



UNIVERSIDAD FIDÉLITAS

**Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Puentes de tablero de madera pretensados estándar de 11 metros de longitud en dos y una vía para ser utilizados en zonas rurales

Autor: Gustavo Gómez Vargas

Tutor: Ing. Antonio Romero Castro

Lector: Ing. Rodolfo Cárdenas Silva

San José, Costa Rica

Junio, 2016

TRIBUNAL EXAMINADOR



Ing. Carlos Fernández Córdoba

Presidente de Tribunal



Ing. Antonio Romero Castro

Tutor



Ing. Rodolfo Cárdenas Silva

Lector

DECLARACIÓN JURADA

DEDICATORIA

Yo, Carlos Gustavo Gómez Vargas, mayor, soltero, estudiante de la **Carrera de Ingeniería Civil** de la Universidad Fidélitas, domiciliado en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica portador de la cédula de identidad número 1-1163-0434, en este acto, debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga, en el Código Penal, el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de Proyecto de Graduación para optar al título de **Licenciatura en Ingeniería Civil**, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: **Puentes de tablero de madera pretensados estándar de 11 metros de longitud en dos y una vía para ser utilizados en zonas rurales**, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales así como la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos, número 6683 de 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 de 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte: artículo 70º: Es permitido citar a un autor transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor y de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad Fidélitas se reserva del derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. En fe de lo anterior firmo en la ciudad de San José, el veinticuatro del mes de Junio del año dos mil dieciséis.



Gustavo Gómez Vargas

Cédula: 1-1163-0434

DEDICATORIA

“Ante mi peregrinar por estas tierras y ante las dificultades del camino ustedes siempre estuvieron alentándome con su ejemplo Maureen Gómez Vargas, María Elena Vargas Villalobos, pilares del esfuerzo honor, respeto y lealtad. A ti hijo mío Samuel Gómez Corrales por llenar de luz mi vida junto a tu madre Lindsay Corrales quienes con su amor caminan junto a mi e indiscutiblemente al eterno creador por permitirme el don de la vida y llegar hasta donde él me permite”

AGRADECIMIENTOS

Al Eterno por estar a mi lado en momentos difíciles de la carrera y en cada etapa de mi vida.

A mi maestro y amigo Jonathan Mejía, por su calidez y amor en cada enseñanza de mi vida.

A mis Hermanos Gaby, Andrés, Wendy y Andrea simplemente por estar conmigo siempre que los necesito.

A mi tutor Ing. Antonio Romero Castro por sus conocimientos transmitidos y su ayuda para la realización de este trabajo.

A la Directora de Puentes por sus aportes brindados y enseñanza en este proceso.

A todo el cuerpo de profesores de la universidad Fidélitas por sus enseñanzas brindadas.

Al director de la carrera de ingeniería civil don Carlos Fernández por su ayuda para abrir conmigo puertas que no sabía que se podían abrir.

A mis compañeros del departamento del Ministerio de obras Públicas por sus palabras brindadas.

Gustavo Gomez Vargas.

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL TUTOR

San José, 24 de Junio del 2016

Sr.

Ing. Carlos Fernández Córdoba.

Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Fidélitas

Estimado señor Director:

Yo, Antonio Romero Castro, mayor, casado, ingeniero civil, con domicilio en Palmares, Alajuela, Costa Rica portador de la cédula de identidad número 1-947-894, en mi condición de tutor del trabajo final de graduación titulado **Puentes de tablero de madera pretensados estándar de 11 metros de longitud en dos y una vía para ser utilizados en zonas rurales**, propuesta por el estudiante **Gustavo Gómez Vargas**, manifiesto lo siguiente:

1. Que el proceso de trabajo final de graduación culmina satisfactoriamente.
2. Que se ha incorporado en el documento final las sugerencias hechas por el Tribunal Examinador.
3. Que he cumplido con las labores de tutorías encomendadas por la Universidad en forma y fondo.
4. Que considero que el documento final responde a las exigencias académicas establecidas por la Universidad y establecidas en el "Manual de Trabajos Finales de Graduación"

Atentamente,

Antonio Romero

Ing. Civil. Antonio Romero Castro

Tutor

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR

San José, 24 de Junio del 2016

Señor.

Ing. Carlos Fernández Córdoba.

Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Fidélitas

Presente

Estimado señor:

Yo, Rodolfo Cárdenas Silva, mayor, casado, Licenciado en Ingeniería Civil, residente en la ciudad de Cartago, portador de la cédula de identidad 5-234-289, en mi condición de lector del trabajo final de graduación titulada **Puentes de tablero de madera pretensados estándar de 11 metros de longitud en dos y una vía para ser utilizados en zonas rurales**, propuesta por el estudiante Gustavo Gómez Vargas, manifiesto lo siguiente:

1. Que la lectura del trabajo final de graduación concluye satisfactoriamente.
2. Que he leído el documento final y he hecho mis observaciones en el mismo.
3. Que he cumplido con las labores de lector encomendadas por la Universidad en forma y fondo.
4. Que considero que el documento responde a las exigencias académicas establecidas por la Universidad y establecidas en el "Manual de Trabajos Finales de Graduación".

Atentamente,



Ing. Civil Rodolfo Cárdenas Silva

Lector

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

San José, 24 de junio del 2016

Sr.

Ing. Carlos Fernández Córdoba

Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Fidélitas

Estimado señor Director:

Por este medio yo, María Antonieta Marín Alvarado, mayor, soltera, profesora, incorporada al Colegio de **Licenciados y profesores**, con el número de carné **1380282**, vecina de **San José**, portador de la cédula de identidad **1-380-282**, hago constar:

1. Que he revisado el Proyecto de Graduación para optar por el grado académico de **Licenciatura en Ingeniería Civil**, denominado **Puentes de tablero de madera pretensados estándar de 11 metros de longitud en dos y una vía para ser utilizados en zonas rurales**.
2. Que el Proyecto de Graduación es sustentado por el estudiante **Gustavó Gómez Vargas**.
3. Que se le han hecho las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical y otras del campo filológico.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Fidélitas se suscribe atentamente,



María Antonieta Marín Alvarado

Licenciada en Filología Española

Carné No. 1380282

**Formulario de depósito, autorización de uso de derechos
Patrimoniales de Autor e incorporación a repositorios
institucionales de Información de acceso público**

San José, 24 de Junio del 2016

Señores

Universidad Fidélitas

Presente

Estimados Señores:

Yo, Gustavo Gómez Vargas, número de documento de identificación 1 1163 0434; autor del Trabajo Final de Graduación titulado: **Puentes de tablero de madera pretensados estándar de 11 metros de longitud en dos y una vía para ser utilizados en zonas rurales**, presentado como requisito para optar por el grado de: **Licenciatura en Ingeniería Civil**, autorizo a la Universidad Fidélitas y al Ministerio de Obras Públicas y Transporte a:

1. Reproducir el trabajo en medio digital o electrónico con el fin de ofrecerlo para la consulta en la biblioteca general de la Universidad Fidélitas y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
2. Poner a disposición con fines académicos, en la página web de la Universidad e Ministerio y en redes de información con las cuales tenga convenio la Universidad e intercambio de información.



Gustavo Gomez Vargas

ID: 1 1163 0434

LISTA DE PALABRAS CLAVES

1. Árbol
2. Cambio Climático
3. Características Mecánicas
4. Características Físicas
5. Diseño
6. Maderas Autóctonas
7. Planos Constructivos
8. Pretensión
9. Puente
10. Sistema de Reforestación

RESUMEN EJECUTIVO

En Costa Rica se presenta la necesidad de intervenir con obras de infraestructura vial aquellas zonas rurales donde, cotidianamente, son utilizadas por sus pobladores para el transporte, para uso comercial o el desplazamiento de sus habitantes hacia sus actividades diarias. Para esto, se necesita la creación de estructuras que brinden un adecuado desempeño en cuanto a su operatividad y seguridad mediante puentes que cumplan con los requisitos propuestos por la normativa nacional e internacional tales como la norma American Association of State Highway and transportation (AASHTO) para puentes, Manual de diseño para puentes de madera del Servicio Forestal de los Estados Unidos (SF AG), Lineamientos Sismo resistentes de puentes del Colegio Federado de Ingenieros Civiles y Arquitectos (CFIA) así como el Manual de especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes CR-2010 .

En el siguiente trabajo final de graduación se presenta una propuesta de puentes de madera pretensados, bajo un tránsito promedio diario (TPD) bajo, cuya característica sea que puedan ser construidos localmente y llevados al sitio de construcción. Asimismo, se analizan las maderas de sistemas de reforestación y bosque nacional con rendimiento óptimo para ser empleadas en esta estructura.

También con un profundo sentido de responsabilidad y preocupación por lo que acontece en nuestros días, referente al cambio climático y sus consecuencias visibles no solo en Costa Rica, sino en el mundo entero, se estudian en esta investigación maderas que sean controladas por los sistemas agroforestales antes mencionados que sirvan en parte para colaborar con la sociedad en que vivimos pues, gracias a los árboles se puede recolectar el CO₂ de la atmósfera, solución no definitiva al problema de cambio climático pero sí un aporte y desde luego, una valiosa colaboración a la demanda de infraestructura que tanto necesita el país.

Tabla de contenido

CAPITULO I	1
INTRODUCCION	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Antecedentes, descripción y formulación.	3
1.2.1 Antecedentes	3
1.2.2 Descripción.....	6
1.2.3 Formulación del problema.....	7
1.3 Justificación	7
1.4 Alcances y limitaciones:	8
1.4.1 Alcances	8
1.4.2 Limitaciones	8
1.5 Objetivos de la investigación:	9
1.5.1 Objetivo General	9
1.5.2 Objetivos específicos	9
1.6 Cronograma	10
1.7 Producto esperado	11
CAPITULO II	12
ANALISIS SITUACIONAL	12
2.1 Análisis de la situación actual vinculada al tema objeto en estudio.	13
2.1.1 Análisis interno.....	13
2.1.2 Análisis del entorno.....	14
2.2 Causas que originan el tema objeto en estudio	15
2.2.1 Hallazgos, tendencias y desafíos.....	15
2.2.1.2 Cobertura Forestal Nacional.	15
2.3 Opciones de Solución	18
2.3.1 Programas de Reforestación de zonas rurales.....	18
2.3.2 Pago de Servicios Ambientales (PSA). Incremento Maderable en Zonas Rurales.....	21
2.3.3 Decreto ejecutivos sobre maderas y zonas boscosas.....	24
2.3.4 Medidas de Fijación de Carbono.....	26
CAPITULO III	29

MARCO TEORICO	29
3.1 Estructura de la madera.	30
3.2 Clases de Madera	31
3.2.1 Madera cuarteada o radial	31
3.2.2 Madera Tangencial o plana.....	32
3.3 Formas básicas de Aserrío	32
3.4 Propiedades químicas de la madera.....	35
3.4.1 Comportamiento a la Tracción y compresión paralela a las fibras	35
3.4.2 Comportamiento a la Flexión:.....	36
3.4.3 Tracción perpendicular a la fibra:.....	36
3.4.4 Compresión perpendicular a la fibra:.....	36
3.4.5 Cortante	36
3.4.6 Módulo de Elasticidad (E):	37
3.5 Propiedades físicas de la madera	37
3.5.1 HIGROSCOPICIDAD	37
3.5.2 Contenido en humedad de la madera	37
3.5.3 Punto de saturación de las fibras	38
3.6 Sistema de Puentes de Pretensados-LAMINADOS.....	39
3.7 Desarrollo del sistema de tableros pretensados para puente	40
3.8 Características del sistema de pretensión-laminar de madera	42
3.9 Criterios de diseño y definiciones.....	44
3.9.1 Cargas	45
3.9.2 Carga compartida	46
3.9.3 Madera Laminada.....	47
3.9.4 Las juntas de laminación.....	47
3.9.5 Sistema de pretensado	48
3.9.5.1 Pérdida de resistencia de la tensión aplicada al sistema.....	48
3.9.6 Deflexión de carga viva.....	51
3.10 Procedimientos de diseño	51
3.10.1 Definir la geometría de la plataforma y las cargas de diseño:	51
3.10.2 Seleccionar una especie, el grado de laminación y calcular los valores permisibles de diseño.	52

3.10.3 Determinar el diseño preliminar de laminación.	52
3.10.4 Calcular los módulos transversales para el sistema.	53
3.10.5. Calcular el máximo momento de carga del vehículo.....	53
3.10.6 Cálculo de amplitud de la distribución de la rueda de carga.	54
3.10.7 Estimación de la longitud de fijación y cálculo de las propiedades sección de la cubierta eficaz.	57
3.10.8 Calcular la cubierta de carga muerta y el momento de la carga muerta.	59
3.10.9 Calcular el esfuerzo de flexión.	61
3.10.11 Control de la deflexión originada por la carga viva.	63
3.10.12 Calcular desviación de la carga muerta y la contraflecha.....	64
3.10.13 Determinar el nivel de tensión previa requerida.	65
3.10.14 Determinar el espaciamiento, el tamaño de las barras y la fuerza necesaria de post-tensado.....	70
3.10.15 Diseño del sistema de anclaje.	74
3.10.16 Configuración de la placa de anclaje	76
3.10.17. Determinar la configuración de soporte y comprobar la tensión de la placa de soporte para la pretensión.....	80
3.11 Diseño sismorresistente	82
3.11.1 Influencia del sitio de cimentación.....	82
3.11.2 Tipos de sitio de cimentación.....	83
3.12 Acero preesforzado Según CR-2010	85
3.12.1 Barras de alta resistencia a la tensión, AASHTO M 275M tipo II.....	85
CAPITULO IV	87
MARCO METODOLOGICO	87
4.1 Tipo de investigación.....	88
4.1.1 Finalidad	88
4.1.2 Enfoque sistemático	88
4.1.3 Naturaleza	89
4.1.4 Carácter	89
4.2 Administración y abordaje del proyecto objeto	90
4.2.1 Descripción del producto o servicio	90
4.2.2 Descripción de supuestos	90

4.2.3 Restricciones y riegos	90
4.3 Sujetos y fuentes de información.....	91
4.3.1 Sujetos de Información	91
4.3.2 Fuentes de Información	91
4.4 Muestreo	93
4.4.1 Tipo de muestreo y población	93
4.4.2 Diseños de técnicas e instrumentos para recolectar información	93
4.5 Identificación de variables	93
4.5.1 Clasificación y definición de las variables.	93
4.5.2 Variables	94
4.5.3 Tabla de Variables.	96
CAPITULO V	98
ANALISIS DE RESULTADOS	98
5.1 Análisis de zonas maderables, sistemas de reforestación.	99
5.1.1 Zonas maderables	99
5.1.2 Manejo de bosques	99
5.1.3 Programas de reforestación.....	100
5.2 Suministro del sector maderero	102
5.3 Clasificación de las maderas	103
Cuadro 3. Clasificación de maderas	103
5.4 Madera Pilón (Hieronyma Alchorneoides)	104
5.4.1Propiedades Físicas	104
5.4.2Propiedades mecánicas para madera de bosque natural y madera de plantación forestal ...	105
5.4.3 Propiedades mecánicas de diseño con humedad del 18%.	106
5.5Análisis de la madera de Amarillón	106
5.5.1. Madera Amarillón (Terminalia Amazonia).....	106
5.5.2 Ubicación de la especie en Costa Rica	107
5.5.3 Propiedades físicas de la especie Amarillón	107
5.5.4 Propiedades mecánicas de la especie Amarillón	108
5.6 Madera de Jaúl (Alnus Acuminata)	109
5.6.1 Ubicación de la especie en Costa Rica	109
5.6.2 Propiedades físicas de la especie.	110

5.6.3 Propiedades mecánicas del Jaúl.....	112
5.7 Análisis de una madera de extracción de Bosque natural	112
5.7.1 Madera de Jícaro (Lecythis Costaricensis)	112
5.7.2 Características de la especie en general.....	113
5.8 Análisis de carga	120
5.9 Análisis sísmico	121
5.10 Recomendación sobre el tipo de preservantes para la madera	123
5.10.1 ERRADICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS ANÓBIDOS, LÍCTIDOS Y CURCULIÓNIDOS (gorgojos y escarabajos)	124
5.10.1.1 CERAMBÍCIDOS (escarabajo de antena larga).....	124
5.10.1.2 TERMITAS.....	125
5.10.1.3 Tratamiento contra hongos y bacterias.....	125
5.11 Acero preesforzado CR-2010	125
5.11.1 Barras de alta resistencia a la tensión, AASHTO M 275M tipo II	125
5.12 Barreras de Protección	126
5.12.1 Barrera de protección tipo “Flex Beam”.....	126
5.13 Pernos de Anclaje	126
CAPITULO VI	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
Bibliografía:	135
Referencias en línea	137
TERMINOLOGIA	139
TERMINOLOGÍA	139
ANEXOS	152
Anexo 1	152
Anexo 2	153
Anexo 3	154
Anexo 4	155
Anexo 5	156
Anexo 6	157

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte transversal del tronco.....	31
Figura 2. Aserrío de grado alrededor de la troza	33
Figura 3. Aserrío plano a lo ancho.....	33
Figura 4. Aserrío de bloque.....	34
Figura 5. Tipos de despiece	34
Figura 6. Diagrama de punto de saturación.....	38
Figura 7. Configuración típica de una superestructura de pretensión.....	40
Figura 8. Flexión transversal produce una tendencia de Cortea que se dé una abertura entre las láminas, y desplazamiento.	44
Figura 9. Vehículo modelo para determinación de carga	46
Figura 10. Requisitos mínimos para las juntas a tope.....	48
Figura 11. Distribución de carga vs Ancho de la tabla de madera.....	59
Figura 12. Reacciones en la estructura	61
Figura 13. Reacciones en la estructura	64
Figura 14. Distancia de la llanta al final del borde del tablero de madera.	71
Figura 15. Distribución de las varillas para pretensión.....	72
Figura 16. Configuración del anclaje de cojinete de la placa.....	77
Figura 17. Configuraciones típicas de fijación a los apoyos para las cubiertas de madera laminada longitudinales.....	80
Figura 18. Configuraciones típicas de fijación a los apoyos para las cubiertas de madera laminada longitudinales.....	81
Figura 19. Cortes y dirección de las piezas de madera	111
Figura 20. Pernos de anclaje con cabeza hexagonal	127
Figura 21. Perno para madera	127
Figura N°22. Anclaje de la Superestructura al bastión	128
Figura N°23. Perno de anclaje a concreto	128

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Supervivencia por rango de edad de las diferentes especies.	20
Tabla 2. Cuadro de especies protegidas por legislación	24
Tabla 3. Cuadro de especies protegidas por legislación	25
Tabla 4. Cuadro de especies protegidas por legislación	26
Tabla 5. Especies con capacidad de absorción de CO2	27
Tabla 6. Factor (Cb) para determinar las juntas adyacentes de acuerdo con cada laminación.	54
Tabla 7. Aproximación de luces máximas para la pretensión laminada, para efectos de estimar la longitud de fijación.	58
Tabla 8. Pesos unitarios de carga muerta ordinaria para la madera laminada con tableros de pretensión.	60
Tabla 9. Propiedades de las barras de acero para pretensado, utilizados para la tensión de los tableros laminados de madera.	71
Tabla 10. El espaciado máximo de varillas se basa en un nivel de tensión previa a la compresión uniforme de 100 lb / pulg².	75
Tabla 11. Tamaños de diámetros típicos de la varilla de pretensión para las placas de anclaje.	77
Tabla 12. Tabla de Variables	96
Tabla 13. Propiedades mecánicas de la madera Pilón mostrando diferencias de plantación forestal y bosque natural	105
Tabla 14. Propiedades físicas de la madera Amarillón	108
Tabla 15. Propiedades Mecánicas para la especie Amarillón	108
Tabla 16. Propiedades físicas.....	111
Tabla 17. Resumen de análisis de los Puentes 2 Vías.....	116
Tabla 18. Resumen de análisis de los Puentes 1 Vía.....	119

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación del sitio geotécnico de cimentación con base en la velocidad de onda cortante.	84
Cuadro 2. Clasificación del sitio geotécnico de cimentación con base en la resistencia del medio	84
Cuadro 3. Clasificación de maderas.	103
Cuadro 4. Propiedades físicas de la madera de Pilon	105
Cuadro 5. Grado estructural de la madera de Pilon	106
Cuadro 6. Propiedades mecánicas de la especie Jaúl al 18%	112
Cuadro 7. Propiedades mecánicas de la madera de Jícaro.	114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje Cobertura tipo de suelo.	17
Gráfico 2. Balanza comercial de productos forestales CR 2014.	23
Gráfico de curvas 3. Diseño de Puentes para 1 vía	55
Gráfico de curvas 4. Diseño de puentes para 2 vías	55
Gráfico de curvas 5. Diseño de Puentes para 4 Vías	56
Gráfico de curvas 6. Diseño de puentes, de 1 vía	66
Gráfico de curvas 7. Diseño de puentes, de 2 vías	67
Gráfico de curvas 8. Diseño de puentes, 4 vías	67
Gráfico de curvas 9. Magnitud del cortante transversal (VT) para los tableros de los puentes de post-tensión longitudinales.	68
Gráfico de curvas 10. La separación máxima de las barras de pretensado en función de la distancia desde el borde de la cubierta exterior hacia el centro de la línea rueda del vehículo.	73

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Inventario nacional forestal.	16
Mapa 2. Cobertura forestal por Cantón.	18
Mapa 3. Porcentaje de recuperación de bosque	22
Mapa 4. Zonas de amenaza sísmica	83
Mapa 5. Usos de suelos, bosque y plantación forestal	100
Mapa 6. Mapa de especies utilizadas en reforestación	102
Mapa 7. Ubicación de la especie maderable de Jaúl	110

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema

A través de la Historia del hombre la necesidad de cruzar o salvar accidentes geográficos puso a prueba el ingenio del ser humano, por lo que empezaron a construir puentes, cuyas primeras estructuras estaban constituidas principalmente por: lianas, piedras y madera. Esta última, probablemente fue el primer y más importante material utilizado por los seres humanos de la época para construcción de puentes.

Posiblemente, el construir puentes es una de las mayores creaciones del hombre adaptándolos a las necesidades de cada época. Así por ejemplo, narra Ritter. M, (1990), la utilización de lianas para comunicarse de un lado al otro, amarrando esas cuerdas a los árboles de gran altura y también la construcción de puentes más avanzados en la época medieval, por donde ejércitos cruzaban hacia sus objetivos militares y que, fue quizá lo que dio auge a las construcciones modernas en materia de puentes.

En esta investigación el término Puente se utiliza según el manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes que lo define (CR 2010) como una estructura, que incluye todos sus tramos y apoyos, facilita el paso sobre una depresión, cauce, línea férrea, carretera u otra obra que signifique obstrucción. En nuestro país, este tipo de estructuras son esenciales para su uso diario, debido a lo accidentado del relieve y su hidrografía.

Los puentes se han convertido en un medio necesario para el traslado, comunicación, turismo, tránsito de mercancías, actividades económicas del quehacer de cada ciudad, pueblo y lugares, donde se busca que el desarrollo no se detenga sino que con el transcurrir del tiempo se presenten mejoras continuas.

Costa rica no escapa a esta necesidad, por lo que el presente Proyecto de graduación busca proporcionar herramientas de diseño y construcción de estructuras para puentes en Madera (poco utilizadas en el país) que puedan ser usadas por Instituciones, municipalidades y asociaciones de desarrollo, con la finalidad de mejorar la infraestructura vial de cada una de las diferentes comunidades.

Con el presente proyecto de Graduación se busca que las comunidades tengan una solución cuando se presente la necesidad de construir un puente y que lo puedan hacer con materiales nativos de la zona como lo es la madera, mediante estructuras estándar que brinden beneficios en costos y rapidez en construcción y que, de paso, armonicen con el medio ambiente. Una de las ideas principales de este proyecto de graduación es que se pueda utilizar el recurso maderable disponible en cada región del país, mediante los sistemas de reforestación y, al mismo tiempo, que los habitantes de dichos sitios tengan la capacidad de manejar sus propios recursos naturales, aportando empleos en cada una de las zonas.

Por lo anteriormente expuesto, es importante mencionar el aporte que Costa Rica espera generar en un futuro, con respecto a la meta de la carbono neutralidad que el país se ha planteado buscar en un largo plazo y que, paulatinamente, busca reducir las emisiones de gas anualmente. Así lo afirma Soto, Michel (2015), en su artículo sobre el volumen anual de cero emisiones netas en el Inventario Nacional de emisiones, proyección calculada para los años 2050 y 2100, es por esto la importancia de desarrollar infraestructura con materiales que brinden un aporte a la reducción de dichas emisiones.

Por otra parte, se busca la protección de los recursos boscosos con propuestas de utilización de madera controlada, de la mano de los sistemas de reforestación y del equilibrio natural frente al incremento nacional e internacional de las emisiones de dióxido de carbono que afectan el orbe mundial y por el cual se deben iniciar esfuerzos de cambio para futuras generaciones.

1.2 Antecedentes, descripción y formulación.

1.2.1 Antecedentes

Desde tiempos antiguos los puentes son estructuras que han servido como sistemas de transporte y soluciones innovadoras que han jugado un papel muy importante en el desarrollo de la humanidad.

Los seres humanos han estado construyendo puentes por cerca de cuatro mil años, como es el caso del Puente Zhao Zhou, uno de las más antiguos que se conoce ubicado en la provincia de Hebei en China, originalmente construido cerca del año 600d.C, como una estructura de madera tal y como lo mencionan los autores Wile J. & Sons, 2013, es quizá una gran obra de Ingeniería para esos años y de la cual da testimonio la voluntad del hombre por el desarrollo de las capacidades humanas hacia el progreso.

En la actualidad, se observa cómo el conocimiento con los avances tecnológicos ha marcado la vida del hombre, pues en épocas antiguas el ser humano buscó las herramientas necesarias para estar a la vanguardia de una evolución que le permitiera vivir en comunicación con otros pueblos, en busca de bienes en común que permitieran su permanencia y seguridad.

Costa Rica no se escapa a esas necesidades y, gracias a sus intereses de expansión con productos de origen agrícola empezó con la comercialización del café y banano desde los años 1800, logrando expandir en gran manera sus rutas nacionales hacia los principales puertos del Caribe y Pacífico, para la exportación de los productos que contribuirían al crecimiento del país. En 1846, con la conclusión del camino a Puntarenas, permitió que el comercio del café tuviera una gran revolución lo que logró sustituir las mulas de carga por carretas, ocasionando que el grano de oro de nuestros antepasados se constituyera en el único producto de exportación de Costa Rica, hasta 1890 y, en el pivote de la economía nacional, que permitió un cambio importante en la sociedad costarricense. (Asociación de cafés finos de CR, 2013, pág1)

Este avance dio origen a la aparición de asentamientos sobre las rutas por donde transitaban la mayor parte de las carretas cargadas de café hacia los puertos, lo que contribuía al desarrollo nacional de la época, prueba de esto y según los archivos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes en conservación de caminos, un modelo participativo (1998), fue el primer puente de cerchas en madera que se construyó en la ruta 4, la llamada Quebrada El Ángel en Heredia, que permitía el acceso y salida a

las comunidades de la zona, el cual hoy día fue sustituido por otra estructura de mayor capacidad por el tipo de tránsito de alto impacto que circula.

Con el pasar de los tiempos, las comunidades avanzaban hacia su propio progreso, hasta convertirse en ciudades, Con respecto a lo anterior la Asociación de cafés finos de Costa Rica, (2013), indica que durante ese período, la siembra del producto se extendió a tierras del Occidente del Valle Central, aptas para el cultivo por sus características de topografía y clima, por lo que la construcción de puentes fue prioritaria para lograr una conexión hacia esos caminos, mientras que en la zona sur del país sucedía algo similar respecto al banano y que fue de suma importancia la construcción de puentes que ayudaran al libre tránsito de la mercancías que se comercializaban en la zona.

Un nuevo panorama estaba por venir: la industrialización, como las nuevas tecnologías automovilísticas, que permitió que se diera un rápido crecimiento del desarrollo de las ciudades y pueblos, trayendo consigo la construcción de más caminos intercomunicados por puentes para el transporte de sus pobladores.

Este panorama contribuyó a la construcción de más puentes, desafiando la geografía del territorio costarricense que cuenta en su forma más simple con gran cantidad de terrenos muy accidentados por donde típicamente, son las estructuras de puentes las que unen las diferentes comunidades atravesadas por los ríos y quebradas.

Por los años 70 y 80 el instituto de fomento Agrario Municipal (IFAM) fomento la construcción de puentes en madera, por medio de préstamos para la construcción de puentes en madera, llamados en ese tiempo ROL, utilizados para el desarrollo de algunas comunidades de la zona de Liberia y Santa Cruz registrados en los folios N° 5-P-342-0280, 5-P-178, 5-P-165 y de los cuales solo se sabe que su costo total fue de cerca de un millón de colones por puente según informes en las actas de contabilidad archivadas en los registros de la institución.

El Ministerio de Obras Públicas y transporte mediante la Dirección general de Planificación posee en sus registros con aproximadamente 7426 kilómetros de rutas nacionales y 28 455 kilómetros de rutas cantonales, con un inventario de 1338 puentes(MOPT, 2015)de los cuales existen muy poca información sobre la construcción y operación de puentes viales madereros, por lo cual esta investigación viene a ser un aporte para la demanda de nuevos sistemas de puentes de madera que brinden nuevas opciones, para ser utilizadas en rutas de bajo impacto de tránsito (rutas Cantonales), como estructuras más ágiles de construir y de bajo costo.

1.2.2 Descripción

Costa Rica tiene una gran extensión forestal a lo largo de su territorio, posee especies maderables que pueden ser explotadas de acuerdo a sus propiedades físico-mecánicas: tales como dirección del grano, radial o tangencial, esfuerzo, volumen, dureza, entre otros; las cuales pueden contribuir con resultados óptimos a diseños de estructuras de puentes que garanticen durabilidad, resistencia, seguridad, que con el paso del tiempo sean sistemas que brinden una solución a la situación vial, tan deficiente en estos momentos en zonas rurales de los cantones alejados del país y logren una propuesta de mejora continua al tránsito promedio de las zonas alejadas o rurales.

Los puentes de madera son estructuras que presentan características positivas de acuerdo con su utilización tales como su adaptación a la topografía del sitio tomando en cuenta la longitud planteada. Por otra, parte su costo es mucho menor, haciendo una comparación con los puentes de viga de acero y losa de concreto que rondan aproximadamente los \$3000 el metro lineal de acuerdo con los datos que tiene la Dirección de Puentes del MOPT. Según el Ingeniero Tuk. Juan (2010), especialista en maderas, una estructura de puente de madera en comparación con otros materiales representa un ahorro del 20% en madera laminada, mismos que ya se han construido en el país. Es por lo anteriormente expuesto, que se formula lo siguiente.

1.2.3 Formulación del problema

Desarrollar planos prototipo estándar para un puente de madera de 11 metros para ser utilizados en zonas rurales.

1.3 Justificación

Costa Rica debido a sus características topográficas y gran cantidad de ríos, no escapa al uso inevitable de puentes en toda la nación, por ello depende de un gran número de estructuras que permitan el paso por las depresiones, cauces y demás. Se plantea la necesidad de dar paso a sistemas que continúen aportando al desarrollo del país y brinden mejoras en la calidad de infraestructura y pobladores en general.

Bajo un esquema de economía, rapidez y calidad en estructuras de puentes de madera poco explorados en Costa Rica, que le permitan a las diferentes zonas del país optar por un sistema que satisfaga las demandas en infraestructura y que al mismo tiempo, sean duraderos, confiables, aptos para ser operados por un tránsito promedio diario (TPD), de bajo impacto en algunas zonas rurales del país, según estas requieran dentro de su plan de desarrollo.

Actualmente, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, no cuenta con planos de puentes estándar en madera, por lo que es conveniente iniciar investigaciones que aporten a la institución los beneficios que puedan dar estas estructuras a la construcción y desarrollo vial en zonas rurales en donde este tipo de material es de fácil acceso, buscando siempre esa armonía y equilibrio con el ambiente.

De acuerdo con investigaciones internacionales, los puentes de madera han dado muchas soluciones ventajosas en algunos países como, los Estados Unidos, Canadá, y Chile: grandes exploradores en estructuras civiles madereras de uso cotidiano para su población, con gran responsabilidad social y seguridad.

Aunado a lo anterior, esta investigación busca contribuir en el avance y desarrollo de estructuras de puentes para aquellas instituciones interesadas en el desarrollo de esta metodología.

1.4 Alcances y limitaciones:

1.4.1 Alcances

Con este trabajo se busca proporcionar a las instituciones del gobierno central como las de gobierno local lo siguiente:

- Una opción de desarrollo vial en materia de puentes de bajo impacto económico y fáciles de construir.
- Crear un documento que contenga información referente al proceso constructivo en puentes de madera.
- Dar a conocer las especies maderables autóctonas de las diferentes regiones del país que cumplan con los requisitos mecánicos y estructurales para el diseño de puentes.
- Aplicación de las diferentes normas de diseño para puentes en madera como la American Association of State Highway and transportation (AASTHO), el Servicio Forestal de los Estados Unidos (US DA) con su Manual de diseño para puentes y el Código canadiense para la estructura propuesta.
- Aplicación de herramientas informáticas que contribuyan con el análisis de las estructuras propuestas como la hoja de cálculo de Excel 2015 y programa Autocad.

1.4.2 Limitaciones

Algunas de las limitaciones que puede encontrar el proyecto son:

- Se tomarán en cuenta para el estudio solamente especies maderables autorizadas en el decreto N° 237000, N°25167 y N°25663-MINAE.

- Se tomarán en cuenta únicamente las áreas rurales y se excluyen las zonas urbanas; ya que el tránsito promedio diario y las cargas vehiculares son menores en las zonas rurales, lo que favorece la utilización de los puentes de madera.
- En el país no se cuenta con puentes de este tipo que puedan ser analizados al momento de la presente investigación.
- No es posible medir el impacto que va a tener el puente propuesto en un corto o mediano plazo durante su puesta en uso.

1.5 Objetivos de la investigación:

1.5.1 Objetivo General

- ✓ Desarrollar planos estándar para puentes en madera de 11 metros doble vía y una vía, para ser utilizados en zonas rurales con el sistema de tableros pretensados.

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Tipificar las zonas maderables de reforestación con madera de Pílon, Jaúl, Amarillón y Jícaro.
- ✓ Analizar las propiedades físico-mecánicas de las 4 especies maderables seleccionadas.
- ✓ Seleccionar de acuerdo con sus características físico-mecánicas y zonas maderables, la madera comercial apropiada para el diseño final de los planos estándar para puentes de 11 metros.
- ✓ Realizar las memorias de cálculos y planos constructivos para el diseño final de los planos estándar de los puentes.

1.6 Cronograma

N°	Desarrollo del trabajo final de graduación		
	Actividad	Comienzo	Fin
1	Reunión para definir el tema con el Tutor y aprobación	10-sep-15	10-sep-15
2	Elaboración del Trabajo Final de Graduación planos estándar de madera con tableros pretensados,	28-set-15	12-may-16
3	Reunión con tutor para definir ruta por seguir y lineamientos de la Universidad Fidélitas	02-nov-15	02-nov-15
4	Reunión con tutor para revisión de material, Diseño de Puentes	09-nov-15	09-nov-15
5	Curso complementario al tema con el ing. Juan Tuk diseño estructuras de madera	03-oct-15	06-nov-15
6	Visita al Instituto Tecnológico de Costa Rica para recolección de información de maderas	07-dic-15	07-dic-15
7	Reunión con tutor para revisión del avance del proyecto	11-ene-16	15-ene-16
8	Visita al MINAE para recolección de información técnica. Con el Ing. Forestal Randal Campos e Isabel Chavarria	24-feb-16	25-feb-16
9	Visita a FONAFIFO para recolección de información	16-mar-16	16-mar-16
10	Reunión con tutor para informe avance y revisión	04-abr-16	08-abr-16
11	Información estructurada y planteada en el TFG	10-sep-15	12-may-16
12	Revisión de Material y diseño de planos	02-may-16	11-may-16
13	Entrega del documento al tutor	12-may-16	15-may-16
14	Aprobación y Defensa TGF	24-jun-16	

1.7 Producto esperado

Con el presente documento se pretende proponer un sistema de Puentes de madera con tablero pretensado. Esta metodología para Costa Rica presenta una opción de innovación, con una estructura que proporcione soluciones a la demanda de infraestructura en las zonas rurales de nuestro país, una opción en el campo de infraestructura vial, mediante la creación de planos estándar que permitan ser consultados por otros ingenieros e instituciones gubernamentales para su respectiva valoración en cuanto a su utilización en todo el territorio nacional y así tomen decisiones de su viabilidad para su puesta en operación.

CAPITULO II
ANALISIS SITUACIONAL

2.1 Análisis de la situación actual vinculada al tema objeto en estudio.

2.1.1 Análisis interno

Costa Rica presenta un índice de desarrollo con rezagos significativos en materia de infraestructura vial a nivel general, así lo refleja el especialista en infraestructura Villalobos, Federico (2016), quien indica que de acuerdo con el índice de competitividad global 2015-2016, la red de transporte costarricense se ubica dentro de las peor calificadas del mundo entero, puesto que ocupa la posición 105 de 140 países, razón suficiente para promover esfuerzos prácticos con el fin de colocar a Costa Rica nuevamente como un país competente, pues sí existe calidad profesional en la materia.

Para Villalobos, Federico (2016) el país en materia de inversión gasta alrededor 0.8% del Producto Interno Bruto (PIB), unos (\$400 millones), en infraestructura, pero que, según el plan nacional de transporte se estima que debe ser 3.66% del PIB (\$1800 millones), diferencia que repercute en un atraso más de inversión en obras civiles.

Existen mecanismos facilitadores de crédito en busca del desarrollo del país tales como el reciente préstamo que Costa Rica obtuvo y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que según la revista Academia, (2014) el objetivo es mejorar de forma sostenible el nivel de transitabilidad de la red vial nacional y sus puentes fortaleciendo la competitividad de Costa Rica. Ya muchas municipalidades del país han utilizado gran parte del crédito en construcción y mejoras de sus territorios a cargo.

El presente proyecto tratará de crear un aporte al sistema vial costarricense en el cual las Instituciones encuentren una opción más en busca de facilitar la vialidad de sus pobladores y cumplir con el compromiso nacional de colocar a Costa Rica como un país vanguardista en materia de infraestructura vial y modelo en el tema del cuidado de los recursos naturales como lo son los bosques nacionales y los sistemas de reforestación controlada.

2.1.2 Análisis del entorno

Durante siglos la ingeniería estructural se ha visto obligada a recurrir a modelos, extremadamente simplistas, de sistemas construidos para el análisis y el diseño de las estructuras, muchas de estas diseñadas a partir de elementos elaborados con materiales de concreto, acero y madera, este último muy utilizado para la conformación de piezas en gran escala, algunas utilizadas como piezas para encofrados, elementos de soporte, diseños de embellecimiento como madera artesanal, con un sinfín de cualidades que hacen a la madera una excelente alternativa de acuerdo con los requerimientos conforme a su resistencia estructural y embellecimiento con tal, respaldada en las obras constructivas que se han requerido en el día a día.

Para obtener los beneficios que la madera ha brindado a lo largo del tiempo, se han presentado mecanismos de extracción maderera para llegar al producto final, muchos destructivos pues la deforestación descontrolada ha contribuido al deterioro de gran parte de los ecosistemas naturales y ha sido responsable, en gran parte, del desequilibrio que se ha venido presentando como el calentamiento global, tema que exige una acción rápida por parte de las instituciones nacionales e internacionales.

En la actualidad, el país hace grandes esfuerzos. Para Soto, Michelle, (2015) la tala ilegal en Osa (Puntarenas) y en la provincia de Guanacaste ensombrece, en gran parte, los esfuerzos que se pretenden en reforestación, los cuales pretenden aumentar a un 60% la cobertura forestal del país para el 2018.

Aunque los números totales son favorables, el país continúa luchando contra la tala ilegal, presente principalmente en Osa y Guanacaste las cuales son zonas con mayor afectación por falsificación de documentos y el comercio ilegal de especies. El problema se da incluso en las áreas silvestres protegidas.

Lo ideal es trabajar con mecanismos óptimos legales que permitan a los actores involucrados en materia de la infraestructura del transporte generar ganancias positivas, en donde el comercio legal de madera se vea como ganador y, al mismo

tiempo, genere empleos directos e indirectos, así como otros beneficios sociales y ambientales asociados, como el almacenamiento de carbono por medio del ciclo de los árboles con capacidad de absorber CO₂.

2.2 Causas que originan el tema objeto en estudio

2.2.1 Hallazgos, tendencias y desafíos

2.2.1.2 Cobertura Forestal Nacional.

La vida humana presenta varios desafíos que ameritan intervenciones urgentes para salvaguardar la supervivencia humana, garantizando la calidad de vida de los ciudadanos y medio ambiente, sin dejar de lado el progreso de un país. Así lo describe Astorga, Allan (2015) aludiendo que el problema no es solo de clima, sino de devastación de ecosistemas boscosos (12 millones de ha/año), lo cual amerita un cambio radical en la cultura nacional que dé importancia a proyectos que mitiguen el impacto de la deforestación, desertificación y problemas de aguas; ya que parte de esta situación se debe a la falta de interés de los gobiernos y gran parte de la ciudadanía, pues se tiene la creencia de que es un problema muy distante a nuestros días y piensan en catástrofes a muy largo plazo.

Según el vigésimo Informe Estado de la Nación, (2014) nuevos estudios confirman que la cobertura forestal creció y cubre el 52,4% del territorio nacional en comparación con años anteriores. No obstante, también se logra detectar una alta fragmentación, pocos bosques con alta integridad y grandes presiones sobre el uso de la tierra en donde sobresalen los bosques nubosos, pudiéndose observar en la imagen 1, cómo se distribuyen los bosques en el territorio nacional. También se aprecia en estos bosques, una alteración moderada y, cerca de un 22% de su extensión está desprotegida.

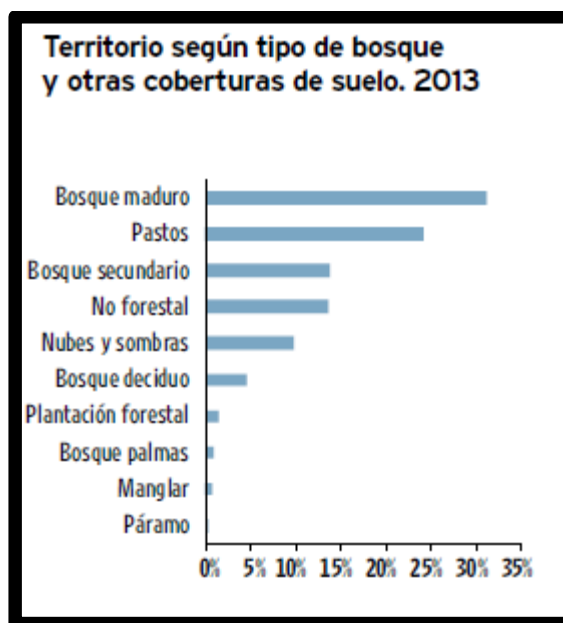
Mapa 1. Inventario nacional forestal.



Fuente: MINAE-SINAC

En la imagen se logra evidenciar la mayor proporción que corresponde al bosque maduro: más de un millón de hectáreas, lo que representa un 31% del territorio nacional. También el bosque secundario abarca el 13,7% del total (702.366 hectáreas) y un 13,6% se clasifica como área no forestal. El Estudio comprobó que el incremento de la cobertura se debe, principalmente, a la recuperación de bosques secundarios (gráfico 1), que se están estableciendo de manera natural (por ejemplo en algunas zonas de Guanacaste antes dedicadas a la ganadería), así como a la prohibición del cambio de uso del suelo contemplada en la Ley Forestal, N°7575, de 1996 (Estado de la nación, 2014, pág. 198).

Gráfico 1. Porcentaje Cobertura tipo de suelo.

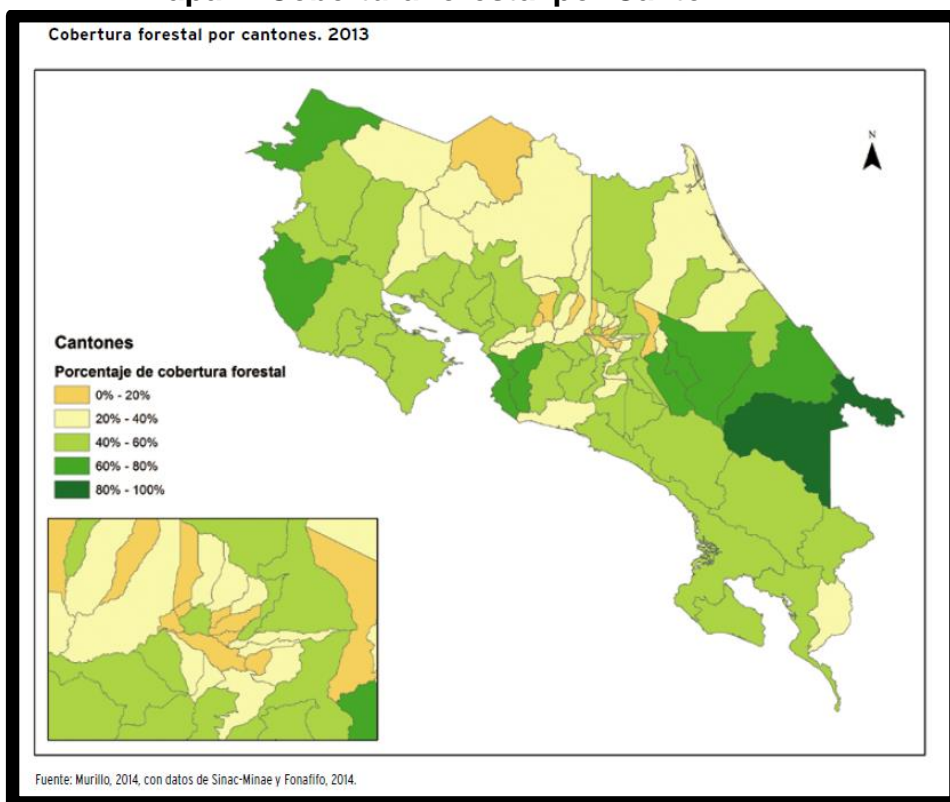


Fuente: Estado de la Nación

Según el vigésimo Informe del Estado de la Nación, (2014), la recuperación de la cobertura forestal y, sobre todo su sostenibilidad, están sometidas a múltiples amenazas, entre ellas la falta de protección formal en algunas zonas recuperadas, las presiones para cambiar el uso del suelo y dedicarlo a actividades productivas y la incertidumbre sobre la capacidad de los esquemas de apoyo financiero para competir con esas presiones y mantenerse en el futuro.

La situación en el plano cantonal es muy variable. Por ejemplo, solo el municipio de Talamanca, tiene más del 80% de su territorio cubierto de bosque, y ocho están en el rango de entre 60% y 80%. Un grupo de 32 cantones ronda el promedio (entre 40% y 60%), pero cuarenta (prácticamente la mitad del total) tienen coberturas menores al 40%. Con las proporciones más bajas sobresalen San José (6,7%), Palmares (5%) y San Pablo de Heredia (2,3%), lo cual se puede observar en la imagen 2.(Estado de la Nación, 2014, pág199)

Mapa 2. Cobertura forestal por Cantón.



Fuente: FONAFIFO para el 21 informe del Estado de la Nación.

2.3 Opciones de Solución

2.3.1 Programas de Reforestación de zonas rurales.

Frente a los desafíos del futuro y con una mentalidad responsable sobresalen instituciones que han tomado una participación más activa frente al cambio climático y uso de las maderas bajo una metodología participativa, equitativa referente al equilibrio progresista que cada comunidad debe responder a la cuota de responsabilidad hacia el futuro de un todo global en materia de conservación y desarrollo.

El Instituto Costarricense de Electricidad en uno de sus proyectos, Evaluación de sobrevivencia de árboles como parte del programa cobertura vegetal en proyectos

de reforestación, se dio a la tarea de involucrar 272 productores, 428 proyectos y 36 especies de árboles y arbustos para la siembra y monitoreo constante de las diferentes especies tropicales que se estudiaron para la toma de posteriores medidas oportunas por tomar en el futuro. La siembra y desarrollo de estos árboles es la base de la extensión forestal de este programa, cuyo alcance es prioritario para la planificación de futuras acciones. (Zelada Fonseca Carlos, 2013, pág. 21).

Con el estudio se constata la presencia de un importante número de especies vivas, la que presenta mayores valores de sobrevivencia es el olivo (*Ligustrum*spp) con 77% y la de menor valor es jacaranda (*Jacaranda Mimosifolia*) con 66%”.

Lo anteriormente expuesto indica una importante especie que puede ser mejor explotada en cuanto al uso maderero tomando en cuenta sus características mecánicas mediante un análisis estructural como una opción para un posible diseño. Para Zelada, (2013) el Pino (*Pinus Caribaea*) debe ser resaltado, ya que en términos netos, presenta el mayor número de sobrevivientes con 5754 individuos, características importantes por tomar en cuenta pues se sabe que el pino presenta características de orden económico y factores de resistencia aptos para su utilización estructural.

El cuadro presenta datos interesantes que hacen pensar sobre cuáles especies presentan una gran supervivencia, esto de acuerdo con factores o características que tienen que ver mucho con el lugar de siembra y producción de especies madereras cuyas características mecánicas se adapten a diseños más económicos y duraderos sin dejar de lado su resistencia.

Tabla 1. Supervivencia por rango de edad de las diferentes especies.

ESPECIE	MENOR DE 6 MESES		DE 6 A 12 MESES	
	ARBOLES VIVOS	SOBREVIVENCIA(%)	ARBOLES VIVOS	SOBREVIVENCIA(%)
AGUACATILLO	72	72	144	72
CASUARINA	220	73	5242	74
CEDRO AMARGO	36	72	1212	72
CEDRO DULCE			1299	71
CHANCHO BLANCO			18	72
CIPRES	152	76	2763	73
CUPANIA	72	72		
CURA	190	76	68	68
DAMA	296	73	219	71
EUCALYPTUS DEGLUPTA			3244	72
EUCALYPTUS SALIGNA			1328	71
FRESNO	122	72	186	74
GENIZARO			504	72
HISOPO	38	76	230	72
JACARANDA	64	64	41	68
JAUL	21	70	368	74
LAUREL	725	73	2552	74
MAGNOLIA	406	73		
MANZANA ORNAMENTAL	885	77	439	75
MARIQUITA			43	72
OLIVO	878	78	1538	76
PINO			5754	73
PITANGA	360	72	72	72
QUIZARRA			216	72
ROBLE ENCINO	706	73		
ROBLE SABANA			212	76
SAN JUAN			234	75
SOTACABALLO			2299	74
TIRRA	432	72	259	72
TRUENO	432	72	4211	73
URUCA	68	68		
TOTAL GENERAL	6175	73	34695	73

Fuente: Revista del sector electricidad, ICE.

La diversidad genética es el pilar principal de la estabilidad biológica, pues permite a las especies adaptarse a los cambios en el entorno. Constituye la base de programas actuales, futuros de selección y mejoramiento. Además de su insustituible contribución a la sostenibilidad ambiental, los recursos genéticos forestales también

ofrecen una fuente directa de alimento para el ser humano y los animales. (Estado de los Recursos Genéticos Forestales de Costa Rica, 2012, pág. 3).

2.3.2 Pago de Servicios Ambientales (PSA). Incremento Maderable en Zonas Rurales

El Programa de Pago de servicios ambientales (PSA) consiste en un reconocimiento financiero por parte del Estado, por medio del FONAFIFO, a los (las) propietarios(as) y poseedores(as) de bosques y plantaciones forestales por los servicios ambientales que éstos proveen y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente.

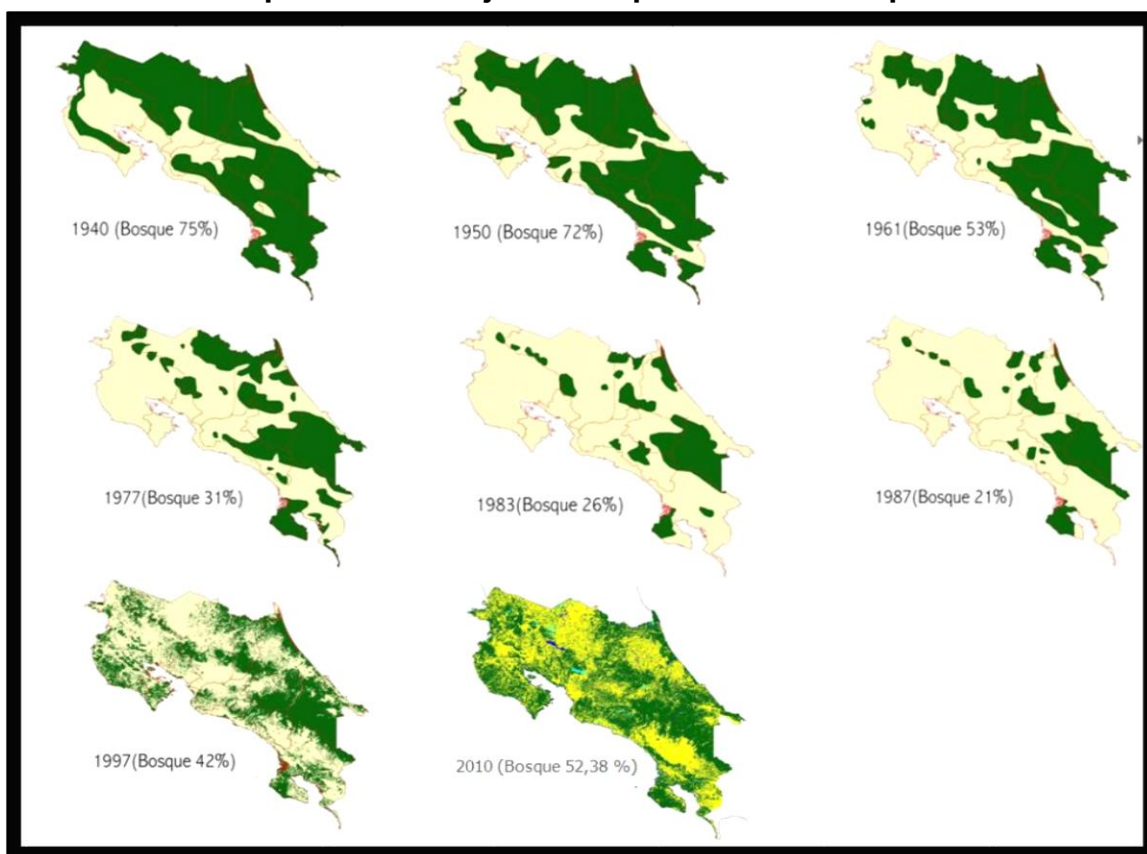
De conformidad con la Ley Forestal No. 7575, Costa Rica reconoce los siguientes servicios ambientales:

- ✓ Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción).
- ✓ Protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico
- ✓ Protección de la biodiversidad para su conservación y uso sostenible, científico y farmacéutico, de investigación y de mejoramiento genético, así como para la protección de ecosistemas y formas de vida.
- ✓ Belleza escénica natural para fines turísticos y científicos.

La característica más importante de este Programa es que cambió el concepto tradicional de "subsidio" o "incentivo", por el de "reconocimiento económico" por los servicios ambientales, lo cual, a su vez, contribuye a aumentar su valor ecológico, social y económico.

El vigésimo primer Informe del Estado de la Nación resalta los números positivos que se han mantenido a la fecha gracias al programa de Pago de Servicios Ambientales (PSA), en el que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) entrega un reconocimiento financiero, a los (las) propietarios(as) y poseedores(as) de bosques y plantaciones forestales por los servicios ambientales que éstos proveen y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente.

Mapa 3. Porcentaje de recuperación de bosque



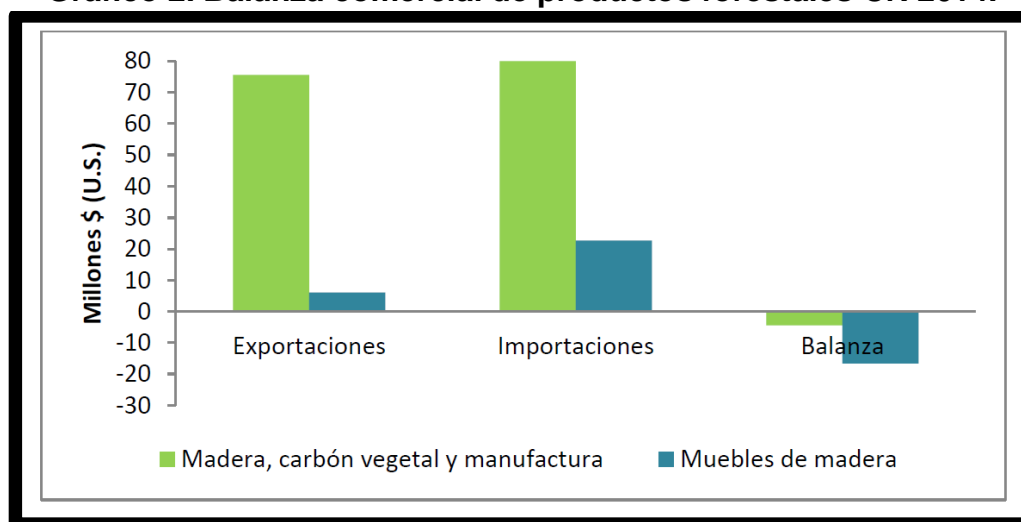
Fuente: FONAFIFO

Gracias al sistema de reforestación mediante el PSA se logra evidenciar mejoría en el uso de los suelos y utilización de la madera para muchas de las regiones del país, “la huella forestal se redujo en un 15,3%, según mapa 3, lo que denota una menor presión sobre los bosques y un patrón más sostenible de abastecimiento de madera.

Esto respondió a políticas como el pago por servicios ambientales y la recuperación de cobertura forestal (Estado de la Nación, 2015). Todas estas metodologías se aplican con el fin de llegar a un mejor resultado de obtención de madera para su uso, procurando un equilibrio al momento de extracción de la materia prima. En el 2014, el volumen aprovechado de madera fue de 558.271m³, provenientes de plantaciones (77,0%), sistemas agroforestales (12,0%) e inventarios forestales (3,8%); (Sinac-Minae, 2015b).

Claramente las políticas ambientalistas están dirigidas a procurar la conservación y preservación de los recursos forestales, mediante la consigna de no utilizar madera de los bosques nacionales. Para Hernández, Barquero, Montero, Sánchez, Ávila y Murillo la realidad nacional es una tendencia a la preservación y conservación de los bosques naturales mediante el no uso de sus recursos maderables, situación que puede ocasionar un desabastecimiento de madera y un aumento en las importaciones de este recurso (Hernández et al, 2015), lo cual se ha venido evidenciando con los datos proporcionados según PROCOMER, 2014, elaborado por Barrantes y Ugalde, 2015 en el siguiente gráfico 2.

Gráfico 2. Balanza comercial de productos forestales CR 2014.



Fuente: Estado de la Nación

2.3.3 Decreto ejecutivos sobre maderas y zonas boscosas.

Con el fin de mantener el ordenamiento y protección de varias especies muy afectadas en vías de desaparecer del territorio nacional, el Poder Ejecutivo crea varios decretos para la veda de 18 especies forestales amenazadas según decreto N° 237000 MINAE y presentadas en el cuadro 1-2, dos decretos sobre *Dipteryx Panamensis* (almendro) (Decreto N°25167- MINAE) para evitar su aprovechamiento maderable y el decreto N°25663-MINAE para mantener la restricción a la corta y aprovechamiento. Además, el MINAE declaró, vía decreto, la veda de un grupo de especies forestales por estar en grado severo de extinción y los cuales vemos en la tabla número 2.

Tabla 2. Cuadro de especies protegidas por legislación

Familia	Especie	Nombre común	Grado de amenaza
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Ron ron	Especie amenazada.
Bignoniaceae	<i>Tabebuia guayacan</i> (Seem.) Hemsl	Corteza, Guayacán	Especie amenazada.
Boraginaceae	<i>Cordia gerascanthus</i> L.	Laurel negro	Especie en peligro de extinción. Vedada.
Caesalpinaceae	<i>Copaifera aromatica</i> Dwyer	Camibar	Especie amenazada y con alto grado de pasar a la categoría de peligro de extinción.
	<i>Copaifera camibar</i> Poveda, Zamora & P.E. Sánchez	Camibar	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Cynometra hemitomophylla</i> (Donn. Sm.) Britton & Rose	Cativo Guapinol negro	Especie amenazada. Endémica.
	<i>Mora oleifera</i> (Triana) Ducke	Alcornoque de la costa pacífica Chaperno de suampo	Especie amenazada.
	<i>Peltogyne purpurea</i> Pittier	Nazareno	Especie amenazada Incluida en la lista de plantas amenazadas y poco comunes de Costa Rica – UICN.
	<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	Cativo	Especie amenazada.
	<i>Sclerolobium costaricense</i> Zamora & Poveda	Tostado	Especie en peligro de extinción. Vedada y endémica.
	<i>Tachigalia versicolor</i> Standl. & L.O. Williams	Alazán, Pellejo de toro, Plomo, Reseco	Especie amenazada Incluida en la lista de plantas amenazadas y poco comunes de Costa Rica – UICN.
Caryocaraceae	<i>Anthodiscus chocoensis</i> Prance	Ajo negro	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Caryocar costaricense</i> Donn. Sm.	Ajo, Ajillo, Manú, Plomillo	Especie amenazada. Incluida en apéndice II de CITES y en la lista de plantas amenazadas y poco comunes de Costa Rica- UICN.

Fuente: Escuela de Ingeniería Forestal TEC

Tabla 3. Cuadro de especies protegidas por legislación

Familia	Especie	Nombre común	Grado de amenaza
Papilionaceae	<i>Dalbergia retusa</i> Hemsl.	Cocobolo, Cocobola	Especie en peligro de extinción.
	<i>Dussia macrophyllata</i> (Donn. Sm.) Harms	Sangregao, Tarquayugo, Paleta	Especie amenazada.
	<i>Hymenolobium mesoamericanum</i> Lima	Cola de pavo	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms	Bálsamo, Chirrica, Sándalo	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Paramachaerium gruberi</i> Briz.	Sangrillo	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Platymiscium parviflorum</i> Benth.	Cristóbal, Ñambar	Especie en peligro de extinción. Vedada Incluida en apéndice II de CITES.
	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	Cachimbo, Cristóbal, Quira	Especie en peligro de extinción. Vedada.
Humiriaceae	<i>Humiriastrum diguense</i> Cuatrec.	Chiricano, Chiricano alegre, Lorigo, Nispero	Especie amenazada.
	<i>Vantanea barbourii</i> Standl.	Campano, Caracolillo, Chiricano, Chiricano triste	Especie amenazada.
Juglandaceae	<i>Oreomunnea pterocarpa</i> Oerst.	Gavilán Gavilán blanco	Especie amenazada. Incluida en apéndice II de CITES.
Lauraceae	<i>Caryodaphnopsis burgeri</i> Zamora & Poveda	Cocobola, Quira	Especie en peligro de extinción. Vedada y endémica.
Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	Cachimbo Copo hediondo	Especie amenazada.
	<i>Couratari scottmorii</i> Prance	Cachimbo, Copo hediondo, Matasano	Especie en peligro de extinción. Vedada Incluida en la lista de plantas amenazadas y poco comunes de Costa Rica- UICN.
	<i>Lecythis ampla</i> Miers.	Jícaro, Olla de mono	Especie amenazada e incluida en la lista de plantas amenazadas y poco comunes de Costa Rica- UICN.
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro, Cedro real	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro Cedro amargo	Especie amenazada.

Fuente: Escuela de Ingeniería Forestal TEC

Tabla 4. Cuadro de especies protegidas por legislación

Familia	Especie	Nombre común	Grado de amenaza
Meliaceae	<i>Cedrela salvadorensis</i> Standl.	Cedro	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Cedrela tonduzii</i> C.DC.	Cedro dulce	Especie amenazada
	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	Caoba	Especie en peligro de extinción. Incluida en apéndice II CITES.
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	Especie en peligro de extinción. Vedada.
Mimosaceae	<i>Parkia pendula</i> Benth.	Tamarindo Tamarindo gigante	Especie en peligro de extinción. Vedada.
Olacaceae	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	Manú, Manú negro, Cuajada	Especie amenazada.
Podocarpaceae	<i>Podocarpus costaricensis</i> de Laub.	Cipresillo	Especie en peligro de extinción. Vedada.
	<i>Podocarpus guatemalensis</i> Standl.	Cipresillo, Pinillo	Especie en peligro de extinción. Vedada.
Sapotaceae	<i>Sideroxylon capiri</i> (A.DC.) Pittier	Tempisque Danto amarillo	Especie amenazada.
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Areno, Masicarán	Especie amenazada.
Zygophyllaceae	<i>Guaiaacum sanctum</i> L.	Guayacán real	Especie en peligro de extinción. Vedada. Incluida en apéndice II CITES.

Fuente: Escuela de Ingeniería Forestal TEC

2.3.4 Medidas de Fijación de Carbono

En la actualidad, se deben procurar medidas correctivas y preventivas que brinden acciones de mitigación contra la acumulación de dióxido de carbono (CO₂), para Tuk, Juan (2010), al construir con madera se contribuye, en parte, con la limpieza del aire. Se da una acumulación de gas en la madera, 1 tonelada de madera absorbe 4 toneladas de CO₂. Al mismo tiempo, se produce un menor consumo energético pues producir un metro cúbico (m³) de madera gasta 14 veces menos que en el caso del acero y 5 veces menor que en el caso del concreto, datos por tomar en consideración en la toma de decisiones posteriores.

Una de las funciones importantes del bosque es la absorción del elemento químico carbono (C). Los árboles, por el proceso de fotosíntesis, atrapan el CO₂ de la

atmósfera y lo convierten en madera. Tuk. Juan, (2010, pág. 24). Entonces mediante la preservación de los sistemas de reforestación y bosques naturales se puede brindar un granito de arena a gran parte de los problemas de efecto invernadero. En la tabla 5, se observan algunos ejemplos de materiales estudiados con capacidad de absorción del carbono.

Tabla 5. Especies con capacidad de absorción de CO2

ESPECIE	Cantidad en toneladas /Hectáreas
Pochote Bombacopsisquinatum	3.31
Jaúl Alnusacuminata	3.96
Teca Tectonagrandis	4.91
Laurel Cordiaalliodora	5.39
Melina Gmelinaarborea	8.19
Ciprés Cupressus Lusitanicus	8.53
Eucalipto Eucalipto Deglupta	9.5

Bambú Guadua Angustifolia	44
-------------------------------------	-----------

Fuente: Juan Tuk (2010).

Se afirma que, en la actualidad, la venta de fijación de carbono es un bien que se comercializa a nivel mundial, por lo que algunas empresas altamente contaminantes han tomado la decisión de invertir en la protección de bosques.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.1 Estructura de la madera.

Es importante repasar el significado de la madera como materia prima de origen vegetal que constituye los tallos leñosos (troncos) de árboles y arbustos. Está formada por fibras de celulosa, una sustancia que conforma el esqueleto de los vegetales y lignina, que le proporciona rigidez y dureza.

La literatura dice que la misma contiene sustancias como almidón, taninos, colorantes, alcanfor, resinas, aceites, azúcar, que se aprovechan industrialmente. La resina es una sustancia de color pardo o amarillo, líquido y pegajoso, que segregan muchas plantas. Forma una capa que protege a la planta de heridas, cortes y posibles ataques de otros organismos. Para su obtención, se practica un corte en la corteza del árbol y el líquido que fluye se recoge en pequeños recipientes.

El corte transversal de un tronco tiene los siguientes elementos:

La corteza: es la capa exterior del tronco, que protege a la planta de las agresiones externas.

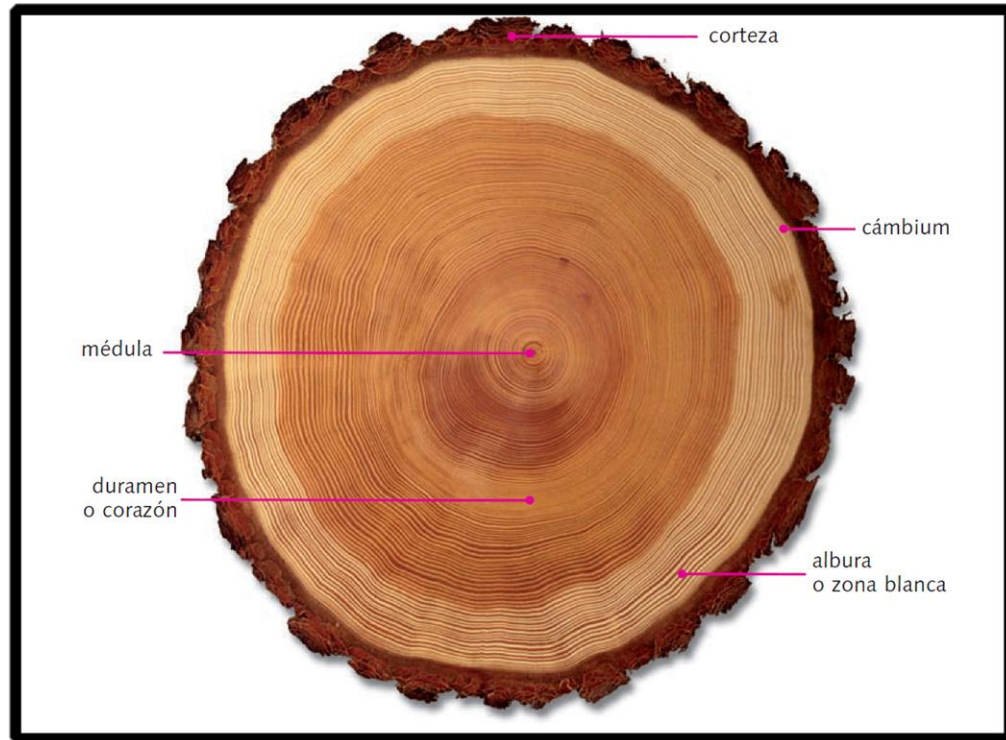
El cambium es una capa fina y transparente que sigue a la albura.

La albura o zona blanca, también conocida como leño, es la madera de más reciente formación. Se utiliza para realizar trabajos de escasas exigencias mecánicas y estéticas.

En el duramen o corazón, la madera es seca, dura, consistente y de color más oscuro. Es la parte que sostiene a la planta y la más apropiada para la obtención y uso de la madera.

La médula es la zona central del tronco, que posee escasa resistencia, por lo que, generalmente, no se utiliza.

Figura 1. Corte transversal del tronco.



Fuente: ONF

Entonces con la información anterior, se puede observar cómo el tronco de una troza es cortada y qué utilidad puede tener la misma.

3.2 Clases de Madera

3.2.1 Madera cuarteada o radial

- Radialmente a los anillos o aproximadamente paralela a los radios la cual es conocida como madera radial o cuarteada.

Ventajas:

- Contrae y expande menos en ancho, aunque en madera juvenil es considerable
- Tiende a desarrollar menos alabeo, acanaladura o abarquillado
- Cuando aparece veta o grano levantado es menos pronunciado

- Se desgasta en forma más uniforme
- La figura (veta) es más uniforme, sin embargo, es más visible la presencia de radios pronunciados, grano entrecruzado y grano ondulado.
- No permite el paso de líquidos.
- Tiene una mejor adherencia o agarre de las pinturas en algunas especies

3.2.2 Madera Tangencial o plana

- Tangente a los anillos de crecimiento, con lo cual se obtiene madera de corte tangencial o plana.

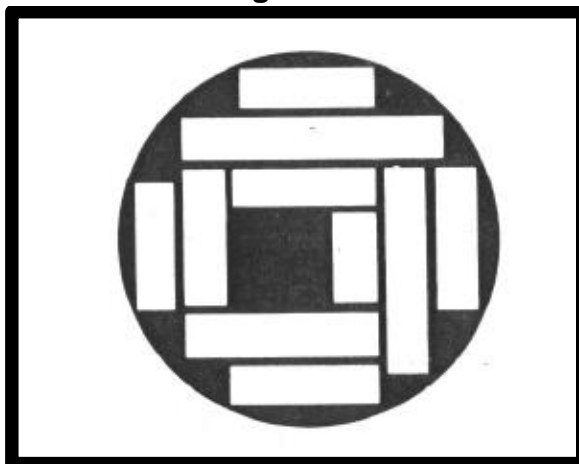
Ventajas:

- Presenta patrones típicos resultado de los anillos anuales, además se obtienen figuras (vetas) más conspicuas visibles
- Presenta nudos redondos y ovalados.
- No debilitan tanto la pieza como sí lo hacen otros nudos
- Algunas veces se presenta separación de anillos anuales (acebolladura) y bolsas de resinas oscuras.
- Es menos susceptible al colapso durante el secado
- Se contrae y expande menos en el espesor
- Es más fácil de obtener

3.3 Formas básicas de Aserrío

A continuación se presentan diferentes formas en que se pueden cortar las trozas de madera en los aserraderos.

Figura 2. Aserrío de grado alrededor de la troza



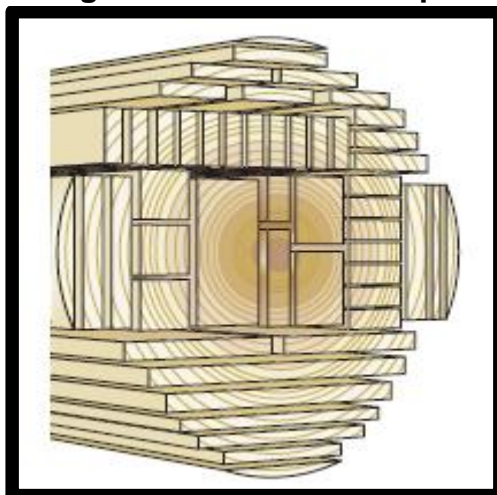
Fuente: ONF

Figura 3. Aserrío plano a lo ancho



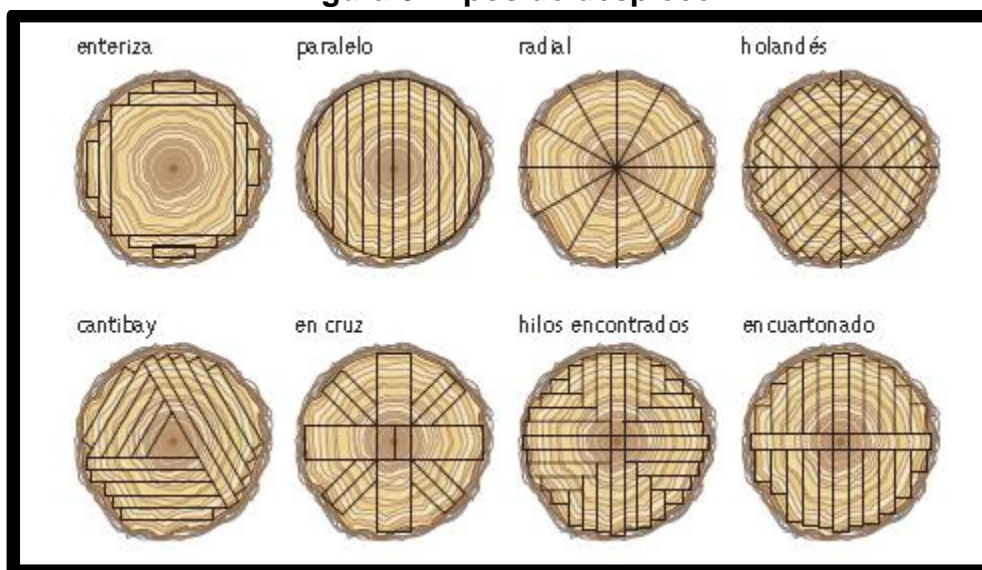
Fuente: ONF

Figura 4. Aserrío de bloque



Fuente: ONF

Figura 5. Tipos de despiece



Fuente: ONF

3.4 Propiedades químicas de la madera

Para comprender el comportamiento mecánico de la madera es preciso conocer su constitución anatómica:

Material formado por un haz de tubos huecos con una estructura diseñada para resistir tensiones paralelas a las fibras.

El árbol produce esta estructura tubular ya que es tremendamente eficaz para resistir los esfuerzos a que va a estar sometido (Flexión → viento, Compresión → peso propio)

Debido a su estructura ortotrópica se diferencian tres direcciones principales Longitudinal, Radial, Tangencial, sus propiedades mecánicas son distintas en cada una de ellas, lo que la diferencia con respecto a otros materiales.

Los Módulos de elasticidad y resistencias son muy distintos en la dirección longitudinal que en la transversal.

La variabilidad no se da solo en las distintas direcciones sino también dentro de las distintas especies y dentro del mismo individuo.

3.4.1 Comportamiento a la Tracción y compresión paralela a las fibras

1- Tracción: Presenta una resistencia máxima cuando la dirección de la fuerza es paralela al eje del tronco y una mínima cuando son normales. La madera posee una elevada resistencia a tracción paralela a las fibras.

2- Compresión Paralela: La madera tiene una elevada resistencia a compresión paralela a las fibras. Presenta un comportamiento lineal en la relación $\sigma - \epsilon$, con valores característicos de diseño 50 – 260 Kg/cm².

3.4.2 Comportamiento a la Flexión: La madera posee una elevada resistencia a la flexión comparada con su densidad. La flexión se origina por un momento flector que produce en la pieza tensiones de compresión y de tracción paralela a las fibras, teniendo sus valores máximos en las fibras extremas y nulas en el E.N. El comportamiento a la flexión es una combinación del comportamiento a compresión y a tracción paralela de la madera y presenta volares característicos de diseño de 70 – 340 Kg/cm².

3.4.3 Tracción perpendicular a la fibra: La madera presenta una baja resistencia a tracción perpendicular a las fibras, esta baja resistencia se debe a la escasa cantidad de fibras que la madera posee en esa dirección (\perp al eje del árbol) y falta de trabazón transversal de las fibras longitudinales. Presenta valores característicos de diseño de 30 – 70 veces menos que la tracción paralela: 3 -4 Kg/cm².

3.4.4 Compresión perpendicular a la fibra: La resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la paralela. Presenta valores característicos de diseño 30 – 70 Kg/cm².

El comportamiento tensión – deformación es lineal en una primera etapa y luego tiene una deformación plástica, debido al aplastamiento de la madera, sin llegar a la rotura clara.

Este tipo de esfuerzo es característico en las zonas de apoyos de vigas, donde se concentra la reacción en pequeñas superficies y debe transmitirse sin deformaciones importantes o aplastamientos.

3.4.5 Cortante

El esfuerzo de corte origina tensiones tangenciales que actúan sobre la fibra de la madera de diversos modos:

1. Tensiones tangenciales de cortadura: Las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo. La falla se produce por aplastamiento.

2. Tensiones tangenciales de deslizamiento: La falla se produce por deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en dirección longitudinal.

3. Tensiones tangenciales de rodadura: La falla se produce por rodadura de unas fibras con respecto a otras.

3.4.6 Módulo de Elasticidad (E): El módulo de elasticidad más usado es el paralelo a las fibras, sin embargo, este es diferente ya sea que se trate de solitudes de compresión o de tracción.

El módulo de elasticidad más usado varía entre 55.000 – 150.000 Kg/cm², único para la dirección paralela a las fibras, adoptando un valor aparente de E en flexión (promedio del de tracción con el de compresión).

3.5 Propiedades físicas de la madera

3.5.1 HIGROSCOPICIDAD: es la propiedad que tiene la madera de intercambiar agua con el ambiente. Este intercambio depende sobre todo de la humedad y de la temperatura del aire. Es casi constante en lo que se refiere a las distintas maderas, porque se trata de una propiedad de la pared celular.

3.5.2 Contenido en humedad de la madera

La humedad de la madera se define mediante la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{P_H - P_0}{P_0} \times 100$$

Siendo: PH el peso de la probeta húmeda

Po peso de la probeta seca anhidra

1- Madera en verde: Madera que no ha sufrido ningún proceso de secado, tendrá H > 30% como mínimo (en general) y puede llegar con facilidad a un 100% de humedad. La madera que por mojado o inmersión está *saturada* tiene también H = 30%.

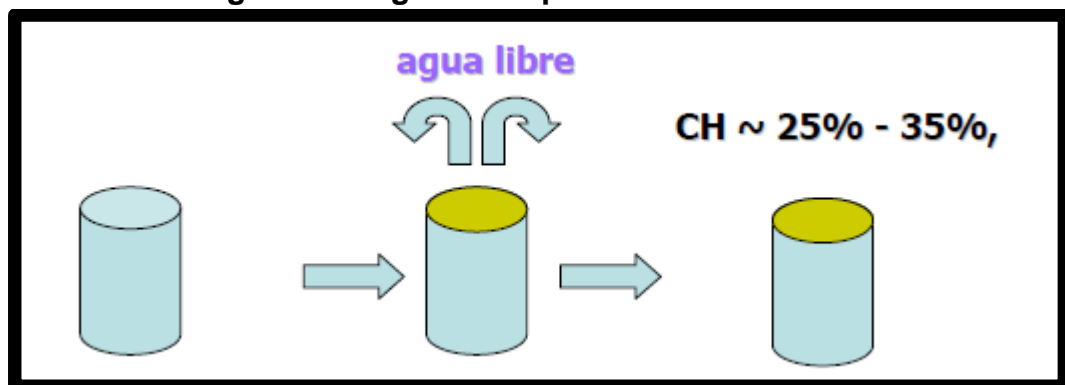
2- Madera seca: se ha secado de forma más o menos controlada; tendrá siempre menos de un 18% de humedad (madera “seca” comercialmente); para los ensayos mecánicos la humedad debe ser del 12%.

3- Madera seca anhidra: con $H = 0\%$ por definición tras estar en estufa a 105°C durante 24 horas al menos. Además hay otras referencias. A partir de $H = 20\%$ tenemos una madera húmeda que tiene riesgos serio de pudriciones y ataques.

3.5.3 Punto de saturación de las fibras

1. En una primera etapa la madera se encuentra con sus cavidades y paredes celulares llenas de agua.
2. Al comenzar el proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades hasta alcanzar un $\text{CH} \sim 25\% - 35\%$, independiente de las especies forestales.
3. Este punto recibe el nombre de Punto de saturación de las fibras (PSF), que constituye el límite decisivo para el comportamiento de la madera.

Figura 6. Diagrama de punto de saturación



Fuente: ONF

- CH > PSF única propiedad que se altera es el peso
- CH < PSF todas las propiedades físicas y mecánicas se alteran al variar el CH.

3.6 Sistema de Puentes de Pretensados-LAMINADOS.

Las superestructuras con el sistema de tableros pretensados, consisten en una serie de maderas laminadas que se colocan de canto entre los soportes, el cual es comprimido transversalmente por las barras de pretensión de alta resistencia.

Los puentes son similares en configuración a la madera laminada de otros sistemas; sin embargo, por medio del pretensado, la transferencia de carga entre las laminaciones se desarrolla totalmente por la compresión y la fricción entre la madera laminada, en lugar del pegamento o sujetadores mecánicos utilizados normalmente.

Esta fricción es creada por la compresión transversal aplicada a la cubierta usando el mismo tipo de acero de alta resistencia de los elementos pretensados que se utilizan comúnmente para el hormigón pretensado. Estos elementos, que han sido históricamente las barras de acero de alta resistencia, se colocan a intervalos regulares a través de los agujeros pretaladrados en las caras anchas de la madera laminada, utilizando un gato hidráulico para la tensión requerida.

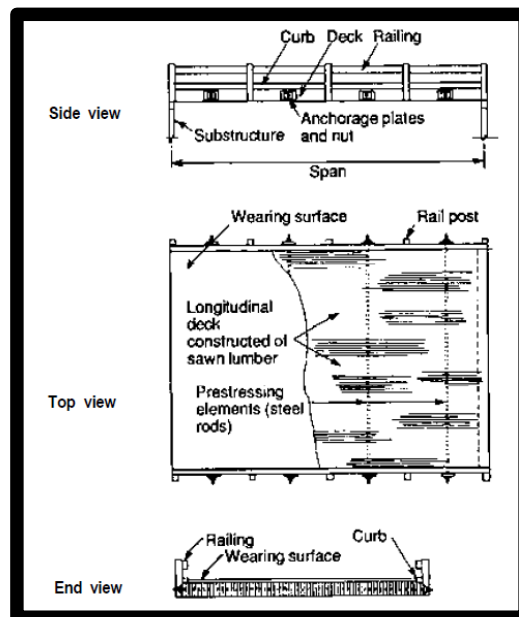
En una estructura típica de tablero de madera del sistema de pretensión, cada barra puede tener de 80.000 a 100.000 libras de tensión que se transfiere a la plataforma para desarrollar compresión entre cada pieza laminada. La fuerza total de todo el pretensado en un puente de 11 m de largo, por ejemplo, pueden ser tan alta como 1 millón de libras, lo cual comprime las laminaciones firmemente de modo que la cubierta se comporta como un gran plato sólido de madera.

La pretensión laminada ofrece muchas ventajas ya que las superestructuras de cubierta se pueden prefabricar localmente en paneles, o en unidades completas, que son enviados al sitio del proyecto y se elevan en el lugar.

Una vez instalado, la cubierta actúa como una losa continua sin secciones transversales o juntas longitudinales que afectan adversamente el rendimiento de la superficie.

Otra ventaja de los tableros de pretensión es que la longitud de la madera de construcción requerida para las laminaciones es de fácil manipulación. Se da una transferencia de carga entre las laminaciones la cual se desarrolla a partir de la fricción, al mismo tiempo todas las laminaciones no tienen que ser continuas (Una pieza) sobre la longitud del puente.

Figura 7. Configuración típica de una superestructura de pretensión



Fuente: Ritter

3.7 Desarrollo del sistema de tableros pretensados para puente

Este sistema presenta un método de construcción para puentes de madera que se ha utilizado como un método eficaz y reconocido durante más de una década. Su creación y desarrollo son el resultado de esfuerzos pioneros en Ontario Canadá por la Stands For Ontario Highway Bridge Design Code (OHBDC). Sin embargo,

paralelamente, otras investigaciones se han desarrollado en los Estados Unidos con excelentes resultados.

Los tableros pretensados se utilizaron por primera vez para puentes de madera en Ontario, en 1976. En ese momento, el Ministerio de Transporte de Ontario (MTO), se interesó en el desarrollo de nuevos métodos para la rehabilitación y mantenimiento de puentes, deteriorados, de sistemas laminados. Muchas de esas cubiertas en Ontario se separaban o sufrían deterioro bajo carga repetitiva de vehículos pesados (fatiga) en las carreteras. Aunque la resistencia estática y la condición de la madera laminada eran buenas, la distribución de las cargas entre las laminaciones se reducía drásticamente y el asfalto en la superficie de desgaste tendía a sufrir un agrietamiento y separación en la cubierta. Eso les pareció a los ingenieros de MTO que la integridad estructural y la continuidad podían ser restablecidas en las cubiertas, mediante el uso de técnicas de pretensión y postensado para precargar y volver a comprimir las láminas de madera.

Aunque la primera aplicación de la pretensión en Ontario implicó la rehabilitación de un puente existente, el método ofrece una variedad de posibilidades para la construcción de nuevos puentes. Largos estudios fueron realizados por la Universidad de Queens, Estados Unidos para proporcionar una comprensión de los fundamentos de los tableros pretensados para identificar posibles problemas e implicaciones de diseño asociados. Entre las investigaciones realizadas se estudió:

- (1) La fuerza de fricción que se desarrolla entre las laminaciones con la dependencia del nivel de tensión, en previa compresión,
- (2) El mecanismo y la magnitud de la flexión de la cubierta y la deformación.
- (3) Las pérdidas del pretensado relacionados con el tiempo.
- (4) La rigidez efectiva de placa y las propiedades del sistema de Pretensado.

Además, los modelos analíticos fueron desarrollados para predecir el comportamiento de la cubierta.

(5) Las pruebas de carga de las pequeñas cubiertas realizadas en el laboratorio de la Universidad de Queen demostraron que los tableros de madera con la pretensión se comportan como una placa ortotrópica, con diferente rigidez en las direcciones paralelas a las laminaciones y perpendicular a la laminación.

(6) La rigidez paralela a las laminaciones dependerá de la inercia del material de laminación y el módulo de elasticidad paralela a la madera.

Se encontró que la rigidez del sistema transversal a través de las laminaciones, perpendiculares a la dirección del grano, era sustancialmente inferior y se expresó como una fracción de la rigidez longitudinal. En comparación con una cubierta de madera laminada longitudinal similar, la pretensión mostró una rigidez transversal ligeramente menor, probablemente a partir de variaciones menores en el espesor de la laminación o la deformación, lo que reduce el contacto interlaminar.

3.8 Características del sistema de pretensión-laminar de madera

Las láminas de madera de un puente de tensión-laminada proporcionan la resistencia necesaria, rigidez para un rendimiento y capacidad de servicio del puente. Interesa conocer cuáles son las características relacionadas con las necesidades de material, carga de intercambio y de las piezas de laminación.

Los materiales requeridos para los puentes de tableros pretensados se construyen, a partir visualmente de madera graduada o madera en la clasificación del tamaño de vigas y tablonos (nominalmente 2 a 4 pulgadas de espesor, 5 pulgadas y más de ancho). Aunque las cubiertas podrían teóricamente ser construidas a partir de madera de cualquier espesor, el rango de espesor de 2 a 4 pulgadas ha demostrado más eficiencia y economía.

Las laminaciones pueden ser de corte basto o total-aserrado; sin embargo, de corte basto y material al corte total se debe a la superficie de un grosor uniforme para asegurar un mejor rendimiento entre las laminaciones. Hasta la fecha, la mayoría de los puentes construidos en Estados Unidos ha utilizado la madera aserrada nominal de 4 pulgadas pues la misma proporciona un espesor uniforme.

Los paneles para puentes con la postensión generalmente se pueden construir de cualquier especie maderera, siempre que cumpla los requisitos de diseño para la resistencia, la rigidez y sea tratable con conservantes.

La tensión laminada, crea una gran plataforma de madera que se mantiene unida por fuerzas de compresión aplicadas mediante los elementos de postensión. Cuando se somete la carga del vehículo, la tensión de la cubierta laminada del puente actúa como una placa ortotrópica con diferentes propiedades en las direcciones longitudinal y transversal. Cuando la carga de la rueda se coloca en cualquier punto de la cubierta, esta hace desviar hacia abajo las fuerzas aplicadas (excepto en los lugares sobre los soportes), resultando en desplazamientos en ambas direcciones longitudinal y transversal. Debido a este comportamiento, los momentos de flexión son desarrollados también en las direcciones longitudinal y transversal.

La magnitud de estos momentos depende principalmente de cinco variables:

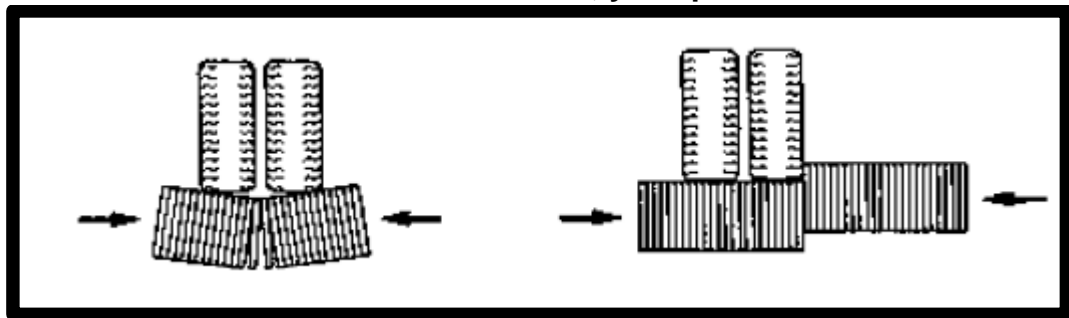
- (1) La magnitud de la carga
- (2) Periodo de la cubierta
- (3) La anchura de la cubierta,
- (4) Rigidez longitudinal de la cubierta
- (5) Rigidez transversal de la cubierta.

El momento de flexión longitudinal produce la flexión y deflexión que controla la cubierta según el espesor del tablero, el momento transversal, que también produce un esfuerzo de flexión y deflexión y esta dicta la cantidad de tensión previa de compresión que debe estar aplicada entre las laminaciones.

Cuando una carga de ruedas se coloca sobre las chapas de cubierta, sucede lo siguiente:

Las acciones tienden a un deterioro en el comportamiento de la placa de la cubierta (Figura 8). Se da como resultado de la acción de la flexión transversal, que produce una tendencia a que se produzcan aberturas entre las laminaciones en la cubierta. También se puede dar la acción de cortante transversal, que crea una tendencia a que las láminas se deslicen verticalmente.

Figura 8. Flexión transversal produce una tendencia de Corte que se dé una abertura entre las láminas, y desplazamiento.



Fuente: Ritter

En ambos casos, las acciones no se producirán si la cubierta tiene un nivel óptimo de tensión, cuando se produzca la compresión sobre la cubierta entre las laminaciones. En el caso de la flexión transversal, el esfuerzo de compresión compensa directamente los efectos de la tensión en la parte inferior de la cubierta.

Para el cortante, el deslizamiento vertical es impedido por la fricción entre las laminaciones, resultado de la tensión previa a la compresión. El control de un adecuado nivel de tensión previa es el aspecto más importante del sistema de tensión laminar en la construcción de puentes de madera.

3.9 Criterios de diseño y definiciones

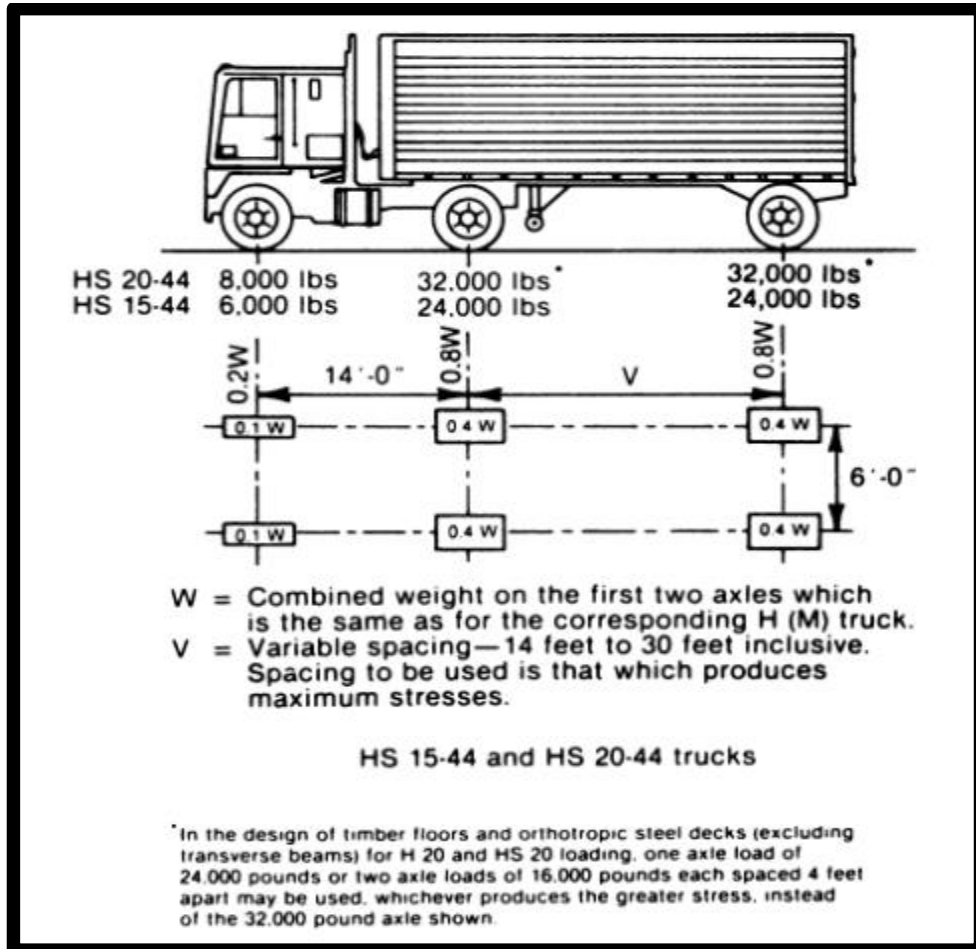
Las siguientes limitaciones se aplican a los diseños de las cubiertas de madera de tensión laminada:

1. La cubierta está construida con láminas de madera aserrada que se encuentran colocadas de canto entre los soportes y se tensan transversalmente.
2. El ancho de la cubierta es constante.
3. Espesor de cubierta es constante y no es inferior a 8 pulgadas nominal.
4. La cubierta es un rectángulo plano, o puede estar sesgada menos de 20 grados.
5. Los soportes final o intermedio son continuos por la anchura de la cubierta.
6. Las juntas a tope están permitidos en las laminaciones siempre que no sea más de una junta a tope y se produce en cualquiera de los cuatro laminaciones adyacentes dentro de un lapso de distancia de 4 Ft.

3.9.1 Cargas

Las cargas se basan en los requisitos de carga según norma AASHTO.

Figura 9. Vehículo modelo para determinación de carga



Fuente: ASSTHO

Los procedimientos de diseño y ejemplos se realizaron con AASHTO. El diseño es controlado habitualmente por una combinación de estructura de carga muerta y carga viva de vehículo. Al igual que con otro tipo de puente de madera, esfuerzos de diseño admisibles se pueden incrementar en un 33 por ciento para las sobrecargas.

3.9.2 Carga compartida

La resistencia a la flexión de la madera con tensión laminar, es sustancialmente mayor que un miembro de la madera aserrada comparable del mismo tamaño. La investigación realizada en Canadá demostró que la tensión en las piezas laminadas aumenta la utilización de la resistencia a la flexión de un 50.8% por ciento a un 82.5%,

en función del grado y especies de laminación. Para los puentes con la tensión laminar, el OHBDC actualmente permite un aumento del esfuerzo de flexión de 50% por ciento para madera de grados mixtos No. 1 y No. 2, y 30% por ciento de la madera de construcción graduada estructuralmente.

3.9.3 Madera Laminada

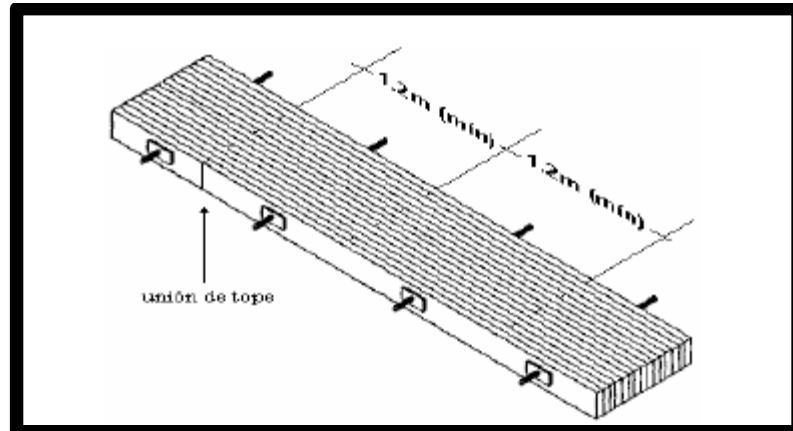
Procedimientos de diseño son válidos para laminaciones de madera aserrada cuyos componentes se supone que se tratan con la presión de un conservante de tipo de aceite antes de la fabricación.

3.9.4 Las juntas de laminación

La transferencia de carga entre las laminaciones en un esfuerzo del laminado del puente se lleva a cabo por la fricción entre dichas laminaciones, inducida por el alto nivel de tensión previo a la compresión. Debido a esta fricción, debería ser suficiente la pretensión para evitar el movimiento entre las láminas, que puede ser utilizado como un medio de corte y empalme de las laminaciones longitudinales. Así, las piezas de cada laminación para la cubierta del puente de tensión-laminado no tienen que ser continua a lo largo del puente, pueden estar provistos de las juntas a tope longitudinales. Se requiere que se hagan no más de una unión a tope en cualquiera de los cuatro puntos posibles de laminaciones adyacentes dentro de una distancia de 4 pies, medida en el tramo del puente (Figura 10).

La capacidad de utilizar las juntas a tope en las cubiertas de tensión proporciona una ventaja sobre la construcción de otros sistemas convencionales porque laminaciones más cortas se pueden utilizar, lo que resulta en una reducción de costes y mejora de la disponibilidad.

Figura 10. Requisitos mínimos para las juntas a tope



Fuente: Ritter

Una investigación realizada en la Universidad de Washington ha demostrado que hay una reducción en la rigidez de las juntas a tope longitudinal y por lo tanto deben ser compensadas en el diseño. Además, la discontinuidad en la unión reduce la sección de cubierta eficaz disponible para resistir esfuerzos de flexión.

3.9.5 Sistema de pretensado

Los elementos de pretensado son varillas de acero de alta resistencia que se ajusten a ASTM A 722. Las varillas se colocan a través de las láminas y se adjuntan a los anclajes con tuercas de alta resistencia.

El procedimiento de diseño incluye tanto el anclaje de la placa de acero y el anclaje del canal de cierre. Todo elemento para pretensado y herrajes de metal son galvanizados o se dispone otro aceptable con protección contra la corrosión.

3.9.5.1 Pérdida de resistencia de la tensión aplicada al sistema.

Un nivel suficiente de tensión previa debe mantenerse entre las plataformas de madera, con el fin de que un puente bajo el sistema de tablero de pretensión, entre en

servicio de manera adecuada y funcional pero, con el tiempo, el nivel inicial de pretensado que se le coloca a la cubierta se verá afectado principalmente por dos factores: la fluencia en el material y las variaciones en el contenido de humedad de la madera.

En Ontario se ha demostrado que cuando una fuerza de compresión constante se aplica a la madera, en determinado tiempo, la madera se comprime o se arrastra lentamente. Esto ocurre porque las células de la madera cambian gradualmente de forma y se comprimen permanentemente.

Por lo tanto, cuando las láminas son comprimidas por la fuerza de pretensado, poco a poco, se vuelven más estrechas. Desafortunadamente, el nivel de tensión previa disminuye. Para reducir este efecto de pérdida, se encontró que es necesario el uso de varillas de acero de alta resistencia para llevar a una fuerza de pretensado en un área de sección transversal mínima de acero.

La investigación realizada en Ontario ha desarrollado un método de controlar eficazmente este fenómeno. Si la cubierta se vuelve a tensar en un período corto de tiempo, la pérdida de tensión posterior es menor. Si la cubierta es tensada por segunda vez dentro de un período de tiempo específico, el total de la pérdida en el tiempo se puede limitar a un máximo de 60 por ciento.

Investigación de la UW / FPL encontró que una cubierta laminada tendrá un rendimiento aceptable a un nivel de tensión previa a la compresión tan bajo como 24 lb / pulg². Debido a que este es mucho menor que la resistencia de la madera en la compresión perpendicular al grano, el nivel de tensión previa de compresión colocado en un puente durante la puesta en operación inicial se incrementa para compensar el deslizamiento posterior a las pérdidas durante la vida útil de la estructura.

Por lo tanto, una pérdida de tensión posterior de fluencia de 60 por ciento durante la vida útil del puente seguiría siendo un nivel mínimo de tensión previa requerida para un rendimiento aceptable, más un margen adicional de seguridad.

Para mantener al mínimo el nivel de tensión previa, se utiliza la secuencia siguiente:

1. La cubierta está inicialmente montada y bajo un nivel de diseño requerido para la estructura.
2. La cubierta se vuelve a tensar a un nivel total en aproximadamente 1 semana después de su puesta en funcionamiento inicial.
3. Por último, se completa la tensión última en un periodo de 4 a 6 semanas después de la segunda.

Cuando se sigue esta secuencia destacando, la pérdida máxima esperada en pretensado se limitará a aproximadamente 60 por ciento de la pérdida total (se mantendrá 40 por ciento del nivel de esfuerzo inicial); sin embargo, es recomendable hacer inspecciones periódicas en los niveles de tensión bajo un programa de mantenimiento preventivo.

Además existe otro factor en pérdida de la tensión de fluencia y el nivel de tensión previa en la tensión pues, la madera puede ser afectada por las variaciones en el contenido de humedad: el punto de saturación (contenido de humedad de aproximadamente el 30 por ciento) se contrae cuando la humedad se pierde y se expande cuando se gana humedad. Los efectos de estos cambios de humedad pueden dar lugar a una pérdida o ganancia en tensión previa. Investigación en cambios en los esfuerzos relacionados con la humedad ha involucrado ensayos de laboratorio y seguimiento periódico de los puentes instalados en diferentes condiciones ambientales.

Aunque se han observado algunos cambios en la tensión previa, estos han sido relativamente menores cuando las láminas de madera estaban secas (menos de contenido de humedad del 19 por ciento) en el momento de la construcción. Cuando la madera no es secada al momento de la construcción, algunos puentes han demostrado un aumento en la pérdida de pretensado.

Cuando la madera con un contenido de humedad por encima del 19 por ciento se utiliza, puede ser necesaria una tensión adicional de los elementos hasta que la cubierta de madera alcance el contenido de humedad de equilibrio.

3.9.6 Deflexión de carga viva.

Las especificaciones AASHTO no incluyen criterios de diseño o directrices para deflexión de la carga viva en puentes de madera. Las recomendaciones dadas en este trabajo están basadas en la experiencia de campo y la práctica de diseño común y la consistencia con las recomendaciones dadas previamente para otro puente de madera. A pesar de que es muy recomendable que estas pautas deban seguirse para la máxima deflexión y un mejor rendimiento, que según los criterios de desviación deben estar con base en las circunstancias específicas de diseño se dejan a criterio del diseñador.

3.10 Procedimientos de diseño

Los procedimientos básicos de diseño para las cubiertas del sistema de tablero pretensado, se describen en los siguientes pasos. La secuencia de los procedimientos asume que el espesor de la cubierta se basa inicialmente en flexión, después se comprueba para la deflexión. En muchas aplicaciones, la deflexión controlará; sin embargo, el nivel aceptable de deflexión puede variar para diferentes aplicaciones de diseño.

El orden de los procedimientos puede ser reorganizado de la siguiente forma.

3.10.1 Definir la geometría de la plataforma y las cargas de diseño:

- a. Definir los requisitos geométricos para la plataforma del puente, el ancho y el número de carriles para el tráfico de diseño. El lapso de cubierta eficaz(L), es la distancia medida de centro a centro de los apoyos. El ancho de la cubierta es el ancho de la calzada, más ancho adicional requerida para acera y barandilla según se requiera
- b. Identificar los vehículos de diseño (incluyendo sobrecargas), otras cargas aplicables y combinaciones de carga AASHTO.

3.10.2 Seleccionar una especie, el grado de laminación y calcular los valores permisibles de diseño.

Para la superestructura del sistema de tableros pretensados los cuales se construyen normalmente como viguetas y con una clasificación de acuerdo con los tamaños de los tableros (2 a 4 pulgadas de espesor, 5 pulgadas y más).

Los grados de madera clasificada visualmente son, por lo general N° 2, o mejor para el material nominal, de 2 pulgadas y No. 1, o mejor, para el material nominal, de 4 pulgadas.

Seleccionar una especie y grado de la madera de construcción y los valores de diseño admisibles de flexión (F_b'), módulo de elasticidad (E') y la compresión perpendicular a la fibra (F_c'). También se pueden aplicar las siguientes fórmulas para diseño:

$$F_b' = F_b C_m C_{Is} \quad (3-1)$$

$$E' = E C_m \quad (3-2)$$

$$F_c' = F_c C_m \quad (3-3)$$

donde:

C_m = Factor de contenido de humedad

C_{Is} = factor de carga compartida (1.30 para el grado madera estructural seleccionada, 1.50 para madera clasificada número 1 ó 2).

3.10.3 Determinar el diseño preliminar de laminación.

El diseño para las cubiertas de madera con el pretensado laminar depende de la configuración de las laminaciones y la frecuencia de las juntas a tope. Las juntas a tope crean discontinuidades en la cubierta por ende, como consecuencia, la rigidez de cubierta longitudinal se reduce.

La decisión de utilizar a tope como sistema articulado y su frecuencia relativa, depende de la disponibilidad, economía y de los tamaños de la madera y deben ser evaluados sobre una base específica del sitio.

3.10.4 Calcular los módulos transversales para el sistema.

Además de los valores de diseño de materiales, el diseño de la cubierta con el sistema, se debe considerar el módulo de flexión transversal, (E_{ts}) y el módulo de cortante transversa (G_{TS}) del sistema de postensión de los tableros.

Estos valores se derivan a partir de datos de investigación sobre el comportamiento de la cubierta pretensada y dependerá de cada especie de madera para la elaboración del laminado y el nivel de tensión previa (el mínimo nivel de tensión previa necesaria para un rendimiento aceptable de la cubierta).

$$E_{ts}=0.013 (E') \quad (3-4)$$

$$G_{TS}=0.03(E') \quad (3-5)$$

3.10.5. Calcular el máximo momento de carga del vehículo.

Para el cálculo de los momentos de los puentes de una vía, se han estudiado predeterminadamente para vehículos estándar y AASHTO por el servicio forestal de los Estados Unidos, los cuales se encuentran en la sección de anexos.

Para los puentes de dos vías, se debe realizar los cálculos para los controles de cargas de las cubiertas por utilizar mediante el análisis de la cubierta como una viga continua.

3.10.6 Cálculo de amplitud de la distribución de la rueda de carga.

Las cubiertas con la pretensión laminado están diseñadas bajo la hipótesis de que una rueda de diseño de la línea del vehículo se da sobre una distribución de anchura de la carga, (D_W). El valor de (D_W) se basa en el comportamiento ortotrópico del material y es un poco más grande para las cubiertas con juntas donde se topen seguidamente, debido al menor sentido longitudinal causada por las juntas de rigidez. Este efecto depende de la frecuencia y se expresa por un factor de unión a tope, C_B , Dado en la Tabla 6.

Determinación del valor (D_W):

$$\alpha = \frac{2Grs}{\sqrt{E' (Cb)(Ers)}} \quad (3-6)$$

$$\theta = \frac{b}{2L} \left[\frac{E'(Cb)}{Ets} \right]^{0.25} \quad (3-7)$$

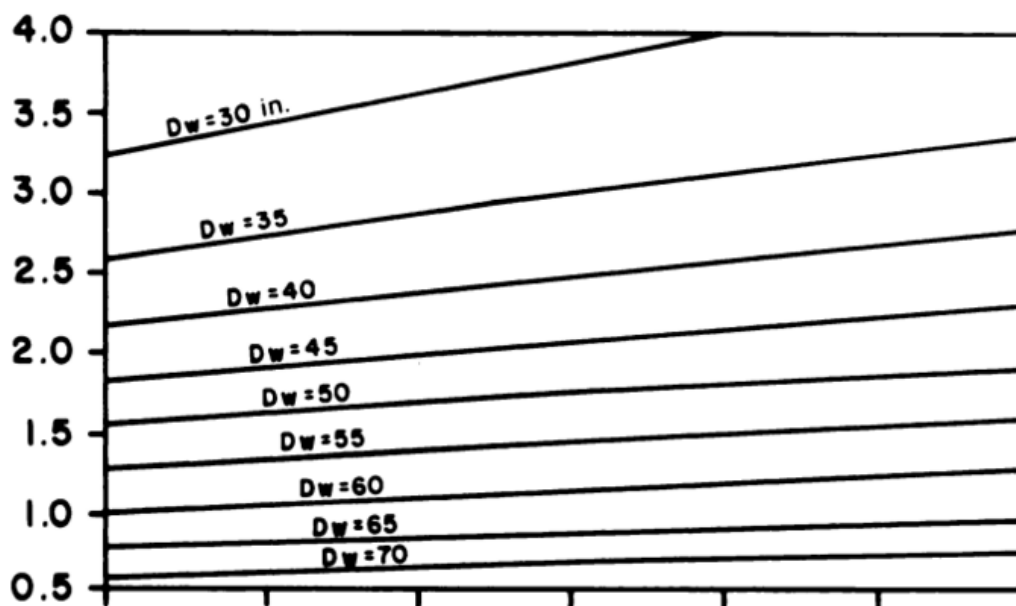
Tabla 6. Factor (Cb) para determinar las juntas adyacentes de acuerdo con cada laminación.

Frecuencia de junta en el extremo	Cb
1 en 4	0.80
1 en 5	0.85
1 en 6	0.88
1 en 7	0.90
1 en 8	0.93
1 en 9	0.93
1 en 10	0.94
No hay juntas de uniones	1.00

(1 en 4 indica que una junta a tope se produce en 4 laminaciones adyacentes)

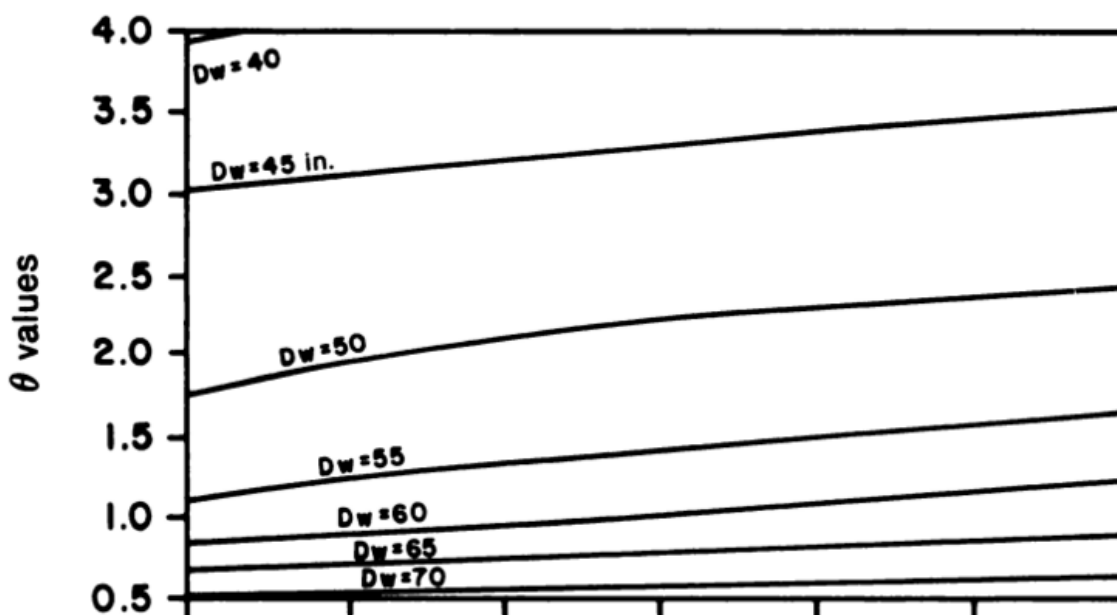
Fuente: Ritter

Gráfico de curvas 3. Diseño de Puentes para 1 vía
Valores α



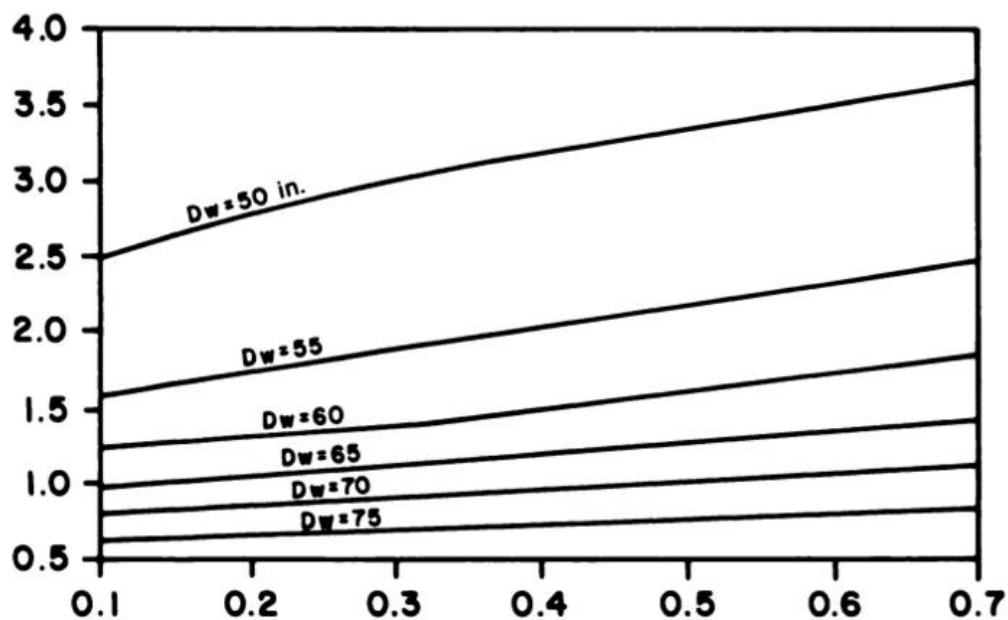
Fuente: Ritter

Gráfico de curvas 4. Diseño de puentes para 2 vías
Valores α



Fuente: Ritter

Gráfico de curvas 5. Diseño de Puentes para 4 Vías



Fuente: Ritter

Gráficos para determinar la amplitud de la distribución de la carga de la rueda (ADE) para el corte longitudinal de los tableros del sistema de puentes de pretensión-laminar.

donde:

G_{TS} = módulo de corte transversal del sistema de estrés laminada
(Lb / in^2).

E' = módulo de elasticidad permitida para la zona curva de las laminaciones (lb / in^2).factor de articulación

CB = Factor de articulación del tope de las piezas laminadas de la Tabla 3-1,

ETS = módulo de elasticidad transversal para la pretensión del sistema (lb / in^2),

b = ancho de la cubierta, medida de entre los bordes exteriores de la cubierta (Ft)

L = longitud de cubierta, medida de centro a centro de los apoyos (ft).

La amplitud de la distribución, DW, no debe ser mayor que el ancho del puente dividido por el número total de líneas de ruedas, suponiendo dos líneas de rueda equivalen a una línea del gráfico para el diseño (ft).

3.10.7 Estimación de la longitud de fijación y cálculo de las propiedades sección de la cubierta eficaz.

El espesor de la cubierta debe estimarse para los cálculos iniciales.

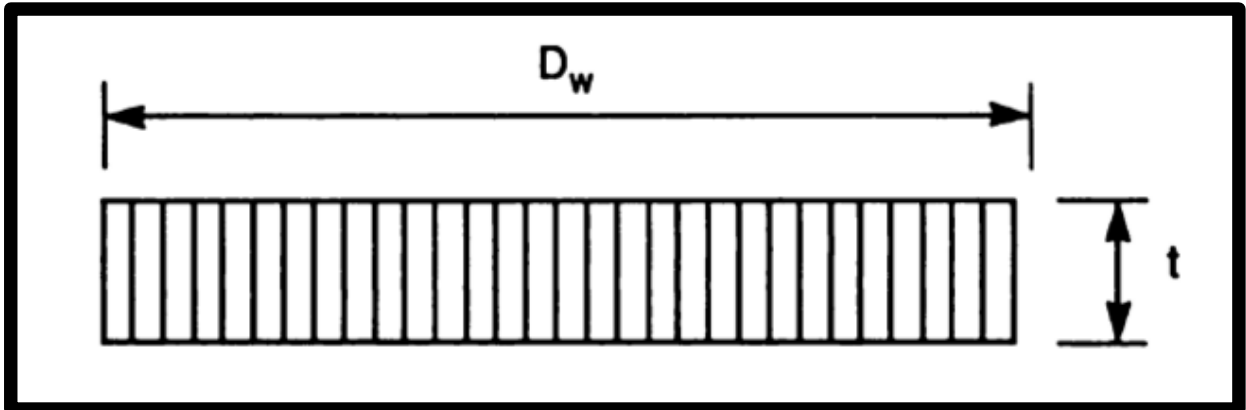
Se selecciona un grosor inicial de la cubierta, (t), y se calculan las propiedades de sección efectiva de la platina utilizando las ecuaciones 3-8 y 3-9 a continuación (tenga en cuenta que es DW ajustado por CB). Cuando el diámetro del agujero en laminaciones de la post-tensión las barras que sean menores que o igual a 20 por ciento del espesor de la cubierta, los agujeros pueden ser ignorados, cuando se calculan las propiedades de sección. Cuando el diámetro del agujero excede el 20 por ciento del espesor de la cubierta, el área del agujero debe deducirse de la sección efectiva de la cubierta.

Tabla 7. Aproximación de luces máximas para la pretensión laminada, para efectos de estimar la longitud de fijación.

	Aproximación Espacio Máximo (ft)	Aproximación Espacio Máximo (ft)
espesor de la cubierta (in)	Puentes de 1 vía	Puentes de 2 vías
7-1/4	14	14
8	17	17
9-1/4	22	21
10	24	23
11-1/4	25	24
12	27	26
13-1/4	31	29
14	33	31
15-1/4	37	35
16	39	37

Fuente: Ritter

Figura 11. Distribución de carga vs Ancho de la tabla de madera



Fuente: Ritter

$$S = \text{Módulo de sección} = \frac{D_w(C_b)(t)^2}{6} \quad (\text{in})^3 \quad (3-8)$$

$$I = \text{Momento de inercia efectiva} = \frac{D_w(C_b)(t)^3}{12} (\text{in})^4 \quad (3-9)$$

3.10.8 Calcular la cubierta de carga muerta y el momento de la carga muerta.

Calcular la carga muerta uniforme, (D_L), de la cubierta y la superficie de desgaste en libras por pie cuadrado (lb/ft²) utilizando los materiales para pesos unitarios. Los valores típicos de (D_L) para cubiertas con asfalto o superficies de madera de desgaste se detallan a en la Tabla 8. A partir de esto, determinar la carga muerta uniforme que actúa sobre (D_w) por pie de la amplitud de la cubierta.

Cuando la cubierta está provista de bordillos, barandillas, u otros componentes conectados al mismo, la carga muerta de estos componentes es asumida para ser distribuidas uniformemente a través de todo el ancho de la cubierta.

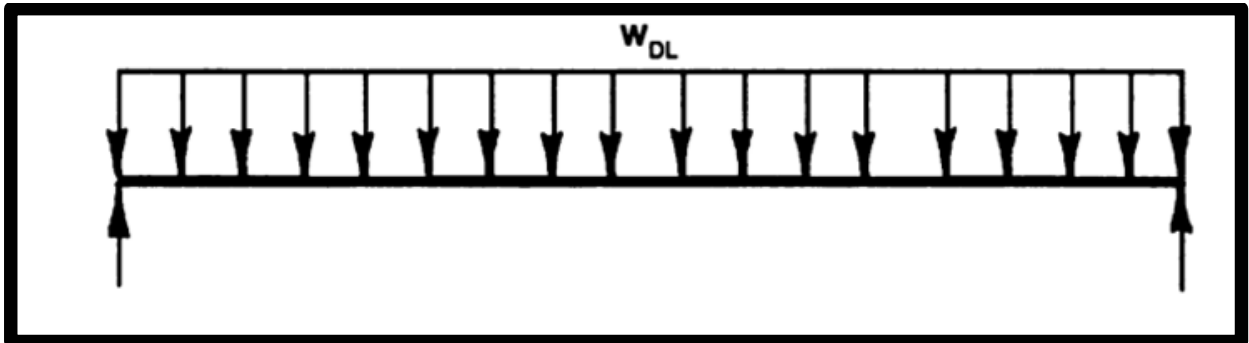
Los momentos de carga muerta para las cubiertas de grandes luces sencillas con cargas uniformes se calculan con la Ecuación 3-10:

Tabla 8. Pesos unitarios de carga muerta ordinaria para la madera laminada con tableros de pretensión.

	Carga muerta (lbs/ft²)	Carga muerta (lbs/ft²)	Carga muerta (lbs/ft²)
espesor de la cubierta (in)	Solamente la cubierta	Cubierta con 3in de asfalto en la superficie	Cubierta con 3in de madera en la superficie
7-1/4	30.2	67.7	42.7
8	33.3	70.8	45.8
9-1/4	38.5	76.0	51.0
10	41.7	79.2	54.2
11-1/4	46.9	84.4	59.4
12	50.0	87.5	62.5
13-1/4	55.2	92.7	67.7
14	58.3	95.8	70.8
15-1/4	63.5	101.0	76.0
16	66.7	104.2	79.2

Fuente: Ritter

Figura 12. Reacciones en la estructura



Fuente: Ritter

$$M_{dl} = \frac{W_{dl}(L)^2}{8} \quad (3-10)$$

donde:

M_{dl} = momento máximo de carga muerta (ft-lb),

W_{dl} = carga muerta uniforme sobre la distribución de la carga del ancho de la rueda, D_w , por pie de tramo de cubierta (lb / pie).

L = longitud del tramo de puente (ft).

3.10.9 Calcular el esfuerzo de flexión.

El esfuerzo de flexión de la cubierta se calcula dividiendo la suma de la carga viva máxima y la carga muerta de los momentos de flexión por la sección de cubierta del módulo efectivo.

$$fb = \frac{M}{S} \quad (3-11)$$

donde:

$M_{dL}+M_{LL}$, la suma del momento máximo de carga muerta y el máximo momento de carga en viva, desde la línea de una de las ruedas del vehículo de diseño (in-lb).

S = Módulo de sección efectiva de la cubierta. Ecuación 3-8 (in)³

El esfuerzo de flexión aplicado no debe superar la fuerza de tensión admisible para la especie y del grado de laminación de madera seleccionados, calculado por:

$$fb \leq Fb' \quad (3-12)$$

La fuerza de tensión admisible se puede aumentar por un factor de 1,33 para sobrecargas según AASHTO para cargas del Grupo IB.

Si $fb \leq Fb'$, la cubierta cumple satisfactoriamente en flexión. Si fb es sustancialmente menor que Fb' , una cubierta más delgada o material de baja calidad pueden ser más económicas; sin embargo, es recomendable no realizar cambios en el espesor de la cubierta o grado de la madera, se deben hacer hasta después de que esté calculada la desviación de la carga viva.

Si $fb \leq Fb'$, no cumple pues la cubierta es insuficiente en flexión se debe aumentar el espesor inicial de la cubierta o calidad de la madera (tabulada en el esfuerzo de flexión). En cualquier caso, la secuencia de diseño debe repetirse.

3.10.11 Control de la deflexión originada por la carga viva.

La deflexión de la carga viva se calcula mediante métodos estándar de análisis elástico para una línea de la rueda del vehículo de diseño. Debido a que la desviación es una capacidad de servicio según criterio del diseñador, se desea un método aceptable y con factores de seguridad.

El momento de inercia de la cubierta para el cálculo de desviación de la carga viva debe ser tomado como 1,33 veces esto por el comportamiento ortotrópico según los resultados del material.

La desviación de los coeficientes para cargas estándar AASHTO y sobrecargas seleccionados en vanos simples se dan en la Tabla Anexo 2. La desviación de la carga viva no debe exceder la deflexión permisible establecida para la estructura. Si la desviación supera un nivel aceptable, el espesor de la cubierta o el módulo de elasticidad se debe aumentar y la secuencia de diseño debe ser repetido.

No se especifican los criterios de deflexión de carga viva, recomendados para puentes de madera por AASHTO y la deflexión máxima permisible se deja a juicio del diseñador.

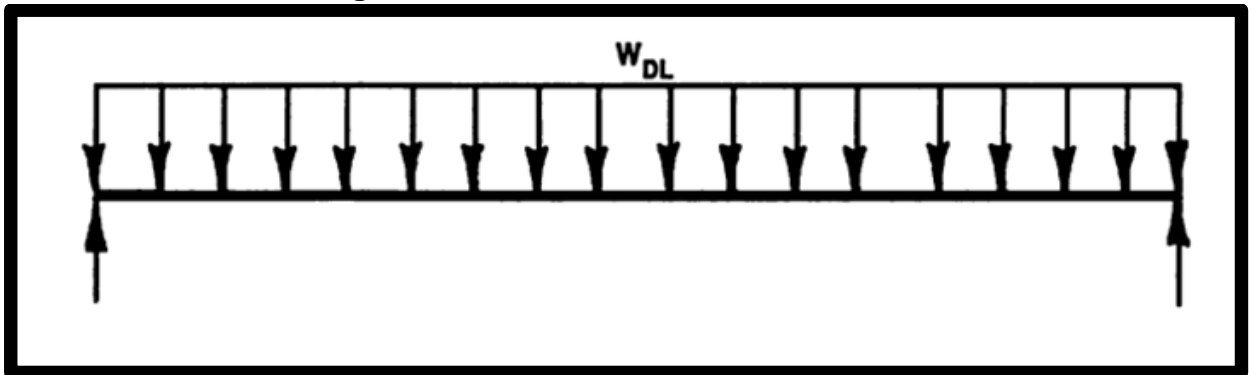
La deflexión de la carga viva máxima recomendada para una cubierta de estréslaminado con superficie de asfalto es de $L / 360$. Si la estructura está provista de una pasarela peatonal, se recomienda una nueva reducción de la carga viva en el cálculo de la deflexión para evitar los efectos dinámicos y la percepción humana del movimiento de la estructura. La aceptación de los valores de desviación superior a $L/360$ se dejan a discreción de los diseñadores y debe estar relacionado con la magnitud relativa de la deflexión y su efecto sobre el rendimiento global del puente.

3.10.12 Calcular desviación de la carga muerta y la contraflecha.

Para cubiertas de madera con pretensión laminada con juntas a tope, se recomienda que el puente se diseñe con contraflecha para compensar la flacidez causada por la fluencia a largo plazo de la estructura. La cantidad de curvatura depende de la carga muerta inicial y la deflexión resultante de la carga muerta uniforme que actúa sobre una anchura de la cubierta, D_w . Para una cubierta sencilla de envergadura, la desviación de la carga muerta se calcula mediante la Ecuación 3-

13:

Figura 13. Reacciones en la estructura



Fuente: Ritter

$$\Delta dl = \frac{5W_{DL}(L)^4}{384E'I} \quad (3-13)$$

Donde

Δdl = Desviación de la carga muerta (pulg.)

W_{DL} = carga muerta uniforme sobre la distribución de la plataforma por efecto de la rueda, DW , (lb / in).

L = longitud de la cubierta (pulg.).

I = momento efectivo de inercia de la Ecuación 3-9 ($(in)^4$).

La cantidad de curvatura por colocar en el diseño de la cubierta en el debe ser un mínimo de dos veces y, preferiblemente tres veces, la cubierta calculada en la desviación de la carga muerta.

3.10.13 Determinar el nivel de tensión previa requerida.

El nivel de tensión previa de compresión entre las láminas debe ser suficiente para compensar la tensión de tracción por flexión causada por el momento transversal y el deslizamiento causado por esfuerzo cortante transversal.

Para el diseño de la cubierta laminada de postensión, el nivel de tensión uniforme previa debe ser determinado por dos condiciones; en servicio y en la instalación.

El nivel de tensión previa en el servicio representa el pretensado a compresión mínima requerido para el desempeño adecuado de la cubierta, suponiendo todas las pérdidas de pretensado que se relacionan con el tiempo.

El nivel de tensión previa a la instalación, es la cantidad de tensión previa que debe ser introducido en la cubierta.

Niveles de pretensado de compresión apropiada dependen de la magnitud de la flexión transversal y cortante transversal de las cargas aplicadas. Los valores para ambas fuerzas se determinan a partir de curvas basadas en el comportamiento de la cubierta del material ortotrópico y la respuesta de la carga aplicada de las ruedas.

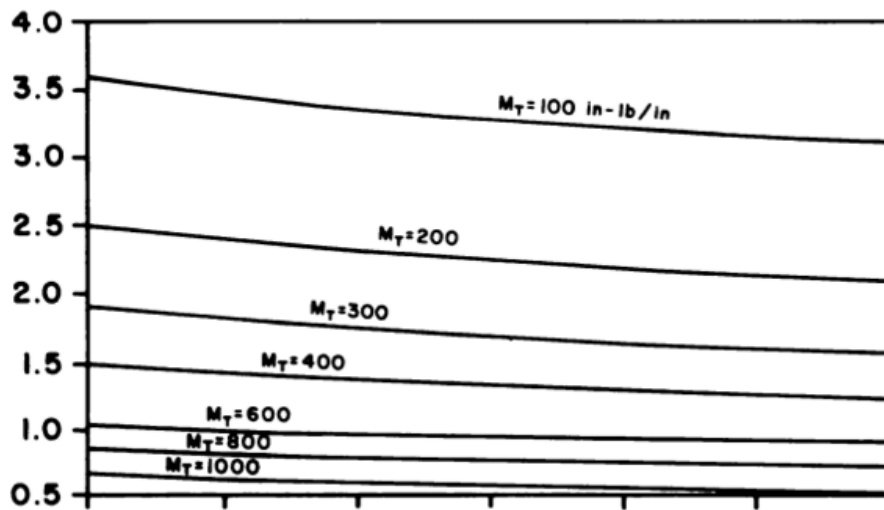
La magnitud de flexión transversal, el momento, M_T , se obtiene del gráfico de curvas 4,5 y 6, utilizando los valores de α y θ , según ecuaciones 3-6 y 3-7.

El cortante transversal es determinado con el gráfico de curvas 7, usando la fórmula siguiente y el parámetro B :

$$B = \pi \left(\frac{b}{L} \right) \sqrt{\frac{E'(Cb)}{2Gr_s}} \quad (3-14)$$

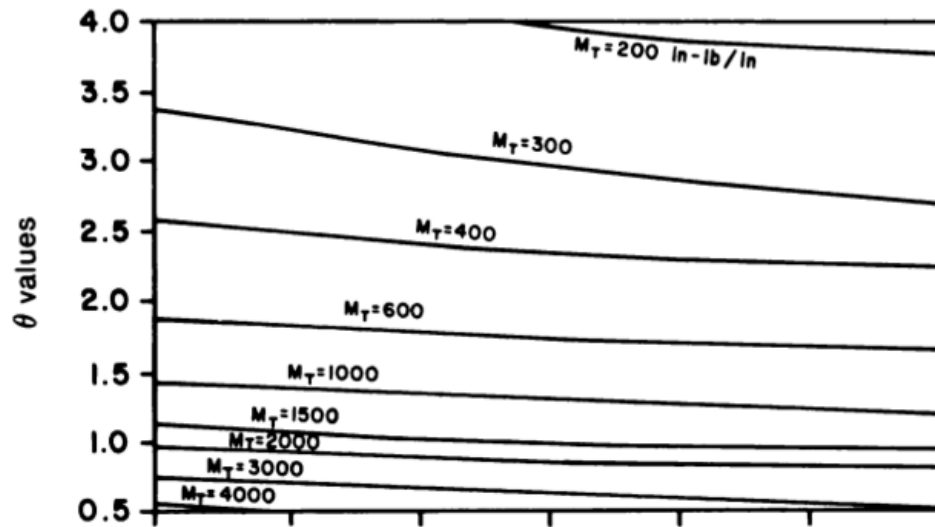
Los valores de M_T y V_T obtenidos a partir de los siguientes gráficos se basan en un HS 20-44, para camiones con una carga de rueda de 16.000 libras.

Gráfico de curvas 6. Diseño de puentes, de 1 vía



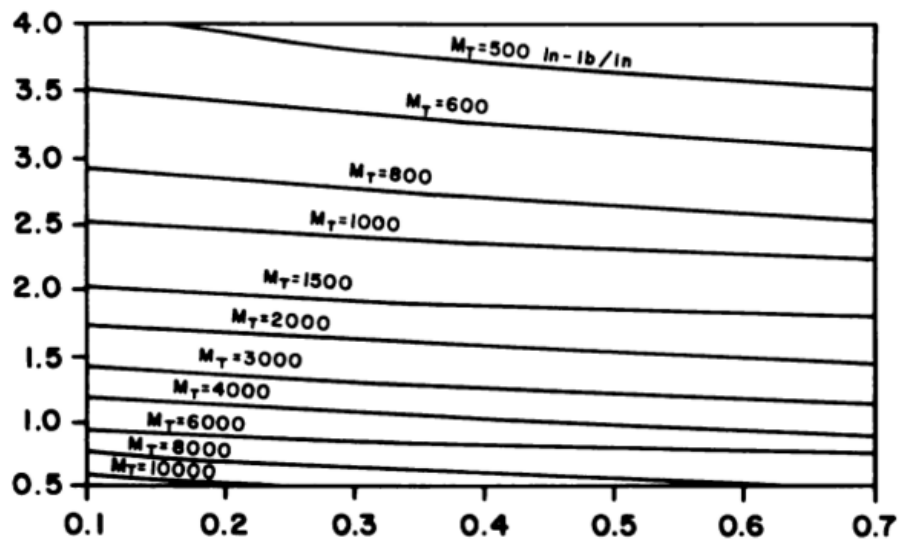
Fuente: Ritter

Gráfico de curvas 7. Diseño de puentes, de 2 vías



Fuente: Ritter

Gráfico de curvas 8. Diseño de puentes, 4 vías



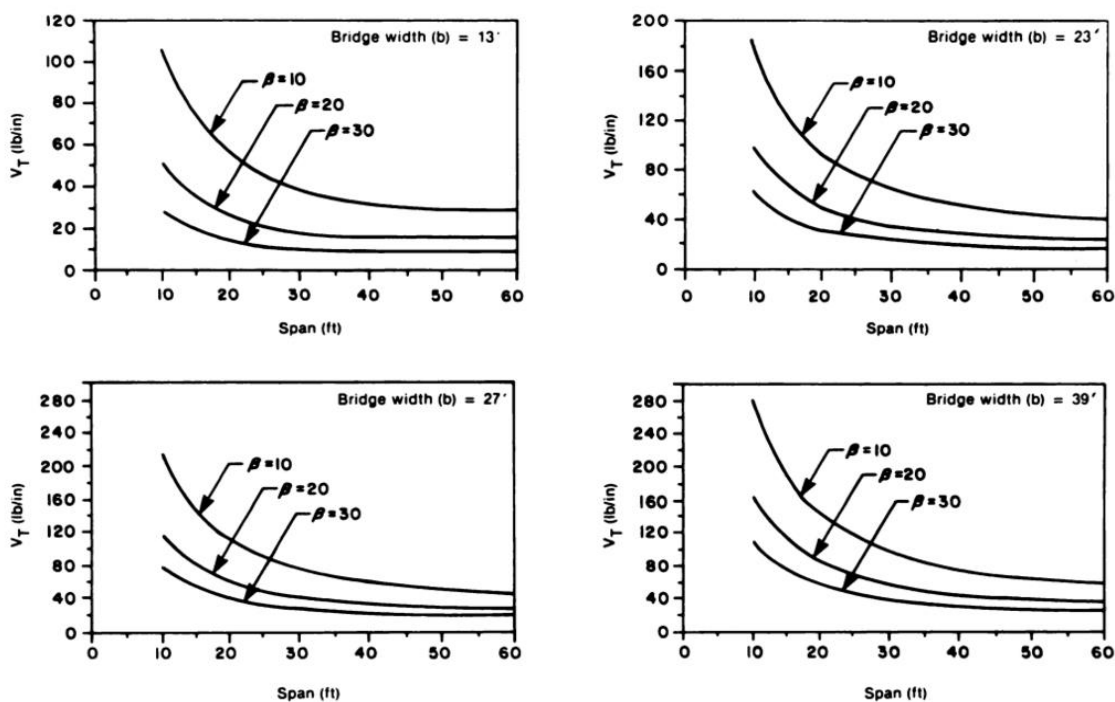
Fuente: Ritter

 α valores

Gráficos para determinar la magnitud de la flexión transversal (MT) para el corte longitudinal de los tableros para puentes

Los gráficos se basan en el vehículo de diseño HS 20-44 con carga máxima de 16.000 libras. Para otras cargas de las ruedas, se multiplica el valor de la gráfica de M_t por la relación de carga de la rueda de diseño de 16.000 libras.

Gráfico de curvas 9. Magnitud del cortante transversal (V_T) para los tableros de los puentes de post-tensión longitudinales.



Fuente: Ritter

Los gráficos se basan en un vehículo HS 20-44 con una carga máxima de 16.000 libras. Para otras cargas de las ruedas, se multiplican el valor gráfico de la V_T por la relación de carga de la rueda del diseño a un 16,000-lb en la carga de la rueda. Se debe utilizar la interpolación y / o extrapolación para los valores según B .

El nivel mínimo de tensión previa de compresión uniforme en el servicio, N , es el mayor valor obtenido a partir de las siguientes ecuaciones, pero no menos de 40 lb/in².

$$N = \frac{6Mt}{t^2} \text{ o } N = \frac{1.5Vt}{t(u)}, \quad \text{la que sea mayor} \quad (3-15)$$

$$N \geq 40 \text{ lb/in}^2 \quad (3-16)$$

donde:

N = tensión uniforme mínima, previamente a la compresión en el servicio

(Lb / in²),

t = espesor de la cubierta (pulg.),

M_T = magnitud de la flexión transversal aplicada por la carga de rueda (in-lb / in)

V_T = magnitud de cortante transversal, de carga de las ruedas aplicadas

(Lb / in).

U = Coeficiente de fricción (0,35 para cepillada (S4S), 0,45 para la madera aserrada áspera-vs madera que está en la superficie de un lado (S1S)).

Durante la vida útil del puente, las pérdidas relacionadas con el tiempo de fluencia son asumidos para reducir el nivel de tensión previa de compresión a 40 por ciento del nivel inicial en la instalación, (60 por ciento de pérdida de esfuerzo). Esta suposición se basa en la investigación y rendimiento en el campo de chapas de madera blanda que se trata adecuadamente con conservantes de tipo aceite y se instalan en un contenido de humedad del 19 por ciento o menos.

Para compensar la pérdida gradual de la tensión de 60 por ciento, el nivel uniforme de tensión previa en el momento de la instalación, N_i , debe ser mayor que o igual a 2,5 veces el nivel de pretensado mínimo requerido en servicio, según fórmula:

$N_i \geq 2.5N$

(3-17)

donde:

N_i es el nivel de tensión previa a la compresión uniforme requerido en el momento de instalación (lb / in²).

3.10.14 Determinar el espaciamiento, el tamaño de las barras y la fuerza necesaria de post-tensado.

Las barras de pretensado para las cubiertas, son de rosca laminada de alta resistencia de acero conforme a ASTM A 722, sin revestir de acero de alta resistencia.

Las varillas son de 5/8 pulgadas, 1 pulgada de diámetro o 1-1 / 4 pulgadas con propiedades que se muestran en la Tabla 9. El esfuerzo último mínimo especificado en la tracción de las barras de pretensado, FPU, es 150.000 lb/in². El máximo esfuerzo de tensión permisible, durante o después de anclaje, no puede superar el 70 por ciento de resistencia a la tracción (105.000 lb / in²). En el corto plazo, el máximo esfuerzo de tracción no puede exceder el 80 por ciento del esfuerzo último a la tracción (120,000 lb / in²).

El espaciamiento de las barras de pretensado, (S_p), debe ser suficiente para inducir a la pretensión requerida a compresión uniforme en las zonas adyacentes a la rueda del vehículo. Como se discutió previamente, la tensión previa a la compresión no es uniforme en el borde de la cubierta, pero se hace uniforme a cierta distancia interior. Por lo tanto, el espaciamiento de varilla depende de la colocación de carga de la rueda en relación con la cubierta en el borde.

Tabla 9. Propiedades de las barras de acero para pretensado, utilizados para la tensión de los tableros laminados de madera.

		carga máxima admisible de tracción (Lb) (a)	carga máxima admisible de tracción (Lb) (a)
Diámetro de Varilla (in)	Diámetro de área $A_s(\text{in}^2)$	en o después del anclaje (b)	durante la hinca (a corto plazo)) (c)
5/8	0.28	29 400	33 600
1	0.85	89 250	102 000
1-1/4	1.25	131 250	150 000

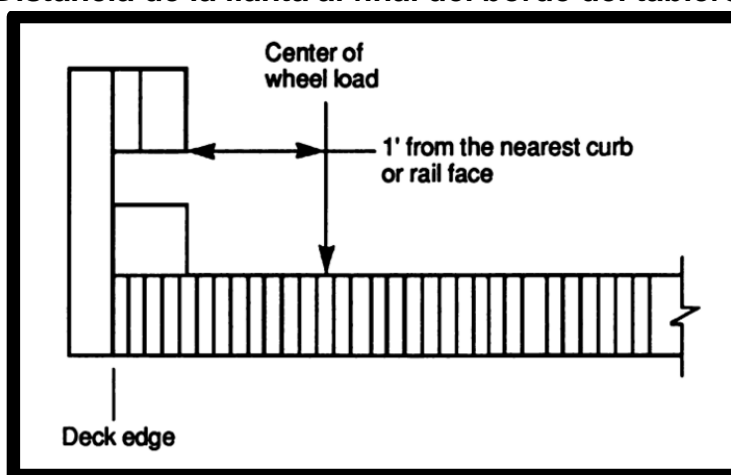
Fuente: Ritter

(a)= Para las barras conformes con la norma ASTM A722 con una resistencia a la tracción mínima especificada, f_{pu} , de 150 000 lb/in².

(b)= $0.70 f_{pu}A_s$

(c)= $0.80 f_{pu}A_s$

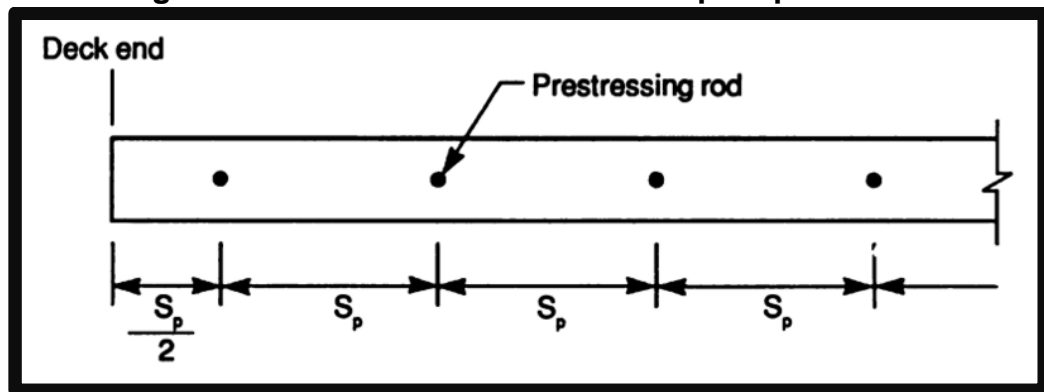
Figura 14. Distancia de la llanta al final del borde del tablero de madera.



Fuente: Ritter

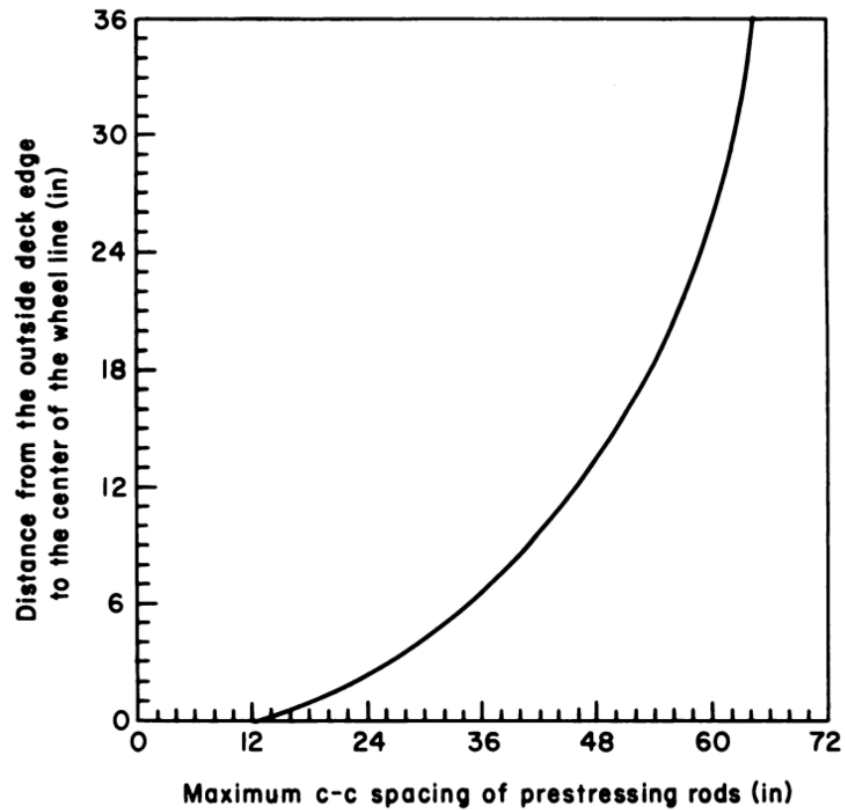
Se obtiene la separación máxima de las barras de pretensado usando la curva en la figura 14, con base en la distancia desde el borde exterior de cubierta hasta el centro de la carga de la rueda. La separación de la primera varilla desde el extremo de la cubierta es generalmente igual a la mitad de la separación de centro a centro.

Figura 15. Distribución de las varillas para pretensión



Fuente: Ritter

Gráfico de curvas 10. La separación máxima de las barras de pretensado en función de la distancia desde el borde de la cubierta exterior hacia el centro de la línea rueda del vehículo.



Fuente: Ritter

El tamaño de las barras de pretensado depende del nivel requerido de compresión post-tensado en la instalación, N_i , y el espaciado de barra, S_p . Además, el área de la varilla debe estar limitada de manera que la relación de la superficie de acero a la zona de la madera sea menos o igual a 0,0016, según fórmula:

$$\frac{N_i(S_p)(t)}{0.70(f_{pu})} \leq A_s \frac{A_s}{S_p(t)} < 0.0016A_s \quad (3-18)$$

donde:

A_s = área de sección transversal de la varilla de acero de pretensado (in^2),

N_i = nivel de tensión previa uniforme, requerida en el momento de la instalación (lb / in^2),

SP = espaciamiento de las barras de centro a centro de pretensado (in.),

t = espesor de la cubierta (pulg.).

P_u = la tensión mínima a la tracción última de la varilla pretensado, $150.000 \text{ lb} / \text{pulg}^2$.

Seleccione una separación de varilla y el diámetro, acorde con los requisitos máximos de espaciado y los requerimientos de área de acero de la ecuación 3-18.

La Barra de separación, también tener en cuenta posibles conflictos con otros componentes estructurales, tales como puestos de barandas,

Requisitos de espacio aproximados para diferentes diámetros de varilla y espesores de cubierta se dan en la Tabla 10.

La fuerza de post-tensado necesaria en cada varilla, F_{ps} , se calcula por:

$$F_{ps} = N_i(Sp)(t) \quad (3-19)$$

3.10.15 Diseño del sistema de anclaje.

El sistema de anclaje para las barras de pretensado debe sujetar de forma segura las barras y transferir eficazmente la fuerza de pretensado de las chapas de madera. Además, el anclaje debe ser de tamaño suficiente para evitar que la madera presente un excesivo aplastamiento en las laminaciones exteriores. Las dos configuraciones de

anclaje utilizados son: la de configuración del cojinete de la placa que se desarrolló en la UW / FPL y la del canal de configuración de cierre desarrollada en Ontario, Canadá.

Con la excepción de las barras de acero de alta resistencia y las muescas, componentes para ambos sistemas se fabrican, normalmente, de acero galvanizado (ASTM A 36) o acero corten (ASTM A 588).

La configuración de cojinete de la placa de anclaje puede resultar como madera localizada de trituración en la proximidad de las placas de apoyo que puede no ser aceptable en todos los casos. La configuración de los canales de cierre cubre las laminaciones exteriores con un canal de acero y cualquier trituración de madera no es visible; sin embargo, el mamparo de canal es más costoso. Los procedimientos de diseño para ambas configuraciones se presentan a continuación. La elección de la más apropiada para el sistema se deja a criterio del diseñador, basado en los requerimientos específicos del proyecto.

Tabla 10. El espaciado máximo de varillas se basa en un nivel de tensión previa a la compresión uniforme de 100 lb / pulg².

Espaciamiento de diámetros (in)						
T(in)	5/8 (in) Diám. de Varilla		1 (in) Diám. Varilla		1 -1/4 Diám. Varilla	
	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín
7 – 1/4	41	24	-	-	-	-
8	37	22	-	-	-	-
9 – ¼	32	19	-	-	-	-
10	29	18	89	53	-	-
11 – ¼	26	16	79	47	-	-

12	25	15	74	44	-	-
13 – ¼	-	-	67	40	99	59
14	-	-	64	38	94	56
15 -1/4	-	-	59	35	86	51
16	-	-	56	33	82	49

Fuente: Ritter

El espacio mínimo de varillas se basa en una relación máxima de (madera / acero) de 0,0016.

3.10.16 Configuración de la placa de anclaje

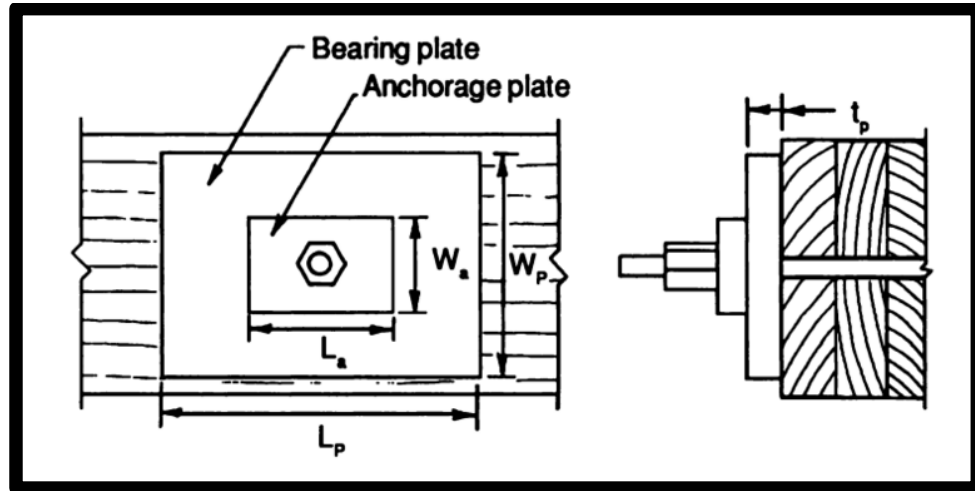
El anclaje de la placa de soporte se compone de una placa de apoyo de acero interior, una placa de anclaje exterior de acero y una tuerca de acero de alta resistencia (Figura 16).

El Diseño de este anclaje principalmente implica la determinación de la longitud, el ancho y el espesor de la placa de apoyo interior. Para la placa de anclaje exterior se utiliza lo que comúnmente dispone el mercado de la varilla y, normalmente, está estandarizado (por fabricante) (Tabla 11).

El área de la placa de soporte debe ser suficiente para limitar la tensión de compresión debajo de la placa a la compresión permisible perpendicular al grano para las laminaciones de la madera y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A_p \geq \frac{F_{ps}}{F_{C \perp'}} \quad (3-20)$$

Figura 16. Configuración del anclaje de cojinete de la placa.



Fuente: Ritter

Tabla 11. Tamaños de diámetros típicos de la varilla de pretensión para las placas de anclaje.

diámetro de la varilla de postensado (in)	Dimensiones de la placa de anclaje(in) Ancho (W_A) x longitud (L_A) x grosor (t_A)	
	tamaño típico del plato	Tamaño alternativo de las placas
5/8	2x5x1	3x3x0.75
1	4x6.5x1.25	4x7x1
1-1/4	5x8x1.5	5x8x1.25

Fuente: Ritter

Los tamaños de las placas pueden variar y deben ser verificadas con el fabricante de la varilla para ver la posibilidad de especificar otras dimensiones para ser utilizadas por el diseñador para cumplir con los requerimientos específicos.

Donde:

A_P = área de la placa de apoyo (in^2),

F_{ps} = barra de fuerza de postensado, de la ecuación 3-19 (lb)

$F_{C \perp}$ = esfuerzo admisible en compresión perpendicular al gran para las láminas de madera (lb / in^2).

Además, la relación de la longitud de la placa de cojinete, el ancho no debe ser inferior de 1,0, o mayor que 2,0, según fórmula:

$$1 \leq \frac{L_p}{W_p} \leq 2 \quad (3-21)$$

donde:

L_P = longitud de la placa (pulg.)

W_P = ancho de la placa (pulg.).

Determinar un tamaño de placa de apoyo aceptable sobre la base de los requisitos de las ecuaciones 3-20 y 3-21, donde también se debe calcular la laminación de tensión, teniendo en consideración la compresión perpendicular al grano:

$$F_{C \perp} = \frac{F_{ps}}{A_p} \quad (3-22)$$

donde:

$F_{C \perp}$ = es la tensión aplicada a la compresión perpendicular al grano (lb / in^2).

Con base en el área de soporte de la placa y la tensión que lleva, se debe seleccionar un espesor para la placa de soporte para la pretensión que satisfaga la fórmula:

$$T_p = \sqrt{\frac{3(f_c +)(K^2)}{F_b}} \quad (3-23)$$

donde:

$$K = \frac{W_p - W_a}{2} \quad K = \frac{L_p - L_a}{2}, \text{ se escoge la mayor} \quad (3-24)$$

donde:

T_p = espesor de la placa de apoyo (pulg.)

$F_b = 0.55F_y$ = fuerza de tensión admisible para la placa de acero (Lb / in^2).

F_y = límite de fluencia mínimo especificado para la placa de acero (Lb / in^2), a partir de la AASHTO Tabla 10.2A (36.000 $\text{lb} / \text{pulg}^2$ para A36 acero y 50.000 lb / in^2 para el acero A588).

W_a = Ancho de anclaje de la placa (pulg.).

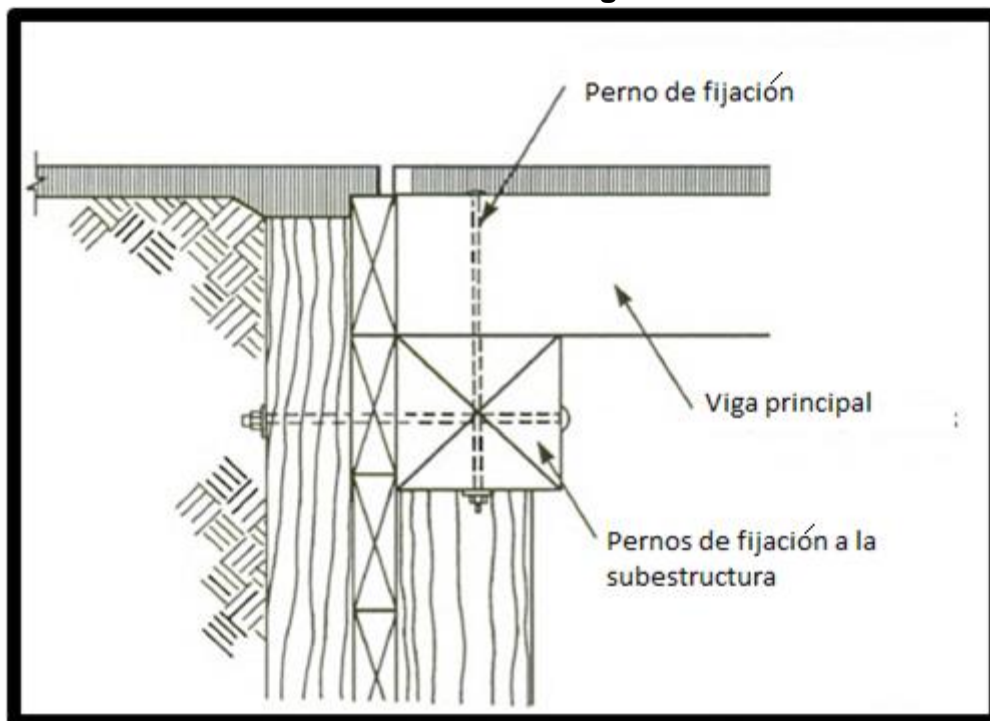
L_a = longitud de anclaje de la placa (pulg.).

Si el tamaño de la placa es aceptable y esta limita la compresión perpendicular al grano a por un valor permitido que no puede ser alcanzado o si el espesor de la placa es excesivo, el espaciado de barra debe ser disminuido y el diseño de anclaje debe repetirse.

3.10.17. Determinar la configuración de soporte y comprobar la tensión de la placa de soporte para la pretensión.

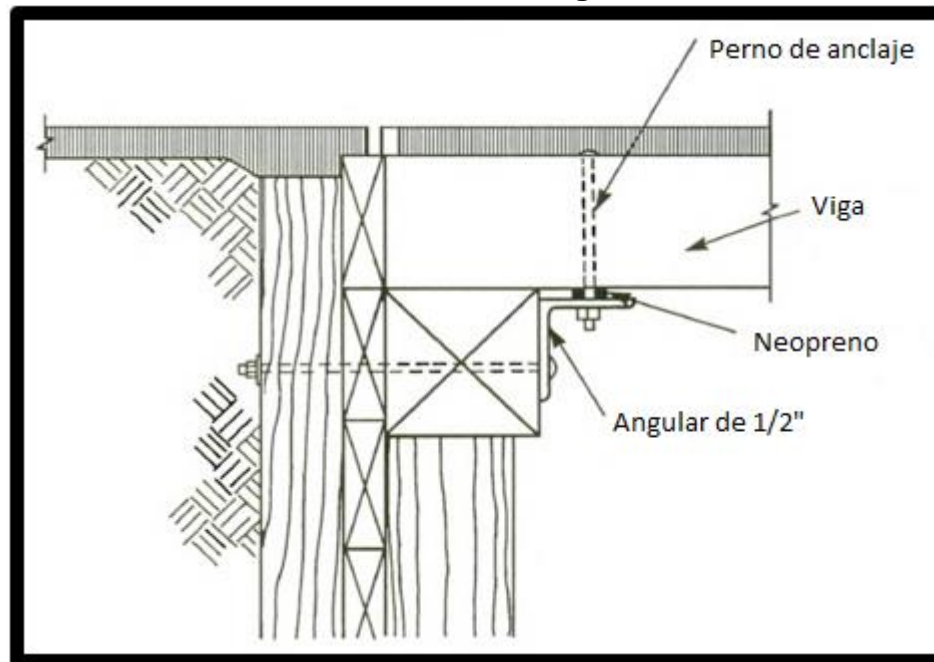
Los elementos para la fijación en los apoyos de las cubiertas de tablero pretensado se deben diseñar para resistir las fuerzas verticales y laterales transmitidas desde la superestructura a la subestructura. Desde un punto de vista práctico, una longitud de apoyo de 25cm a 30cm es la más recomendada para las cubiertas de pretensión laminado. Las fijaciones a los apoyos son normalmente realizados a través de la cubierta de la tapa o el travesaño de apoyo o de la parte inferior de la cubierta.

Figura 17. Configuraciones típicas de fijación a los apoyos para las cubiertas de madera laminada longitudinales.



Fuente: Ritter

Figura 18. Configuraciones típicas de fijación a los apoyos para las cubiertas de madera laminada longitudinales.



Fuente: Ritter

La compresión perpendicular a la fibra en la placa de soporte está marcada por un ancho de la cubierta igual al ancho de distribución de carga de la rueda, DW , usando:

$$F_{C \perp} = \frac{R_{DL} + R_{LL}}{D_w(l_b)} \quad (3-25)$$

R_{DL} = Reacción de la carga muerta por un (D_w) ancho de la cubierta, con base en la longitud del puente de extremo a extremo (l_b),

R_{LL} = reacción máxima producido por una línea de la rueda del vehículo de diseño, de la Tabla anexo 16-8 (l_b).

l_b = longitud de apoyo (in).

Derivadas de la ASSTHO (3.25.3.2)

La compresión perpendicular al grano no debe exceder la permitida por la compresión para cada especie y su grado de laminación, según:

$$f_{c \perp} \leq F_{c \perp}' \quad (3-26)$$

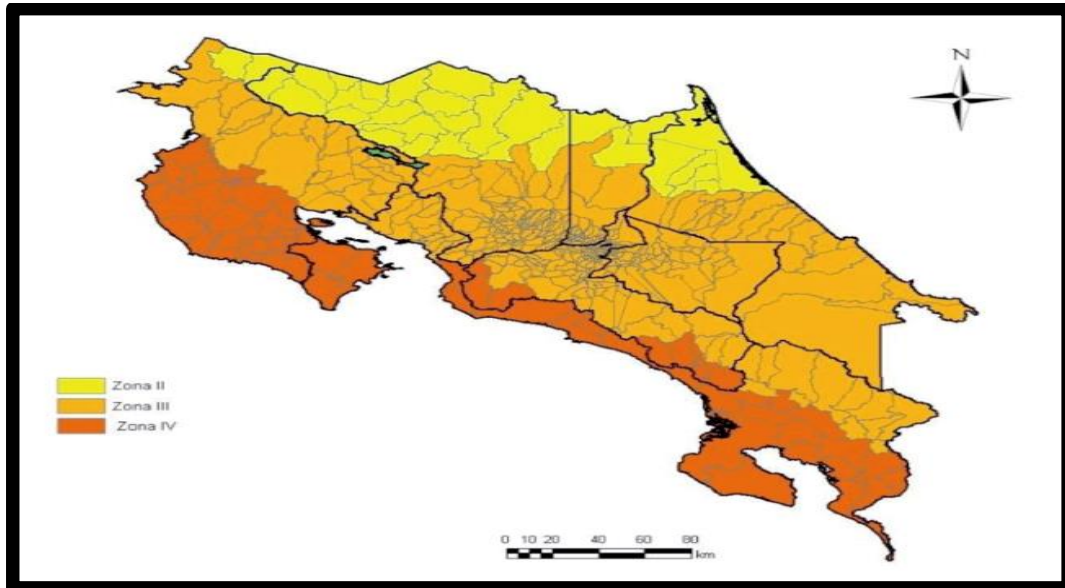
3.11 Diseño sismorresistente

Este procedimiento de diseño es aplicado para determinar el tipo de cimentación por seguir para la estructura, desde luego permite diseñar y evaluar el tipo de bastión que se requiera para el sitio específico donde se requiera colocar una estructura de puente.

Costa Rica cuenta con los lineamientos para el diseño sismo resistente de puentes y el código señala que la demanda sísmica en determinado sitio, tiene que ser caracterizada mediante un espectro de respuesta de aceleraciones y estas se dividen en todo el territorio nacional en tres zonas.

3.11.1 Influencia del sitio de cimentación

De acuerdo con los lineamientos se definen y caracterizan cuatro tipos de sitios geotécnicos (S1, S2, S3 y S4). Un quinto tipo se reserva para los casos en que se requiera un estudio de respuesta dinámica (S5).

Mapa 4. Zonas de amenaza sísmica

Fuente: Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes.

3.11.2 Tipos de sitio de cimentación

La clasificación de un sitio de cimentación debe estar basada en una investigación geotécnica que determine como mínimo la estratigrafía del perfil de suelo y los parámetros necesarios de los materiales listados en las tablas 2.3-1 y 2.3-2, según sea la importancia del puente y las características del sitio.

Cuadro 1. Clasificación del sitio geotécnico de cimentación con base en la velocidad de onda cortante.

Sitio geotécnico de cimentación	Perfil estratigráfico	Velocidad de onda cortante promedio ponderada en los 30 m superficiales (\bar{v}_s)
S_1	Roca	$760 \text{ m/s} < (\bar{v}_s)$
S_2	Suelo muy denso y roca suave	$360 \text{ m/s} < (\bar{v}_s) \leq 760 \text{ m/s}$
S_3	Suelo rígido	$180 \text{ m/s} < (\bar{v}_s) \leq 360 \text{ m/s}$
S_4	Suelo suave	$(\bar{v}_s) < 180 \text{ m/s}$
S_5	Sitios que requieren de una evaluación específica de la respuesta sísmica según la investigación preliminar	
\bar{v}_s = velocidad de onda cortante promedio ponderada para los 30 m superiores del perfil de suelo como está definida en el inciso 2.3.2		

Fuente: Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes.

Cuadro 2. Clasificación del sitio geotécnico de cimentación con base en la resistencia del medio

Sitio geotécnico de cimentación	Número de golpes de la prueba SPT, promedio ponderado de los 30 m superficiales (N)	Resistencia al corte no drenada, promedio ponderado de los 30 m superficiales (\bar{S}_u)
S_2	$50 \leq (N)$	$100 \text{ kPa} < (\bar{S}_u)$
S_3	$15 \leq (N) < 50$	$50 \text{ kPa} < (\bar{S}_u) \leq 100 \text{ kPa}$
S_4	$(N) < 15$	$(\bar{S}_u) \leq 50 \text{ kPa}$
S_5	Cualquier perfil con estratos de turba o suelo altamente orgánico con espesor mayor de 3.0 m, arcilla de plasticidad muy alta ($IP > 75$) con espesor mayor de 7.5 m o arcilla suave o de mediana rigidez con espesor mayor de 30 m	

Fuente: Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes.

donde:

N = número de golpes por cada 300 mm de la prueba de penetración estándar (ASTM D 1586), promediado y ponderado para los 30 m superiores del perfil de suelo, corregido por eficiencia energética, como se establece en la tabla 3-10.

su = resistencia al corte no drenada en kPa (ASTM D 2850 o D 2166) promediada y ponderada para los 30 m superiores del perfil de suelo, como se establece en la tabla 3-10

IP = índice de plasticidad (ASTM D 4318)

3.12 Acero preesforzado Según CR-2010.

3.12.1 Barras de alta resistencia a la tensión, AASHTO M 275M tipo II.

El acero de preesfuerzo se debe proteger de daños o corrosión durante el envío o almacenamiento. Se debe usar un protector de corrosión que no produzca daños al acero, al concreto o a la adherencia del acero con el concreto. Se reemplazará cualquier empaque dañado.

El empaque se marcará con una advertencia de que contiene acero de alta resistencia para preesfuerzo, se deberá indicar el tipo de protector contra corrosión usado que incluya la fecha de colocación. Se marcarán el lote y el empaque para su fácil localización.

Se entregarán previamente al Contratante, muestras representativas de los cables y torones de las piezas fabricadas fuera de la obra. En el caso de cable o torón, puede tomarse una muestra de la bobina madre. Las muestras serán como sigue:

(a) Para pretensado. Una muestra de por lo menos dos metros de longitud, de cada torón, de cada dimensión y de cada bobina.

(b) Para postensado. Muestras de las siguientes longitudes:

(1) Para alambre o cable que requiera cabeceo, 5 metros.

(2) Para alambre que no requiera cabeceo, suficiente longitud para hacer un grupo de hilos paralelos similar al cable que se va a fabricar, de 1,5 metros por grupo.

(3) Para torones que se fabrican con accesorios finales, 1,5 metros entre los herrajes o accesorios finales.

(4) Para barras que se fabrican con finales roscados y tuercas, 1,5 metros entre las roscas finales.

CAPITULO IV
MARCO METODOLOGICO

4.1 Tipo de investigación.

4.1.1 Finalidad

Este proyecto, presenta una investigación de tipo aplicada, debido a que se pretende analizar y seleccionar una serie de materiales maderables óptimos para ser utilizados en estructuras de puentes; mediante la elaboración de planos constructivos que sirvan como estándar para que sean utilizados por diferentes instituciones, municipalidades, asociaciones de desarrollo y otras, garantizando al usuario que transita por las vías, ya sean nacionales o cantonales, un puente de fácil construcción y que utilice materiales de la zona.

Con el presente trabajo se analizó la información con la que cuenta el país actualmente en materia de legislación maderera y sus diferentes prohibiciones, al mismo tiempo se localizaron las maderas que cumpliesen con las características físico-mecánicas necesarias para ser utilizadas en los diseños de los puentes como por ejemplo: su dureza, inclinación del grano, dirección perpendicular y radial para procurar darle importancia a especies que cumplan con los planos del puente prototipo propuesto.

Con todo esto, la aspiración es poder aportar a las comunidades un sistema que satisfaga la inversión en sistemas de puentes a través de las instituciones encargadas de velar por la continuidad del área de la infraestructura, transporte público y comunicación entre los pueblos del país.

4.1.2 Enfoque sistemático

El presente proyecto se puede ubicar en un espacio de contextualización micro, debido a que se han seleccionado cuatro materiales para el análisis definitivo del problema planteado, con respecto a la construcción de planos estándar de madera para puentes de 11 metros y dar así una respuesta final con la mejor madera seleccionada, mediante técnicas teóricas y prácticas de diseño, referentes a la metodología de elaboración de una estructura

4.1.3 Naturaleza

La metodología de la investigación es la guía para la construcción de todo proyecto por elaborar, así se puede clasificar el proyecto mediante los paradigmas establecidos de la investigación.

Para Sampieri (2010), el método de investigación mixta implica un proceso de recolección y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos en un mismo estudio, o bien, una serie de investigaciones que responden al planteamiento de un problema.

Al proyecto se le ha dado un enfoque mixto, ya que logra una perspectiva más amplia y profunda del objeto de estudio.

4.1.4 Carácter

De acuerdo con Sampieri, (2010), el método de investigación mixta, el diseño exploratorio DEXPLOS, implica una fase inicial de recolección y análisis de datos cualitativos seguida por otra donde se recaban y analizan datos cuantitativos.

Para Sampieri, (2010) el DEXPLOS es utilizado cuando el investigador necesita desarrollar un instrumento estandarizado, porque las herramientas existentes son inadecuadas o no se puede disponer de ellas.

Recomienda que, en este caso, es útil usar un diseño exploratorio secuencial derivativo de tres etapas:

1. Recabar datos cualitativos y analizarlos.
2. Utilizar los resultados para construir un instrumento
3. Administrar el instrumento a una muestra probabilística de una población para validarlo.

En este proyecto en particular se presenta una clasificación de diseño exploratoria secuencial (DEXPLOS) derivativa, de acuerdo con la recolección de datos de los materiales por estudiar para, posteriormente, construir un instrumento mediante la hoja de cálculo de Excel y luego definir los planos estándar de madera, utilizando

técnicas conceptuales, teóricas y prácticas de investigación referentes a la metodología de elaboración de este tipo de estructura.

4.2 Administración y abordaje del proyecto objeto

4.2.1 Descripción del producto o servicio

Se utilizó como servicio la información encontrada en algunas instituciones del Estado referente a puentes de madera; así como traducciones al Español de literatura internacional en materia de Puentes y Normas ASSTHO, para el diseño de puentes en madera, para, finalmente elaborar los planos estándar en madera con longitudes específicas de 11 metros de longitud.

4.2.2 Descripción de supuestos

Se parte del supuesto de que la madera es un material ortotrópico, cuyas propiedades mecánicas o térmicas son únicas e independientes en tres direcciones perpendiculares entre sí, por lo que se utilizan para las estructuras de madera, las mismas ecuaciones de la mecánica de materiales.

4.2.3 Restricciones y riegos

Para la utilización de los materiales de la estructura:

- ✓ No se podrá utilizar maderas prohibidas bajo decreto ejecutivo (N° 237000 MINAE), para el almendro (Decreto N°25167- MINAE) y el decreto N°25663-MINAE.
- ✓ La madera recomendada en su totalidad debe presentar condiciones de madurez que permitan garantizar su capacidad estructural, esto es que la madera debe tener más de 85 cm de diámetro a la altura del pecho como mínimo.
- ✓ La madera dura o semidura debe provenir de bosques naturales o bien de árboles aislados en sistemas agroforestales.

- ✓ En todos los casos, la madera debe ser aserrada y secada, adicionalmente se debe tratar con agentes bioquímicos para garantizar su capacidad estructural y su inmunidad al ataque de hongos, bacterias y xilófagos.

4.3 Sujetos y fuentes de información

Según Sampieri (2010), la Revisión de la literatura consiste en detectar, consultar y obtener la bibliografía y otros materiales útiles para los propósitos del estudio, de los cuales se extrae y recopila información relevante y necesaria para el problema de investigación.

4.3.1 Sujetos de Información

Principalmente se cuenta con la asesoría por parte del personal profesional de la Dirección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes; así como personal de instituciones estatales como el Fondo Nacional de Fideicomiso Forestal (FONAFIFO), Ministerio de Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación (MINAE/SINAC).

También es importante mencionar la asesoría del personal del Colegio Federado de Ingenieros Civiles mediante curso de capacitación de estructuras de madera impartido por el Ing. Juan Tuk.

4.3.2 Fuentes de Información

4.3.2.1 De primera mano

Se cuenta con informes técnicos del Vigésimo primer informe del Estado de la Nación, Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM), Ministerio de Ambiente y Energía/ Sistema Nacional de Áreas de Conservación (MINAE/SINAC).

4.3.2.2 De segunda mano

Sampieri (2010), hace referencia a las fuentes secundarias como compilaciones, resúmenes y listados de referencia publicadas en un área de conocimiento en particular (son listados de fuentes primarias). Es decir, procesan información de primera mano”.

Se utilizaron las siguientes fuentes de información bibliográficas:

- ✓ Código AASTHO 2002 para el diseño de puentes.
- ✓ Códigos nacionales para la verificación del cumplimiento del diseño (Código Sísmico de Costa Rica 2002, Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) y Especificaciones generales para la construcción de Carreteras, caminos y puentes de Costa Rica (CR-2010)).
- ✓ Literatura para el diseño de puentes de madera.
- ✓ Literatura para la metodología de la investigación
- ✓ Literatura para los lineamientos de puentes diseñados con el sistema LRFD.
- ✓ Literatura internacional de la United States Department of Agriculture, Forest Service.
- ✓ Literatura internacional: Stands For Ontario Highway Bridge Design Code (OHBDC) para puentes de madera.

4.3.2.3 De tercera mano

Para Sampieri, (2010) las fuentes terciarias son “documentos que compendian nombres y títulos de revistas y otras publicaciones periódicas, así como nombres de boletines, conferencias y simposios, sitios web”.

Para el presente trabajo se tomaron informes de páginas web e información bibliográfica de interés según relación con el tema en estudio.

4.4 Muestreo

4.4.1 Tipo de muestreo y población

Para el trabajo de investigación se tomaron como muestra únicamente las maderas permitidas por la ley costarricense para su uso, comercio y distribución para que tanto las instituciones, municipalidades u órganos de ayuda internacional interesados en el sistema de puentes desarrollado, la consideren como la mejor opción.

4.4.2 Diseños de técnicas e instrumentos para recolectar información

Principalmente se realizaron visitas a diferentes instituciones estatales, donde se obtuvo información mediante documentos técnicos, pláticas con funcionarios de las instituciones y, posteriormente, la revisión bibliográfica como principales instrumentos de recolección.

4.5 Identificación de variables

Barrantes, Rodrigo (2010) afirma que las variables en una investigación en la cual se trabaje con base en objetivos, tienen su origen en cada objetivo específico, los cuales llevarán a la búsqueda del camino para analizar la información de las variables que tomen valores y puedan ser medibles.

4.5.1 Clasificación y definición de las variables.

Según Barrantes, Rodrigo. (2010) se pueden definir las variables de tres tipos:

- Conceptual: Expresa lo que se entenderá por esa frase, es casi una definición de diccionario.
- Operacional: Describe las actividades que un observador debe realizar para indicar la existencia de un concepto mayor o menor.

- Instrumental: Indica con qué instrumentos y medios se va a recolectar la información.

Para dar una mejor interpretación al proyecto y un análisis factible, las variables se detallan a continuación.

4.5.2 Variables

4.5.2.1 Variable: zona maderable

- Definición conceptual: Se aplica al bosque o zona de reforestación que da madera útil para construcciones o ebanistería.
- Identificación operacional: Se tomará con validez el apoyo del personal de MINAE-SINAC, referente al estudio del inventario nacional forestal del país para su análisis e interpretación por zonas.
- Identificación Instrumental: Para lograr la identificación del material con características de acuerdo con el buen funcionamiento del proyecto se procederá a la selección de las zonas con material maderable, mediante la utilización de mapas.

4.5.2.2 Variable: Propiedades físico – mecánicas

- Definición conceptual: Las propiedades físicas son relaciones entre peso y volumen. También comprende los cambios que una madera sufre en sus dimensiones y otros aspectos como la descripción cualitativa del color, la textura y el grano. (Tuk Juan, 2009).

Las propiedades mecánicas son aquellas que tiene cada madera específicamente como los son (resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción) y el valor del módulo de elasticidad. (Juan Tuk, 2009)

- Identificación operacional: Se revisarán los estudios realizados por el Ing. Juan Tuk y el Instituto Tecnológico de Costa Rica en materia maderable con el fin de estudiar a detalle dichas propiedades.
- Identificación Instrumental: El material bibliográfico proporcionado se analizó y cotejó con personal profesional del Ministerio de Obras Públicas para la selección de aquellas maderas óptimas para diseño.

4.5.2.3 Variable: maderas comerciales

- Definición conceptual: material ortótropo, que dependen de variables como la región geográfica, las condiciones especiales del aprovechamiento y las características de la madera, especialmente de su calidad y diámetro, así como de la oferta de la especie en el mercado local y su estado en los mercados internacionales.
- Identificación operacional: La información aquí recolectada es de suma importancia ya que fundamenta parte importante del material con el cual se trabajará el diseño de los planos estándar, mediante la recolección, análisis de datos técnicos e informes realizados por la ONF sobre los diferentes tipos de maderas comerciales con las que cuenta el país.
- Identificación Instrumental: Con el material bibliográfico obtenido así como material de sitios web del SIREFOR (herramienta del MINAET), diseñados para la información de diferentes especies arbolarias del territorio nacional se hace la selección de las especies maderables comerciales, que se utilizarán en el proyecto.

4.5.2.5 Variable: Diseño del sistema

- Definición conceptual: Es el proceso de describir, organizar y estructurar los componentes del sistema que se requiera construir.

- Identificación operacional: Los datos que aquí se realicen serán revisados y analizados con personal profesional capacitado de la Dirección de Puentes del MOPT para su aprobación.
- Identificación Instrumental: El producto final se hará utilizando herramientas tecnológicas disponibles como la hoja de cálculo de Excel.

4.5.2.6 Variable: Planos estándar

- Definición conceptual: Es un proceso en el que un modelo se desarrolla con el fin de probar los diversos aspectos de diseño como las características, las ideas, la viabilidad, funcionalidad, rendimiento y producción. (dideprototipos, 2015, pág1)
- Identificación operacional: Los datos que aquí se realicen serán revisados y analizados con personal profesional capacitado de la Dirección de Puentes del MOPT para su aprobación.
- Identificación Instrumental: El producto final se hará utilizando herramientas tecnológicas disponibles como el programa de diseño Autocad.

4.5.3 Tabla de Variables.

Tabla 12. Tabla de Variables

Objetivo	Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Tipificar las zonas maderables de reforestación con madera de Pílon, Jaúl, Jícaro y Amarillón.	zona maderable	Se aplica al bosque o zona de reforestación que da madera útil para construcciones o ebanistería.	Se tomará con validez el apoyo del personal de MINAE-SINAC, referente al estudio del inventario nacional forestal para su análisis, interpretación por zonas.	Se procederá a definir las zonas con material maderable, mediante la utilización de mapas.

<p>Analizar las propiedades físico-mecánicas de las 4 especies maderables seleccionadas.</p>	<p>Propiedades físico – mecánicas</p>	<p>-Comprende los cambios que una madera sufre en dimensiones, color, la textura y el grano. -Específicamente son (resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción) y el valor del módulo de elasticidad.</p>	<p>Se revisarán y estudiarán los estudios realizados por el Ing. Juan Tuk y el Instituto Tecnológico de Costa Rica en materia maderable.</p>	<p>El material bibliográfico proporcionado se analizará y cotejará con personal profesional del Ministerio de Obras Públicas para la selección de aquellas maderas óptimas para diseño.</p>
<p>Seleccionar de acuerdo con sus características físico-mecánicas y zonas maderables, la madera comercial apropiada para el diseño final del plano prototipo de 11 metros</p>	<p>Maderas Comerciales</p>	<p>material ortótropo, que dependen de variables como la región geográfica, las condiciones especiales del aprovechamiento y las características de la madera, especialmente de su calidad y diámetro, así como de la oferta de la especie en el mercado local y el estado de los mercados internacionales.</p>	<p>Se trabajará el diseño de los planos prototipo, mediante la recolección, análisis de datos técnicos e informes realizados por la ONF sobre los diferentes tipos de maderas con las que cuenta el país.</p>	<p>El material bibliográfico obtenido así como material de sitios web del SREFOR (herramienta del MINAET), diseñados para la información de diferentes especies arbolarias del territorio nacional se hará la selección de las especies que se utilizarán en el proyecto.</p>
<p>Realizar los cálculos para el diseño final de los planos estándar de los puentes.</p>	<p>Diseño del sistema</p>	<p>Es el proceso de describir, organizar y estructurar los componentes del sistema que se requiera construir.</p>	<p>Los datos que aquí se realicen serán revisados y analizados con personal profesional capacitado de la Dirección de Puentes del MOPT para su aprobación.</p>	<p>El producto final se hará utilizando herramientas tecnológicas disponibles como la hoja de cálculo de Excel.</p>
<p>Crear planos estándar para el puente en madera.</p>	<p>Planos estándar</p>	<p>Se desarrolla con el fin de probar los diversos aspectos de diseño como las características, las ideas, la viabilidad, funcionalidad, rendimiento y producción.</p>	<p>Los datos que aquí se realicen serán revisados y analizados con personal profesional capacitado de la Dirección de Puentes del MOPT para su aprobación.</p>	<p>El producto final se hará utilizando herramientas tecnológicas disponibles como la hoja de cálculo de Excel y el programa Autocad 2016.</p>

Fuente: El Autor

CAPITULO V
ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de zonas maderables, sistemas de reforestación.

5.1.1 Zonas maderables

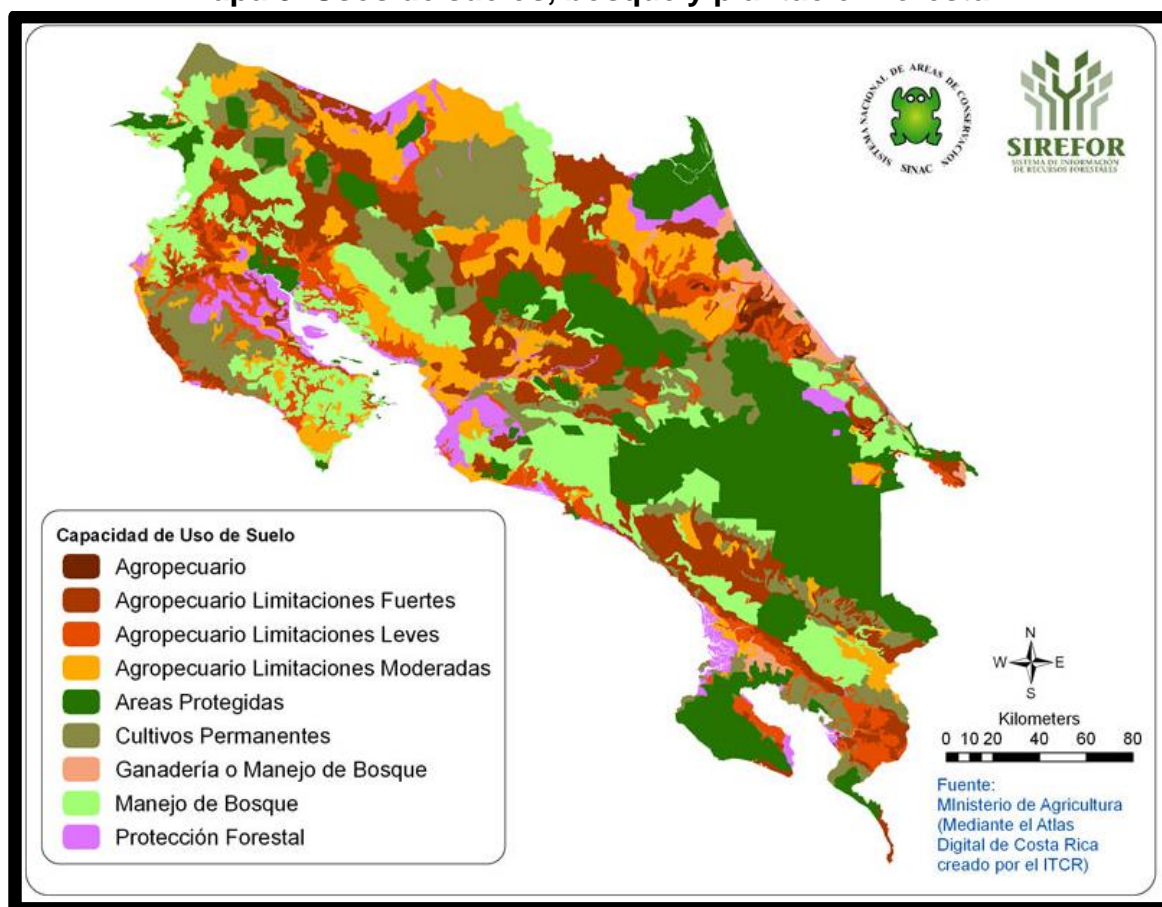
En Costa Rica se ha logrado una intervención de los bosques, una gestión contra el abandono de la naturaleza, en donde el sector forestal recibe reconocimiento por promover esta cualidad medioambiental específica de los sistemas de reforestación, también se presenta un desarrollo y oportunidades para el comercio de créditos de emisiones de carbono que refuerzan la importancia del sector forestal en la economía del país.

Frente a este panorama se analizaron las maderas de Programas de reforestación en Costa Rica y los resultados obtenidos por investigadores forestales en materia maderable.

5.1.2 Manejo de bosques

Según el SIREFOR en Costa Rica, se puede indicar que, debido a los diferentes niveles de extracción, cuantificados de un determinado número de árboles, se sabe que la intensidad de cosecha o de intervención es muy variada, desde la extracción de 2-3 árboles/ha hasta la cosecha de más de 10 árboles /ha, lo que provoca que en la actualidad se presente un abanico con muy variadas condiciones de bosques intervenidos, que tienen diferentes estados de recuperación desde la última intervención y sobre los cuales existe una fuerte presión para ser nuevamente cosechados. El siguiente mapa 5, muestra parte de los bosques intervenidos y usos de suelo.

Mapa 5. Usos de suelos, bosque y plantación forestal



Fuente: SIREFOR

La industria forestal reconoce que su futuro está ineludiblemente vinculado a la protección y expansión de sus bosques. Esto, unido a las leyes aplicadas con energía y efectividad, que aseguren la plantación de más árboles de los que se corten.

5.1.3 Programas de reforestación

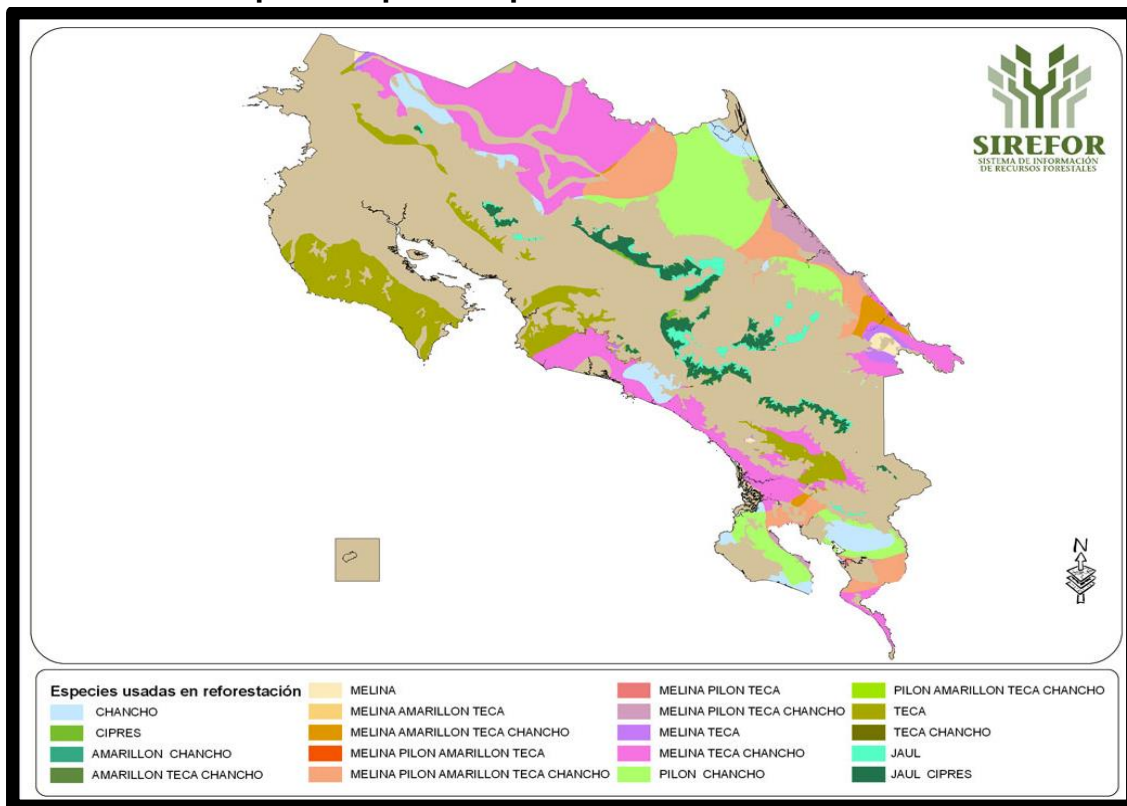
Para el SIREFOR, (2015), la existencia de normas técnicas se plasma en documentos que regulan todas aquellas acciones que se ejecuten en una o varias unidades destinadas a aprovechar, conservar y desarrollar la vegetación arbórea que se requiera desarrollar de acuerdo con el uso racional de los recursos renovables y que garanticen la sostenibilidad del medio ambiente para los programas de reforestación, mediante la autoridad competente el FONAFIFO con programas de pagos forestales.

Los países tienen políticas y prácticas que requieren la reforestación. Aunque el número de árboles plantados por hectárea variara dependiendo de la especie, el lugar y el sistema de gestión, siempre será mayor que el número de árboles cortados, para asumir las pérdidas naturales y para que el bosque tenga una buena reserva de recarga continua.

Según datos analizados de la ONF (2014), Costa Rica presenta áreas exclusivamente para el desarrollo de nuevas arboles madereros los cuales se encuentran en alguna área de sistema de reforestación, ya sea mediante bosque protegido o plantaciones forestales.

El presente mapa 6, señala dónde específicamente se da la mayor plantación y comercialización de las maderas utilizadas en programas de reforestación.

Mapa 6. Mapa de especies utilizadas en reforestación



Fuente: SIREFOR

5.2 Suministro del sector maderero

En Costa Rica existen varias fuentes de donde la industria maderera obtiene alrededor de 1 millón de m³ de madera por año para ser trabajada. Según Santamaría, Oscar (2015), en datos de ONF (2014), el 2013 la industria forestal abasteció 73,2 % de su demanda de plantaciones forestales, principalmente una producción predominante de la madera de teca y melina (712 mil m³); 21,9 % de la madera proviene de terrenos de uso agropecuario (212 mil m³) y solo 5 % de bosques (48 mil m³). Cabe mencionar que estas maderas, aunque según datos de la ONF y FONAFIFO, son las más comúnmente cultivadas y trabajadas no se analizaron en este

proyecto debido a su clasificación como maderas no aptas para el diseño, utilizadas normalmente para la construcción de tarimas para exportación.

El suministro de madera procedente de Costa Rica se ha reducido en un 35% en los últimos años. Este es particularmente el caso de la provisión de madera de las plantaciones, que abastecen 300 mil m³ menos en el 2013 que en el 2007 (ONF, 2014).

Por otro lado, la ONF reporta que el 73% de la madera procesada en Costa Rica es de plantaciones forestales, el 22% de terrenos agropecuarios y un 5% de bosque. Entonces es claro que las plantaciones forestales son la principal fuente de abastecimiento de la industria primaria en Costa Rica.

5.3 Clasificación de las maderas

Se detalla a continuación mediante el cuadro N°3 algunas maderas previamente estudiadas para su clasificación de acuerdo con sus propiedades físicas:

Cuadro 3. Clasificación de maderas

Clase	Especies
Finas, decorativas y duras	Almendro, cedro amargo, cenízaro, pochote, teca, y guanacaste.
Semiduros de plantaciones Forestales y SAF	Botarrama, cebo o chanco blanco, eucalipto, melina, pino, terminalia y acacia
Semiduras de Bosque o potrero	Espavel, gallinazo, gavián, lagarto, laurel y pilón.
Suaves	Balsa, ceibo, chilamate, fruta dorada, guácimo, javillo, jobo y poró.

Fuente: Oficina Nacional Forestal

Para el análisis de la estructura de puente de madera pretensada, se utilizaron las maderas de Pilón, Amarillón, Jaúl y de bosque natural como el Jícara con disposiciones de que específicamente sean maderas utilizadas en el territorio nacional.

5.4 Madera Pílon (Hieronyma Alchorneoides)

Es un árbol grande, con tronco recto y cilíndrico que por ser bastante pesado y resistente su madera se utiliza en construcción de exteriores e interiores, en puentes, durmientes de ferrocarril, postes, pisos, carrocerías, barriles, soportes, artesones, reglas, entrepisos, madera de cuadro, pilotes, muebles, gabinetes, paneles, cajas, embalajes y en tornería. Además es resistente a las termitas y en especial a los taladradores marinos, por lo que es buscada para construcciones marinas. (Mundo Forestal, 2016).

Por la gran producción de materia orgánica que incorpora a los suelos y por no ser una especie exigente en cuanto a tipos de suelo, es ideal para la recuperación de terrenos degradados. Las flores atraen a muchas abejas y muchos otros insectos.

5.4.1 Propiedades Físicas

Las propiedades de la madera de Pílon de plantación forestal son mostradas en el cuadro 4. Estas maderas tienen valores de peso específico y contracciones más bajas que los reportados para la madera de bosque natural.

Cuadro 4. Propiedades físicas de la madera de Pilón

Procedencia	CH verde (%)	Peso específico			Densidad		% de Contracción						Relación CT/CR	Referencia bibliográfica
		Básico	12%	0%	Verde	12%	Tangencial		Radial		Volumétrica			
							12%	Total	12%	Total	12%	Total		
San Carlos, 8 años	41,72	0,51	0,54	0,55	0,72	-	4,14	5,69	2,47	3,33	5,33	8,45	2,15	Bonilla, 1999
San Carlos, 8 años	93	0,50	0,53	0,56	0,96	0,60	-	8,36	-	3,04	-	9,87	-	COSEFORMA, 2001
San Carlos, 9 años	111	0,48	-	-	-	1,01	-	-	-	-	-	-	-	Moya, 2003 información sin publicar

Fuente: Solís Manuel y Moya Róger

5.4.2 Propiedades mecánicas para madera de bosque natural y madera de plantación forestal

Las propiedades mecánicas para el *Hyeronima Alchorneoides* (Pilón) son presentadas en la tabla 13 para diferentes países de América Latina, en el caso de la madera de bosque natural y madera de plantaciones forestales de diferentes sitios de Costa Rica y diferentes edades.

Tabla 13. Propiedades mecánicas de la madera Pilón mostrando diferencias de plantación forestal y bosque natural

Especie	Procedencia	Condición	Flexión estática (Kg/cm ²)			Compresión (Kg/cm ²)				Dureza (Kg/cm ²)		Cizallamiento (Kg/cm ²)		Referencia bibliográfica
			ELP	MOR	MOE x 10 ³	Paralela		Perpendicular		LAT	EXT	TANG	RAD	
						ELP	MOR	MOE x 10 ³	ELP					
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Bosque Natural	Panamá	Seca	632	1049	143	-	-	-	-	816	663	-	-	Llach, 1971
	Nicaragua	Verde	320	700	120	163	327	-	32	487	536	86	-	González <i>et al.</i> , 1973
		Seca	731	1190	174	343	618	-	70	776	943	144	-	
	Costa Rica	Verde	-	633	72	-	272	-	-	389	499	81	71	CIIM, 1983
		Seca	-	803	121	-	332	-	-	591	803	105	86	
	Honduras	Verde	441	589	81	237	270	-	88	409	407	-	-	Benitez y Monteinos, 1988
Seca		563	843	108	359	453	-	90	510	672	-	-		
Nicaragua	Seca	-	948	167	-	1016	-	98	583	679	-	132	IRBNA, 1992	
<i>Hyeronima alchorneoides</i> de plantación	CR, 6 años	Verde	-	583	74	-	299	-	-	391	445	80	75	CIIBI, sin publicar
	Sarapiquí	Seca	-	894	120	-	-	-	-	613	524	-	-	COSEFORMA, 2001
	CR, 9 años San Carlos	Seca	-	600	-	-	306	-	-	276	349	83	-	Córdoba, 2003 sin publicar
	CR, 6 años	Verde	126	941	-	-	-	-	-	559	-	-	-	COSEFORMA, 1999
		Seca	151	1405	-	-	-	-	-	802	-	-	-	
CR, 9 años	Seca	-	892	117	-	493	-	-	606	715	141	-	Moya, 2003 sin publicar	

Legenda: ELP: Esfuerzo en el límite de proporcionalidad MOR: Módulo de ruptura MOE: Módulo de elasticidad
LAT: Lateral EXT: Extremos TANG: Tangencial RAD: radial CR: Costa Rica

Fuente: Solís C. y Moya R.

5.4.3 Propiedades mecánicas de diseño con humedad del 18%.

El siguiente cuadro 5 presenta características mecánicas y grados estructurales seleccionados para la madera de Pilón, con los cuales se diseñó una de las estructuras para puentes pretensados y los cuales se detallarán más adelante.

Cuadro 5. Grado estructural de la madera de Pilón

Grado*	Flexión (Fm)	Compresión (Fc)	Tensión paralela (Ft)	Compresión perpendicular (Fp)	Corte horizontal		E/1000 Módulo de elasticidad	
					Vigas (Fv)	Uniones (Fμ)	E=0,5	E=0,05
1	134	77,3	105	34	8	-	108	
2	103	59,4	80,7	34	8	-	97	
3	77,8	44,8	60,9	34	8	-	86,5	

Fuente: Juan Tuk (2010)

5.5 Análisis de la madera de Amarillón

5.5.1. Madera Amarillón (Terminalia Amazonia)

Se analizó esta especie pues cuenta con propiedades físicas que llaman la atención como su altura ya que alcanza los 30 m de alto y alrededor de 1 m de diámetro; su tronco es bastante recto, cilíndrico, cubierto por una delgada corteza de color grisácea con fisuras verticales; sus ramas horizontales crecen en forma verticilada, característica de la familia y que recuerda al conocido almendro de playa (Terminalia Cattapa).

En Costa Rica, se le encuentra en mayor concentración en el Pacífico Central y Pacífico Sur, así como en la Zona Norte. Según Mundo forestal (2016), no es exigente en cuanto a suelos, pero se resiste a los suelos arcillosos con mal drenaje así como a sitios con largas sequías, de ahí que no se encuentre en el Pacífico Norte, por lo que es una buena opción por tomar en cuenta para las instituciones que se interesen en el sistema y utilización de esta especie.

Según datos presentados al público por Mundo forestal (2016), esta madera es fina de muy alta calidad, de un color amarillento, vetas marrones y buen lustre, de textura media de un grano entrecruzado lo que genera cierta dificultad para trabajarla con herramientas manuales e inclusive para secarla, muy utilizada por ser muy pesada y tener una buena durabilidad natural. Su principal utilización se da en la construcción de puentes, vigas, pisos, parquet, tablillas, artesones, carrocerías, muebles, chapas y contrachapados, tarimas, encofrados, partes de barcos, durmientes de ferrocarril, barriles, plywood, cajas para embalajes, mangos de herramientas.

5.5.2 Ubicación de la especie en Costa Rica

Para Solís Manuel y Moya Róger (2003), en el Informe de la especie Terminalia Amazonia, esta posee una gran amplitud de adaptación en los climas tropicales. En Costa Rica se han plantado grandes extensiones, específicamente en la Zona Sur (principalmente en los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aries, Osa y Coto Brus), el área del Cantón de Sarapiquí, la Zona de San Carlos (principalmente los cantones de Upala, Guatuso, San Carlos y los Chiles) la Zona Atlántica de Costa Rica y, en menor grado, en el Pacífico Central.

5.5.3 Propiedades físicas de la especie Amarillón

Son propiedades únicas de la especie que se han estudiado para el tipo de madera bajo el sistema de reforestación, cuyos datos encontrados proporcionan herramientas para el análisis de la especie en el país y, sobre todo, para las regiones donde más se ha plantado, Zona Sur y Zona Norte de Costa Rica.

Los rangos de edades de análisis de esta especie son comprendidas entre las edades de los 6 a 10 años, según tabla 14.

Tabla 14. Propiedades físicas de la madera Amarillón

Procedencia	CH verde (%)	Peso específico			Densidad		% de Contracción						Relación CT/CR	Referencia bibliográfica
		Básico	12%	0%	Verde	12%	Tangencial		Radial		Volumétrica			
							12%	Total	12%	Total	12%	Total		
P. Zeledón, 6 años.	46,24	0,43	0,45	0,47	0,63	0,51	2,38	4,53	1,74	3,51	6,75	9,60	-	Moya <i>et al.</i> , 1997
San Carlos, 6 años	62,81	0,42	0,43	0,45	0,68	0,49	-	5,11	-	2,43	-	6,59		COSEFORMA, 2001
San Carlos, 9 años	62,92	0,52	-	-	0,84	-	-	-	-	-	-	-	-	Moya, 2003 información sin publicar

Fuente: Solís Manuel y Moya Róger

5.5.4 Propiedades mecánicas de la especie Amarillón

La madera procedente de sistemas de plantación de esta especie presenta menor resistencia mecánica que cuando proviene de bosque natural, por lo que no se pueden utilizar los mismos valores de diseño.

Para el análisis de la especie se utilizaron los datos ubicados en el grupo B, según se muestra en la siguiente tabla propuesta por la Junta de Acuerdo de Cartagena que involucra todos los países Andinos con bosque tropical.

Tabla 15. Propiedades Mecánicas para la especie Amarillón

Rango de PEB	Grupo	Flexión (Fm)	Compresión (Fc)	Tensión paralela (Ft)	Compresión perpendicular (Fp)	Corte horizontal		Módulo de elasticidad (E/1000)	
						Vigas (Fv)	Uniones (Fμ)	E=0,5	E=0,05
0,71-0,90	A	200	150	140	50	15	20	140	110
0,56-0,70	B	140	110	105	35	12	15	120	95
0,40-0,55	C	100	80	75	25	10	12	90	70
Menor a 0,40	D	75	60	55	15	8	10	80	65

Fuente: Instituto forestal Latinoamericano

5.6 Madera de Jaúl (*Allnus Acuminata*)

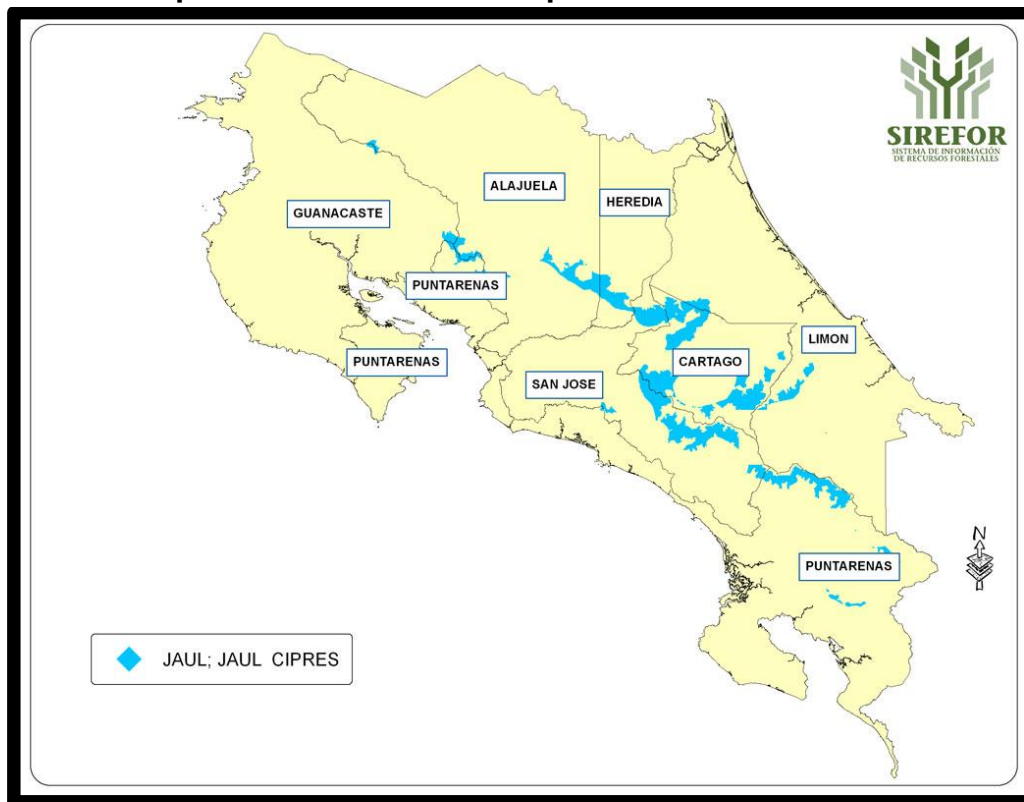
El Jaúl, es una de las primeras especies en ser utilizadas en sistemas agroforestales, según datos proporcionados por Mundo forestal (2016). Presenta cualidades físicas como una madera liviana, de textura fina y grano recto, por lo cual es fácil trabajarla, se seca fácil y sin problemas de torceduras ni quebraduras, aunque naturalmente no resiste el ataque de insectos, es una madera fuerte por lo que con una adecuada preservación puede utilizarse en usos externos; para ello puede utilizarse una mezcla caliente de diesel con pentaclorofenol al 5%, cuidando que la temperatura no sobrepase los 80° para evitar que se incendie, las piezas se dejan sumergidas 24 horas, luego se dejan secar antes de usarlas.

Se utiliza en labores de carpintería, construcción, ebanistería, puertas y marcos de ventanas, gabinetes, tacones de zapato, puentes, pilotes, instrumentos musicales, artesanías, pulpa de papel, taninos, cajas, utensilios de cocina, ataúdes, palos de escoba, lápices, fósforos, embalajes, muebles económicos, encofrados.

5.6.1 Ubicación de la especie en Costa Rica

Se localizan en zonas medias y altas del país, que oscilan entre los 1300 a 3200 m de elevación, según Tuk, Juan (2010) principalmente en las montañas del Macizo de la muerte, Cordillera volcánica central y Zarcero donde las condiciones de humedad son más constantes. Crece bien en sitios con suelos no muy buenos pero donde siempre haya buena humedad. Alcanza entre 20 y 40 m de alto, troncos rectos cubiertos por una delgada corteza de color grisácea, con diámetros entre 30 y 50 cm.

Mapa 7. Ubicación de la especie maderable de Jaúl



Fuente: SIREFOR

5.6.2 Propiedades físicas de la especie.

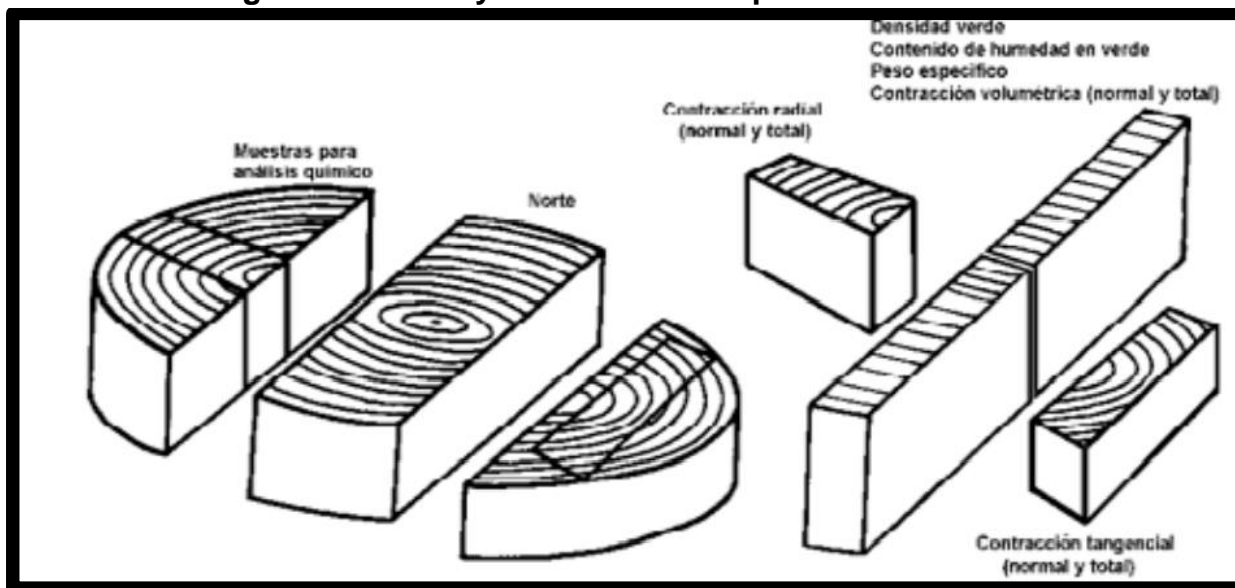
La especie analizada según datos tomados de Tuk, Juan (2010):

Presenta una alta resistencia para su peso específico, el cual es de 0.368.

Contracción tangencial de verde al horno: 5.78%, Radial 3.65%, Contracción volumétrica del 10.69%.

A continuación se presenta la figura N°19 donde se detallan las direcciones anteriormente citadas.

Figura 19. Cortes y dirección de las piezas de madera



Fuente: Revista Forestal Kurú

Tabla 16. Propiedades físicas

	Básica	Seca
Densidad (g/cm³)	0,67	0,67
Peso específico	0,34	0,39
Contenido de humedad inicial (%)	Verde 95,56	Seca

Fuente: Revista Forestal Kurú

5.6.3 Propiedades mecánicas del Jaúl

Para esta especie maderable se contó con la clasificación estructural propuesta por el Ing. Juan Tuk, para la madera de Jaúl al 18% de humedad para el grado estructural G1, en donde se analizaron estas cualidades en el diseño.

Cuadro 6. Propiedades mecánicas de la especie Jaúl al 18%

ESPECIE	PEB	GRADO	F_c	F_t	F_v	F_{cII}	F_{tII}	E
Jaúl <i>Alnus acuminata</i>	0.353	G1	107.	124.	6.0	15.7	44.9	115000
		G2	82.0	95.0	6.0	15.7	34.5	104000
		G3	62.0	72.0	6.0	15.7	26.0	92000

Fuente: Tuk, Juan (2010)

Sin embargo, con los soportes de anclaje se propone la utilización de canales tipo C, que cubran ampliamente los bordes de la madera con el acero, una razón de seguridad con la tensión producida en esa área, pues los análisis muestran que la madera aparenta ser muy suave para el sistema en los bordes donde la tensión los puede dañar.

5.7 Análisis de una madera de extracción de Bosque natural

5.7.1 Madera de Jícaro (*Lecythis Costaricensis*)

Es un gran árbol que crece hasta 45 m de altura, sin ramas en su parte inferior. Es de hoja caduca, con la mayoría de las hojas que caen antes de que florezca y hojas nuevas que aparecen en las descargas con las flores. La corteza es de color marrón grisáceo y surcado verticalmente. Las hojas brillantes son alternas y elípticas con

bordes ondulados. Las flores aparecen entre mayo y julio y son polinizadas por las abejas. El fruto es una cápsula leñosa de hasta 20 por 30, que cuelga de la rama.

Es común en los bosques húmedos de la vertiente del Atlántico, crece en bajas densidades en el bosque, pero las plántulas son tolerantes a la sombra y las tasas de regeneración natural son altas. Crece, a menudo, en asociación con el árbol de *Dipteryx Panamensis* (almendro).

La albura es de un color cremoso y fibroso, mientras que el duramen es de color marrón oscuro cuando está fresco y de color marrón rojizo cuando se seca. La madera se utiliza para la construcción de barcos, puentes y construcción en general y marina. También se usa para hacer muebles, mangos de herramientas y los postes.

5.7.2 Características de la especie en general

La madera es pesada, su peso de 1.200 a 1.300 kg por m³, con un contenido de humedad de 93% a 96% por ciento; gravedad específica básica es 0,70 a 0,74. La madera se seca al aire mostrando pequeños desdoblamiento y torsiones.

La especie no ha sido introducida en programas de reforestación, es quizá por esto que la información sobre ella y el comportamiento de las plantaciones es deficiente. Su efecto invernadero y el comportamiento de vivero son muy buenos, aunque su desarrollo es muy lento. La especie parece adecuada para el manejo forestal, sin embargo se toma en cuenta en el análisis por sus excelentes propiedades mecánicas y porque es una madera que puede ser tratada en el país.

La especie está incluida en la lista de maderas en peligro pero no está vedada. La idea de este trabajo es dar una sugerencia para que haya más investigación de la especie y la incluyan en programas de reforestación para dar continuidad al sistema de puentes de madera.

5.7.3 Propiedades Mecánicas.

Las propiedades de esta especie se detallan a continuación en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Propiedades mecánicas de la madera de Jícaro

ESPECIE	PEB	GRADO	F _b	F _t	F _v	F _{ca}	F _{cl}	E
Jícaro <i>Lecythis costaricensis</i>	0.636	G1	167.7	--	9.0	62.2	127.5	224000
		G2	128.7	--	9.0	62.2	97.9	202000
		G3	97.2	--	9.0	62.2	73.1	179000

Fuente: Juan Tuk (2010)

5.8 Análisis de las estructuras analizadas 2 Vías

A continuación se detallan los resultados obtenidos con la introducción de los datos anteriormente analizados, los cuales se encuentran en la hoja de cálculo de Excel para las especies de madera Pílon, Amarillón, Jaúl y Jícaro.

Según análisis e interpretación de los resultados se observa que para los tableros de madera aquí propuestos, se tomaron en cuenta los valores del grado estructural G1 para las maderas anteriormente descritas, con el fin de trabajar con las condiciones aptas para el cálculo del diseño. Los puentes por analizar, tendrán una longitud de 11 metros de línea centro a línea centro, un ancho fijo de 7.90 m (tránsito en dos direcciones) y un espesor de 0.40m.

Esta verificación se realizó utilizando la metodología propuesta por Ritter, Michael (1991), al mismo tiempo que se revisan las normas ASSHTO para su comparación con las actuales. Se programa la hoja de cálculo de Excel en donde se analizó, el módulo de elasticidad transversal E y el módulo de corte transversal G_t, con lo cual se pretende encontrar el valor máximo de los esfuerzos para la estructura de tablero, los cuales se utilizaron para comprobar el adecuado desempeño. Además

para esta estructura se trabajó con propiedades en condición seca de diseño del 18% para Pílon, Amarillón y Jaúl, propuesta por el ingeniero Juan Tuk.

Se obtienen los esfuerzos máximos, el desplazamiento máximo por carga viva de la estructura el cual es comparado con el desplazamiento límite, con una máxima deflexión de $L/360$ Ritter, Michael (1991) siendo este valor la restricción de la estructura en deflexión.

El tablero de madera, producto de la carga muerta, se comportó como una viga simplemente apoyada en los extremos, por lo que presentó en la cubierta esfuerzos de flexión Fb' y de corte longitudinales Gts .

Debido a que la longitud de la luz libre es igual a 11m, el desplazamiento máximo permitido para el tablero producto de la influencia de la carga viva es de 0.100.

El nivel de pretensado y los cierres para las varillas de pretensado son analizadas con los dispuesto por AASHTO M 275 (ASTM A 722) para materiales, utilizando tablas propuestas por Ritter tabla N°11, para materiales de acuerdo con el diámetro de la varilla de pretensión, determinando valores aceptables, los cuales se muestran en el cuadro resumen de datos tabla N°17.

Tabla 17. Resumen de análisis de los Puentes 2 Vías

Puente dos Vías	Longitud Total: 11,40m				
Análisis Descripción	Pilón	Amarillón	Jaúl	Jícaro	Criterio
flexion normal (fb) lb/in2	1877.2737	1884.3292	1795.4931	2000.6816	OK
Esf permisible (F'b) lb/in2	2130.8653	2226.2772	1701.5119	2666.7621	OK
Deflexión carga viva ΔLL (in)	1.2512817	1.2317304	1.2277339	0.6703295	Pilón No cumple
Deflexión carga muerta ΔDL (in)	1.4449422	1.1731787	1.1625028	0.7067699	OK
Contraflecha (in)	4.3	3.5	3.5	2.12	OK
Nivel min. De tensión Previo a la compresión (N) lb/in2	40	40	40	40	OK
Nivel de tensión a la compresión (Ni) lb/in2	100	100	100	100	OK
Postensión en cada varilla (Fps) lb	76800	76800	76800	76800	OK
$f_c \pm$ cojinete de anclaje lb/in2	322.68908	320	195.91837	533.33333	OK
$f_c \pm$ anclaje final lb/in2	48.374679	48.904023	46.608463	51.729949	OK
Esf. Permisible de compresión al grano ($F_c \perp'$) lb/in2	324.01351	333.54332	149.618	592.75413	OK

Fuente: El autor

La madera de Pilón no cumple por deflexión bajo carga viva, lo que indica que se debe aumentar el peralte de la superestructura para alcanzar un nivel óptimo, sin embargo, se analizaron de una manera equitativa las maderas expuestas para intentar dar un resultado sobre la madera que mejor se comporte a las condiciones solicitadas de $L/360$ utilización de la especie con el sistema de puentes pretensados.

La especie de Jícaro presenta características únicas, razón por la que vale la pena más investigación de acuerdo con su uso y producción, pues implementarla en sistemas de reforestación sería provechoso para este sistema de puentes y las construcciones donde se requiera madera con cierto grado de dureza, mayor a la de las especies aquí estudiadas.

La madera de Jaúl en los extremos, para los soportes de anclaje se propone la utilización de canales tipo C, que cubran ampliamente los bordes de la madera con el acero, una razón de seguridad con la tensión producida en esa área, pues los análisis muestran que la madera aparenta ser muy suave para el sistema en los bordes donde la tensión los puede dañar, esto por presentar poca dureza.

La especie Amarillón posee características muy buenas para el diseño de puentes pretensados, razón por la cual con esta especie se realizará el diseño de los planos en dos vías y una vía.

5.9 Análisis de las estructuras analizadas 1 Vías

A continuación se detallan los resultados obtenidos con la introducción de los datos anteriormente analizados los cuales se encuentran en la hoja de cálculo de Excel para las especies de madera Pilón, Amarillón, Jaúl y Jícaro:

Según análisis e interpretación de los resultados se observa que para los tablero de madera anteriormente citados, se tomaron en cuenta los valores del grado estructural G1 presentados en la tabla 5, con el fin de trabajar con las condiciones aptas para el cálculo del diseño. El puente por analizar, tendrá una longitud de 11

metros de línea centro a línea centro, un ancho fijo de 4.3m (tránsito en una dirección) y un espesor de 0.40m.

Esta verificación se realizó utilizando la metodología propuesta por Ritter, Michael (1991) y con una programación de la hoja de cálculo de Excel en donde se analizó, el módulo de elasticidad transversal E y el módulo de corte transversal G_t , con lo cual se pretende encontrar el valor máximo de los esfuerzos para la estructura de tablero, los cuales se utilizaron para comprobar el adecuado desempeño.

Se obtienen los esfuerzos máximos, el desplazamiento máximo por carga viva de la estructura comparado con el desplazamiento límite, con una máxima deflexión de $L/360$ (0.100) Ritter, Michael (1991) siendo este valor la restricción de la estructura en deflexión. Además para estas estructuras se trabajó con propiedades en condición seca de diseño de 18%, propuesta por el ingeniero Juan Tuk.

El tablero de madera, producto de la carga muerta, se comportó como una viga simplemente apoyada en los extremos, por lo que presentó en la cubierta esfuerzos de flexión F_b' y de corte longitudinales G_t .

Debido a que la longitud de la luz libre es igual a 11m, el desplazamiento máximo permitido para el tablero producto de la influencia de la carga viva es de 0.100.

El nivel de pretensado y los cierres para las varillas de pretensado son analizadas con los dispuesto por AASHTO M 275 (ASTM A 722) para materiales, utilizando tablas propuestas por Ritter, para materiales de acuerdo con el diámetro de la varilla de pretensión, determinando valores aceptables.

Tabla 18. Resumen de análisis de los Puentes 1 Vía

Puente Una Vía	Longitud Total: 11,40m				
Análisis Descripción	Pilón	Amarillón	Jaúl	Jícaro	Criterio
flexión normal (fb) lb/in ²	1702.3354	1636.4004	1615.6698	1694.8236	OK
Esf permisible (F'b) lb/in ²	2130.8653	2226.2772	1701.5119	2666.7621	OK
Deflexión carga viva ΔLL (in)	0.8176255	0.735863	0.767857	0.3942123	OK
Deflexión carga muerta ΔDL (in)	1.225293	1.0055091	1.0173196	0.5848306	OK
Contraflecha (in)	3.7	3	3	1.8	OK
Nivel min. De tensión Previo a la	40	40	40	40	OK
Nivel de tension a la compresión (Ni)	100	100	100	100	OK
Postensión en cada varilla (Fps) lb	76800	76800	76800	76800	OK
$f_c \pm$ cojinete de anclaje lb/in ²	320	341.33333	145.45455	533.33333	OK
$f_c \pm$ anclaje final lb/in ²	36.240146	34.676735	34.185182	36.062032	OK
Esf. Permissible de compresión al grano ($F_c \perp$) lb/in ²	324.01351	333.54332	149.618	592.75413	OK

Fuente: El autor

La madera de Jícaro durante su análisis no presentó problema alguno para adaptarse al sistema de puentes pretensado, siendo una de las mejores maderas aquí analizadas, pues pertenece a las no incluidas en programas de reforestación y lo que motivo la inquietud por ver su comportamiento.

La especie presenta características únicas, razón por la que vale más investigación de acuerdo con su uso y producción, pues implementarla en sistemas de reforestación sería provechoso para este sistema de puentes y las construcciones donde se requiera madera con cierto grado de dureza, mayor a la de las especies aquí estudiadas.

La madera de Pílon en estructuras de una vía, alcanza un nivel óptimo, por lo que se podría utilizar en el sistema de puentes pretensados,.

La madera de Jaúl en los extremos, para los soportes de anclaje se propone la utilización de canales tipo C, que cubran ampliamente los bordes de la madera con el acero, una razón de seguridad por la tensión producida en esa área, pues los análisis muestran que la madera aparenta ser muy suave para el sistema en los bordes donde la tensión los puede dañar, esto por presentar poca dureza.

La especie Amarillón posee características muy buenas para el diseño de puentes pretensados razón por la cual con esta especie se realizará el diseño de los planos en dos vías y una vía.

5.8 Análisis de carga

El análisis de cargas se diseñó con lo que establece AASTHO, para una carga HS 20 44 estándar, para un vehículo de 72 000 lb. La metodología de diseño para puentes preesforzados propuesta por Ritter se basa en una serie de tablas anteriormente comprobadas y estudiadas las cuales se muestran en la hoja de anexos 2, pero con el interés de resolver y ahondar más esta hoja de cálculos ya analizados por los ingenieros del Departamento forestal de los Estados Unidos, se realizaron los cálculos para determinar el momento máximo de carga viva en la

estructura coincidiendo con los valores ya estudiados por dicho departamento. Los mismos valores son introducidos en la hoja de cálculos de Excel para una línea de ruedas del vehículo estándar AASTHO.

5.9 Análisis sísmico.

Cuando ocurren los sismos, los puentes pueden estar sujetos a grandes desplazamientos laterales. Algunos sismos más pequeños pueden producir movimientos en la estructura que, generalmente causan desplazamientos o deformaciones en la superestructura y los apoyos.

El análisis sísmico busca analizar que la superestructura y la subestructura sean capaces de resistir las fuerzas sísmicas generadas por el movimiento. Para Ritter, Michael (1991), el objetivo del análisis sísmico no es diseñar la estructura para resistir todas las cargas posibles sin daños, pero sí busca minimizar los posibles daños a un nivel inferior.

Las cargas sísmicas del puente dependen de un gran número de factores, incluyendo la magnitud del sismo, la respuesta sísmica del suelo en el sitio, las características de respuesta dinámica (rigidez y distribución de peso), entre otros. Un análisis exacto es complejo y requiere datos específicos para cada sitio donde se requiera colocar las estructuras. Por lo anteriormente expuesto, en este proyecto no se analizará el diseño de los bastiones, pues es necesario que se realicen estudios complementarios tales como los estudios geotécnicos, geológicos, hidráulicos e hidrológicos.

De acuerdo con las normas de diseño para puentes en madera tales como las publicadas por el Departamento de agricultura de los Estados Unidos, específicamente el Servicio Nacional Forestal (USDA), el método más apropiado para analizar una estructura de puente en madera, es el método de fuerza estática utilizada en las normas ASSHTO en su artículo 3.21.1., de las especificaciones estándar para puentes.

El uso de este procedimiento simplificado, está calculado para que las estructuras que resistan una fuerza sísmica (EQ), actúen aplicando una fuerza estática equivalente en el centro de la estructura, además se deberá calcular un coeficiente C que es el coeficiente sísmico y la respuesta combinada según la ecuación:

$$EQ=(C) \times (F) \times (W)= \quad (5-1)$$

donde:

EQ= fuerza horizontal estático equivalente aplicado en el centro de la gravedad de la estructura.

C= Coeficiente sísmico.

F= factores (1,0 para las estructuras de columnas individuales o muelles que resisten las fuerzas horizontales, 0,80 para las estructuras donde los cuadros continuos tienen que resistir fuerzas horizontales aplicadas a lo largo del tramo).

Al mismo tiempo para la fórmula del tiempo de respuesta se utilizará:

$$T=0.32 \sqrt{\frac{W}{P}}$$

Donde:

T= Periodo de vibración en la estructura

P=fuerza uniforme total requerida para provocar un máximo de 1 pulgada deflexión horizontal de la estructura.

Las especificaciones de la guía AASHTO presentan una buena aproximación al análisis sísmico e incluyen comentarios y ejemplos de diseño.

Posteriormente, se presenta el método para la determinación de un análisis sísmico para los cimientos de la estructura, mediante la norma para el análisis

sismorresistente de puentes de Costa Rica descrita anteriormente en el capítulo III. Por razones de alcances en la investigación no se diseñará la subestructura (bastiones), pues el análisis depende de cada lugar en específico donde se implementará.

5.10 Recomendación sobre el tipo de preservantes para la madera.

A pesar del atractivo de la utilización de la madera para puentes de madera se debe seguir un procedimiento para tratar este material y así obtener un rendimiento adecuado.

La madera puede llegar a durar por siglos si esta se mantiene seca; sin embargo, si se usa sin protección al medio ambiente, se vuelve susceptible al ataque de agentes capaces de degradar la estructura de madera. Agentes, como el calor, la abrasión, la luz ultravioleta y productos químicos fuertes, actúan lentamente para disminuir la resistencia de la madera. Aunque estos agentes pueden ser importantes en algunas aplicaciones, el mayor peligro para los puentes de madera, lo presenta el ataque por hongos de pudrición, bacterias, insectos y perforadores marinos. Estos agentes pueden causar graves daños.

Sin embargo, según norma AWPA U1, (2015) se recomienda la utilización estándar a los requerimientos de uso de Categoría 2 (UC2). Esta especificación permite la máxima flexibilidad con respecto a la elección de los materiales por utilizar. Permite el uso de cualquier especie incluida y combinación de conservante para la madera aserrada sólida, al mismo tiempo avala la sustitución con cualquier tipo de producto de material compuesto.

Por lo antes expuesto, se presentan algunas recomendaciones para el uso de la madera en campo abierto para su protección.

5.10.1 ERRADICACIÓN DE INSECTOS XILÓFAGOS ANÓBIDOS, LÍCTIDOS Y CURCULIÓNIDOS (gorgojos y escarabajos)

Si las estructuras están infestadas por alguno de estos insectos, los tratamientos con productos con base de pentaclorofenol o principios activos de acción similar, resultan muy apropiados. En general, los preparados comerciales son una mezcla de sustancias activas con acción insecticida y fungicida.

Algunos de ellos son *Xilamón*, *Legnosan*, *Arbezol*, *Impera HGF* y *Sadovac*. La cantidad que debe utilizarse por metro cuadrado de superficie depende de factores como el tipo y superficie de la madera y la modalidad de distribución del producto; por ejemplo, para una superficie lisa de maderas estructurales, la cantidad suele variar de 200 a 350 cc/cm².

El producto puede ser distribuido con pincel o vaporizado, en situaciones de infestaciones abundantes y superficiales se aconseja rascar la zona enferma antes de distribuir el insecticida.

La desinfección será más eficaz si primero se procede a una limpieza cuidadosa de las estructuras.

5.10.1.1 CERAMBÍCIDOS (escarabajo de antena larga)

Cuando las estructuras están infestadas por Cerambícidos, la desinfección resulta difícil. No obstante, en algunos casos se pueden obtener buenos resultados si se hacen agujeros de 6 a 7 cm en la cara superior de las vigas y, con la ayuda de embudos pequeños, se filtran los productos indicados para otros coleópteros, cuidando de volver a llenar el embudo varias veces durante algunos días.

5.10.1.2 TERMITAS

En primer lugar, hay que seguir el camino de las termitas, encontrar su nido y dejarlo al descubierto que en el caso del *Reticulitermes Lucifugus* estará en el suelo.

Con productos a base de ***Parathion, Malathion, Endosulfan, Tricloforn o Diazinone*** se prepara una mezcla líquida, a razón de 50-70 gramos de sustancia activa por hectolitro de agua y se rocía en abundancia. Es conveniente repetir la operación en zonas vecinas para evitar que se reconstituya parte de la colonia.

5.10.1.3 Tratamiento contra hongos y bacterias.

Un tratamiento efectivo se completa impregnando ***Xilamón, Legnosan, Arbezol*** o similares en las piezas de madera.

El uso de madera tratada con estos productos químicos debe ir acompañada de una hoja de información al consumidor que describe los procedimientos adecuados de manipulación y precauciones.

5.11 Acero preesforzado CR-2010.

5.11.1 Barras de alta resistencia a la tensión, AASHTO M 275M tipo II.

El sistema propuesto se diseña con la norma internacional ASTM A 722, referente a diámetro de las barras de preesfuerzo, analizadas con el instrumento elaborado en la hoja de cálculo de Excel, para dichas barras, el CR-2010 lo refiere como barras de alta resistencia a la tensión, AASHTO M 275M tipo II.

Para las barras de alta resistencia se escoge una dimensión de 1” para que su diseño cumpla con la metodología propuesta en cuanto a su separación, la cual se colocará a una distancia de 48cm iniciando desde la línea de centro de apoyos.

5.12 Barreras de Protección

5.12.1 Barrera de protección tipo “Flex Beam”.

La idea fundamental de las barreras de protección es direccionar nuevamente el vehículo a la vía principal cuando este sufra alguna colisión o deslizamiento hacia los bordes de los caminos o carreteras. Para la norma internacional National Cooperative Highway Research Program, (NCHRP 350, 1993) la barrera Flex Beam es un sistema continuo que ante una colisión se deforma y, simultáneamente, modifica la dirección del vehículo haciéndolo rebotar hacia la carretera.

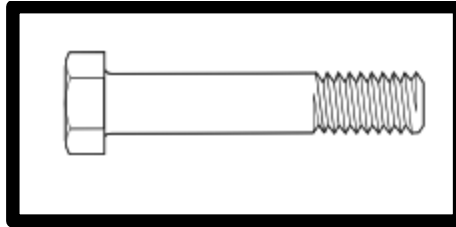
Para el presente proyecto se propone la utilización de estas barreras en los puentes preesforzados pues las mismas cumplen la norma internacional en cuanto a su suficiencia estructural (contener y redireccionar), Trayectoria (el vehículo colisionado no debe invadir los carriles) y riesgo de ocupantes (vehículo no debe volcarse) y revisadas por la NCHRP 350y Norma europea EN 1317.

5.13 Pernos de Anclaje

La norma nacional CR-10 prioriza que los pernos sean galvanizados, hace referencia a la norma internacional ASSTHO de las especificaciones estándar para puentes en carretera, en el artículo 16.2.6 que se cumpla según corresponda.

Para la fijación de las barandas se emplearán pernos de 7/8 de diámetro con una longitud de 30pulgadas según norma ASTM A307, grado 36, con una capacidad de resistir el cortante de 36 000 lb/in².

Figura 20. Pernos de anclaje con cabeza hexagonal

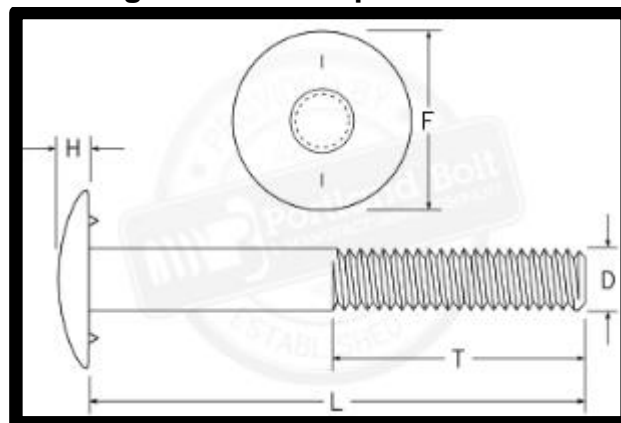


Fuente: Portland Bolt y Company

Se realizan los cálculos para el cortante de la estructura para el sismo con los lineamientos para diseño sismorresistentes de puentes, para un suelo malo IV y cimentación S_3 con factor de 0.490, tomando en cuenta la carga muerta y la carga viva de la estructura dando como resultado un valor aceptable de cortante de diseño de 26847 lb/in^2 contra el perno de fábrica que es capaz de resistir una fuerza de $36\ 000 \text{ lb/in}^2$

Se propone la colocación de pernos para madera ASTM A307 de $\frac{3}{4}$ ", Grado 36 galvanizados, para fijación del remate de losa final con la placa de $\frac{1}{2}$ ", como se muestran en la figura N°21:

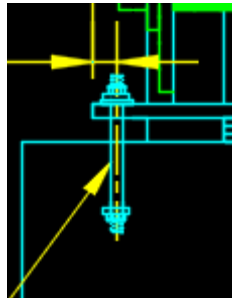
Figura 21. Perno para madera



Fuente: Portland Bolt y Company

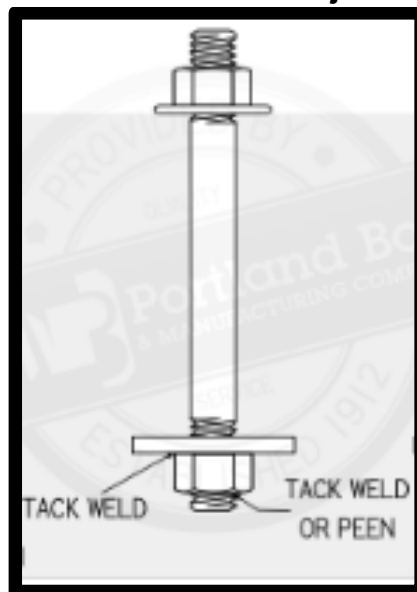
También se necesita la fijación de la placa de $\frac{1}{2}$ " en el apoyo a la subestructura de concreto, como se mencionó anteriormente, no se realizará el diseño de la subestructura pero se propone una subestructura para este tipo de puente de tablero pretensado, fijando dos pernos de anclaje de $\frac{7}{8}$ " como se muestra en la figura N° 23.

Figura N°22. Anclaje de la Superestructura al bastión



Fuente: el autor

Figura N°23. Perno de anclaje a concreto



Fuente: Portland Bolt y Company

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- a. El presente proyecto analizó las maderas de sistemas de reforestación y de extracción de bosque natural, por lo que se presentan los resultados obtenidos como óptimos, posteriormente información de otros autores en cuanto a clases de madera concluyen que difieren las maderas de sistemas de reforestación con las maderas de bosque natural, por lo que un análisis de las mismas maderas combinando ambas extracciones complementaría aún más este Proyecto.

- b. En referencia a la madera de Pílon esta no cumple el requisito por deflexión (carga viva), por lo que es una condición de servicio al usuario motivo por el cual para un sistema de puentes con cubierta pretensado de 11 metros, doble vía no sería una opción viable, sin embargo para las demás características mecánicas analizadas se comporta con buen rendimiento.
- c. Es importante conocer los valores de las constantes elásticas de cada especie con la relación que tienen con los tableros de madera, esto en cuanto a la posibilidad de reducir la incertidumbre de la calidad de la madera en cuanto a su utilización y construcción, buscando diseños más óptimos y seguros.
- d. Se debe realizar ensayos que permitan evaluar y cuantificar los efectos reales del diseño.
- e. Es de gran interés el monitoreo continuo de la funcionalidad de los tableros de pretensión, y un mantenimiento rutinario, pues de ello depende su adecuada utilización, para que la estructura funcione según su objetivo.
- f. La hoja de cálculo adjunta a este trabajo, puede ser utilizada con más especies maderables por lo que no presenta limitaciones en estudiar y analizar más maderas.
- g. En relación a la clasificación de las maderas, se determina que entre más dura sea, presenta mejores características para el diseño de los puentes con cubierta pretensada, pues su deflexión es mucho menor.
- h. Se puede decir que la madera que mejor cumple el diseño aquí propuesto es la madera de Jícaro, la misma es de extracción natural de bosque, presenta mejor características que las otras maderas, sin embargo se podría comparar esta madera con otra de algún sistema de reforestación para observar aún mejor su rendimiento.

- i. Los tableros pretensados, presentan mejores resultados cuando la flexión sigue longitudinalmente la dirección del grano de la madera. Por lo que es conveniente que las piezas de madera sean al mismo tiempo chequeadas por un profesional con el conocimiento respectivo en esta clase de materiales.
- j. Este documento puede ser utilizado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, como una opción viable a solucionar problemas de infraestructura vial en zonas rurales de Costa Rica.
- k. Para el sistema de puentes de tablero pretensado investigados en el presente trabajo se diseñaran los correspondientes planos constructivos.

Recomendaciones

- a. Es importante seguir la secuencia de pretensado de la estructura para garantizar excelentes resultados.

El tensado se realiza de la siguiente secuencia:

- 1) la tensión inicial - en el momento de la construcción de la cubierta.

La tensión inicial consistirá en dos operaciones estresantes no menos de 12 horas de diferencia.

2) primera tensión no menos de 2 semanas después de la finalización de la tensión inicial.

3) segunda tensión no menos de 4 semanas después de la 1ª tensión.

La variación permisible de la fuerza de pretensado en cada barra será del 5%.

- b. Se recomienda más investigación para la madera de Jícaro, en cuanto a su viabilidad de introducción a programas de reforestación y comercialización de la misma pues presenta propiedades mecánicas muy buenas para el diseño de estos puentes y podría significar otros beneficios para la introducción de otros procesos constructivos.
- c. Se recomienda un adecuado control sobre la superestructura, un efectivo control secuencial de postensado, contenido de humedad de la madera y métodos de protección de la madera tanto constructivos como químicos, así como protección contra los rayos UV producidos por el sol.
- d. Se presenta una posible opción para el anclaje de la superestructura a la subestructura, detallada en los planos constructivos, pues no se presenta en esta investigación un elemento de bastión como tal. Pues este sistema bien puede ser utilizado para bastiones de concreto y madera o sustitutos de losas de concreto con luces de 11 metros o menores.
- e. Se deja a criterio de cada institución, la utilización de estos sistemas de tableros postensados, pues un análisis para la sismicidad depende de un estudio complementario para designar el tipo de subestructura a colocar, para su viabilidad así como el análisis de costos para su construcción y se puedan implementar con éxito.
- f. Una opción investigativa podría tener lugar paralela a este proyecto seleccionando un sitio específico para su implementación desde un análisis

integral de la estructura contemplando la subestructura y superestructura de la misma.

- I. Con el fin de originar mecanismos para posteriores investigaciones este trabajo intenta ser pilar para analizar otras estructuras para diseñar y construir dimensiones más amplias para estructuras de más de 11m en madera, combinando tipos de materiales como lo son vigas de acero y concreto para longitudes muchos más grandes.

- m. En lo referente a la preservación de la madera se recomienda una penetración del líquido a aplicar de 2cm como mínimo y una retención de 3.4Kg/m², en ambiente abierto.

- n. Para todas las piezas de madera, serán tratadas de acuerdo con AWWA U1 estándar a los requerimientos de uso Categoría 2 (UC2). Esta especificación permite la máxima flexibilidad con respecto a la elección de los materiales a utilizar. Permite el uso de cualquier especie incluida y combinación de conservante para la madera aserrada sólida, al mismo tiempo avala la sustitución con cualquier tipo de producto con material compuesto.

- o. Se recomienda como material alternativo aplicar Barnisol, para aquella madera expuesta directamente al sol, con protección contra rayos ultravioleta (UV).

- p. En el presente trabajo no se realizó un análisis de costos de la estructura propuesta, pues este podría significar todo un tema a explorar más para posteriores investigaciones.

Bibliografía:

American Wood Protection Association Estándar, (2015). User specification for treated Wood. USA, Epa. 2015.

AsphaltInstitute (2010). Principios de Construcción de pavimento mezcla asfáltica en caliente, Serie de manuales N°22. USA: Lexington.

Astorga Gattgens, Allan. (2015) “Pateando la bola” en la lucha contra el cambio climático. San José, Costa Rica: Periódico diario Extra.

Barrantes, A; Ugalde, S. 2015. Balanza comercial y principales tendencias de las exportaciones e importaciones de madera y muebles de madera en Costa Rica. Oficina Nacional Forestal Heredia, 2015. 30 p.

Comisión Permanente de estudios y revisión del código de sísmico de C:R, (2013). Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes. CP 11501 - 2060, San José, Costa Rica.

Grupo de Estudios JICA, (2007). Manual de Inspección de Puentes MOPT. San José C.R. Primer edición: 2007.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía) 2015. Lineamientos para facilitar la implementación del Plan Nacional de Desarrollo Forestal de Costa Rica durante el periodo 2014-2018: reactivación económica para la producción, transformación y comercialización de productos forestales sostenibles y generación de ingresos para el sector rural. San José, CR.

MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte), 2015. Secretaría de Planificación Sectorial. Anuario estadístico del sector transporte e infraestructura 2014 / MOPT: Secretaría de Planificación Sectorial. – (1966)- San José: Gestión de la Información y el Conocimiento, 2015.

Murillo, Guevara y otros. (2012). Estado de los Recursos Genéticos Forestales de Costa Rica. Costa Rica: FAO.

Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (Costa Rica), 2015. Vigésimo primer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible/PEN.- --San José C.R: PEN 2015.

Real Academia Española (2014), Diccionario de la lengua española, 23.^a ed. Madrid: España, 2014.

Ritter, Michael A. (1990). Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Washington, DC: 944 p.

Santamaría, Oscar. (2015). CR Los acervos de carbono en productos de madera y derivados en Costa Rica. San José, C.R.

Soto, Michelle (2015). "País Aplaza meta Carbono neutralidad". San José, Costa Rica: Periódico La Nación.

SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2015. SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2014. Comps. B. Pavlotzky & G. Rojas. San José, CR. 102 p.

Villalobos, Federico (2016). "Infraestructura con visión 20/20". San José, Costa Rica: Periódico La Nación. Pág. 28ª

Zelada Fonseca, Carlos (2013). Vida. Revista del sector electricidad-ICE/grupo ICE. San José, CR: ICE, 2008-Semestral ISSN 1659-3154.

Referencias en línea

Asociación de cafés finos de CR. (2013). Historia del café de Costa Rica. San José, CR Recuperado de: <http://www.scacr.com/historia.html>

Mora, Alberto. (2015). Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (Costa Rica) Vigésimo informe Estado de la Nación. San José, CR. Recuperado de: <http://www.estadonacion.or.cr/20>.

Solís, Manuel y Moya Roger. (2001). Hyeronima Alchornoides en Costa Rica. San José, C.R. Recuperado de <http://www.sirefor.go.cr>

Soto, Michelle (2015). "Tala ilegal desluce los esfuerzos de reforestación de Costa Rica". San José, Costa Rica: Periódico La Nación. Recuperado de: http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Tala-ilegal-desluce-esfuerzos-reforestacion_0_1494050591.html

Whiley J. & Sons (2013). Bridge Design and Evaluation: LRFD and LRFR. Hoboken, New Jersey. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr>

TERMINOLOGIA

TERMINOLOGÍA

Acanalado: Es la distorsión de una tabla de madera en la cual existe una desviación, en la dirección perpendicular a la cara, de una línea recta a lo largo del ancho de la tabla.

Acebolladura: Es la separación de leño o madera entre dos anillos.

Agujero por médula: Espacio vacío que deja el desprendimiento de un nudo muerto.

Alabeo: Cualquier variación de un plano o superficie verdadera. Incluye la arqueadura, encorvadura, acanalado o torcedura.

Nota: en otros mercados se conoce el término alabeo como torcedura.

Albura: Parte externa del leño del árbol, rodeada por la corteza, y por lo general es de color blanco a amarillo pálido. Es la madera que contiene células vivas.

Alistado: Proceso por el cual la madera aserrada es sometida a un cepillado o moldurado.

Anillo de crecimiento: Es la formación de diferentes capas de crecimiento que se dan en el árbol y se observa por diferencia de tonalidades en la sección transversal.

árbol forestal: Planta perenne, de tronco leñoso y elevado que se ramifica a mayor o menor altura del suelo, que es fuente de materia prima que origina industrias como aserraderos, fábricas de tableros, de chapas, de fósforos, de celulosa, de aceites esenciales, de resinas y taninos.

Arqueadura (curvatura por cara): Es la distorsión de una pieza de madera en la cual hay una desviación, en la dirección perpendicular a la cara, de una línea recta de extremo a extremo de la pieza.

Artesón: Es una pieza de madera de sección rectangular con espesor nominal mayor que 50 mm (2 pulg.) y ancho nominal mayor que 125 mm (5 pulg.).

Aserrín: Pequeñas partículas provenientes generalmente del corte de sierras.

Astillas: Pequeños fragmentos de madera picados o quebrados por cortes de cuchilla como por ejemplo de una cepilladora, astilladora o molino de martillos.

Bolsas de resina: Es una cavidad bien delimitada y que contiene resina o gomas y por lo general se observa un color oscuro en esa región.

Burucha: Pequeños trozos de partículas de madera de espesor menor que 3 mm proveniente del proceso de cepillado de la madera.

Cambium (cambio): La capa microscópica de células que se encuentra entre la corteza interior y la madera de un árbol y que repetidamente se subdivide para formar madera nueva y células de corteza.

Canto: Superficie de la pieza correspondiente a la menor dimensión de la sección transversal.

Cara: Superficie de la pieza correspondiente a la mayor dimensión de la sección transversal.

Célula: Término general para las unidades diminutas de la estructura de la madera, que tienen paredes y cavidades celulares distintas, incluyendo las fibras de la madera, segmentos de vasos y otros elementos de estructuras y funciones diversas.

Celulosa: El carbohidrato que es el principal constituyente de la madera y forma el marco estructural de las células de madera.

Clase o grado: La designación de la calidad de una pieza de madera manufacturada. En la terminología nacional, grado se utiliza específicamente para la madera estructural.

Colapso: Se refiere al aplastamiento de células o filas de células durante el secado o tratamiento a presión de la madera, caracterizado por una apariencia corrugada.

Chapa: Es una lámina de madera delgada de espesor uniforme obtenida por el desenrollado, rebanado o aserrado de una troza.

Contenido de humedad de la madera: Es la cantidad de agua que contiene la madera con respecto a su peso seco al horno, se expresa en porcentaje.

Contenido de humedad de equilibrio: Es aquel contenido de humedad en la madera que está en equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente.

Contracción: Es la disminución de las dimensiones de la pieza de madera por un decrecimiento del contenido de humedad. La contracción ocurre solamente cuando la madera está por debajo del punto de saturación de las fibras.

Corteza: Es la capa más externa de tallos y de raíces de planta leñosas como los árboles.

Defecto: Cualquier irregularidad o imperfección en la pieza de madera que disminuye su calidad o durabilidad, su resistencia o su utilización. Puede provenir del ataque de hongos, insectos, malas condiciones de crecimiento, anomalías del árbol o mal proceso de aserrío.

Degradación: Desintegración mecánica o química y decoloración de la superficie de la madera, causada por la exposición a la luz, la acción del polvo y de la arena transportada por el viento y las constantes contracciones y expansiones de las fibras exteriores, con la continua variación del contenido de humedad debido a los cambios de clima. La degradación no incluye la pudrición.

densidad relativa: Cuando se aplica a la madera, se refiere a la razón entre la masa seca al horno de una muestra y la masa de un volumen de agua igual al volumen de la muestra, a cierto contenido de humedad especificado, como por ejemplo verde, seco al aire o seco al horno.

Dimensión nominal (comercial): **Dimensión que se aplica a productos tales como madera aserrada, tradicionalmente se refiere a la dimensión aproximada de la madera aserrada en bruto, la cual es conocida y vendida en el mercado. La dimensión real de la madera en bruto puede variar con respecto a la dimensión nominal.**

Dimensión real: **Es la medida real de la pieza de madera.**

Durabilidad natural: Se refiere a la resistencia natural que presenta la madera al ataque de insectos u hongos, sin agregar ningún tipo de preservante en ella.

Duramen (corazón): Parte interna del leño del árbol, rodeada por la albura. El duramen generalmente es de un color más oscuro que la albura, aunque la diferencia no siempre es claramente distinguible. Es la madera que no tiene células vivas.

Dureza: Término relacionado con la capacidad de la madera para resistir incisiones y abrasión; para propósitos comparativos, la dureza en la madera generalmente se mide como la carga requerida para insertar la mitad del diámetro de una bola de acero de 11,3 mm en ella.

Encorvaduras (curvatura por canto): Es la distorsión de una pieza de madera en la cual existe una desviación, en la dirección perpendicular al borde, de una línea recta de extremo a extremo de la pieza.

Endurecimiento superficial: Una condición de esfuerzo debido al secado, en el cual las fibras exteriores de la madera se encuentran en compresión y las fibras interiores en tensión.

Espesor: Dimensión menor de la sección transversal de una pieza de madera.

Estabilización dimensional: Tratamiento de la madera para reducir las expansiones y contracciones causadas por los cambios en su contenido de humedad.

Extractivos: Componentes que se encuentran en los tejidos de las plantas pero que no forman parte de los elementos estructurales, que se remueven con solventes naturales como éter, alcohol y agua.

Extremo(s) o cabeza: Se refiere a la sección transversal de alguno de los extremos de una pieza de madera.

Falla de cepillado: Son propias de la madera cepillada y son áreas de la pieza de madera que han quedado sin cepillar.

Falla de compresión: Deformación de las fibras de la madera debido a compresión excesiva a lo largo del grano, en compresión directa o en flexión. Se puede desarrollar en el árbol debido a flexión causada por el viento o a esfuerzos internos longitudinales

desarrollados durante el crecimiento o a esfuerzos producidos durante la tala. En madera cepillada, las fallas de compresión se aprecian como encogimientos finos a través de la cara de la pieza.

Fibra de madera: Célula de madera comparativamente larga (1 mm o menos a 8,5 mm), angosta, con extremos cerrados e inclinados.

Floema: corteza interior, tejido principal que se encarga de transportar material orgánico soluble.

Grado o clase: ver clase o grado.

Grano: La dirección, tamaño, arreglo, apariencia o calidad de las fibras en los productos de madera o a base de madera.

Gravedad específica: ver densidad relativa.

Grieta: es la abertura producida por la separación de la madera en el sentido longitudinal.

Hinchamiento: es el aumento de las dimensiones de la pieza de madera por un incremento del contenido de humedad. El hinchamiento ocurre solamente cuando la madera está bajo el punto de saturación de las fibras.

Huecos de insectos: son orificios producidos en la madera por la acción de insectos, tales como termitas, barrenadores, entre otros.

Inclinación del grano: es la desviación angular que presenta el grano de la madera con respecto al eje longitudinal de una pieza de madera.

Leña: residuo de madera proveniente de procesos industriales, aprovechamiento y cosecha forestal y agroforestal.

Leño tardío: parte exterior del anillo de crecimiento formada luego del leño temprano. Se caracteriza por células de lúmenes pequeños y pared gruesa.

Leño temprano: parte interna del anillo de crecimiento formada en la primera estación de crecimiento. Se caracteriza por células de lúmenes grandes y pared delgada.

Longitud (largo): es la distancia entre los extremos de una pieza.

Madera: los tejidos del tallo, ramas y raíces de una planta leñosa, que se encuentran entre la médula y el cambium, que sirven para conducción de agua, resistencia mecánica y almacenamiento de alimentos. Se caracteriza por la presencia de traqueidas o vasos.

-aserrada: es la madera obtenida después de un proceso de aserrío, posee dimensiones de ancho, espesor y largo. Además muestra marcas de sierra en las cuatro caras o lados y en toda su longitud.

-cepillada: Es la madera que ha sido cepillada y llevada a sección constante. La madera cepillada es usualmente lisa en sus cuatro caras (C4C). El cepillado puede ser por un solo lado (C1C), en dos de sus lados (C2C), en un borde (C1B), en dos bordes (C2B) o cualquiera otra combinación. Los aspectos de cepillado consideran criterios de calidad como: grano arrancado, vellosos y rugosos los cuales son problemáticos si no se tienen bajo control.

- **certificada:** madera que cumple con las reglas de un sistema de evaluación de la conformidad para certificación de producto emitido por un organismo certificador externo.

- **clasificada:** madera que ha sido clasificada o catalogada para un determinado uso.

-contrachapada estructural: es un tablero de madera contrachapada fabricado para resistir un nivel de esfuerzo mínimo.

- **de compresión:** madera anormal que se forma típicamente en la parte inferior de las ramas y en troncos inclinados de árboles de coníferas. La madera de compresión se identifica por sus anillos de crecimiento relativamente anchos, usualmente excéntricos, gran cantidad de leño tardío comparada con la madera normal y por la falta de demarcación entre leño temprano y leño tardío en el mismo anillo de crecimiento. La

madera de compresión se contrae excesivamente a lo largo del grano en comparación con madera normal.

- **de tensión:** madera anormal que se forma típicamente en la parte superior de las ramas y en troncos inclinados de árboles de latifoliadas. Se caracteriza por la presencia de fibras gelatinosas y contracción longitudinal excesiva.

- **en tabla:** madera aserrada de ancho mayor que 120 mm (4 3/4 pulg.) y espesor menor que 50 mm (2 pulg.).

- **en rollo:** sección del tronco libre de ramas de longitud variable, obtenida por cortes transversales del tallo del árbol.

- **escuadrada:** pieza de madera dimensionada, producto de someter una troza de madera a un proceso mecánico de transformación, en la cual se modifica su forma redondeada, simulando cuatro caras sin alterar notablemente su fisonomía.

-**de uso general:** se refiere a la madera aserrada que va a ser utilizada en la construcción en general o cualquier otro uso que no sea estructural ni en la fabricación de muebles.

- **estructural compuesta:** un compuesto de elementos de madera (por ejemplo, hilos de madera, tiras, láminas de chapas o una combinación de ellos), unidos con adhesivos para utilizarlos en aplicaciones estructurales.

- **estructural:** madera que ha sido clasificada para ser utilizada en usos estructurales.

- **laminada:** la madera laminada se refiere a un producto ingenieril, clasificado estructuralmente, de una planta laminadora, el cual consiste en un ensamble de láminas de madera seleccionadas y preparadas especialmente y unidas con adhesivo estructural rígido en forma recta o curva. El grano de las láminas es aproximadamente paralelo a la longitud del elemento.

Mancha: es una decoloración en la madera causada por diversos agentes como microorganismos, metales o químicos.

Manchas naturales: son variaciones en el color natural de la madera que se debe a la oxidación de azúcares o extractivos a la acción de las condiciones ambientales, como radiación solar, secado o caída esporádica de agua.

Manchas por hongos: variaciones del color debido a la presencia de hongos los cuales atacan los componentes de la madera, sin que esto disminuya la resistencia de la madera.

Marcas de sierra: cualquier tipo de irregularidades sobre la superficie de las piezas debido a los rodillos alimentadores, deslizamientos de las cuchillas, cortes de sierra, u otros.

Marcas y mordidas de cuchilla: son las impresiones de cada uno de los cortes de cada cuchilla sobre la superficie de la madera cepillada. Las mordidas son una depresión debido al corte de las cuchillas generalmente en el extremo de una pieza.

Médula: es la parte central de la sección del tronco, troza o rama y está constituida por tejido parenquimático sobre el cual se inicia el crecimiento de la madera.

Nombre científico: con el fin de evitar la ambigüedad en denotar las especies de madera se ha creado una nomenclatura internacional binomial en latín de las animales y plantas y es denominado como nombre científico.

Nombre vulgar o nombre común: se refiere a un nombre con el cual es conocida la madera en una región, país o pueblo. Estos nombres por lo general suelen cambiar para la misma especie.

Nudo: tejido leñoso producido por el desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades son diferentes al resto de la pieza de madera.

espiga: un nudo que se corta de 0° a 45° con respecto al eje longitudinal de la rama.

suelto: es aquel nudo en que sus tejidos no están adheridos a la madera que le circunda. Su pérdida genera un orificio (nudo hueco).

sano: nudo libre de corteza o pudrición. El tejido del nudo se encuentra entrelazado con la madera que le circunda.

Peso específico: ver densidad relativa.

Pieza con médula incluida: es el tejido de textura suave muy cerca del centro del árbol.

Poro: en la anatomía de la madera, término aplicado a la sección de un vaso o una traqueida vascular.

Preservante: sustancia química que cuando se aplica de manera adecuada a la madera, hace que ésta sea resistente al ataque de hongos, insectos, taladradores marinos o condiciones ambientales.

Producto estandarizado a base de madera: un producto manufacturado que tiene un contenido substancial de madera y propiedades medibles que se determinan de acuerdo con una norma consensuada.

Propiedades admisibles: propiedades mecánicas de los materiales preparadas para uso en el diseño. Las propiedades admisibles de la madera se identifican con descripciones de grados de esfuerzo (o estructurales) y reflejan la naturaleza ortotrópica de la madera. Muchas veces se consideran sinónimos de esfuerzos admisibles unitarios, esfuerzos de trabajo y esfuerzos de diseño.

Pudrición: descomposición de la madera producida por la acción de hongos que destruyen la madera, lo que resulta en la pérdida de resistencia mecánica, dureza y peso y a menudo con cambios en su textura y color (figura 24).

Pulgada maderera tica (pmt): es la unidad volumétrica de comercialización de la madera utilizada tradicionalmente. Representa un volumen de 25,4 mm (1 pulg.) de ancho por 25,4 mm (1 pulg.) de espesor, por 3 360 mm (4 varas) de longitud. Un 1 metro cúbico (m³) equivale a 462 pmt. En la madera aserrada se calcula con la siguiente ecuación:

$$pmt = ae \frac{l}{4} \quad [1]$$

Donde:

a: ancho de la pieza en pulgadas,

e: espesor de la pieza en pulgadas,

l: longitud de la pieza en varas.

Para la madera en troza, el volumen de la pieza se calcula con la siguiente ecuación (ver el reglamento N° 12067 MEIC):

$$V = \left(\frac{1}{4} C - R \right)^2 L \quad [2]$$

Donde:

V: volumen (dm³),

C: circunferencia medida en la cara menor (dm),

L: longitud (dm),

R: castigo o reducción (dm).

Un metro cúbico de madera en troza (1000 dm³) equivale a 362 pmt.

Punto de saturación de las fibras: contenido de humedad en el cual, las paredes celulares están saturadas con agua y las cavidades celulares no contienen agua. Generalmente se toma entre 25% y 30% de contenido de humedad, basado en el peso seco al horno.

Quebrantadura: es la fisura generada en la madera en pie, en donde la fibra de la misma está partida transversalmente.

Rajadura: es la separación del tejido leñoso paralela a la dirección de las fibras, debido al desgarre de las células de madera.

corta: aquella cuya longitud es menor o igual que el espesor de la pieza.

mediana: aquella cuya longitud es mayor que el ancho del espesor pero menor que dos veces el espesor.

Regla: es una pieza de madera de sección rectangular con espesor nominal menor o igual que 25,4 mm (1 pulg.) y su ancho nominal hasta a 101,6 mm (4 pulg.).

Remolinado: cambio en la dirección de las fibras causado por la cercanía de un nudo, se observa como un veteado.

Retardador de fuego (ignífugo): compuesto químico que tiene o provee propiedades de baja inflamabilidad o propagación de la llama.

Savia: líquido (agua, sales minerales, nutrientes y otras sustancias químicas en solución) presente en la madera verde.

Secado: este término se aplica al proceso de remoción de agua de la madera para lograr un contenido de humedad apropiado para el desempeño esperado del producto final.

al aire: secado por exposición al aire, sin calor artificial.

en horno: secado en una cámara cerrada en la cual, la temperatura y la humedad relativa pueden ser controladas.

Sección estructural de madera compuesta: construcción laminar que comprende una combinación de madera y otros materiales simples o complejos, ensamblados y unidos unos con otros para utilizar las propiedades de cada uno para lograr una ventaja estructural específica.

Tableros: se refiere a láminas por lo general de 2,44 m de largo y 1,22 m de ancho y de espesor variable.

Taladrado por insecto (pica de montaña): pequeñas cavidades generalmente menores de 2 mm de diámetro, producidas por insectos barrenadores.

Tallo: el tronco de un árbol.

Tolerancia en aserrío: son las variaciones permitidas en las dimensiones establecidas de la madera aserrada.

Torceduras: es una distorsión causada por el doblado o curvado de los bordes de una tabla, de manera que las cuatro esquinas o una cara ya no se encuentran en el mismo plano.

Tronco: el tallo principal o cuerpo de un árbol.

Troza (Tuca): una sección del tronco que usualmente se refiere a una longitud conveniente para convertirla en productos comerciales.

Vasos: células de madera de gran diámetro comparativamente, que tienen extremos abiertos y están dispuestas unas sobre las otras de manera que se forman tubos continuos. Las aberturas de los vasos en la superficie de una pieza de madera se conocen usualmente como poros.

Viga: elemento estructural utilizado horizontalmente para soportar cargas gravitacionales por flexión.

vigas I prefabricadas: se refiere a un elemento estructural manufacturado, utilizando alas de madera aserrada estructural o madera estructural compuesta y almas de tableros fabricados con adhesivos resistentes al agua, cuyos elementos son unidos con adhesivos estructurales, formando una sección transversal en forma de "I".

Xilema: la porción del tronco, ramas y raíces del árbol, que se encuentra entre la médula y el cambium.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla contenido de humedad para varias especies maderables

Property	C_M values						E
	F_b	F_t	F_c	$F_{c\perp}$	F_v	F_g	
Sawn lumber; all species except Southern Pine and Virginia Pine-Pond Pine^a							
All thicknesses surfaced dry or surfaced green and used at 19% maximum moisture content	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Nominal 4 inches or less in thickness, surfaced green or dry and used at a moisture content greater than 19%	0.86	0.84	0.70	0.67	0.97	— ^b	0.97
Nominal 4 inches or less in thickness, surfaced green or dry and used at a moisture content of 15% or less ^c	1.08	1.08	1.17 ^d	1.00	1.05	— ^b	1.05 ^d
Nominal 5 inches and thicker used where moisture content exceeds 19%	1.00	1.00	0.91	0.67	1.00	— ^b	1.00
Glulam							
Used at moisture contents of 16% or less (dry conditions of use)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Used at moisture contents greater than 16% (wet conditions of use)	0.80	0.80	0.73	0.53	0.875	0.57	0.833

Fuente: Ritter

Anexo 2

Tabla de Momentos máximos, coeficientes de deflexión.

Table 16-8.—Maximum vehicle moment, reaction, and deflection coefficient. Simple span, one wheel line, impact factor not included (continued).

Vehicle type HS 20-44

Span (ft)	Moment (ft-kips)	Reaction ^a (kips)	Deflection ^b coefficient	Span (ft)	Moment (ft-kips)	Reaction ^a (kips)	Deflection ^b coefficient	Span (ft)	Moment (ft-kips)	Reaction ^a (kips)	Deflection ^b coefficient
10	40.00	16.00	5.76 x 10 ⁸	47	287.17	28.85	1.09 x 10 ¹¹	84	618.33	32.00	7.17 x 10 ¹¹
11	44.00	16.00	7.67 x 10 ⁸	48	296.08	29.00	1.17 x 10 ¹¹	85	627.31	32.05	7.44 x 10 ¹¹
12	48.00	16.00	9.95 x 10 ⁸	49	305.00	29.14	1.25 x 10 ¹¹	86	636.28	32.09	7.72 x 10 ¹¹
13	52.00	16.00	1.27 x 10 ⁹	50	313.92	29.28	1.34 x 10 ¹¹	87	645.25	32.14	8.00 x 10 ¹¹
14	56.00	16.00	1.58 x 10 ⁹	51	322.84	29.41	1.43 x 10 ¹¹	88	654.23	32.18	8.29 x 10 ¹¹
15	60.00	17.07	1.94 x 10 ⁹	52	331.77	29.54	1.53 x 10 ¹¹	89	663.20	32.22	8.59 x 10 ¹¹
16	64.00	18.00	2.36 x 10 ⁹	53	340.70	29.66	1.63 x 10 ¹¹	90	672.18	32.27	8.90 x 10 ¹¹
17	68.00	18.82	2.83 x 10 ⁹	54	349.63	29.78	1.73 x 10 ¹¹	91	681.15	32.31	9.21 x 10 ¹¹
18	72.00	19.56	3.36 x 10 ⁹	55	358.56	29.89	1.84 x 10 ¹¹	92	690.13	32.35	9.53 x 10 ¹¹
19	76.00	20.21	3.95 x 10 ⁹	56	367.50	30.00	1.96 x 10 ¹¹	93	699.11	32.39	9.85 x 10 ¹¹
20	80.00	20.80	4.61 x 10 ⁹	57	376.44	30.11	2.07 x 10 ¹¹	94	708.09	32.43	1.02 x 10 ¹²
21	84.00	21.33	5.33 x 10 ⁹	58	385.38	30.21	2.19 x 10 ¹¹	95	717.06	32.46	1.05 x 10 ¹²
22	88.00	21.82	6.40 x 10 ⁹	59	394.32	30.31	2.32 x 10 ¹¹	96	726.04	32.50	1.09 x 10 ¹²
23	92.00	22.26	7.81 x 10 ⁹	60	403.27	30.40	2.45 x 10 ¹¹	97	735.02	32.54	1.12 x 10 ¹²
24	96.33	22.67	9.38 x 10 ⁹	61	412.21	30.49	2.59 x 10 ¹¹	98	744.00	32.57	1.16 x 10 ¹²
25	103.68	23.04	1.11 x 10 ¹⁰	62	421.16	30.58	2.73 x 10 ¹¹	99	752.98	32.61	1.20 x 10 ¹²
26	111.08	23.38	1.30 x 10 ¹⁰	63	430.11	30.67	2.87 x 10 ¹¹	100	761.96	32.64	1.23 x 10 ¹²
27	118.52	23.70	1.51 x 10 ¹⁰	64	439.06	30.75	3.02 x 10 ¹¹	101	770.94	32.67	1.27 x 10 ¹²
28	126.00	24.00	1.74 x 10 ¹⁰	65	448.02	30.83	3.18 x 10 ¹¹	102	779.92	32.71	1.31 x 10 ¹²
29	133.52	24.41	1.99 x 10 ¹⁰	66	456.97	30.91	3.34 x 10 ¹¹	103	788.90	32.74	1.35 x 10 ¹²
30	141.07	24.80	2.25 x 10 ¹⁰	67	465.93	30.99	3.50 x 10 ¹¹	104	797.88	32.77	1.39 x 10 ¹²
31	148.65	25.16	2.54 x 10 ¹⁰	68	474.88	31.06	3.67 x 10 ¹¹	105	806.87	32.80	1.44 x 10 ¹²
32	156.25	25.50	2.85 x 10 ¹⁰	69	483.84	31.13	3.85 x 10 ¹¹	106	815.85	32.83	1.48 x 10 ¹²
33	163.88	25.82	3.18 x 10 ¹⁰	70	492.80	31.20	4.03 x 10 ¹¹	107	824.83	32.86	1.52 x 10 ¹²
34	171.76	26.12	3.53 x 10 ¹⁰	71	501.76	31.27	4.22 x 10 ¹¹	108	833.81	32.89	1.57 x 10 ¹²
35	180.60	26.40	3.91 x 10 ¹⁰	72	510.72	31.33	4.41 x 10 ¹¹	109	842.80	32.92	1.61 x 10 ¹²
36	189.44	26.67	4.31 x 10 ¹⁰	73	519.68	31.40	4.61 x 10 ¹¹	110	851.78	32.95	1.66 x 10 ¹²
37	198.30	26.92	4.74 x 10 ¹⁰	74	528.65	31.46	4.81 x 10 ¹¹	111	860.77	32.97	1.70 x 10 ¹²
38	207.16	27.16	5.19 x 10 ¹⁰	75	537.61	31.52	5.02 x 10 ¹¹	112	869.75	33.00	1.75 x 10 ¹²
39	216.03	27.38	5.67 x 10 ¹⁰	76	546.58	31.58	5.23 x 10 ¹¹	113	878.73	33.03	1.80 x 10 ¹²
40	224.90	27.60	6.18 x 10 ¹⁰	77	555.55	31.64	5.45 x 10 ¹¹	114	887.72	33.05	1.85 x 10 ¹²
41	233.78	27.80	6.74 x 10 ¹⁰	78	564.51	31.69	5.68 x 10 ¹¹	115	896.70	33.08	1.90 x 10 ¹²
42	242.67	28.00	7.34 x 10 ¹⁰	79	573.48	31.75	5.91 x 10 ¹¹	116	905.69	33.10	1.95 x 10 ¹²
43	251.56	28.19	7.98 x 10 ¹⁰	80	582.45	31.80	6.15 x 10 ¹¹	117	914.68	33.13	2.00 x 10 ¹²
44	260.45	28.36	8.65 x 10 ¹⁰	81	591.42	31.85	6.40 x 10 ¹¹	118	923.66	33.15	2.06 x 10 ¹²
45	269.36	28.53	9.35 x 10 ¹⁰	82	600.39	31.90	6.65 x 10 ¹¹	119	932.65	33.18	2.11 x 10 ¹²
46	278.26	28.70	1.01 x 10 ¹¹	83	609.36	31.95	6.91 x 10 ¹¹	120	941.63	33.20	2.16 x 10 ¹²

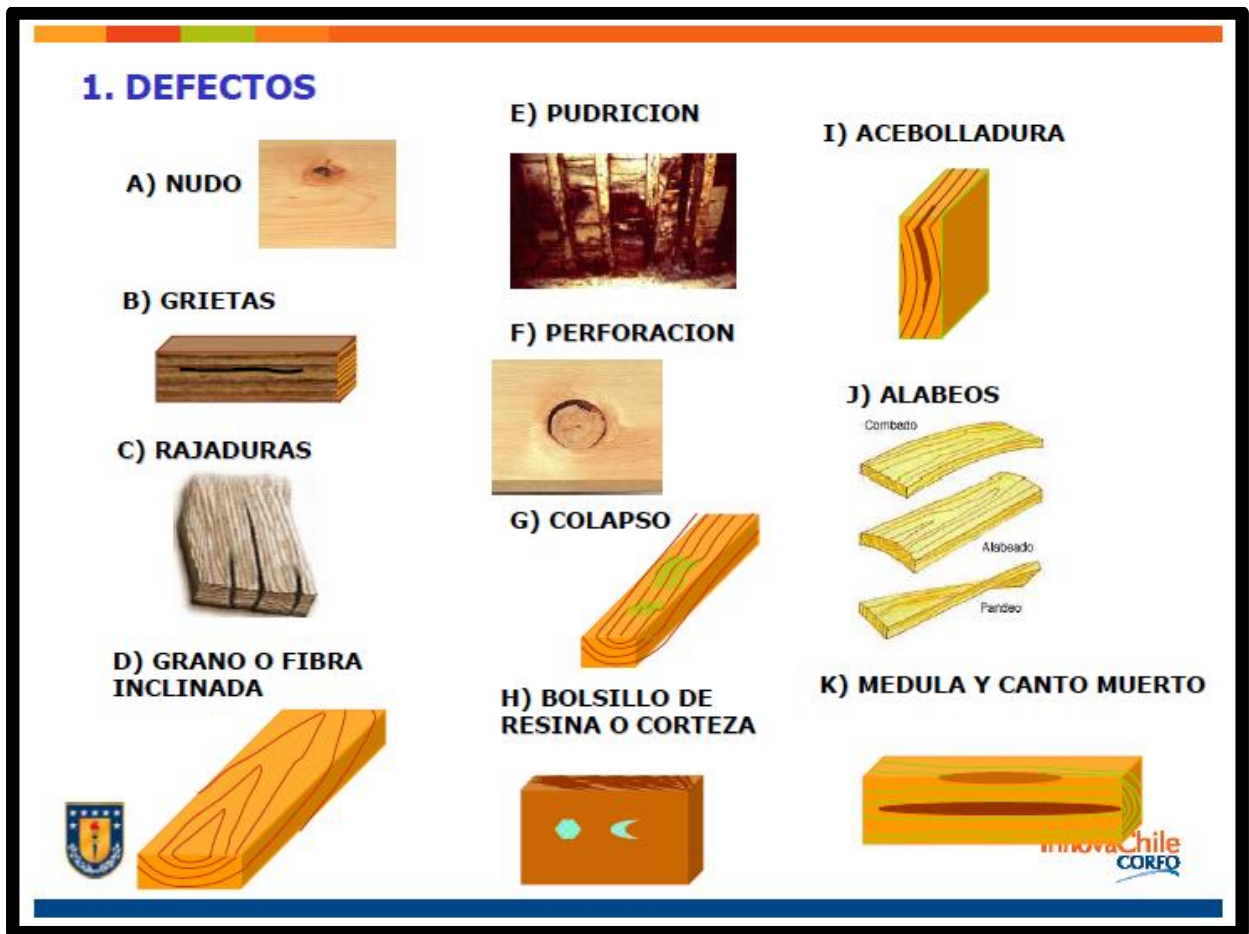
^a Reactions are based on point bearing at span ends.

^b To obtain deflection for one wheel line in inches, divide the deflection coefficient by EI (lb-in³).

^c Truck loads control for all spans shown.

Fuente: Ritter

Anexo 3



Fuente: ONF

Anexo 4

5. REQUISITOS DIMENSIONALES Y SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA LA MADERA ASERRADA DE USO GENERAL.

La norma establece los requisitos dimensionales para la madera aserrada, según la siguiente tabla.

Cuadro 2: Tamaños estándares mínimos para madera aserrada cepillada.

<i>Espesor</i>			<i>Ancho</i>		
Nominal mm (pulgadas)	Mínimo		Nominal mm (pulgadas)	Mínimo	
	Seca	Verde		Seca	Verde
13(1/2)	10	10	50(2)	47	47
19(3/4)	16	16	75(3)	72	72
25 (1)	22	22	100(4)	97	97
31(1 ¼)	28	28	120(5)	117	117
38(1 ½)	35	35	150(6)	147	147
50(2)	47	47	175(7)	172	172
75(3)	72	72	200(8)	197	197
100(4)	97	97	225(9)	222	222
			250(10)	247	247
			280(11)	277	277
			300(12)	297	297
			350(14)	347	347
			400(16)	397	397

Nota 1: Para tamaños no incluidos en esta tabla, el tamaño mínimo no debe ser menor que el tamaño nominal menos 3 mm, tanto en espesor como en el ancho de la pieza.
Nota 2: El valor mínimo debe cumplirse en cualquier punto de medición de la pieza.

Fuente: ONF

Anexo 5

Cuadro 1. Unidades de medición recomendadas para distintas propiedades de uso común en la ingeniería civil y estructural

Propiedad a medir	Unidad
Longitud o altura	m
Área de piso	m ²
Volumen de material	m ³
Dimensiones de una sección	mm
Área de sección transversal	mm ²
Módulo de sección	mm ³
Momento de inercia	mm ⁴
Radio de giro	mm
Deflexión	mm
Espaciamiento de refuerzo	mm
Área de refuerzo	mm ²
Masa de material	kg o t
Densidad de material	kg/m ³ o t/m ³
Peso, fuerza o carga puntual	N o kN
Momento flector o torsional	N·m o kN·m
Carga por unidad de longitud	N/m o kN/m
Carga por unidad de área	N/m ² o kN/m ²
Peso específico de material	N/m ³ o kN/m ³
Esfuerzo	N/mm ² = MPa o kN/m ² = kPa
Módulo de elasticidad	kN/mm ² = GPa
Temperatura	°C

Fuente: LANAMME

Anexo 6

Cuadro 2. Factores de conversión entre el Sistema Métrico Gravitacional (SMG) y el Sistema Internacional (SI)

Cantidad	SMG		SI	
Masa	1	kg	1	kg
Longitud	1	cm	0.01	m
	1	cm	10	mm
Área	1	cm ²	10 ⁻⁴	m ²
	1	cm ²	100	mm ²
Volumen	1	cm ³	10 ⁻⁶	m ³
	1	cm ³	1000	mm ³
Fuerza	1	kgf	9.80665	N
	1	tf	9.80665	kN
Densidad	1	kg/m ³	1	kg/m ³
Peso específico	1	kgf/m ³	9.80665	N/m ³
	1	tf/m ³	9.80665	kN/m ³
Esfuerzo / presión / Módulo de elasticidad	1	kgf/cm ²	0.0980665	N/mm ² (MPa)
	1	tf/m ²	9.80665	kN/m ²
Momento	1	kgf-m	9.80665	N-m
	1	tf-m	9.80665	kN-m
	1	kgf-cm	0.0980665	N-m
Carga por unidad de longitud	1	kgf/m	9.80665	N/m
	1	tf/m	9.80665	kN/m
	1	kgf/cm	980.665	N/m
Módulo de sección	1	cm ³	1000	mm ³
Momento de inercia	1	cm ⁴	10000	mm ⁴
Temperatura	1	°C	1	°C

Cuadro 3. Factores de conversión entre el Sistema de Unidades Tradicionales de Estados Unidos (USCS) y el Sistema Internacional (SI)

Cantidad	USCS		SI	
Masa	1	lb	0.4536	kg
Longitud	1	ft	0.3048	m
	1	in	25.4	mm
Área	1	ft ²	0.0929	m ²
	1	in ²	645.16	mm ²
Volumen	1	ft ³	0.02832	m ³
	1	in ³	16387.1	mm ³
Fuerza	1	lbf	4.4482	N
	1	kip	4.4482	kN
Densidad	1	lb/ft ³	16.0185	kg/m ³
Peso específico	1	lbf/ft ³	157.09	N/m ³
Esfuerzo / presión / Módulo de elasticidad	1	psi (lbf/in ²)	6.89476	kPa (N/mm ²)
	1	ksi (klbf/in ²)	6.89476	MPa (N/mm ²)
	1	psf (lbf/ft ²)	47.88	Pa (N/m ²)
Momento	1	lbf-ft	1.3558	N-m
	1	kip-ft	1.3558	kN-m
	1	lbf-in	0.11298	N-m
Carga por unidad de longitud	1	lbf/ft	14.5939	N/m
	1	kip/ft	14.5939	kN/m
Módulo de sección	1	in ³	16387.1	mm ³
Momento de inercia	1	in ⁴	416231	mm ⁴
Temperatura	x	°F	(x-32)/1.8	°C

Simbología del Sistema de Unidades Tradicionales de Estados Unidos (USCS)	
ft (feet)	= pie
in (inches)	= pulgada
lb (pound(s))	= libra
lbf (pound(s) force)	= libra-fuerza
kip (1000 pounds)	= kilolibra-fuerza
psi (pound(s) per square inch)	= libra-fuerza por pulgada cuadrada
ksi (kip(s) per square inch)	= kilolibra-fuerza por pulgada cuadrada
psf (pound(s) per square foot)	= libra-fuerza por pie cuadrado
°F (degrees Fahrenheit)	= grados Fahrenheit

Fuente: LANAMME