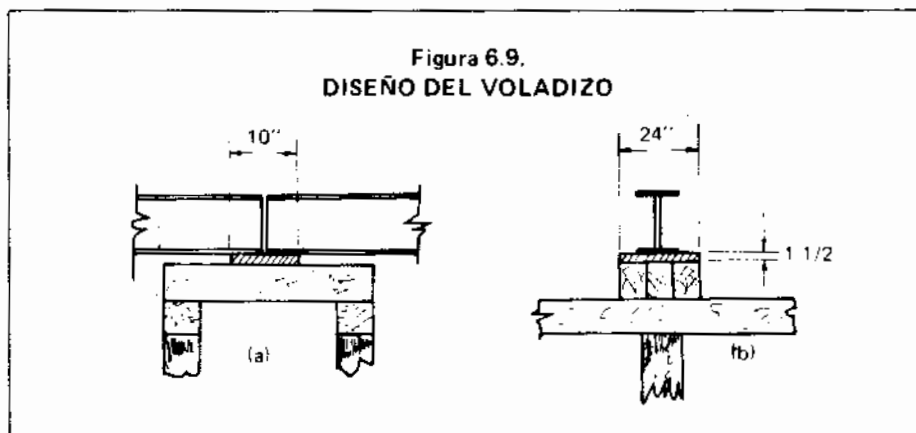
$$L_{brg} = 3" \times 8" = 24"$$

Como se explicó previamente, la anchura del apoyo W no deberá ser menor que 10 pulgadas para los largueros de tope como se muestra en la *Figura 6.9*. La fórmula siguiente proporciona el área de apoyo Ab.

$$A_b = L_{brg} \times W_{brg}$$

$$A_b = 24'' \times 10''$$

$$A_b = 240 \text{ pulgadas cuadradas}$$



Esta área (240 pulgadas cuadradas) es mayor que el área requerida (86.4 pulgadas cuadradas) por lo tanto, es satisfactorio el diseño.

Espesor de la placa de apoyo. La fórmula siguiente proporciona el espesor de la placa de apoyo (t_{pl}).

$$t_{pl} = \frac{B - 1}{4} \times \frac{f \text{ existente}}{f \text{ admisible}}$$

donde; B es la distancia en pulgadas desde la línea central del larguero hasta el borde exterior de la placa de apoyo y f existente es el esfuerzo existente de apoyo en libras/pulgadas cuadradas.

$$B = \frac{24''}{2} = 12''$$

$$f \text{ existente} = \frac{43.200 \text{ lb}}{240 \text{ pulg}^2} = 180 \text{ LPC}$$

$$f \text{ admisible} = 500 \text{ LPC}$$

Sustituyendo los valores apropiados de B y F existente en la fórmula anterior tenemos;

$$t_{pl} = \frac{12 - 1}{4} \times \sqrt{\frac{180}{500}}$$

$$t_{pl} = 1.65 \text{ pulgadas}$$

Las placas que están a la mano son de 1-1/2" x 10" x longitudes variadas.

El tamaño de la placa que se necesita es 1-1/2" x 10" x 2' - 0". Se pueden hacer entonces las placas de apoyo del material existencia cortando el material en longitudes de 2' - 0".

6.3.4. ARRIOSTRAMIENTO

La *Figura 6.10.* muestra un esquema del arriostramiento del pilar de madera.

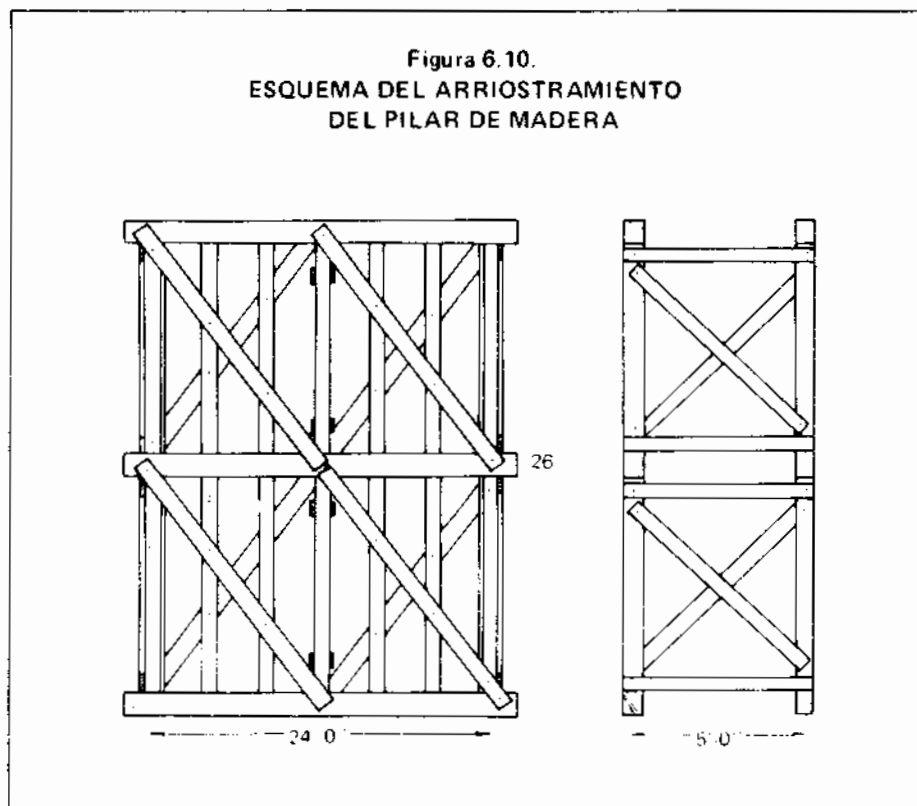


Tabla 6.5.
CAPACIDADES PERMISIBLES DE ESTABILIDAD DEL SUELO

<i>Descripción General del Suelo</i>	<i>Condición</i>	<i>Presión de Apoyo Permisible (ton/pie²)</i>
1. Suelos de grano fino	Blando, no consolidado, con un alto contenido de humedad.	1.0
2. Arcilla, cienos, arenas muy finas o mezclas de estos que contienen pocas partículas gruesas de arena o de grava. (Clasificación: MH, CH, ML, CL, OL, OH)	Tieso, parcialmente consolidado Contenido mediano de humedad.	2.0
	Duro, bien consolidado, contenido bajo de humedad (ligeramente humedecido o seco).	3.0
3. Arenas y suelos arenosos bien granulados que contienen algo de cieno y de arcilla (Clasificación: SW, SC, SP, SM).	Suelto, no encerrado	1.5
	Suelto, encerrado	2.5
	Compacto	5.0
4. Gravas y suelos gravosos bien granulados que contienen algo de arena, cieno y de arcilla. (Clasificación: GW, GC, GP, GM).	Suelto, no encerrado	2.0
	Suelto, encerrado	3.0
	Compacto	6.0
	Arena y grava cimentada	8.0
5. Roca	Roca de calidad pobre, blanda y fracturada; también arcilla compacta.	10.0
	Roca de buena calidad, dura y sólida.	20.0

CAPITULO VII

PUENTES SEMIPERMANENTES FIJOS NO REGLAMENTARIOS

7.1. DEFINICIONES

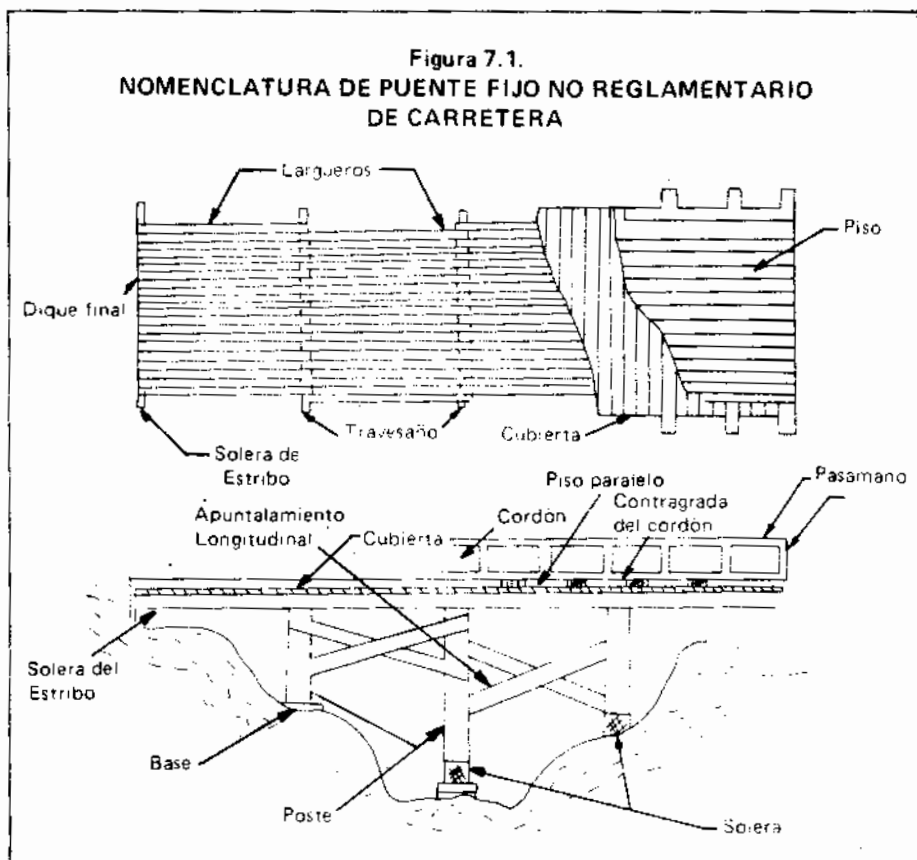
- **Puente:** Un puente es una estructura que lleva un camino sobre una depresión o un obstáculo. Un puente completamente apoyado por sus dos soportes finales (estribos), se llama puente de un tramo.

Un puente con uno o más soportes entre los estribos, se denomina de tramo múltiple. Los puentes pueden ser clasificados de diferentes maneras. Dos clasificaciones generales, son por ejemplo, puentes de carreteras y puentes de ferrocarriles. Todos los soportes de un puente fijo transmiten la carga directamente a la tierra.

- **Puente fijo no reglamentario de carretera:** Este es un puente semi-permanente construido de materiales locales o materiales de la clase IV retirados de un depósito. Difiere de los puentes reglamentarios, en que éstos últimos son puentes prefabricados ensamblados en el sitio. Los puentes fijos no reglamentarios de carreteras más comunes son los del tipo de largueros sencillos —siendo los largueros troncos naturales—, madera grado estructural y acero estructural. También se pueden construir de otros materiales adecuados.

7.1.1. NOMENCLATURA

Se considera generalmente que un puente militar tiene dos partes principales: la parte inferior o subestructura y la parte superior o superestructura (*Figura 7.1.*).



- **Subestructura.** La subestructura consta de los soportes transversales para la superestructura, es decir, los soportes que están contruidos atravesados en la dirección del tránsito.

Estos soportes son los estribos (soportes finales) o soportes intermedios (caballetes y pilares). La subestructura toma la carga directamente de los largueros que son los miembros más bajos de la superestructura.

- **Superestructura:** La superestructura consta de los largueros, entarimado (cubierta y pisos), cordones, pasillos, pasamanos y otros artículos que forman esa parte del puente encima de la subestructura.

- Largueros:** Los largueros descansan en el tramo, la distancia entre los soportes intermedios o estribos. Los largueros son los miembros principales que llevan la carga de la superestructura; reciben la carga del entarimado y la transmiten a la subestructura.

- b. *Entarimado*: El sistema de entarimado consta de dos partes: cubierta y piso. La cubierta se pone directamente sobre los largueros en ángulos rectos a la línea central del puente. Con frecuencia, cada quinto travesaño se extiende para proporcionar una superficie de sustentación a los esquinales del pasamano. El piso se pone paralelo a la línea central del puente y entre las caras interiores de los cordones.
- c. *Cordones*: Los cordones son miembros de madera colocados sobre ambas orillas de la carretera para guiar las ruedas de los vehículos. Los cordones mostrados en la anterior *Figura* son instalados sobre contrahuellas para permitir que el agua de la superficie drene fácilmente desde el piso del puente.
- d. *Pasamano*: Las barandas soportadas por postes a lo largo de los costados de la calzada del puente guían a los conductores de vehículos y sirven como una medida protectora del tránsito tanto vehicular como peatonal.
- e. *Cubrejuntas*: Son piezas cortas usadas para unir o empatar miembros estructurales.

7.2. SUBESTRUCTURA

7.2.1. ESTRIBOS

Existen dos tipos de soportes terminales o estribos: de bases y pilotes.

- **Tipo de Bases**: El estribo de bases consta de bases, solera y dique final.
- **Bases**: Las bases transmiten la carga a la tierra; reciben la carga desde la solera y la distribuyen sobre un área suficiente para evitar que el soporte se hunda en la tierra.
- **Solera**: La solera recibe la carga desde los largueros y la transmite a las bases.
- **Dique final**: El dique final o malecón es un muro de tablonés al final del puente para evitar que el relleno de la carretera de aproximación se derrumbe entre los largueros.

7.2.2. TIPOS DE PILOTES

El estribo de tipo de pilotes tiene tres partes principales: pilotes hundidos en la tierra que transmiten la carga al suelo, un travesaño encima de los pilotes para recibir la carga de los largueros y entablado sujeto a los pilotes para mantener el relleno en su lugar.

7.2.3. DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA

El diseño de la subestructura es aplicable a caballetes de madera, pudiendo también emplearse para diseñar pilas de madera o apoyos formados por varios caballetes. El objetivo es determinar el menor número posible de montantes, cubreras y durmientes, que puedan soportar en forma segura las cargas que han de pasar por el puente. Los esfuerzos que debemos considerar son los siguientes cuatro, a saber:

1. Apoyo perpendicular al grano (fibra) en la cubrera.
2. Esfuerzo cortante paralelo al grano en la cubrera.
3. Flexión en la cubrera.

En el diseño de puentes militares, el esfuerzo cortante y el momento flector que se producen en la cubrera quedan resueltos mediante el empleo de la siguiente regla: La máxima distancia de centro entre los montantes no deben exceder de cinco veces la profundidad de la cubrera o durmiente.

4. Compresión paralela al grano en los montantes.

En la relación L/d , se denomina:

- L = Luz en pulgadas.
- d = Profundidad del larguero en pulgadas.
- b = Ancho del ala en pulgadas.
- t = Espesor del ala en pulgadas.
- Lu = Luz sin esfuerzo.

En los puentes militares, si la razón L/b de montantes es menor de 30, el apoyo entre la cubrera y el poste determina la capacidad de éste. Para montantes de madera rolliza, el valor de b es igual a 0.9 del diámetro del rollizo.

Las siguientes consideraciones son importantes en el diseño de caballetes de madera, o apoyos formados por la unión de varios caballetes de madera.

1. El peso de un vehículo se puede reemplazar por una carga equivalente concentrada que produzca el mismo peso que el vehículo mismo.
Esta carga equivalente concentrada la llamaremos "P". No consideraremos factor de distribución lateral.
2. No tendremos en cuenta el impacto en el diseño de la subestructura.
3. Generalmente se supone que la carga muerta es igual a 840 libras por pie por vía de puente. Este cómputo es para tablero de madera de seis pulgadas de grueso.
4. Si no tiene conocimiento de los esfuerzos unitarios permisibles de trabajos, los promedios siguientes son empleados para la madera.
 - a. Flexión: 2.400 libras por pulgada cuadrada.
 - b. Esfuerzo cortante paralelo al grano 150 lbs por pulgada cuadrada.
 - c. Apoyo perpendicular al grano 500 lbs por pulgada cuadrada.
5. Ningún caballete debe tener menos de cuatro montantes.
6. Cuando se trate de apoyos de pilotes, los pilotes se consideran como montantes para el diseño de la cumbrera.

Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones para el diseño de las soleras.

1. Cuando se emplean soleras en caballetes de madera, las cargas que actúan en las soleras son las mismas que actúan en el caballete.
2. El caballete debe tener por lo menos tanto soleras como montantes tiene el mismo.
3. La máxima longitud de las soleras debe ser de ocho veces el grueso de éstas para un promedio de capacidad del suelo hasta de cuatro toneladas por pie cuadrado; y de seis veces su grueso cuando la capacidad promedio del suelo es mayor de cuatro toneladas por pie cuadrado.

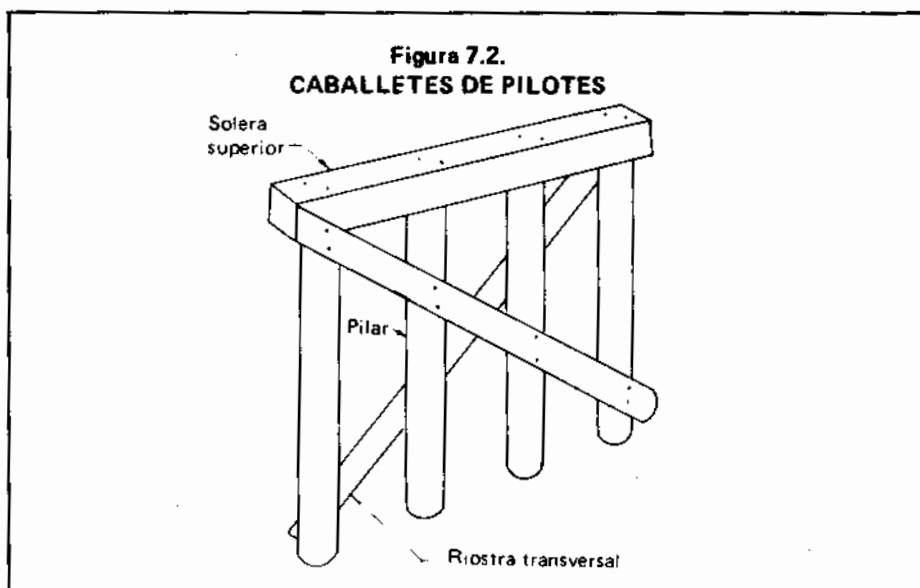
4. Estribos: Como un promedio, se puede establecer que un estribo debe estar situado en tal forma que para una distancia vertical media de la base del estribo a la base de la hondonada, corresponda una distancia horizontal de $1 \frac{1}{2}$ medio del borde de la hondonada al borde del estribo. Se puede emplear una pendiente mayor cuando el estribo se apoya sobre roca, pero debe ser más suave tal pendiente cuando se trata de piso flojo, o de lo contrario deben emplearse muros de contención.

7.2.4. SOPORTES INTERMEDIOS

7.2.4.1. PILA DE PILOTES

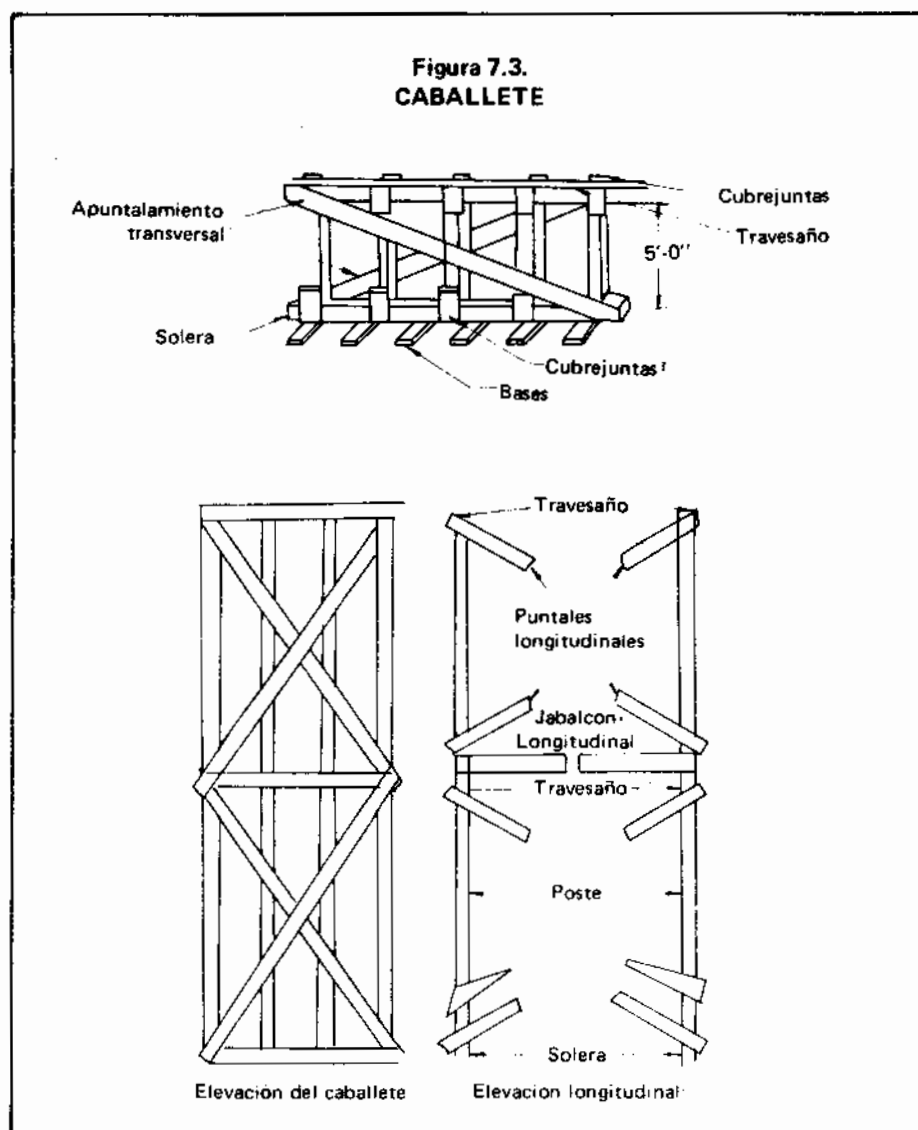
La pila de pilotes (*Figura 7.2.*), consta de los siguientes miembros: el travesaño de caballete que proporciona una superficie de soporte para los largueros y transmite la carga a los pilotes y los pilotes que transmiten la carga al suelo. Tales pilotes se conocen como pilotes de carga porque llevan cargas superimpuestas.

El apoyo para las cargas pueden venir ya sea de la acción de la columna, cuando la punta del pilote recae sobre un estrato firme como una roca o arcilla dura, o de la fricción entre el pilote y el suelo dentro del cual se introduce. En ambos casos, la presión de la tierra debe proporcionar algún soporte lateral, pero con frecuencia se usa apuntalamiento transversal para asegurar el caballete lateralmente.



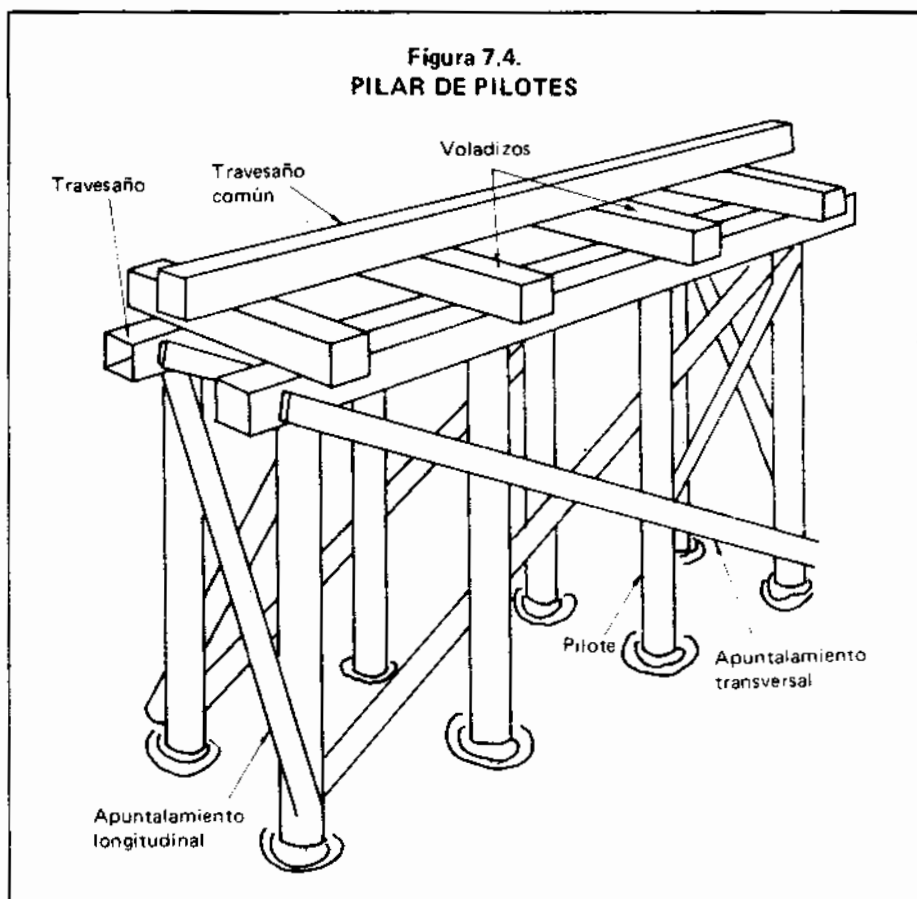
7.2.4.2. CABALLETE

El caballete (*Figura 7.3.*), es similar a la pila de pilotes, excepto que los postes, tomando el lugar de los pilotes, transmiten la carga desde el travesaño a la solera, la solera transmite la carga a las bases y las bases transmiten la carga al suelo. La longitud de los postes variará con la altura del puente encima de la brecha que han de cubrir. Se proporciona apuntalamiento transversal similar al usado con la pila de pilotes.



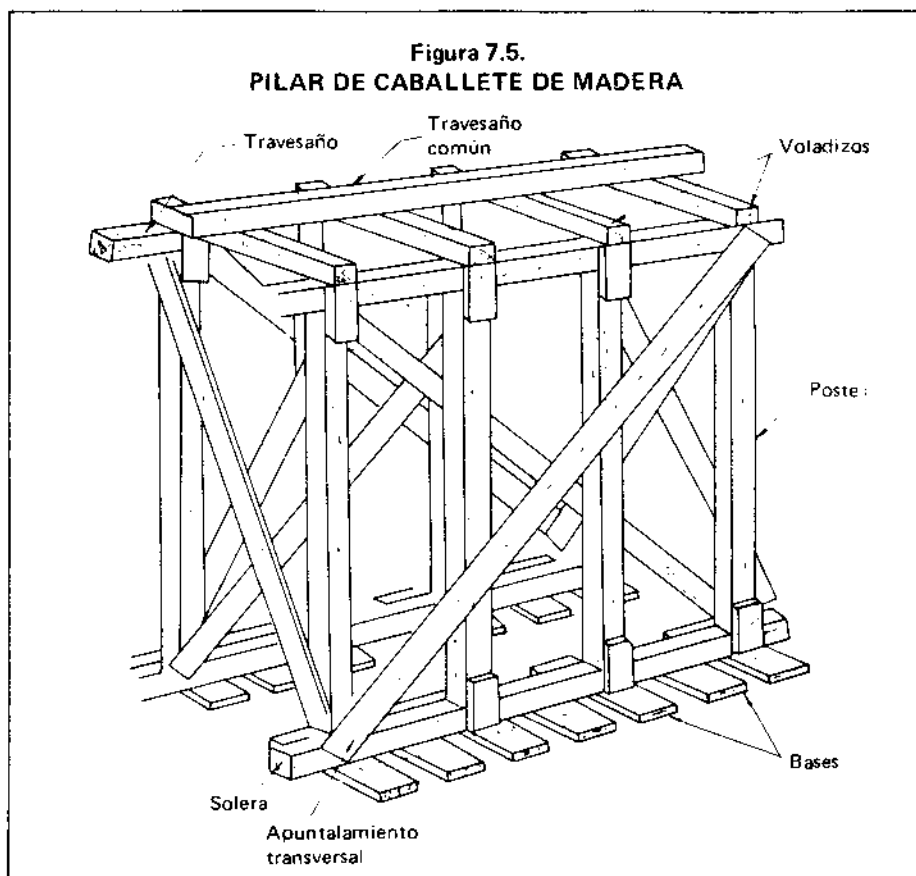
7.2.4.3. PILAR DE PILOTES

El pilar de pilotes (*Figura 7.4.*), se compone de dos o más pilas de pilotes. El travesaño común; en este caso transmite la carga de los voladizos. Los voladizos son miembros cortos parecidos a los largueros que a su vez, transmiten la carga a los travesaños individuales de pilote. Los pilares generalmente se proporcionan con apuntalamiento cruzado que amarra los pilotes individuales juntos y les da rigidez en una dirección longitudinal.



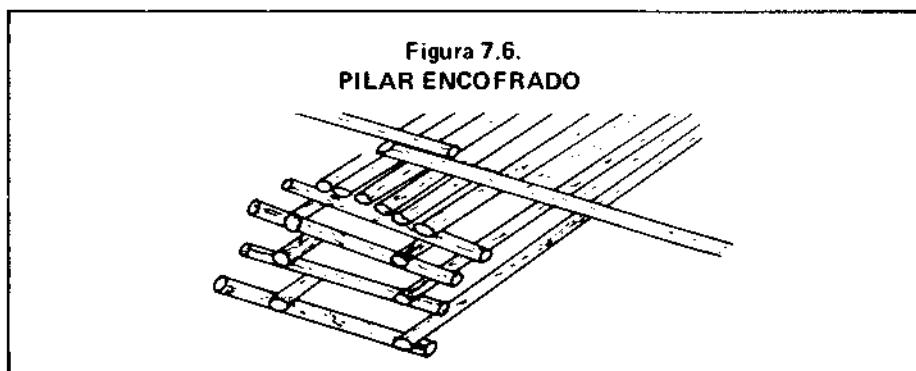
7.2.4.4. PILAR DE CABALLETE

El pilar de caballete de madera (*Figura 7.5.*) es el mismo que el pilar de pilotes, excepto que tiene soleras y bases que transmiten la carga al suelo.



7.2.4.5. PILAR ENCOFRADO

El pilar encofrado (*Figura 7.6.*), es muy diferente de los pilares de pilotes y de caballetes.



Se compone de troncos o maderos medidos ajustados juntos en estilo de cabina y generalmente rellenos con rocas u otro material estable de relleno. El pilar encofrado se debe construir de modo que no necesite apuntalamiento exterior para estabilidad. Como recurso, los pilares encofrados se pueden construir a la altura de los largueros, eliminando así los pilares de caballetes.

7.2.5. APUNTALAMIENTO

7.2.5.1. APUNTALAMIENTO LONGITUDINAL

El apuntalamiento longitudinal, se usa para proporcionar estabilidad en la dirección de la línea central del puente.

7.2.5.2. APUNTALAMIENTO TRANSVERSAL

El apuntalamiento transversal proporciona estabilidad en ángulos rectos a la línea central. A veces se llama apuntalamiento contra lado o apuntalamiento lateral.

7.2.5.3. DIAFRAGMAS

Los diafragmas son puntales colocados entre los largueros para impedir que éstos se desvíen lateralmente (se pandeen) bajo carga.

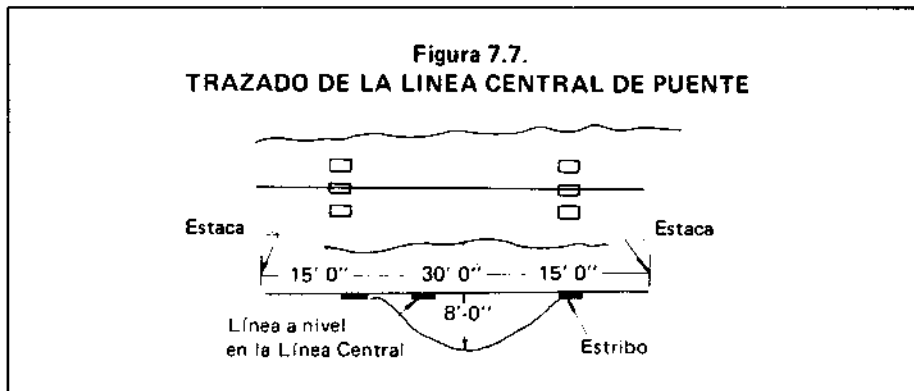
Al espaciar estos diafragmas, la razón L/b no debe exceder 30 para la madera (L = la distancia entre diafragmas; b = el ancho del tope del larguero). Así por ejemplo, se deben usar los diafragmas cada 15 pies entre largueros de 6 pulgadas de ancho.

7.2.6. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE SUBESTRUCTURA

7.2.6.1. TRAZADO DE LA LINEA CENTRAL

La primera tarea en la construcción de un puente de caballete es el trazado de la línea central. Estire una línea o cinta que represente la línea de estacas clavadas en el terreno por lo menos 15 pies detrás del sitio propuesto de las soleras del estribo. Para desfiladeros más anchos

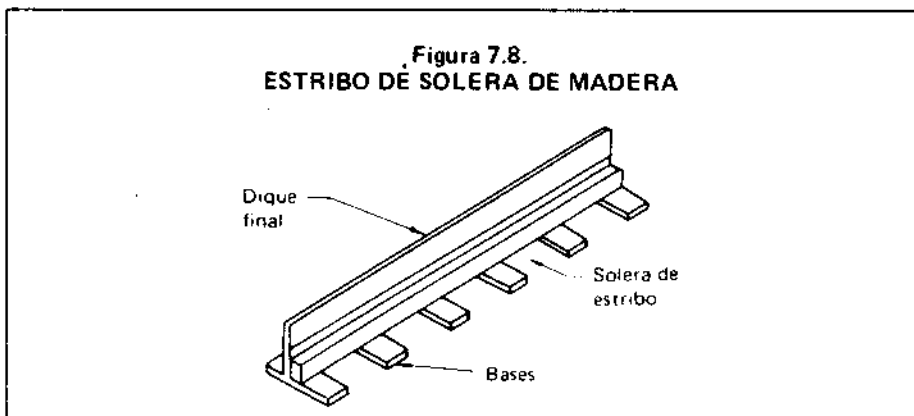
de 100 pies, use estacas intermedias segun se requieran para impedir que se afloje la cuerda. Coloque la línea al nivel del tope deseado del entarimado o a alguna distancia conocida por encima o debajo de él.



7.2.6.2. CONSTRUCCION DE ESTRIBOS

El ahorro de tiempo en la construcción de estribos es importante en puentes relativamente cortos, porque la preparación y aproximación del estribo requiere con frecuencia tanto tiempo como el resto del puente. Use el tipo más simple de estribo posible; a menudo una solera de madera con bases del mismo material, es adecuada.

El dique final se instala después de los largueros y tablonés.



7.2.6.2.1. TRAZADO

Después que se ha fijado la línea central, coloque la solera del

estribo en su ubicación aproximada correcta bajo la cinta. Vea que esté en ángulos rectos a la línea central, usando una línea desde la estaca de la línea central, 15 pies detrás de la solera a cada extremo de ella. Ambas distancias tienen que ser iguales.

7.2.6.2.2. CONSTRUCCION

Una vez que la solera esté adecuadamente localizada, marque su posición y remuévala para construir la fundición.

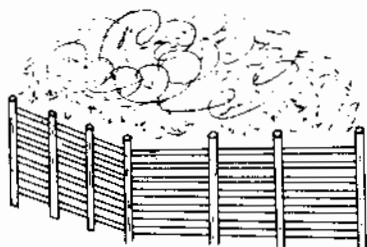
Observe lo siguiente en la construcción:

- a. Remueva la tierra necesaria para proporcionar una superficie plana para las bases. La solera debe estar a nivel, y soportada proporcionalmente por cada base, cuando se instale.
- b. Vea que la superficie que soporta las bases esté como a dos pulgadas más arriba de su posición final deseada, para permitir que se asiente.
- c. No cave muy hondo. Si se hace por error, no rellene con tierra. En su lugar, levante el nivel con entablado.
- d. Coloque las dos bases exteriores de modo que sus cantos externos estén bajo los extremos de la solera. Coloque la medida larga de las bases paralelas a la línea central del puente.
- e. Coloque las restantes bases entre y en línea con las bases exteriores. Sitúelas de modo que haya igual espaciado entre todas las bases.
- f. Coloque la solera en la línea central de la base, de modo que la carga llegue en medio de cada base. Coloque la solera con la mayor dimensión vertical, tal como se muestra en la *Figura* de "pilar de caballete de madera" (*Figura 7.5.*).
- g. Disponga para drenaje el área de estribo.

7.2.6.3. MUROS DE RETENCION

Los muros de retención y revestimientos, cuando se necesitan, son parte de la construcción de estribos.

Figura 7.9.
ESTRIBO MURO DE RETENCION



7.2.6.3.1. CLASE DE MUROS DE RETENCION

El tipo más simple de muro de retención se construye de tablones o maderas soportados por pilotes o postes.

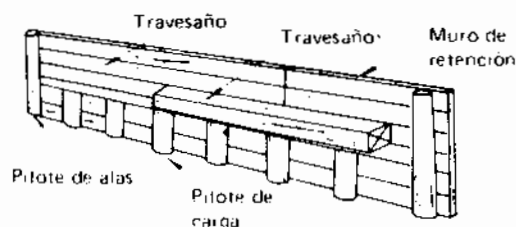
Los muros de alas que se usan para evitar que la tierra se deslave detrás del muro de retención. Los pilotes o postes se hunden 4 pies dentro del suelo y se sujetan cables de anclaje desde la cima de los pilotes a un macizo de anclaje detrás del muro de retención o al final del ala del muro.

Estos macizos de anclaje y anclas se pueden eliminar si se usan dos o tres hileras de pilotes lo más que se pueda.

7.2.6.3.2. COMBINACION DE ESTRIBOS Y MURO DE RETENCION

Para tramos largos y cargas pesadas, con frecuencia se construyen estribos y el muro de retención como una unidad. Esto también podrá ser necesario donde existan terraplenes profundos y condiciones pobres del suelo.

Figura 7.10.
COMBINACION DE ESTRIBO DE PILOTES Y MURO DE RETENCION



7.2.7. CONSTRUCCION DE CABALLETES

7.2.7.1. TRAZADO

Después que se ha establecido la posición de la solera del estribo cerca de la ribera, localice la posición del primer caballete. Mida la longitud del primer tramo desde la solera del estribo a lo largo de la línea central. Clave una estaca pequeña bajo la línea central donde va a estar el centro del caballete, usando una plomada, de ser necesario. Continúe este procedimiento hasta que todos los caballetes y el estribo cerca de la ribera estén localizados.

7.2.7.2. COLOCACION DE LAS BASES

La excavación y colocación de bases bajo el caballete es igual a la del estribo. Las bases exteriores bajo la solera del caballete están centradas bajo los postes exteriores del caballete.

7.2.7.3. ALTURA DEL CABALLETE

Mida la distancia vertical desde la línea central hacia abajo hasta la cima de las bases. Si la línea central se colocó en la cima deseada del entarimado, esta distancia, menos el grosor del piso, la cubierta y los largueros, es la altura del caballete. Si se han de usar largueros de acero, deje espacio para el grosor de los listones para clavar.

7.2.7.4. ALTURA DE LOS POSTES DE CABALLETES

Para obtener la altura correcta de los postes de caballete, reste el grosor del cabezal y la solera de la altura del caballete (*Figura 7.3.*).

7.2.7.5. PROCEDIMIENTOS ADICIONALES DE CONSTRUCCION

1. Haga la longitud del cabezal y la solera igual a la anchura de la calzada más 2 pies.
2. Centre los postes exteriores bajo los bordes de la calzada (un pie desde los extremos del cabezal y la solera). Espacé todos los otros

postes, igualmente entre los postes exteriores.

3. Use brocas pasadoras o pernos para sujetar la solera y el cabezal a los postes. Use cubrejuntas en lugar de brocas cuando se requiera erección rápida.
4. Clave el apuntalamiento transversal a través de ambos lados del caballete (generalmente se usan tablones de 3 x 12 pulgadas). Sujete el apuntalamiento a cada poste sobre el cual pasa. Corte el apuntalamiento de suerte que los extremos se extiendan más de donde están clavados para evitar rajaduras.
5. Ponga el caballete en posición, usando una plomada para asegurar que esté recto. Manténgalo en su lugar con puntales temporales clavados a estacas hincadas en el suelo. Use estos puntales temporales hasta que el apuntalamiento permanente se pueda clavar a los postes exteriores de los caballetes adyacentes.

7.3. SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE DE CABALLETES DE MADERA

La superestructura es la estructura del tramo de vigas y cubiertas. Consta de largueros, entarimado (cubierta y piso) y otras características tales como cordones, pasamanos y aceras.

7.3.1. LARGUEROS

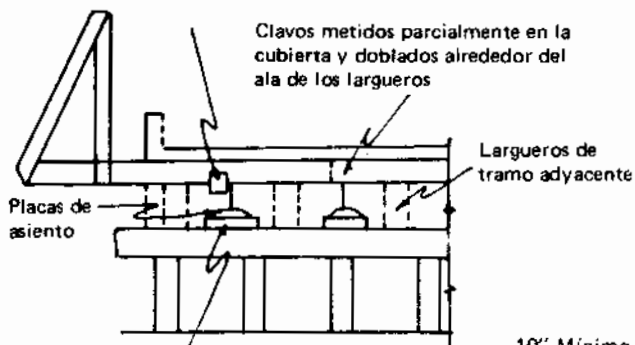
Después que el estribo por caballetes está en su lugar, se instalan los largueros. Cuando se usan largueros de madera, generalmente son lo suficientemente largos para que se extiendan claramente a través de las soleras de estribo y los travesaños de caballete en los que descansan, lo que significa que los largueros de un tramo se traslapan con los del tramo siguiente (*Figura 7.11.*).

Cuando se traslapan largueros, coloque un larguero exterior de modo que su cara "interior" esté bajo la cara interior de un cordón y coloque el otro larguero exterior de modo que su cara exterior esté bajo la cara interior del otro cordón. Así, los largueros se pueden traslapar con un espacio similar en el siguiente tramo. Los largueros restantes generalmente se espacian igualmente entre los largueros exteriores. En algunos puentes angostos de una sola vía, los largueros se pueden agrupar más cerca, directamente bajo las vías de los vehículos.

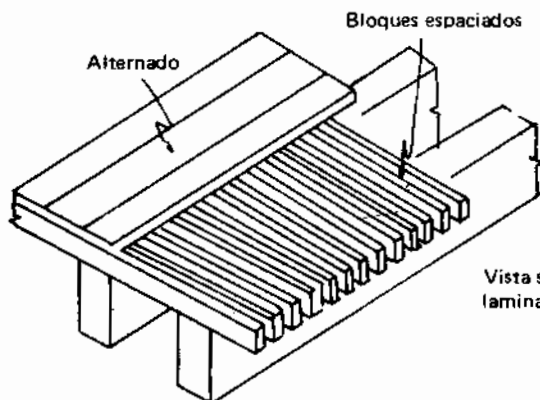
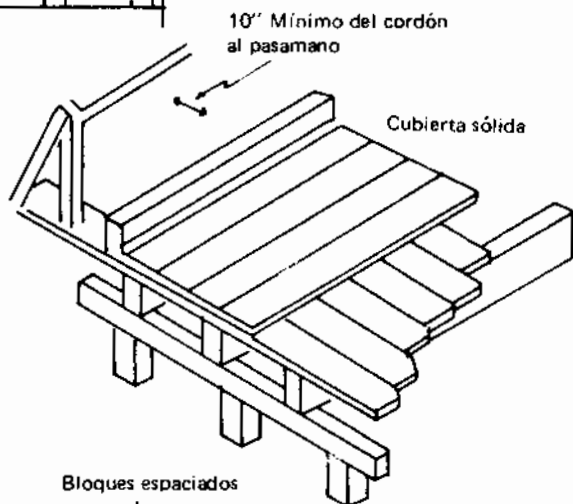
Cuando los largueros están topados o continuos a través del tramo, coloque las caras exteriores de ambos largueros exteriores bajo las caras interiores de los cordones.

Figura 7.11.
DETALLES DE CONSTRUCCION DE UNA
SUPERESTRUCTURA DE PUENTE

Sujetador de ala ranurada bien
ajustado al ala de largueros



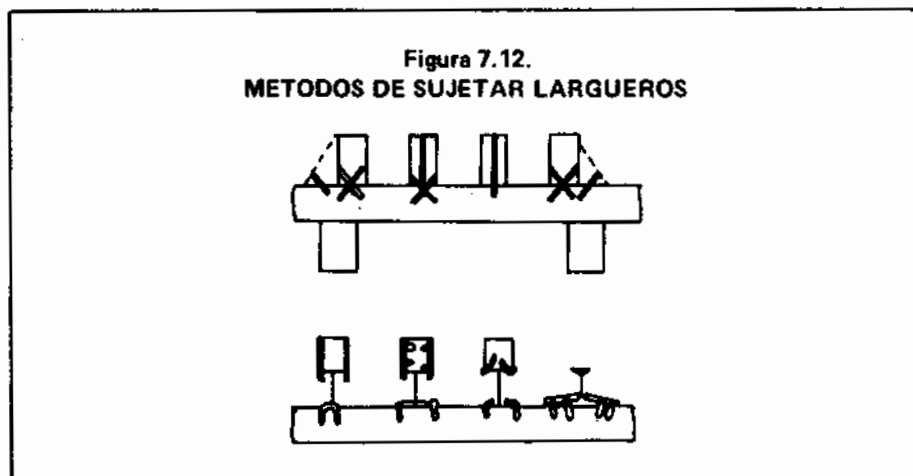
Cuando los largueros de
tramos adyacentes no son de
la misma profundidad,
use bloques de asiento bajo
las placas de asiento como
se muestra.



Vista seccional de la cubierta
laminada abierta 50%

Sujete los largueros de madera con clavos hundidos diagonalmente a través del lado del larguero dentro del travesaño o con pernos largos (Figura 7.12.).

Cuando se usan estos pernos, taladre un agujero, más pequeño en el diámetro y 3 pulgadas más corto que el perno, a través del larguero y dentro del travesaño.



Sujete los largueros de acero con escarpías de ferrocarril dentro del travesaño o al lado del ala, hundiéndolos parcialmente clavos de 60 dentro del cabezal, y doblándolos sobre el ala inferior o introduciendo clavos o pernos largos a través de agujeros pretaladrados en el ala inferior, como lo muestra la anterior Figura, cuando los largueros de acero no son sujetos a través de sus alas, es necesaria la inspección frecuente para asegurarse de que los largueros no se han movido. Sujete listones de madera para clavar el ala superior de los largueros de acero para proporcionar un medio de sujetar el entarimado.

Cuando se va a instalar una cubierta laminada, tabloncillos colocados de filo (Figura 7.13.), los tabloncillos se pueden sujetar a los largueros de acero con sujetadores metálicos proporcionados para el propósito o metiendo parcialmente clavos dentro de la cubierta y doblándolos alrededor del ala del larguero.

7.3.2. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA (SISTEMA DE LARGUEROS)

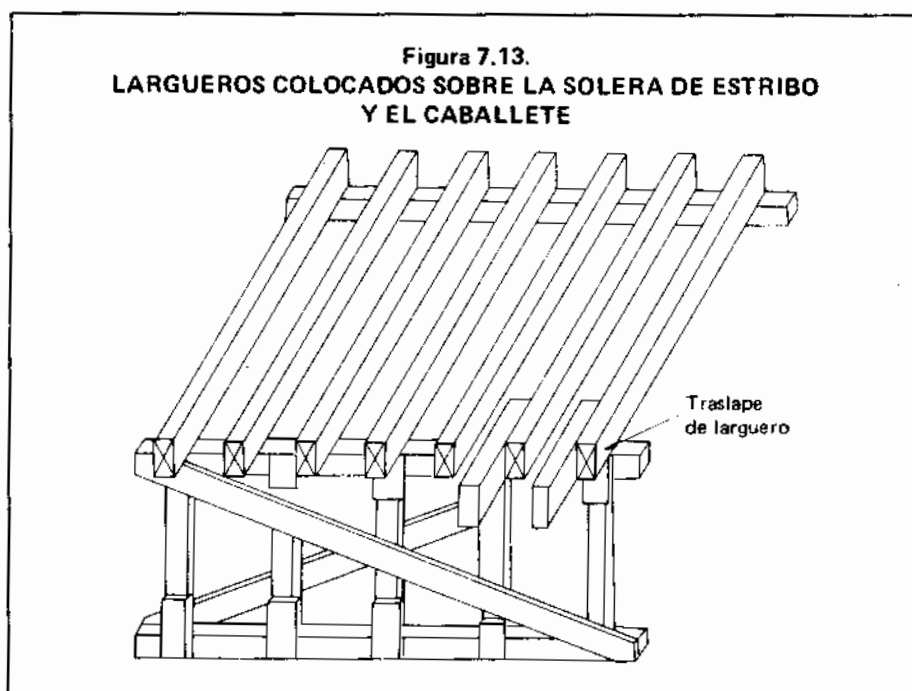
En el diseño de estos puentes, el problema consiste en la selección del menor número de largueros, de tal forma que al pasar las cargas que

esperan, no se vaya a sobrepasar el esfuerzo permisible de trabajo que éstos tienen. Generalmente son cuatro las condiciones que se deben investigar.

1. Flexión del larguero.
2. Esfuerzo cortante del larguero.
3. Apoyo entre el larguero y caballete o apoyo sobre el cual descansa éste.
4. Pandeo lateral del larguero.

Cuando se aplican cargas verticales a los largueros, éstos tienden a encorvarse lateralmente; es lo que se llama pandeo lateral. Para eliminar este tipo de falla, es necesario investigar la razón que existe entre la profundidad y ancho de la sección transversal del larguero de madera; cuando esta razón es mayor de 2, se requieren refuerzos, en los extremos y puntos medios de los largueros. Estos refuerzos no son necesarios cuando la relación es igual o menor de dos.

Para larguero de acero, la relación Lud/bt debe ser menor de 400 y en este caso no se requieren esfuerzos. De lo contrario deben ponerse. Debemos tener en cuenta que en los largueros de acero se colocan refuerzos en sus extremos con el fin de disminuir la relación anterior.



Debemos recordar que si la relación de la luz (L), a la profundidad (d), es muy grande, se producirá una gran flexión en los largueros y aunque éstos no fallen, vienen a aumentar el impacto, lo cual va en perjuicio de las diferentes partes del puente. La relación L/d tiene como límite 30 para el acero y 18 para la madera. Los otros tipos de fallas que pueden presentarse en los largueros son: Fatiga, Torsión y Aplastamiento.

Debemos considerar varios factores en el diseño de puentes militares.

Como se dijo anteriormente, las siguientes condiciones de estabilidad deben tenerse en cuenta.

- *Deflexión.* La relación L/d , no debe ser mayor de 30 para el acero y 18 para la madera.

L = Luz en pulgadas.

d = Profundidad del larguero en pulgadas.

Si la relación L/d , es mayor a los valores dados, deben considerarse largueros de mayor profundidad, o disminuir la luz de cada tramo.

Lud/bt , no debe ser mayor de 400 para el acero.

Lu = Luz sin esfuerzo.

d = Profundidad de la viga en pulgadas.

b = Ancho del ala en pulgadas.

t = Espesor del ala en pulgadas.

Si la relación Lud/bt , es mayor de 400 para acero, se deben emplear refuerzos en cruz.

Si la relación d/b es mayor de 2 para largueros de madera, se deben emplear refuerzos en los extremos y en el centro.

- *La carga viva.* Es el número de clase del vehículo. Esta carga produce un momento flector y esfuerzo cortante máximo, los cuales debemos tener en cuenta.

- Consideramos como factor de distribución lateral 1,5, para la carga viva y la carga de impacto, en el diseño de los largueros, cuando éstos se encuentran repartidos a intervalos iguales sobre la cumbrera. El factor de distribución lateral (ldf) ó (fdl), debe tenerse en cuenta, ya que el peso que transmiten al puente las ruedas o orugas de los vehículos, no está igualmente repartida a cada uno de los largueros. Para la carga muerta, no se considera factor de distribución lateral, pues ésta se

reparte con gran uniformidad sobre los largueros.

- Cuando se usan largueros de acero, se toma como carga de impacto, el 15 por ciento de la carga viva. Cuando se usan largueros de madera, no se tiene en cuenta el impacto.

- Generalmente, se toma como carga muerta, 840 libras por pie lineal por vía.

Esta constante es para piso de madera de 6 pulgadas de espesor.

- A menos que las propiedades del material sean conocidas, recomendamos los siguientes esfuerzos permisibles de trabajo.

a. *Madera*

Flexión	2.400 libras/pulg ²
Esfuerzo cortante paralelo al grano	150 libras/pulg ²
Apoyo perpendicular al grano	500 libras/pulg ²

b. *Acero*

Flexión	27.000 libras/pulg ²
Esfuerzo cortante	16.500 libras/pulg ²
Apoyo	2.700 libras/pulg ²

- Para el diseño de estructuras de más de una vía, basta multiplicar el resultado obtenido para una vía, por el número de vías que se desea dar al puente.

- El mínimo espesor que debe tener el piso es de 3 pulgadas. Es conveniente colocar sobre el piso y en sentido paralelo al eje del puente una superficie de desgaste, por donde pasan las ruedas de los vehículos. El espesor puede ser de 2 pulgadas y preferiblemente 3 pulgadas.

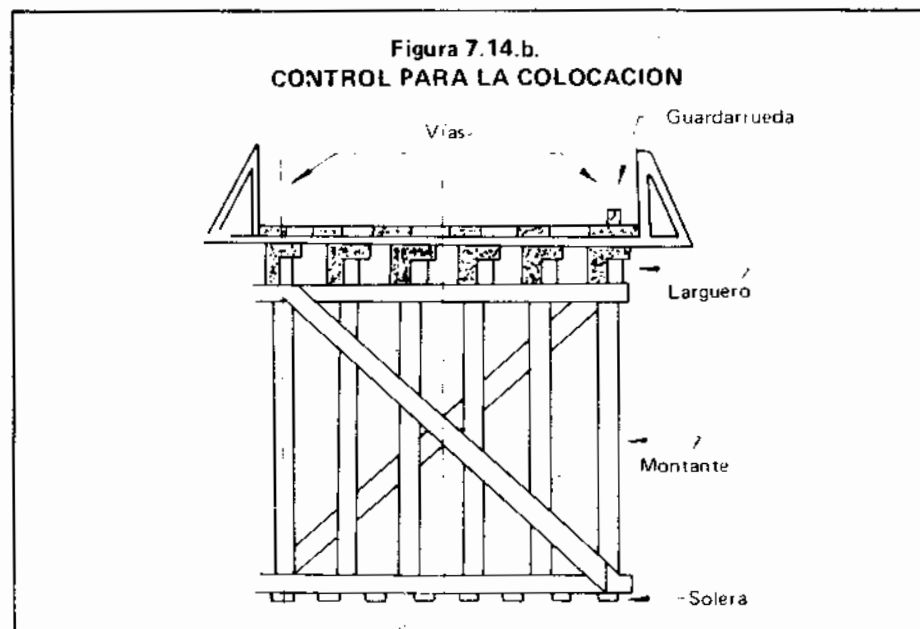
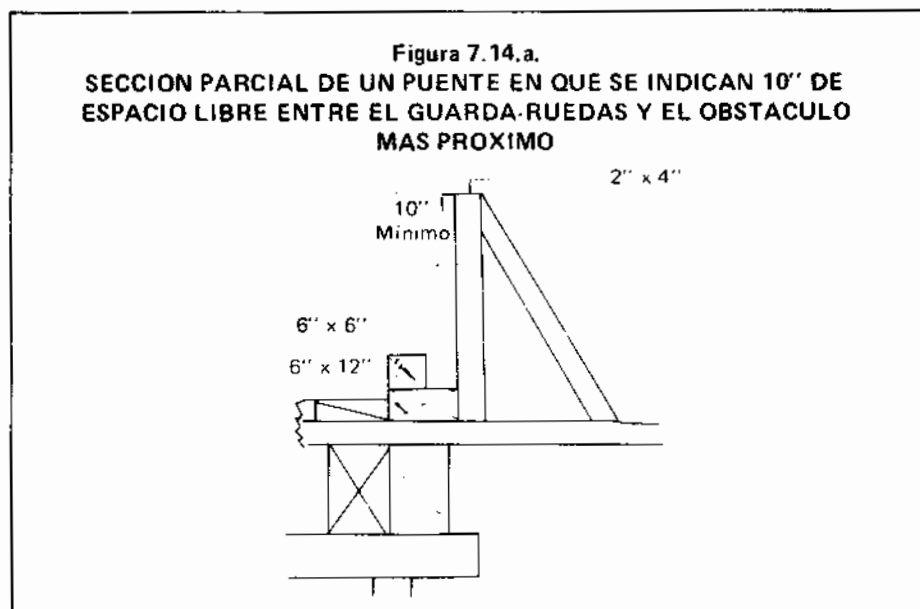
- La distancia de centro a centro entre los largueros, no debe ser mayor de 6 pies.

- Tamaños recomendados para los sistemas de guarda-ruedas y pasamanos:

Guarda-ruedas	6" x 6"
Base de guarda-ruedas	6" x 12" x 2' x 6"
Pasamanos	2" x 4"
Postes de pasamanos	4" x 4" x 3' x 4"
Diagonal de pasamanos	2" x 4"

Doce pulgadas arriba del piso, no debe encontrarse obstáculo alguno a menor distancia de 10 pulgadas medidas de la cara interior del guarda-ruedas al obstáculo (Figura 7.14.a.).

La Figura 7.14.b. nos indica la colocación correcta de los largueros.



7.4. SELECCION DEL NUMERO DE LARGUEROS PARA QUE RESISTAN EL MOMENTO FLECTOR

El problema de diseñar un número de largueros para que resistan el momento flector debe ser analizado ante dos aspectos.

1. *¿Cuál será el momento flector producido por las cargas aplicadas?*
2. *¿Cuál será el momento resistente de cada larguero?*

Haciendo estas consideraciones, podemos determinar el número de largueros. Debemos considerar el factor de distribución lateral, así como la carga por impacto. La carga muerta será analizada separadamente.

La selección de los largueros requeridos para resistir el momento flector varía según la forma y dimensiones del material. Debe hacerse la selección dentro del material disponible que nos ofrezca la menor economía. Con el fin de hacer una selección económica, el momento flector total debe cambiarse a un módulo de sección correspondiente. El módulo de sección en cada larguero debe determinarse.

Debemos calcular ahora el momento flector por la carga muerta. Como la carga muerta está uniformemente repartida a lo largo de la luz, el momento máximo puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$M_{DL} = \frac{w L^2}{8}$$

Siendo:

- M_{DL} = Momento flector producido por la carga muerta.
 w = Carga muerta uniforme.
 = 840 libras por pie por vía.
 L = Luz en pies.

M_{DL} resultará en libras-pie por vía, si "w", se expresa en libras por pie por vía y L está dado en pies. Para obtener el momento flector en libras por pulgada tendremos que multiplicar a M_{DL} por doce.

$$M_{TOT} = M_{LL} + M_I + M_{DL}$$

El momento flector total por vía producido en un tramo es igual a la suma de los momentos debidos a la carga viva, el impacto y la carga muerta y se debe expresar en libras por pulgada.

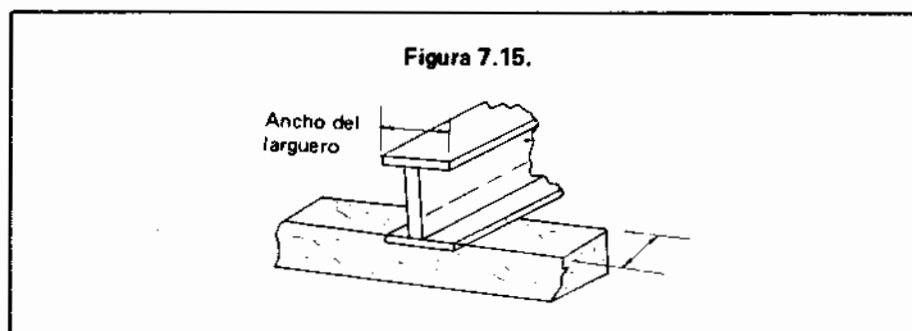
Pueden presentarse fallas debido a la falta de superficie de apoyo conveniente entre los largueros y la cumbrera de los apoyos.

Si la superficie de apoyo es menor que la necesaria debe ésta aumentarse en una de las siguientes formas.

1. Aumentando el ancho de la cumbrera o de los largueros.
2. Empleando placas de apoyo.

Cuando se trata de largueros de acero y cumbreras de acero, no se requiere comprobación de la superficie de apoyo entre la cumbrera y los largueros.

La *Figura 7.15.* nos está indicando la superficie efectiva de apoyo entre la cumbrera y el larguero. Si la superficie de apoyo necesaria es igual a la superficie de apoyo entre la cumbrera y el larguero, el diseño es satisfactorio. De lo contrario, será necesario aumentar esta superficie efectiva de apoyo entre la cumbrera y el larguero.



7.5. ENTARIMADO

El sistema de entarimado de un puente típico de caballete de largueros de madera consta de dos partes principales, la cubierta y el piso.

7.5.1. CUBIERTA

Es la parte de la estructura que se coloca sobre los largueros para formar la calzada a través del puente de caballetes. La cubierta debe ser laminada o de tablonés sólidos. Las cubiertas laminadas pueden ser sólidas o abiertas con espacio uniforme entre los miembros (*Figura 7.16 y 7.17.*).

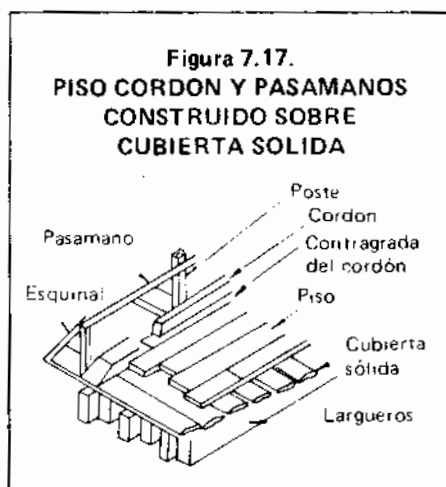
- Para cubierta laminada abierta donde los tablonés son suficiente-

mente largos para llegar completamente a través del ancho, use dos bloques de espacio entre cada laminado. Coloque espaciadores en el larguero más cercano al tercio de longitud del laminado. Donde los laminados no son lo suficientemente largos (generalmente para puentes de dos vías), traslape los laminados en un larguero central y ponga un bloque espaciador en cada larguero exterior (*Figura 7.16.*).

- Para cubierta laminada sólida, coloque los laminados sólidamente uno contra otro.
- Para una cubierta sólida, de tabloncillos, coloque los tabloncillos horizontalmente y en ángulos rectos a los largueros. Deje un espacio de $1/4$ de pulgada entre los tabloncillos para dejar espacio para hinchazón cuando se mojan.
- Extienda la cubierta como dos pies en intervalos aproximados de 5 pies para proporcionar soporte para los postes del pasamanos.

Los tabloncillos de la cubierta se extienden a la derecha e izquierda, tal como se muestra en la *Figura 7.19.* para sostener los esquinales del pasamanos.

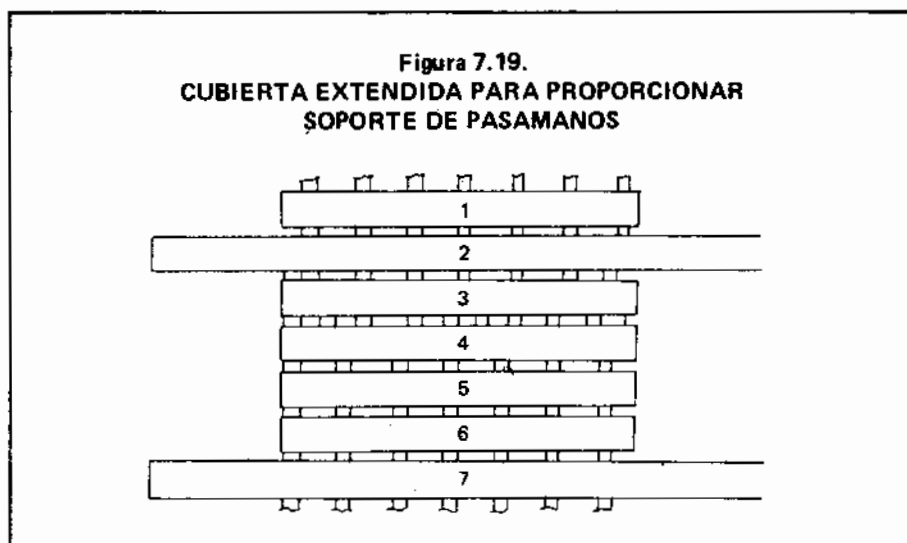
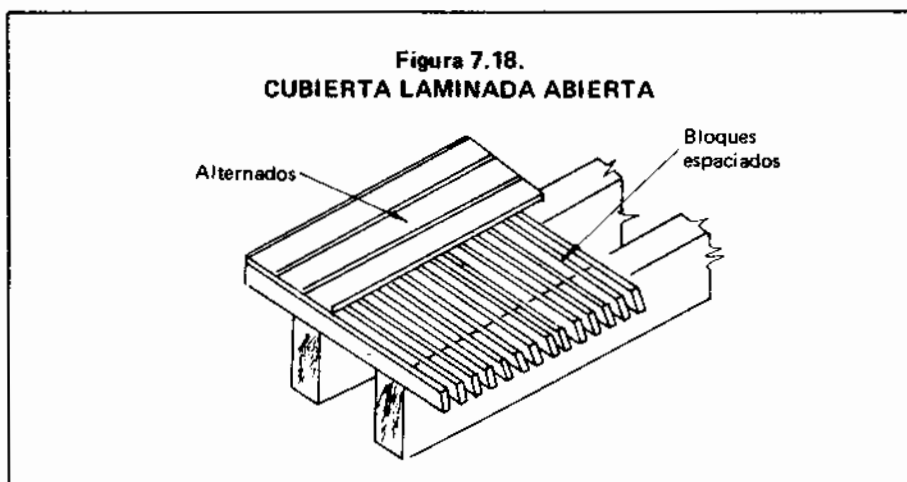
Espacíe los tabloncillos para permitir que el agua drene.



7.5.2. PISO

El piso se compone de tabloncillos colocados sobre la cubierta y entre (pero no bajo) el cordón. Los tabloncillos son generalmente de 2 ó 3 pulgadas de grueso y de longitud variada. Se colocan paralelos a la dirección del tránsito. En puentes de una sola vía, el piso se limita al recio

ruido de las ruedas u oruga, mientras que los puentes de dos vías están completamente cubiertos con piso (Figura 7.16.).



7.5.2.1. DISEÑO DEL PISO O TABLERO

Después de haber diseñado las piezas convenientes que puedan resistir el momento flector, el esfuerzo cortante y el esfuerzo de apoyo. Es necesario diseñar el piso o tablero del puente, para que pueda soportar la carga impuesta.

El piso de un puente está formado por una superficie que queda en

contacto directo con el vehículo y a la cual se le llama generalmente superficie de desgaste; bajo esta superficie de desgaste se encuentra el tablero del puente que es el encargado de distribuir la carga a los largueros.

En el diseño del piso o tablero para puentes militares semipermanentes, el empleo del tipo laminado debe tenerse en cuenta, ya que tiene las siguientes ventajas: es económico, podemos emplear el material disponible incluyendo madera de pequeñas dimensiones y además, puede prefabricarse. Podemos emplear diferentes porcentajes en la construcción de un piso laminado.

En el diseño de piso laminado, debemos tener en cuenta tres consideraciones importantes:

1. Apoyo entre piso.
2. Flexión del piso.
3. Flexión de la superficie de desgaste.

El menor porcentaje empleado en la laminación, será el mayor de los porcentajes encontrados en (I) ó en (II), como se indica a continuación.

Comprobación de apoyo entre el piso y largueros

El menor porcentaje de laminación es igual a:

$$Q = \frac{\text{Clase} + 20}{1.3} \quad (\text{para clases menores de 45})$$

$$Q = 50\% \quad (\text{para clase de 45 o mayores}).$$

Siendo Q el menor porcentaje de laminación.

Clase = Clase de puente (una vía) o un puente de varias vías, cuando éste no ha sido tasado por una vía.

- El porcentaje de laminación seleccionado no debe ser menor al especificado anteriormente.
- Las siguientes fórmulas son basadas en la flexión del piso.

$$Q = \frac{5 C}{t - k} + \frac{\text{Clase}}{2} - 15$$

Pudiendo expresarse como:

$$t = k + \frac{10 C}{2Q - \text{Clase} + 30}$$

Siendo:

- Q = Porcentaje de laminación.
 t = Grueso del piso, en pulgadas, incluyendo dos pulgadas de la superficie de desgaste.
 C = Distancia libre entre los largueros en pulgadas.
 Clase = Clase de puente (una vía) ó en un puente de varias vías cuando éste se ha tasado para una.
 k = 4 para un porcentaje de laminación de 40 o mayor.
 = 3 para un porcentaje de laminación entre 30 y 40.
 = 2 para un porcentaje de laminación de 30.

La selección de "k" debe hacerse según sea el valor de Q encontrado anteriormente en la comprobación del apoyo entre el piso y largueros.

- La máxima separación en la laminación no debe ser mayor de 10 pulgadas, esto con el fin de que una superficie de desgaste de dos pulgadas de espesor, no falle por flexión.
- Cuando en el cálculo nos resulta un porcentaje mayor de 100, se debe emplear un tablero más grueso.

7.5.3. CORDONES

Un sistema de cordones en un puente de caballete de madera, se usa para guiar el tránsito en el muelle. Cuando se dispone de tamaños surtidos de madera, haga cordones de maderos de 6 x 6 pulgadas, apoyados sobre contragradadas de cordones de 6 x 12 x 30 pulgadas (*Figura 7.19.*), esparcidos en centros de aproximadamente 5 pies.

Generalmente, el cordón se empalma a la cubierta con pernos de 1/2 pulgadas, dos por cada contragradada de cordón.

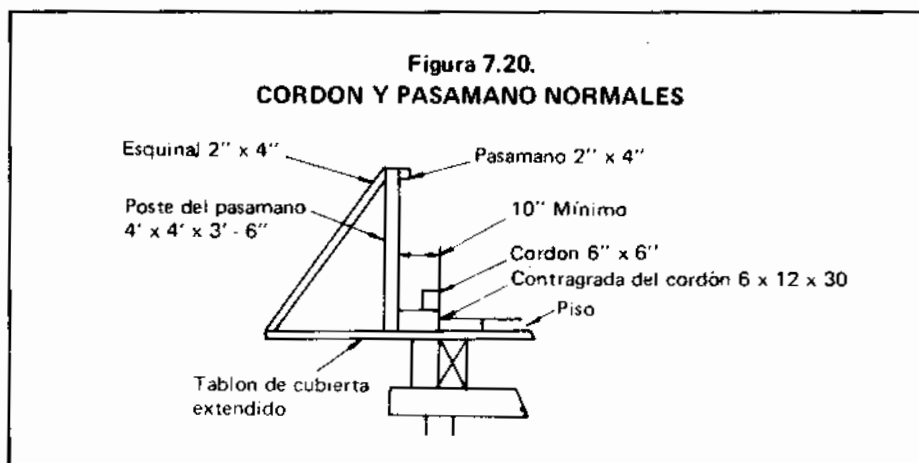
7.5.4. PASAMANOS

Los pasamanos marcan la ruta del puente y proporcionan un factor

de seguridad para peatones que cruzan el puente. Con el material, haga pasamanos de 2 x 4 pulgadas o de material más grande, en caso de que lo haya.

Sobre una cubierta laminada, haga postes y esquinales de pasamanos del mismo material de la cubierta de modo que se puedan sujetar bien entre los laminados que se extienden para recibirlos.

Para cubiertas sólidas de tablonos, clave diagonalmente postes de 4 x 4 pulgadas o 2 x 4, clavados juntos a los tablonos extendidos (*Figura 7.20.*). Haga postes de 42 pulgadas de alto y espacielos en centros de 5 pies. Coloque los postes de modo que la distancia desde la cara interior del cordón a la cara interior del pasamanos, sea por lo menos de 10 pulgadas.



7.5.5. ANDENES

Si los andenes son necesarios, fórmelos extendiendo la cubierta 36 pulgadas adicionales. Coloque miembros atiesados debajo del borde exterior y apóyelos con puntales añadidos a los largueros, donde sean necesarios.

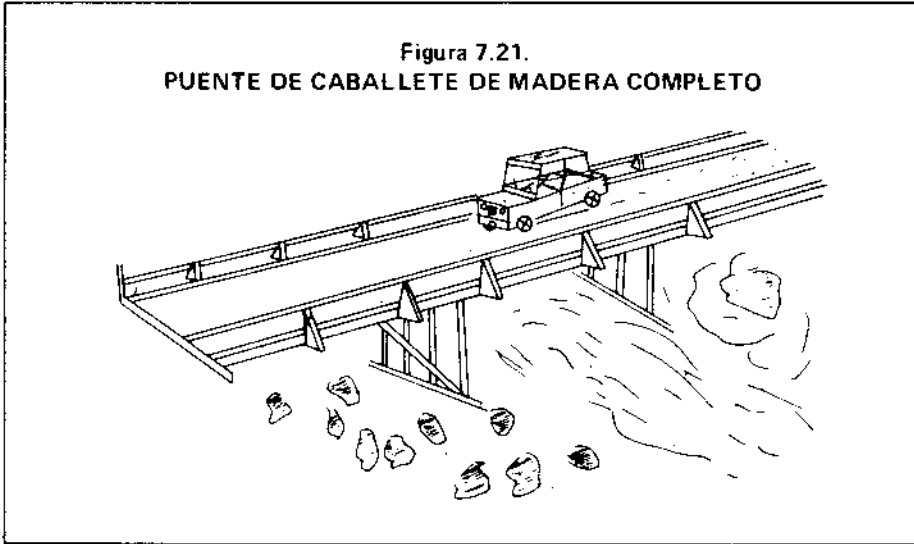
7.5.6. MURO DE CONTENCION

El muro de contención es el que resiste la presión de tierra del estribo de un puente (Ver *Figura "Estribo de solera de madera"*).

Después que los largueros y el entarimado estén en su lugar, construya un muro de contención de tablonos de entarimado, a través del canto de los largueros. El muro de contención se debe extender a través de la calzada y desde la cima de la base hasta la cima del piso.

Después de la colocación del muro de contención, complete la aproximación hasta la cima de la cubierta del puente, luego fije las señales de control de tránsito y clasificación. El puente está ahora listo para el tránsito.

Figura 7.21.
PUENTE DE CABALLETE DE MADERA COMPLETO

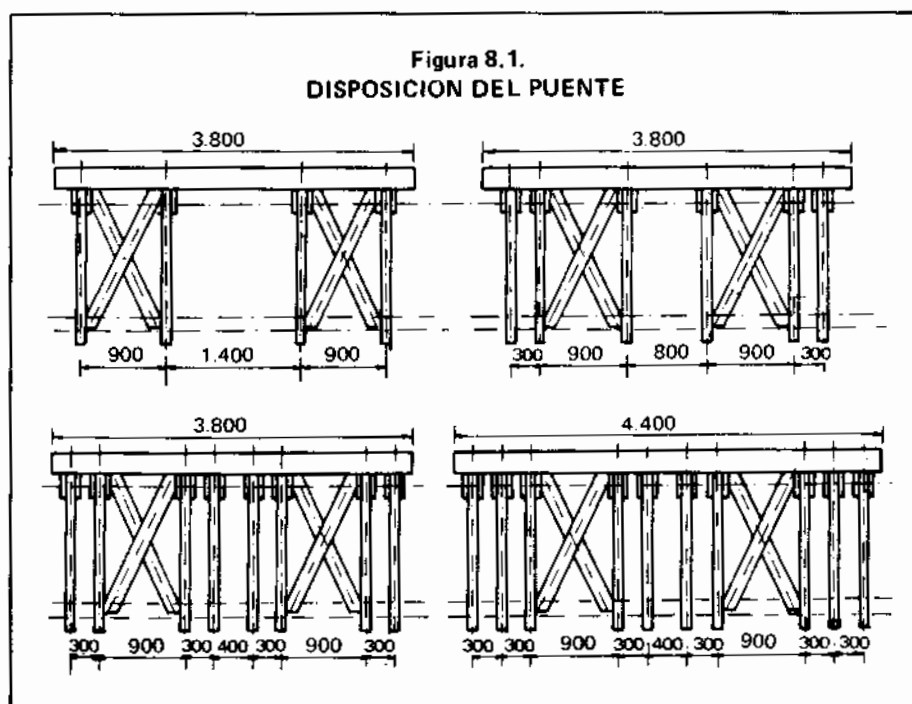


CAPITULO VIII

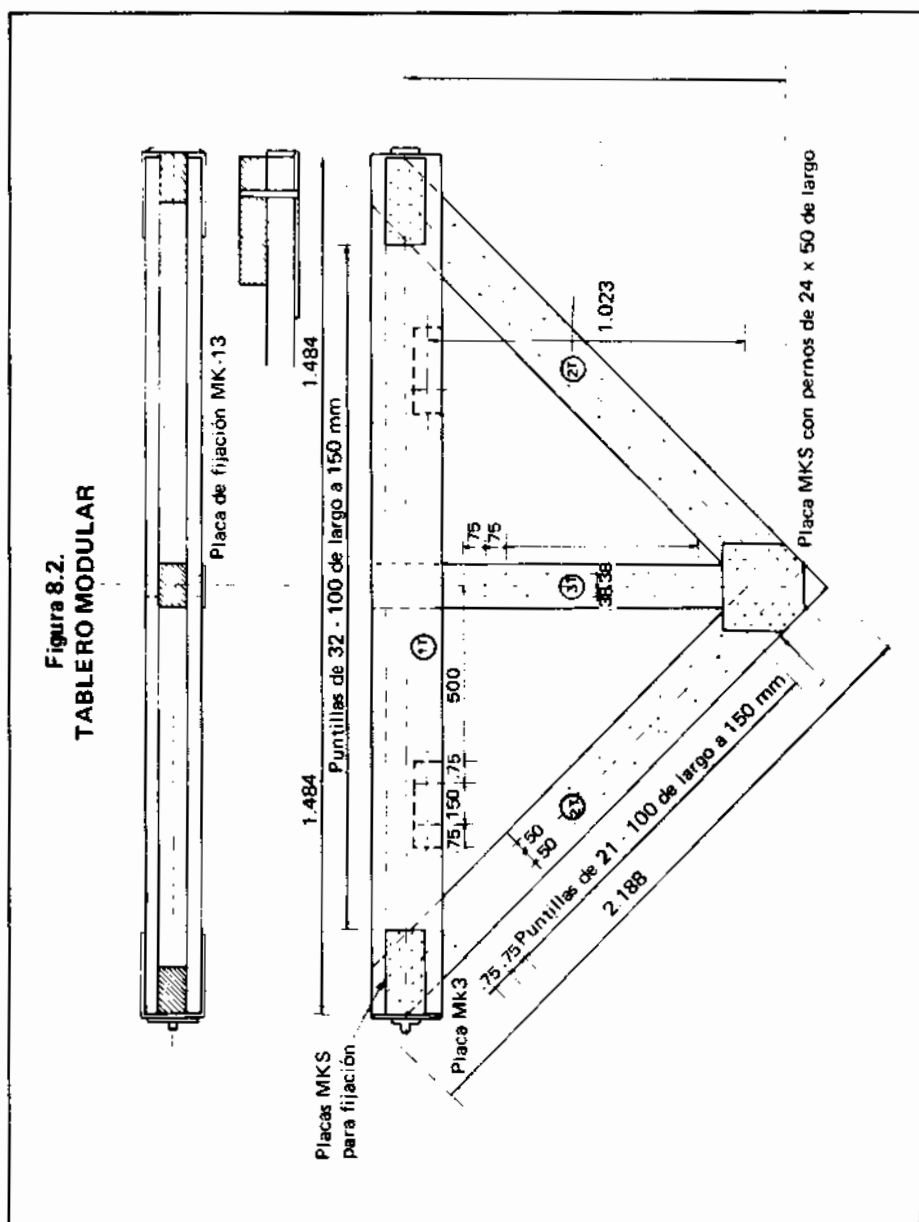
PUENTE MODULAR DE MADERA

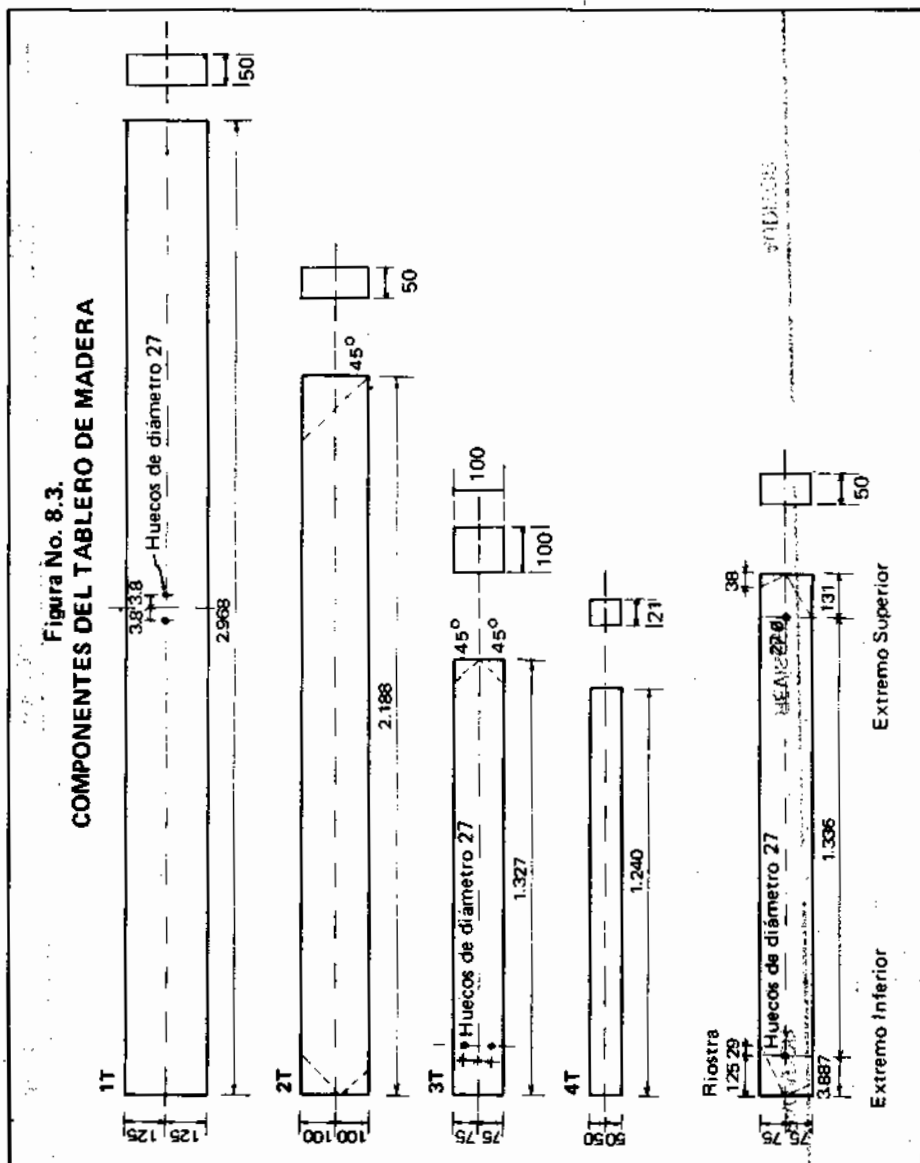
8.1. DISEÑO

8.1.1 DIMENSIONES BASICAS Y ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO



Se presume en el diseño de los puentes descritos en este estudio que cada cercha soporta una porción igual de carga. Sin embargo, esto es verdad sólo para los puentes de vías de rodadura sencillas. Los puentes con cerchas más espaciadas o que tengan vías de rodadura más anchas requieren de una consideración especial.



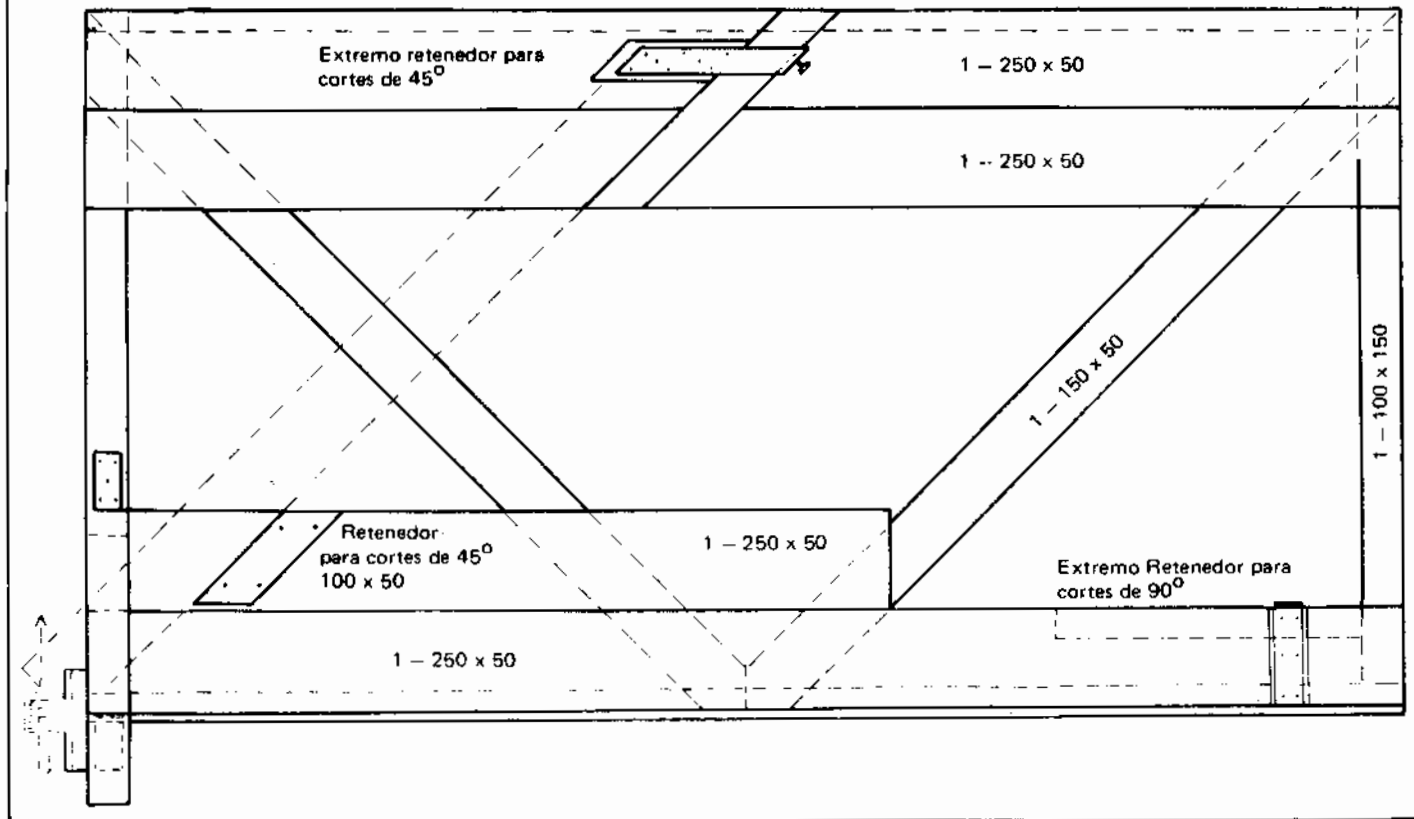


8.2. COMPONENTES BASICOS

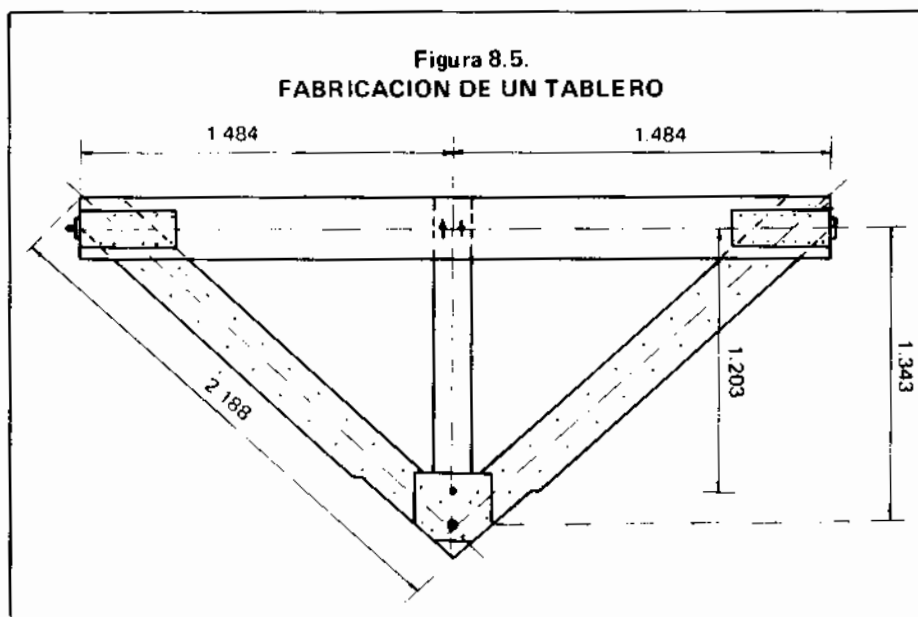
8.2.1. TABLERO MODULAR

Los tableros modulares están unidos con pares de cordones para formar una cercha (ver *Figura 8.5.*) Constan de componentes de madera aserrados de 50 mm. (2") conectados con placas de acero y pasadores.

Figura 8.4.
PLANTILLA DE CORTE



En un extremo del cordón superior hay un pasador proyectándose hacia la dirección del tramo de luz, el cual se localiza en la perforación del siguiente tablero como se muestra en la *Figura 8.6*. En la parte interior del tablero los pasadores se están proyectando hacia los lados en ángulo recto al plano del tablero para recibir los cordones. Los pasadores son de dos tamaños dependiendo de la madera utilizada y la carga transportada. Donde se utiliza cordón liviano los pasadores son de 38 mm de diámetro y donde se requiere un cordón pesado el diámetro es de 50 mm.



Los pasadores superiores son de 32 mm o 38 mm de diámetro, y los más pesados se utilizan con maderas cuyo grado de tensión es F11 o más.

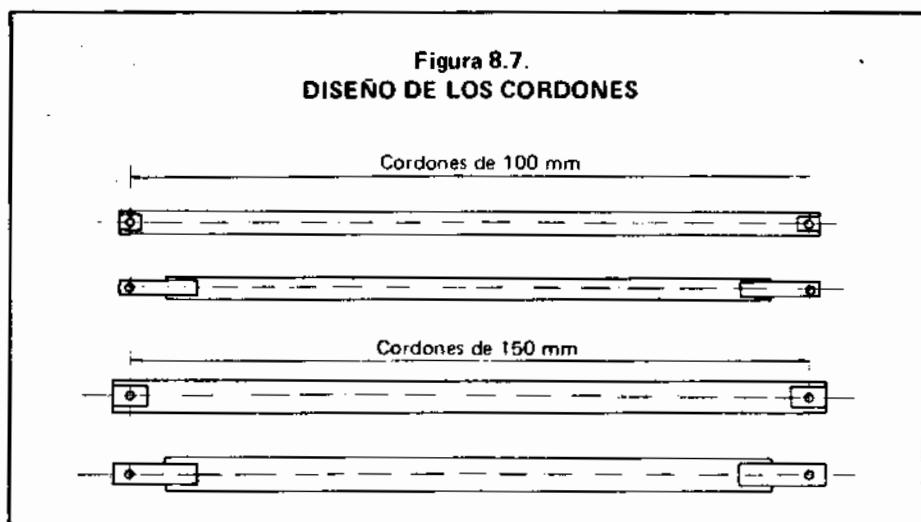
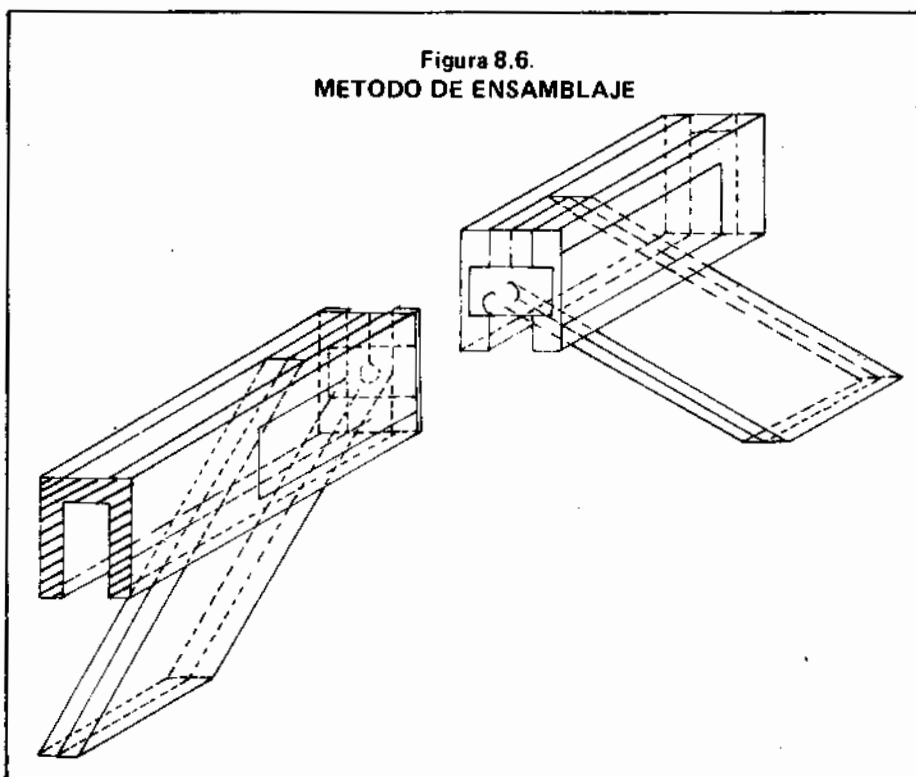
8.2.2. CORDONES

Los cordones han sido diseñados en los tamaños básicos. El tamaño más liviano generalmente se utiliza con maderas de un grado de tensión F8 o menos y el más pesado para las maderas más fuertes.

8.2.3. CERCHAS

Los tableros modulares se ensamblan en cerchas. El número de cer-

chas necesario para cargas de diferentes especies, y luces se da en la *Tabla 8.1.*



8.2.4. ARRIOSTRAMIENTO VERTICAL

Hay dos tipos de arriostramiento vertical. En un puente de dos cerchas, el arriostramiento es utilizado para proporcionar estabilidad lateral a los tableros y no actúa como mecanismo de repartición de carga.

Figura 8.8.
ARRIOSTRAMIENTO DE LA CERCHA PARA UN
PUENTE DE DOBLE CERCHA

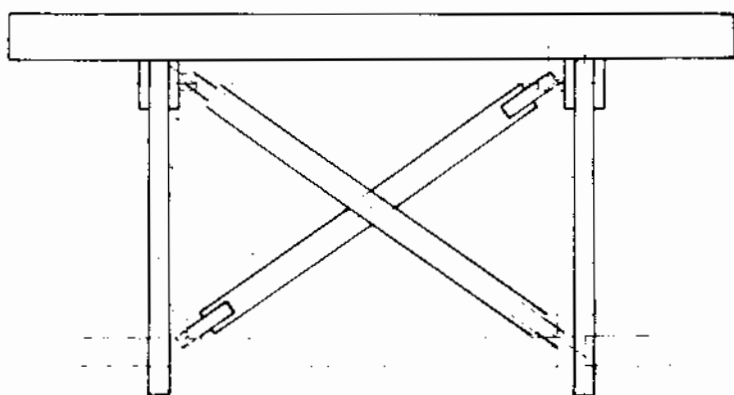


Figura 8.9.
ARRIOSTRAMIENTO DE LA CERCHA PARA UN
PUENTE DE CUATRO, SEIS Y OCHO CERCHAS

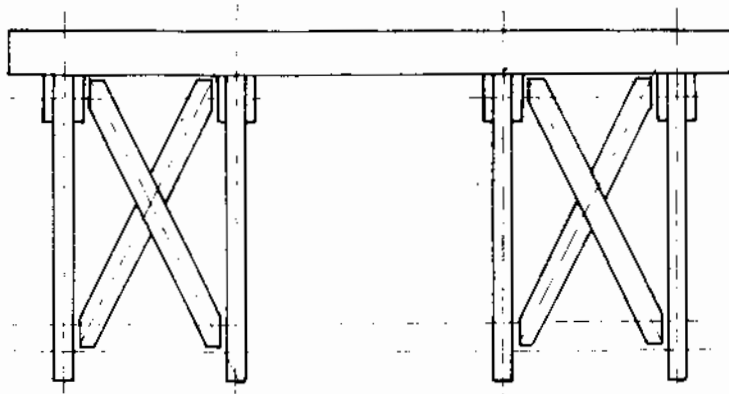


Figura 8.10
ARRIOSTRAMIENTO DE LA CERCHA PARA UN
PUENTE DE CUATRO, SEIS Y OCHO CERCHAS

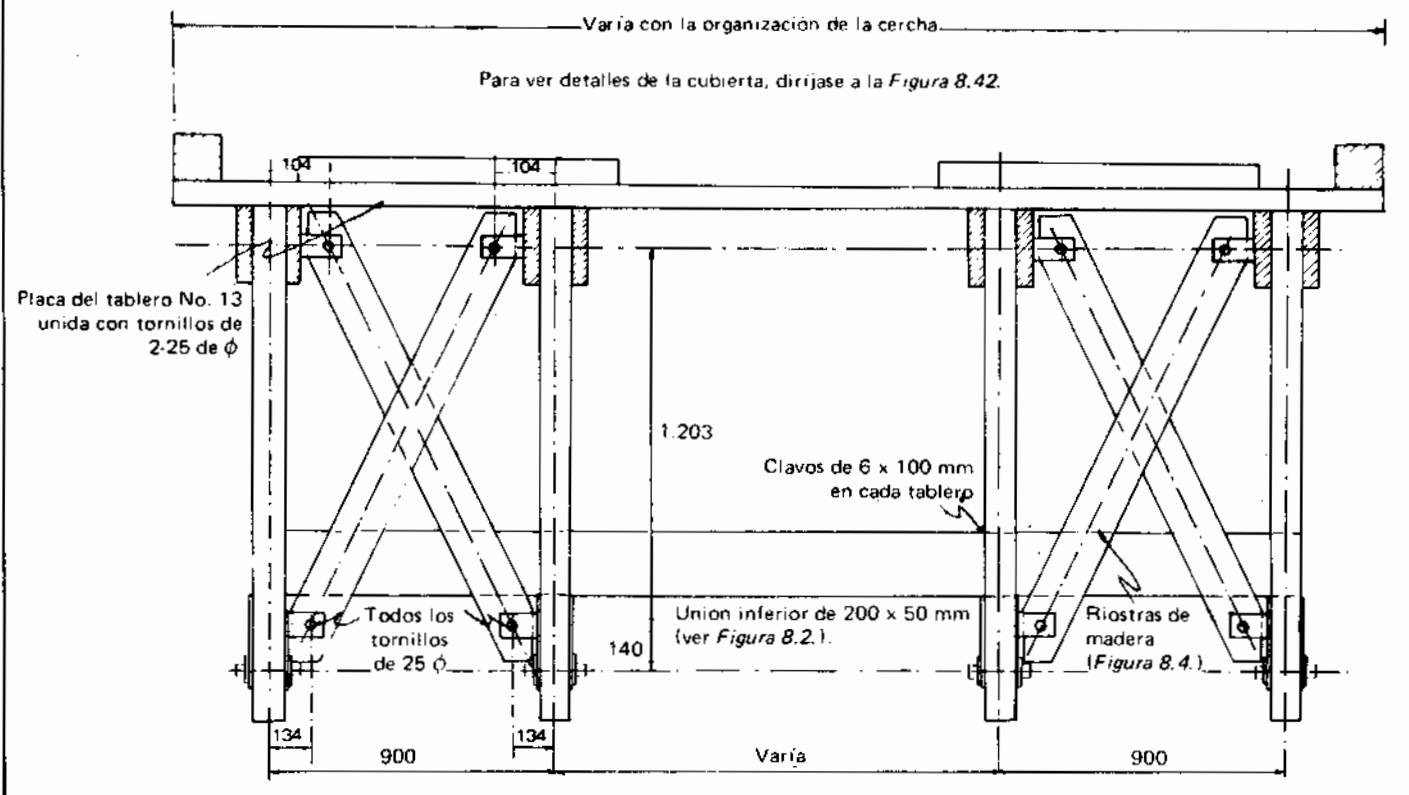
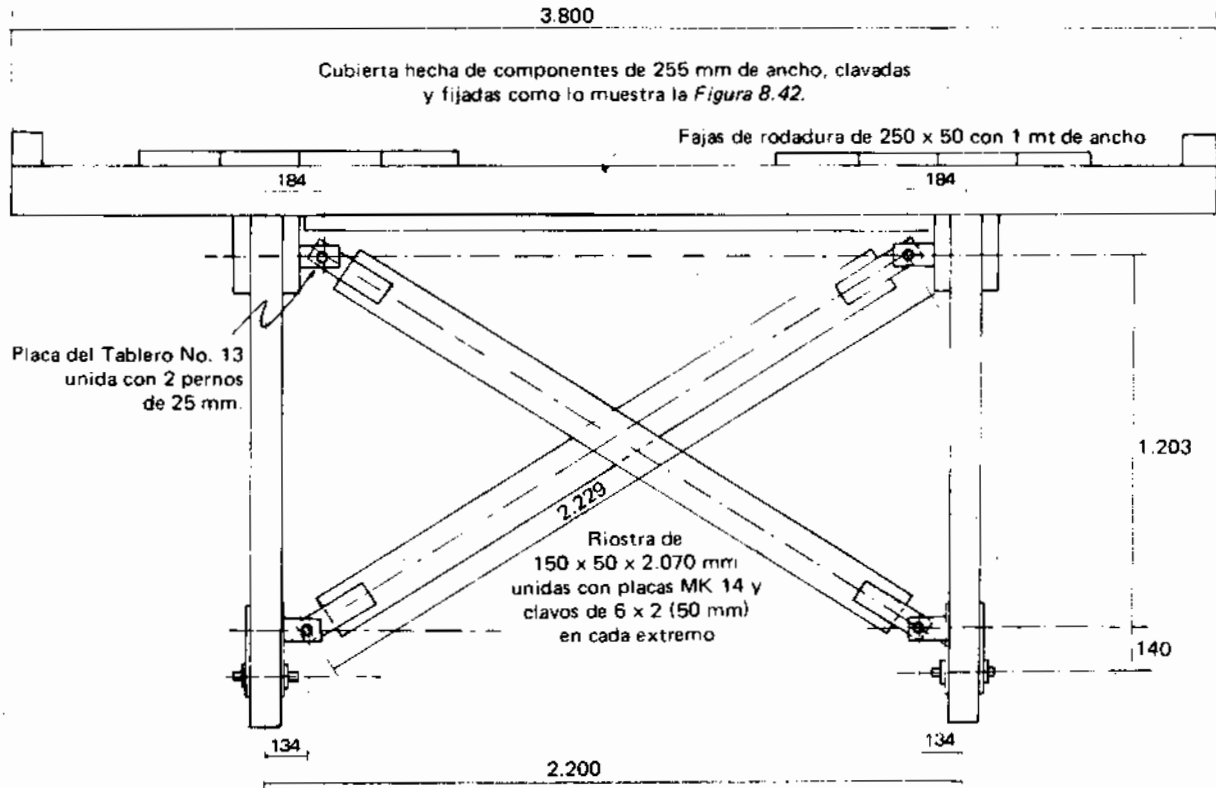


Figura 8.11.
ARRIOSTRAMIENTO PARA DOS CERCHAS



El componente consta de un elemento simple de 150 x 50 mm con placas conectoras de acero de 6 mm, clavadas en cada extremo. Estas están atornilladas con pernos de 100 x 25 mm, a las laminillas de arriostramiento sobre el tablero.

En un puente con cuatro o más cerchas, el arriostramiento está planeado para dar estabilidad lateral y repartir la carga entre las cerchas conectadas de este modo.

Están atornillados sobre los ejiones de arriostramiento con pernos de 25 mm de diámetro y una arandela de 50 mm bajo la tuerca en el frente de la madera.

8.2.5. EL ARRIOSTRAMIENTO DE LA CUBIERTA

El arriostramiento de la cubierta consta de elementos de 150 mm x 50 mm, clavados diagonalmente al lado interior de las cerchas con puntillas de 100 mm, ubicadas entre los espaciadores insertados en los cordones.

8.2.6. CUBIERTA

La cubierta está hecha de madera de 50 mm de ancho, clavada entre sí en una profundidad que depende de la carga de rodamiento (*Tabla 8.4.*) y espaciada a través de las cerchas como se muestra en la *Figura 8.8.* y *8.9.* Las vías de rodadura se fijan en la parte superior de estos componentes en la dirección de la luz, lo cual tiene una función esencial en la distribución de cargas sobre los elementos de cruce y no deben ser omitidos o reducidos de tamaño.

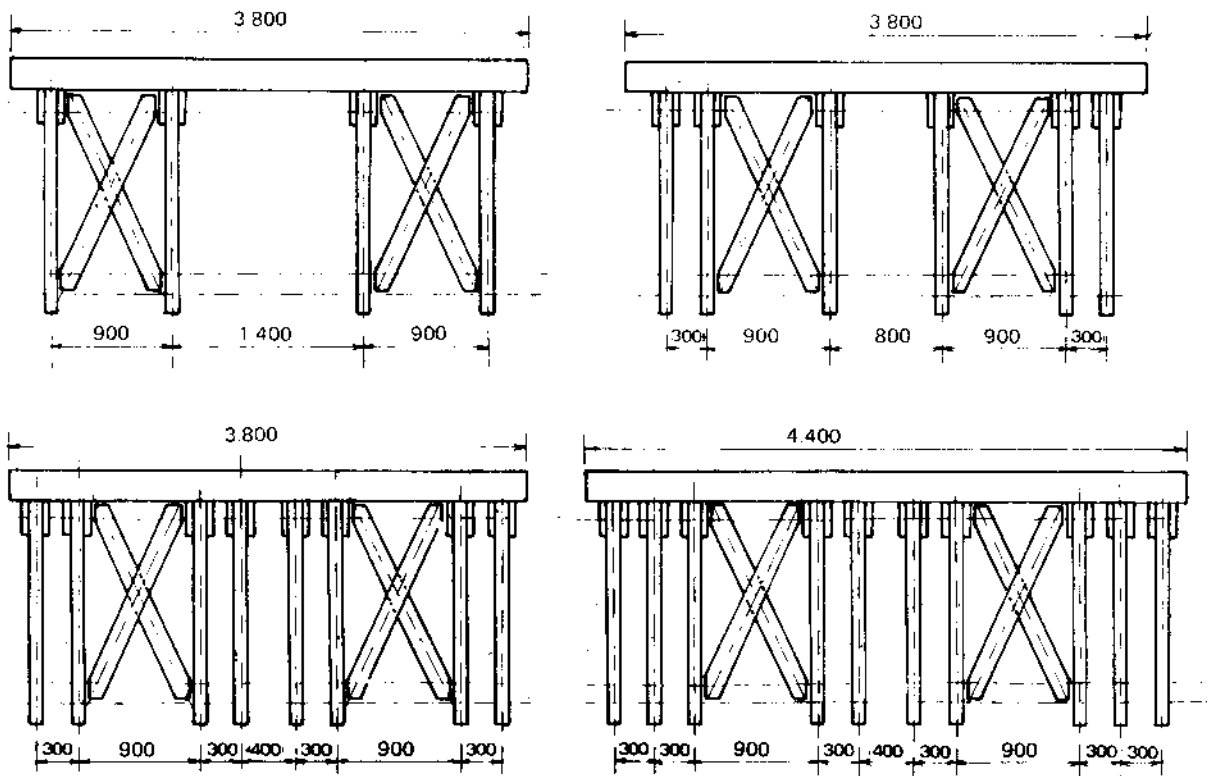
8.2.7. SOPORTES

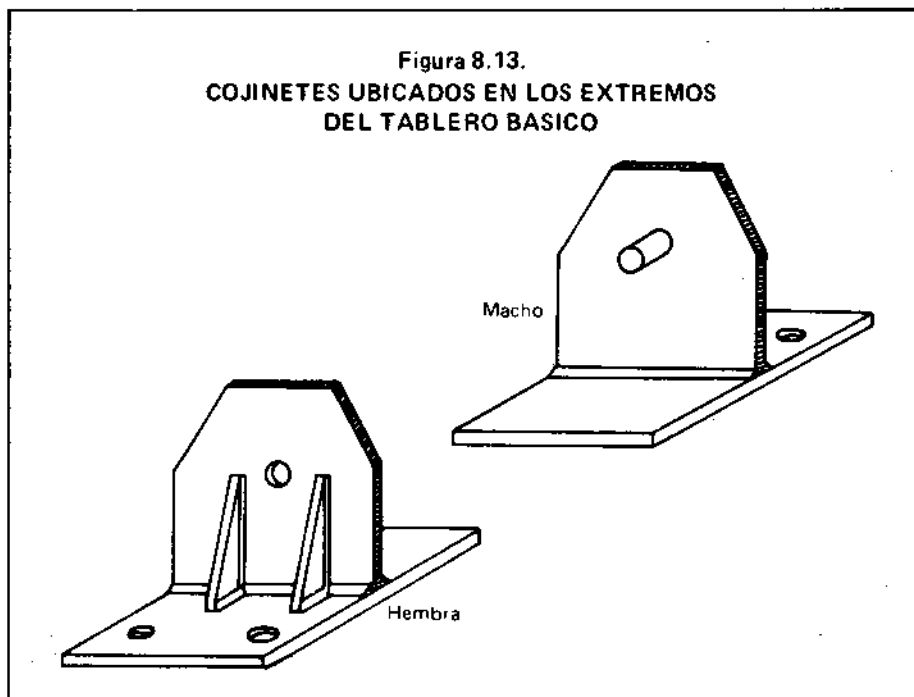
Los soportes machos y hembras están localizados en los extremos de los tableros básicos (ver *Figura 8.13.*). Una placa de 12 mm es utilizada totalmente; las esquinas superiores oblicuas sirven como refuerzos. El tamaño del pasador depende del utilizado en los tableros, puede ser 32 mm o 38 mm.

8.3. PROCESO DE DISEÑO

La secuencia es indicada gráficamente en la *Figura 8.14.*

Figura 8.12.
DISPOSICION DE LA CERCHA Y LAS RIOSTRAS





Es obvio que un conjunto de reglas de graduación se debe utilizar donde están involucrados los diseños *standard*. Se debe asegurar que las normas de graduación local incluyan todos los defectos dados para cualquier grado en el *Anexo II*, y que no se exceda el defecto máximo permitido.

Si el grado de tensión para una madera que no esté incluido en la lista, debe ser determinado, se utilizarán los grados de tensión aplicados a la madera no identificada de esa región. Se debe notar, sin embargo, que hay muchas maderas que por virtud a su durabilidad, características y propiedades de trabajo son inadecuadas para la construcción de puentes. Si hay dudas refiérase a los departamentos forestales locales.

8.3.1. CARGA

Los diseños para las 12 diferentes especificaciones de carga son dadas en la *Figura 8.15*, incluyendo las cargas H y HS de la Asociación Americana (AASHO) y las cargas HA *standard* británicas. Las configuraciones típicas de trailer y camión también se muestran en la *Figura 8.15* para comparación con las cargas *standard*. Los puentes de calzada, sobre los que es probable una carga de camiones pesados, deben ser diseñados

para una carga mínima de H20. Los puentes para los caminos de acceso rurales pueden ser diseñados para cargas menos pesadas pero se debe recordar que en todos los países hay tendencia al aumento de cargas. Los puentes de capacidad limitada deben ser protegidos contra las sobrecargas mediante la utilización de barreras de altura o señales de carga máxima y cuando las cargas de tráfico aumenten considerablemente, se debe aumentar la capacidad del puente adicionando cerchas extras.

8.4. DETERMINACION DEL DISEÑO (NUMERO DE CERCHAS)

Después de la determinación del grado de tensión de la madera y la selección dada, el diseño (número de cerchas) puede ser leído directamente de la *Tabla 8.1*. Para cargas que no estén indicadas en ella, el momento de curvatura de carga viva máxima y las reacciones de los extremos se deben determinar primero. Los diseños luego pueden ser leídos de la *Tabla 8.3*, la cual muestra los momentos de curvatura y las reacciones de los extremos para tramos diferentes y grados de tensión de la madera. Las tablas de carga segura (*Tabla 8.2*) dan la capacidad máxima de los puentes de vías de rodadura sencilla, cuando están soportando un vehículo de un solo eje con su peso distribuido sobre 4 mts (*Figura 8.15*).

8.5. DISEÑO DE LA CUBIERTA

La *Tabla 8.4* indica los tamaños recomendados para las cubiertas de diferentes cargas de rodamiento y las maderas de varios grados de tensión. Si se utilizan maderas que se desgasten rápidamente, se deben utilizar especies más densas o más duras para los tableros de rodadura. Este será el caso con la mayoría de las maderas de grado de tensión F11 y menos. Una alternativa es fijar una placa sobrepuesta en la parte superior de los tableros que actúe como superficie de uso.

8.6. OBTENCION DE MATERIALES Y ENSAMBLE

8.6.1. OBTENCION DEL ACERO

Se presume que es utilizado acero con una fuerza tensii máxima de $435-494 \text{ N/mm}^2$ ($28-32 \text{ T/in}^2$) y una tensión de rendimiento mínima de 236 N/mm^2 (15.25 T/in^2).

Figura 8.14.
PROCESO DE DISEÑO

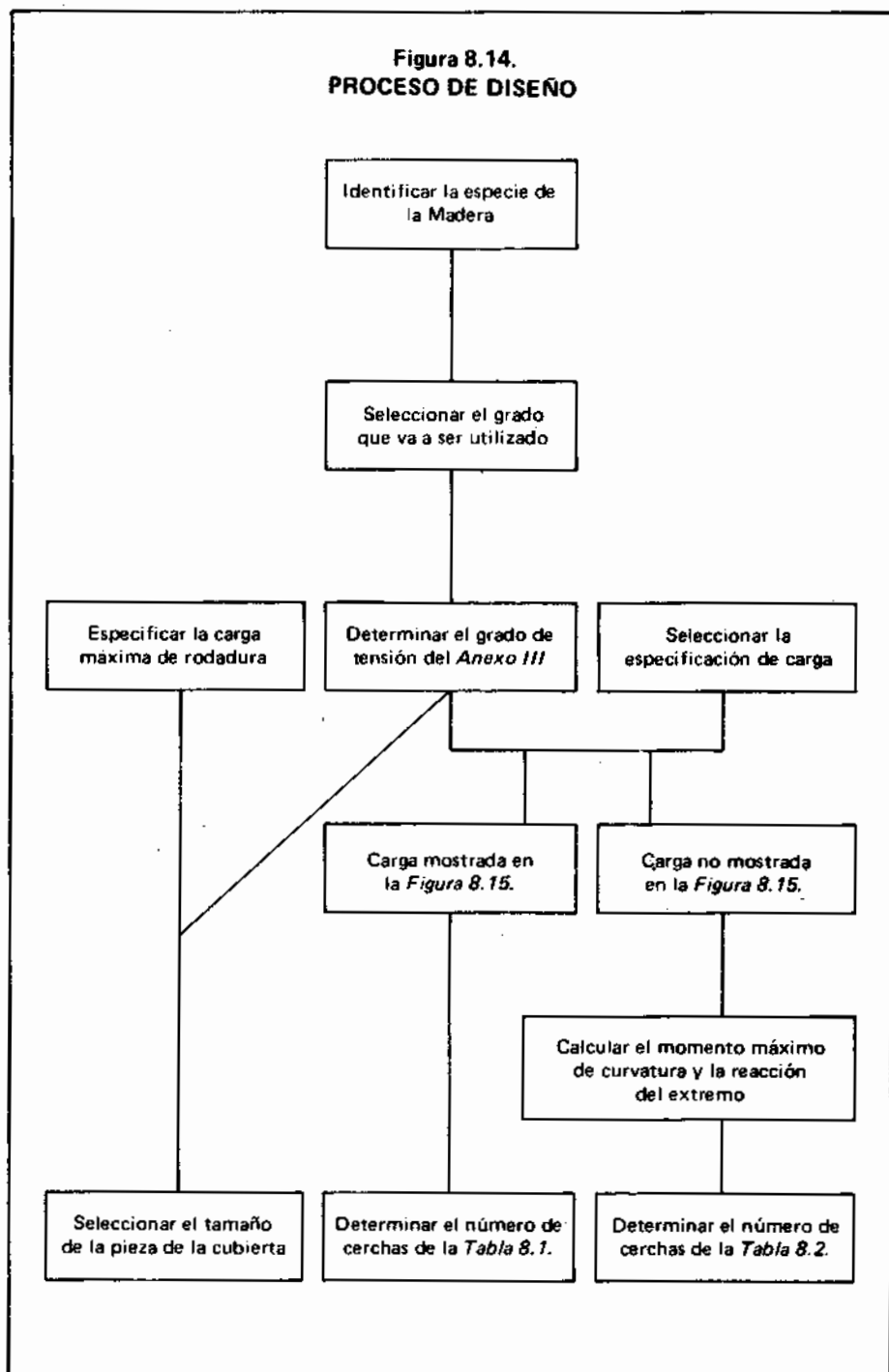


Figura 8.15.
CARGAS

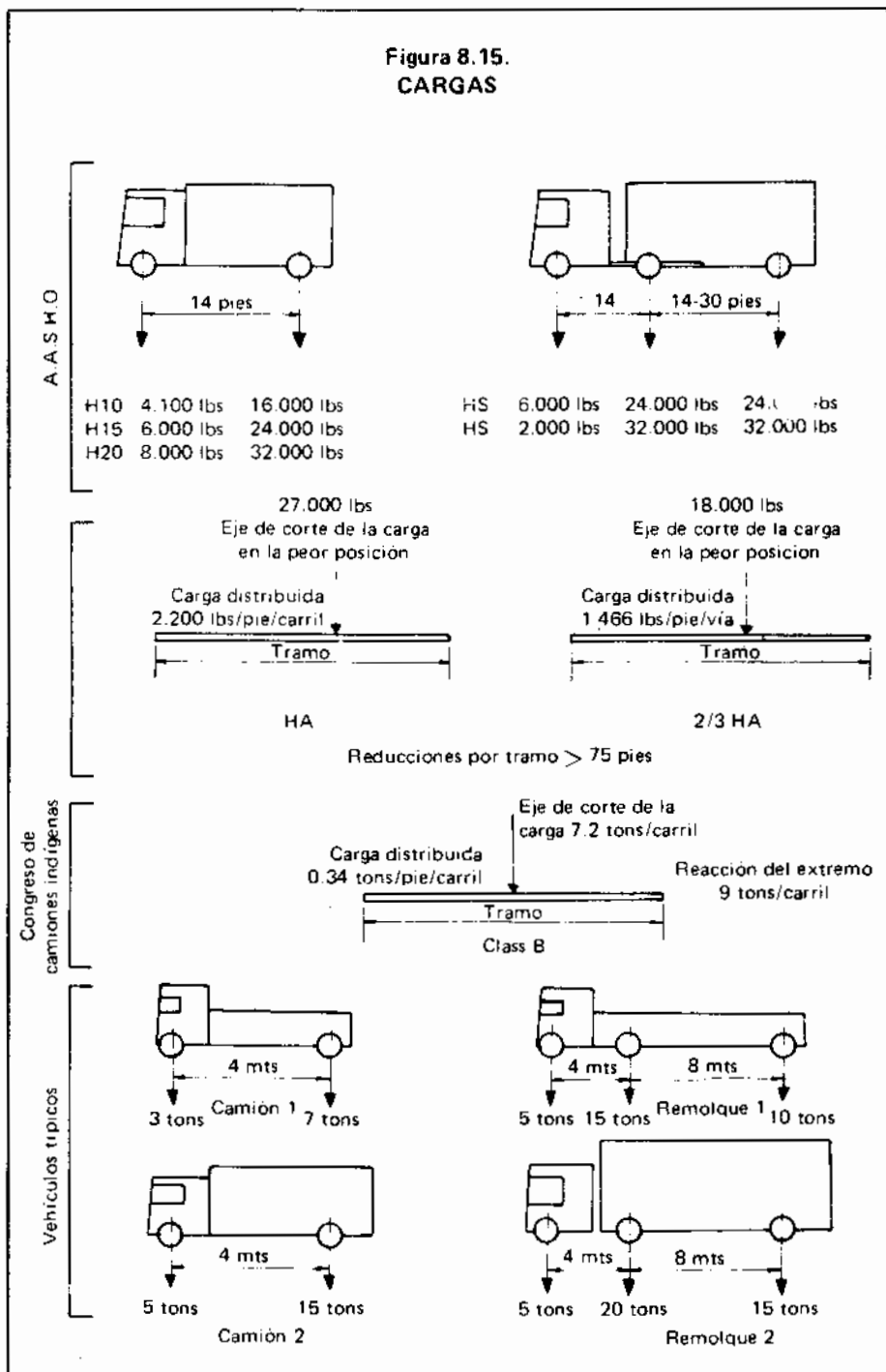


Tabla 8.1.
NUMERO DE CERCHAS NECESARIAS PARA
UN TRAMO Y UNA CARGA

Dados:

GRADO DE TENSION F. 4.

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	4	4	4	4	6	6	8	---	---	
H 15	4	6	6	6	8	---	---	---	---	
H 20	4	6	6	6	8	---	---	---	---	
HS 15	6	6	8	8	---	---	---	---	---	
HS 20	6	6	8	8	---	---	---	---	---	
2/3 HA	4	4	6	8	---	---	---	---	---	
HA	6	8	---	---	---	---	---	---	---	
INDIGENA B	4	4	4	6	8	---	---	---	---	
REMOLQUE 1	6	6	6	6	8	---	---	---	---	
REMOLQUE 2	6	8	8	8	---	---	---	---	---	
CAMION 1	2	4	4	4	6	6	8	8	---	
CAMION 2	6	6	6	8	8	---	---	---	---	

GRADO DE TENSION F. 5.

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	2	2	2	4	4	6	6	8	---	
H 15	4	4	4	6	6	8	---	---	---	
H 20	4	4	4	6	6	8	---	---	---	
HS 15	4	6	6	8	8	---	---	---	---	
HS 20	4	6	6	8	---	---	---	---	---	
2/3 HA	2	4	6	8	---	---	---	---	---	
HA	6	6	8	---	---	---	---	---	---	
INDIGENA B	2	2	4	6	8	---	---	---	---	
REMOLQUE 1	4	4	6	6	8	---	---	---	---	
REMOLQUE 2	6	6	6	6	---	---	---	---	---	
CAMION 1	2	2	4	4	4	6	6	8	---	
CAMION 2	4	4	6	6	8	8	---	---	---	

Tabla 8.1.
 NUMERO DE CERCHAS NECESARIAS PARA
 UN TRAMO Y UNA CARGA
 (... Continuación)

Dados:

GRADO DE TENSION F. 7.

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	2	2	2	4	4	4	6	6	8	
H 15	4	4	4	4	4	6	6	8	---	
H 20	4	4	4	4	6	8	---	---	---	
HS 15	4	4	6	6	8	8	---	---	---	
HS 20	4	4	6	6	8	---	---	---	---	
2/3 HA	2	2	4	6	8	---	---	---	---	
HA	4	6	6	8	---	---	---	---	---	
INDIGENA B	2	2	4	4	6	8	---	---	---	
REMOLQUE 1	4	4	4	4	6	8	---	---	---	
REMOLQUE 2	4	4	4	6	8	---	---	---	---	
CAMION 1	2	2	2	2	4	4	6	6	8	
CAMION 2	4	4	4	4	6	8	8	10	---	

GRADO DE TENSION F. 8.

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	2	2	2	2	4	4	4	6	6	
H 15	2	2	4	4	4	6	6	8	8	
H 20	2	4	4	4	4	6	8	---	---	
HS 15	4	4	4	4	6	8	8	---	---	
HS 20	4	4	4	4	6	8	---	---	---	
2/3 HA	2	2	4	6	6	8	---	---	---	
HA	4	4	6	8	---	---	---	---	---	
INDIGENA B	2	2	2	4	4	6	8	---	---	
REMOLQUE 1	4	4	4	4	6	6	8	---	---	
REMOLQUE 2	4	4	4	4	6	8	---	---	---	
CAMION 1	2	2	2	2	4	4	4	6	6	
CAMION 2	4	4	4	4	4	6	6	8	---	

Tabla 8.1. GRADO DE TENSION F. 11. (. . . Continuación)

a/ Carga		Tramo (m)								
		6	9	12	15	18	21	24	27	30
H	10	2	2	2	2	4	4	6	8	
						2	4	4	6	8
H	15	2	2	4	4	4	6	6	8	---
							4	4	6	6
H	20	2	2	2	4	4	6	8	---	---
							4	6	6	8
HS	15	4	4	4	4	6	6	8	---	---
						4	4	6	6	8
HS	20	2	4	4	6	6	8	---	---	---
			2		4	4	6	6	8	8
2/3	HA	2	2	4	6	6	8	---	---	---
				2	4	6	8	8		
HA		2	4	4	6			---	---	---
					4	6	8			
INDIGENA B		2	2	2	4	4	6	8		---
								6	8	
REMOLQUE1		2	2	4	4	4	6	8		---
				2				6	8	
REMOLQUE2		4	4	4	4	6	8	---	---	
							6	8		
CAMION	1	2	2	2	2	4	4	4	6	6
						2			4	4
CAMION	2	2	2	4	4	4	6	6	8	
				2			4	6	6	8

Tabla 8.1. GRADO DE TENSION F. 14. (. . . Continuación)

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	2	2	2	4 2	4	4	4	4	6 4	8 4
H 15	2	4	4	4	4		6 4	6 4	8 4	6
H 20	2	2	4 2	4 2	4	6 4	8 4		6 6	8 8
HS 15	4	4	4	4	6 4	6 4	8 6		6 6	8 8
HS 20	2	4 2	4	4	6 4	6 6	8 6		8 8	10
2/3 HA	2	2	4 2	6 4	6 4	8 6			---	---
HA	2	4	4	6 4	6 6	8		---	---	---
INDIGENA B	2	2	2	4 2	4	6 4	8 6		6 6	8
REMOLQUE 1	2	2	4 2	4	6 4	6 4	8 6		6 6	8
REMOLQUE 2	2	2	4	4	6 4	8 6			8 8	10
CAMION 1	2	2	2	2	4 2	4 2	6 4	8 4	6 4	6 4
CAMION 2	2	2	4 2	4 2	4	6 4	8 4	8 6		6

Tabla 8.1. GRADO DE TENSION F. 17. (. . . Continuación)

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	2	2	2	2	4	4	4	6	8	
					2	4		4	4	
H 15	2	2	4	4	4	6	6	8		
						4	4	4	4	6
H 20	2	2	4	4	4	6	8			
			2	2		4	4	6	8	
HS 15	2	2	2	4	6	6	8			
				2	4	4	4	6	6	
HS 20	2	4	4	4	6	8				
		2			4	4	6	8	8	
2/3 HA	2	2	4	6	6					---
			2	4	4	6	8	8		
HA	2	4	6	8						
			4	4	6	8				
INDIGENA B	2	2	2	4	4	6	8			---
				2		4	4	6		
REMOLQUE 1	2	2	4	4	4	6	8			
			2	2		4	6	6	8	
REMOLQUE 2	2	2	4	4	6	8				
			2		4	6	6	8	10	
CAMION 1	2	2	2	2	4	4				
					2	2	4	4	4	4
CAMION 2	2	2	4	4	6	6	8			
			2	2	4	4	4	6	6	

Tabla 8.1. GRADO DE TENSION F. 34. (. . . Continuación)

a/ Carga	Tramo (m)									
	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
H 10	2	2	2	2	4	4	6	6	8	
					2		4	4	4	
H 15	2	4	4	4	4	6	6	8		
						4	4	6	6	
H 20	2	2	4	4	6	8				
			2	2	2	4	4	6	8	
HS 15	4	4	4	4	6	8	8			
					4	4	6	6	8	
HS 20	2	4	4	6	6	8				
		2		4	4	6	6	8	8	
2/3 HA	2	2	4	6	6					--
			2	4	4	6	8	8		
HA	2	4	6	8						--
			4	4	6	8				
INDIGENA B	2	2	2	4	6	6	8			
				2	4	4	6	6	8	
REMOLOQUE 1	2	2	4	4	6	6	8			
			2	2	4	4	6	6	8	
REMOLOQUE 2	2	2	4	4	6	8				--
					4	6	6	8		
CAMION 1	2	2	2	2	4	4	6	6	8	
					2	2	4	4	4	
CAMION 2	2	2	4	4	6	6	8			
			2	2	4	4	4	6	6	

Tabla 8.2.
CARGAS SEGURAS PARA PUENTES DE
RODADURA SENCILLA
(Tons)

CONSTRUCCION DE DOS CERCHAS

Grado de Tensión	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
F - 4	5.3	4.4	3.9	2.7	2.2	1.6	1.2	0.8	0.5
F - 5	6.7	5.5	4.9	3.4	2.8	2.0	1.4	0.9	0.6
F - 7	8.1	7.0	6.3	4.5	3.7	2.8	2.1	1.5	0.8
F - 8	10.9	9.0	8.1	5.8	4.7	3.6	2.6	2.0	1.4
			8.6	6.0	4.9	3.7	2.8	2.1	1.5
F - 11	13.8	11.5							
			10.4	7.4	6.1	4.7	3.7	2.9	2.1
		13.0	8.4	5.8	4.7	3.5	2.6	1.9	1.3
F - 14	17.0								
		14.1	12.8	9.7	7.9	6.2	5.0	3.9	3.0
		12.8	8.2	5.5	4.5	3.3	2.4	1.6	1.0
F - 17	16.8								
		13.9	12.6	10.0	8.2	6.4	5.0	4.0	3.0
F - 22 - 27		12.6	7.9	5.1	4.3	3.0	2.1	1.3	0.4
	16.7								
and 34		13.7	12.3	9.6	8.0	6.1	4.7	3.7	2.7

Tabla 8.2.
CARGAS SEGURAS PARA PUENTES DE
RODADURA SENCILLA
(Tons)
(... Continuación)

CONSTRUCCION DE CUATRO CERCHAS

Grado de Tensión	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
F - 4	5.5	4.6	4.1	3.0	2.3	1.6	1.2	0.8	0.5
F - 5	6.9	5.7	5.2	3.8	3.0	2.1	1.6	1.1	0.8
F - 7	8.8	7.3	6.7	4.9	3.7	2.8	2.2	1.6	1.1
F - 8	10.7	9.4	8.6	6.4	4.8	3.7	2.9	2.2	1.6
			9.1	6.6	5.0	3.8	2.9	2.2	1.6
F - 11	14.1	11.9							
			10.9	8.1	6.2	4.8	3.8	3.0	2.3
		13.5	9.0	6.5	4.8	3.6	2.7	3.0	1.3
F - 14	17.4								
		14.6	13.4	10.4	8.0	6.3	5.0	4.0	3.1
		13.4	8.9	6.3	4.6	3.4	2.5	1.7	1.0
F - 17	17.3								
		14.7	13.3	10.8	8.3	6.5	5.1	4.0	3.1
F - 22 - 27		13.2	8.7	6.1	4.4	3.1	2.2	1.3	0.6
y 34	17.2								
		14.4	13.1	10.6	8.1	6.2	4.8	3.7	2.7

Tabla 8.2.
CARGAS SEGURAS PARA PUENTES DE
RODADURA SENCILLA
(Tons)
(... Continuación)

CONSTRUCCION DE SEIS CERCHAS

Grado de Tensión	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
F - 4	5.6	4.6	4.2	3.1	2.3	1.8	1.3	1.0	0.7
F - 5	7.0	5.8	5.3	3.9	3.0	2.3	1.8	1.3	1.0
F - 7	8.9	7.4	6.8	5.1	3.9	3.0	2.4	1.9	1.4
F - 8	11.3	9.5	8.7	6.5	5.0	4.0	3.2	2.5	2.0
			9.3	6.8	5.2	4.1	3.2	2.6	2.0
F - 11	14.3	12.6							
			11.0	8.3	6.4	5.1	4.1	3.3	2.7
		13.6	9.2	6.7	5.1	4.0	3.1	2.4	1.8
F - 14	17.6								
		14.8	13.6	10.6	8.3	6.6	5.4	4.4	3.6
		13.6	9.1	6.6	5.0	3.8	2.9	2.2	1.5
F - 17	17.5								
		14.8	13.5	11.1	8.6	6.9	5.5	4.5	3.6
F - 22 - 27		13.4	9.0	6.4	4.8	3.6	2.6	1.9	1.2
y 34		14.6	13.4	10.9	8.4	6.7	5.3	4.2	3.3

Tabla 8.2.
CARGAS SEGURAS PARA PUENTES DE
RODADURA SENCILLA
(Tons)
 (... Continuación)

CONSTRUCCION DE OCHO CERCHAS

Grado de Tensión	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
F - 4	5.6	4.7	4.4	3.2	2.4	1.8	1.4	1.0	0.8
F - 5	7.0	5.9	5.4	4.0	3.1	2.4	1.9	1.5	1.1
F - 7	8.9	0.5	6.9	5.1	4.0	3.1	2.5	2.0	1.6
F - 8	11.3	9.6	8.8	6.6	5.1	4.1	3.3	2.7	2.1
			9.4	6.9	5.4	4.3	3.4	2.7	2.2
F - 11	14.3	12.1	11.1	8.4	6.6	5.3	4.3	3.5	2.9
		13.7	9.3	6.8	5.3	4.1	3.3	2.6	2.0
F - 14	17.6	14.9	13.7	10.7	8.4	6.8	5.6	4.6	3.8
		13.6	9.2	6.6	5.1	4.0	3.1	2.4	1.8
F - 17	17.5	14.8	13.6	11.2	8.8	7.1	5.8	4.7	3.9
		13.5	9.1	6.6	5.0	3.8	2.9	2.2	1.5
F - 22 - 27 y 34	17.4	14.7	13.5	11.1	8.6	6.9	5.6	4.5	3.6

Tabla 8.3.
MOMENTOS DE CURVATURA CON LA CARGA VIVA Y LA REACCION DE LOS EXTREMOS

GRADO DE TENSION F. 4.

Número de Cerchas		Tramos (m)								
		06	09	12	15	18	21	24	27	30
2	a	71	68	64	61	56	54	51	47	---
	b	226	214	196	173	145	111	73	29	---
	c	226	214	196	173	145	111	73	29	---
4	a	147	142	138	133	129	124	120	155	111
	b	460	444	420	389	352	308	257	200	135
	c	460	444	420	389	352	308	257	200	135
6	a	223	217	212	206	200	195	189	184	178
	b	694	673	644	606	560	505	442	370	290
	c	694	673	644	606	560	505	442	370	290
8	a	299	292	285	279	272	265	258	252	245
	b	928	903	867	822	767	702	626	541	445
	c	928	903	867	822	767	702	626	541	445

GRADO DE TENSION F. 5.

Número de Cerchas		Tramos (m)								
		06	09	12	15	18	21	24	27	30
2	a	89	85	81	78	74	70	66	62	58
	b	283	268	248	222	190	153	109	60	5
	c	283	268	248	222	190	153	109	60	5
4	a	184	179	174	169	164	159	154	149	145
	b	574	555	528	495	453	404	347	283	211
	c	574	555	528	495	453	404	347	283	211
6	a	278	272	266	260	253	247	241	235	229
	b	865	841	809	767	716	655	586	506	418
	c	865	841	809	767	716	655	586	506	418
8	a	373	366	358	351	343	336	329	321	314
	b	1155	1128	1089	1039	979	906	824	730	624
	c	1155	1128	1089	1039	979	906	824	730	624

CLAVE -

- a. Esfuerzo cortante disponible.
 b. Momento de curvatura en el cordón liviano.
 c. Momento de curvatura en el cordón pesado.

Tabla 8.3.
MOMENTOS DE CURVATURA CON LA CARGA VIVA Y LA
REACCION DE LOS EXTREMOS
 (... Continuación)

GRADO DE TENSION F. 7.

Número de Cerchas		Tramos (m)								
		06	09	12	15	18	21	24	27	30
2	a	114	110	105	101	96	92	88	83	79
	b	360	344	320	291	254	211	161	105	42
	c	360	344	320	291	254	211	161	105	42
4	a	234	229	223	217	212	206	200	195	189
	b	729	708	679	640	593	538	474	401	320
	c	729	708	679	640	593	538	474	401	320
6	a	355	348	341	334	327	320	313	306	299
	b	1099	1073	1037	990	932	864	786	697	598
	c	1099	1073	1037	990	932	864	786	697	598
8	a	475	467	459	450	442	434	426	418	409
	b	1469	1438	1395	1339	1271	1191	1098	993	875
	c	1469	1438	2395	1339	1271	1191	1098	993	875

GRADO DE TENSION F. 8.

Número de Cerchas		Tramos (m)								
		06	09	12	15	18	21	24	27	30
2	a	146	141	136	131	126	120	115	110	105
	b	459	440	413	379	337	287	230	165	93
	c	459	440	413	379	337	287	230	265	93
4	a	299	293	286	280	273	267	260	254	247
	b	928	904	870	827	773	710	637	555	463
	c	928	904	870	827	773	710	637	555	463
6	a	452	444	437	429	421	413	405	397	389
	b	1398	1369	1328	1275	1209	1133	1045	944	832
	c	1398	1369	1328	1275	1209	1133	1045	944	832
8	a	606	596	581	578	569	559	550	541	532
	b	1868	1833	1785	1722	1646	1556	1452	1334	1202
	c	1868	1833	1785	1722	1646	1556	1452	1334	1202

Tabla 8.3.
MOMENTOS DE CURVATURA CON LA CARGA VIVA Y LA
REACCION DE LOS EXTREMOS
 (... Continuación)

GRADO DE TENSION F. 11.

Número de Cerchas		Tramos (m)								
		06	09	12	15	18	21	24	27	30
2	a	184	179	173	167	161	155	150	144	138
	b	483	461	430	390	343	283	220	146	63
	c	578	557	526	487	439	382	317	242	159
4	a	378	370	363	356	348	341	334	326	319
	b	978	950	912	862	802	730	647	554	449
	c	1170	143	1104	1054	994	922	840	746	641
6	a	571	562	553	544	535	527	518	509	500
	b	1473	1440	1393	1334	1260	1174	1074	961	835
	c	1762	1728	1682	1622	1544	1462	1362	1249	1123
8	a	764	754	743	733	722	712	702	691	681
	b	1969	1930	1875	1805	1719	1618	1501	1368	1220
	c	2353	2314	2260	2189	2104	2002	1885	1753	1605

GRADO DE TENSION F. 14.

Número de Cerchas		Tramos (m)								
		06	09	12	15	18	21	24	27	30
2	a	227	220	213	206	200	193	186	180	173
	b	479	455	420	374	319	253	178	92	---
	c	734	708	674	628	573	508	432	347	251
4	a	463	455	446	438	430	421	413	404	396
	b	975	943	899	843	773	692	597	490	371
	c	1483	1451	1408	1351	1282	1200	1105	998	879
6	a	700	690	680	670	660	649	639	629	619
	b	1470	1432	1379	1311	1228	1130	1016	888	744
	c	2232	2194	2141	2073	1990	1892	1779	1650	1507
8	a	936	925	913	901	889	878	866	854	842
	b	1965	1921	1859	1779	1682	1568	1435	1286	1118
	c	2981	2937	2875	2796	2699	2584	2452	2302	2134

Tabla 8.3.
MOMENTOS DE CURVATURA CON LA CARGA VIVA Y LA
REACCION DE LOS EXTREMOS
(... Continuación)

GRADO DE TENSION F. 17.

Número de Cerchas	Tramos (m)									
	06	09	12	15	18	21	24	27	30	
2	a	225	217	209	202	194	186	179	171	164
	b	477	448	408	357	294	219	133	36	---
	c	769	740	700	649	586	511	425	328	219
4	a	461	451	442	433	423	414	404	395	385
	b	972	936	886	822	744	651	544	423	288
	c	1555	1520	1470	1406	1328	1235	1128	1007	872
6	a	697	686	675	663	652	641	629	618	607
	b	1466	1423	1364	1287	1194	1083	955	811	649
	c	2342	2299	2240	2163	2070	1959	1831	1867	1525
8	a	934	920	907	894	881	868	854	841	828
	b	1960	1911	1842	1753	1644	1515	1366	1198	1010
	c	3128	3079	3010	2920	2812	2683	2534	2366	2178

GRADO DE TENSION F. 22. - 27. y 34.

Número de Cerchas	Tramos (m)									
	06	09	12	15	18	21	24	27	30	
2	a	222	213	205	196	187	178	169	160.	51
	b	473	440	394	334	261	174	74	---	---
	c	765	732	686	626	553	436	367	254	128
4	a	458	447	436	425	414	403	393	382	371
	b	967	926	869	795	705	598	475	336	180
	c	1551	1510	1453	1379	1289	1182	1059	920	764
6	a	694	681	668	655	642	629	616	603	590
	b	1461	1412	1344	1256	1149	1022	876	710	525
	c	2337	2288	2200	2132	2025	1898	1752	1586	1401
8	a	930	915	900	885	870	855	839	824	809
	b	1955	1898	1819	1717	1593	1446	1277	1085	870
	c	3123	3066	2987	2885	2761	2614	2445	2253	2038

Tabla 8.4.
DISEÑO DE LA CUBIERTA
(Profundidad requerida en mm)

PUENTES DE 2 CERCHAS

Carga de rodadura	Grado de tensión									
	F4	F5	F7	F8	F11	F14	F17	F22	F27	F34
1	100	100	75	75	75	75	75	75	75	75
2	125	125	100	100	100	75	75	75	75	75
3	150	150	125	125	100	100	100	75	75	75
4	---	---	150	125	125	100	100	100	75	75
5	---	---	---	150	125	125	100	100	100	75
6	---	---	---	---	150	125	125	100	100	100

PUENTES DE 4 - 6 y 8 CERCHAS

Carga de rodadura	Grado de tensión									
	F4	F5	F7	F8	F11	F14	F17	F22	F27	F34
1	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
2	100	75	75	75	75	75	75	75	75	75
3	100	100	100	75	75	75	75	75	75	75
4	125	100	100	100	75	75	75	75	75	75
5	150	125	100	100	100	75	75	75	75	75
6	150	125	125	100	100	100	75	75	75	75

Los aceros promedio de la mayoría de los productores se acoplarán a este *standard*; no se deben utilizar aceros *substandard*. En caso de duda se deben consultar los laboratorios de prueba de materiales gubernamentales o privados atendiendo la calidad del acero en cuestión. En algunos lugares se experimentan dificultades en la obtención de suministros de barras de un diámetro mayor. Si no están disponibles de los comerciantes de aceros estructurales, los proveedores de ingeniería mecánica pueden tener ejes del tamaño requerido. Los ejes a menudo están hechos de una aleación diferente y tienen que ser unidos con soldadura especial dependiendo de su composición. Las cantidades de acero requeridas por tablero se dan en la *Tabla 8.5*.

8.6.2. OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE MADERA
(Ver *Capítulos I, II y III* del presente manual).

Tabla 8.5.
CANTIDADES REQUERIDAS DE ACERO POR TABLERO
PESO Y AREA DE SUPERFICIE DE LAS PLACAS DE ACERO

Número de	Placa	Superficie (m)				Peso (kg)				Longitud de la barra redonda (m)		
		6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	32mm ϕ	38 mm ϕ	50 mm ϕ
8.16.	1		0.086				6.05				0.055	
8.17.	1A		0.094				6.64				0.055	
8.20.	2	Cordón	0.325			15.27						
8.21.	2A	Cordón	0.268	0.054		12.59		5.07				
8.23.	3			0.017				1.64				
8.23.	4			0.017	0.017			1.64		0.055		
8.25.	5		0.056	0.012		2.64	0.84					
8.21.	6	Cordón	0.485	0.015		21.85	1.05					
8.22.	6A	Cordón	0.402		0.077	18.88			9.28			
8.24.	8		0.022			0.32						
8.18.	9		0.086				6.05					0.06
8.19.	9A		0.094				6.64					0.06
8.23.	10		0.017				1.64					
8.23.	11		0.017				1.64					
8.24.	13		0.012				0.8					
8.25	Cojinete macho			0.091				8.55		0.055	(0.055)	
8.26.	Cojinete hembra			0.091				8.55				

a/ Trabajo pesado

Lenguetas de unión por tablero

68 pcs 58 mm largo; 48 pcs 100 mm;

Longitud de la barra redonda de 12 mm ϕ : 8.2

Clavos para tablero

100 mm x 4.88 mm ϕ de 1.1 kgs

Pernos por tablero

12 mm ϕ 2 pcs 150 mm largo

25 mm ϕ 1 pcs 150 mm largo

25 mm ϕ 2 pcs 250 mm largo, con 275 mm. Arandelas.

8.6.3. COMPONENTES DE ACERO

8.6.3.1. CORTE Y PERFORACION

Las dimensiones de los componentes de acero se exhiben en las *Figuras 8.16. y 8.26.* Todos los componentes, excepto los cordones, pueden ser cortados con fuero, dado que la tolerancia de ± 1 mm para los cordones y los demás componentes no se pueden exceder.

Las perforaciones deben ser iniciadas con un centro-punteo a través de plantillas hechas de 24 hojas calibradas de acero. En algunos países, la longitud *standard* de la tira es de 100 mm y 6 mm, de la cual se hacen los cordones de acero de 6 mts. Esto significa que hay considerable desperdicio si se corta el cordón MK2, el cual tiene 3.1 mts de largo de una tira *standard*.

En tales casos es preferible utilizar los cordones alternativos 2A y 6A mostrados en las *Figuras 8.20 y 8.22.*

8.6.3.2. SOLDADURA

Cuando se prueban los componentes de acero, la mayoría de las fallas se han detectado en las soldaduras. Es importante, por tanto, seguir los diagramas con respecto al tamaño de la soldadura, particularmente cuando un pasador se introduce a través de una placa y se solda al otro lado, tales como las placas 1 y 9 de los tableros.

Bajo ninguna circunstancia, los componentes deben estar hechos de pedazos más cortos soldados entre sí, excepto donde se indica específicamente en los diagramas.

Donde se necesite soldar aceros de diferente composición, se aplican las observaciones vistas en el presente *Capítulo*.

8.7. ENSAMBLE DEL TABLERO

La horma de montaje se muestra en las *Figuras 8.27 y 8.28.*, la cercha se arma en dos mitades, cada una consta de una pieza marca 1T, dos piezas marca 2T, una pieza marca 3T y dos piezas marca 4T.

El tratamiento de preservativo mediante uno de los dos métodos descritos anteriormente se debe llevar a cabo después del corte. Las dos diagonales marca 2T de 200 mm x 50 mm, se colocan en la horma con su filo superior contra las guías diagonales.

El cordón marca 1T de 250 x 5 mm se coloca a través de las diagonales, centradas en las marcas mostradas en las guías de los extremos. Estos componentes luego se fijan en posición, con un clavo de 100 mm en cada intersección.

Figura 8.16.
PLACA DEL TABLERO

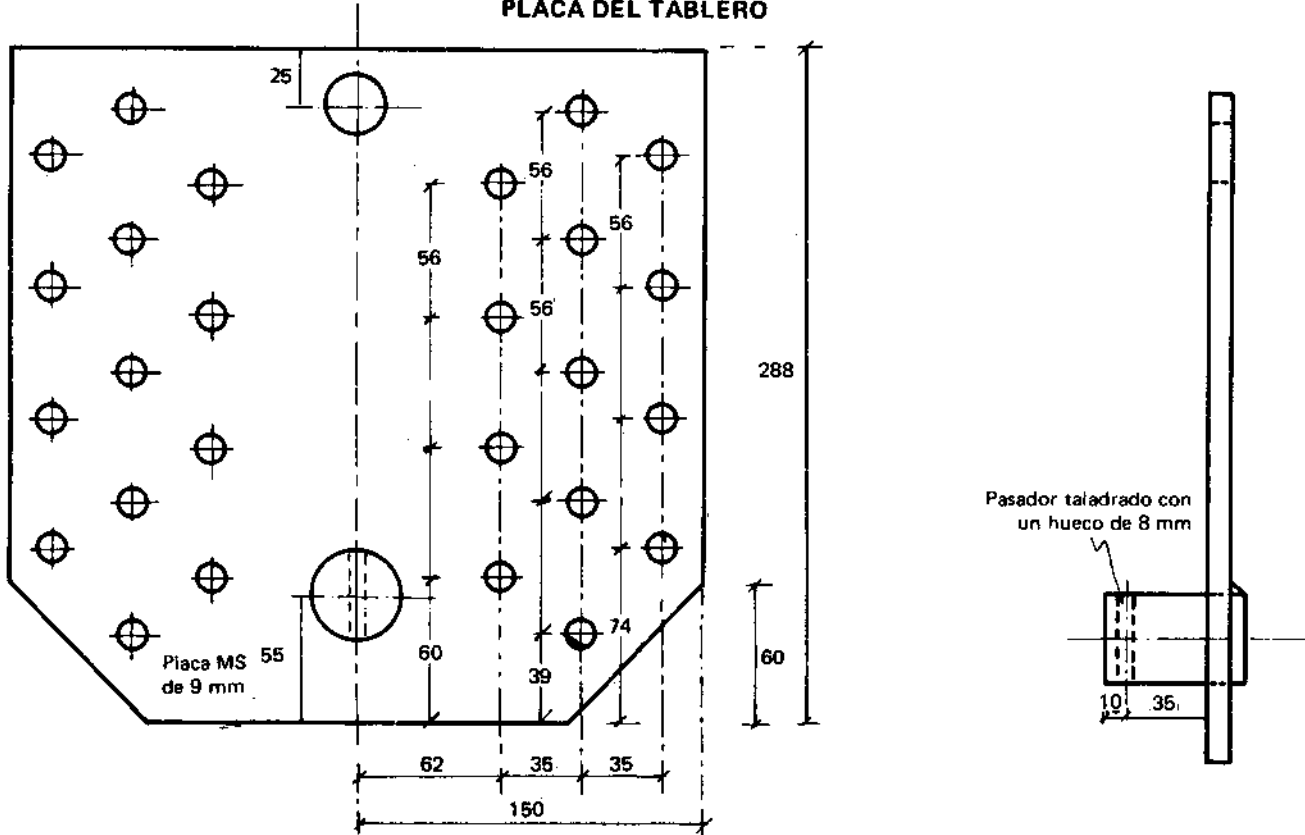


Figura 8.17.
PLACA DEL TABLERO 1A

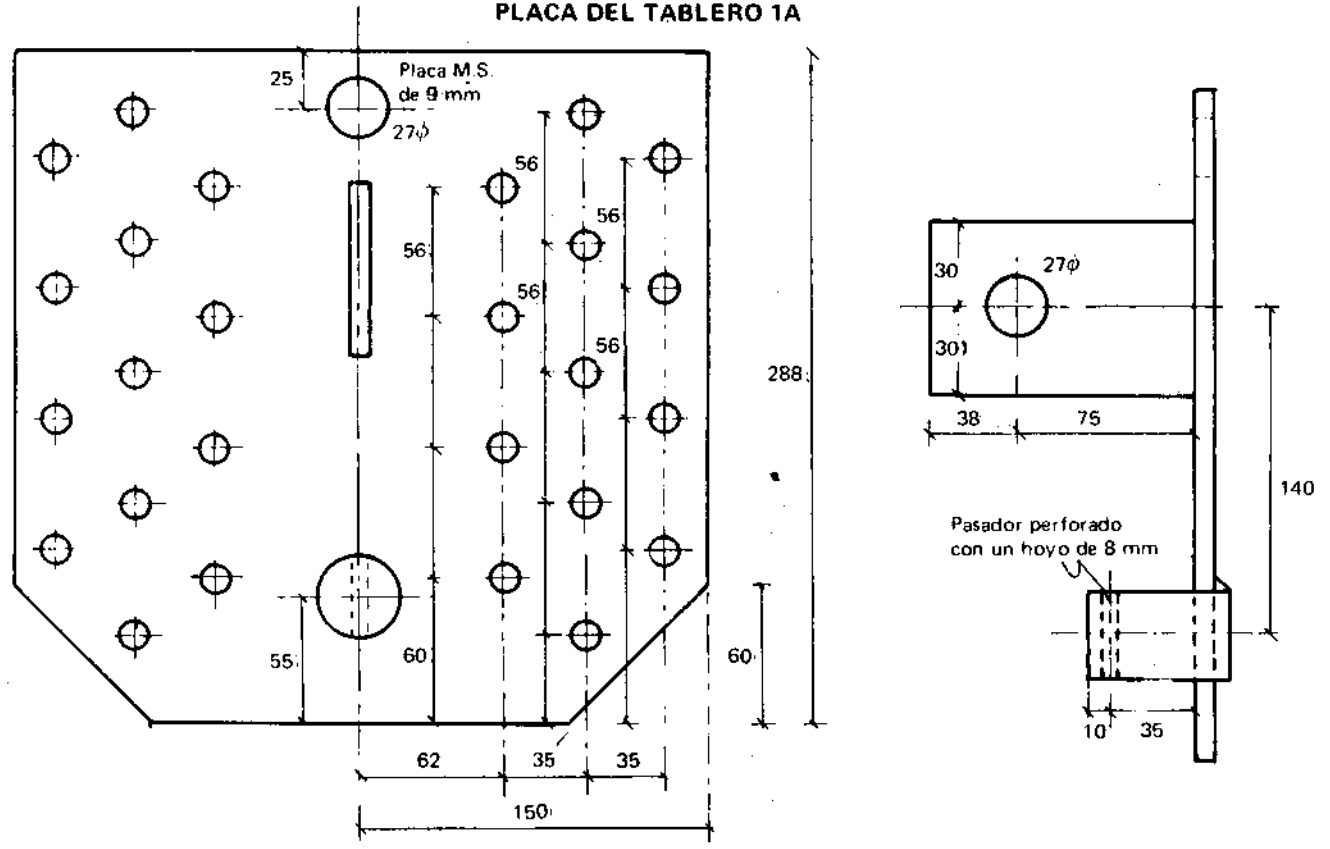


Figura 8.18.
PLACA DEL TABLERO No. 9

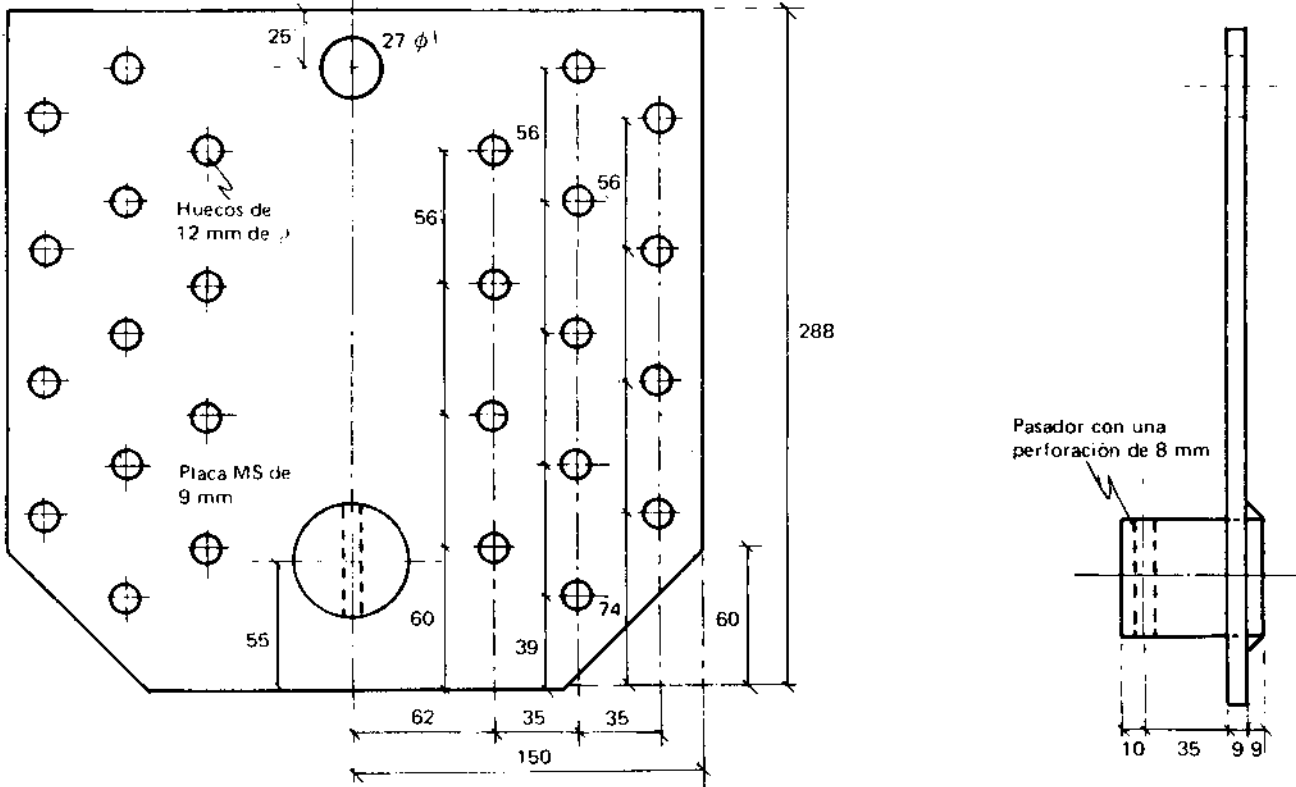


Figura 8.19.
PLACA DEL TABLERO No. 9A

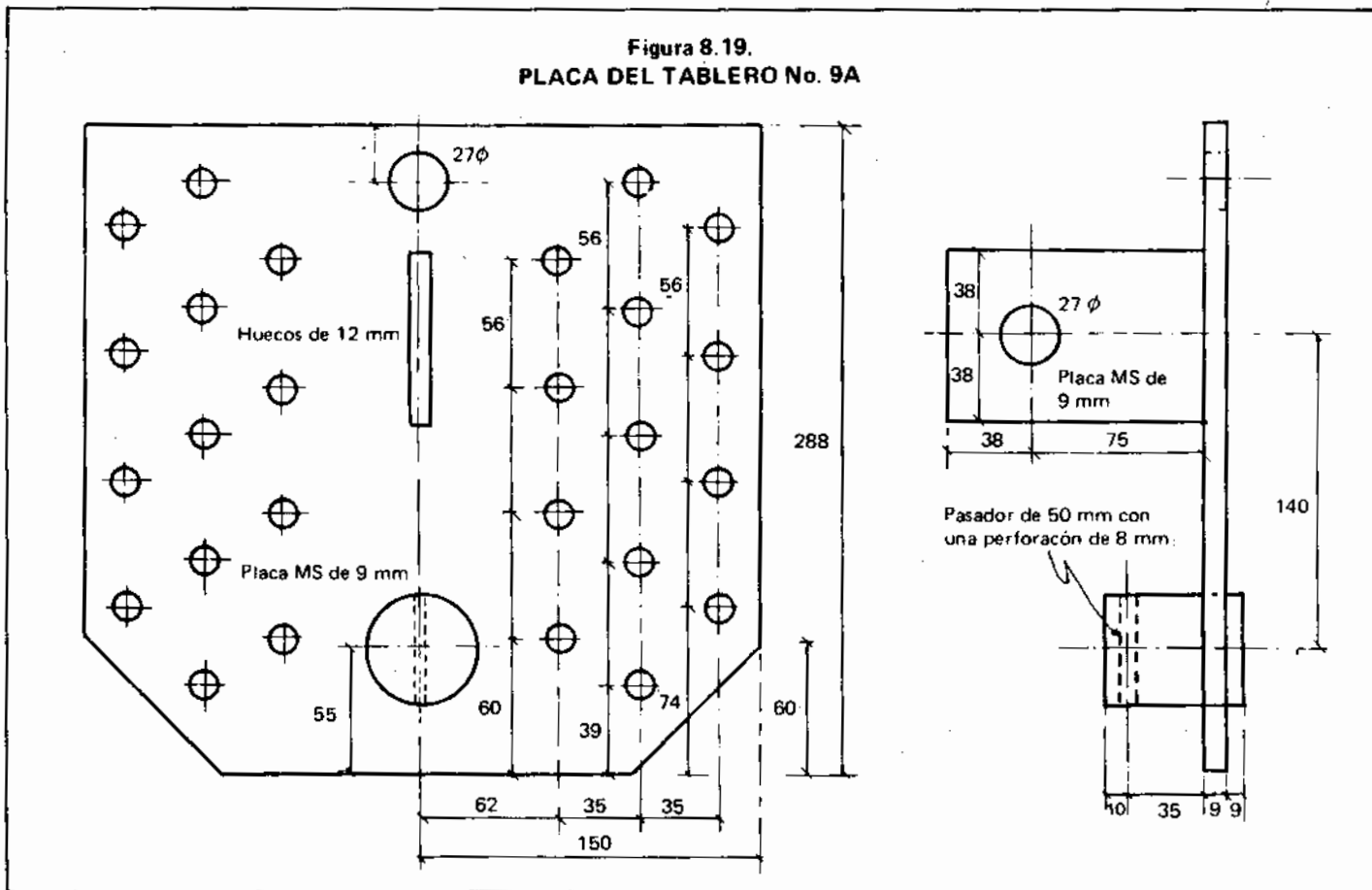


Figura 8.20.
CORDONES 2 Y 2A

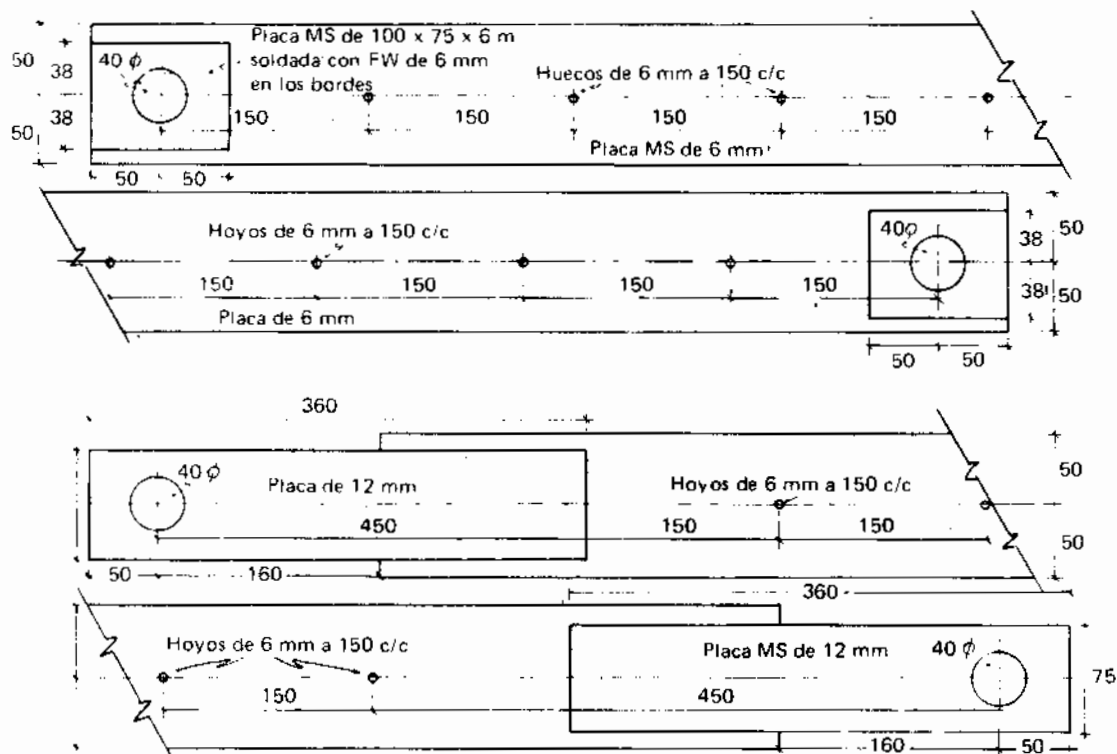


Figura 8. 21.
CORDON 6

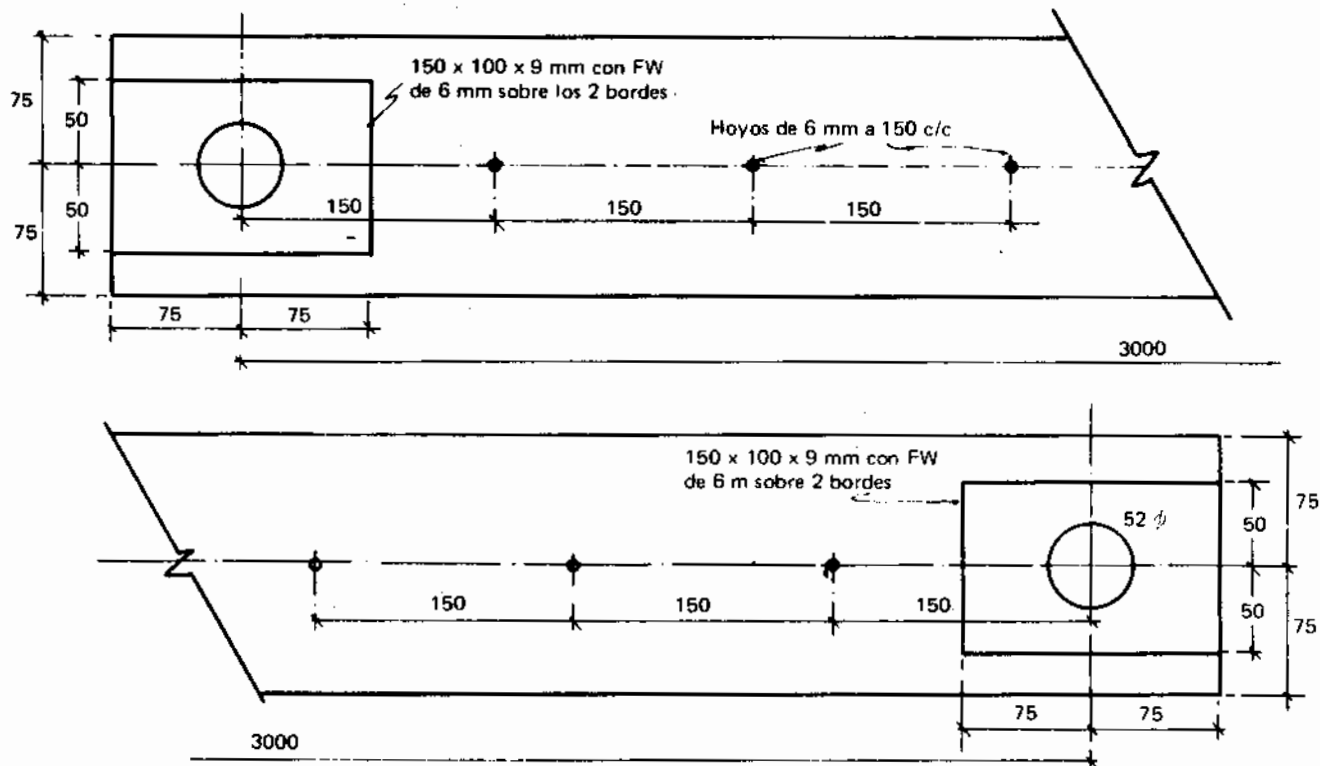


Figura 8.22.
CORDON 6A

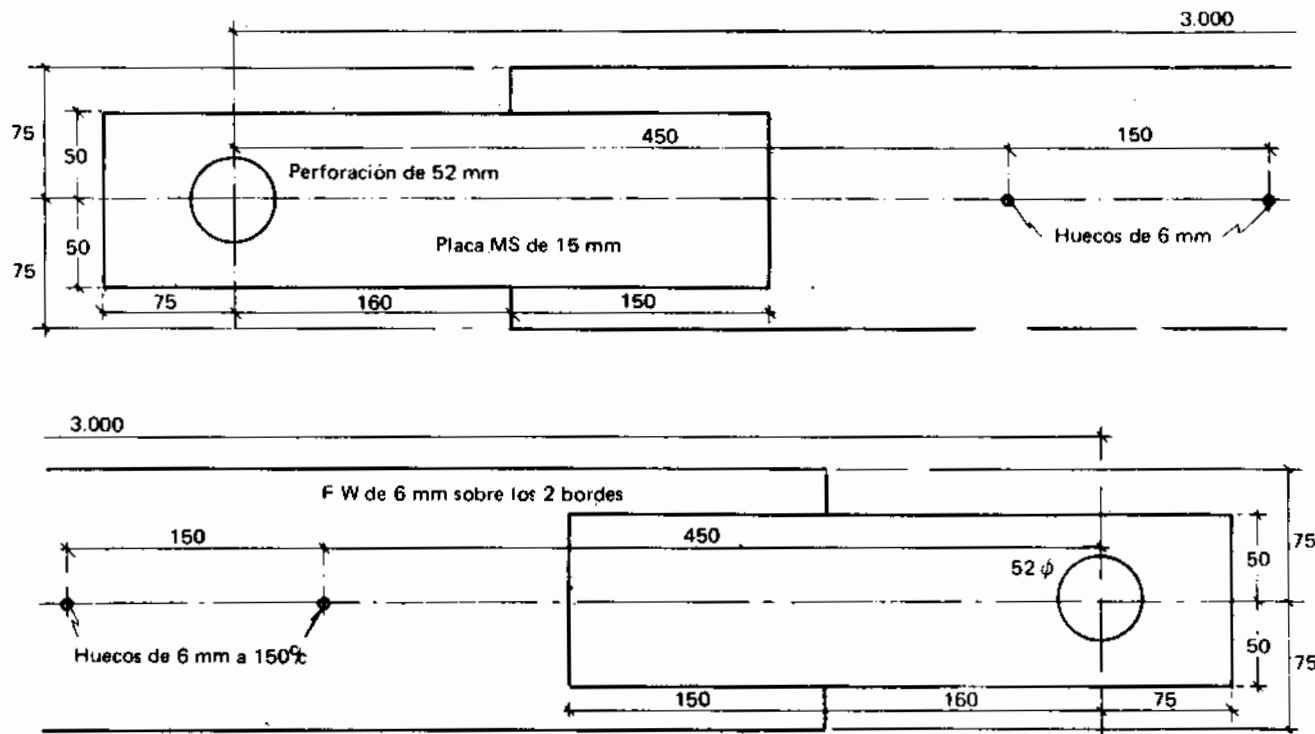
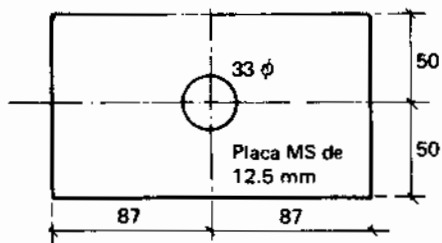
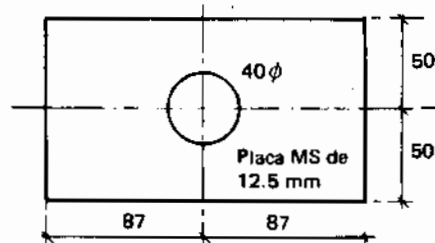


Figura 8.23.
PLACAS DE TABLERO 3, 4, 10 Y 11

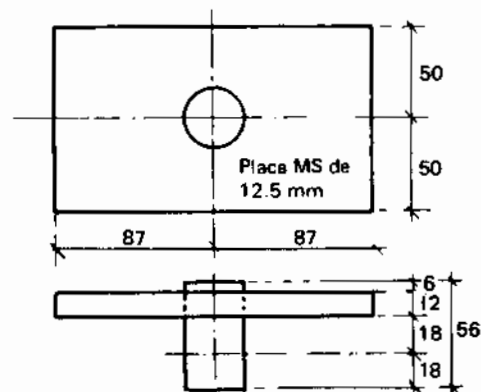
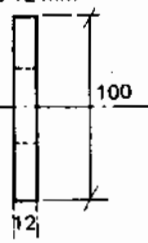


PLACA DE TABLERO 3

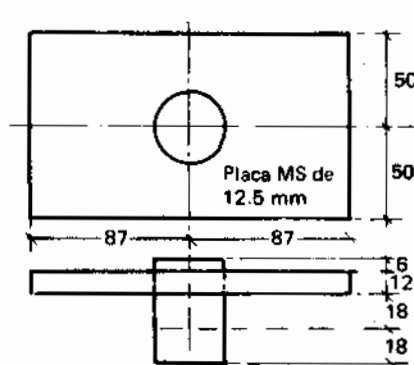


PLACA DE TABLERO 10

Plancha MS
de 12 mm



PLACA DE TABLERO 4

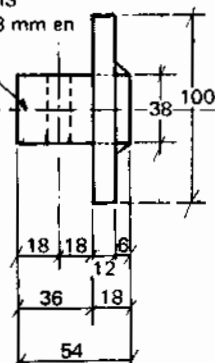


PLACA DE TABLERO 11

Espiga de ϕ 38 mm atraviesa
la perforación de ϕ 38 mm en
la plancha MS

Perforación de ϕ 8 mm en
la espiga

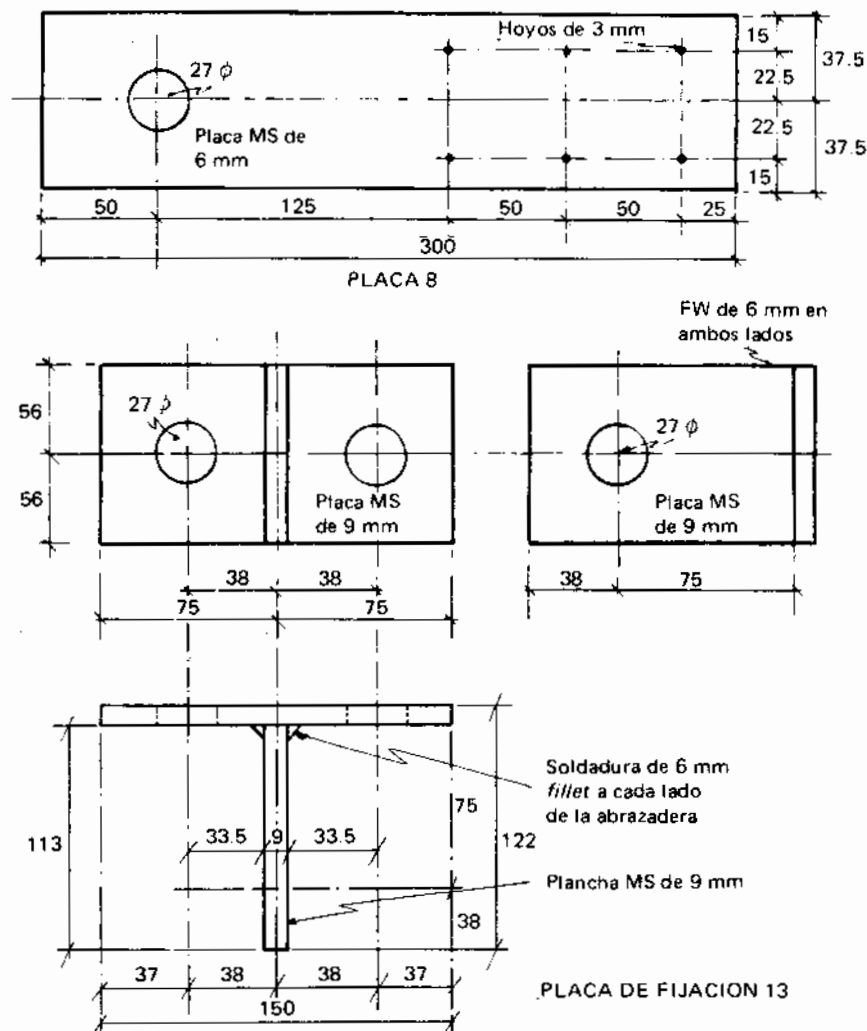
Perforación de ϕ
8 mm de la
espiga debe
estar alineada
verticalmente con
Q de la plancha



Largo total de la espiga

Soldadura de 4 mm fillet
alrededor de la espiga de ϕ 38 mm

Figura 8. 24.
PLACAS DE TABLERO 5 Y 13



NOTA

Todas las caras de las planchas deben quedar limpias.

Todas las abrazaderas deberán estar a escuadra antes de proceder a su soldadura las piezas 9/9A deberán ser fabricadas por parejas para asegurar el alineamiento de las perforaciones destinadas a recibir los pernos.

Para una mejor identificación será conveniente marcarlas.

Las perforaciones grandes deberán ser taladradas o fresadas y no cortadas mediante soldadura de llama.

Figura 8. 25.
PLACA DE TABLERO 5

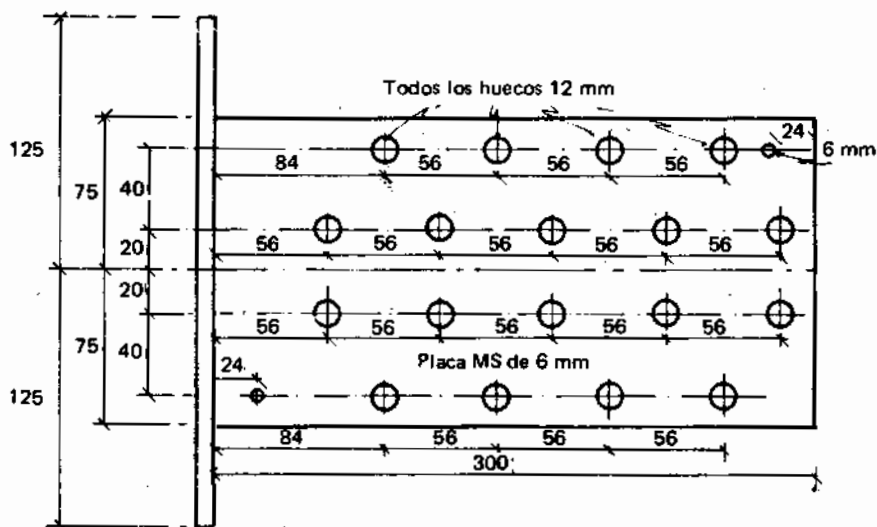
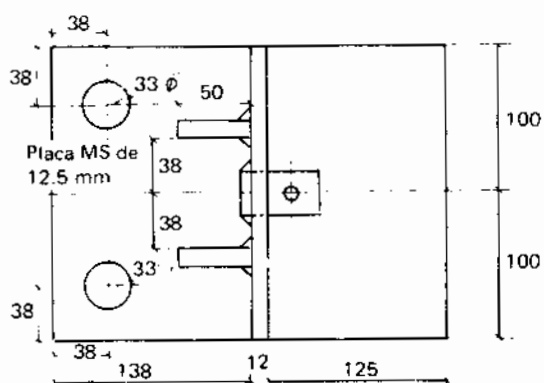
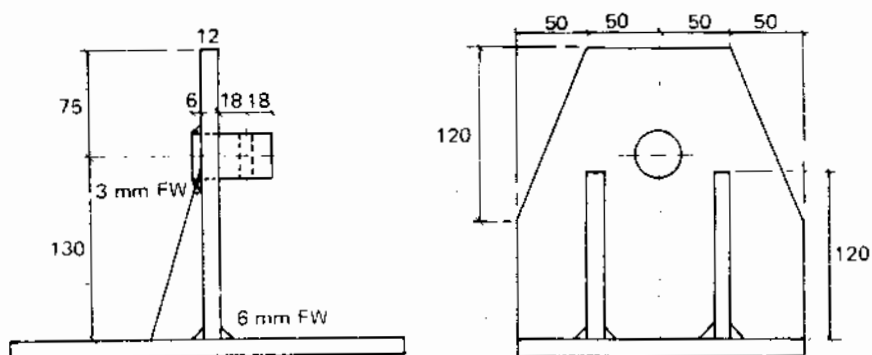


Figura 8. 26.
SOPORTES



El soporte hembra es idéntico pero se omite el pasador

Figura 8.27.
PLANO DE LA PLANTILLA DE ENSAMBLAJE

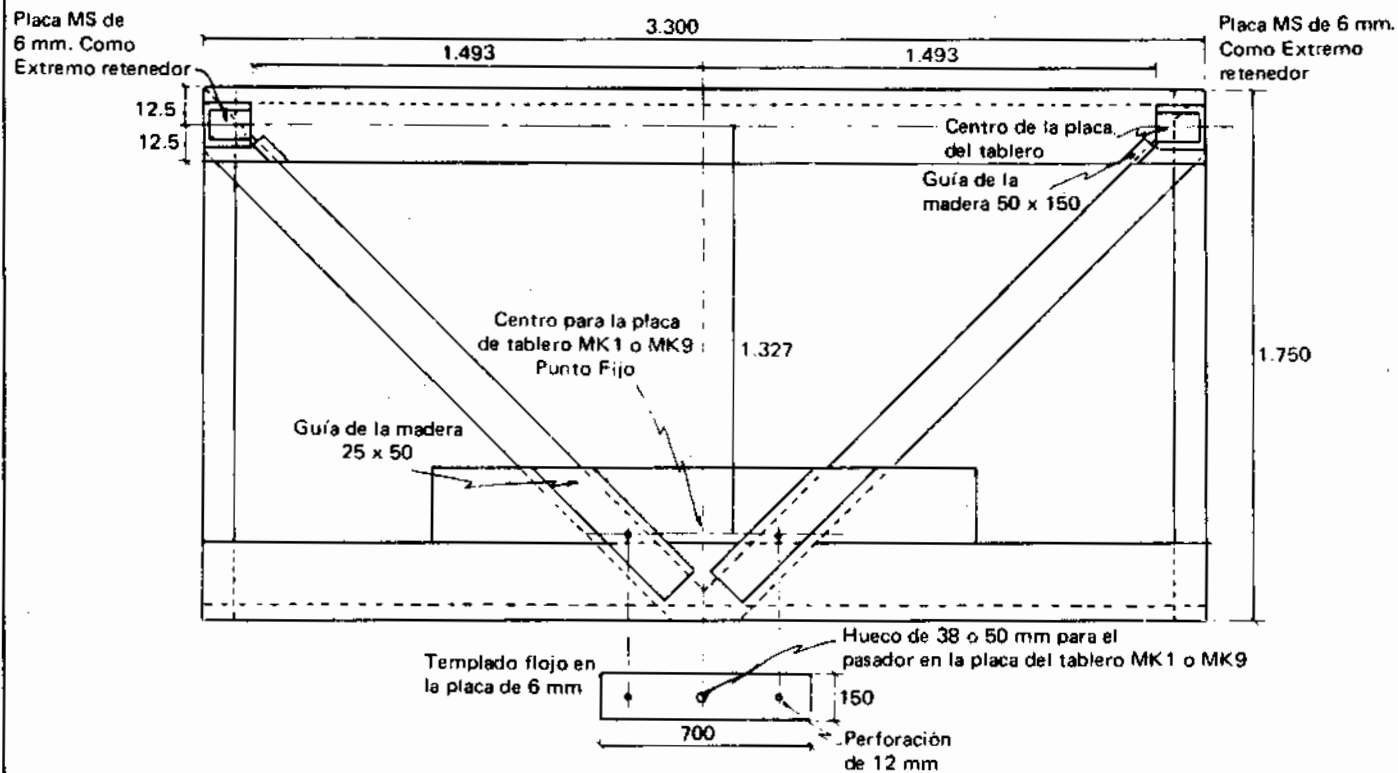
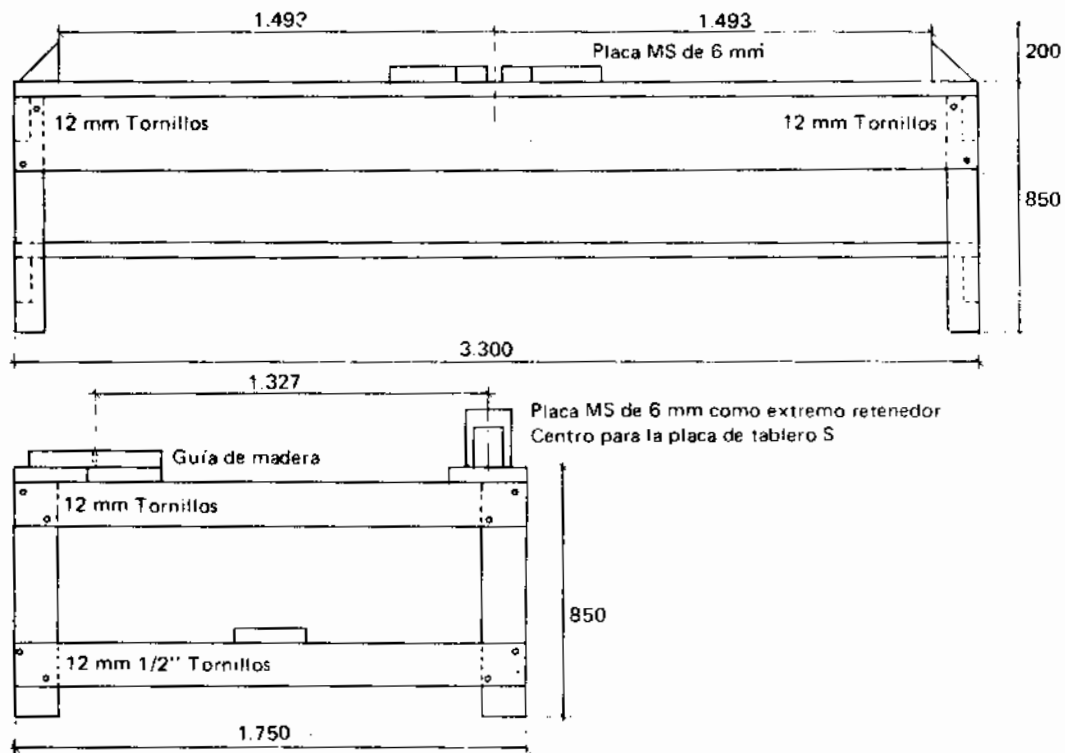
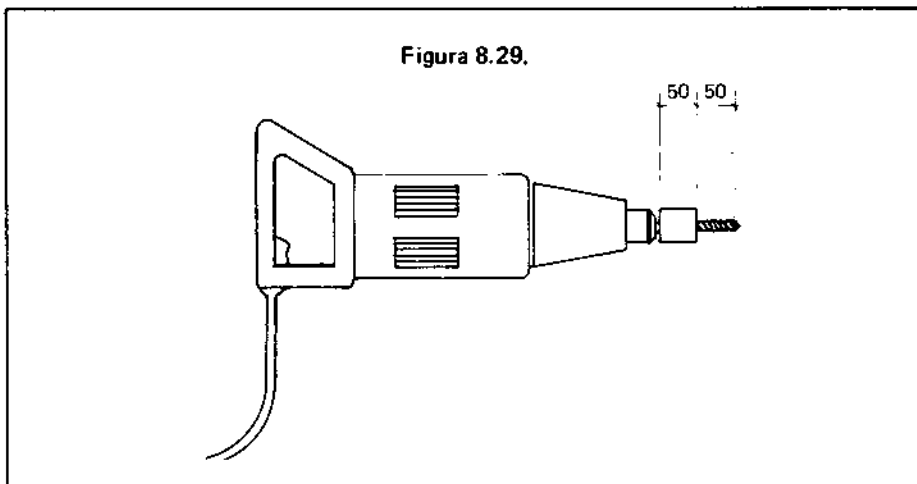


Figura 8.28.
ELEVACIONES DE LA PLANTILLA DE ENSAMBLAJE

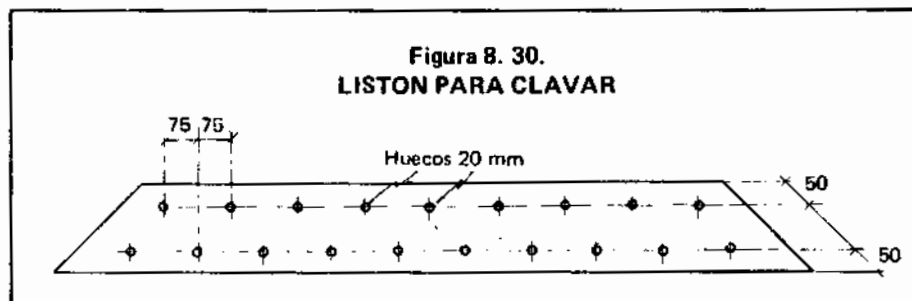




Las placas 5 y 1 ó 1A (9 ó 9A para construcción pesada), se colocan en posición. Una mitad del tablero se arma utilizando la placa 1 (ó 9), la otra mitad usando la placa 1A (ó 9A) de modo que el tablero terminado tendrá una abrazadera de arriostramiento sólo a un lado. Utilice la plantilla suelta, como lo muestra la *Figura 8.30.*, para colocar las placas 1 a 9. Se hace un hueco con diámetro igual al del pasador más 6 mm y de una profundidad de 6 mm en la pieza marca 2T para permitir que la placa 1 ó 9 quede a ras. Todas las placas se centran utilizando las marcas en la horma y se fijan en posición con clavos de 50 mm en los huecos suministrados, de 3 mm. Haga huecos de 12 mm a través de las placas dentro de la madera utilizando un retenedor en el taladro como lo muestra la *Figura 8.29.* para dar un hoyo de 50 mm, donde la perforación es sobre un solo componente y de 100 mm de profundidad, donde la diagonal de 200 x 50 mm cruza el cordón de 250 x 50 mm. Introduzca en todos los huecos tapones de una longitud igual a la profundidad del hoyo, golpeándolos con un martillo liviano.

Arme la segunda mitad del tablero de la misma manera. Ahora levante la mitad del tablero con la placa 1 (ó 9) y colóquelo en la horma, boca abajo, o sea con las placas conectoras contra la cama de la horma. Coloque la otra mitad con la placa 1A (ó 9A), boca arriba, y centre todas las placas de nuevo sobre las marcas. Taladre las dos diagonales con perforaciones de 4 mm, utilizando la plantilla exhibida en la *Figura 8.30.* y clávela con puntillas de 100 mm. Se presume que las puntillas tienen 4.88 mm de diámetro.

Introduzca dos ángulos marca 4T entre los cordones marca 1T. Taladre y clave con puntillas de 100 mm en los centros de 150 mm. Luego, perfore y fije con dos tornillos de 12 mm, utilizando arandelas cuadradas de 50 mm y 3 mm de espesor.



Levante el tablero, voltéelo y clave los ángulos marca 4T del otro lado, asegurándose que las puntillas estén escalonadas a 75 mm. Al tener verticalmente listo para soldadura, los tapones se soldan primero. Asegúrese que las soldaduras no se proyecten de la superficie de la placa más de 2 mm. Ahora, solda la otra placa 3 (ó 11) en un extremo y la placa 4 (ó 14) en el otro, cada una en el centro de las superficies verticales de las placas 5 y 5A. Asegúrese que se haga una longitud total de soldadura de 6 mm en todos los ejes verticales.

Complete el tablero ajustando 2 pernos de 275 mm en el cordón, con arandelas sobre las caras de madera y un perno de 175 mm en la parte inferior del puntal. En esta etapa se ajusta un afianzador de arriostramiento 13. No intente forzar los tornillos a través de las perforaciones; deben ser introducidos golpeándolos levemente con un martillo ligero.

8.8. LEVANTAMIENTO

Las bases de concreto no están descritas en este informe; se presume que éstas habrán sido preparadas de antemano. Las distancias requeridas entre las caras de los estribos están indicadas en la *Figura 8.31*.

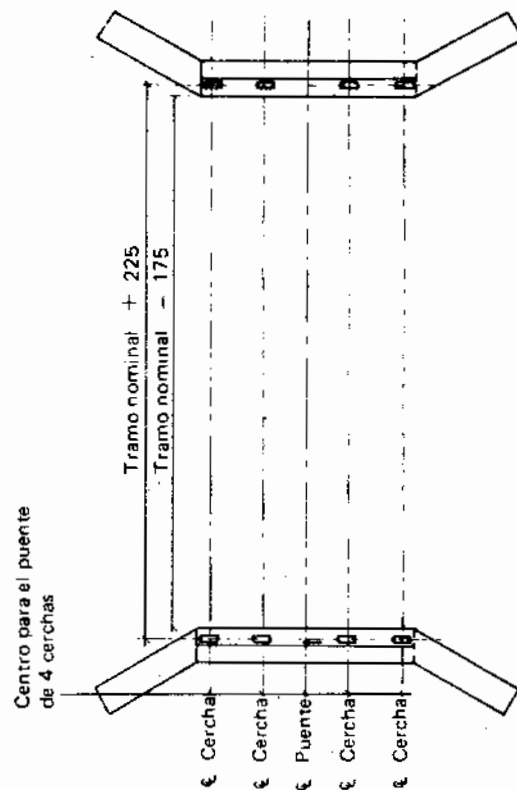
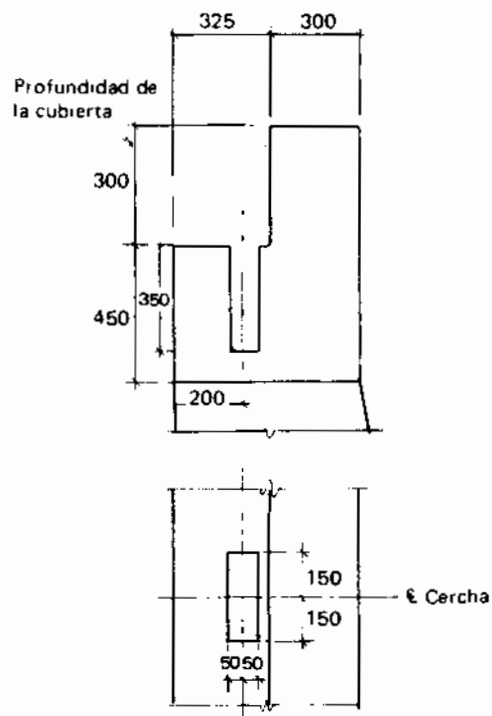
8.8.1. COMPONENTES Y EQUIPO DE LEVANTAMIENTO

La *Tabla 8.6* relaciona todos los componentes requeridos para construir un puente de acuerdo con las instrucciones dadas en este manual.

8.8.1.1. EQUIPO DE LEVANTAMIENTO PARA CRUCE HUMEDO

La *Tabla 8.7* relaciona el equipo requerido para un cruce donde no se

Figura 8.31.
UBICACION DE LA BASE



pueden utilizar apoyos intermedios. Los ganchos son del tipo "Tirfor" y aunque no son esenciales se ha encontrado que son muy satisfactorios al utilizarlos en todos los casos, la carga máxima por cable es de 1.6 tons, cuando se aplican las dimensiones en la *Tabla 8.8.* (excepto donde se indique).

8.8.1.2. EQUIPO DE LEVANTAMIENTO PARA CRUCE SECO

El método de cruce seco no requiere de la adquisición de equipo especial, tal como malacates, etc., y es preferible si bajo el tramo encontramos apoyo intermedio continuo.

8.9. METODO DE CRUCE HUMEDO

8.9.1. PREPARACION

Levante columnas de desplazamiento en cualquier banco (ver *Figura 8.32.*). Estas se hacen con postes de madera de 130 mm de diámetro o tubos de acero de 10 mm (ver *Figura 8.33.*). Coloque anclajes en el centro de la columna de desplazamiento para sostener el cable. Esto se realiza enterrando un tronco con un cable de acero como se muestra en las *Figuras 8.34.* y *8.36.* Asegúrese que el cable esté dirigido a través del lado de la zanja, haciendo una ranura como se muestra en el diagrama. Se puede utilizar alternativamente un árbol que esté en una posición apropiada.

Se introduce un cable estático entre las columnas de desplazamiento como lo muestra la *Figura 8.32.* y se unen al malacate No. 1, el cual a su vez es enganchado a un anclaje en el otro lado del tramo. Ajuste la tensión del cable para dar la longitud colgante requerida entre las poleas (ver *Tabla 8.8.*).

8.9.2. ENSAMBLE INICIAL

Las cerchas que tienen arriostramiento vertical entre sí, se levantan primero. Ensamble 2 pares de tableros entre sí con los cordones bajo el centro de una columna de desplazamiento con el arriostramiento vertical permanente y el temporal en la posición que lo muestra la *Figura 8.34.* Asegure los cordones con pasadores de 6 mm. Observe que una cercha esté invertida para permitir que los tirantes de arriostramiento queden mirando hacia adentro. Ajuste el arnés elevador mostrado en la *Figura 8.36.* a la parte frontal de los tableros guías. Enganche la polea pasteca al arnés y únalo al cable estático. Enganche el malacate No. 1 al anclaje, lleve el cable a través del bloque, de doble polea y únalo al arnés frontal como lo muestra la *Figura 8.34.*

Tabla 8.6.
COMPONENTES

A. PUENTE DE DOS CERCHAS

Componente	Tramo (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
Tablero	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Cordón	4	8	12	16	20	24	28	32	36
Arrios. Vert.	4	6	8	10	12	14	16	18	29
Torn./riost. (c/u 2 Tueic)	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Arrios. Hor.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cubierta	456	684	912	1140	1368	1596	1824	2052	2280
Band. rodad	48	54	72	90	108	126	144	162	180
Encintado	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Soportes	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Torn. Soporte	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Clavos 150 mm	14	22	30	37	44	52	60	67	74
Clavos 100 mm	53	78	104	130	155	180	205	232	258
Riost. para lev. Temp.	20	30	40	50	60	70	80	30	100

B. PUENTE DE CUATRO CERCHAS

Componente	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
Tablero	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Cordón	8	16	24	32	40	48	56	64	72
Arrios. Vert.	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Torn./Riost.	16	24	32	40	48	56	64	72	80
Riost/horiz.	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Cubierta	456	584	912	1140	1368	1596	1624	2052	2280
Band/Rodad.	48	54	72	90	108	126	144	162	180
Encintado	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Soportes	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Torn. Soport.	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Clavos 150 mm	14	22	30	37	44	52	50	57	74
Clavos 100 mm	53	78	104	130	155	180	205	232	258
Riost. Lev. temporal	24	36	48	60	72	84	96	108	129

Tabla 8.6.
COMPONENTES
(...Continuación)

C. PUENTE DE SEIS CERCHAS

Componente	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
Tablero	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Cordón	12	24	36	48	60	72	84	96	108
Arrios. Vert.	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Torn/Riost.	16	24	32	40	48	56	64	72	80
Arrios/Horiz.	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Cubierta	456	684	912	1140	1388	1596	1824	2052	2280
Band./Rodad.	48	54	72	90	108	126	144	162	180
Encintado	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Soportes	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Torn./soport.	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Clavos 150 mm	14	22	30	37	44	52	60	67	74
Clavos 100 mm	53	78	104	130	155	180	206	232	258
Riost. lev. temporal	24	36	48	60	72	84	96	108	120

D. PUENTE DE OCHO CERCHAS

Componente	Tramos (m)								
	06	09	12	15	18	21	24	27	30
Tablero	16	24	32	40	48	56	64	72	80
Cordón	16	32	48	64	80	96	112	128	144
Arrios. Vert.	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Torn. Riost.	16	24	32	40	48	56	64	72	80
Arrios. Hor.	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Cubierta	456	684	912	1140	1368	1596	1824	2052	2280
Band. Rodad.	48	54	72	90	108	126	144	162	170
Encintado	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Soportes	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Torn./soport	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Clavos 150 mm	14	22	30	37	44	52	60	67	74
Clavos 100 mm	53	78	104	130	155	180	205	232	258
Arrios. lev. Temporal	24	36	48	60	72	84	96	108	120

Figura 8.32.
COMPONENTES Y EQUIPO DE LEVANTAMIENTO
(CRUCE HUMEDO)

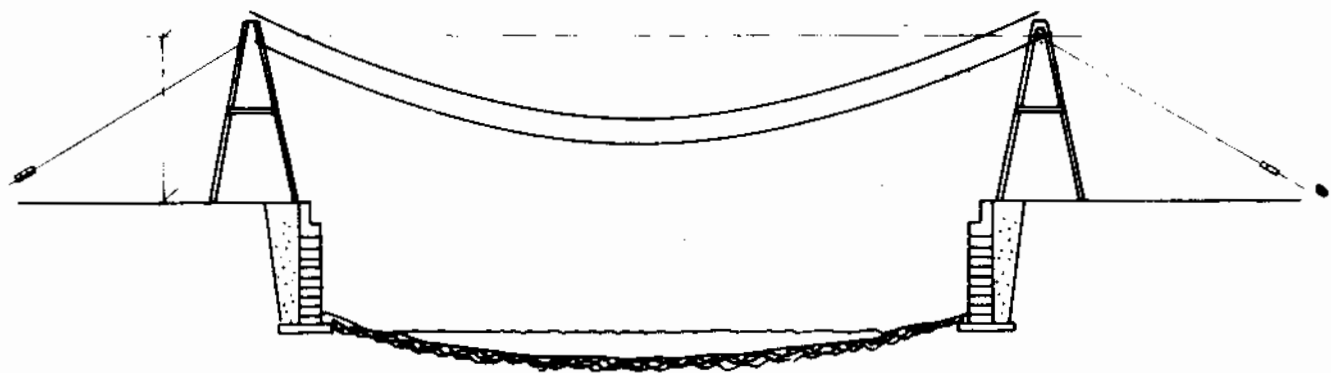


Figura 8.33.
PUNTALES DE ESFUERZO CORTANTE

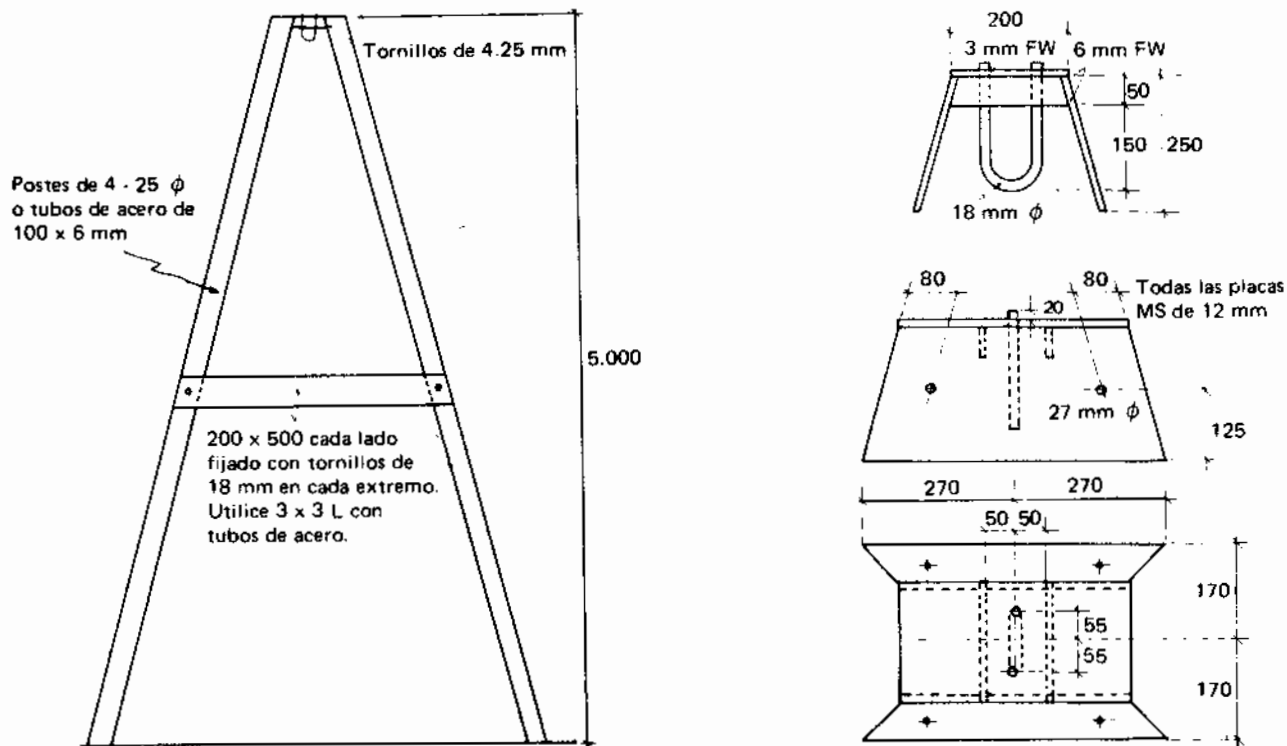


Figura 8.34.
SISTEMA DE ESTABLECIMIENTO DEL CABLE
DE ANCLAJE Y EL ENSAMBLAJE DE CERCHAS

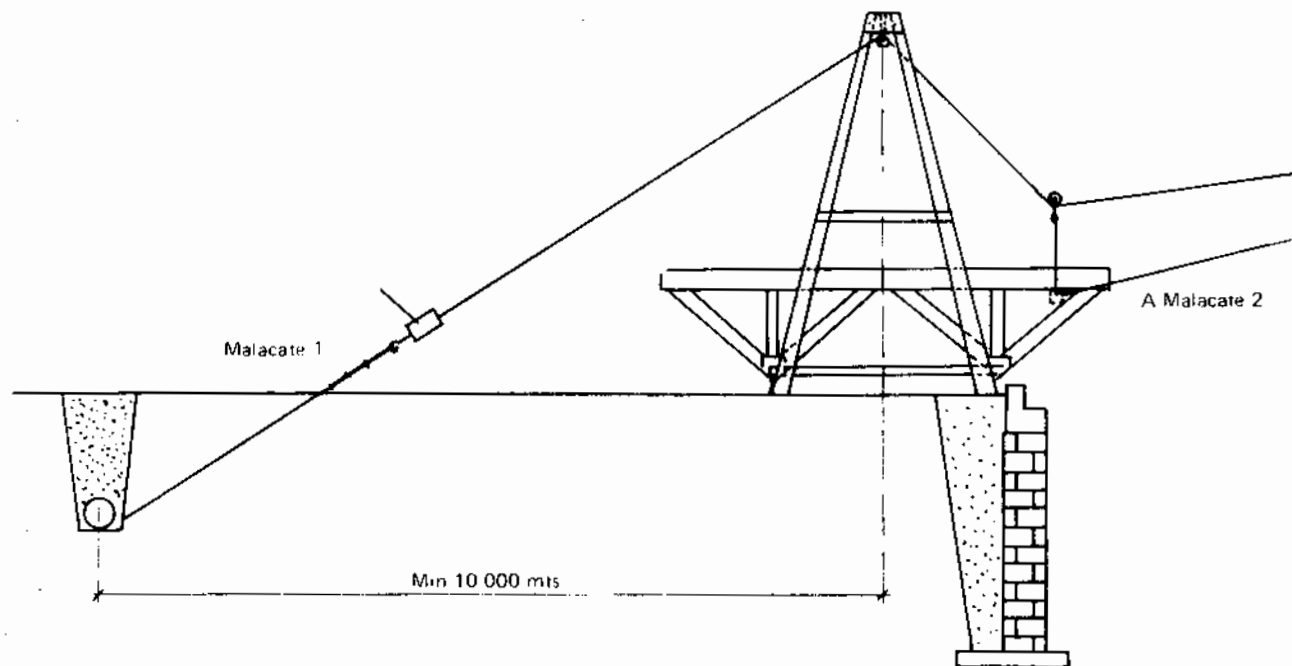


Figura 8.35.
EQUIPO DE LEVANTAMIENTO PARA CRUCE HUMEDO
MOSTRANDO LOS PUNTALES DE ESFUERZO CORTANTE
Y EL ARNES DE ELEVACION

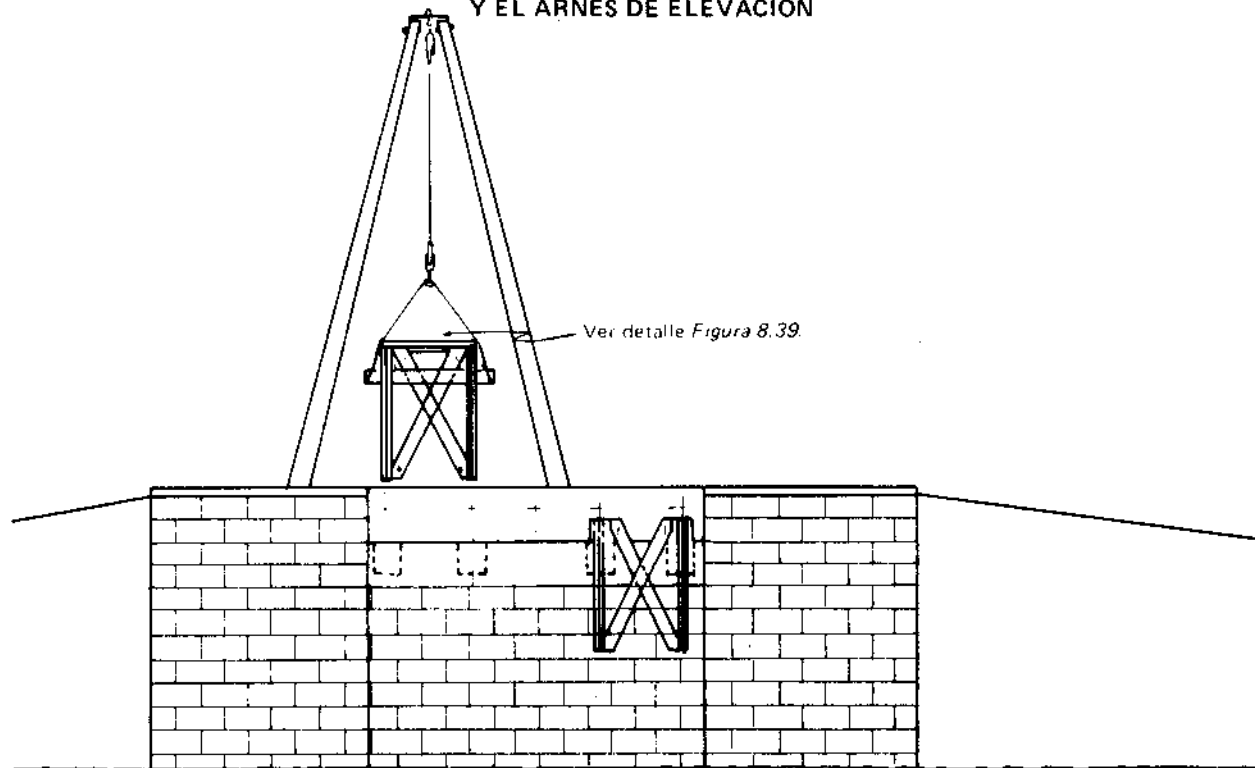


Figura 8.36.
SISTEMA DE LEVANTAMIENTO PARA CRUCE
HUMEDO Y ARNES DE ELEVACION

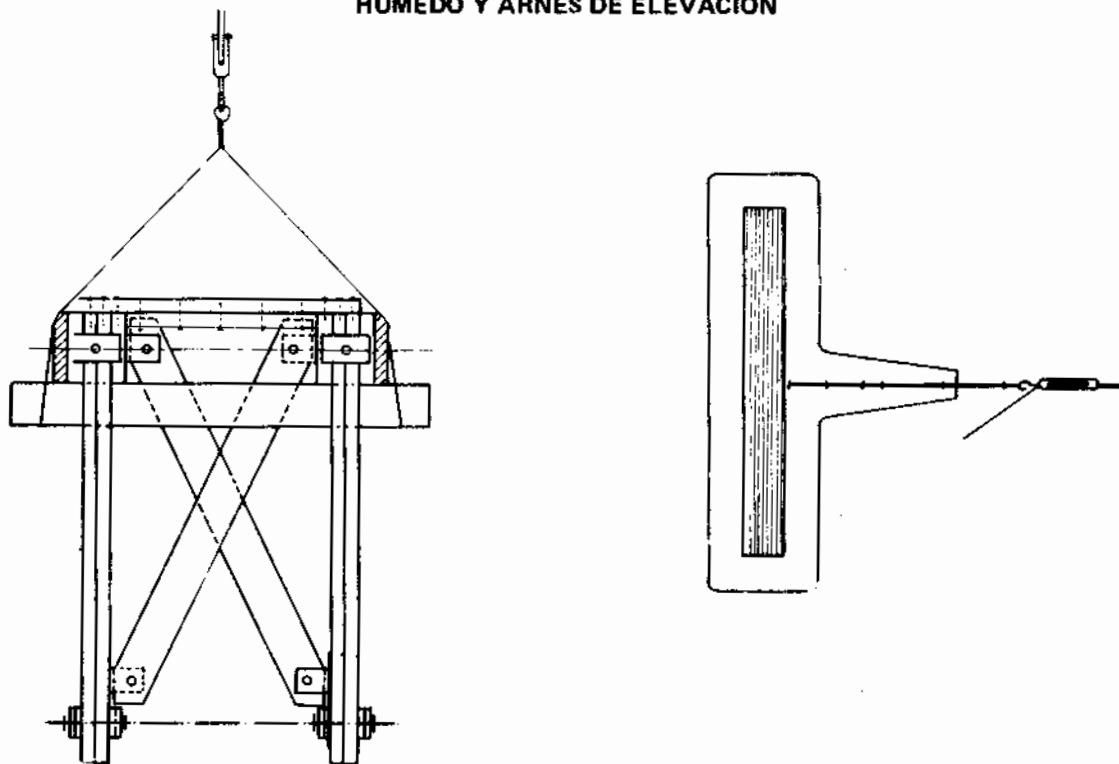


Figura 8.37.
LANZAMIENTO DE CERCHAS

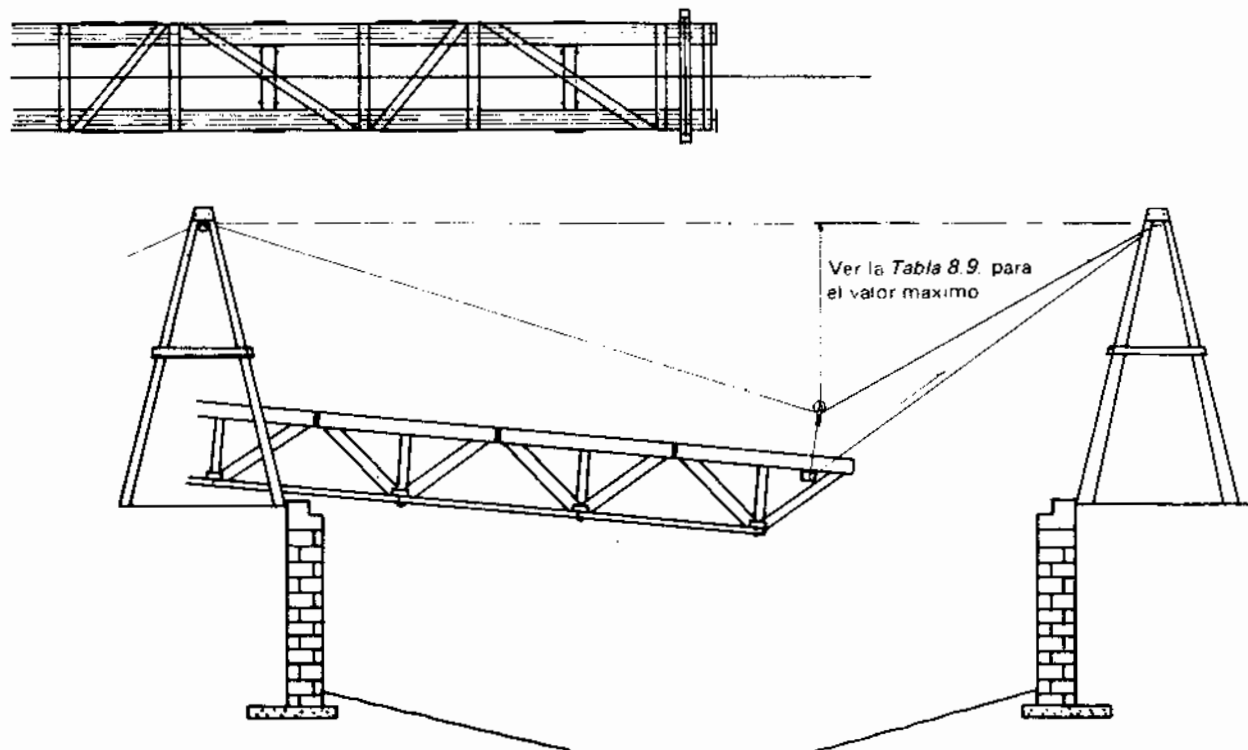


Tabla 8.7.
EQUIPO CRUCE HUMEDO

Artículo	No. requerido
Malacates Tirfor de 1.6 o 3 tons (Ver <i>Tabla 8.8.</i>)	4
Bloques de esfuerzo cortante con capacidad de 3 tons	2
Bloques de esfuerzo cortante sencillo de 3 tons	1
Argollas con capacidad de 2 tons	8
Alambres de anclaje (Ver <i>Figura 8.34.</i>)	2
Alambres de suspensión con gancho de seguridad	1
Alambres de arrastre posterior con gancho de seguridad	2
Correaje posterior	2
Puntales de esfuerzo cortante	2
Arriostramiento horizontal temporal	(Ver <i>Tabla 8.6.</i>)
Clavos para todo lo anterior.	

Tabla 8.8.
DATOS PARA LANZAMIENTO

Tramo (m)	Longitud oscilante entre los puntales de esfuerzo cortante	Dist. vert. max. permisible en el cable entre los puntales	Peso max. del tabl. cuando se utiliza un malacate de 1.6 tons
6	12.4	4	---
9	12.4	4	---
12	15.5	4	---
15	19.0	4.5	240
18	22.5	5	240
21	26.0	5	240
24	28.8	5	200
27	22.3	5.5	190
30	35.1	5.5	160

8.9.3. LANZAMIENTO INICIAL

Utilice el malacate No. 2 para halar el ensamble hacia afuera sobre un tramo, utilizando palancas de madera para suavizar la parte inferior de los tableros. Es importante que los cordones inferiores estén siempre en tensión, e inicialmente puede ser necesario utilizar el malacate No. 1 para lograr esto.

8.9.4. LANZAMIENTOS SUCESIVOS

Una un par más de tableros al ensamble junto con el arriostramiento vertical permanente y el horizontal temporal. Utilice el malacate No. 2 para halar el ensamble hacia afuera sobre el tramo, como lo muestra la *Figura 8.37*. Repita el proceso hasta que todos los tableros en el tramo hayan sido armados.

8.9.5. ETAPA FINAL

Enganche el malacate No. 3 a su anclaje. Utilice los malacates 2 y 3 para traer los extremos de la cercha ensamblada sobre los soportes. Antes de descender la cercha, únala al extremo de los tableros y asegúrela con puntillas. Descienda la cercha ensamblada sobre los soportes utilizando los malacates 2 y 3 y aflojando el malacate No. 1 al mismo tiempo. Mientras se están descendiendo pueden ser movidas fácilmente hacia los lados, utilizando palancas en cada extremo (ver *Figura 8.38*.).

8.9.6. TENDIDO DEL PISO

La cubierta se fija como lo muestra la *Figura 8.39*. Se retira el arriostramiento horizontal temporal de una sección a la vez y la cubierta, junto con el arriostramiento horizontal permanente, se fija en posición. Se inicia una nueva sección cuando la anterior ha sido terminada.

Arme la cubierta sobre la primera sección cuando todas las cerchas extras hayan sido fijadas en la sección dos. Repita este procedimiento para las secciones restantes.

8.9.7. CERCHAS EXTRAS

El método descrito anteriormente puede ser utilizado satisfactoriamente para puentes con dos o cuatro cerchas. Para más de cuatro cerchas, los tableros adicionales, se lanza uno a la vez antes de fijar el arriostramiento horizontal permanente y la cubierta. El cable estático y los malacates 1 y 2 se utilizan para transportar los tableros a su posición final.

Una el primer tablero con un cable a la polea sobre el cable estático, y utilice los malacates 2 y 3 para transportarlo a la primera posición (ver *Figura 8.40*.). Coloque dos zócalos de 100 x 100 mm, de 4 mts de longitud, a través de las cerchas, y descienda el tablero en ellos con la parte inferior encarando su posición final (ver *Figura 8.41*.). Deslice el

tablero hacia la posición vertical, utilizando los malacates y zócalos como palancas, y ubíquelo en el soporte. Nivele la parte superior del tablero con las cerchas y asegúrela temporalmente con el soporte exhibido en la *Figura 8.42*.

Levante los tableros restantes en la primera sección, utilizando el mismo sistema. Coloque andamios a través de los cordones de las cerchas armadas en la primera y segunda secciones. Coloque el tablero en la sección dos, utilizando el mismo procedimiento de la sección uno, y una el cordón uno al primer y segundo tableros. Retire el apoyo temporal levantando levemente los tableros, y utilícelo para apoyar el segundo tablero. Repita para todos los tableros en la sección dos, y para todas las secciones restantes.

8.9.8. TERMINACION

Complete el puente adicionándole los bordillos, el guardamano y las bandas de rodaje (ver *Figuras 8.39, 8.43, y 8.46.*).

8.10. METODO DE CRUCE SECO

8.10.1. ESTRUCTURA DE LEVANTAMIENTO

Se deben preparar estructuras del tipo exhibido en la *Figura 8.48a*. Sólo se requieren dos para luces de 15 mts y tres para luces más grandes. La altura debe ser la máxima distancia entre el lecho del arroyo y los cordones superiores del tablero más 300 mm (12").

8.10.2. NIVELACION

Alargue una línea a través del tramo cerca a la posición final de la cercha exterior. Debe estar al nivel de la parte superior del tablero en el extremo cercano y 10 mm por metro del tramo más alto en el extremo posterior, para permitir convexidad en las cerchas. Esto significa que sólo la primera sección de tableros estará a nivel con la línea y que las restantes estarán sucesivamente por debajo de este nivel.

8.10.3. CONSTRUCCION DE CERCHAS

Como con el método de cruce-húmedo, los pares de cerchas con riostra vertical se levantan primero.

Figura 8. 38.
LANZAMIENTO DE CERCHAS – ETAPA FINAL

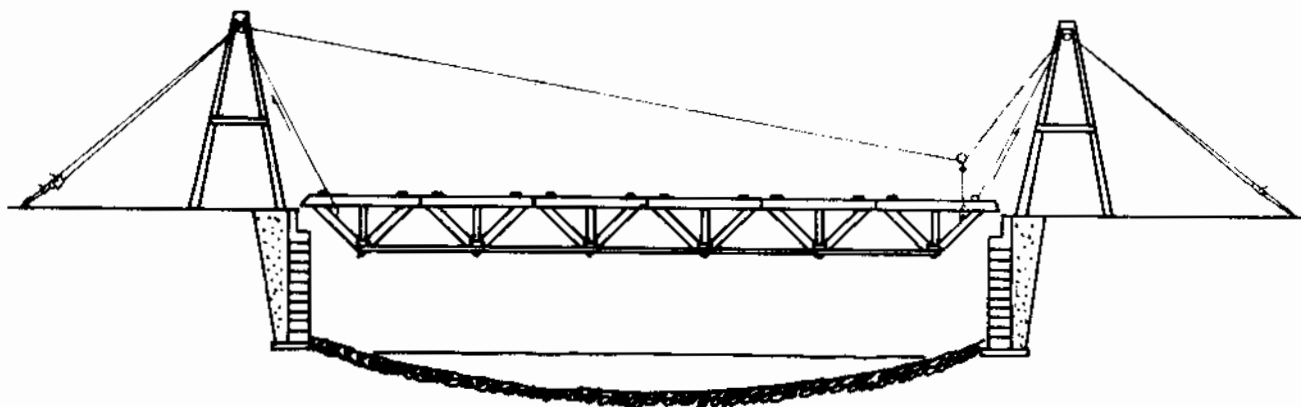


Figura 8.39.
CONSTRUCCION DE LA CUBIERTA

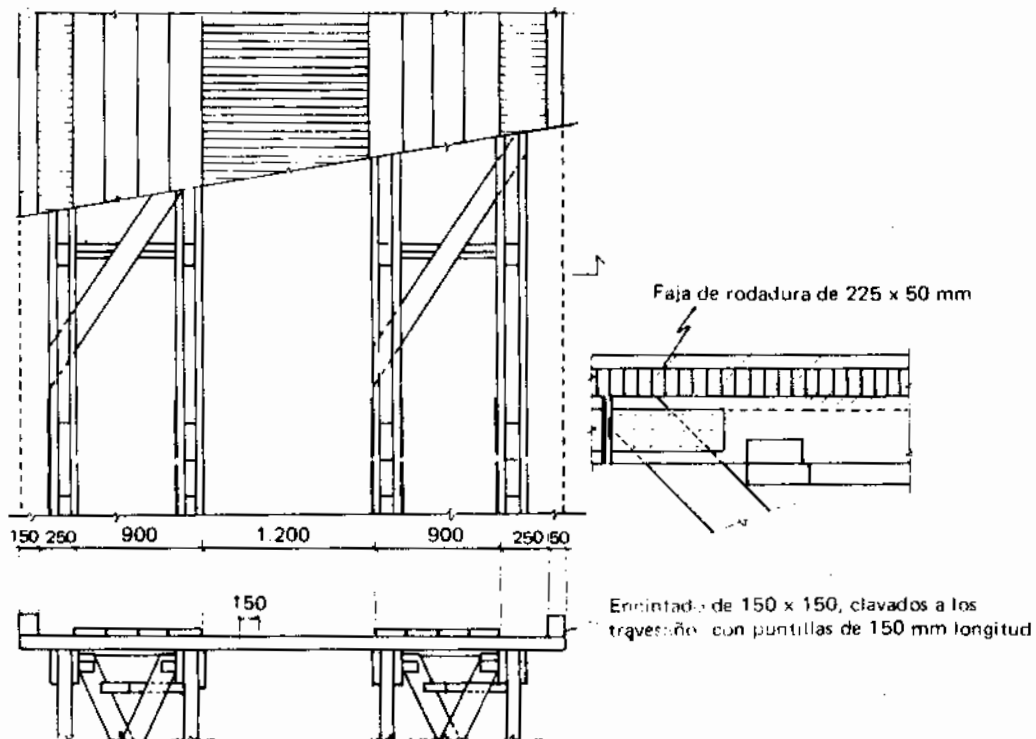


Figura 8.40.
LANZAMIENTO DE TABLEROS ADICIONALES DONDE EL
NUMERO DE CERCHAS EXCEDE DE 4

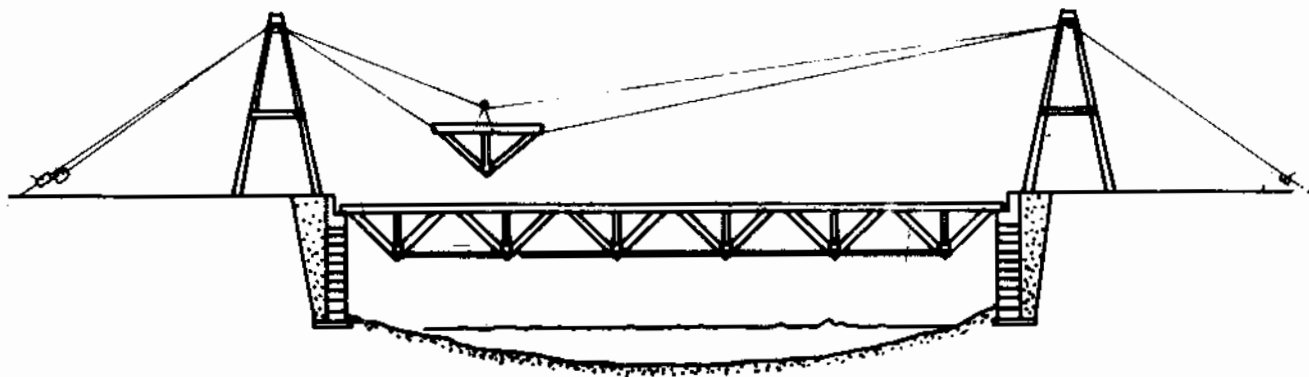


Figura 8.41.
DESPLAZAMIENTO DEL TABLERO EXTRA HACIA SU POSICION

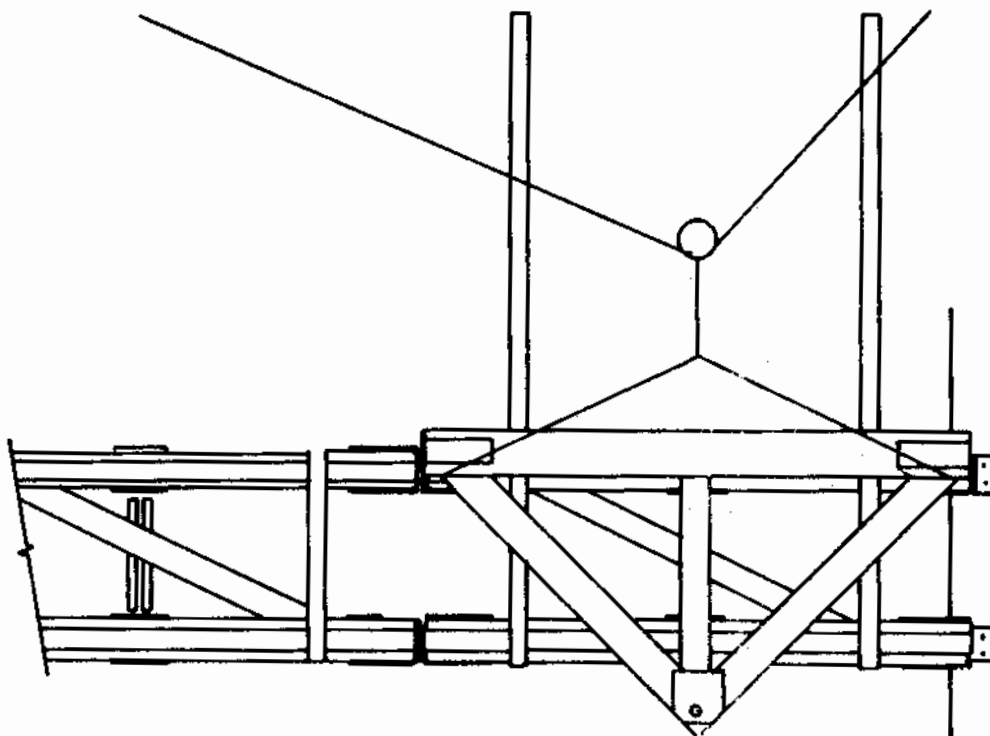
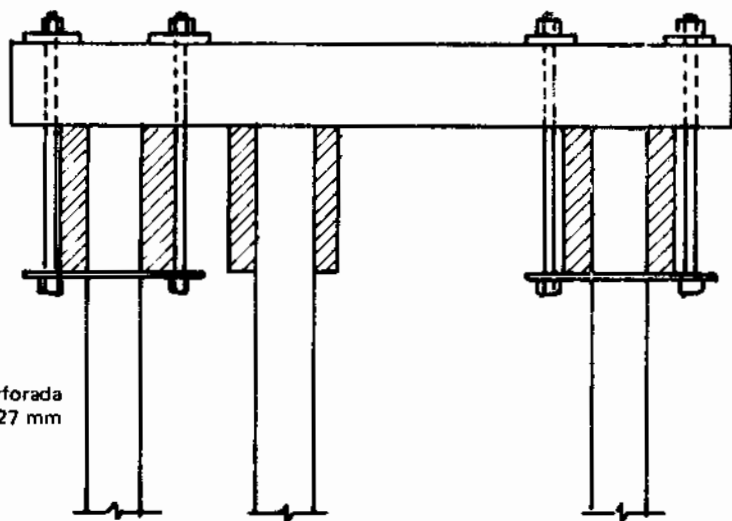
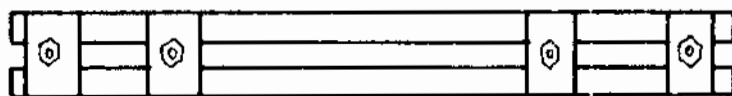


Figura 8.42.
**APLICACION DEL APOYO TEMPORAL DEL TABLERO
 CON CERCHA LEVANTADA**



Tornillo de 25 mm ϕ .
 500 mm longitud y roscado
 50 mm.

Placa MS de 12 mm de
 150 x 100 mm perforada
 con un hueco 1-27 mm

Placa de 12 mm de 350 x 100 perforada
 con huecos de 2-27 mm

CERCHA EXTRA

CERCHA LEVANTADA

Figura 8.43.
DISEÑO PARA GUARDAMANOS

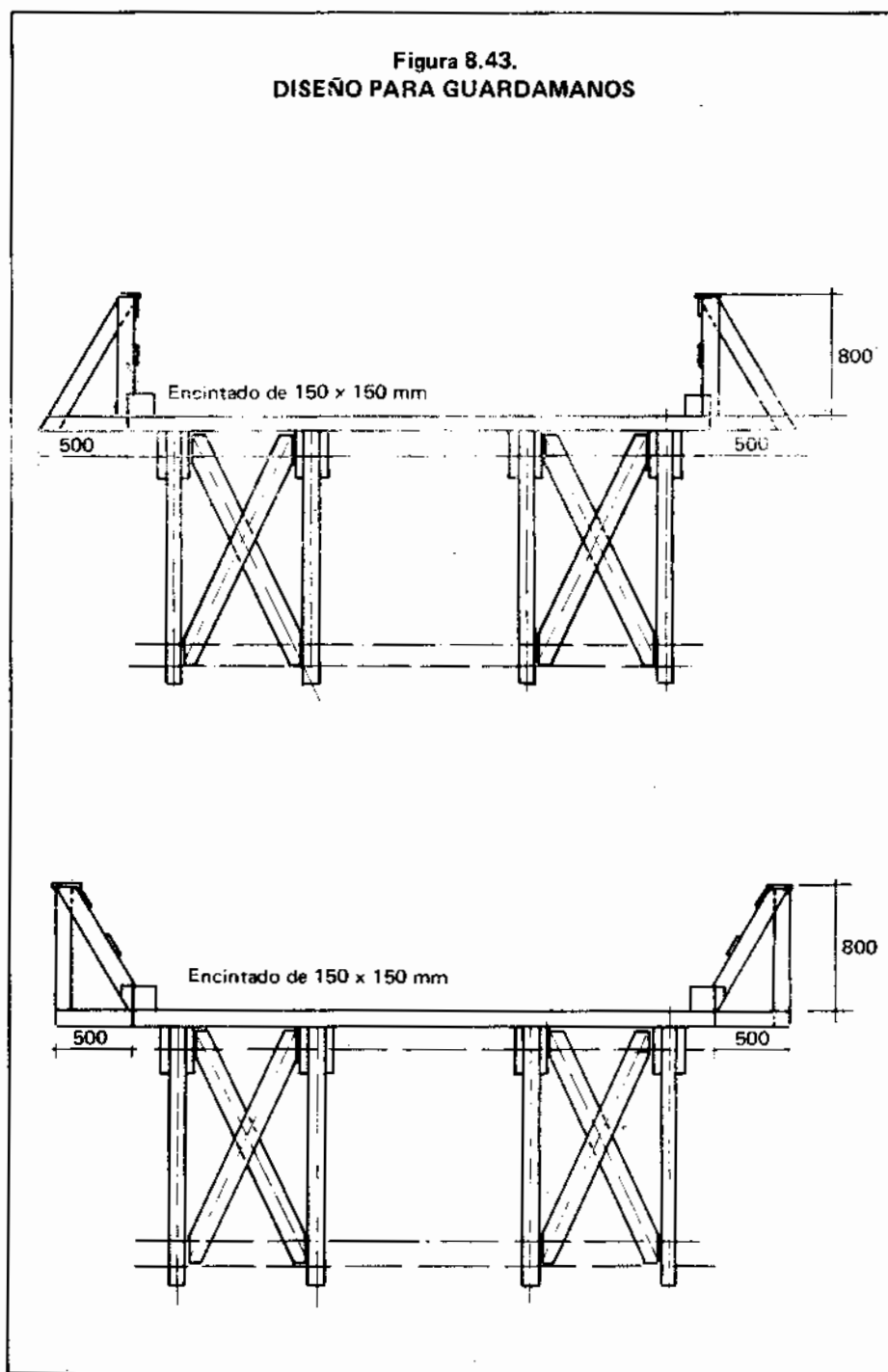


Figura 8.44.
DETALLE DE GUARDAMANOS

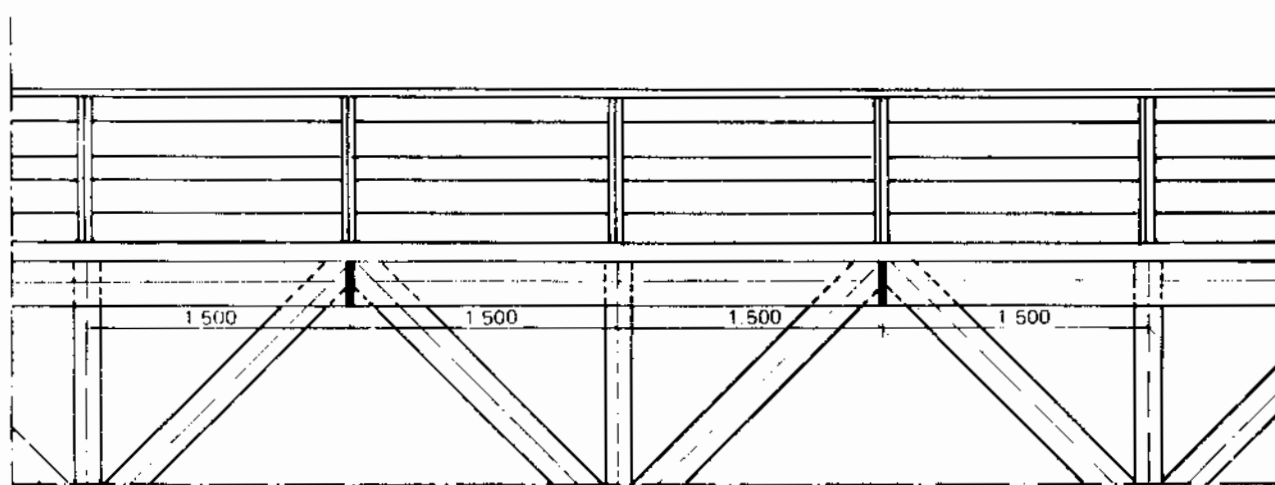


Figura 8.45.
GUARDAMANOS A – DETALLES

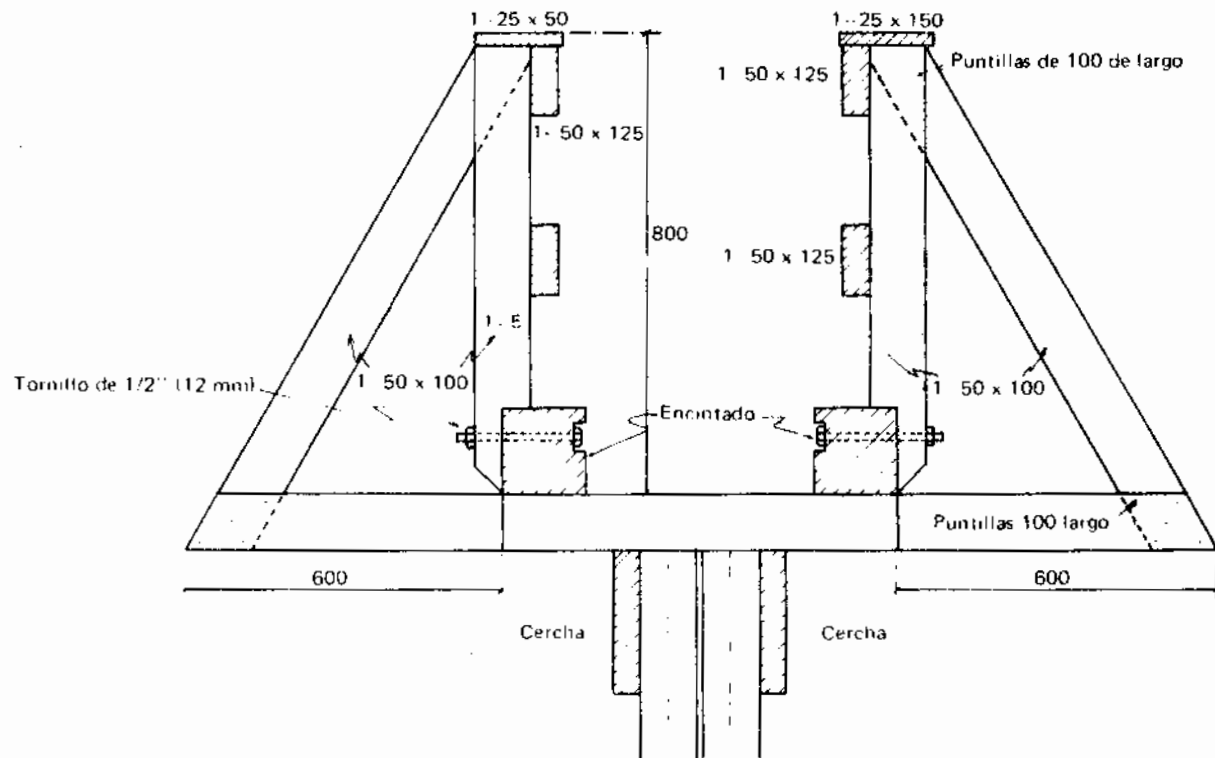


Figura 8.46.
GUARDAMANOS B – DETALLES

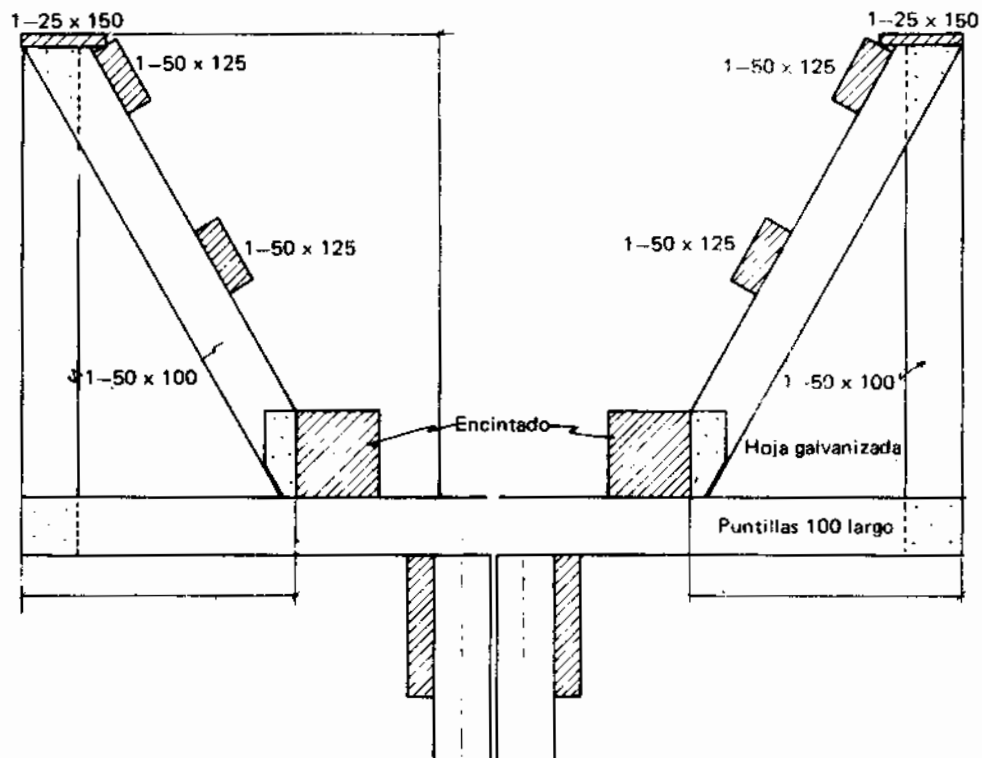


Figura 8.47.
VISTA LATERAL DEL PUENTE MODULAR DE MADERA
15.000 mts

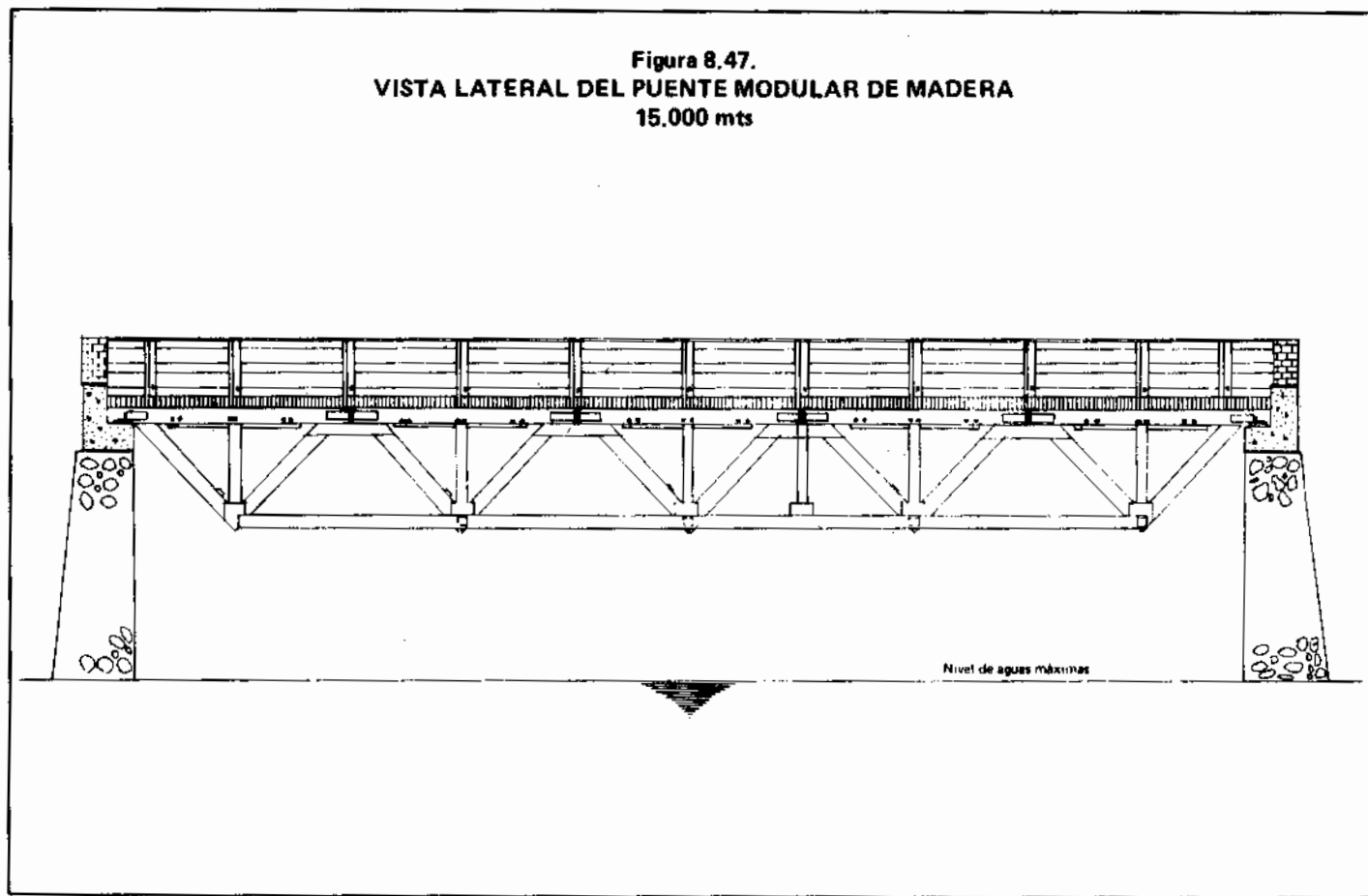


Figura 8.48a.
METODO DE LEVANTAMIENTO DE LA CERCHA (CRUCE SECO)
PRIMERA CERCHA

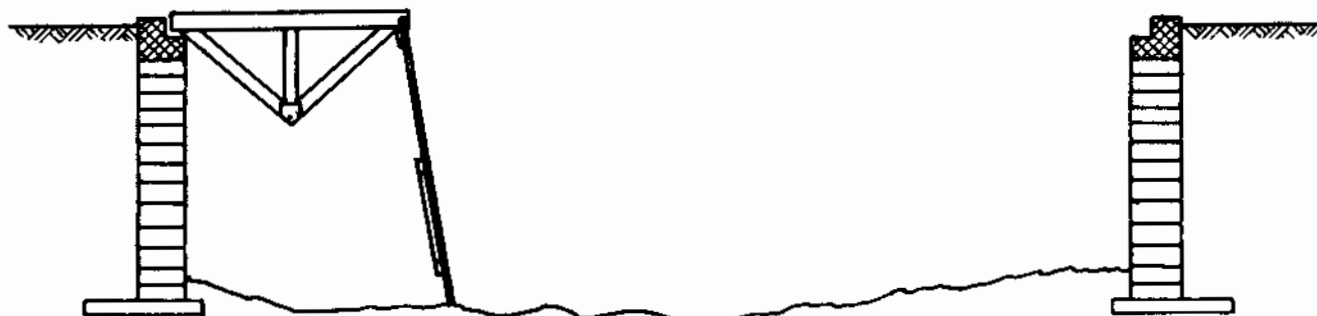


Figura 8.48b.
METODO DE LEVANTAMIENTO DE LA CERCHA (CRUCE SECO)
SEGUNDA CERCHA

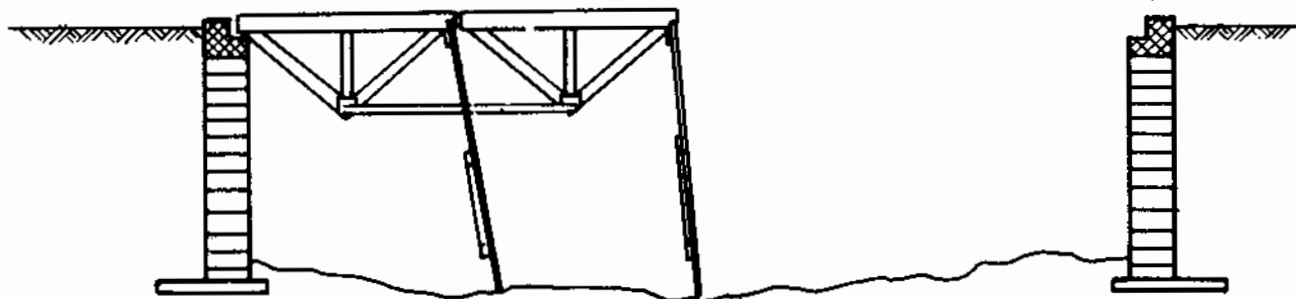


Figura 8.49.
APOYO PARA CRUCE SECO

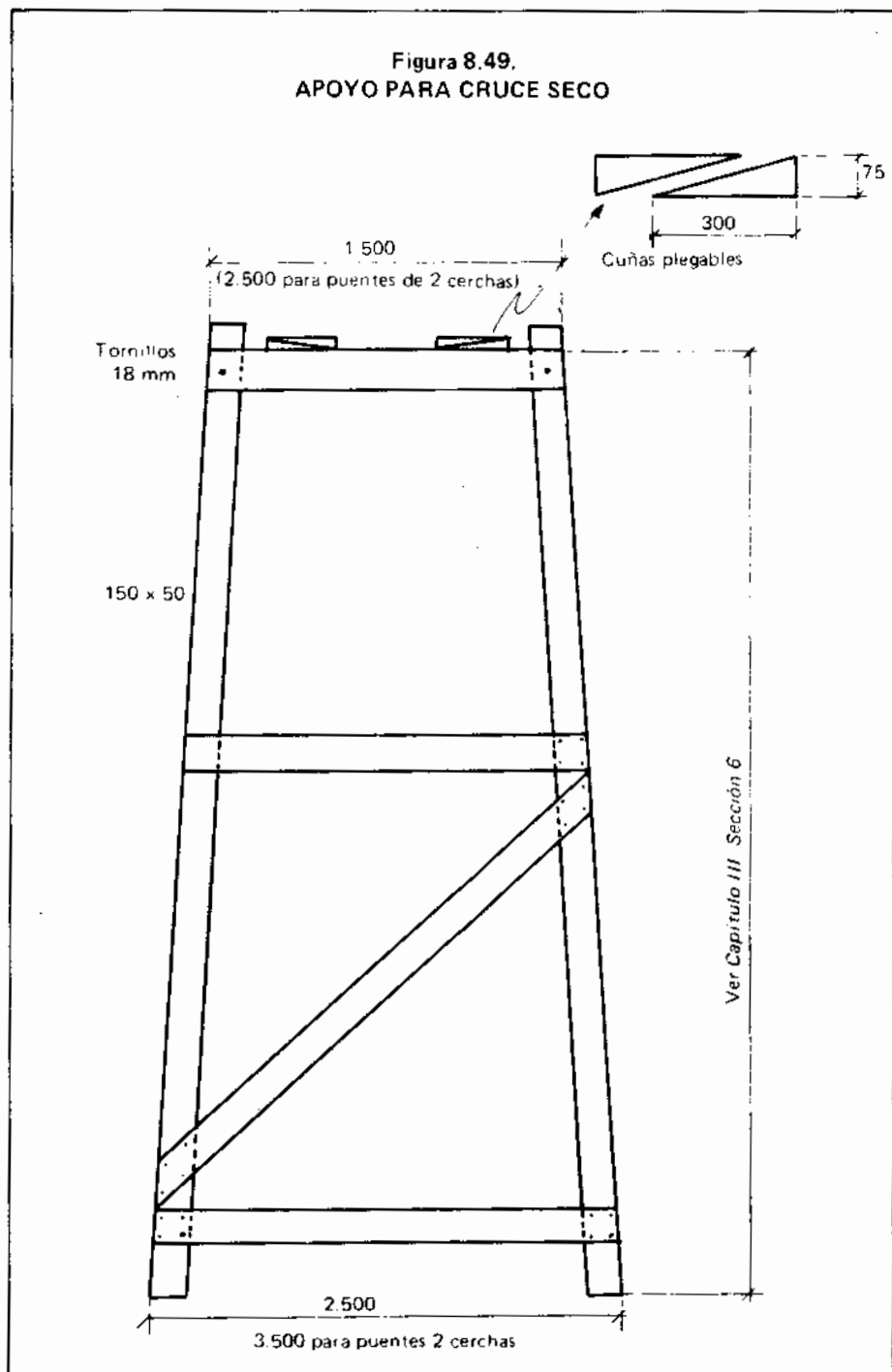
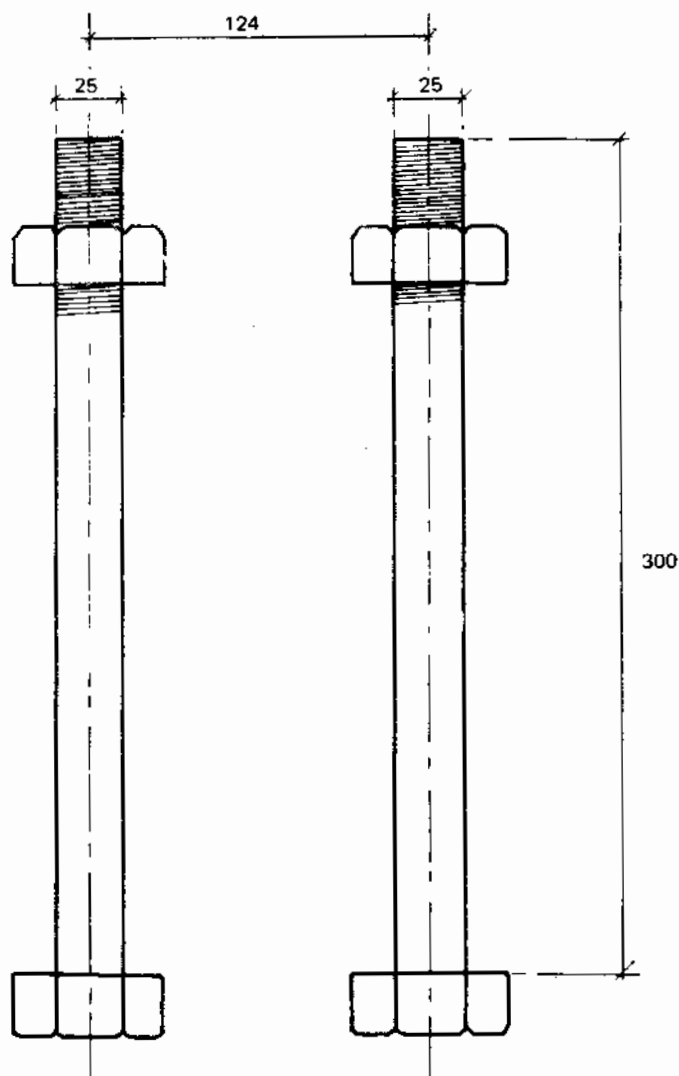


Figura 8.50.
TORNILLOS DE ANCLAJE



Coloque un soporte hembra y uno macho en la base y encaje dos tableros sobre ellos, teniendo los otros extremos apoyados en una estructura de construcción (ver *Figura 8.48b.*). Coloque ambos tableros a nivel con la cuerda moviendo la parte inferior de la estructura.

Una la riostra vertical permanente y la horizontal, como lo muestra la *Figura 8.36*. Repita el proceso utilizando una segunda estructura de construcción en el otro par de tableros, como lo muestra la *Figura 8.49*. Cuando todas las riostras han sido fijadas, retire la primera estructura. Luego se adicionan estructuras sucesivas (máximo 5), de igual manera.

Cuando la luz es mayor de 15 mts, deje una estructura en posición como apoyo temporal, y continúe el proceso utilizando una estructura adicional.

8.10.4. ETAPA FINAL EN LA CONSTRUCCION DE CERCHAS

Cuando la última sección ha sido construída, coloque los soportes al extremo de cada tablero. Si éstos no tocan la base, se deben colocar cuñas bajo cada soporte, antes de que el andamio temporal sea retirado.

Construya las cerchas restantes de la misma manera. Las cerchas sencillas pueden ser construídas utilizando las mismas estructuras andamiadas, pero cada tablero debe ser unido en ambos lados.

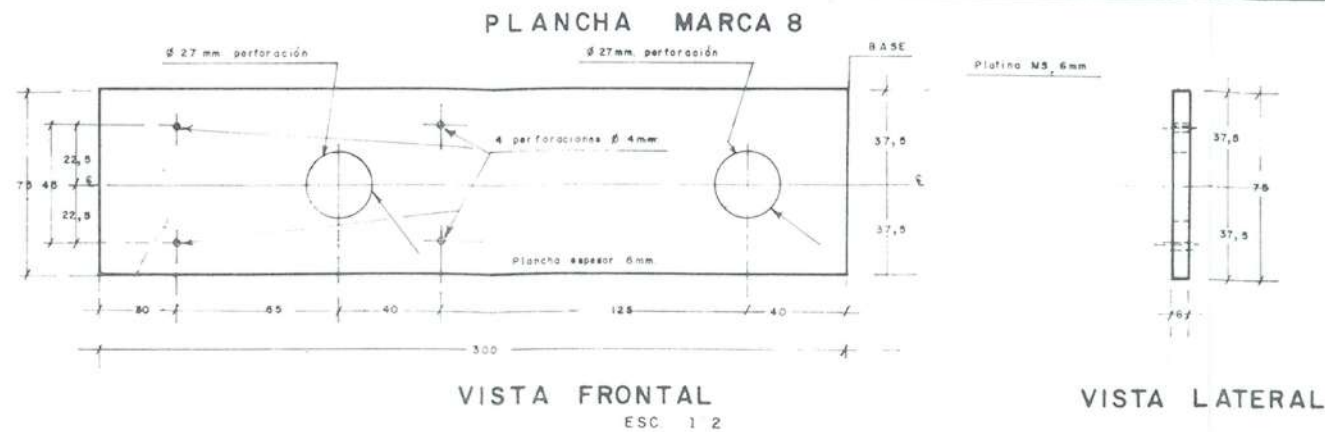
Cuando todas las cerchas han sido construídas, complete la estructura como está descrito para el método de cruce-húmedo.

8.11. HORMIGON Y TERRAPLENES

Coloque tornillos vueltos hacia arriba en las cavidades provistas y cubra con mortero de cemento 1:3 (ver *Figura 8.50.*). La fumigación del suelo ahora se debe realizar donde el ataque de las termitas es endémico.

Se debe excavar un área de 5 x 5 mm, con 300 mm de profundidad, y amontonar la tierra. Mezcle la tierra amontonada con 100 litros de una de las siguientes emulsiones acuosas: Aldrín, 0.5%; Dieldrín, 0.5%; Clordane, 1%; o Benceno Hexaclorhídrico, 0.8%. Coloque de nuevo la tierra y compacte.

Complete el puente hormigonando detrás de los soportes para dar una superficie de rodamiento nivelada.



NOTAS:

Dimensiones exactas son aquellas que deben ser consideradas como dimensiones prioritarias para asegurar la precisión en el montaje y arriostamiento de las piezas.

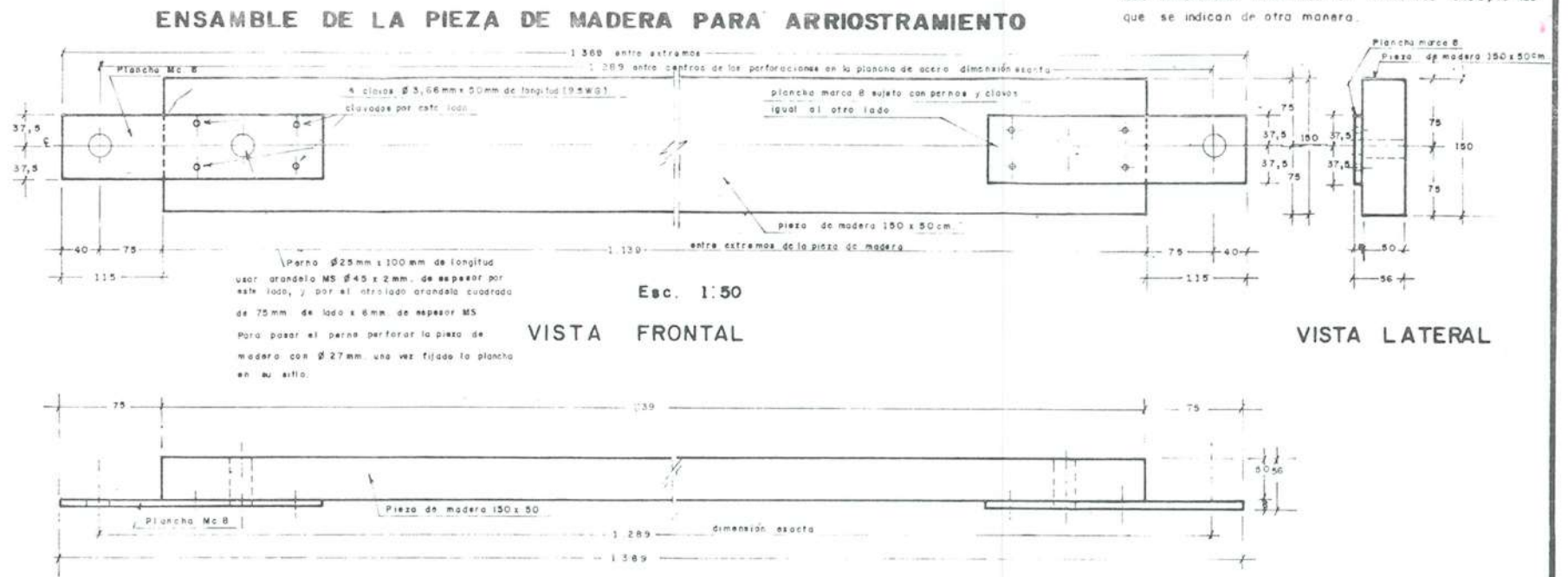
Las piezas de madera tienen que ser construidas como se detalla en la plancha 7.

Todas las especificaciones de las piezas de hierro se indican en las planchas 2y4 Ac.

Los pernos deberán ser de cabeza exagonal, vástago redondo rosca métrica, tuerca exagonal.

Las planchas Mc 8 deben estar en su posición sobre la pieza de madera usando los clavos para su sujeción, la pieza de madera será perforada cuando la plancha Mc 8 esté en su lugar y que servirá de guía. Los pernos deberán ajustarse de tal manera que la cabeza del perno se asiente por el lado de la plancha Mc 8.

Las dimensiones estándares en milímetros excepto las que se indican de otra manera.



Perno $\varnothing 25\text{mm} \times 100\text{mm}$ de longitud
usar arandela MS $\varnothing 45 \times 2\text{mm}$ de espesor por este lado, y por el otro lado arandela cuadrada de 75mm de lado x 6mm de espesor MS

Para pasar el perno perforar la pieza de madera con $\varnothing 27\text{mm}$ una vez fijado la plancha en su sitio.

Simbología

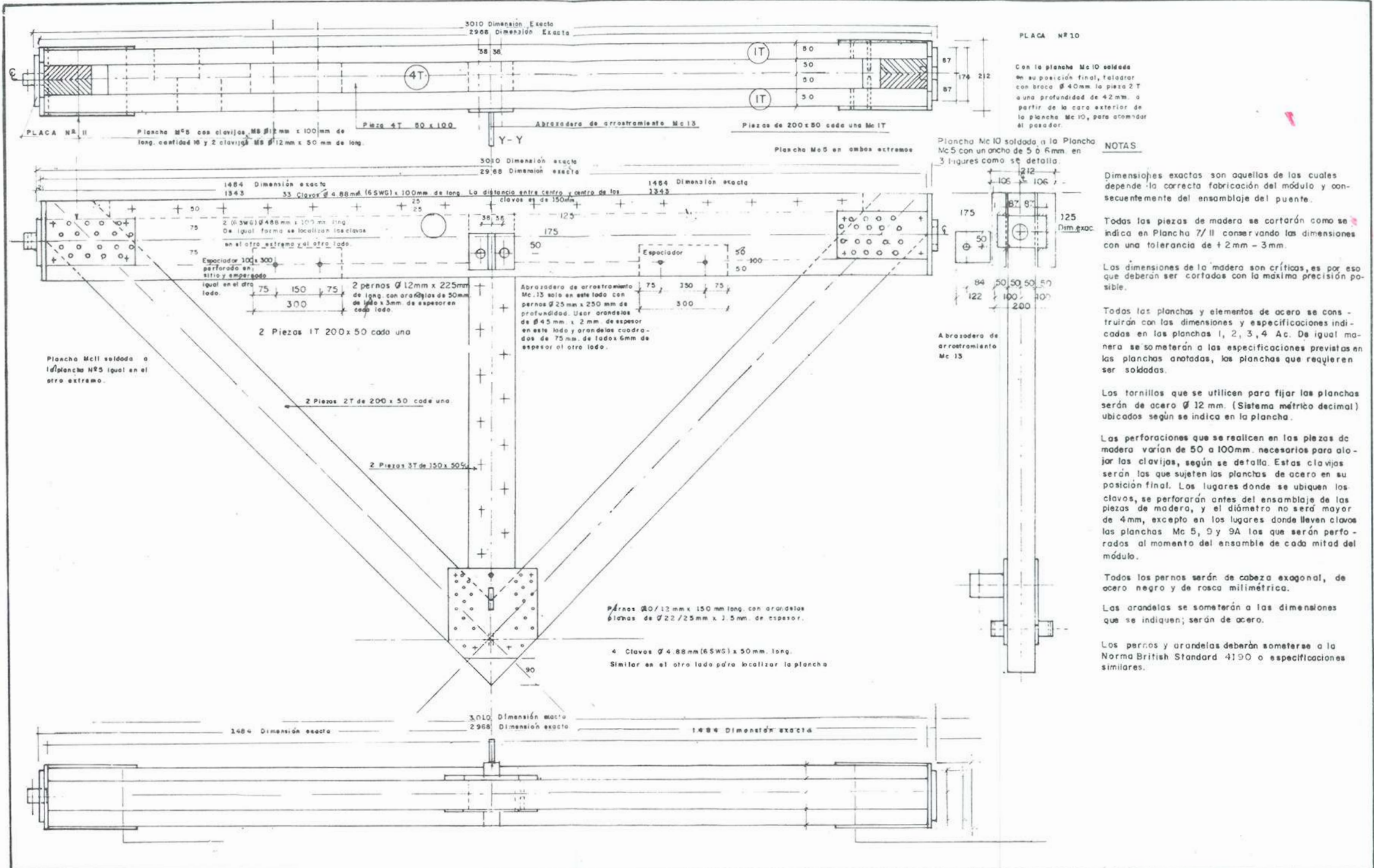
⊕ eje central

⌀ diámetro

Base línea base de la platina

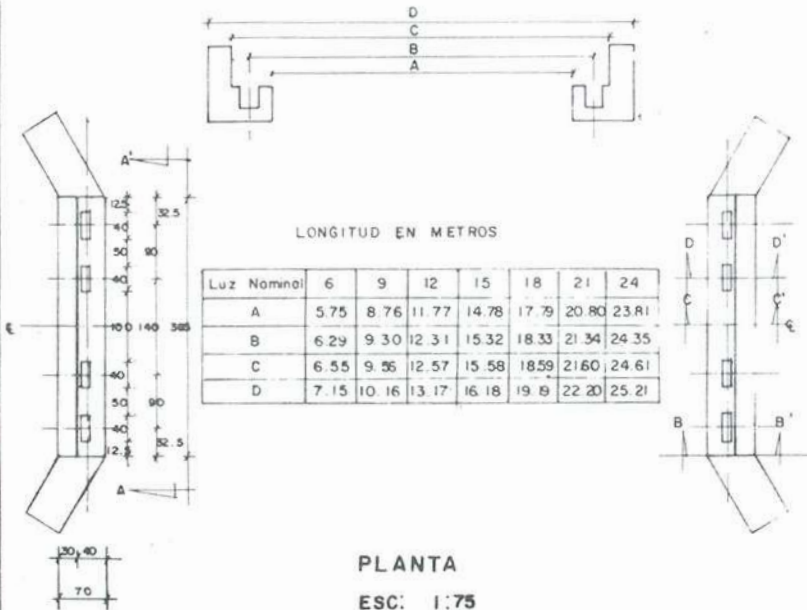
PIEZAS DE ACERO Y PIEZA DE MADERA PARA ARRIOSTRAMIENTO

PLANCHA No. 2
ESCALA: INDICADA

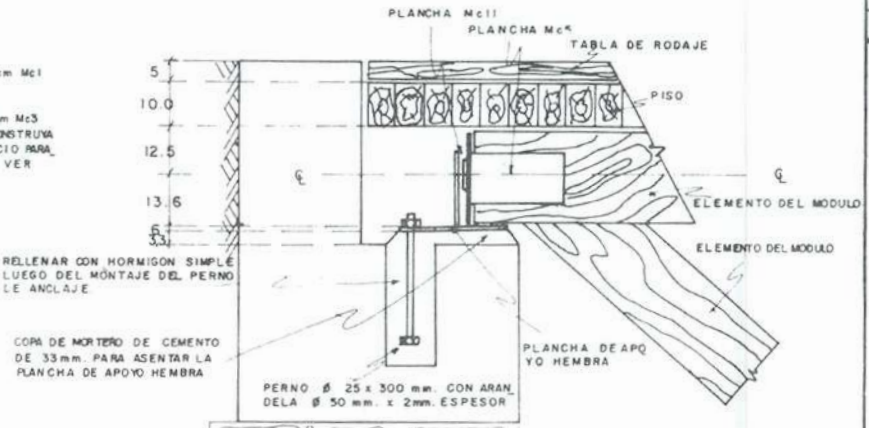
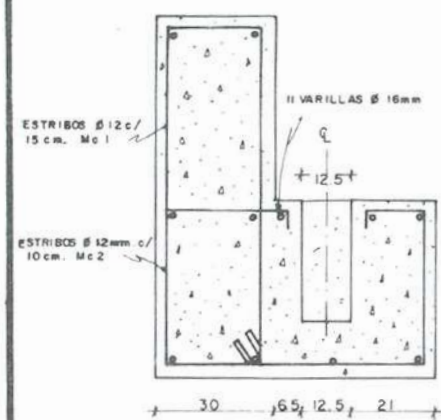
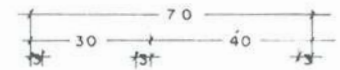
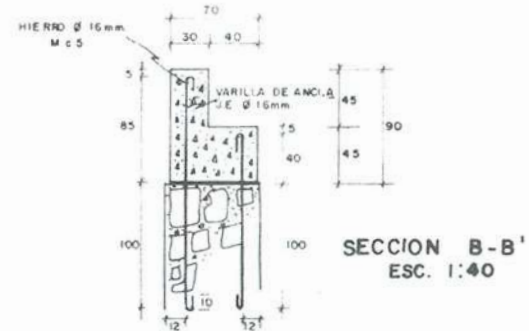
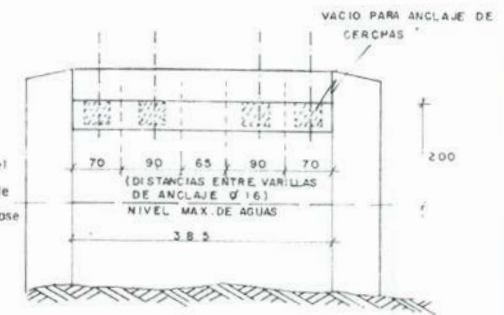


ENSAMBLE DEL PANEL MODULAR

PLANCHA No. 3
ESCALA 1:10



La altura del estribo varía según el sitio. Se recomienda una altura mínima de 2m. entre máximo nivel del agua y la base del abezal.



NOTA El Concreto para la construcción del cabezal será clase 'A' con f_c 210 Kg/cm² (1 : 2 : 4)

El estribo se construirá de H. Ciclópeo en la siguiente proporción: 70% piedra 30% mortero.

El mortero será 1 : 4 (cemento arena)

La piedra será de canto vivo (cuadrada) de aproximadamente 20 x 20 cm.

Simbología

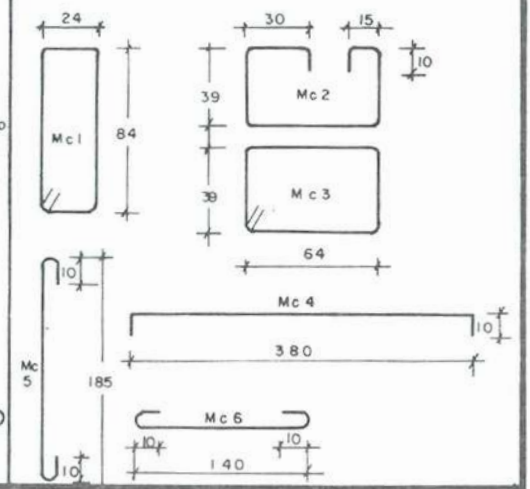
- ⊕ Eje central
- ∅ Diámetro

CUADRO DE HIERROS					
ESTRIBOS					
Mc	CANT	Ø	TIPO	LONG. CORTE	LONG. TOTAL
1	54	12 mm	a	2.40 m	129.60 m
2	40	12 mm	h	2.15 m	86.00 m
3	3	12 mm	o	2.30 m	6.90 m

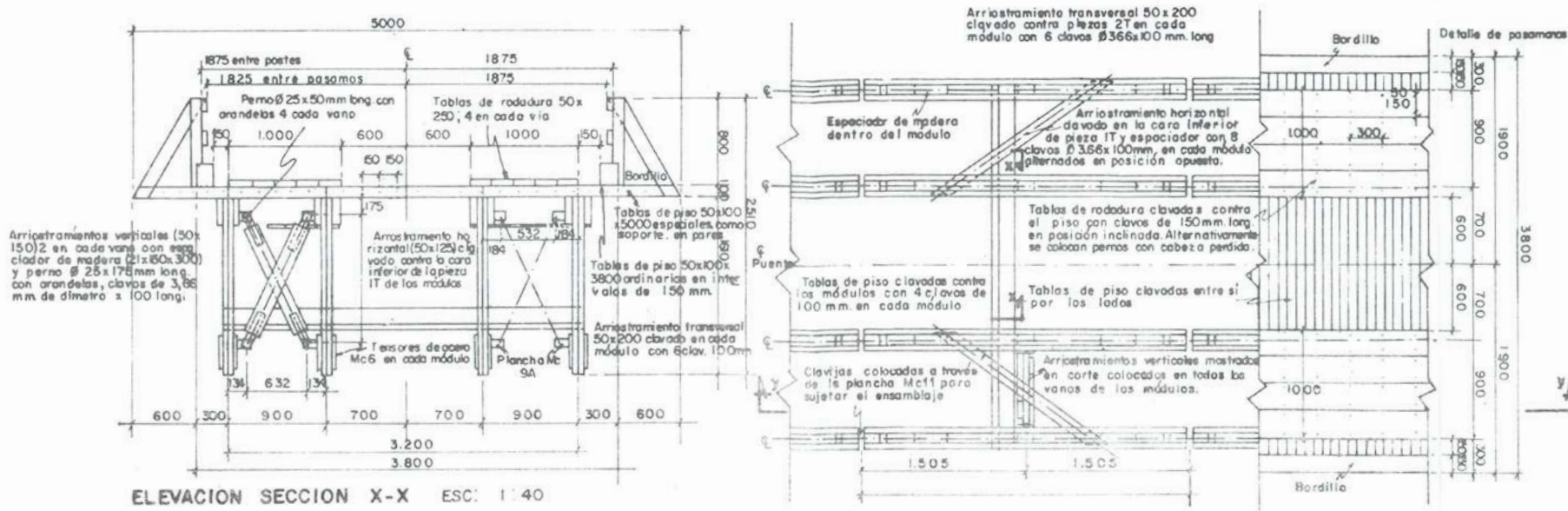
LONGITUDINALES					
4	22	16 mm	u	4.00 m	88.00 m

ANCLAJE					
5	8	16 mm	b	2.10 m	16.80 m
6	8	16 mm	v	1.65 m	13.20 m

CANTIDADES					
Ø 12m.m. 284.60 mts.					
Ø 16m.m. 118.00 mts.					



CABEZAL DEL ESTRIBO



ELEVACION SECCION X-X ESC. 1:40

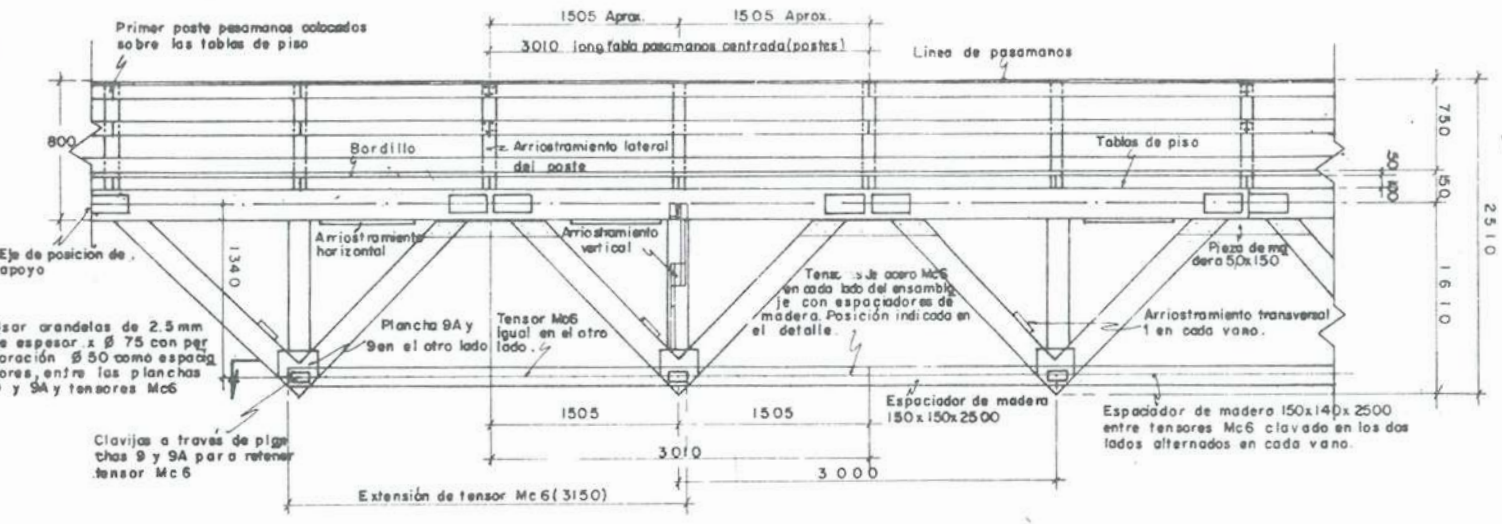
VISTA SUPERIOR DE SECCION DE PUENTE ENSAMBLADO ESC. 1:40

NOTA:
 La flecha se produce automáticamente durante el ensamble de las cerchas; para un puente cuya luz es de 15mts, la flecha es de 60-70mm. en el centro y en el nivel del piso.

Los espaciadores de los tensores de acero Mc6 no constan en la plancha N27 se recomienda usar solamente espaciadores prefabricados de 140x150x2500 que deberán ser colocados alternadamente con las dimensiones de 140y150 respectivamente entre los tensores.

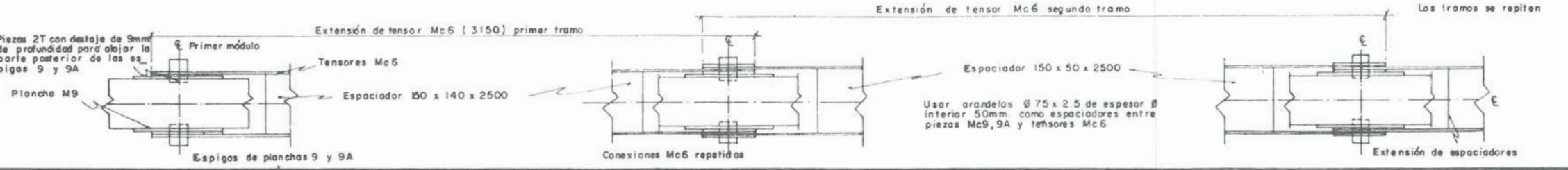
Las piezas de madera 50x150 clavados en el lugar de cada conexión modular son rígidas y sirven únicamente para retener las juntas de compresión entre los módulos durante el ensamble y lanzamiento. Pueden quedar an obra cuando el puente se haya terminado.

Los arriostramientos transversales son colocados después del lanzamiento y posicionamiento final de las cerchas.



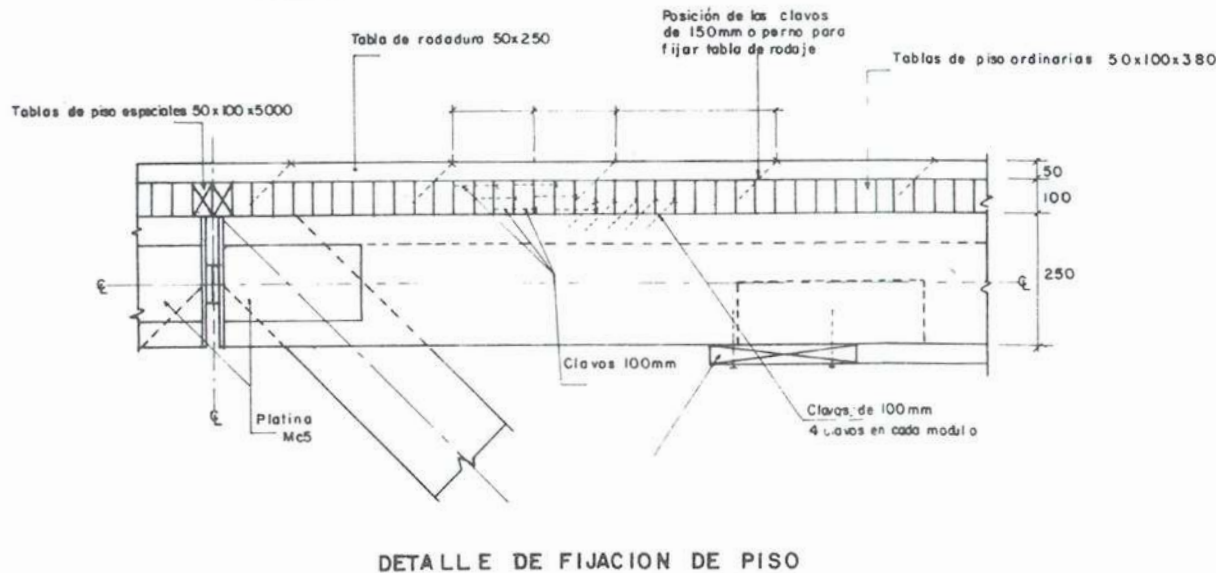
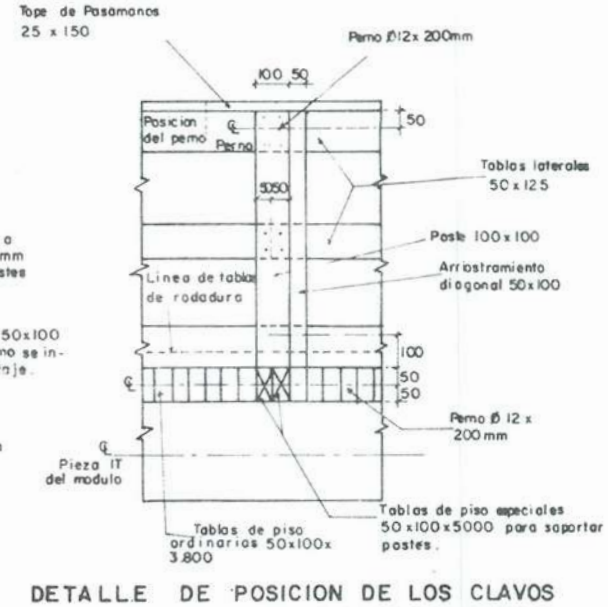
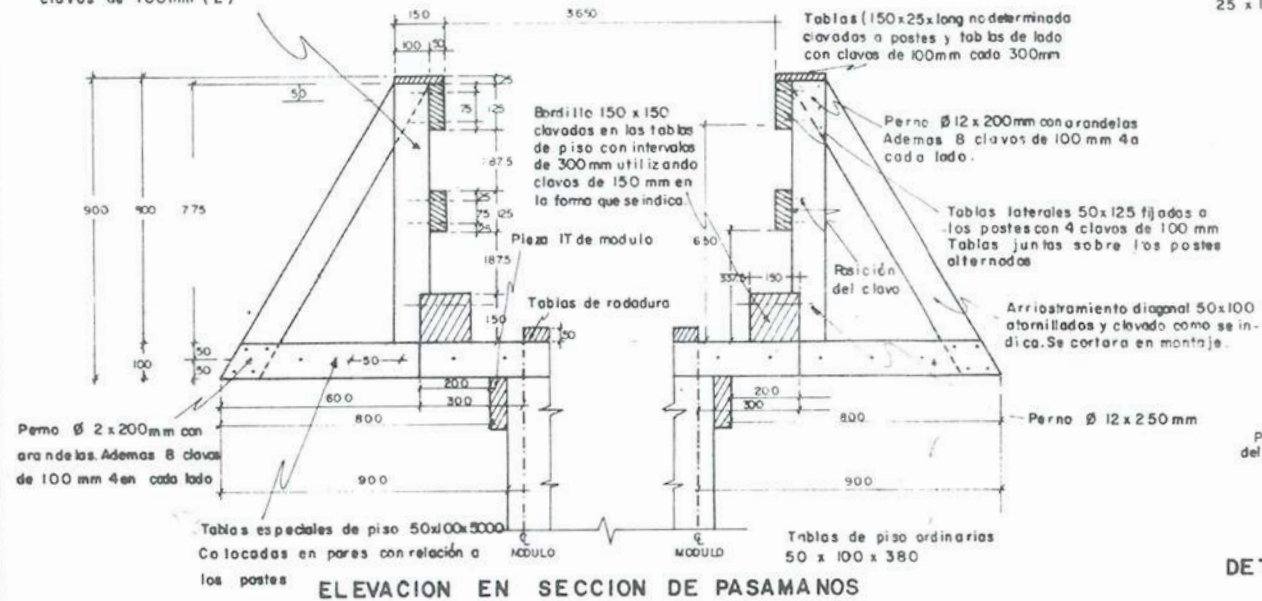
VISTA LATERAL SECCION Y-Y ESC. 1:40

- ABREVIACIONES**
- Ø = Diámetro
 - ℄ = Eje de centro
 - Aprox = Aproximadamente
 - C/C = Entre centros



DETALLE DEL MONTAJE

Postes vertical 100 x 100 x 775 recortado abajo en un lado 25mm para asentarse sobre el bordillo. La distancia entre postes se indican en la lámina 9. Los postes deben estar localizados directamente sobre las tablas especiales 50x100x5000 de piso. Los postes se fijarán abajo con clavos de 100mm (2)



- NOTAS:**
- LAS TABLAS PARA EL PASAMANOS SE CORTAN EN SITIO. SE CLAVAN A LOS POSTES CON JUNTAS ALTERNADAS EN EL CENTRO DE LOS POSTES.
 - LOS POSTES PUEDEN ESTAR PREPARADOS EN EL TALLER DE PRE-FABRICACION.
 - LOS ARRIOSTRAMIENTOS DIAGONALES, LOS BORDILLOS Y TABLAS DE RODADURA SE CORTARAN EN SITIO.
 - LAS TABLAS DE RODADURA DEBERAN COLOCARSE DE TAL MANERA QUE LAS JUNTAS ESTEN A UNA DISTANCIA MINIMA DEL 1200mm DE LA JUNTA DE LA TABLA CONTIGUA.
 - CONVIENE PERFORAR LOS BORDILLOS PARA ALOJAR LOS PERNOS EN LA POSICION DE LOS POSTES ANTES DE CLAVARLOS EN EL PISO.

ANEXO I

"Test" de prueba para tableros de madera

Este "test" está planeado para dar una prueba absolutamente confiable de la fortaleza de un puente, pero debe ser utilizado para determinar o verificar el grado de tensión correcto de una madera dada. Este examen es apropiado para un grado F14; por encima de este grado se puede esperar falla en los pasadores de acero.

Específicamente, el examen es para probar la fortaleza de las diagonales en tensión; se considera un buen indicio general, cuando la fortaleza de la madera tiende a ser más variable en tensión que bajo otras cargas.

Para la prueba, se procede así:

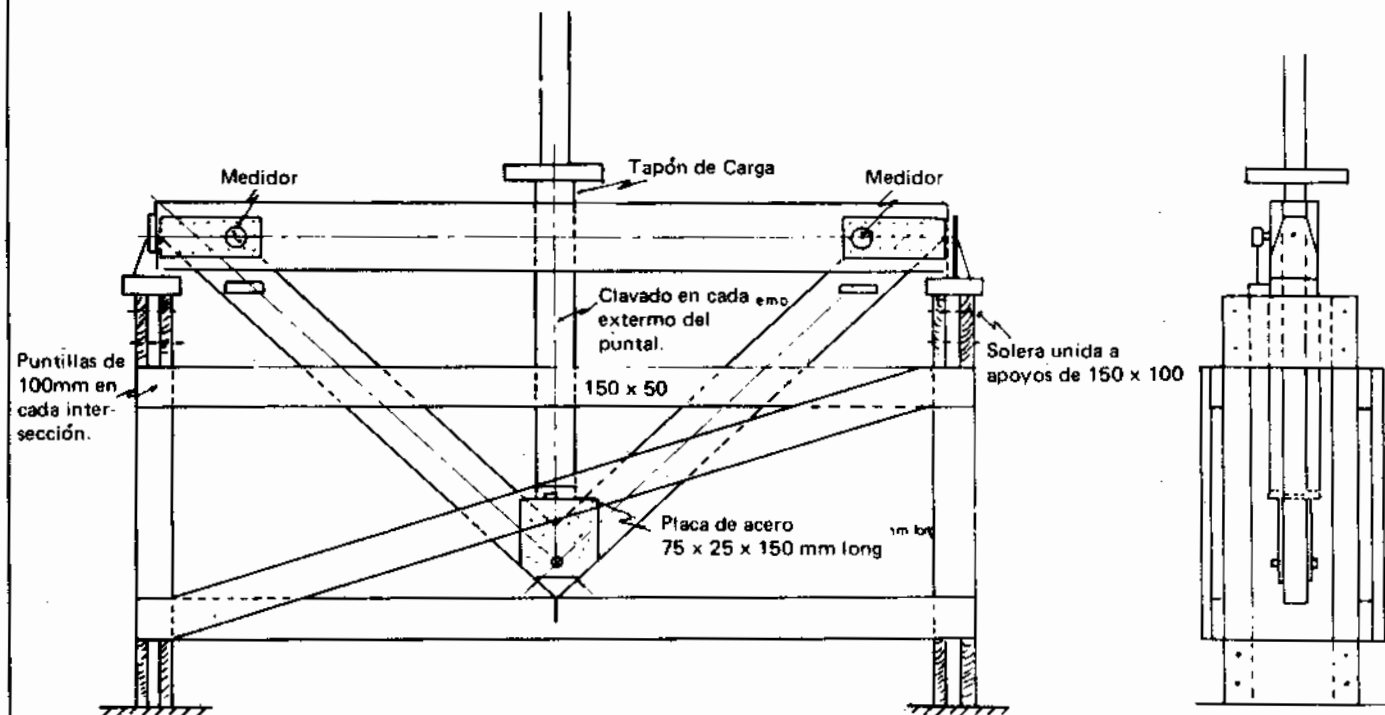
Coloque un tablero en el instrumento exhibido en la *Figura 8.51*. y apóyelo sobre dos soportes *standard*. Retire los tornillos de 250 mm del cordón superior junto con cualquier clavo utilizado en esta intersección, como fijación temporal. La viga central de 150 mm x 50 mm reforzada con la adición de dos piezas de 150 mm, de 0.7 mts de longitud, clavadas en cualquier lado con clavos de 100 mm. Introduzca un trozo de acero dulce de 25 mm x 75 mm y de 150 mm de longitud en la viga para dar una conexión más fuerte en este punto, coloque una almohadilla de carga sobre la viga. Finalmente ponga los medidores calibrados para leer 0.1 mm en cada extremo del tablero en la posición indicada en la *Figura 8.51*.

Se consideran necesarias dos pruebas

EXAMEN DE LA CARGA

Dependiendo del grado de tensión del tablero que se va a probar, se deben aplicar las siguientes cargas:

Figura Anexo I
PLANTILLA PARA LA PRUEBA DE LOS TABLEROS



<i>Grado de tensión</i>	<i>Carga (tons)</i>
F4	7.8
F5	9.7
F7	12.3

<i>Grado de tensión</i>	<i>Carga (tons)</i>
F8	15.6
F11	19.6
F14	24.8

ANEXO II

Normas para la clasificación de la madera

Cada trozo de madera debe ser aserrado totalmente y estar libre de putrefacción, hendeduras y fracturas.

Las siguientes imperfecciones están permitidas para los 3 grados bajo consideración, sujetas a los límites indicados.

Grado 75%

1. Tamaño máximo del nudo:

<i>Profundidad de la sección (mm)</i>	<i>Tamaño del nudo (mm)</i>	
	<i>Exterior</i>	<i>Interior</i>
250	60	20
200	60	20
150	35	20
100	25	20

Las dimensiones generales de los nudos no deben exceder estos valores.

2. La inclinación del grano no debe exceder 1 en 15.
3. Las pruebas de curado no deben exceder de 400 mm de longitud y 3 mm de ancho, y no deben extenderse de una superficie a otra.
4. Los siguientes valores máximos permisibles de elasticidad, abarquillamiento y curvatura deben ser tenidos en cuenta.

<i>Pieza</i>	<i>Elasticidad</i>	<i>Curvatura</i>	<i>Abarquillamiento</i>
1T	05	20	10
2T	06	15	10
3T	03	10	05
4T	03	05	05
Riostra vertical	03	10	05
Cubierta	12	20	05

Grado 60%

1. Tamaño máximo del nudo:

<i>Profundidad de la sección (mm)</i>	<i>Tamaño del nudo (mm)</i>	
	<i>Exterior</i>	<i>Interior</i>
250	60	20
200	50	20
150	35	20
100	25	20

Las dimensiones generales de los nudos no deben exceder estos valores.

2. La inclinación del grano no debe exceder 1 en 10
3. Las pruebas de maduración no deben exceder de longitud superior a 400 mm.
4. La elasticidad, curvatura y abarquillamiento no debe exceder los valores dados para el Grado 75%.
5. La madera sin curar, susceptible al ataque de los insectos, debe ser máximo 1/4 de la cura que se está considerando.

Grado 48%

1. Tamaño máximo del nudo:

<i>Profundidad de la sección (mm)</i>	<i>Tamaño del nudo (mm)</i>	
	<i>Exterior</i>	<i>Interior</i>
250	75	25
200	60	25
150	45	25
100	30	25

Las dimensiones generales de los grupos de nudos no excederá estos valores.

2. La inclinación del grano no debe exceder 1 en 8.
3. Las pruebas de curado no deben exceder de longitud mayor a 600 mm.
4. La elasticidad, abarquillamiento y curvatura, no deben exceder los valores dados para el Grado 75%.
5. La madera biche susceptible al ataque de los insectos debe ser como máximo $1/4$ del ancho de la cara que se está considerando.

ANEXO III

MADERAS DE AMERICA DEL SUR

<i>Especies</i>	<i>Grupo de fuerza</i>	<i>Grado Visual</i>		
		48%	60%	75%
Dicorynia guianensis	S3	F11	F14	F17
Clathrotropis spp	S2	F14	F17	F22
Bagassa guianensis	S2	F14	F17	F22
Manilkara bidentata	S1	F17	F22	F27
Ocotea rubra	S5	F7	F8	F11
Ocotea rodiaei	S1	F17	F22	F27
Qualea rosea	S3	F11	F14	F17
Goupia glabra	S3	F11	F14	F17
Eschweilera longipes and E. Subglandosa	S1	F17	F22	F27
Symphonia globulifera	S3	F11	F14	F17
Mora excelsa	S2	F14	F17	F22
Terminalia amazonia	S2	F14	F17	F22
Pinus caribaea	S4	F8	F11	F14
Peltogine spp	S2	F14	F17	F22
Calophyllum spp	S4	F8	F11	F14
Hieronyma spp	S3	F11	F14	F17
Diplostropis purpurea	S1	F17	F22	F27
Humiria spp	S3	F11	F14	F17
Tectona grandis	S4	F8	F11	F14
Eperua spp	S1	F17	F22	F27

GLOSARIO

- ANISOTROPICO:** Sustancia que como los cristales, presentan características diferentes tanto físicas como mecánicas en todas las direcciones.
- CROMOGENOS:** Que produce sustancias coloreadas o hace aparecer colores en una cosa.
- ESTIBA:** Apreta cosas sueltas para ocupar un lugar.
- FENOLICAS:** Dícese de los compuestos derivados del fenol.
- FITOXICA:** Sustancia que no daña la madera.
- HELICOIDALES:** De figura de hélice, movimiento helicoidal el de un tornillo o cualquier otro sólido como los de aquel que describe una hélice.
- IGNIFUGA:** Dícese de las materias o sustancias que sirven para hacer ininflamables los materiales combustibles.
- INTEMPERISMO:** Falto de templanza, destemplado.
- LIGNIFICACION:** Proceso por el cual los tejidos vegetales se impregnan de lignina y se convierten en madera.
- LIXIVIARSE:** Operación consistente en hacer que un disolvente atraviese una capa de materia pulvulenta para extraer uno o varios constituyentes solubles de la misma.
- MICELIOS:** Aparato vegetativo de los hongos.
- ORTOGONAL:** (Geometría). Dícese de las figuras que forman ángulo recto.
- PARENQUIMA:** Tejido vegetal celular que rellenan los intersticios dejados por los vasos.
- XILOFAGOS:** Dícese de los insectos y hongos que se comen la madera.

ABREVIATURAS

CH	: Contenido de humedad.	PE	: Peso específico.
CH	: Contenido de humedad.	MOE	: Módulo de elasticidad.
PSF	: Punto de saturación de la fibra.	CHS	: Contenido de humedad en estado seco
CHE	: Contenido de humedad de equilibrio.	P	: Valor de la propiedad en un CH dado.
CL	: Contracción longitudinal.	P _s	: Valor de la propiedad en un CHS dado.
CT	: Contracción tangencial.	P _v	: Valor de la propiedad en un estado verde dado.
CR	: Contracción radial.	E _c	: Ecuación.
CHf	: Contenido de humedad final.	CCA	: Cromo cobre arsénico.
CHi	: Contenido de humedad inicial.	CCB	: Cromo cobre boro.
K	: Constante.	MOR	: Módulo de rotura.
DV	: Densidad verde.	Sreqd	: Módulo de sección requerida.
IDF	: Factor de distribución interna.	Arect	: Area transversal en poste.
PV	: Peso verde.	Acir	: Area de la sección en un poste circular.
VV	: Volúmen verde.	N _{TOT}	: Número total de postes.
DSA	: Densidad seca al aire.	SBC	: Estabilidad del terreno.
PSA	: Peso seco al aire.	L _{Itg}	: Longitud de Zapata.
DA	: Densidad anhidro.		
PSH	: Peso seco en horno.		

BIBLIOGRAFIA

- *EL HIERRO Y LA MADERA EN LA CONSTRUCCION*, B. del Moral.
- *PUENTES FIJOS*. TC. 7-205. Ejército EE UU. Traducido por Néstor Rojas. (Profesor Inglés, ESING).
- *MANUAL DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERAS PARA LOS PAISES DEL GRUPO ANDINO*. Junac.
- *CARTILLA DE PUENTES POSTENSADOS*. Camios Vecinales.
- *CARTILLA DE CONSTRUCCIONES IMPROVISADAS*. Himat.
- *CARTILLA DE PUENTES CIRCUNSTANCIALES*. Esing.

*Este Manual se terminó de imprimir
en el mes de Diciembre de 1988,
en los Talleres de
EDITORIAL MARGABBY Ltda.
Calle 12 No. 27-58
Tels. 2772747 – 2018561
Bogotá, Colombia*