

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
TABLERO DE MADERA POSTENSADA
CON LOSA DE FERROCEMENTO PARA
SU USO EN PUENTES MENORES”**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES

PROFESOR GUÍA.
SR. HERNÁN ARNÉS VALENCIA
INGENIERO CIVIL

**JULIO ENRIQUE CÁRCAMO VERA
2006**

Gracias Doris y Julio, por estar siempre a mi lado, por darme su inmenso cariño, por el gran esfuerzo que hicieron y que me permitió estudiar esta hermosa carrera. Por todo esto y más este trabajo de tesis se los dedico a ustedes amados padres.

Nadia tu apoyo a sido fundamental, te la juegas por mi siempre y te lo agradezco de corazón, eres una hermana bondadosa y confío mucho en tu opinión profesional. Increíble que seas la menor.

A toda mi familia, somos un clan unido y que bueno que nos criaran así. En especial, Tío Pocho, tu afecto y apoyo desinteresado te lo agradeceré toda mi vida. A las que no están físicamente conmigo o permanecen en la distancia, Abuelita Nina y Jessica, nunca he sentido la falta de su cariño, están conmigo siempre.

La pasamos bien y la pasamos mal, pero juntos, son los mejores compañeros y amigos que se pueda tener: Priscila, Pablo, Jaime, Eduardo, Cesar, Lorena, Marcela, Carlita, Jorge, gracias por su apoyo.

Y por último gracias a Dios por poner a toda esta gente maravillosa en mi camino.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, tiene como objetivo diseñar y construir en conjunto una tablero de madera postensada con una losa de ferrocemento para su empleo en puentes menores. Para lo cual se empleará la Guía de especificaciones para el Diseño de Tableros de Madera Postensada y la Normativa Nacional, además, se tendrá que diseñar un sistema de conexión entre ambas losas de distinto material.

Posterior al diseño se construirá una losa compuesta, con las características ya mencionadas, para realizarle un ensayo de carga, medir deformación y observar el comportamiento de la estructura, lo que permitirá realizar una comparación entre los tipos comunes de superestructuras y la que se está ensayando.

SUMMARY

The followin thesis report has as objective to design and construct jointly a stress-laminated wood decks with a slab of ferrocement for its employment in small bridges. To obtain that, it will be used the Guide of Specifications for the Design of Stress-Laminated Wood Decks and the National Regulations. Furthermore, it will have to be designed a connection system between both slabs of different materials.

After the design, it will be constructed a 1:1 scale slab with the characteristics already mentioned to make it a load test, measure deflection and observe the behavior of the structure, that will allow carrying out a comparison between the common types of superstructures and the one that it is being tried.

INDICE

CAPITULO I	Introducción	1
CAPITULO II	Objetivos	2
	2.1 Objetivos generales	2
	2.2 Objetivos principales	2
CAPITULO III	Puentes de madera postensada	3
	3.1 Clasificación y partes de un puente	3
	3.1.1 longitud total	3
	3.1.2 longitud de vano	3
	3.1.3 calzada	3
	3.1.4 objetivo	3
	3.1.5 materiales	3
	3.1.6 diseño	4
	3.1.7 superestructura	4
	3.1.8 infraestructura	4
	3.1.9 accesos	5
	3.1.10 obras de defensa	
	3.2 Puentes postensados	5
	3.2.1 generalidades	5
	3.2.2 sistemas de ensamble	7
	3.2.3 equipos de tensión	7
	3.2.4 procedimiento en el postensado	9
	3.2.5 secuencia de postensado	10
	3.2.6 chequeo de las fuerzas de postensado	12
	3.2.7 comportamiento del tablero de madera	13
CAPITULO IV	Especificaciones para materiales componentes	16
	4.1 especificaciones para la madera	16
	4.1.1 definiciones	16
	4.1.2 requisitos	17
	4.1.3 daños en la madera	18
	4.1.4 protección de la madera	19
	4.2 especificaciones para el ferrocemento	20
	4.2.1 definición	20
	4.2.2 arena	21
	4.2.3 agua	21
	4.2.4 cemento	21
	4.2.5 aditivos	21
	4.2.6 malla acma	22
	4.2.7 malla hexagonal	23

4.3 especificaciones para los elementos de postensados	23
4.3.1 barras de postensado	23
4.3.2 sistemas de anclaje	24
4.4 especificaciones para elementos conectores	24
CAPITULO V	
Cálculo de las tensiones admisibles y de diseño de la madera	26
5.1 cálculo de las tensiones admisibles	26
5.2 cálculo de las tensiones de diseño	26
5.2.1 cálculo de los factores de modificación	27
5.2.1.1 por contenido de humedad	27
5.2.1.2 por duración de carga	28
5.2.1.3 por trabajo conjunto	28
5.2.1.4 por temperatura	29
5.2.1.5 por tratamiento químico	30
5.2.1.6 por altura	30
CAPITULO VI	
Diseño del tablero de madera postensada	32
6.1 determinación del espesor del tablero	32
6.2 determinación de un ancho de distribución de carga	32
6.3 cálculo de los momentos de diseño	34
6.3.1 momentos debido a cargas vivas	34
6.3.1.1 el máximo momento positivo debido a carga viva	34
6.3.1.2 el máximo momento negativo debido a carga viva	35
6.3.2 momentos debido a cargas muertas	35
6.3.2.1 máximo momento positivo debido carga muerta	36
6.3.2.2 el máximo momento negativo debido carga muerta	36
6.4 cálculos de los esfuerzos a flexión	38
6.5 cálculo de las deformaciones	39
6.5.1 deformación debido a carga viva	39
6.5.2 deformación debido a carga muerta	40
6.6 cálculo de esfuerzos de postensado	40
6.6.1 nivel de postensado para resistir momento transversal	41
6.6.2 nivel de postensado para resistir corte transversal	41
6.7 dimensionamiento de las barras de acero	43
6.8 dimensionamiento de las placas de apoyo	44
6.9 esfuerzo en los apoyos	47

CAPITULO VII	Diseño de la losa de ferrocemento	49
	7.1 diseño de la armadura de la losa de ferrocemento	49
	7.2 cálculo del módulo de elasticidad de diseño	54
	7.3 cálculo de la sección compuesta	55
	7.4 cálculo de los conectores	58
	7.4.1 cálculo de la resistencia a la extracción lateral de cada tirafondo	58
	7.4.2 factor de modificación por espesor de la pieza lateral	59
	7.4.3 factor de modificación por penetración del vástago en la pieza principal	60
	7.4.4 factor de modificación por diámetro	60
	7.5 cálculo de los esfuerzos en los sacados del tablero de madera	61
	7.6 cálculo del esfuerzo de corte entre ambas losas	62
CAPITULO VIII	Construcción de la losa de ensayo de ferrocemento y tablero de madera postensada	64
	8.1 generalidades	64
	8.2 configuración y ensamblaje del tablero de madera	64
	8.3 tensado de las barras de acero	65
	8.3.1 pérdidas en el tensado	68
	8.4 armadura de la losa de ferrocemento	69
	8.5 sacados en el tablero de madera y colocación de los tirafondos	70
	8.6 moldaje de la losa de ferrocemento	71
	8.7 hormigonado de la losa de ferrocemento	72
	8.8 ensayo de las muestras de rílem de la losa de ferrocemento	74
CAPITULO IX	Ensayo de carga al tablero de madera post-tensada con losa de ferrocemento	80
	9.1 generalidades	80
	9.2 metodología	82
	9.3 obtención de datos	84
CAPITULO X	Análisis comparativo de costos	87
	10.1 generalidades	87
	10.2 presupuestos	87
CAPITULO XI	Modelación del tablero de madera postensada con losa de ferrocemento por medio de elementos finitos	90
	11.1 metodología	90
	11.2 hipótesis de modelación	90
	11.3 obtención de resultados	92

CAPITULO XII	Obras anexas	96
	12.1 sistema de anclaje a los estribos	96
	12.2 análisis sísmico	96
	12.2.1 parámetros considerados en el análisis sísmico	97

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En nuestra región existe un gran número de puentes de madera, los cuales al ser construidos con tableros de forma tradicional, tienen su vida útil limitada a no más de siete años, esto debido principalmente a factores como pérdidas de clavos, pasadores y pernos, por causa de las vibraciones de los vehículos o de la abrasión producida por el tránsito, lo cual combinado con la pudrición que afecta a elementos en toda la estructura del puente otorgan esta corta vida útil.

Por lo anterior surge en Canadá en 1976 una nueva tecnología conocida como Puentes de Tableros Tensados, como forma de reparación para los puentes antiguos dañados y a finales de los 80's fue introducido con éxito a los Estados Unidos, llegando a incorporarse a la AASHTO en 1991 la "Guía de Especificaciones para el Diseño de Tableros de Madera Postensada", específicamente para normar el diseño de este tipo de puentes (Giuliano M., 2002).

En resumen la nueva tecnología consistía en cambiar los tableros antiguos por tablones dispuestos de canto en la dirección longitudinal del puente, los que en conjunto son postensados en dirección transversal, por medio de barras de acero de alta resistencia, con esto se quiere que el tablero funcione como un tablero sólido de madera, cuya función estructural es repartir las cargas de las ruedas de los vehículos a los tablones vecinos, los que no se encuentran directamente cargados, colaborando a resistir parte de la carga (Dechent P, 2002).

En Chile la única experiencia práctica que se tiene con un tablero tensado transversalmente corresponde al construido en el puente Cautín en la Novena Región en el año 2002. Esto se realizó por medio de un programa de Mantenimiento de la Dirección de Vialidad, para reemplazar su carpeta que se encontraba en malas condiciones.

Entonces la presente tesis quiere introducir una variante a este sistema y diseñar un tablero de madera tensado en conjunto con una losa de ferrocemento como carpeta de rodado y protección, para su uso en puentes menores, para ello se utilizará la norma AASHTO en conjunto con las normas nacionales y se construirá un modelo a escala real de largo 5 metros y de ancho igual a 60 cm y sobre este tablero se fabricará una losa de ferrocemento de espesor 8 cm. Además en el laboratorio LEMCO de la Universidad Austral se efectuarán ensayos, tanto de tensado del tablero de madera como al conjunto con la losa de ferrocemento para analizar su comportamiento en cuanto a resistencia y a sistemas de uniones entre ambos materiales, así como ensayos a los materiales que componen el ferrocemento, logrando así tener una perspectiva completa acerca de este nuevo sistema constructivo no difundido aún en nuestro país.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar y construir un tablero de madera postensada con losa de ferrocemento, para su uso en puentes menores, analizando su viabilidad con respecto a los sistemas clásicos de puentes que existen en nuestro país, como de hormigón, acero, madera o mixtos.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un tablero de madera postensada por medio de la AASHTO y su “Guía de Especificaciones para el Diseño de Tableros de Madera Postensada”, en conjunto con la norma chilena que rige al diseño de puentes que es el Volumen 3 del Manual de Carretera, capítulo 3.10.
- Construir un modelo a escala real un tablero de madera postensada con losa de ferrocemento, para lo cual se construirá un moldaje, se realizarán las mezclas de los materiales, etc, todo de acuerdo a la etapa de diseño.
- Realizar ensayos a las muestras de rílem tomadas a la losa de ferrocemento, para saber cuando se ha alcanzado la resistencia óptima del mortero y así ensayar la losa.
- Realizar un ensayo de postensado al tablero de madera, para obtener el nivel de preesfuerzo necesitado que se encuentra en la etapa de diseño.
- Ensayar en laboratorio el tablero de madera postensado en conjunto con la losa ferrocemento, someténdolas a la carga de bloques de cemento, encontrando el módulo de elasticidad del conjunto.
- Analizar el funcionamiento del sistema de anclaje de la losa de ferrocemento al tablero de madera postensado.

CAPITULO III

PUENTES DE MADERA POSTENSADA

3.1 Clasificaciones y Partes de un puente.

Los puentes tradicionales que existen en nuestro país se clasifican según su longitud total, longitud del vano, calzada, objetivo, materiales y diseño o construcción (AASHTO,1991). Definidos con más detalle a continuación:

3.1.1 Longitud total : De acuerdo a la longitud total L . Los puentes pueden agruparse en:

- Alcantarillas y puentes losas $0,5 \text{ m} \leq L \leq 10,0 \text{ m}.$
- Puentes menores $10,0 \text{ m} < L \leq 40,0 \text{ m}.$
- Puentes medianos $40,0 \text{ m} < L \leq 200,0 \text{ m}.$
- Puentes mayores $200,0 \text{ m} < L$

3.1.2 Longitud de vano : De acuerdo a la longitud de la luz libre o vano L_v . Las estructuras se pueden clasificar en:

- Alcantarillas y estructuras menores $0,5 \text{ m} \leq L \leq 10,0 \text{ m}.$
- Estructuras medianas $10,0 \text{ m} < L \leq 70,0 \text{ m}.$
- Estructuras mayores $70,0 \text{ m} < L$

3.1.3 Calzada : De acuerdo al número de pistas o vías de tránsito para el cual está diseñado el puente, éste puede clasificar como de puente de simple vía, doble vía, triple vía o más.

3.1.4 Objetivo : Con relación a su finalidad y objetivo, los puentes se clasifican en:

- Puentes rurales.
- Puentes urbanos.
- Viaductos.
- Pasos desnivelados.
- Puentes peatonales o pasarelas.
- Puentes ferroviarios.
- Puentes militares.
- Puentes provisorios.

3.1.5 Materiales: De acuerdo a los materiales constituyentes del puente, estos son:

- De madera
- De hormigón armado.

- De acero.
- De hormigón pretensado.
- De mampostería y sillería.
- Puentes mixtos, combinando los materiales anteriores.

3.1.6 Diseño: De acuerdo al diseño y estructuración, los puentes se clasifican según lo siguiente:

- Puentes de tramo simplemente apoyados, continuos o de vigas voladizas.
- Puentes en arco.
- Puentes apuntalados, en que el tablero actúa como puntal entre estribos.
- Puentes aporticados, marcos.
- Puentes colgantes, con o sin vigas atiesadores.
- Puentes atirantados.

Los elementos principales de un puente se agrupan en cuatro partes: superestructura, infraestructura, accesos y obras de defensa, identificados a continuación:

3.1.7 Superestructura: Corresponde a la continuidad del camino, con calzadas y bermas, sobre ríos u otra vía. Soporta las cargas móviles que transmite a la infraestructura por medio de los apoyos, además esta formada por uno o más tramos dependiendo de sus apoyos. Como parte importante de la superestructura esta el tablero, el cual esta constituido por la superficie de rodadura, los pasillos y barandas. Las barandas se colocan a lo largo de los bordes extremos del tablero, otorgando protección al tránsito vehicular y a los peatones.

3.1.8 Infraestructura : Parte del puente donde se apoya la superestructura y a través de la cual se transmite las cargas al terreno de fundación. La infraestructura esta constituida principalmente por:

- Estribos: Soportes extremos del puente.
- Cepas: Apoyos intermedios de puentes constituidos por más de un tramo.

3.1.9 Accesos : Principalmente corresponden a las siguientes obras:

- Terraplenes de acceso.
- Estructuras de pavimento.
- Bases, bermas.
- Losas de acceso.

3.1.10 Obras de defensa: Corresponden a los gaviones, enrocados, bajadas de agua en los terraplenes de acceso y elementos de contención, como muros de contención, muros jaulas y pilotes contenedores. Además se entiende por obras de defensa a las señalización y barreras camineras.

3.2 Puentes postensados.

3.2.1 Generalidades: Los puentes de madera postensada fueron introducidos por primera vez en Estados Unidos a final de la década de los ochentas, desde entonces, el concepto de postensado en madera ha sido incorporado a cientos de puentes construidos en ese país. La mayoría de esos puentes se encuentran localizados en las zonas rurales, de bajo volumen en tráfico. Para evaluar el comportamiento de estos puentes postensados, la USDA, que es el departamento de agricultura de Estados Unidos, en conjunto con otras entidades a fines, implementaron un monitoreo nacional desde 1988 hasta 1992, en el documento final de este estudio se incluyó aspectos relativos a la construcción, al registro de las fuerzas de tensados en las barras, comportamiento ante test de cargas y mediciones de deformaciones y creep, resultando en general todos los resultados satisfactorios, por lo cual se permite la construcción y continuar desarrollando estudios de esta tecnología.



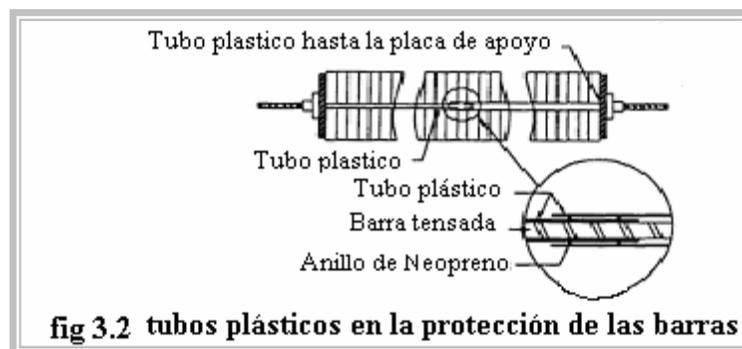
fig. 3.1 puente de madera postensada en zona rural.

Originalmente el concepto de postensado en madera fue desarrollado en Canadá, en 1976 como forma de rehabilitar los puentes dañados ya sean laminados que separaron por las cargas cíclicas o de tipo convencional cuya vida útil era demasiado corta y al comienzo de los ochentas el postensado fue adoptado para la construcción de nuevos puentes y numerosas estructuras fueron rehabilitadas exitosamente usando este concepto de postensado (Giuliano,2002).

Los puentes de madera postensada consisten, entonces, en una serie de laminas de madera colocadas una junto a la otra y que son comprimidas en conjunto, por medio de una barra de acero de alta resistencia, formando así un tablero de madera ortotrópica, estos puentes son caracterizados

por su buen comportamiento estructural que los hacen atractivos particularmente para caminos de bajo volumen y donde sea requerido puentes de tramos cortos de aproximadamente 11 metros.

Para obtener un mejor desempeño y asegurar el éxito y durabilidad de estos puentes, hay que centrarse principalmente en la calidad de los materiales que se usan en su fabricación, por lo cual es necesario de una inspección minuciosa ya sea en el momento de elegir los materiales y en el momento de construcción in situ, en cuanto a la madera empleada se recomienda que las piezas sean cortadas y cepilladas quedando de una sección uniforme ya que al tener piezas de espesor distintos no se producirá adecuadamente el traspaso de los esfuerzos desde las piezas cargadas a las alledañas, recomendando que los hoyos para las barras de tensado deben ser del doble del diámetro de las barras y no tienen que superar el 20% del espesor de la pieza. La madera además deberá ser tratadas con productos químicos para su preservación, según las normas que rigen este aspecto, la humedad contenida en las piezas de postensado en el tiempo de construcción, deberán estar cercanas a la humedad de equilibrio del ambiente, tomando como óptimo un máximo de humedad ambiente de 19 %, por cierto si la madera esta seca el resultado es mejor, hay menor deformación de las piezas en el tensado de las barras y la pérdida de tensado será mínima, por el contrario si la pieza es colocada con un alto contenido de humedad, eventualmente se secará y sufrirá perdidas de espesor, lo que resulta a la larga en una pérdida de tensado en las barras, que según los estudios que se han realizado es el problema que mas afecta al postensado de la madera.



Las barras de tensado, que atraviesan todo el tablero, deben tener una longitud que les permita sobresalir en ambos extremos un mínimo de 600 mm, además deben ser protegidas contra la potencial corrosión que las pueda atacar, si se emplean barras galvanizadas se modificarán las tuercas haciéndolas de mayor tamaño para compensar el galvanizado. En áreas donde la corrosión sea de alta probabilidad por la humedad presente o se esté en presencia de una ambiente salino, la mejor opción es cubrir las barras con tubos plásticos o de pvc y llenarlos de aceite o grasa, estos tubos plásticos deberán contar con uniones de te tipo anillos de neopreno, llamados anillos “o”, para que soporte los cambios de longitud que sufre debido al tensado de las barras.

3.2.2 Sistemas de ensamble: En cuanto al ensamble de los puentes postensados, este se puede hacer sobre los estribos, adyacente al puente o como prefabricado. Si se realiza sobre los estribos, la laminación para el postensado es poniendo cada pieza en forma individual y si las piezas son del largo requerido por el tramo total del puente se colocan en forma directa, de lo contrario se puede colocar andamios entre los estribos. Las primeras cuatro a ocho piezas que se colocan pueden ir clavadas y si el alineamiento es perfecto entre los orificios de las láminas de madera las barras se pueden insertar presionando a través de los eslabones, nunca curvando las barras demasiado ya que las puede dañar o afectar al galvanizado. Cuando se emplea el método de paneles, estos tienen un espesor que va desde 0.6 a 1.2 metros, que son clavados o ajustados a través de tableros de acero antes de colocar las barras a través de sus orificios, para ello tienen que estar perfectamente alineadas para luego introducir la barra de tensado con facilidad. Si el ensamble se realiza a un costado de la construcción, el tablero ya tensado se debe levantar con una grúa y colocarse en su sitio, para un buen resultado el lugar de trabajo debe estar plano y si es necesario colocarse apoyos de madera, simulando estribos y separando las piezas del suelo, el postensado se puede hacer por cada pieza individual o por tableros.

Otra forma de ensamble, es cuando se realiza el postensado de las piezas en una fabrica y se transporta el tablero como elemento prefabricado, para ello se postensan dos o mas tableros, los cuales serán unidos sobre el puente. Al momento de unir los tableros se liberan de las fuerzas de tensado y se quitan las tuercas en la cara interna, para unir las barras de ambas tableros por medio de una copla y así postensar finalmente las dos tableros en conjunto. Lo que se muestra en la siguiente figura:

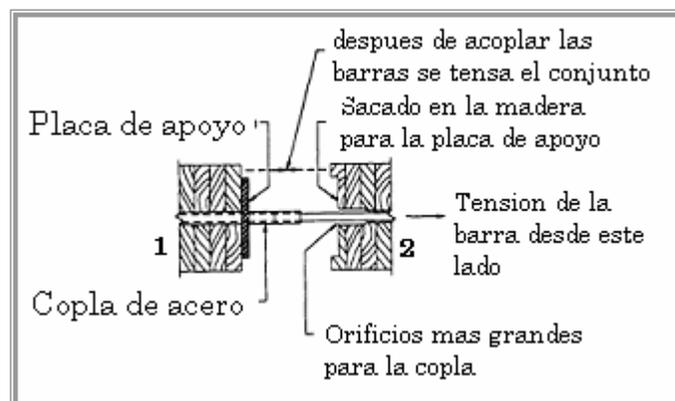


fig 3.3 unión de dos tableros de madera postensada.

3.2.3 Equipos de Tensión: El sistema de tensado es, sin duda, la parte más importante de los puentes de madera postensado, porque mantiene las láminas de maderas juntas y desarrolla la fricción necesaria para transmitir las cargas a las laminas continuas. Por esto es importante que las barras tengan las propiedades necesarias para mantener una presión uniforme sobre el tablero. Para que las láminas de los puentes queden tensadas juntas y uniformadas, el equipo de tensión empleado

es un gato hidráulico, que aplica la tensión a las barras jalándola desde un extremo donde está el tablero de apoyo.

Después de tensionar las barras, la tuerca de anclaje es apretada, entonces la tensión permanece en la barra cuando la gata es sacada.

El equipo comúnmente usado para postensar las barras consiste en un gato hidráulico, una bomba, una silla tensora de acero, manómetro. Lo que se muestra en la siguiente figura:

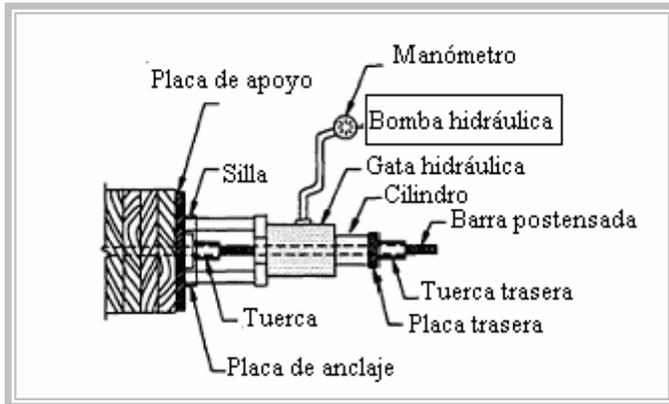


fig 3.4 Diagrama y equipo empleado en el postensado.

Se deben considerar los siguientes tópicos en cuanto al equipo:

- La capacidad de la gata hidráulica debe ser la suficiente para proveer la tensión de postensado de diseño.
- La silla tensora de acero se puede fabricar localmente, es importante que la base de la silla sea lo suficientemente grande como las dimensiones de la tablero de apoyo de la barra, ya que la silla no debe llegar directamente sobre las láminas de madera. La altura de la silla debe ser de dos a tres veces la profundidad de la tuerca de la base mas el ancho de la tablero de la base.

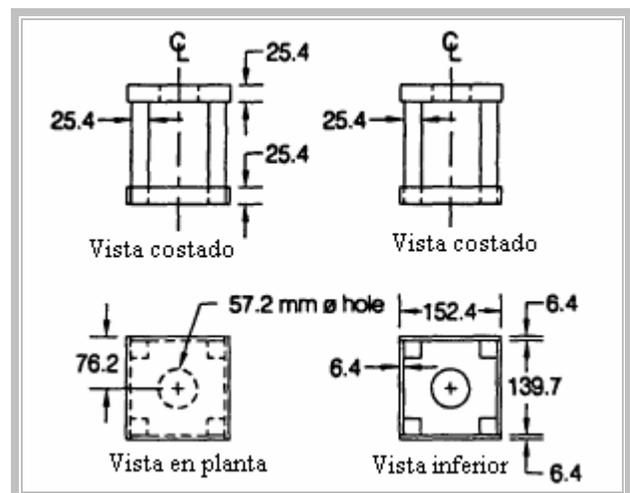
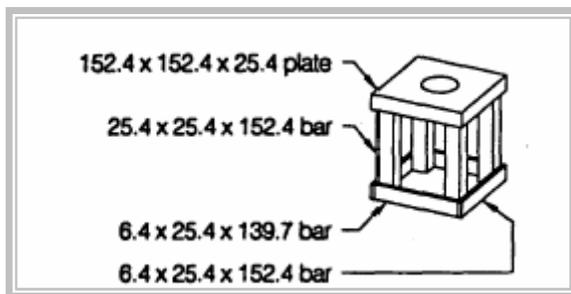


fig 3.4 Detalles de una silla tensora de acero

- La tablero trasera deberá cubrir completamente el cilindro del gato hidráulico y es generalmente del mismo tamaño que la tablero de apoyo.
- Se recomienda tener tuerca extras a mano durante el proceso de postensado de la barra. Después de repetidas veces de tensionar, las tuercas pueden tender a trabarse y deberán ser reemplazadas.
- Para un correcto tensado, la barra debe tener una longitud apropiada luego de la tuerca de anclaje donde se colocará el equipo de tensado. En el lado opuesto, las barras debe extenderse aproximadamente 25 mm después de la tuerca. Si existe un largo insuficiente de la barra para el equipo de tensado, se puede usar una copla y una extensión de la barra en forma temporal. Si esto es necesario es importante que la mitad de la copla sea dividida entre la barra de postensado y la barra de extensión, de lo contrario puede resultar en la falla de la copla. También es importante verificar que los orificios de la gata hidráulica y de la silla sean lo suficientemente larga como para permitir que la copla entre completa.

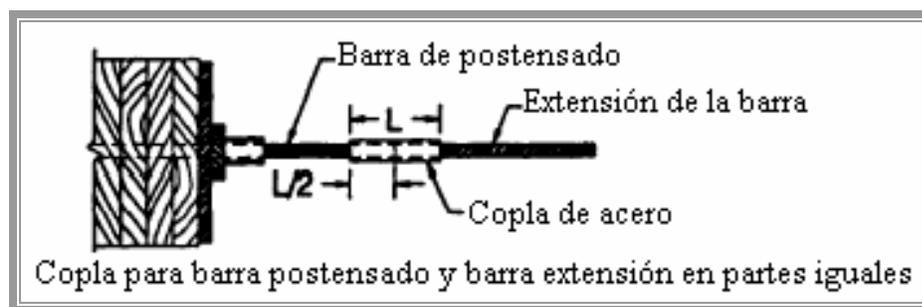


fig 3.5 Diagrama para copla y extensión de barra para el equipo de postensado.

3.2.4 Procedimiento en el postensado: Para tensar las barras, el equipo de tensión debe ser colocado en la extensión de la barra a lo largo del puente. El equipo es pesado y por lo tanto se deben tomar las medidas de protección para seguridad de los trabajadores. Si el puente es de baja altura el equipo puede colocarse por debajo levantándose hasta las barras, para puentes altos será necesario usar escaleras o andamios con las respectivas medidas de seguridad cuando se necesiten. A continuación se describen los pasos a seguir en el procedimiento de postensado:

- Se coloca la silla de tensión de acero y el gato hidráulico sobre la barra. Colocando el gato con el cilindro extendido hacia a fuera del puente (colocar el cilindro sobre la silla puede hacer que la silla se deforme o flexione).
- Colocar la tablero y tuerca traseras en la barra. Previendo un pequeño espacio de aproximadamente de 6 mm (0.25 pulgadas) entre la tablero trasera y el gato hidráulico, para prevenir atascos cuando la presión hidráulica sea liberada.

- Aplicar la presión hidráulica a través del gato hasta que el manómetro indique la lectura indicada. Es común aplicar de un 5% - 10% más de la fuerza, para compensar la pérdida que viene cuando la tuerca es apretada. Asegurándose además de que las escalas de lectura del manómetro sean las correctas ya que muchos manómetros tienen diferentes escalas para diferentes gatos hidráulicos.
- Apretar la tuerca de la barra contra el tablero de apoyo en el puente usando una llave abierta, a medida que se va apretando la tuerca, el manómetro de la bomba hidráulica irá decreciendo lentamente. En ocasiones, la tuerca se puede atascar en la barra de postensado, si esto pasara se la golpeará con cuidado a lo largo del eje de la barra hacia la dirección del puente para soltar la tuerca.
- Liberar la bomba hidráulica lentamente y remover el equipo de tensión.
- Durante todo el procedimiento de tensión, es de vital importancia que el personal no permanezca en la línea del tensado o que coloquen las manos u otra parte del cuerpo cerca del equipo de tensado, ya que las altas tensiones aplicadas a la barra durante el proceso en conjunto con un eventual corte de la barra, haría que saliera disparada a gran velocidad, pudiendo causar severos daños e incluso la muerte. Finalmente, es también importante no levantar del gato la manguera hidráulica, porque esto puede dañarla y causar futuras roturas.

3.2.5 Secuencia de postensado: Para que un puente de madera postensada funcione apropiadamente, todas las barras deben ser tensionadas uniformemente con la fuerza de diseño. Para minimizar la pérdida de fuerza en las barras causado por la pérdida de espesor en las láminas de madera, el postensado debe ser completado dos veces más durante el proceso de construcción, la primera vez es durante aproximadamente una semana después del primer tensionado, luego de 6 a 8 semanas después del segundo tensionado. Cuando es usada una gata individual, al tensionar una barra se comprime el puente y causa que las fuerzas en las barras adyacentes decrezca. Este efecto es mas pronunciado cuando el puente es inicialmente tensionado y decrece cuando las fuerzas en las barras son iguales. Para compensar este efecto, las barras deben ser tensionadas secuencialmente varias veces para uniformizar la fuerza de postensado. Esto es generalmente logrado cuando se postensiona la primera barra sobre el final del puente y se sigue así en forma sucesiva a lo largo del puente. El proceso es repetido varias veces hasta que todas las barras estén tensionadas de acuerdo al nivel de diseño.

Cuando las barras son tensadas inicialmente con un solo gato hidráulico, es importante que la tensión debe ser aplicada gradualmente para prevenir distorsiones a lo largo del borde del puente. Si las barras son inicialmente postensadas con el máximo nivel de diseño, los bordes del puente

pueden llegar a distorsionarse. Para un mejor resultado, los siguientes procedimientos son recomendados para el primer tensionado:

1. Iniciar en uno de los extremos del puente y consecutivamente se tensionarán cada una de las barras a aproximadamente un 25% del nivel de tensado de diseño. Durante este proceso se debe usar una guía para asegurarse que los bordes del puente permanecen derecho y sin curvaturas.
2. A continuación el mismo procedimiento, tensionar cada barra a aproximadamente un 50% del nivel de postensado de diseño. El nivel de la fuerza puede variar moderadamente para asegurar que los bordes del puente permanezcan derechos.
3. Se comienza de nuevo en un extremo del puente, ahora postensando cada barra a su nivel completo de diseño. Nuevamente, el nivel de las fuerzas pueden variar moderadamente para asegurar que los bordes del puente sigan estando derechos.
4. Retornar a la primera barra y repetir el paso número 3.
5. Si al chequear el nivel de postensado en cada barra, la fuerza esta un 10% por debajo del nivel de diseño, se retensionará la barra.

Estos pasos de procedimiento son suficiente para mantener uniforme la tensión de las barras. Sin embargo, en algunos casos, puede ser necesario repetir el paso 3 una o dos veces.

Después de iniciar el postensado, las barras deben ser retensadas una segunda e incluso una tercera vez de acuerdo con la secuencia de tensado previamente descrito. Al concluir cada postensado de las barras, el nivel de fuerza de tensado debe ser chequeado para verificar que todas las barras tengan el nivel de tensado de diseño. Cuando las ultimas dos postensados son completados, las fuerzas en las barras deberá estabilizarse y no caer bajo el 40% del nivel de postensado de diseño. Sin embargo la disminución e las fuerzas en las barras depende de muchos factores y deberán ser revisados periódicamente después de la construcción. Es recomendado que las fuerzas en las barras sean chequeadas anualmente por los primeros dos años después de construido y después de esto con un intervalos de 1 a 3 años. Esto siempre requiere poco tiempo y equipo sencillo y se asegurará que el puente se comportará de acuerdo a lo diseñado.

3.2.6 Chequeo de las fuerzas de postensado: Para chequear las fuerzas de postensado en las barras se usa el mismo equipo usado para tensar. Los dos métodos de llave o por manómetro, proveen una aceptable estimación de las fuerzas en las barras. El método de la llave es aplicado a las bombas manuales y eléctricas y el método del manómetro es aplicado sólo a las bombas hidráulicas operadas manualmente.

El método de la llave usado para determinar las fuerzas en las barras consiste en colocar una llave en la tuerca de la barra que está en la tablero de apoyo, aplicando una fuerza creciente a al gato hidráulico. Durante la aplicación de la fuerza al gato, la llave es empujada en la dirección para soltar la tuerca. La lectura del manómetro en el momento en que la tuerca se comienza a girar, representa aproximadamente la fuerza en la barra. En algunos casos, la tuerca se puede atorar en la barra y puede no dar vuelta cuando la fuerza en la barra es aplicada, en este caso, el gato hidráulico se coloca hasta que la tuerca es liberada desde la tablero de apoyo, girándola suavemente en ambas direcciones para desatorarla. Después de soltar la tuerca se asegurará de colocarla nuevamente en la posición original para liberar el gato hidráulico.

El método del manómetro es cuando el gato hidráulico aplica tensión a las barras, la aguja del manómetro se mueve relativamente rápido así como la carga inicial es aplicada, esto es porque el corto tramo de la barra entre la tuerca de la tablero de apoyo y la tuerca trasera es la que se tensiona. A medida que la fuerza se incrementa y la tensión es aplicada sobre toda la longitud de la barra, el gato comienza a tener dificultad para bombear y la aguja del manómetro se moverá más lentamente. Cuando la fuerza en la barra es sobrepasada y el gato hidráulico comienza a aplicar fuerza a la barra entera, hay una pequeña pausa en el movimiento de la aguja del manómetro. Esto ocurre aproximadamente en el punto donde la fuerza en el gato iguala a la fuerza que existe en la barra. Para chequear esta fuerza en la barra, el gato hidráulico bombeará lentamente y se debe observar el movimiento de la guja del manómetro, cuando la aguja para su movimiento momentáneamente se anota la lectura del manómetro, esta lectura representa aproximadamente la fuerza en la barra. El uso de este método para verificar la fuerza de la barra requiere práctica para darse cuenta cual es el punto donde la fuerza en el gato es igual al de la barra, entonces debe ser practicado con anterioridad.

Como una consideración adicional, se tiene que después que las barras en el puentes sean postensadas, es importante que una longitud considerable de la barra sobresalga a lo largo de un borde, esto para permitir futuras verificaciones de tensado y trabajos de retensados. Si una copla y una extensión de la barra serán usadas para futuras postensados, las barras deberán cortarse, pero un mínimo de 250 mm (10 pulgadas) de la barra deberá sobresalir de la tuerca de anclaje, cuando no se use copla ni extensión de barra en trabajos futuros, la longitud de la barra que debe sobresalir a la

tuerca de anclaje deberá ser de 450 a 600 mm (18 a 24 pulgadas), dependiendo de la longitud de barra que necesite el equipo de tensión empleado.

3.2.7 Comportamiento del tablero de madera: El tablero de madera postensada actúa como una tablero sólida de madera, esto debido a las presiones interlaminares que produce el postensado, otorgando continuidad al tablero, permitiendo que las láminas que no están cargadas directamente ayuden a resistir los esfuerzos de carga adyacentes.

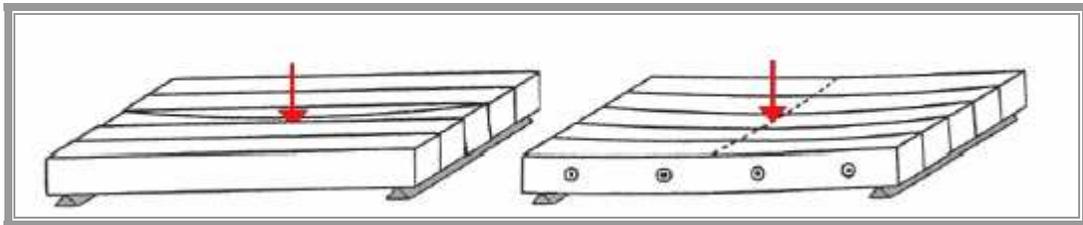


fig 3.6 comportamiento de tablero sólido del tablero postensado.

Como se ve en la figura la carga que representa la rueda de un vehículo, produce deformaciones en ambos sentidos, longitudinal y transversal, por lo mismo los momentos flectores también se desarrollan longitudinal y transversalmente, esto debido a que el tablero se comporta como un tablero ortotrópico con diferentes propiedades en ambos sentidos.

Como se sabe la madera no es un material homogéneo e isotrópico, como el hormigón, por ejemplo debido a sus características internas, ya que las propiedades de la madera dependen también de su constitución, es decir la forma en que están orientados los elementos que la forman, entonces se entiende la madera como un material heterogéneo y anisotrópico. No obstante esto se puede modelar la madera como un material sólido ortotrópico. Pasando de un tronco natural hasta el modelo ortotrópico en sí.

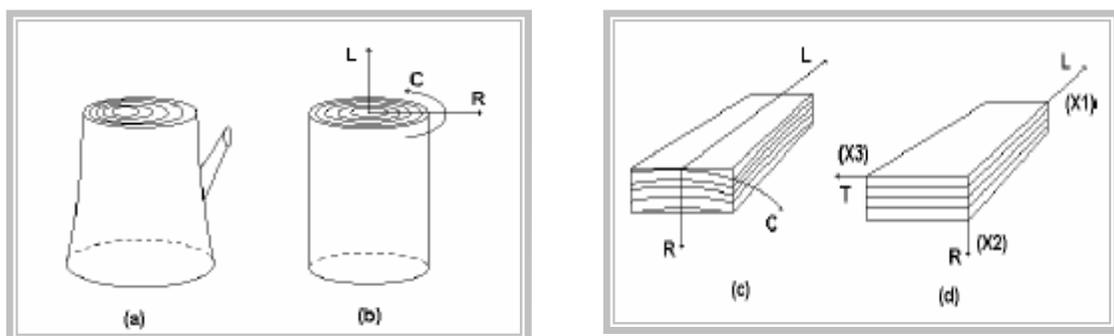


fig 3.7 Paso de un tronco natural a un sistema ortotrópico: a) tronco natural, b) Modelo cilíndrico de un tronco, c) Madera aserrada en coordenadas cilíndricas, d) modelo ortotrópico que representa a la madera.

Este modelo es posible si se ignoran ciertas características de la madera como la presencia de nudos, conicidad y excentricidades de crecimiento, teniendo en cuenta que la consideración de

tomar los anillos de crecimiento planos se da bajo ciertas condiciones, es decir en que los ejes geométricos X_1 , X_2 y X_3 , coincidan con los ejes ortotrópicos, Longitudinal, Radial y Tangencial. El error que se produce al tomar estas consideraciones como ciertas, dependen de la ubicación de la pieza de madera en el tronco, ya que una pieza de madera que se extrae cerca de la médula presentará anillos más curvos que una del extremo. Entonces los puentes postensados están compuestos por madera aserrada orientados longitudinalmente tomando en cuenta los ejes coordenados la configuración es la siguiente:

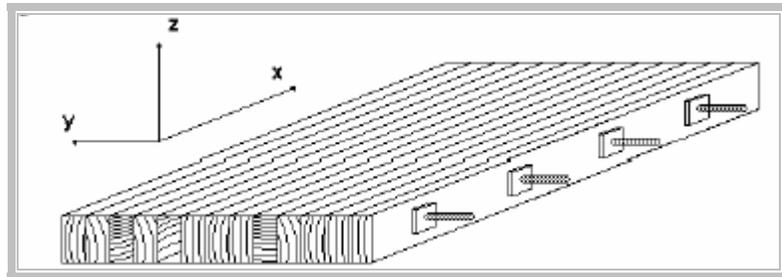


fig 3.8 orientación de los puentes postensados.

De los anterior se puede concluir lo siguiente:

- El eje X coincide con la dirección longitudinal del puente y con el eje longitudinal L de la madera.
- El eje Y coincide con la dirección transversal del puente y con el eje tangencial T o radial R de la madera, esto dependiendo de la orientación de cada trozo aserrado, ya sea madera floreada o cuarteada.
- El eje Z coincide con la dirección perpendicular al puente y con el eje tangencial T o radial R de la madera, dependiendo de la orientación de cada trozo aserrado, al igual que el caso anterior.

En cuanto a los esfuerzos que se producen en el tablero, se observa principalmente el efecto que produce la flexión transversal, que es la tracción de la parte inferior del tablero.

El corte transversal producido por la carga del vehículo a su vez produce un deslizamiento vertical de las láminas, para controlar estos dos efectos se requiere de un esfuerzo apropiado de postensado. Los esfuerzos longitudinales se comportan de la misma manera que para otros materiales, es decir, se controlan por medio de las secciones empleadas.

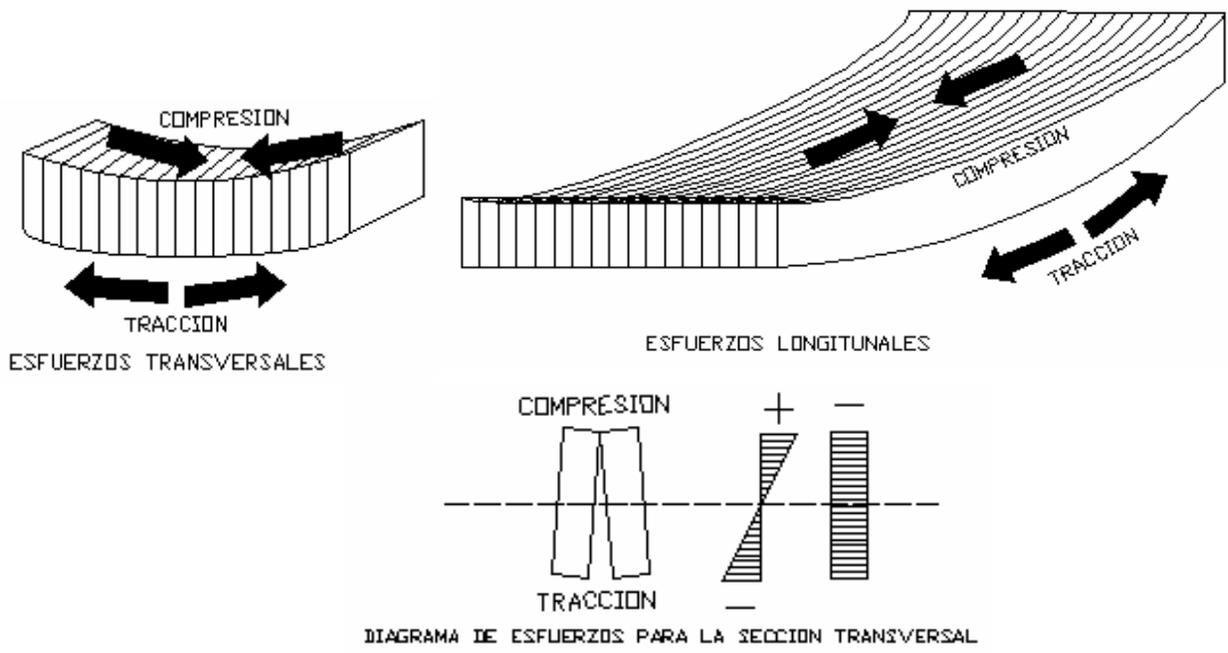


fig 3.9 Esfuerzos longitudinales y trasversales en la tablero de madera.

CAPITULO IV

ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES COMPONENTES

4.1 Especificaciones para la madera:

4.1.1 Definiciones: La madera es un material orgánico, no homogéneo, compuesto de células. Estas están conformadas fundamentalmente, por celulosa y lignina. La celulosa constituye la estructura de las paredes celulares, mientras que la lignina es el material ligante. Se entiende por latifoliadas, a las especies forestales que presentan principalmente la característica de tener las hojas anchas, al contrario de las Coníferas que corresponden a las especies que tienen sus hojas en forma de agujas bien alargadas. Al analizar a simple vista la sección transversal de un tronco de un árbol, conífera o latifoliada se distinguen los siguientes sectores:

- **Médula :** Tejido inactivo en el árbol adulto, que normalmente ocupa una posición central. Tiene escasas cualidades mecánicas.
- **Anillos de Crecimientos :** Anillos concéntricos a la médula, presentes en especies donde las estaciones climáticas son marcadas. Cada anillo está compuesto por una zona más clara y otra más oscura. Registra el crecimiento estacional y permite en muchas especies determinar la edad mediante su recuento.
- **Corteza:** Capa exterior que cumple una labor de protección a los agentes climáticos, patológicos, etc.
- **Albura :** Zona exterior de la madera, constituida por tejido vivo, encargado de la traslocación del agua, con nutrientes hacia las hojas.
- **Duramen:** Zona más hacia el interior del tronco, constituida por tejido similar a la albura, pero que está inactivo y ha sufrido un proceso de depositación de diversas sustancias en sus células, llamando duramenización.
- **Cambium:** También denominado Cambio. Se encuentra adyacente al xilema (Porción mayor de un corte transversal de un tronco, incluyendo desde la médula hasta muy cerca de la corteza) y es el tejido generador de nuevas células. Hacia el interior del leño se forman células xilemáticas, mientras que hacia la corteza, células del floema. Constituye una capa muy delgada, difícilmente distinguible a simple vista.

- **Floema o Corteza interior:** Tejido comprendido entre el cambio y la corteza. Su labor principal es trastocar la savia elaborada de las hojas hacia el resto de los tejidos.
- **Corteza o Tejido exterior de un tronco:** Cuya principal función es de protección. También tiene una zona cambiar, donde se producen las células que formarán la corteza.

Lo anterior se muestra en la siguiente figura esquemática:

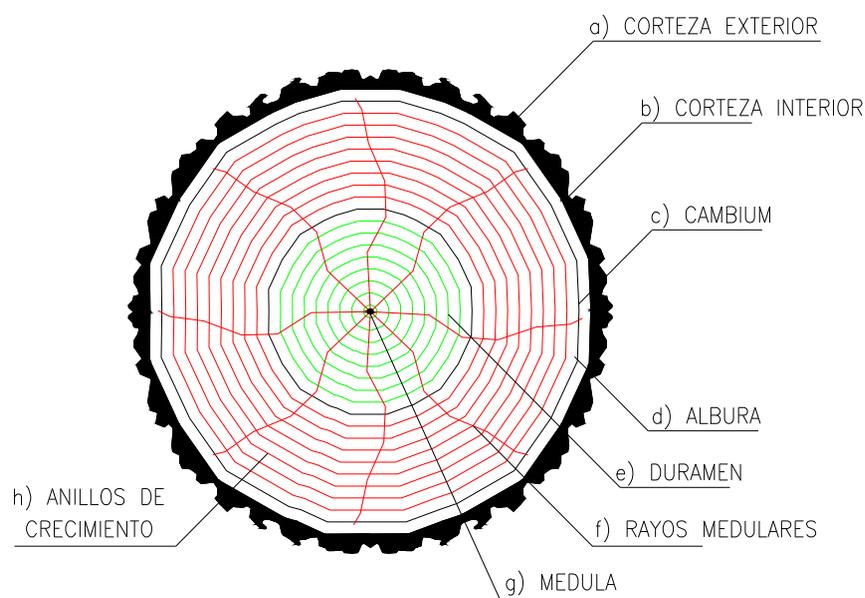


fig. 4.1 sección transversal de un árbol.

4.1.2 Requisitos: La elección del tipo de madera en nuestro caso para el tablero postensado será de Pino Radiata por lo tanto, la norma que rige su clasificación es la NCh 1207, que establece los requisitos básicos que debe cumplir la madera aserrada o cepillada, seca ($H < 18\%$), de Pino Radiata, destinada a un uso estructural cuyas dimensiones no resulten mayores a 38 mm de espesor y 63 mm de ancho y que se clasifica con un procedimiento visual. Los requisitos que deben cumplir las piezas de madera se resumen a continuación:

- Las fallas que puede presentar las piezas de madera y que la imposibilitan para ser empleadas en el tablero es principalmente es el Alabeo que corresponde a la deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos a la vez, es decir arqueadura y acanaladura, respectivamente.
- Además se recomienda que las laminas de madera contengan un porcentaje de humedad cercano al lugar donde se emplazará la construcción, esto porque las láminas con alto contenido de humedad, sufren a lo largo del tiempo una disminución en sus dimensiones,

debido a la contracción por el secado, produciendo a su vez un problema de pérdida de tensado en la barras. Por esto último es altamente recomendado que se utilicen piezas en estado seco.

- En cuanto a los cortes y perforaciones de la madera que se hacen necesarios para su uso en el tablero, estos deben realizarse antes del tratamiento de preservación al que se someta la pieza, para asegurar un ancho constante a lo largo de la pieza se cepillará por lo menos una cara, con esto se asegura que los esfuerzos se transmitirán adecuadamente a las láminas adyacentes cumpliendo con el objetivo del tensado.

4.1.3 Daños en la madera: Los problemas de desintegración en la madera se produce por distintas causas y depende de cada caso en particular identificar el agente causal de la destrucción, esto para elegir el mejor método de protección. Las causas que producen esta destrucción de la madera se pueden dividir en dos grandes grupos, estos son las causas biológicas y causas externas. Entre las primeras se encuentran los hongos o insectos que atacan a la madera en cualquier estado en que esta se encuentre; las causas externas corresponden situaciones eventuales como tormentas, inundaciones aludes etc. En nuestro caso nos centraremos en los agentes biológicos, que corresponden principalmente a:

- **Hongos cromógenos:** Los hongos cromógenos suelen alimentarse de los compuestos orgánicos fácilmente digeribles, almacenados en la madera; causan coloración que pueden clasificarse como defectos y ejercen escasa o nula influencia sobre las propiedades de la madera. No destruyen la madera, pero influyen en su predisposición para ser atacada por hongos de pudrición. Producen un cambio de color original de la madera, tomando un color azulado en la albura. El material afectado no pierde resistencia.
- **Hongos de pudrición :** Este grupo es el más importante y abarca los hongos que son capaces de desintegrar las paredes de la célula y, por lo tanto cambian las características físicas y químicas de la madera. Tal desorganización de la materia da lugar al estado llamado “pudrición”. Se reconocen dos tipos de pudrición, La Pudrición Blanca, Producida por hongos que atacan la lignina, dejando un residuo blanquecino y la Pudrición Parda generada por el ataque de la celulosa dejando un residuo pardusco.
- **Bacterias que descomponen la celulosa:** La intervención de las bacterias, en la destrucción de la madera, es poco conocida debido a que tiene escasa importancia, si se compara con la de los hongos. Su acción se explica, lo mismo que en el caso de los hongos, por la actividad enzimática. Aunque las bacterias segregan enzimas distintas a la de los

hongos, no hay diferencia esencial entre los efectos de ambos microorganismos sobre la madera. Puede decirse que las bacterias que disuelven la celulosa no desempeñan, en general, un papel importante en la destrucción de la madera puesta en servicio; pero es innegable que la velocidad de pudrición puede ser aumentada por la presencia de estos organismos.

- **Mohos :** Pueden desarrollarse en la madera, produciendo proliferaciones algodonosas sobre la superficie. El comienzo y extensión de estos hongos dependen de temperaturas favorables y de la existencia de una abundante humedad. El moho es perjudicial por el aspecto que comunica al material infectado. El moho de la superficie puede cepillarse y quitarse de la madera y el hongo causante no parece afectar a la resistencia y otras propiedades importantes, en grado considerable. Siempre existe la posibilidad de que la madera enmohecida esté atacada por la pudrición, pues, las condiciones que facilitan el crecimiento de los mohos, estimulan el desarrollo de los hongos xilófagos.

4.1.4 Protección de la madera: La protección que necesita la madera se logra con preservadores, que corresponden a sustancias químicas, que aplicadas convenientemente a la madera la hacen resistente a los ataques de los hongos, insectos, etc. Este efecto se logra haciendo a la madera repelente a los agentes biológicos que la atacarían si no estuviera tratada. Dentro de las cualidades que debe cumplir un buen preservante están, que deben ser tóxico para los destructores de la madera, permanentes, seguros de manejar y de usar, no ser corrosivos para la madera y el metal y ser abundantes y económicos.

En este caso para proteger la losa de madera de Pino Radiata se usará un tipo de preservante que es Creosotado, que consiste en un preservante que contiene alquitrán, destilados del alquitrán o ambos, las características principales que presenta son las siguientes:

- No son corrosivos y no se inflaman rápidamente a temperatura normal de tratamiento.
- Son satisfactorios desde el punto de vista de permanencia y resistencia al lavado.
- La madera tratada con estos preservantes no puede ser pintada satisfactoriamente o bien deben pintarse mucho tiempo después de su aplicación.
- Son aceitosos y de color oscuro, tienen un olor característico que impregna fácilmente ciertos alimentos (ejemplo : grasas, huevos), aún cuando no estén en contacto directo con ellos.

- Son apropiados para madera que va en contacto con el suelo y solamente para ciertos trabajos en interiores.
- No se producen cambios en las dimensiones y formas de la madera, debido a la pérdida de humedad.

Además el pino radiata presenta la característica de ser una madera de alta permeabilidad lo que recomienda el uso de preservantes oleosolubles como la cerosota.

Algunos preservantes creosotados son: la cerosota propiamente tal, el aceite de alquitrán, la mezcla de cerosota-petróleo, todos estos económicos y de fácil ubicación.

El uso de Pino Radiata preservado, es clasificado según el riesgo esperado en servicio como se muestra en la siguiente tabla.

Clasificación de la madera de Pino radiata según su uso y riesgo esperado en servicio.(Tabla 4.1)

Clasificación	Uso / Agente de deterioración
Grupo 1 (R1)	Maderas usadas en interiores, ambientes secos, con riesgos de ataque de insectos solamente, incluida la termita subterránea.
Grupo 2 (R2)	Maderas usadas en interiores, con posibilidades de adquirir humedad, ambientes mal ventilados. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 3 (R3)	Maderas usadas en exteriores, sin contacto con el suelo, expuesta a las condiciones climáticas. Riesgo de ataques de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 4 (R4)	Maderas enterradas o apoyadas en el terreno, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 5 (R5)	Maderas enterradas en el suelo, componentes estructurales críticos, en contacto con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos e insectos.
Grupo 6 (R6)	Maderas expuestas a la acción de aguas marinas y para torres de enfriamiento. Riesgo de ataque de horadores marinos.

4.2 Especificaciones para el ferrocemento:

4.2.1 Definición: El ferrocemento corresponde a un material de construcción compuesto principalmente de mortero y de refuerzos metálicos, los cuales trabajan en forma conjunta para resistir los esfuerzos solicitantes. A continuación se describen las características que deben cumplir los materiales componentes del mortero, es decir el cemento, arena y agua y además los tipos de refuerzos que se van a utilizar para la construcción de la losa.

4.2.2 Arena: Según la NCh 163, la arena a usarse en la fabricación de mortero debe estar limpia de impurezas orgánicas y sustancias químicas que afecten a la resistencia o a la adherencia con los otros materiales componentes, por ende debe ser totalmente inerte. La granulometría exigida para la arena es tal que permita la distribución correcta del árido por todo el material, sin presentar segregación con el uso de una cantidad restringida de agua, para ello se emplea arena que pase un 100% por el tamiz N°8, lo que se muestra en la siguiente tabla de granulometría recomendada para el mortero de ferrocemento:

Granulometría de áridos para el mortero de Ferrocemento (Tabla 4.2)

Tamiz N° (ASTM)	Abertura de Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa en Peso (%)
8	2.36	100
16	1.18	60 - 85
30	0.60	40 - 60
50	0.30	25 - 40
100	0.15	2 - 10

Para la fabricación de la losa se usó arena del LEMCO tamizada manualmente para que cumpliera con la tabla anterior

4.2.3 Agua: El agua debe cumplir con las condiciones básicas las mismas requeridas para la construcción de cualquier tipo de hormigón, por ejemplo no debe presentar materia orgánica o presencia de sustancias químicas dañinas que produzcan oxidación en la armadura u segregación de los áridos, por ejemplo las sales. En la construcción de la losa se emplea agua potable del LEMCO, ya que el agua de la red pública cumple con los requisitos de Ph, dureza, sólidos en suspensión, materia orgánica etc.

4.2.4 Cemento: Por definición el cemento es un material pulverizado que en conjunto con el agua forma una pasta con la capacidad de endurecer. Esta mezcla se realiza en base a una dosificación calculada con anterioridad. Comúnmente se usa cemento de tipo Pórtland, en este caso se usa cemento melón extra de resistencia inicial más elevada que el común de los cementos.

4.2.5 Aditivos: Productos que se incorporan a la mezcla con el objetivo de cambiar alguna de las propiedades que posee el mortero, estas pueden ser mejorar la trabajabilidad, aumentar la resistencia inicial, cambiar el tiempo de fraguado. En este caso se usó un aditivo de tipo plastificante con el objetivo de darle al mortero una mayor trabajabilidad, con el objetivo además de disminuir la cantidad de agua necesaria y así mejorar características de construcción como impermeabilidad, aumento de resistencia, entre otras. Existen otros tipos de aditivos empleados

generalmente para la construcción del mortero, estos son los aditivos aceleradores, retardadores, expansores, impermeabilizantes, incorporadores de aire etc.

4.2.6 Malla ACMA : La malla acma empleada para reforzar la losa de ferrocemento, debe cumplir con las normas:

- NCh 1173 of 77 : Que establece los requisitos que debe cumplir el alambre de acero de alta resistencia para su utilización en hormigón armado y
- NCh 219 of 77 : Que establece las condiciones de uso de la malla soldada fabricada con alambre de acero de alta resistencia para su utilización en hormigón armado.

La malla es unida por medio de soldadura por fusión eléctrica, es decir, sin aporte de material, lo que permite lograr uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad, además al tener estas uniones soldadas que no se corren, las secciones de acero, se mantienen sin variación.

El uso de malla acma trae las siguientes características positivas:

- **Reducción del peso:** Gracias a la alta resistencia del acero con que son construidas, permite reducir las secciones, disminuyendo el peso de los elementos de hormigón armado.
- **Reducción en el tiempo de ejecución en obra:** Se reduce considerablemente el tiempo de ejecución, debido a que se eliminan las faenas de enderezado, corte, doblado y amarre.
- **Economía de mano de obra:** Se eliminan faenas propias del fierro tradicional, por consiguiente se reduce la utilización de mano de obra especializada.
- **Adherencia al Hormigón:** Los cruces soldados a lo largo de las barras, proporcionan un anclaje efectivo del hormigón.
- **Facilidad y rapidez de instalación:** Por tratarse de elementos prefabricados, estas mallas electrosoldadas, son fáciles y rápidas de instalar, ahorrando tiempo y dinero.

Las propiedades de la malla ACMA C-139, sin economía de borde, empleada en la construcción de la losa, se muestran a continuación:

- Límites de ruptura y de fluencia corresponden a 5600 Kg/cm^2 y 5000 Kg/cm^2 , respectivamente.
- El módulo de elasticidad de la malla corresponde a 200.000 Mpa .
- $d_p = d_s = 10 \text{ cm}$.
- $a_p = 2,6 \text{ m}$ y $a_s = 5 \text{ m}$.
- Diámetro de las barras $4,2 \text{ mm}$.

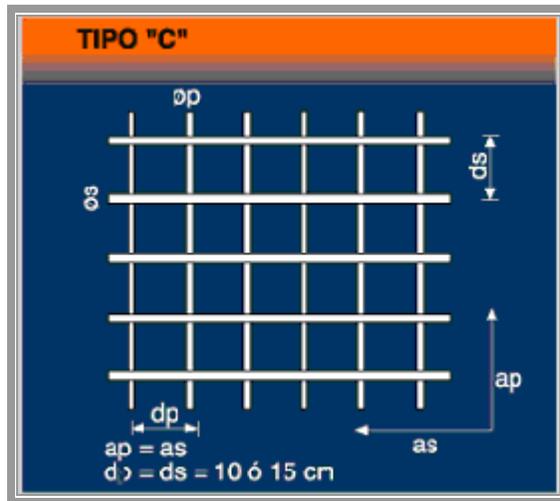


fig. 4.2 propiedades de la malla acma.

4.2.7 Malla gallinero hexagonal: Esta malla es empleada como armadura difusa dentro de la losa de ferrocemento, para impedir fisuras en el mortero, corresponde a la malla comúnmente conocida como de gallinero, que en este caso tendrá una abertura de $\frac{3}{4}$ " y cuyas principales propiedades se muestran a continuación:

- Límites de fluencia corresponden a 2000 Kg/cm^2 .
- El módulo de elasticidad de la malla hexagonal corresponde a 104.000 Mpa .
- Diámetro de la malla $0,71 \text{ mm}$.

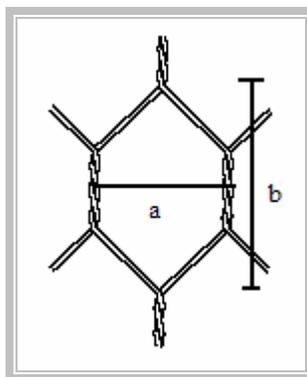


fig. 4.3 dimensiones de la malla hexagonal; $a=21\text{mm}$, $b=26\text{mm}$

4.3 Especificaciones para los elementos de postensado:

4.3.1 Barras de postensado: Se recomienda el uso de barras de alta resistencia, las cuales cumplan con las necesidades de diseño. Para este caso se emplea acero de calidad SAE 1045 en barras de diámetro 12 mm . El largo de las barras dependerá de las dimensiones del tablero, pero se recomienda que sobrepase el borde unos 600mm para permitir un correcto ensamblaje y si fuera necesario un futuro postensado. Para la protección de las barras contra la corrosión se recomienda realizarles un galvanizado y cuando las condiciones de humedad son extremas, como en este caso,

la mejor opción es proteger las barras con tubos de PVC que en su interior serán rellenos con grasa, estos tubos deben contar con un anillo de neopreno para permitir movimientos de contracción sin que falle el material

4.3.2 Sistema de anclaje: Los sistemas de anclaje para puentes postensados existentes en la actualidad consisten en sistemas continuos de perfiles de acero y sistemas asilados de tableros de apoyo.

Los sistemas de anclaje continuos son mas costosos, pero presentan un mejor desempeño en la distribución de los esfuerzos, el inconveniente mas importante de este tipo de apoyos corresponde a que si se presentaran daños en las laminaciones interiores de madera, estas podrían no ser vistas o si se requieren cambios de las laminaciones se tendría que liberar el perfil en toda su longitud.

Por lo anterior el sistema elegido es de tipo discreto, es decir, esta compuesto por un conjunto de tableros dispuestas a distancia establecida según diseño y cuya función principal es sujetar a las barras de acero de postensado, distribuyendo las tensiones uniformemente, la sujeción se realiza a través de tuercas y tableros de anclajes, cuya calidad en acero serán de las mismas que las barras de postensado.

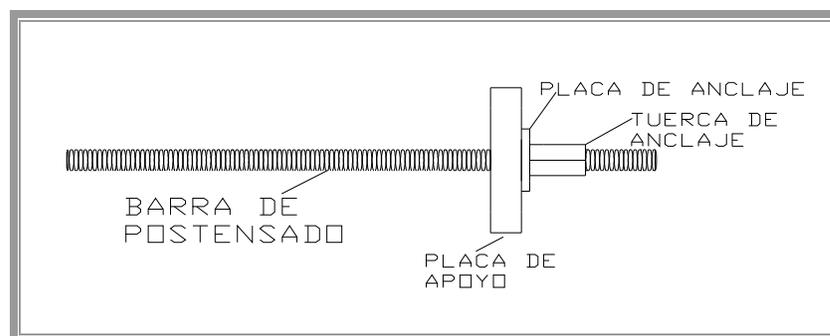


fig 4.2 esquema del sistema de anclaje empleado en puentes postensados.

4.4 Especificaciones para elementos Conectores: Los tirafondos son empleados como sistema de conexión entre el tablero de madera y la losa de ferrocemento para que el tablero en su conjunto actúe como una unidad sin deslizamientos individuales, son de acero A 37-27 de 1/2" x 5 1/2" y tiene las siguientes características geométricas:

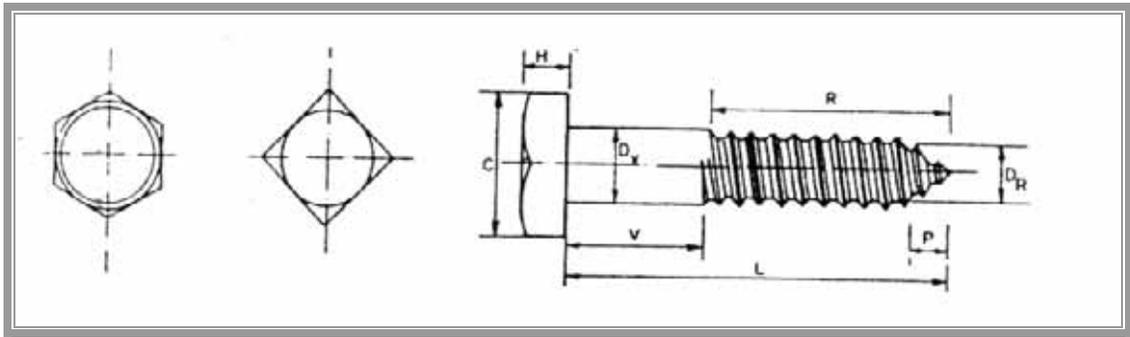


fig 4.3 características de los tirafondos.

en donde:

D_v	=	12.7	mm
D_R	=	9.4	mm
P	=	7.9	mm
H	=	8.3	mm
C	=	19.1	mm
L	=	139.7	mm
R	=	76	mm
V	=	64	mm

Los tirafondos deben ser instalados en perforaciones guías y según la NCh 1198 se debe cumplir con lo siguiente:

- El agujero donde se alojará el vástago del tirafondo debe tener el mismo diámetro, D , del vástago y una profundidad igual a la longitud, V , de la zona sin rosca del tirafondo.
- El agujero para la zona con rosca del tirafondo debe tener una profundidad de al menos igual a la longitud de la zona roscada del tirafondo, $R-P$ y un diámetro comprendido entre 60% - 75% de dicho diámetro, esto para las especies del grupo B de la Tabla 38 de la Norma a la cual corresponde el pino radiata por tener una densidad anhidra de 450 kg/m^3 .

CAPITULO V

CÁLCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES Y DE DISEÑO DE LA MADERA

5.1 Cálculo de las tensiones admisibles: Las tensiones admisibles dependen de la especie maderera y del grado estructural, entonces para realizar este tablero se debe contar con una especie de fácil acceso y que esté normada para obtener sus resistencias admisibles, en este caso se opta por pino radiata de clase estructura G1. La guía de especificaciones para el diseño de madera postensada, centra sus estudios en maderas de grados americanos señalados en el capítulo C13.11, pero se puede hacer un símil con los grados estructurales de las maderas chilenas y aplicar la guía de diseño. Entonces para pino radiata se tiene:

Tensiones admisibles y módulo de elasticidad para pino radiata clase estructura G1(Tabla5.1)

Tensiones admisibles (T/m ²)					Modulo de elasticidad en flexión Ef
Flexión F _f	Compresión paralela F _{cp}	Tracción paralela F _{tp}	Compresión Normal F _{cn}	Cizalle F _{CZ}	
750	560	450	250	70	900000

5.2 Calculo de las tensiones de diseño: Obtenidas las tensiones admisibles de la madera elegida se procede al cálculo de las tensiones de diseño, para ello se necesita calcular factores de modificación, que aplicadas a las admisibles se obtendrán las segundas. Las tensiones de diseño y los factores de modificaciones se calculan a continuación:

$$F_{ft,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_T \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_Q \cdot K_{hf} \quad (5.1)$$

$$F_{cn} = F_{cn} \cdot K_H \cdot K_T \cdot K_Q \quad (5.2)$$

$$E_{f,dis} = E_f \cdot K_H \cdot K_T \cdot K_Q \quad (5.3)$$

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_T \cdot K_Q \quad (5.4)$$

5.2.1 Cálculos de los factores de modificaciones:

Especie maderera	:	Pino radiata
Ubicación	:	Valdivia
%humedad de servicio	:	17%
%humedad de fabricación	:	12%
Grado estructural	:	G1
Temperatura	:	11.9°C
Densidad valor medio	:	0.45 ton/m ³

5.2.1.1 K_H Factor de modificación por contenido de humedad

Según el espesor de la pieza y humedad del lugar de construcción, para obtener este factor de modificación se emplea la siguiente fórmula:

$$K_H = (1 - \Delta H \cdot \Delta R) \quad (5.5)$$

en donde:

ΔH = diferencia entre el valor de contenido de humedad de servicio y 12%.

ΔR = variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad. Según la siguiente tabla:

Variación de la resistencia (Tabla5.2)

Solicitaciones	ΔR
Flexión	0.0205
Compresión paralela	0.0205
Tracción paralela	0.0205
Cizalle	0.0160
Compresión normal	0.0267
Módulo de elasticidad	0.0148

Para la ciudad de Valdivia se tiene que la humedad de equilibrio es de 17%, entonces:

$$K_H = (1 - (17\% - 12\%) * 0.0205)$$

$$K_H = 0.998975 \quad \text{Para flexión}$$

$K_H = 0.998665$ Para compresión normal a la fibra

$K_H = 0.99926$ Para modulo de elasticidad

5.2.1.2 K_D Factor de modificación por duración de carga.

Para su calculo se emplea la siguiente expresión:

$$K_D = \frac{1.747}{t^{0.0464}} + 0.295 \quad (5.6)$$

en donde:

t = duración de la carga en segundos.

Pero la norma no especifica la duración de la carga en segundos cuando corresponde al camión de diseño sobre un puente, por eso en este caso se usa K_D que es un factor de duración de carga especificado en el artículo 13.5.52 de la AASHTO y que tiene por valor 1.15, que es el valor de duración de carga de dos meses. Entonces:

$$K_D = 1.15$$

5.2.1.3 K_C Factor de modificación por trabajo conjunto

Lo que señala la norma NCh 1198 es que este factor de modificación se aplica a las tensiones admisibles para elementos estructurales, que conforman un sistema que comparte la carga, consistente en elementos paralelos distanciados en no mas de 610 mm, pero no se hace mención a elementos postensados, por ello no se emplearán los valores de la tabla N° 9 de la norma, sino lo que estipula el capítulo C 13.27 de la Guía de Especificaciones, que sugiere un incremento del 30% para la tensión admisible en flexión para madera de alto grado y de 50% para madera de bajo grado, esto basado en estudios de realizados por Sexsmith en 1979. Estos estudios señalan que cuando múltiples miembros están combinados juntos como la madera laminada, los esfuerzos de ensamblaje tienen menor variación que las piezas individuales, entonces cuando el esfuerzo de ensamblaje alcanza la resistencia de la madera, las piezas individuales fallarán antes que el ensamblaje. Haciendo una relación entre los grados de madera americanos y nacionales se puede llegar a que una madera de alto grado corresponde a madera estructural N° 1 y la madera de bajo grado corresponde a un grado estructural N° 2, entonces los valores del factor de modificación son:

$K_C = 1.3$ Para grado estructural N° 1

$K_C = 1.5$ Para grado estructural N° 2.

En nuestro caso la madera empleada es pino radiata G1, por lo tanto el factor de modificación por trabajo conjunto es: $K_C = 1.3$.

5.2.1.4 K_T Factor de modificación por temperatura

Este factor de modificación se aplica a las tensiones admisibles y al módulo de elasticidad, cuando las piezas de madera aserrada están sometidas a temperaturas inferiores o mayores a 20°C , utilizando la siguiente expresión:

$$K_T = (1 + \Delta T \cdot C_T) \quad (5.7)$$

en donde:

ΔT = Diferencia entre 20°C y el valor de la temperatura de servicio (t), entonces:

$$\Delta T = (20^\circ - t)$$

C_T = Variación de la resistencia por cada 1°C de variación de la temperatura.

Entonces para la ciudad de Valdivia se tiene un temperatura media anual de 11.9°C , por lo tanto:

$$\Delta T = (20^\circ - 11.9) = 8.1^\circ\text{C}$$

Los valores de C_T (Tabla 5.3):

Propiedades	Contenido de humedad %	Incremento por enfriamiento bajo 20°C (no inferior a -180°C) C_T
Módulo de elasticidad	12	0.0027
Otras propiedades	12	0.0058

Aplicando las fórmulas se obtiene:

$$K_T = 1 + 8.1 * 0.0027$$

$$K_T = 1.02187 \quad \text{Para Módulo de elasticidad}$$

$$K_T = 1 + 8.1 * 0.0058$$

$$K_T = 1.04698 \quad \text{Para Otras propiedades}$$

5.2.1.5 K_Q Factor de modificación por tratamiento químico

La norma NCh 1198 establece que cuando las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo de pudrición, las maderas de las estructuras deben ser sometidas a un proceso de preservación, esto según lo estipulado en las normas NCh 630, NCh 755 y NCh 1439. En nuestro caso se aplica creosota a las piezas del tablero y según lo señalado en el anexo I de la norma, que señala que los preservantes creosotados, disueltos en aceites derivados del petróleo, son inertes a la madera y no tienen una influencia química que pueda afectar a su resistencia. Por lo tanto se tiene:

$$K_Q = 1$$

5.2.1.6 K_{hfl} Factor de modificación por altura

El método de diseño según la guía de especificaciones, establece que sea tomada una porción del tablero y diseñada como una viga simplemente apoyada y como el sistema de postensado permite que sea tomado como si fuera una sola pieza, lo mismo que ocurre con vigas de madera laminada, que la norma NCh 1198 en el capítulo 11 señala que si las piezas tienen una altura mayor que 300 mm, este factor se calcula con la siguiente fórmula:

$$K_{hfl} = \left(\frac{309}{h} \right)^{1/9} \leq 1 \quad (5.8)$$

en este caso la altura del talero es de 140 mm, por lo tanto:

$$K_{hfl} = 1$$

Con los factores calculados anteriormente se calculan las Tensiones de Diseño:

$$F_{ft,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_T \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_Q \cdot K_{hf}$$

$$F_{ft,dis} = 750 \cdot 0.998975 \cdot 1.04696 \cdot 1.15 \cdot 1.3 \cdot 1 \cdot 1$$

$$F_{ft,dis} = 1172.72 \quad T/m^2 \quad (5.9)$$

$$F_{cn} = F_{cn} \cdot K_H \cdot K_T \cdot K_Q$$

$$F_{cn} = 250 \cdot 0.998665 \cdot 1.046981 \cdot 1$$

$$F_{cn} = 261.395 \text{ T/m}^2 \quad (5.10)$$

$$E_{f,dis} = E_f \cdot K_H \cdot K_T \cdot K_Q$$

$$E_{f,dis} = 900.000 \cdot 0.99926 \cdot 1.02187 \cdot 1$$

$$E_{f,dis} = 919.002,43 \text{ T/m}^2 \quad (5.11)$$

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_T \cdot K_Q$$

$$F_{cp,dis} = 560 \cdot 0.998975 \cdot 1.04698 \cdot 1.15 \cdot 1$$

$$F_{cp,dis} = 673.56 \text{ T/m}^2 \quad (5.12)$$

CAPITULO VI

DISEÑO DEL TABLERO DE MADERA POSTENSADA

6.1 Determinación del espesor del tablero: Según estudios realizados en Estados Unidos y Canadá, para determinar un espesor inicial del tablero se debe considerar la resistencia a la flexión de cada pieza de madera y la luz que se tendrá entre vigas travesaño. En nuestro caso el espesor viene dado por el tablero empleado en la tesis anterior que corresponde a 5 1/2 pulgadas, es decir, a 14 centímetros aproximadamente, que es menor a lo estipulado en los estudios que señalan que para luces menores a 3 m un espesor de 25 centímetros, pero se debe considerar que nuestro tablero trabajará como material compuesto con la losa de ferrocemento en un espesor total aproximado de 22 centímetros, pero de todas maneras se aplicara la guía de diseño a el espesor de tablero libre de madera es decir a los 14 cm. Entonces a continuación se presentan las fórmulas de la Guía de Especificaciones para el diseño de madera postensada (AASHTO 1992).

6.2 Determinación de un ancho de distribución de carga: Es el ancho que corresponde a la distribución de carga del vehículo, se denota por “D” y se toma como el ancho de contacto entre la rueda y el tablero más el doble del espesor del tablero, además esto se modifica por un factor C_{bj} , esto para simplificar el diseño del tablero a un diseño de una viga simplemente apoyada. Esto se muestra en el siguiente esquema:

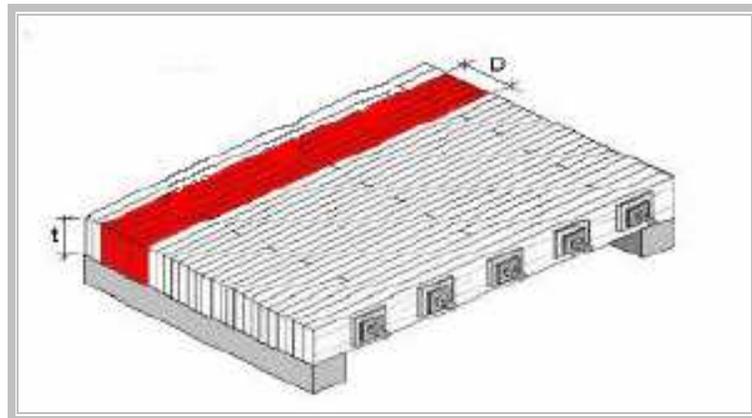


fig 6.1 Simplificación del diseño del tablero a un diseño de viga de ancho D

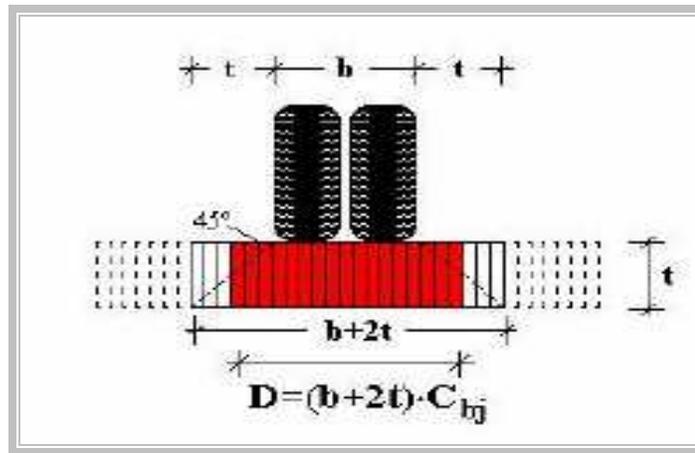


fig 6.2 : Amplificación del ancho de distribución

Para el cálculo del ancho de distribución de carga se deben emplear las siguientes fórmulas:

$$D = (b + 2t) \cdot C_{bj} \quad (6.1)$$

$$b = \sqrt{0,025P} \quad (6.2)$$

$$C_{bj} = \frac{j}{(j + 1)} \quad (6.3)$$

En donde:

D = Ancho de distribución de carga.

b = Ancho de contacto entre el neumático y la superficie

P = Carga máxima, producida por la rueda del camión de diseño, que en este caso corresponde a un camión HS 20-40, cuya rueda trasera transmite una carga de 16000 libras o sea unos 7.25 toneladas.

C_{bj} = Factor de modificación por uniones de tope, aplicada al área de la sección transversal.

j = Número de laminaciones continuas entre dos uniones de tope seguidas.

Así que con el dato conocido que es la carga, se comienza por el ancho de contacto:

$$b = \sqrt{0,025 \cdot 16000}$$

$$b = 20 \text{ inch} = 0.508 \text{ m}$$

El factor de modificación por uniones de tope se emplea por la disminución de rigidez que se produce en el tablero debido a la discontinuidad longitudinal, aunque la transmisión de momentos y corte son transmitidas por las laminaciones aledañas, debido a la fuerza de compresión del postensado. Entonces el número de laminaciones seguidas entre uniones de tope es $j = 3$:

$$C_{bj} = \frac{3}{(3 + 1)}$$

$$C_{bj} = 0.75$$

$$D = (0.508 + 2 \cdot 0.14) \cdot 0.75$$

$$D = 0.594 \approx 0.60 \text{ m}$$

6.3 Cálculo de los momentos de diseño:

6.3.1 Momentos debido a cargas vivas: La carga viva corresponde a la producida por el camión de diseño HS 20-44, colocado en la posición mas desfavorable, esto ocurre cuando la rueda trasera queda en mitad de la luz libre, entonces se asume como carga puntual, según lo señalado en la siguiente figura:

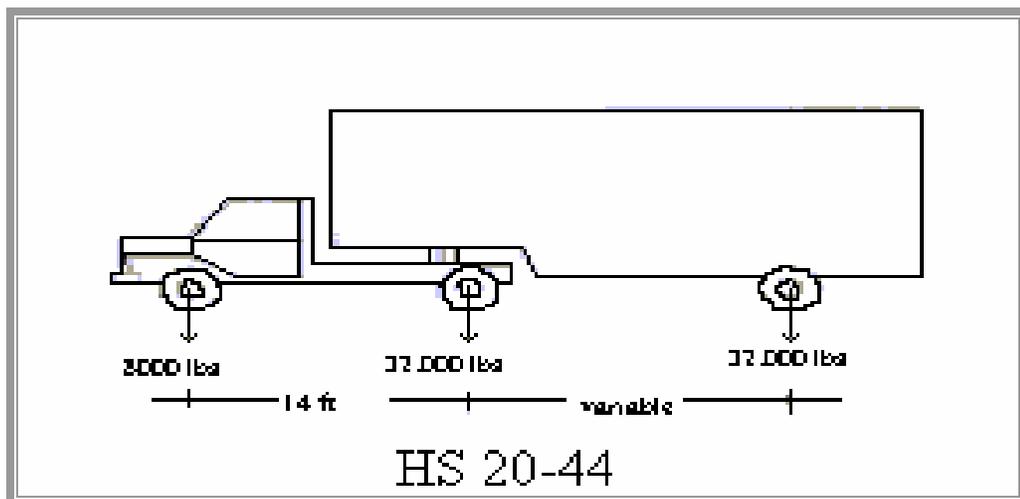


fig 6.3 camión de diseño HS 20-44 peso de rueda trasera 16000lb x 2

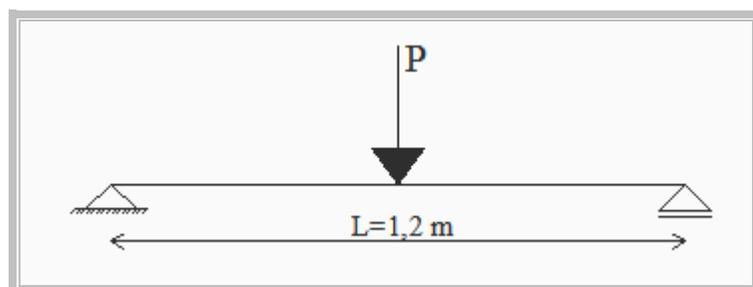


fig 6.4 carga de la rueda del camión, modelada como puntual.

6.3.1.1 El máximo momento positivo debido a carga viva: Se obtiene de la siguiente fórmula:

$$M_{L,\max}^+ = \frac{P \cdot L}{4} \quad (6.4)$$

donde:

P = carga producida por la rueda trasera del camión, que para el caso del HS 20-44 es de 16000 lb o 7.25 ton..

L = luz entre apoyos. Corresponde a la luz libre entre travesaños del puente, en este caso como se analiza el tablero solo y tiene un bajo espesor se comenzará con una luz de 1.2 m entre cada travesaño. Entonces:

$$M_{L,max}^+ = \frac{7.25 \cdot 1.2}{4}$$

$$M_{L,max}^+ = 2.175 \text{ T-m}$$

6.3.1.2 El máximo momento negativo debido a carga viva: Se produce cuando la rueda trasera del camión se encuentra entre el apoyo del tablero y un travesaño, modelándose de la siguiente forma:

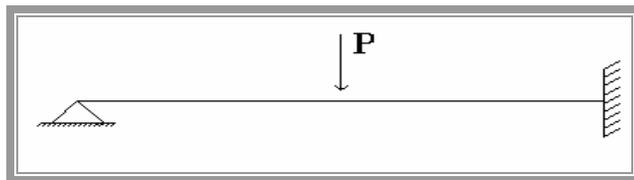


fig 6.5 carga de la rueda del camión, modelada como puntual

Cuyo momento máximo se calcula:

$$M_{L,max}^- = \frac{3P \cdot L}{16} \tag{6.5}$$

$$M_{L,max}^- = \frac{3 \cdot 7.25 \cdot 1.2}{16}$$

$$M_{L,max}^- = 1.631 \text{ T-m}$$

6.3.2 Momentos debido a cargas muertas: Producido, principalmente, por el peso del tablero de madera, mas la losa de ferrocemento. A continuación se estima el peso del tablero y de la losa de ferrocemento por sus respectivas dimensiones y densidades:

Para la madera $\gamma = 0.45 \text{ T/m}^3$ y $e = 14 \text{ cm}$, para el ferrocemento $\gamma = 2.5 \text{ T/m}^3$ y $e = 8 \text{ cm}$, entonces:

$$\text{Tablero de madera} = 0.45 \cdot 0.14 = 0.063 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Losa de ferrocemento} = 2.5 \cdot 0.08 = 0.2 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Barandas, fierros, etc} = 0.030 \text{ T/m}^2$$

Por lo tanto:

$$P = 0.063 + 0.2 + 0.030 = 0.293$$

Para obtener el peso lineal W_D se multiplica por el ancho $D = 0.6$

$$W_D = P * D \quad (6.6)$$

$$W_D = 0.293 * 0.6 = 0.1758 \text{ T/ m}$$

6.3.2.1 El máximo momento positivo producido por la carga muerta : Se modela el tablero como una viga simplemente apoyada y con la carga muerta como distribuida uniformemente sobre ella, por lo tanto el momento máximo se produce exactamente en la mitad de la luz y se calcula de la siguiente forma:

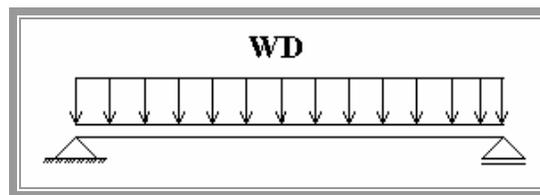


fig 6.6 modelo de la carga muerta

$$M_{D,max}^+ = \frac{WL^2}{8} \quad (6.7)$$

donde:

W = carga muerta lineal producida por la carpeta de rodado y el tablero de madera, principalmente.

L = luz libre entre travesaños.

$$M_{D,max}^+ = \frac{0.1758 \cdot 1.2^2}{8}$$

$$M_{D,max}^+ = 0.03164 \text{ T/m}^2$$

6.3.2.2 El máximo momento negativo producido por la carga muerta : Este se produce en el apoyo cuando se modela como una viga empotrada en uno de sus extremos y simplemente apoyada en el otro, el valor se obtiene aplicando la formula:

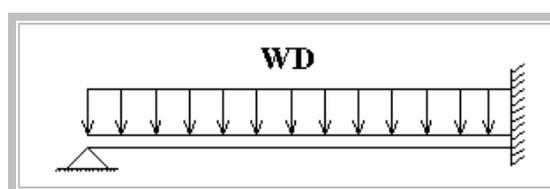


fig 6.7 modelo de la carga muerta

$$M_{D,\max}^- = \frac{W_D L^2}{8} \quad (6.8)$$

donde:

W_D = carga muerta lineal producida por la carpeta de rodado y el tablero de madera, principalmente.

L = luz libre entre travesaños.

$$M_{D,\max}^- = \frac{0.1758 \cdot 1.2^2}{8}$$

$$M_{D,\max}^- = 0.03164 \quad \text{T/m}^2$$

Para obtener los momentos solicitantes del tablero se procede a sumar los máximos momentos producidos por la carga viva y muerta y ver cual es la configuración más desfavorable, entonces para el momento positivo se tiene:

$$M_{\text{TOT}}^+ = M_{L,\max}^+ + M_{D,\max}^+ \quad (6.9)$$

donde:

M_{TOT}^+ = Momento positivo máximo total.

$M_{L,\max}^+$ = Momento positivo máximo debido a carga viva.

$M_{D,\max}^+$ = Momento positivo máximo debido a carga muerta.

Entonces:

$$M_{\text{TOT}}^+ = 2.175 + 0.03164 = 2.20664 \quad \text{T - m}$$

Para el máximo momento negativo:

$$M_{\text{TOT}}^- = M_{L,\max}^- + M_{D,\max}^- \quad (6.10)$$

donde:

M_{TOT}^- = Momento negativo máximo total

$M_{L,\max}^-$ = Momento negativo máximo producido por carga viva.

$M_{D,\max}^-$ = Momento máximo negativo producido por carga muerta.

Entonces:

$$M_{TOT}^- = 1.631 + 0.03164 = 1.66264 \quad T \cdot m$$

Como $M_{TOT}^+ > M_{TOT}^-$, entonces el diseño se regirá por máximo momento positivo.

6.4 Cálculo de los esfuerzos a Flexión: El esfuerzo a flexión se calculará a partir del momento máximo encontrado anteriormente y que afecta al tablero modelado como una viga de ancho de distribución de carga D , y de espesor igual al de las piezas de madera. Verificándose que las tensiones de trabajo sean menores que las de diseño.

Cálculo de tensión de trabajo:

$$F_f = \frac{M_{tot}^+}{W} \quad (6.11)$$

$$W = \frac{I_x}{\bar{Y}} \quad (6.12)$$

$$\text{además: } I_x = \frac{D \cdot t^3}{12} \quad \bar{Y} = \frac{t}{2} \quad (6.13)$$

$$\text{entonces: } W = \frac{D \cdot t^2}{6} \quad (6.14)$$

donde:

F_f = tensión fibra extrema.

M_{tot}^+ = momento máximo total.

W = módulo área de la sección.

\bar{Y} = distancia desde el eje neutro a la fibra extrema.

I_x = inercia de la sección del tablero de madera.

t = espesor del tablero de madera.

D = ancho de distribución de carga.

Introduciendo valores:

$$W = \frac{0.6 \cdot 0.14^2}{6}$$

$$W = 0.00196 \quad m^3$$

$$F_f = \frac{2.207}{0.00196}$$

$$F_f = 1126,020 \quad T/m^2$$

por lo tanto se cumple que: $F_{f,dis} = 1172.72 > F_f$, lo que significa que, aunque por un margen mínimo, el espesor del tablero es suficiente cuando se le somete a flexión.

6.5 Cálculo de las deformaciones: La norma NCh 1198 señala que la deformación máxima admisible de un elemento sometido a flexión se fija de acuerdo al tipo de estructura, en el caso de vigas para puentes carreteros la deformación corresponde a $L/360$, donde L es la luz efectiva de la viga.

6.5.1 Deformación debida a carga viva: La formula para el cálculo proviene del modelo de una viga simplemente apoyada, solicitada por una carga puntual, pero la guía de especificación en su artículo 3.25.5.3 señala que hay que modificar la fórmula para deflexión con un factor de 1.15, que será aplicado a la inercia. Esto se puede interpretar como que el ancho de distribución para el calculo de deflexiones es más amplio que para el cálculo de las tensiones. Esto debido al comportamiento ortotrópico del tablero de madera postensado.

$$\Delta = \frac{PL^3}{48E_{f,dis} I \cdot 1.15} \quad (6.15)$$

$$I_x = \frac{D \cdot t^3}{12} \quad (6.16)$$

en donde:

P = Carga viva producida por el camión de diseño.

$E_{f,dis}$ = Módulo de elasticidad por flexión.

I = inercia de la sección.

t = espesor del tablero.

$$I_x = \frac{0.6 \cdot 0.14^3}{12}$$

$$I_x = 1.372 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\Delta = \frac{7.25 \cdot 1.2^3}{48 \cdot 919002.42 \cdot 1.372 \cdot 10^{-4} \cdot 1.15}$$

$$\Delta = 0.0018 \text{ m}$$

deformación máxima:

$$\Delta_{max} = L/360$$

$$\Delta_{max} = 1.2/360 = 0.0033 \text{ m}$$

por lo tanto se cumple que $\Delta < \Delta_{\max}$

6.5.2 Deformación debida a carga muerta: Es producida principalmente por el peso del tablero más el peso de la carpeta de rodado que en este caso corresponde a ferrocemento. El cálculo de esta deformación permite estimar la contraflecha con que se construirá el tablero, la que es tres veces el valor de esta deformación, según capítulo 13.11.3.1 de la guía de especificaciones, con una contraflecha mínima de 1.5 cm. El modelo para el cálculo de esta deflexión es la de una viga simplemente apoyada con la carga muerta distribuida y la fórmula es la siguiente:

$$\Delta = \frac{5W_D L^4}{384E_{f,\text{dis}} I} \quad (6.17)$$

$$I_x = \frac{D \cdot t^3}{12} \quad (6.18)$$

en donde:

W_D = Carga muerta distribuida producida por el peso propio.

$E_{f,\text{dis}}$ = Módulo de elasticidad por flexión.

I = inercia de la sección.

t = espesor del tablero.

$$\Delta = \frac{5 \cdot 0.1758 \cdot 1.2^4}{384 \cdot 91900.42 \cdot 1.372 \cdot 10^{-4}}$$

$$\Delta = 0.0003764 \text{ m}$$

Para el aspecto constructivo se recomienda una contraflecha de 1.5 cm.

6.6 Cálculo del esfuerzo de postensado: El esfuerzo de postensado debe resistir el momento transversal y el corte transversal, producidos por la carga del vehículo de diseño. Para ello la guía de especificaciones establece estas dos partes en sus fórmulas. El nivel de postensado debe ser tal que resistirá la carga vertical producida por el vehículo, por los esfuerzos de fricción que se produce entre las laminas de madera que le impiden su separación vertical.

6.6.1 Nivel de postensado para resistir momento transversal: A continuación se emplearán las fórmulas estipuladas en la guía de especificaciones en a partir de la sección 13.

$$M_T = \frac{0.60629 \cdot M_x}{1000 \cdot (C_{bj})^{1/4}} \left(\frac{b}{L} \right) \quad (\text{kg-cm/cm}) \quad (6.19)$$

En donde:

M_T = Momento transversal

M_X = Momento longitudinal por carga viva (6.4)

b = Mitad del espesor del tablero en cm.

L = longitud libre entre apoyos en cm.

C_{bj} = factor de unión de tope (6.3)

$$M_T = 265.69 \quad (\text{kg-cm/cm})$$

El mínimo nivel de preesfuerzo entre laminas requerido para resistir el momento transversal anterior se calcula de la siguiente forma:

$$p = \frac{6 \cdot M_T}{t_d^2} \quad (6.20)$$

donde:

p = nivel de preesfuerzo.

M_T = Momento transversal (6.19)

t_d = espesor del tablero en cm.

$$p = \frac{6 \cdot 265.69}{14^2}$$

$$p = 8.13 \text{ kg/cm}^2$$

6.6.2 Nivel de postensado para resistir corte transversal: El corte transversal en el tablero de madera se calcula de la siguiente forma:

$$V_T = \frac{0.3937 \cdot P}{1000} \left(10.4 - \frac{b}{L} \right) \quad \text{kg/cm} \quad (6.21)$$

donde:

V_T = Corte transversal.

P = carga del camión de diseño.

b = mitad del ancho del tablero.

L = longitud libre entre apoyos.

$$V_T = \frac{0.3937 \cdot 7257}{1000} \left(10.4 - \frac{225}{120} \right) \text{ kg/cm}$$

$$V_T = 24.35 \text{ kg/cm}$$

El mínimo nivel de preesfuerzo entre láminas requerido para resistir el corte transversal anterior se calcula de la siguiente forma:

$$p = \frac{1.5 \cdot V_T}{\mu t_d} \text{ kg/cm}^2 \quad (6.22)$$

donde:

p = Nivel de preesfuerzo.

V_T = Corte transversal

t_d = espesor del tablero en cm.

$\mu = 0.35$ para madera cepillada.

$\mu = 0.35$ para madera aserrada.

$$p = \frac{1.5 \cdot 24.35}{0.45 \cdot 14} \text{ kg/cm}^2$$

$$p = 5.79 \text{ kg/cm}^2$$

Tanto para el cálculo del momento transversal como para el corte transversal, las formulas 6.19 y 6.21 son métodos simplificados y conservadores. Y el máximo de los valores calculados para el preesfuerzo es el que se utilizará para el diseño. Generalmente este valor de preesfuerzo es modificado por un factor de seguridad debido a la pérdida de tensado que se origina en el tiempo, este factor supone una pérdida de tensado que va desde el 10 % hasta el 50 % en cálculos conservadores. En este caso no se aplicará este factor de seguridad ya que el tablero funcionará como material compuesto junto con el ferrocemento y la pérdida de tensado será más difícil considerando los elementos de conexión que impedirían deslizamientos horizontales.

Entonces el máximo valor del preesfuerzo es:

$$p = 8.13 \text{ kg/cm}^2$$

6.7 Dimensionamiento de las barras de acero: Las barras de acero para el ensayo son de calidad SAE 1045 con un diámetro de 12 mm, con una tensión máxima de 5530 kg/cm^2 , además la separación entre barras será de 50 cm, cumpliendo con recomendaciones que indican un margen de separación de entre 50 y un máximo de 60 pulgadas es decir unos 150 centímetros.

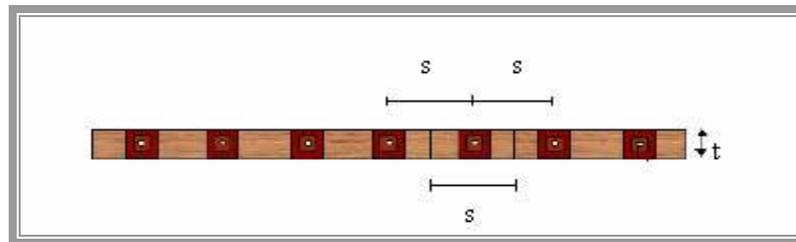


fig 6.8 área donde se aplica la fuerza de cada barra.

La mínima área que requiere el elemento de postensado se determina según la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{\pi(s \cdot t_d)}{f_s} \quad (6.23)$$

donde:

A_s = área mínima requerida para el elemento de postensado.

π = tensión inicial requerida de postensado, (6.22).

s = separación entre los elementos de postensado.

t_d = espesor del tablero.

f_s = Máxima tensión que soporta la barra de postensado.

Además para controlar la pérdida de postensado entre las laminas de madera, causadas por el creep, el área de acero no debe exceder:

$$A_s \leq 0.0016 s \cdot t_d \quad (6.24)$$

La fuerza en cada barra de postensado será:

$$F_{ps} = \pi \cdot s \cdot t_d \quad (6.25)$$

Entonces se tiene:

$$A_s = \frac{81.3(0.5 \cdot 0.14)}{55300}$$

$$A_s = 0.000103 \text{ m}^2$$

Área de las barras de postensado de diámetro 12 mm: $A = 0.00113 \text{ m}^2$.

Entonces se cumple que $A_s < A$.

Además la ecuación 6.24 queda:

$$\frac{A_s}{s \cdot t_d} \leq 0.0016$$

$$\frac{0.0001309}{0.5 \cdot 0.14} = 0.0016 \leq 0.0016$$

Y la fuerza en cada barra de postensado es:

$$F_{ps} = 81.3 \cdot 0.5 \cdot 0.14$$

$$F_{ps} = 5.691 \text{ Ton.}$$

6.8 Dimensionamiento de los tableros de apoyo: El sistema de apoyos que se muestra en la guía de especificaciones en su figura 13.11.2.4 es la siguiente:

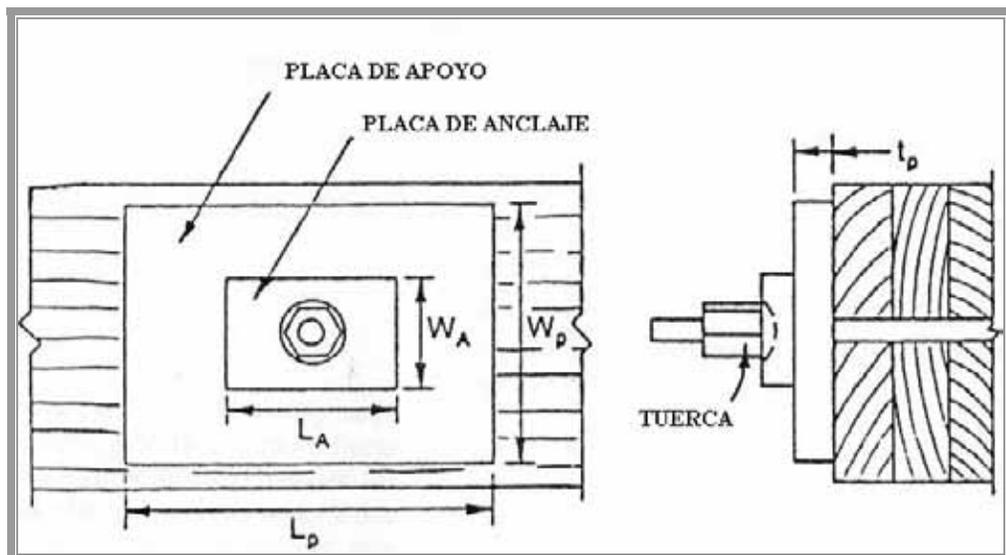


fig 6.9 sistema de apoyo con los tableros respectivos.

Los tableros de apoyo u otro sistema de apoyo deberá asegurar que los esfuerzo de compresión aplicados a la madera no excedan la tensión de compresión de normal a la fibra. Entonces el área mínima para las tableros son:

$$A_{pl} = \frac{p_i \cdot s \cdot t_d}{F_C} \quad (6.26)$$

donde:

A_{pl} = Área de la tablero de apoyo

p_i = tensión inicial requerida de postensado, (6.22).

s = separación entre los elementos de postensado.

t_d = espesor del tablero.

F_C = tensión de compresión normal de la madera.

Entonces:

$$A_{pl} = \frac{81.3 \cdot 0.5 \cdot 0.14}{261.395}$$

$$A_{pl} = 0.0217 \text{ m}^2$$

Como el ancho de la tablero de madera es de 14 cm, se estima un W_p de 13 cm entonces teniendo el área necesitada se tiene:

$$L_p = \frac{217}{13}$$

$$L_p = 16.69 \approx 17 \text{ cm}$$

Con esto el área de la tablero es de:

$$A_{pl} = 13 \cdot 17$$

$$A_{pl} = 221 \text{ cm}^2 > 217 \text{ cm}^2 \text{ requeridos}$$

El esfuerzo de compresión que se produce bajo la tablero de apoyo, corresponde a la fuerza de postensado dividido por el área de la tablero, este esfuerzo debe ser menor a la tensión de compresión normal a la fibra de la madera.

$$F_c = \frac{5.691}{0.0221}$$

$$F_c = 257.51 \text{ T/m}^2 < 261.395 \text{ T/m}^2$$

el mínimo espesor para las tableros de apoyo viene dada por:

$$t_p = \left[\frac{3 \cdot f_{bp} \cdot k^2}{F_s} \right]^{0.5} \quad (6.27)$$

donde:

t_p = mínimo espesor requerido para la tablero de apoyo.

f_{bp} = tensión normal bajo la tablero.

F_s = esfuerzo admisible en flexión de la tablero ($F_s = 0.55 f_y$)

K = factor que depende de la forma de la tablero de apoyo y de la tablero de anclaje y corresponde al mayor valor de las siguientes fórmulas.

$$K = \frac{(W_p - W_A)}{2} \quad \text{ó} \quad (6.28)$$

$$K = \frac{(L_p - L_A)}{2}$$

Las dimensiones de la tablero de anclaje serán 8 x 6 , con un espesor de 3 mm, entonces:

$$K = \frac{(13 - 6)}{2} = 3.5 \quad \text{ó}$$

$$K = \frac{(17 - 8)}{2} = 4.5$$

El mayor valor de K corresponde a 4.5, entonces el espesor de la tablero de apoyo es:

$$t_p = \left[\frac{3 \cdot 257.51 \cdot 0.045^2}{23100} \right]^{0.5}$$

$$t_p = 0.008229 \text{ m} = 8.229 \text{ mm}$$

Entonces se opta por una tablero de apoyo de 13 x 17 con un espesor de 10 mm.

6.9 Esfuerzos en los apoyos: La máxima reacción en el apoyo de un puente se produce cuando la rueda trasera del camión de diseño se ubica justo sobre él, es decir, es producida por la carga viva y corresponde a :

$$F_{\text{apoy,L}} = P \quad (6.29)$$

donde:

$F_{\text{apoy,L}}$ = Reacción del apoyo debido a la carga viva.

P = Peso de la rueda trasera del camión de diseño.

Como $P = 7.25 \text{ T}$ entonces:

$$F_{\text{apoy,L}} = 7.25 \text{ T}$$

Además existe la reacción en el apoyo debido al peso del tablero y de la carpeta de rodado, es decir a la carga muerta del puente, esta reacción se calcula:

$$F_{\text{apoy,D}} = \frac{W_D \cdot L}{2} \quad (6.30)$$

donde:

$F_{\text{apoy,D}}$ = reacción en el apoyo debido a carga muerta.

L = Luz libre entre travesaños.

W_D = Carga muerta distribuida producida por el peso propio. Ecuación 6.6

Entonces:

$$F_{\text{apoy,D}} = \frac{0.1758 \cdot 1.2}{2}$$

$$F_{\text{apoy,D}} = 0.105 \text{ T}$$

La compresión de trabajo que se produce bajo el apoyo debido a la carga viva y muerta, se calcula en un ancho igual al ancho de distribución calculado en 6.1 , empleando la siguiente fórmula:

$$F_{\text{apoy,T}} = \frac{F_{\text{apoy,L}} + F_{\text{apoy,D}}}{D l_b} \quad (6.31)$$

donde:

$F_{\text{apoy,T}}$ = Reacción del apoyo debido a la carga total.

$F_{\text{apoy,L}}$ = Reacción del apoyo debido a la carga viva.

$F_{\text{apoy,D}}$ = reacción en el apoyo debido a carga muerta.

D = ancho de distribución de carga.

l_b = ancho del apoyo, que se tomará de 25 cm.

Entonces:

$$F_{\text{apoy, T}} = \frac{7.25 + 0.105}{0.6 \cdot 0.25}$$

$$F_{\text{apoy, T}} = 49.03 \quad \text{T/m}^2$$

entonces se cumple que:

$$F_{\text{apoy, T}} < F_{\text{cn}} = 261.395 \quad \text{T/m}^2$$

CAPITULO VII

DISEÑO DE LA LOSA DE FERROCEMENTO

La losa de ferrocemento tendrá un espesor de prediseño igual a 8 cm, será doblemente armada por malla soldada tipo acma, además constara con armadura difusa de tipo hexagonal o malla gallinero. Los conectores entre la losa de ferrocemento y la de madera serán tirafondos dispuestos en ubicación y numero según los cálculos realizados. Lo primero que se calcula es el módulo de elasticidad de diseño del ferrocemento, el que depende a su vez de las propiedades de sus componentes.

7.1 Diseño de la armadura de la losa de ferrocemento: Para calcular la cantidad de armadura necesaria para resistir las solicitaciones debido a la carga producida por el camión de diseño, se procede a determinar la cuantía de acero ρ_{mec} para compararlos después con la cuantía real de los refuerzos. Para ello se transforma el área de la losa de madera postensada en ferrocemento, teniendo como base de diseño que no existe deslizamiento entre ambos materiales, el ancho de la tablero de madera se modifica por un factor n , que se calcula dependiendo de los valores de los módulos de elasticidad de los materiales de la siguiente forma:

$$n = \frac{E_{ferr}}{E_{mad}} \quad (7.1)$$

donde:

E_{ferr} = Módulo de elasticidad de la losa de ferrocemento.

E_{mad} = Módulo de elasticidad de los elementos de la losa de madera.

Entonces:

$$n = \frac{266594}{91900}$$

$$n = 2.9$$

El ancho de la losa b de madera será modificado por b/n , entonces:

$$b/n = 60 / 2.9 = 20.6$$

obteniéndose la siguiente figura:

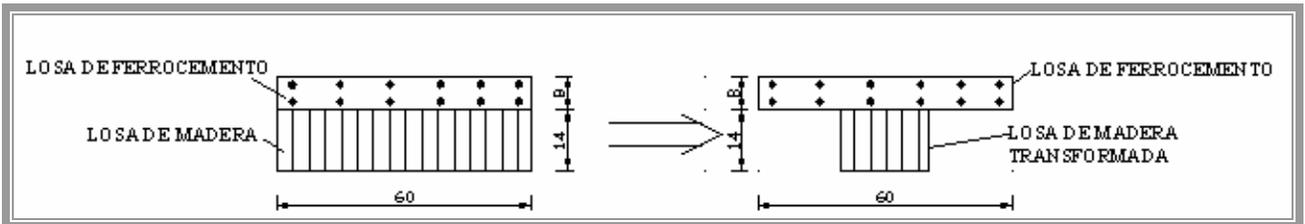


fig 7.1 losa compuesta de madera y ferrocemento transformada.

Y como los mayores esfuerzos de tracción en el ferrocemento son producidos por el momento máximo negativo debido a la carga de la rueda trasera del camión de diseño cuando se coloca en el apoyo, para efectos de cálculo se invertirá y la viga se modela de la siguiente forma:

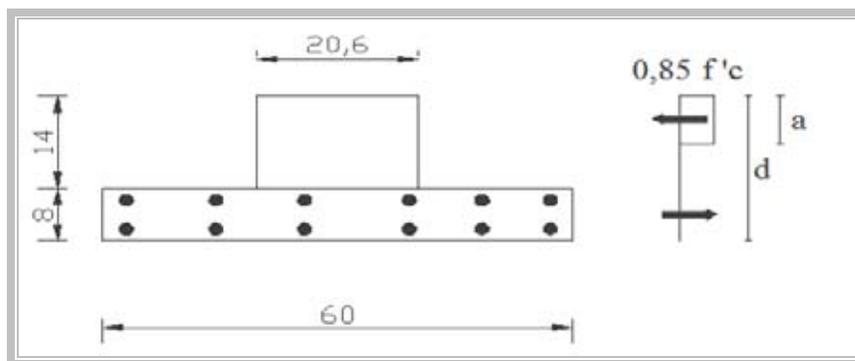


fig 7.2 modelo de la viga compuesta.

en donde:

F_C = fuerza de compresión de hormigón(madera transformada)

F_t = fuerza de tracción en los refuerzos del ferrocemento.

d = distancia desde el extremo comprimido hasta donde actúa la fuerza de tracción de los refuerzos.

a = altura del modelo del bloque de compresión.

De aquí se obtiene las siguientes fórmulas:

$$M_n = F_t \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (7.2)$$

$$F_c = F_t \quad (7.3)$$

donde:

M_n = momento nominal.

Además se obtiene que:

$$F_c = 0.85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \quad (7.4)$$

$$F_t = A_{si} \cdot f_{yi} \quad (7.5)$$

donde:

A_{si} = área de los refuerzo (malla acma, malla hexagonal).

f_{yi} = límite de fluencia de cada refuerzo.

Debido a que el modelo de la viga compuesta solo lleva armadura en el ferrocemento la cuantía mecánica ρ_{mec} se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_{mec} = \frac{A_{si} \cdot f_{yi}}{b \cdot d \cdot f_c} \quad (7.6)$$

$$\text{ó } \rho_{mec} = \frac{0.85 \cdot a \cdot b \cdot f_c}{b \cdot d \cdot f_c}$$

entonces:

$$a = \frac{\rho_{mec} \cdot d}{0.85} \quad (7.7)$$

Para determinar la resistencia de un elemento a flexión se considera su resistencia nominal modificada por un factor ϕ de reducción, por lo tanto se obtiene lo siguiente:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (7.8)$$

Luego para encontrar la cuantía mecánica ρ_{mec} se reemplazan las ecuaciones anteriores en la 7.7 y se logra lo siguiente:

$$\rho_{mec}^2 - 1.7 \cdot \rho_{mec} + \frac{1.7 \cdot M}{\phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f'_c} = 0 \quad (7.9)$$

donde:

ρ_{mec} = cuantía mecánica de la losa de ferrocemento.

f'_c = resistencia del mortero a la compresión.

M = momento máximo negativo producido por la rueda del camión de diseño, ecuación 6.5.

ϕ = factor de reducción según el ACI.

b = ancho de la viga modificada.

d = distancia desde el extremo comprimido hasta donde actúa la fuerza de tracción de los refuerzos.

Reemplazando los valores:

$$\rho_{mec}^2 - 1.7 \cdot \rho_{mec} + \frac{1.7 \cdot 163100}{0.9 \cdot 20.6 \cdot 18^2 \cdot 250} = 0 \quad (7.10)$$

$$\rho_{mec}^2 - 1.7 \cdot \rho_{mec} + 0.18 = 0$$

resolviendo la ecuación:

$$\rho_{mec} = 0.110 \quad (7.11)$$

Con este valor se procede a calcular la altura del bloque en compresión según la ecuación 7.7:

$$a = \frac{0.112 \cdot 18}{0.85}$$

$$a = 2.37$$

Como este valor de “a” es menor que el espesor real de la viga, que es 14 centímetros, se continúa con el cálculo de las cuantías de cada uno de los refuerzos, es decir para la malla acma y malla hexagonal para finalmente compararlos con el ρ_{mec} (Olvera,1991) .

$$\rho = \sum \rho_i = \rho_{\text{malla hexagonal}} + \rho_{\text{malla acma}} \quad (7.11)$$

Primero se procede al cálculo de cada una de las áreas de los refuerzos

- Para la malla acma se tiene $\phi = 4.2$ mm, con un área de 0.139 cm², para un ancho de losa igual al ancho de distribución = 0.6 m y con dos corridas de malla se tiene un área total de 1.930 cm², con su módulo de elasticidad de 2000000 kg/cm² .
- Para la malla hexagonal, con un $\phi = 0.71$ mm y un área de 0.00396 cm², para un ancho de losa igual al ancho de distribución = 0.6 m, colocada en los sacados de la laca de madera y en los bordes de la losa de ferrocemento, se tiene un área total de 0.4752 cm², con su módulo de elasticidad de 1040000 kg/cm².

Para encontrar la cuantía de la malla soldada tipo ACMA se tiene:

$$\rho_{ACMA} = \frac{A_s \cdot f_{yACMA}}{b \cdot d \cdot f'_c} \quad (7.12)$$

en donde:

ρ_{ACMA} = cuantía que aporta la malla acma.

f_y_{ACMA} = límite de fluencia de la malla soldada ACMA = 5000 Kg/cm² .

f'_c = resistencia del mortero a la compresión.

A_s = área de la malla, 1.668 cm² .

b = ancho de la viga modificada.

d = distancia desde el extremo comprimido hasta donde actúa la fuerza de tracción de los refuerzos.

Reemplazando los valores :

$$\rho_{ACMA} = \frac{1.94 \cdot 5000}{20.6 \cdot 18 \cdot 250}$$

$$\rho_{ACMA} = 0.105$$

Para encontrar la cuantía de la malla hexagonal (Paul,1981) se tiene:

$$\rho_{ACMA} = \frac{A_s \cdot f_{yHEXA} \cdot \cos \alpha}{b \cdot d \cdot f'_c} \quad (7.13)$$

en donde:

ρ_{HEXA} = cuantía que aporta la malla hexagonal.

f_y_{HEXA} = límite de fluencia de la malla hexagonal = 2000 Kg/cm² .

α = para una malla hexagonal de 3/4" $\alpha = 31.36^\circ$.

A_s = área de la malla, 0.4752 cm² .

b = ancho de la viga modificada.

d = distancia desde el extremo comprimido hasta donde actúa la fuerza de tracción de los refuerzos.

Reemplazando los valores :

$$\rho_{HEXA} = \frac{0.4752 \cdot 2000 \cdot \cos 31.36^\circ}{20.6 \cdot 18 \cdot 250}$$

$$\rho_{ACMA} = 0.0088$$

Calculando la cuantía real de los refuerzos según 7.11 se tiene:

$$\rho = 0.105 + 0.0088$$

$$\rho = 0.115$$

por lo tanto se cumple que $\rho \geq \rho_{mec}$.

7.2 Cálculo del módulo de elasticidad de diseño:

Se calcula de la siguiente forma:

$$E_c = E_s \cdot \frac{A_s}{A_c} + E_m \cdot \frac{A_m}{A_c} \quad (7.14)$$

en donde:

E_s = Módulo de elasticidad de los aceros en la armadura.

E_m = Módulo de elasticidad del mortero.

A_s = Área de los aceros en la armadura

A_m = Área del mortero.

Entonces

- Para la losa de ferrocemento de sección de prediseño con $e = 8$ cm y de ancho igual al ancho de distribución = 0.6 m , se tiene un área de 480 cm² menos el área de los aceros se tiene un área de mortero = $480 - (0.4752 + 1.668) = 477.86$ cm², para calcular el módulo de elasticidad del mortero se emplea la siguiente fórmula:

$$E_m = 1500 \sqrt{f'_c} \quad (7.15)$$

entonces:

$$E_m = 1500 \sqrt{300}$$

$$E_m = 259807.62 \text{ kg/cm}^2$$

Y el modulo de elasticidad del ferrocemento es:

$$E_c = 1040000 \cdot \left[\frac{0.4752}{480} \right] + 2000000 \cdot \left[\frac{1.94}{480} \right] + 259807,62 \cdot \left[\frac{477.86}{480} \right]$$

$$E_c = 267762.24 \text{ kg/cm}^2$$

7.3 Cálculo de la sección compuesta:

Cálculo de las tensiones.

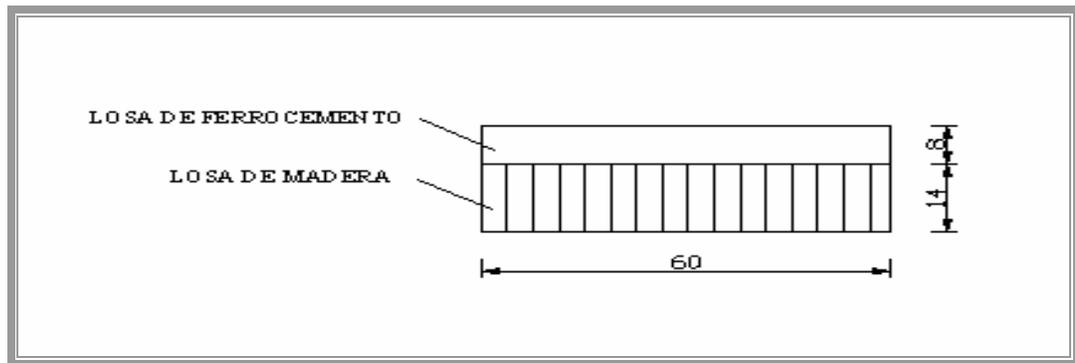


fig 7.1 losa compuesta de madera y ferrocemento.

Como se muestra en la figura la losa esta compuesta de dos materiales que tienen diferentes módulos de elasticidad, por un lado el de la madera y el de ferrocemento, como se ha dicho anteriormente la hipótesis de diseño se basa en que la viga se comporta como unidad, sin deslizamiento entre ambos materiales para lo cual se disponen de los conectores, entonces se transformará la sección de ferrocemento en madera, para ello el ancho de distribución del ferrocemento será modificado por el factor n que se calcula de la siguiente forma:

$$n = \frac{E_{\text{mad}}}{E_{\text{ferr}}} \tag{7.16}$$

donde:

E_{mad} = Módulo de elasticidad de los elementos de la losa de madera.

E_{ferr} = Módulo de elasticidad de la losa de ferrocemento.

Entonces:

$$n = \frac{91900}{267762}$$

$$n = 0.34$$

El ancho de la losa b de ferrocemento será modificado por b/n, entonces:

$$b/n = 174$$

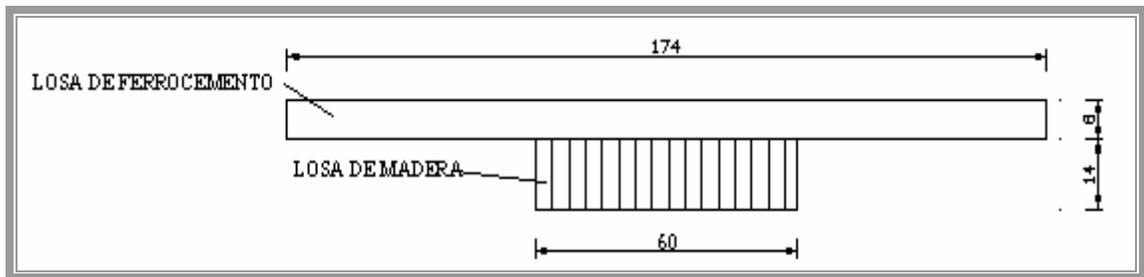


fig 7.2 sección transformada

Para la nueva sección se calcula la profundidad de la fibra neutra, inercia total de la nueva sección y por último las tensiones en los extremos.

Para el cálculo del eje neutro:

$$\bar{Y} = \frac{\sum A \bar{Y}}{\sum A} \quad (7.17)$$

$$A = 60 \cdot 14 + 174 \cdot 8$$

$$A = 2232 \text{ cm}^2$$

$$\bar{Y} = \frac{840 \cdot 7 + 1392 \cdot 18}{2232}$$

$$\bar{Y} = 13.86 \text{ cm}^2$$

Para cálculo de la inercia:

$$I_{xx} = \frac{b \cdot h^3}{12} + Ad^2$$

$$I_{xx} = \frac{60 \cdot 14^3}{12} + 60 \cdot 14 \cdot (7 - 13.86)^2 + \frac{174 \cdot 8^3}{12} + 174 \cdot 8 \cdot (18 - 13.86)^2$$

$$I_{xx} = 84532.3872 \text{ cm}^4$$

Para el cálculo de las tensiones sobre la viga compuesta se empleará los momentos máximos de carga viva y de carga muerta calculados en 6.4 y 6.7.

$$M_V = 2.175 \text{ ton m}$$

$$M_D = 0.0316 \text{ ton m}$$

$$M_T = 2.206 \text{ ton m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (7.18)$$

$$W = \frac{I}{Y} \quad (7.19)$$

Para la losa de ferrocemento de tiene:

$$W_{\text{sup}} = \frac{84532.38}{(22-13.86)}$$

$$W_{\text{sup}} = 10384.81 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{ferr}} = \frac{220658}{10384.81 \cdot n}$$

$$\sigma_{\text{ferr}} = \frac{21.24}{0.3447} = 61.64 \text{ kg/cm}^2$$

Para la losa de madera de tiene:

$$W_{\text{sup}} = \frac{84532.38}{13.86}$$

$$W_{\text{sup}} = 6099.017 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{ferr}} = \frac{220658}{6099.017} = 36.17 \text{ kg/cm}^2$$

7.4 Cálculo de los conectores: Los conectores corresponden a este caso a tirafondos colocados en el tablero de madera postensada, además para ayudar a resistir los esfuerzos de corte que se producen entre la losa de ferrocemento y de madera se procederá a realizar pequeños sacados a esta última en forma de zanjas y cuyos esfuerzos resistentes tendrán que ser calculados.

7.4.1 Cálculo de la resistencia a la extracción lateral de cada tirafondo: La norma NCh 1198 señala que la carga admisible de extracción lateral de tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la madera y sometidos a una carga paralela a las fibras, se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{el,ad} = K \cdot D^2 \cdot 10^{-3} \quad (7.20)$$

donde:

$P_{el,ad}$ = Carga admisible de extracción lateral, en KN.

D = Diámetro del vástago del tirafondo, en mm.

K = constante que depende de la densidad anhidra según la siguiente tabla.

Valores de la constante K (tabla7.1)

Madera	Densidad anhidra ρ Kg/m ³	K
Coníferas	290 – 425	10.4
	426 – 475	11.7
	$\rho_0 \geq 476$	13.1

En este caso el valor de la densidad corresponde a 450 Kg/m³, por lo tanto K = 11.7, entonces para un tirafondo de diámetro de 12.7 mm, se tiene:

$$P_{el,ad} = 11.7 \cdot 12.7^2 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{el,ad} = 188.7 \text{ Kg}$$

A cuyo valor se le deben aplicar factores de modificación, para extracción lateral de tirafondos.

7.3.2 Factor de modificación por espesor de la pieza lateral, K_{te} : Para espesores de piezas laterales diferentes a $e_L = 3.5 D$, se usan los factores de modificación de la tabla 40 de la norma NCh 1198.

En este caso se tiene:

$$e_L = 3.5 D = 3.5 \cdot 1.27 = 4.44 \text{ cm.}$$

Que es distinto al valor efectivo del espesor de la pieza lateral que se toma como $e_L = 8 \text{ cm}$, según la siguiente figura.

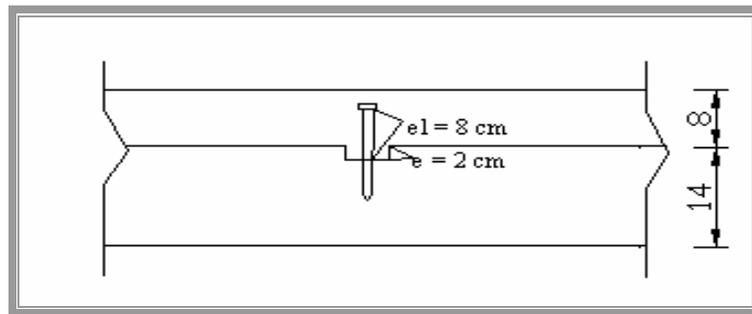


fig 7.3 dimensiones del tirafondo y sacados a la madera.

Por lo tanto se tiene que:

$e_L / D = 8 / 1.27 = 6.29$, empleando la siguiente tabla se obtiene el factor de modificación.

Factor de modificación por espesor de la pieza lateral. (Tabla7.2)

e_L/D	K_{te}
5,5	1,21
6 ó más	1,22

Entonces $K_{te} = 1,22$

7.4.3 Factor de modificación por penetración del vástago en la pieza principal, K_{tv} : Cuando el vástago penetra la pieza principal, se usa el factor de modificación que aparece en la siguiente tabla de la NCh 1198.

En este caso $P_v = 5.5$ cm y la razón $P_v/D = 4.33$

Factor de modificación por penetración del vástago. (Tabla 7.3)

Razón P_v/D	K_{tv}
4	1,33
5	1,36

Interpolando se obtiene que $K_{tv} = 1,34$

7.4.4 Factor de modificación por diámetro, K_{tD} : El diámetro del tirafondo utilizado es de 12.7 mm, con este dato se entra en la siguiente tabla y se obtiene el factor de modificación por diámetro.

Factor de modificación por diámetro. (Tabla7.4)

Diámetro, D		K_{tD}
Pulgadas	Mm	
1/2	12.7	0.65

Entonces $K_{tD} = 0.65$.

Por lo tanto la carga de extracción lateral queda determinada por:

$$P_{el, ad} = 188.7 \cdot K_{te} \cdot K_{tv} \cdot K_{tD}$$

$$P_{el, ad} = 188.7 \cdot 1,22 \cdot 1,34 \cdot 0,65$$

$$P_{el, ad} = 200,51 \text{ Kg}$$

7.5 Cálculo de los esfuerzos en los sacados del tablero de madera: Los sacados a la losa de madera son de una profundidad en principio de 2 cm y de ancho de 4 cm, los cuales son colocados a lo ancho de la losa y a una distancia no superior a 50 cm. Para calcular la carga de compresión que resiste el sacado se emplea la siguiente fórmula del manual de cálculo de construcciones de madera.

$$F_{c,\theta,\text{dis}} = \frac{F_{\text{cp,dis}} + F_{\text{cn,dis}}}{F_{\text{cp,dis}} \cdot \text{sen}^2 \theta + F_{\text{cn,dis}} \cdot \text{cos}^2 \theta} \quad (7.21)$$

donde:

$F_{c,\theta,\text{dis}}$ = Tensión de diseño en compresión inclinada en un ángulo θ respecto a la fibra.

$F_{\text{cp,dis}}$ = Tensión de diseño en compresión paralela.

$F_{\text{cn,dis}}$ = Tensión de diseño en compresión normal.

θ = ángulo formado por la dirección de la carga y la dirección de la fibra.

según la siguiente figura:

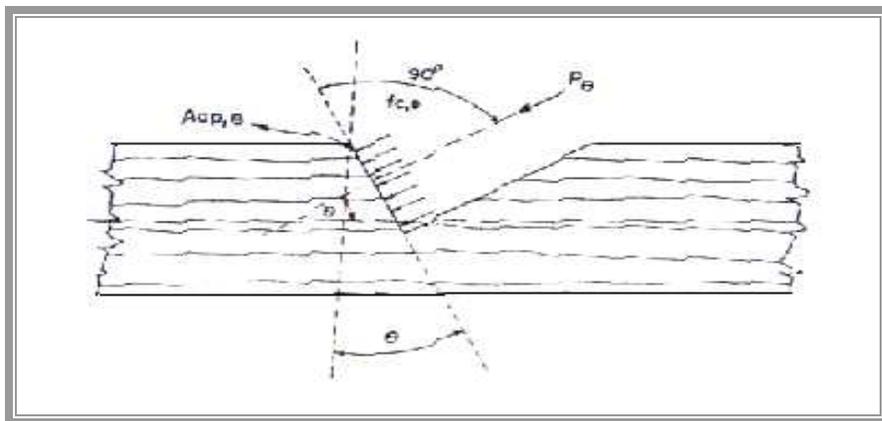


fig 7.4 carga de compresión inclinada en un ángulo θ .

En este caso la fuerza solicitante P_θ es el esfuerzo de corte solicitante con un ángulo $\theta = 0$, por lo tanto queda $F_{c,\theta,\text{dis}} = F_{\text{cp,dis}}$. Para esto se debe calcular entonces $F_{\text{cp,dis}}$, por medio de la siguiente fórmula:

$$F_{\text{cp,dis}} = F_{\text{cp}} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_Q \quad (7.22)$$

Con los factores de modificación calculados en 5.2.1, se obtiene:

$$F_{cp,dis} = 56 \cdot 0.998975 \cdot 1.04698 \cdot 1.15$$

$$F_{cp,dis} = 67.36 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Entonces la fuerza total que resiste los sacados corresponde a $F_{cp,dis}$, por la profundidad del sacado y del ancho de la losa, entonces se tiene:

$$F_{sacado} = 67.36 \cdot 2 \cdot 60$$

$$F_{sacado} = 8083.2 \quad \text{Kg}$$

La fuerza total corresponde a la suma de la resistencia de los sacados más las de resistencia a la extracción lateral de los tirafondos. Como prediseño se tomo un número de 4 tirafondos por cada línea de sacado, por lo tanto la fuerza total es:

$$F_{Total} = 8083.2 \cdot (4 \cdot 200.51) \quad (7.23)$$

$$F_{Total} = 8885.24 \quad \text{kg} \quad \text{en cada sacado}$$

7.6 Cálculo del esfuerzo de corte entre ambas losas: Como hipótesis de cálculo se sostiene que se trabaja en el rango elástico de los materiales por lo tanto son válidas las hipótesis de Navier y se supone que el esfuerzo de corte es transmitido por los conectores así como por los sacados efectuados a la losa de madera, entonces se tiene:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I} \quad (7.24)$$

donde:

τ = Esfuerzo de corte producido a lo largo de la losa por cm.

V = Esfuerzo de corte solicitante.

Q = Momento estático de área

I = momento de inercia de la sección transformada.

El esfuerzo cortante por metro es de 3230.4 kg, el momento de área para la sección transformada es de 5762.88 cm³ y la inercia corresponde a 84532.38 cm⁴, por lo tanto se tiene:

$$\tau = \frac{3230.4 \cdot 5762.88}{84532.38}$$

$$\tau = 220.22 \text{ kg/cm}$$

Entonces la fuerza de corte por metro corresponde a $F = 22022 \text{ kg}$. Para ver la cantidad de hileras de sacados y tirafondos corresponde dividir esta fuerza por la resistente de los tirafondos y sacados en la madera calculados en 7.10 , entonces:

$$N = \frac{\tau}{F_{\text{total}}} \quad (7.25)$$

$$N = \frac{22022}{8883.2} = 2.45 \text{ hileras por metro}$$

Por lo tanto se dispondrá de 4 tirafondos por hilera y los sacados de harán cada 33 cm como se muestra en la siguiente figura:

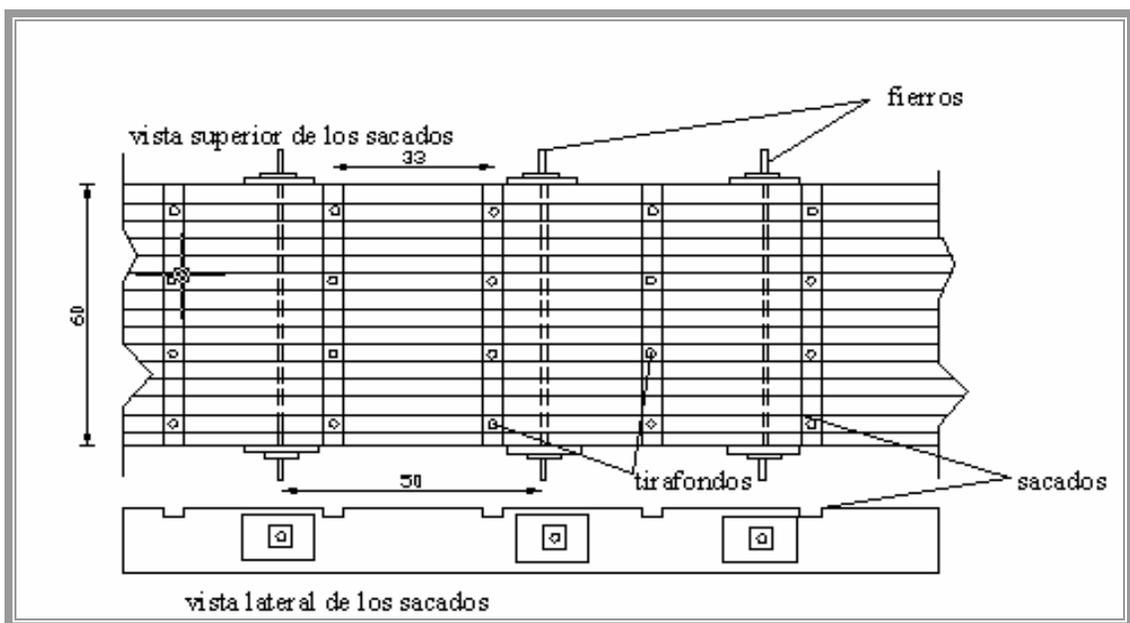


fig 7.5 configuración de los sacados a la madera.

CAPITULO VIII

CONSTRUCCION DE LA LOSA DE ENSAYO DE FERROCEMENTO Y TABLERO DE MADERA POSTENSADA

8.1 Generalidades: La construcción de la losa se realizó en el Laboratorio de Ensayes LEMCO de la Facultad de Ingeniería, debido a que se quiere realizar un modelo en escala real, las dimensiones de la losa así como la distribución de los elementos de madera, serán de acuerdo al diseño realizado anteriormente.

A continuación se describen los diferentes procesos que se realizaron en la construcción de la losa de madera postensada con losa de ferrocemento.

8.2 Configuración y ensamblaje del tablero de madera: Como se ha mencionado con anterioridad la configuración que se empleará para la construcción corresponde a una unión de tope cada 3 laminas de madera, es decir 1:4, la distancia longitudinal que existe entre estas uniones de tope será de un metro. Las perforaciones para las barras de acero se ubicarán cada 50 cm.

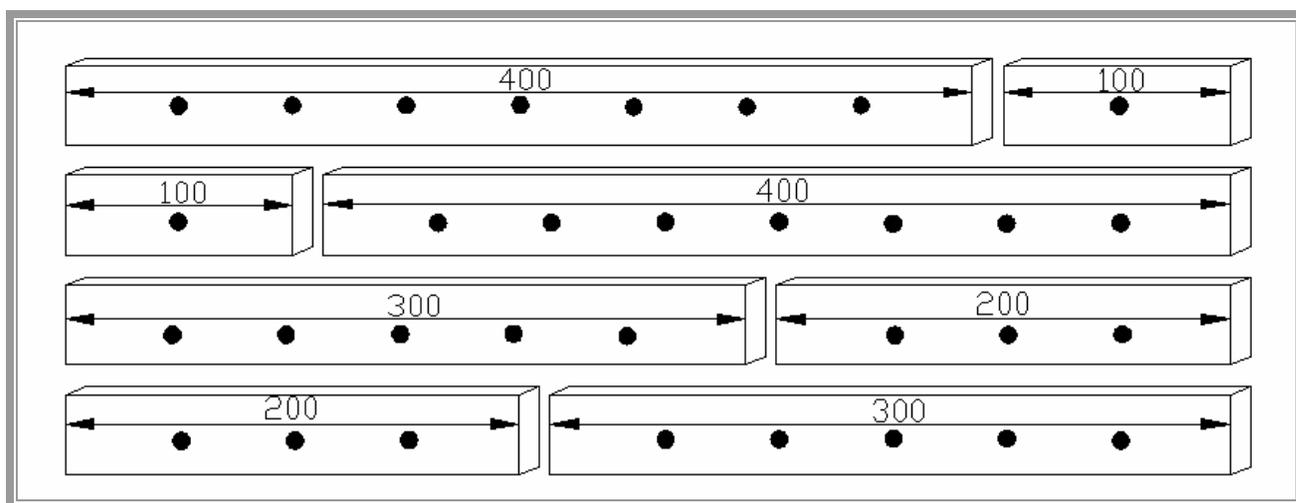


fig 8.1 configuración de las láminas de madera para el tablero de ensayo.

Antes de comenzar el ensamblaje, se realizaron las perforaciones necesarias según los cálculos en todas las láminas de madera, posteriormente fueron sometidas a un tratamiento de preservación con creosota, que consistió en colocar el producto de protección con brocha a cada pieza en forma individual. Pasado el tiempo de secado del producto se comienza el trabajo de ensamblaje que consiste en hacer calzar cada agujero de las piezas de madera con su respectiva tira de acero, repitiendo la configuración mostrada en la figura anterior las veces necesarias hasta alcanzar el ancho definitivo de la losa de ensayo, que corresponde al ancho de distribución D de 60 cm que se cubrió con 15 hileras en total. Las tiras de acero de postensado cuentan en un extremo con todos los accesorios de anclaje, que son la tablero de apoyo, de anclaje y la tuerca de sujeción, dejando el otro

extremo libre para que cada pieza de madera calce perfectamente, cuando la ultima hilera esta ubicada en su lugar se procede a colocar en cada barra de postensado sus respectivas tableros y tuercas para comprimirlas y tomar la forma definitiva que tendrá la tablero de madera.



fot. 8.1 disposición de los tableros de apoyo, anclaje y tuercas.



fot 8.2 hileras de laminas de madera comprimidas por el sistema de postensado.

8.3 Tensado de las barras de acero: Los métodos empleados para el tensado de las barras de acero de los puentes postensados, así como los instrumentos de precisión que se emplean fueron explicados en el capítulo 3, sin embargo como estos métodos son excesivamente caros para la construcción de una losa de ensayo se debe hacer modificaciones en el trabajo de tensado de las barras adecuándose a los instrumentos con que cuenta el laboratorio LEMCO y que son de fácil acceso. Por lo tanto se empleará un medio manual para medir la fuerza de postensado, a través de una llave que irá girando la tuerca y de un dial que irá midiendo la deformación que sufre la barra de acero.

Entonces para calcular la fuerza de postensado de diseño se necesita saber la deformación que sufre la barra de postensado, para ello en la práctica se realiza dos sacados en las láminas a una distancia de 33 cm de modo de poder soldar dos tableros de 5x20 cm directamente a las barras y colocar entre estas tableros un dial con su respectivo magneto.



fot 8.3 sacados al tablero de madera para colocar las dos tableros de 5x20.



fot 8.4 colocación del dial entre las dos tableros de 5x20.

Antes de comenzar a girar la tuerca con la llave, se debe tener claro cuanta es la deformación admisible de las barras de postensado, en la práctica las barras sufrirán una deformación axial que será registrada por el dial y teniendo todos los datos del material es posible encontrar una relación entre la fuerza de postensado y la deformación que sufrirá.

De la mecánica de sólidos se tiene que la deformación axial de una barra se puede encontrar con la siguiente expresión:

$$\Delta = \frac{F_{\text{POSTENSADO}} \cdot L}{A \cdot E} \quad (8.1)$$

en donde:

$F_{\text{POSTENSADO}}$ = Fuerza de postensado calculada según diseño.

L = Largo de la barra de acero entre las tableros de apoyo.

A = Área de la barra de postensado.

E = Módulo de elasticidad de la barra de postensado.

Observación: debido a que el método es netamente manual, fuerza de postensado empleada será la calculada en ec 6.25, es decir 5.679 ton.

Entonces reemplazando los valores se tiene:

$$\Delta = \frac{5679 \cdot 60}{1.13 \cdot 2100000} = 0.143 \text{ cm} = 1.43 \text{ mm}$$

pero este valor corresponde a la deformación de los 60 cm, para obtener la deformación entre las tableros de 5x20 que es 33 cm, se debe interpolar, encontrándose el valor de $\Delta=0.8$ mm, entonces cuando el dial muestre esta deformación en las barras se asume que se a alcanzado el nivel de postensado requerido. Las lecturas que se realizaron se muestran en el siguiente cuadro.

Lecturas del dial (Tabla8.1)

Nº vueltas tuerca	Δ barra postensado
0	0
3	0.48
6	0.70
9	0.74
12	0.78
15	0.84

En el siguiente gráfico se muestra que el comportamiento de la deformación es casi lineal con respecto a la cantidad de vueltas en la tuerca.



graf. 8.1 tensado en las barras de tablero de ensayo

Con el valor de deformación obtenido con 15 vueltas de la tuerca, extrapolando para un largo de 60 cm se tiene una deformación de 1.52 mm y ahora despejando la fuerza de postensado como incógnita se obtiene una fuerza de:

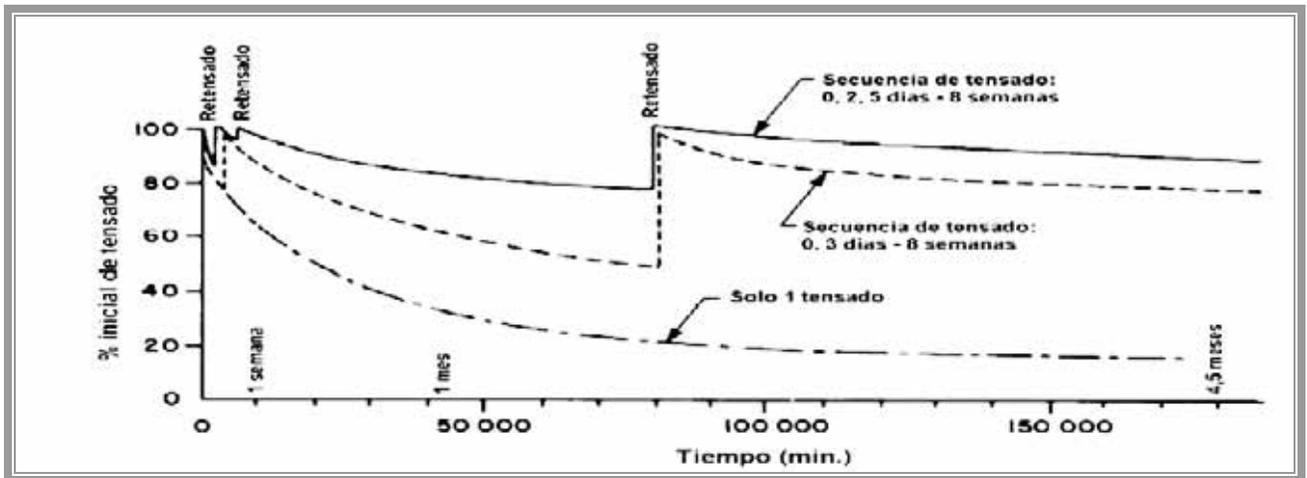
$$F_{\text{POSTENSADO}} = \frac{\Delta(0.152) \cdot 1.13 \cdot 2100000}{60} = 6011.6 \text{ kg} = 6.01 \text{ Ton}$$

Se observa que el valor de la fuerza de postensado obtenida en el ensayo es mayor a la del diseño para resistir el corte transversal, además la fuerza máxima que resiste la barra de acero está dada por:

$$F_{\text{Pu}}^{\text{max}} = f_{\text{pu}} \cdot A_s = 55300 \cdot 1.13 \times 10^{-4} = 6,25 \text{ Ton}$$

Por lo tanto la fuerza de postensado esta dentro del rango que resiste la barra y no habría problemas en aplicar este mismo método con la misma cantidad de vueltas por tuerca en cada barra de postensado restante.

8.3.1 Pérdidas en el tensado: Las láminas de madera al estar sometidas a continua compresión y a variables ambientales, sufren de modificaciones en sus secciones, lo que implica una pérdida del nivel de postensado, por lo tanto afecta a la capacidad de carga del tablero. Una de las principales causa de lo anterior es el creep en las láminas de madera, esto ocurre por un fenómeno natural que se da cuando la madera está sometida, por períodos de tiempo largo, a una fuerza constante, que en este caso es la compresión debido a las barras de acero de postensado, entonces la madera tiende a comprimirse, observándose una disminución del preesfuerzo en las barras. Sin embargo para controlar esta pérdida del nivel de tensado se trabaja en el retensado de las barras, existiendo una relación entre el número de veces que se retensa un tablero y la disminución en la pérdida del tensado inicial, como lo demuestra el siguiente gráfico:



graf. 8.2 pérdidas en el nivel inicial de tensado (Giuliano M, 2002).

En el gráfico anterior se ve la importancia del retensado, ya que una tablero que solo a sido tensada en su construcción, sufrirá una pérdida de alrededor de un 80% del nivel inicial, para mejorar esto se debe realizar un trabajo sistemático de retensado al 100% del nivel de diseño, tanto en la primera semana como en la sexta a octava semana. Además del creep lo que afecta al nivel de tensado inicial son los cambios de temperatura y el contenido de humedad que presenta la madera, pero al momento del diseño se tomarán todos los factores de modificación para disminuir al máximo los efectos perjudiciales que se puedan producir por cambios en la humedad ambiental, además este tablero de madera postensada trabajará en conjunto con una losa de ferrocemento que la protegerá de la intemperie y la humedad excesiva que produce la lluvia directa.

En cuanto a la temperatura, no es un factor tan importante como los anteriores ya que los problemas surgen cuando el lugar de construcción presenta rangos de temperaturas extremos en rangos de tiempo corto o cuando hay una humedad excesiva en conjunto con bajas temperaturas, aún así los ensayos realizados en estas condiciones no muestran un gran deterioro en el nivel de preesfuerzo en las barras.

8.4 Armadura de la losa de ferrocemento: Para la armadura de la losa de ferrocemento se empleará la malla ACMA c139 y como armadura difusa, la malla de gallinero de 3/4" de abertura que irá ubicada en los sacados del tablero, en los bordes y parte superior. Lo primero a realizar es cortar la malla acma para darle la forma definitiva, en este caso se cuenta con una doble armadura, la inferior en forma de C y la superior como malla simple, las dimensiones y formas de esta armadura se muestran a continuación:

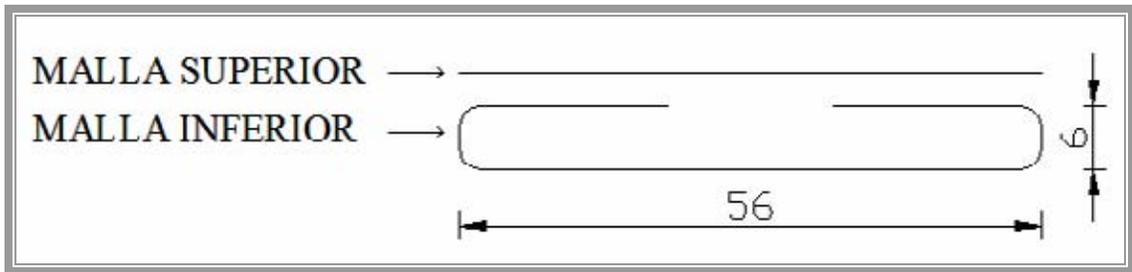


fig 8.2 disposición de la armadura de malla acma sobre el tablero de madera.



fot 8.5 vista superior de la armadura sobre el tablero de madera.



fotg 8.6 vista lateral de la armadura sobre el tablero de madera.

8.5 Sacados en el tablero de madera y colocación de los tirafondos: Los sacados al tablero de madera se realizarán de 4 cm de ancho por 2 cm de profundidad y a una distancia de 33 cm, según lo calculado en 7.5. Luego de realizados los sacados se coloca malla gallinero cubriéndolos por completo y después se coloca la armadura de malla acma, primero la de forma de C y luego la

superior, amarrándolas entre si en forma seguida por alambres y por último en estos sacados en forma de canal se dispondrá cuatro tirafondos por hilera.

Para colocar los tirafondos se deben realizar agujeros guías según lo señalado en 4.4, trabajo que se lleva a cabo por medio de un taladro manual, finalizando la colocación por medio de una llave hasta que lleguen al mismo nivel de altura que la malla acma. Para un mejor resultado en la práctica se amarra con alambre los tirafondos con la armadura acma, para impedir movimientos de la malla en el proceso de llenado, además la malla de gallinero se colocará los bordes y sobre la malla acma con el fin de impedir figuraciones del ferrocemento en el futuro.



fotg 8.7 ubicación de los sacados de la madera y los tirafondos.

8.6 Moldaje de la losa de ferrocemento: La elaboración del moldaje de la losa es bastante simple, ya que consiste en colocar tablas, del mismo tipo que las utilizadas para el tablero de madera postensada, en todo el borde del tablero, es decir de dimensiones de 5 ½" por 1 ½" y forradas con nylon para un mejor desmoldaje, además estarán clavadas en forma continua y con un sistema de amarre para impedir movimientos en las tablas laterales, que consiste en listones dispuestos cada metro con pernos.



foto 8.8 disposición del moldaje .

8.7 Hormigonado de la losa de ferrocemento: La preparación del mortero se hizo en forma manual, mezclándola con palas en carretillas, el lugar de trabajo corresponde al jardín posterior del LEMCO de la facultad. Para hacer el trabajo en forma rápida, los materiales fueron pesados y separados con anterioridad, listos para ser mezclados en cada una de las tres carretillas disponibles. Esta opción de trabajo manual se tomó debido al poco volumen necesitado para llenar la losa, aproximadamente $0,24 \text{ m}^3$.



foto 8.9 trabajo de mezclado manual de los materiales.

El método de trabajo consiste en trabajar con dos carretillas en forma simultánea, teniendo una tercera en espera, para así lograr un vaciado continuo sobre la losa, con una persona dedicada exclusivamente en evitar que haya vacíos en la losa por medio de varillas y golpes en los moldajes laterales. Finalizando el trabajo con un platabado para eliminar los excesos y acabar con una superficie más lisa.



fotg 8.10 proceso de llenado de la losa.



fotg 8.11 finalizado proceso de llenado.

Una vez terminado el proceso de llenado se lleva a cabo el trabajo de curado de la losa, se cubre con una plancha de polietileno y se esperan 5 días para realizar el desmoldaje, el curado consiste principalmente en riegos diarios a la losa para mantenerla con humedad para impedir pérdida de agua excesiva.

La dosificación empleada para el mortero en la construcción de la losa es de 2:1, en peso, es decir el doble del peso de arena fina por peso de cemento y la mitad del peso de cemento en agua, además para la preparación de este mortero no se usaron aditivos para mejorar resistencia o cambiar las propiedades de fraguado, esto para trabajar con el caso más desfavorable, pero sin embargo hay que señalar que la trabajabilidad de la mezcla es bastante buena, por lo que no se presentaron problemas de este ámbito en el trabajo de llenado.

En resumen la dosificación de los materiales empleada para la construcción de la losa de ensayo que ocupa un total de $0,24 \text{ m}^3$, es la siguiente:

Dosificación de materiales (Tabla8.2)

Material	Unidad	Cantidad
Cemento Melón	Kg.	274
Arena Fina	Kg.	137
Agua	Kg.	68

8.8 Ensayo de las muestras rilem de la losa de ferrocemento: Los rilem son muestras de mortero que se toman de la misma mezcla con la cual se llena la losa, esto con el propósito de realizarles ensayos tanto de compresión como de flexión, en períodos de tiempo determinado, para saber cuando la losa alcanza la resistencia con la cual fue diseñada y así realizarle el ensayo de carga final. Son de dimensiones Standard de 4x4x16 cm.

El procedimiento corresponde a tomar muestras desde las carretillas donde se hace la mezcla definitiva, por medio de una parangana en una cantidad razonable para que alcance a llenar los moldajes normados que existen en el LEMCO para estos fines. A continuación se procede a medir el cono del mortero, para ello se utiliza los instrumentos normados que consta de un cono de 20 cm, varilla y bandeja. Este primer ensayo arrojó el resultado de que la mezcla tiene un cono de 10 cm, como se muestra en las siguientes fotografías.



fotg 8.12 medición de cono de la mezcla.

Después de medido el cono de la mezcla se procede a llenar los moldajes para rilem. Estos moldajes están normados y vienen en serie de tres, son de acero de alta resistencia y la forma de llenado corresponde en primer lugar a colocarles desmoldante y posteriormente a llenarlos hasta la mitad, rasarlos por medio de una espátula pequeña y dar 60 golpes, uno por segundo mas o menos, de baja intensidad en su base para lograr una mejor compactación y evitar vacíos, una vez terminados estos

golpes se termina de llenar los moldajes, se dan de nuevo los 60 golpes y se rasan para dejar la superficie lisa y libre de excedentes. Los moldajes y forma de llenado se muestran en las siguientes fotos.



fotg 8.13 moldajes para rilem.

Una vez llenados los cuatro moldajes, es decir doce probetas de rilem en total, son conducidos a la pieza de curado ubicado en el laboratorio, ahí se dejan durante un período de 48 horas, para después desmoldarlos y obtener la probeta en sí.



fotg 8.14 probeta de rilem obtenido de la mezcla de la losa.

Las probetas son retiradas en serie de tres, para realizarles los ensayos de compresión y flexión, la primera serie en ser testeada es a los siete días, luego a los 14,21 y finalmente a los 28 días, donde se debe alcanzar la resistencia a la compresión definida en el diseño.

Para realizar los ensayos de flexión y compresión, se emplean las máquinas especiales que existen para ello en el LEMCO, en una primera fase las probetas de 7 y 14 días son probadas en una, de funcionamiento manual, la cual produce presión sobre las probetas por medio de vueltas que se tienen que dar a una manivela, una por segundo, hasta observar la falla por flexión y aplastamiento en el caso de ensayos a compresión.



fotg 8.15 disposición de las probetas y la maquina empleada para pruebas de probetas de 7 y 14 días.

Los resultados de las primeras dos series se muestran a continuación:

- Primera serie, a los 7 días

Fecha : 21/11/2005.
Método revoltura : manual.
Cemento : melón extra.
Cono : 10 cm.

Resultados:

Resultados primera serie 7 días. (Tabla8.3)

muestra	Edad (días)	Peso (gr)	flexión (Kg/cm²)	Compresión (Kg/cm²)	Promedio Compresión (Kg/cm²)
1	7	533.89	38,5	219	220
				221	
2	7	549,16	39,5	223	221,5
				220	
3	7	535,41	41	217	218,5
				220	

- Segunda serie, a los 14 días.

Fecha : 28/11/2005.
Método revoltura : manual.
Cemento : melón extra.
Cono : 10 cm.

Resultados:

Resultados segunda serie 14 días. (Tabla8.4)

muestra	Edad (días)	Peso (gr)	flexión (Kg/cm²)	Compresión (Kg/cm²)	Promedio Compresión (Kg/cm²)
4	14	525,93	45	269	267
				265	
5	14	530,53	48	270	269
				268	
6	14	527,48	43	271	269,5
				268	

Para obtener los resultados de los ensayos a las probetas para los 21 y 28 días, se empleó la misma máquina utilizada para los ensayos de los cubos de hormigón, se ajusta a una velocidad baja para una mayor precisión en los resultados.

- Tercera serie, a los 21 días.

Fecha : 05/12/2005.
Método revoltura : manual.
Cemento : melón extra.
Cono : 10 cm.

Resultados:

Resultados tercera serie 21 días. (Tabla8.5)

muestra	Edad (días)	peso	flexión (Kg/cm²)	Compresión (Kg/cm²)	Promedio Compresión (Kg/cm²)
1	21	526,13	48,5	281	283
				285	
2	21	527,28	47	275	277,5
				280	
3	21	525,91	50	285	285
				285	

- Cuarta serie, a los 28 días.

Fecha : 12/12/2005.
Método revoltura : manual.
Cemento : melón extra.
Cono : 10 cm.

Resultados:

Resultados cuarta serie 28 días. (Tabla8.6)

muestra	Edad (días)	peso	flexión (Kg/cm²)	Compresión (Kg/cm²)	Promedio Compresión (Kg/cm²)
1	7	523.89	48	295	302,5
				310	
2	7	522,16	49,5	298	299
				300	
3	7	525,41	49	300	305
				310	

CAPITULO IX

ENSAYO DE CARGA AL TABLERO DE MADERA POST-TENSADA CON LOSA DE FERROCEMENTO

9.1 Generalidades: El ensayo a la losa mixta de ferrocemento-tablero de madera, se realiza en el mismo lugar donde fue construida, es decir en el jardín trasero del LEMCO de la facultad.

Después de analizados los resultados de las muestras de rílem, tomadas del mortero con que se fabricó la losa de ferrocemento, se considera que el mortero a superado la resistencia a la compresión con la que fue diseñada y por lo tanto está lista para ser ensayada.

Para el ensayo de carga se empleará un dial que medirá la deformación que sufrirá la losa a medida que se va cargando.

Para finalmente realizar un gráfico con los datos y obtener el módulo de elasticidad experimental y compararlo con el obtenido en forma teórica.

El diagrama siguiente muestra la disposición de los elementos para realizar este ensayo:

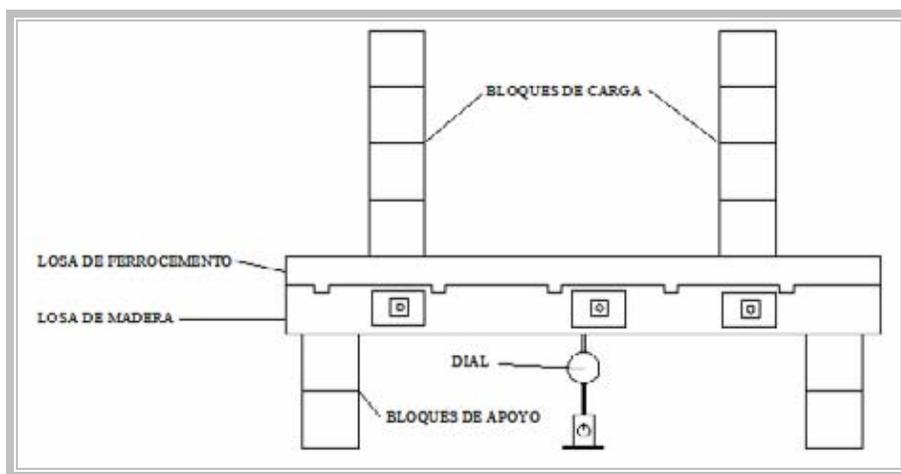


fig 9.1 disposición de los bloques de carga y del dial que medirá deformación.



fot 9.1 Ensayo de carga realizado a la losa mixta.



fot 9.2 Ensayo de carga realizado a la losa mixta.



fot 9.3 disposición del dial que medirá deformaciones sufridas por la losa.

9.2 Metodología: Para llevar a cabo este ensayo, la carga es aplicada por medio de bloques de hormigón que se encuentran en el LEMCO.

En primer lugar se pesan todos los bloques que se usarán como cargas y se los marca, para saber exactamente cual va a ser la carga aplicada.

La ubicación de estos bloques sobre la losa, corresponde a dos hileras colocadas a una distancia medida entre ellas y a los extremos de la losa, como hipótesis tomada en este ensayo esta carga asemejará a la que produciría la maquina con el pistón hidráulico con compresor que distribuiría una carga puntual en dos colocadas a distancias conocidas y la losa por lo tanto siempre estará trabajando en su rango elástico.

Por lo tanto las dos líneas de bloques que se colocan sobre la losa se modelarán como se muestra en la siguiente figura:

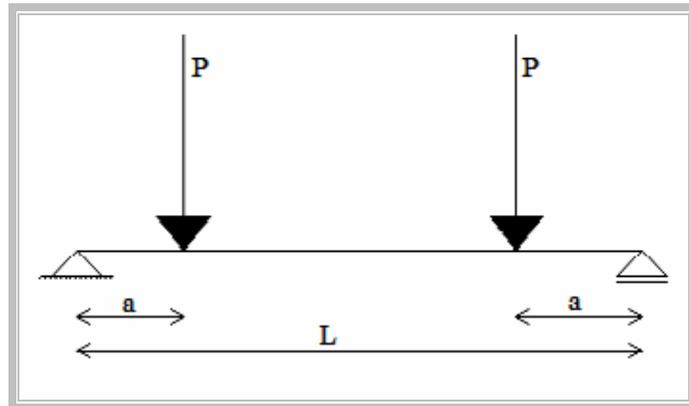


fig 9.2 modelación de las cargas aplicadas.

La modelación anterior es para encontrar el Módulo de elasticidad experimental, ya que se tiene que la deformación que se produce debido a esta combinación de cargas se encuentra a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta_{MAX} = \frac{P \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{24 \cdot E \cdot I} \quad \text{cm} \quad (9.1)$$

en donde:

Δ = Deformación máxima en la losa.

a = Distancia desde el extremo de la losa, aproximadamente L/3.

L = Largo de la losa.

I = Inercia de la losa.

Despejando la formula en términos de E se obtiene:

$$E = \frac{P}{\Delta_{MAX}} \cdot \frac{a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{24 \cdot I} \quad \text{cm} \quad (9.2)$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$E = \frac{P}{\Delta_{MAX}} \cdot \frac{166 \cdot (3 \cdot 500^2 - 4 \cdot 166^2)}{24 \cdot 84532,38} \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$E = \frac{P}{\Delta_{MAX}} \cdot 52,34 \quad \text{Kg/cm}^2 \quad (9.3)$$

9.3 Obtención de datos: Para iniciar el proceso de carga se colocan los bloques de hormigón, previamente pesados, anotando en una tabla el peso colocado y la deformación que indica las lecturas que arroja el dial colocado en la parte inferior.

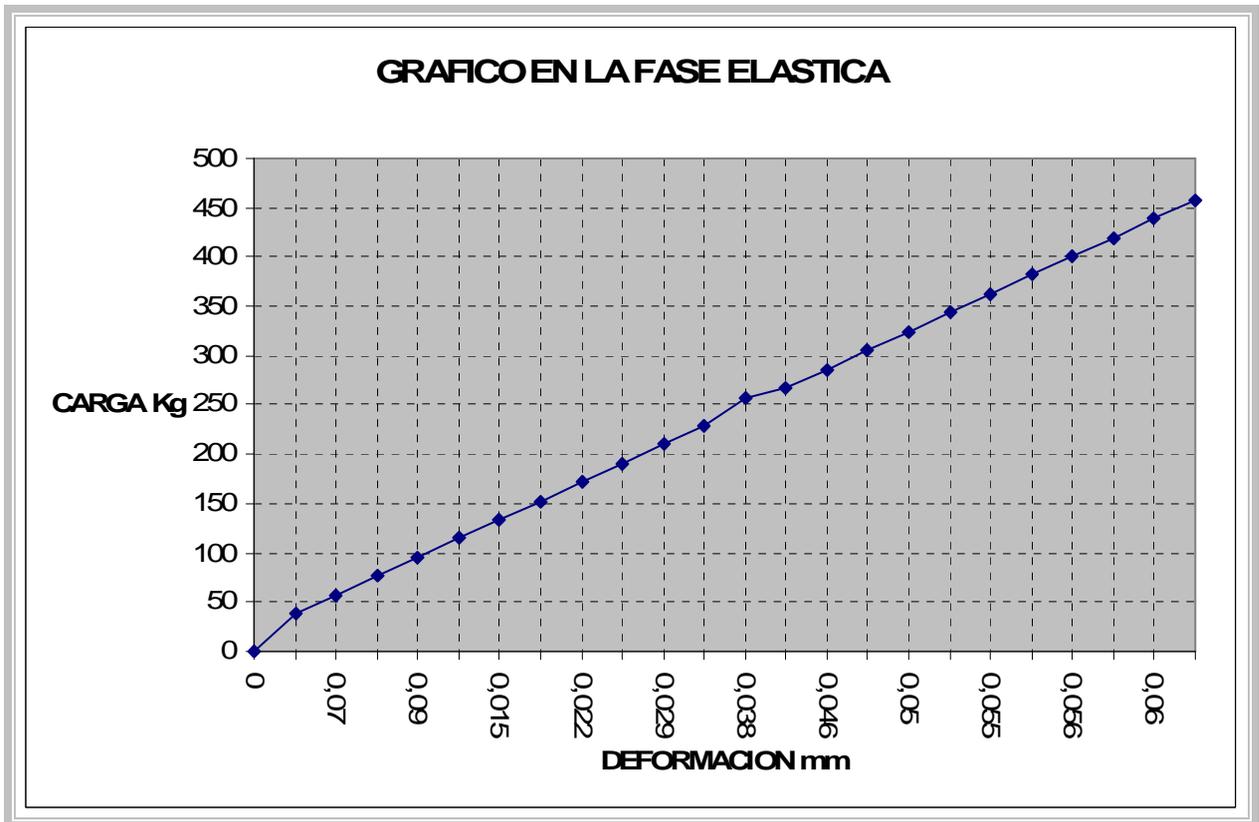
Entonces conocidos los valores de P y Δ se obtiene el valor del modulo de elasticidad experimental.

Para tomar las lecturas del dial se debe tener en cuenta las unidades que éste tiene, en este caso una vuelta completa de la aguja en el dial corresponde a 0,1", es decir cada unidad del dial equivale a 0,001", por lo tanto para transformar esta información a unidades requeridas solo basta transformar la lectura a pulgadas y de ahí a cm.

Entonces las lecturas que se muestran en la siguiente tabla ya fueron transformadas a cm y solo queda reemplazar los valores en las fórmulas anteriores.

Tabla 9,1 lecturas de carga y deformación

P (Kg)	Δ (cm)
0	0
38,16	0,05
57,24	0,07
76,32	0,08
95,40	0,09
114,48	0,012
133,56	0,015
152,64	0,018
171,72	0,022
190,8	0,026
209,88	0,029
228,96	0,031
258,04	0,038
267,12	0,041
286,2	0,046
305,28	0,049
324,36	0,050
343,44	0,052
362,52	0,055
381,6	0,055
400,68	0,056
419,76	0,058
438,84	0,060
457,92	0,062



graf. 9.1 Grafico de carga de la losa mixta de ensayo.

De los datos obtenidos por la tabla y reemplazando los valores en la ecuación 9.3 se obtiene el siguiente valor de Módulo de Elasticidad experimental.

$$E = \frac{457,92}{0,062} \cdot 52,34 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$E = 386573,109 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Este valor de Módulo de Elasticidad experimental lo podemos comparar con el valor de Modulo de Elasticidad Teórico de la losa de Ferrocemento, que se obtuvo en 7.15 y que correspondía a:

$$267762,24 \text{ Kg/cm}^2$$

Observándose que el valor del Módulo de Elasticidad Experimental es mucho mayor al teórico, e incluso sumando ambos módulos de Elasticidad, de la madera y ferrocemento, este valor es menor al experimental.

CAPITULO X

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

10.1 Generalidades: El análisis de costo se realizará para hacer una comparación económica entre distintas soluciones de superestructura, como se sabe en la actualidad, los sistemas de construcción corresponden a superestructuras de hormigón armado y de madera en forma tradicional, en este caso se comparará la superestructura de dos puentes, uno con el sistema de tablero con ferrocemento y otro con hormigón armado.

Como hipótesis para realizar la comparación de costos se establecerá que el puente de 5 metros de largo y de 4,5 metros de ancho que se analizará tiene una infraestructura de hormigón armado, es decir, los estribos, vigas y travesaños, etc, serán de construcción estándar y sólo se comparará la diferencia de costos en la carpeta de rodado, sea esta de losa de hormigón o de tablero de madera tensada.

10.2 Presupuestos: En primer lugar se calculará el presupuesto de la superestructura de un puente de madera postensada con las dimensiones estándar para permitir el paso de vehículos livianos con una vía de rodado, por lo tanto se considera una carpeta de 5 metros de largo por 4.5m de ancho, lo que permite dos pasillos a los costados:

PRESUPUESTO

OBRA

: Superestructura Puente de Madera
Postensada con Losa de Ferrocemento

L=5 m, A=4,5 m

	DESCRIPCION	Un	Cantidad	\$ Unitario	\$ Total
TABLERO DE MADERA					
1,1,-	Tablas de 1 1/2" x 5 1/2" x 400	Nº	60	\$22.500	\$1.350.000
1,2,-	Tablas de 1 1/2" x 5 1/2" x 300	Nº	60	\$10.430	\$625.800
1,4,-	Tablas de 1 1/2" x 5 1/2" x 200	Nº	60	\$3.435	\$206.100
1,3,-	Tablas de 1 1/2" x 5 1/2" x 100	Nº	60	\$1.740	\$104.400
1,1,-	Soleras de apoyo 4" x 8"	pulg	21,3	\$8.290	\$176.577
1,2,-	PVC 25 mm	Nº	10	\$1.200	\$12.000
1,3,-	Geotextil	m2	25	\$2.920	\$73.000
1,4,-	Anillo Neopreno	Nº	25	\$110	\$2.750
1,5,-	Grasa protectora	Lt	10	\$1.800	\$18.000
1,6,-	Barras SAE 1045 15 mm	Nº	10	\$21.500	\$215.000
1,7,-	Tableros de Anclaje y Apoyo	Kg	180	\$1.400	\$252.000

LOSA DE FERROCEMENTO					
2.1.-	Malla ACMA	Nº	6	\$17.800	\$106.800
2.2.-	Cemento	Nº	9	\$3.260	\$29.340
2.3.-	Arena	m3	16	\$3.200	\$51.200
2.4.-	Malla Gallinero	Nº	3	\$5.200	\$15.600
2.5.-	Alambre	Nº	2	\$5.980	\$11.960
TOTAL SUPERESTRUCTURA PUENTE					\$3.250.527

A continuación se muestra el presupuesto de los materiales que se emplearán en la construcción de una superestructura de hormigón armado para un puente menor, con las mismas dimensiones que en el caso anterior.

PRESUPUESTO

OBRA

: Superestructura Puente de
Hormigón armado

L=5 m, A=4,5 m

	DESCRIPCION	Un	Cantidad	\$ Unitario	\$ Total
HORMIGÓN H-30					
1.1.-	Losa de 0,22x5x4,5	m3	4,95	\$95.000	\$470.250
1.2.-	Pasillo 02*5*0,3*2	m3	1,2	\$95.000	\$114.000
1.4.-	Apoyo Estrinbos 0,3*4,5*0,3*2	m3	0,9	\$95.000	\$85.500
ACERO ESTRUCTURA					
2.1.-	Losa de 0,22x5x4,5	Kg	310	\$2.300	\$713.000
2.2.-	Pasillo 02*5*0,3*2	Kg	431	\$2.300	\$991.300
2.4.-	Apoyo Estribos 0,3*4,5*0,3*2	m3	0,9	\$95.000	\$85.500
MOLDAJE					
3.1.-	Losa 5*4,5 inferior	m2	18	\$750	\$13.500
3.2.-	Losa lateral	m2	2,2	\$750	\$1.650
3.3.-	Apoyo	m2	5,4	\$750	\$4.050
3.4.-	Pasillo lateral	m2	4	\$750	\$3.000
3.5.-	Pasillo inferior	m2	3	\$750	\$2.250
3.6.-	Sistema de anclaje	Gl	1	\$750.000	\$750.000
TOTAL SUPERESTRUCTURA PUENTE					\$3.234.000

Como se puede observar la diferencia en costos no es muy considerable entre las dos soluciones, pero además del presupuesto de los materiales se deben considerar otros factores para permitir un mejor análisis:

- En primer lugar, para la reposición de la carpeta de rodado de un puente menor por medio de una tablero mixta de madera con ferrocemento, no es necesario efectuar grandes modificaciones a la estructura existente, ya que la tablero mixta puede ser colocada sobre cualquier tipo de estructura de puente, ya sea de madera o de hormigón.
- En caso de la losa de hormigón armado, ésta no puede ser fabricada sobre cualquier tipo de construcción existente, ya que se debe cumplir con estándares mínimos de resistencia para soportar la superestructura, como por ejemplo los estribos, deberían ser de hormigón, así mismo como las vigas transversales longitudinales.
- Aunque el presupuesto mostrado anteriormente no muestra el costo de la mano de obra, el número de personas necesarias para la construcción de la tablero mixta es menor a la de una de hormigón armado y no es necesario contratar mano de obra calificada.
- Por último, los tiempos de puesta en servicio de la tablero mixta es menor a la losa convencional de hormigón, ya que si es se necesita una solución rápida, la carpeta de rodado puede estar en servicio solo con la instalación de la tablero de madera y colocar la losa de ferrocemento con posterioridad.

CAPITULO XI

MODELACIÓN DE LA TABLERO DE MADERAPOSTENSADA CON LOSA DE FERROCEMENTO, POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS.

11.1 Metodología: Para modelar la tablero mixta se empleó el programa de elementos finitos SAP2000. Ambas losas fueron ingresadas al software mediante elementos solid, los cuales corresponden a elementos tridimensionales definidos por ocho nodos.

Para ello se ingresó previamente las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, es decir, los módulos de elasticidad, peso específico, etc, tanto de la madera empleada como del ferrocemento.

11.2 Hipótesis de modelación:

- Se asume la tablero como simplemente apoyada en sus extremos.
- Los pernos de unión entre las tableros, son modelados como resortes con rigidez horizontal y vertical.
- Las fuerzas de postensado son asimilados como fuerzas puntuales, ubicadas en la parte lateral de la losa, comprimiendo el conjunto.

A continuación se muestran una serie de modelos de elementos finitos que se emplearon para asignar cargas y esfuerzos de tensión a la tablero mixta de madera y ferrocemento.

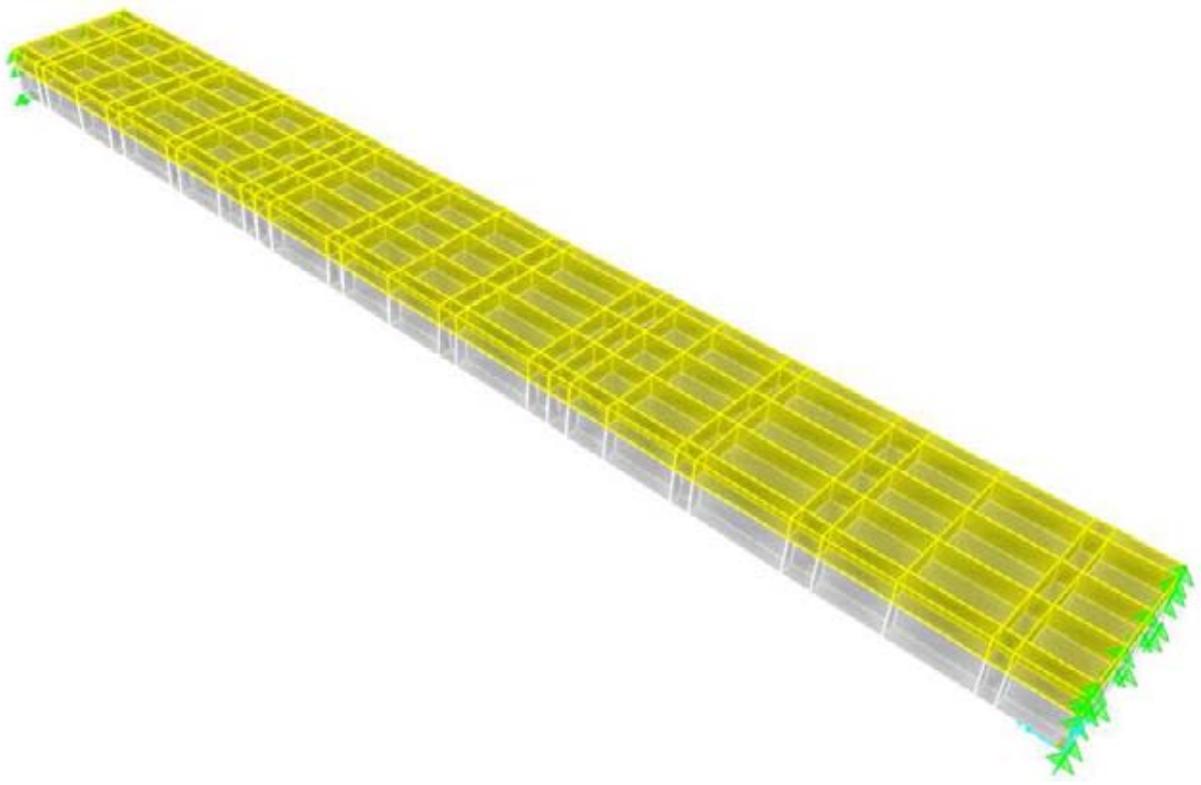


fig. 10.1 Prototipo de la losa mixta.

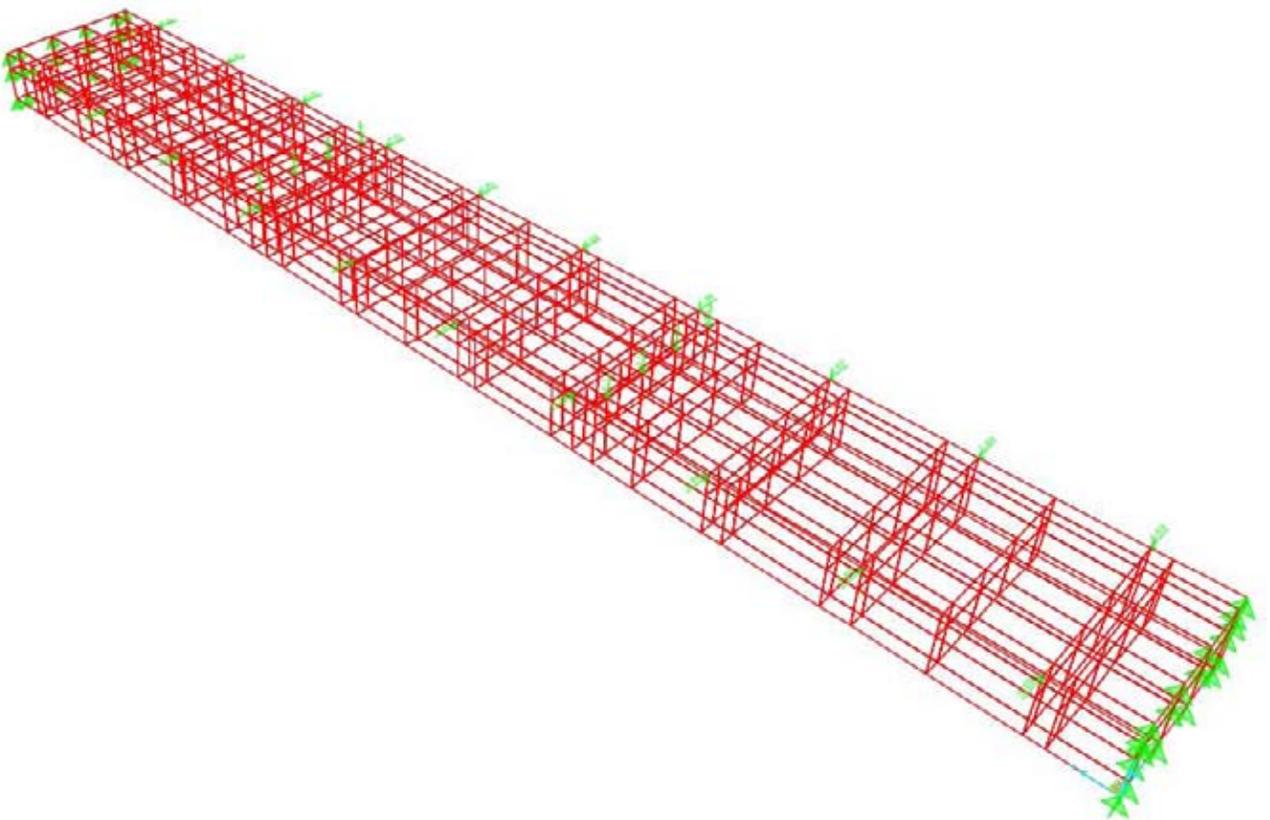


fig. 10.2 Modelación de las fuerzas de postensado y de carga.

11.3 Obtención de Resultados: Se definió un estado de carga que combina los efectos del peso propio, del postensado y de la carga externa aplicada, que corresponde la misma que se aplica en el ensayo práctico a partir de lo cual se obtiene la deformada del sistema, encontrándose la máxima deformación de la tablero en su punto medio y corresponde a 0,78 mm.

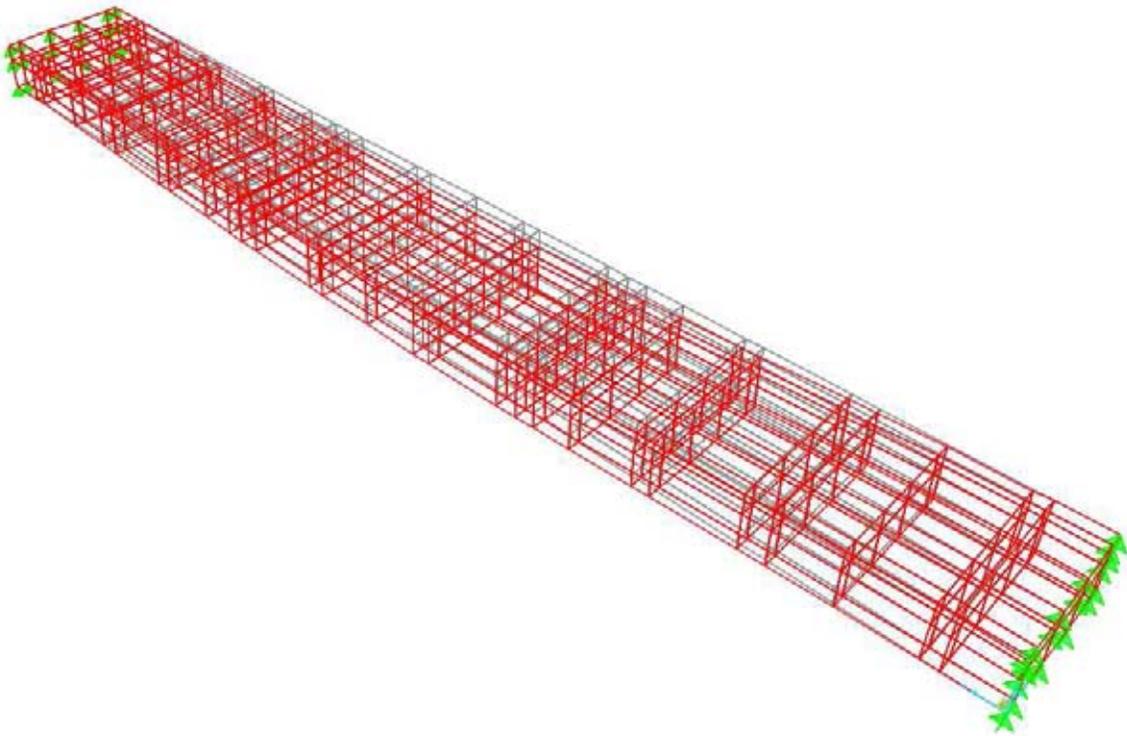
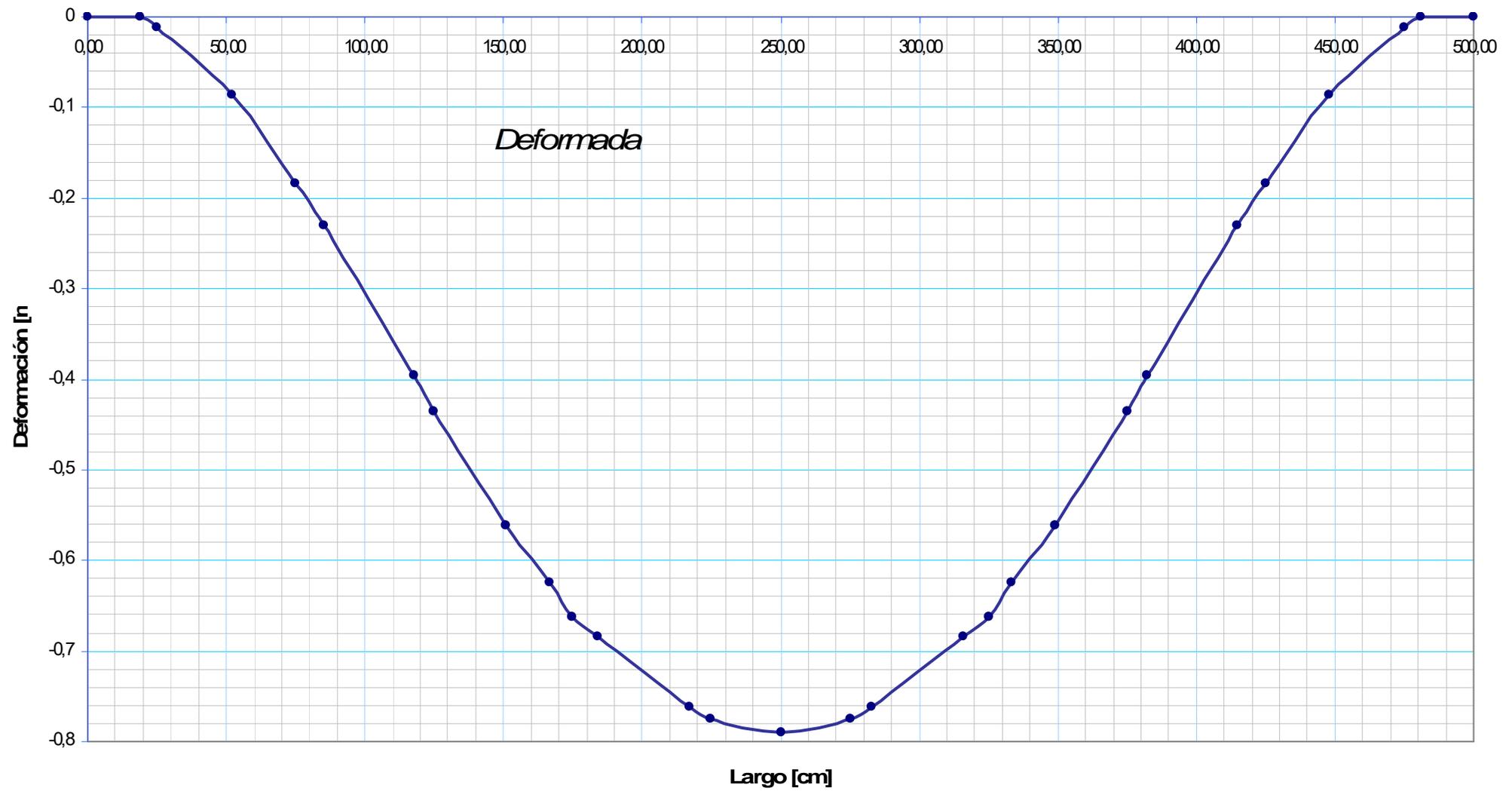


fig. 10.3 Deformada en perspectiva 3D.

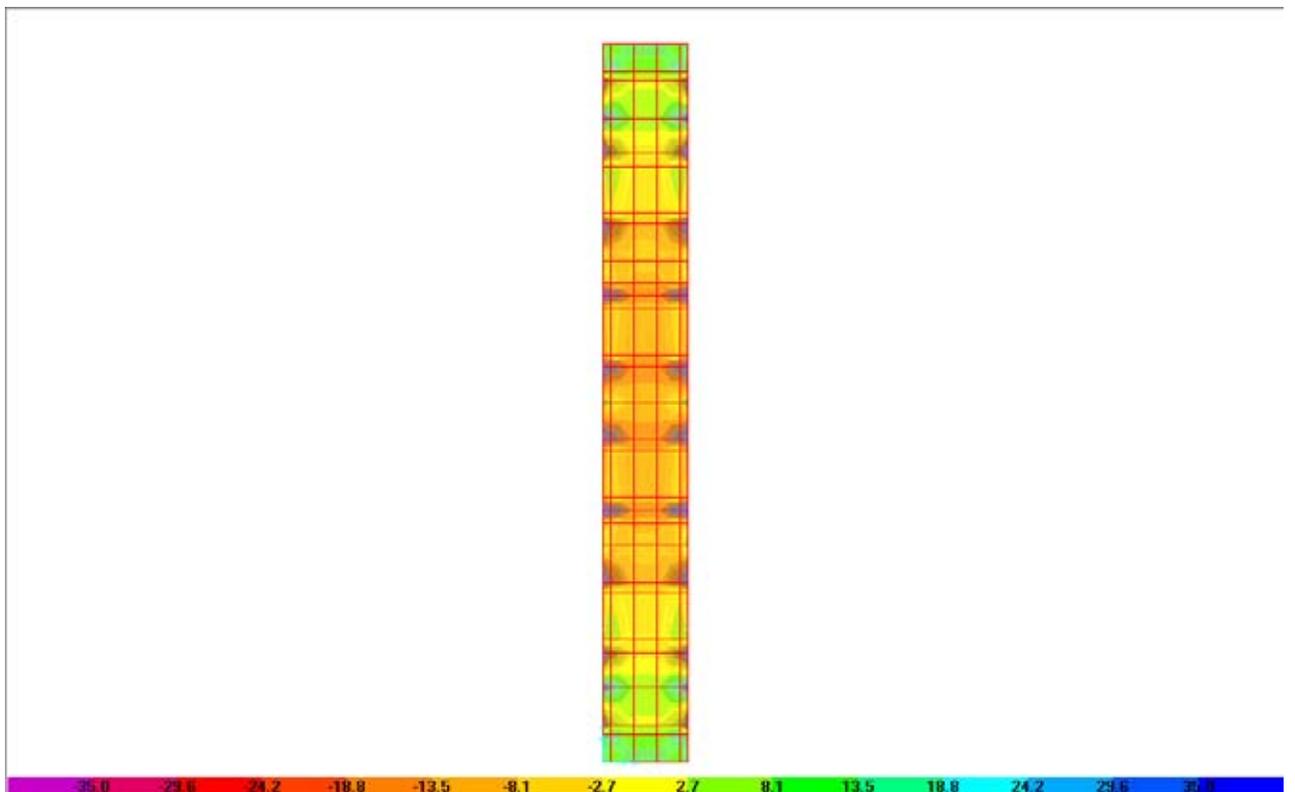
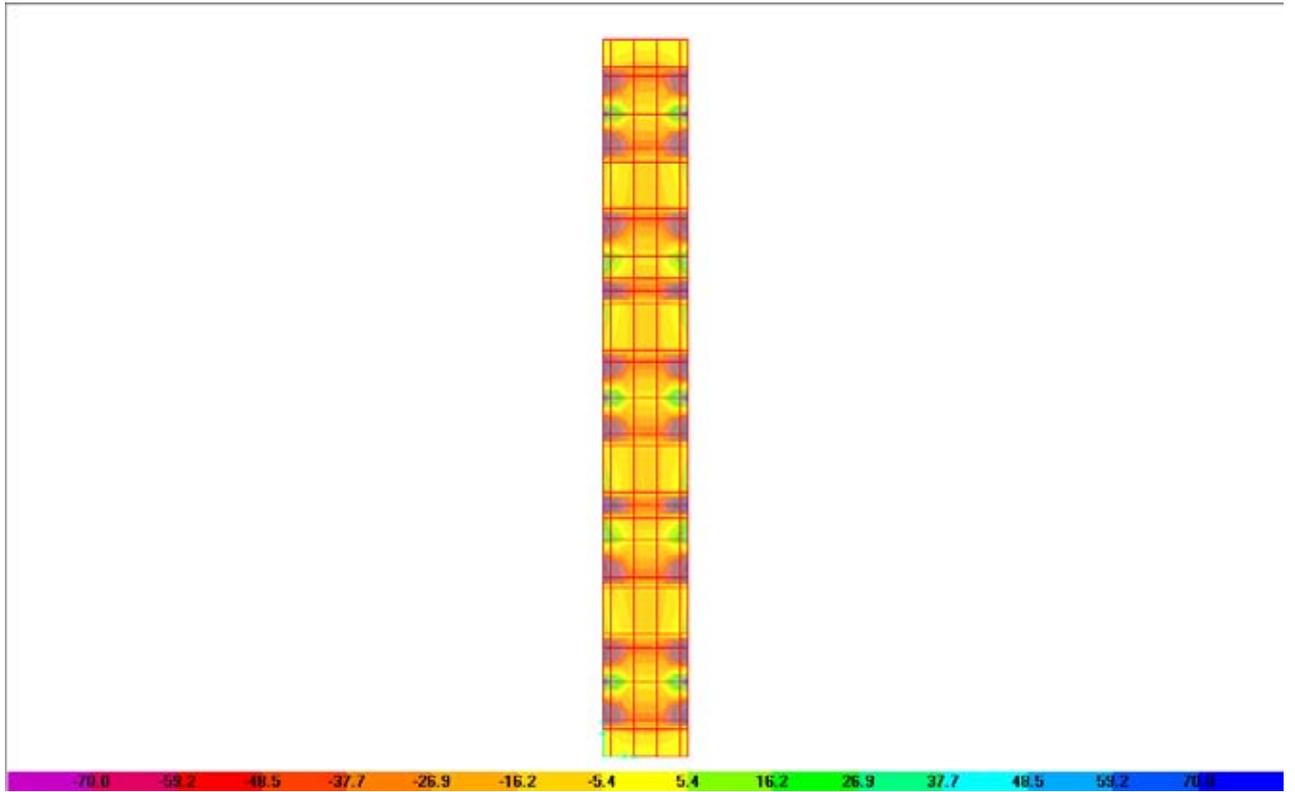


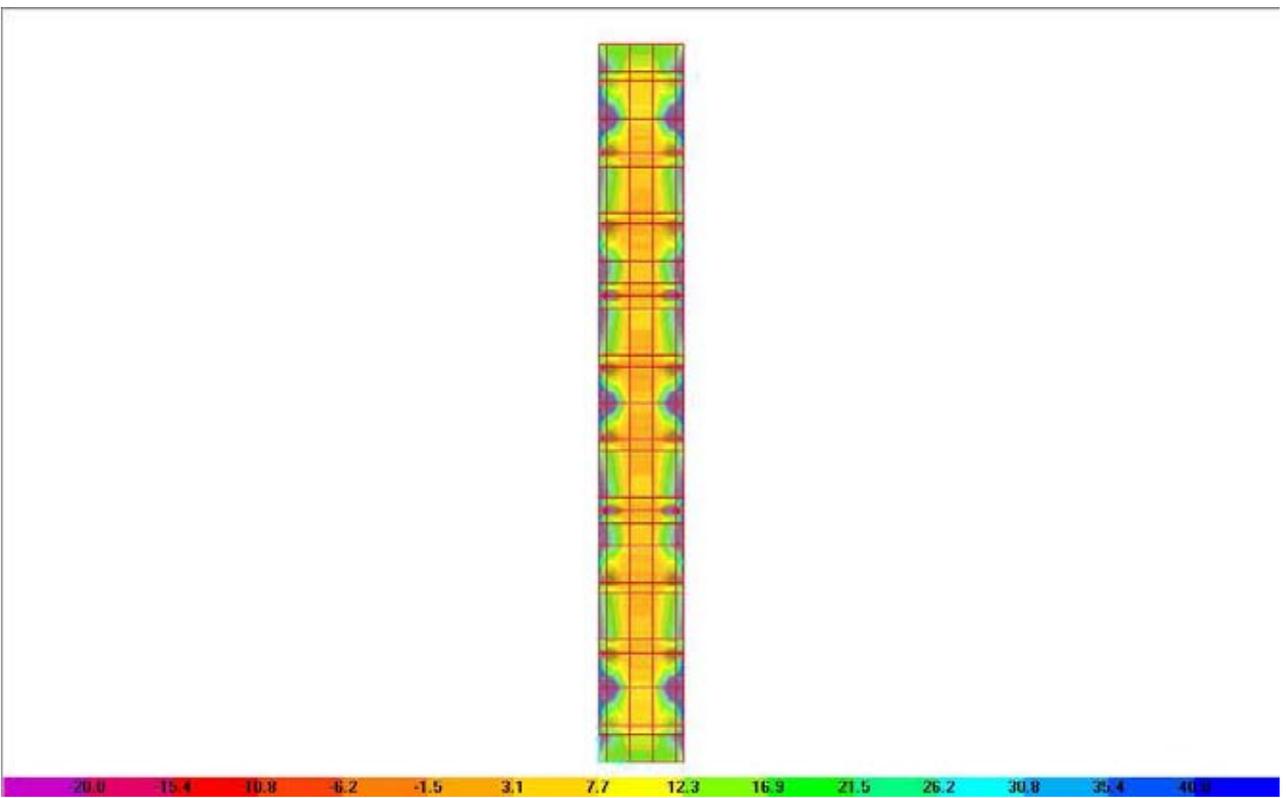
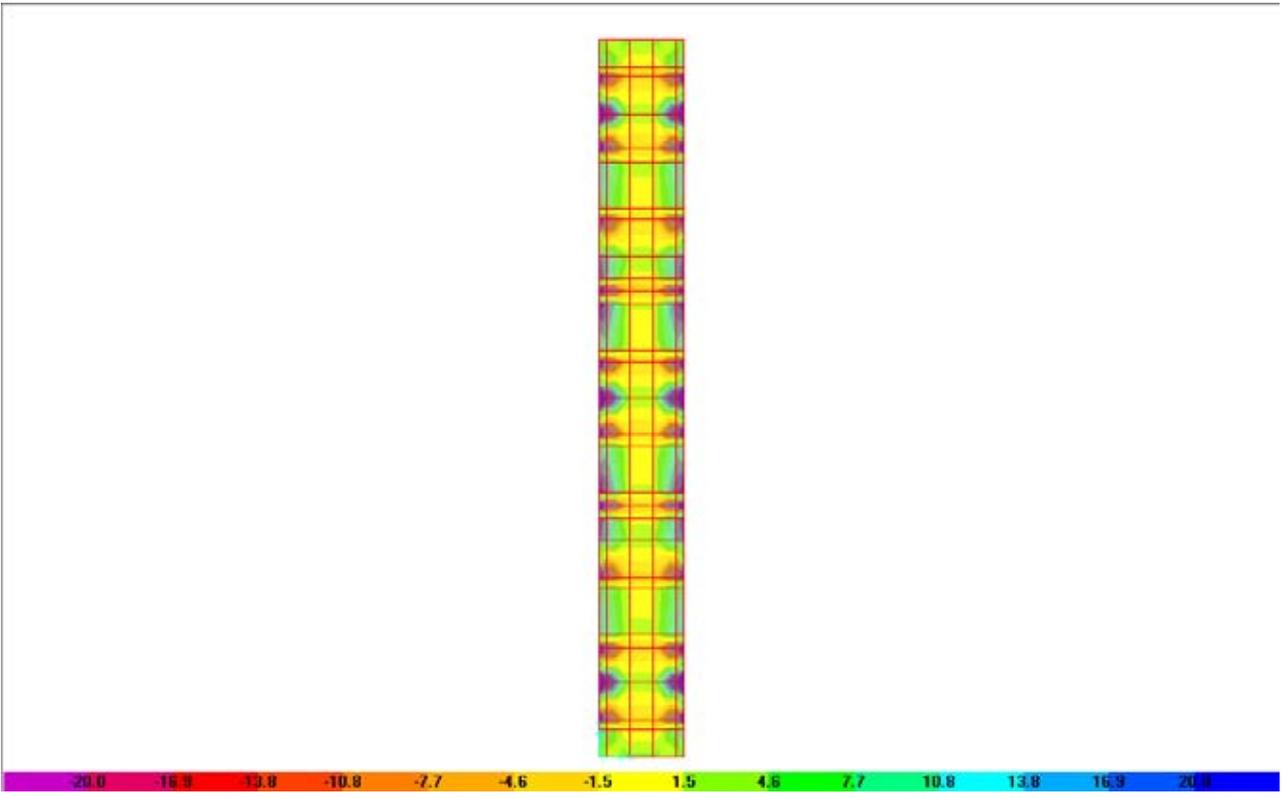
fig. 10.4 Vista lateral de la deformada.



graf. 10.1 Grafico de la deformada de la tablero mixta.

A continuación se muestran la distribución de tensiones, según los ejes locales de los elementos finitos en Kg/cm².





CAPITULO XII

SISTEMA DE ANCLAJE

12.1 Sistemas de anclaje a los estribos: El sistema de anclaje entre la tablero mixta y los estribos o las vigas transversales deben ser capaces de resistir los esfuerzos de corte que producen los sismos, por lo tanto su diseño está regido por este evento.

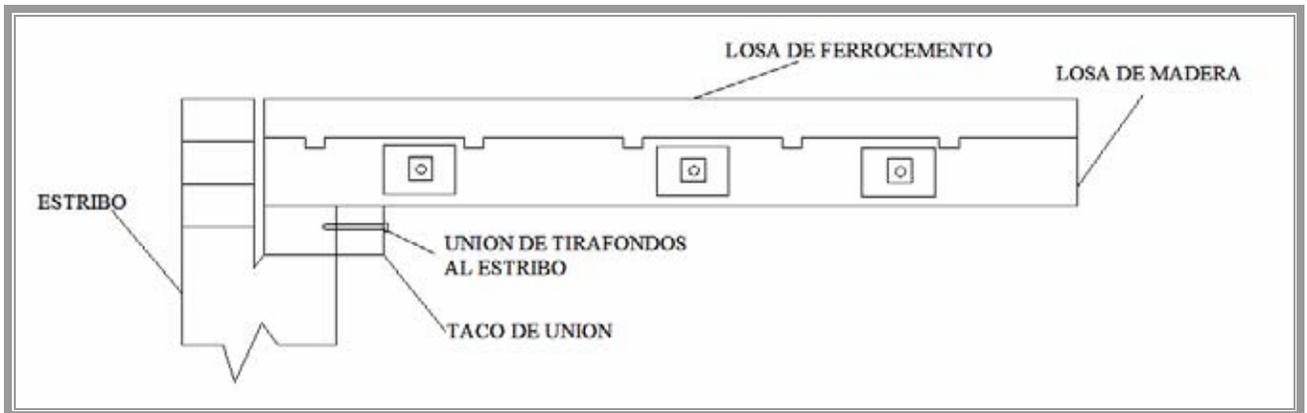


fig. 12.2 sistema de anclaje al estribo del puente.

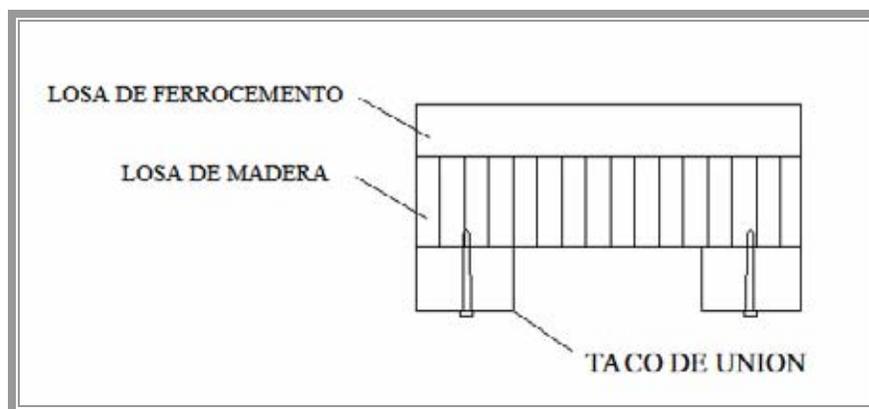


fig. 12.3 sistema de anclaje al estribo del puente, vista frontal.

12.2 Análisis sísmico: Para el cálculo del esfuerzo producido por un sismo, se empleará lo que señala el Manual de Carreteras N°3, específicamente el capítulo 3.1004, Diseño Sísmico, que establece los requisitos sísmicos mínimos para el diseño de puentes, viaductos y pasos desnivelados, aplicadas a estructuras menores y medianas.

12.2.1 Parámetros considerados en el análisis sísmico:

- Aceleración máxima efectiva del suelo (A_0): Corresponde a valores teóricos, que siendo menores que la aceleración máxima del suelo, que se mide con los acelerógrafos, durante los terremotos, permite construir un espectro elástico de diseño, calibrados por el comportamiento sísmico observado de las estructuras en los grandes sismos.
- Coeficiente de suelo (S): Sirve para determinar los efectos del comportamiento dinámico del suelo de fundación, se calcula según la siguiente tabla:

Tabla 10,1 coeficiente del suelo

TIPO DE SUELO	S
I	0,9
II	1,0
III	1,2
IV	1,3

En el caso de Valdivia se toma el tipo de suelo III, por lo tanto:

$$S = 1,2$$

- Zonificación sísmica: Se distinguen tres zonas sísmicas en el territorio nacional 1,2 y 3, cuyos valores van en aumento con el peligro sísmico, como se muestra en la siguiente figura a Valdivia le corresponde la zona 3.

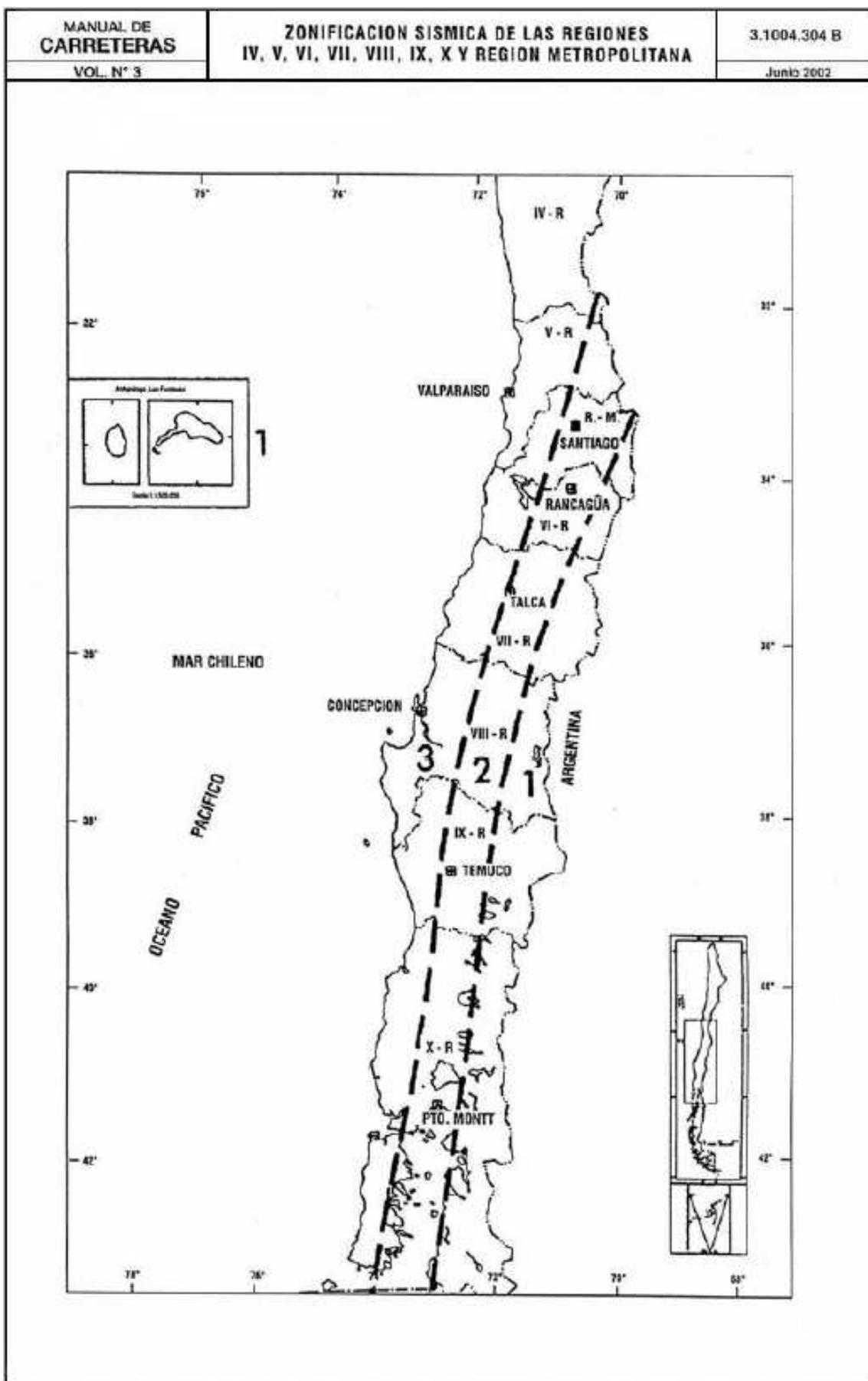


fig. 12.1 zonificación sísmica del sur de Chile.

- Coeficiente sísmico horizontal de diseño (K_h) : Se obtendrá de la siguiente fórmula, con un valor mínimo de 0,1.

$$K_h = K_1 S A_0/2g \quad (12.1)$$

donde:

S = Coeficiente de suelo.

K_1 = Coeficiente de importancia, que en este caso por tratarse de un puente es 1.

A_0 = Aceleración efectiva máxima, obtenido de la siguiente tabla.

Tabla 10,2 Aceleración efectiva

ZONA SISMICA	A_0
1	0,2g
2	0,3g
3	0,4g

En nuestro caso $A_0 = 0,4g$

Entonces:

$$K_h = 1 \times 1 \times 0,4g/2g$$

$$K_h = 0,2$$

Luego la carga sísmica se calcula de la siguiente forma:

$$C_s = R \times K_h \times pp$$

donde:

C_s = Carga sísmica.

R = Factor de reducción por carga eventual, se tomará para este caso = 0,75.

pp = peso propio de la tablero mixta, calculado en 6.6.

$$pp = 0,293 \times 4,5 \times 5 = 6,59 \text{ ton}$$

por lo tanto:

$$C_s = 6,59 \times 0,2 \times 0,75$$

$$C_s = 0,98 \text{ Ton}$$

Para considerar el caso más desfavorable se considerará que esta fuerza de carga sísmica actuará totalmente en los apoyos en ambos extremos del puente, para calcular cuantos tirafondos son necesarios colocar entre el tablero y los estribos para resistir dicha fuerza.

Para encontrar la fuerza de diseño que resiste cada tirafondo se utilizará la siguiente fórmula:

$$P_{dis} = P_{ad} \times K_D \times K_{UH} \times K_Q \times K_T \times K_S \times K_g \quad (12.2)$$

Los valores de P_{ad} , K_Q y K_T , ya fueron calculados con anterioridad

➤ **K_D Factor de modificación por duración de carga.**

Para su cálculo se emplea la expresión 5.6, con una duración de 30 segundos para el sismo.

$$K_D = 1,787$$

➤ **K_u Factor de modificación por longitud de hilera.**

En este caso como se unen dos elementos de secciones semejantes, según la tabla 30 de la NCh 1198 y debido a que son 2 los elementos de unión entonces el valor del factor de modificación es 1.

Entonces reemplazando los valores en 12.2 se obtiene:

$$P_{dis} = 375,14$$

Por lo tanto la cantidad de tirafondos necesarios para resistir la fuerza del sismo es de:

$$N = 980/375,14 = 3 \text{ tirafondos}$$

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un tablero de madera postensada utilizando la Guía de Especificaciones de la ASSHTO, usando cargas del camión de diseño que indica el Manual de Carreteras, para que la tablero sea empleada en puentes menores.
- Se fabricó el tablero de madera postensada diseñada a escala real, de largo 5 metros y de un ancho igual al ancho de distribución, que en este caso es de 60 cm. Sobre esta tablero de madera se construyó una losa de ferrocemento de espesor 8 cm. El sistema de anclaje entre ambas losas consta de hileras de sacados en la tablero de madera postensada y tirafondos.
- El primer ensayo que se realizó a la losa corresponde al de postensado de la tablero de madera, para aplicarle la tensión de diseño a las barras de acero. Este ensayo dio por resultado que a cada barra se le aplicó una tensión de 6,01 ton, según las vueltas dadas a cada tuerca, valor que basta para resistir el corte transversal.
- Se realizaron ensayos de resistencia a las muestras de rílem que fueron tomadas desde la mezcla con que se preparó la losa de ferrocemento, como se observa en los resultados de los ensayos el valor de resistencia a la compresión fue mas alto que el de diseño de 250 kg/cm², específicamente se obtuvo un valor promedio de 302 kg/cm².
- Por último se ensayó el tablero compuesto, para ello se colocaron bloques dispuestos en dos hileras en forma de columnas, en total pesaban mas de 450 kg y la deformación fue de a penas 0,62 mm, con lo que se obtuvo un módulo de elasticidad del conjunto losa ferrocemento - tablero de madera de 386573,12 kg/cm², valor que es superior a la suma de los 2 módulos de elasticidad de distinto material.

- El tablero compuesto fue modelado en el programa de elementos finitos SAP 2000, en el cual se sometió a la losa a las mismas cargas que en el ensayo, obteniéndose una deformación de 0,78 mm en su punto medio.

- Además realizando el ensayo anterior se logra observar el correcto funcionamiento del sistema de anclaje entre ambos tableros, ya que no se presentaron fisuras producto de la carga o desprendimiento de material, por lo tanto el tablero actúa como tablero compuesto sin deslizamientos individuales.

- El uso de tableros de madera postensado con losa de Ferrocemento, es recomendable en superestructuras de puentes menores, ya que surge como una alternativa válida para reparación y reposición de carpetas dañadas. Es adecuado para habilitar los numerosos puentes menores que se encuentran con su carpeta de rodado en pésimo estado, además la mínima alteración que se realizaría en la estructura del puente, permite hacer la reposición sin mayores contratiempos, otorgando enseguida una vida útil mayor a la que tenía, además hay un aumento en el Standard, al tener la losa de ferrocemento como carpeta de rodado.

- La madera que se emplea, corresponde al pino radiata, que cumple con las características de ser económico y se encuentra en todo el país. Aunque es conocida su poca resistencia al ambiente húmedo, hay que recordar que solamente se usará esta madera, previo tratamiento químico, además quedará casi en su totalidad protegida de los agentes externos por la losa de ferrocemento.

- En comparación con otros sistemas de superestructuras de puente, en cuanto al análisis comparativo de costos, no es muy significativa la diferencia, pero hay que considerar que un puente menor no puede repararse cambiando solamente la superestructura, en el caso de la losa de hormigón armado, ya que se debe realizar completamente un nuevo diseño de la estructura existente y posteriormente el cambio total o parcial de elementos relevantes como estribos, viguetas, etc.

- Los resultados del ensayo otorgan una deformación menor a la calculada, siendo este un parámetro de suma importancia en cuanto a la servicialidad, cuando son sometidos a la carga viva de uso, sin embargo se recomienda el uso de este tipo de superestructuras en

puentes menores y de bajo flujo vehicular, por lo tanto puede estar destinado a la zona rural del país perfectamente.

- El problema más importante que presenta este tipo de tableros es la pérdida de postensado en las barras de acero, ya sea por el creep natural que sufre la madera o por agentes ambientales, por lo tanto para evitar daños severos en la estructura se recomienda realizar las secuencias de retensado.

- Se sugiere continuar una línea de investigación orientada hacia las siguientes líneas:
 - Puentes y pasarelas de tipo peatonal.
 - Al uso en la construcción de pisos de edificios menores.
 - Construcción de viviendas.
 - Construcción o reparación de balcones, etc.

BIBLIOGRAFIA

1. AASHTO, 1991; "Guide Specification for the design for Stress-Laminated Wood Decks". American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. AASHTO, 1992; "Standar Specification for Highway Bridges". American Association of State Highway and Transportation Officials.
3. Dechent P, 2002; " Diseño de madera Tensados Transversalmente", Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.
4. Giuliano, Morbelli, 2002; "Módulo de Elasticidad Transversal en Tableros Tensados de Madera Pinus Radiata"
5. Giuliano, M. 2002; "Puentes de Madera con Tableros Tensados" Universidad de Concepción.
6. INN,1991; NCh 1198 of 91 " Construcciones en Madera-Cálculo"
7. Olvera,Alfonso,1991; "Diseño y Revisión de Elementos de Ferrocemento Sometidos a Flexión"
8. Paul,B;Pama,R,1981; "ferrocemento"
9. Perez, A,1990; " Manual de Cálculo de Construcciones en Madera", Instituto Forestal, Corporación de Fomento de la Producción.