

Resumen.

La práctica supervisada se basa en un trabajo de verificación de estructura de madera realizado con una empresa de Estados Unidos llamada Red Built, con sede central en el estado de Oregón, dedicada a la producción de madera estructural.

La empresa posee 50 años de excelencia en el mercado, brindando productos y elementos necesarios para estructuras de madera de todo tipo. Además, ofrece un servicio de verificación de la estructura, punto a partir del cual comienza mi trabajo.

Los proyectos llegan ya diseñados y dimensionados, se reciben planos tanto de arquitectura, como de estructura e instalaciones. Mi trabajo es verificar que todo funcione correctamente y en caso contrario remarcar e informar del problema al ingeniero del proyecto, para poder llegar a una solución con los productos que brinda la empresa.

Principalmente, la función de la empresa RedBuilt es asegurar que los elementos estructurales funcionen en el lugar y con las solicitudes que fueron proyectados. Para esto, se hace un análisis de las cargas de diseño y mediante un programa, RedSpec creado por la misma empresa, se compara con la carga admisible de cada elemento en particular.

Por último, luego de la verificación de cada elemento provisto, se elaboran planos de framing con la ubicación de cada miembro y las cargas a la que se ven solicitados, hojas de detalle, donde se muestran elementos y forma de instalación, portada con explicaciones generales, y lista de materiales.

Los resultados de este proceso son múltiples. El primer resultado que obtengo luego de un exhaustivo análisis de la madera como elemento de construcción es, que hoy en día, la madera compensada puede lograr tensiones admisibles y modulo de elasticidad muy superiores a la madera maciza. Lo que permite salvar grandes luces, en proyectos q así lo ameritan.

En síntesis, expuse un resumen de las múltiples características de los productos de madera para uso estructural, su clasificación funcional y factores importantes a tener en cuenta en el cálculo estructural. Por otro lado, apliqué los conceptos expuestos, y con base en códigos y normas verifiqué el piso y techo de un proyecto que se desarrolla en Utah, estado americano.



Córdoba, Agosto de 2014

Por Natalia Andrea Altobelo

Tutor: Ing. Agustín Fragueiro

Supervisor externo: Nicolas Ravenna

RED BUILT

INDUSTRIALIZACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MADERA EN EEUU.
VERIFICACIÓN PISO Y TECHO: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES
Escuela Ingeniería Civil – Práctica Supervisada

ÍNDICE GENERAL

I. - OBJETIVOS	7
II. - AGRADECIMIENTOS	8
III. - INTRODUCCIÓN	9
IV. - CAPÍTULO I	11
IV.1.- CARACTERISITICAS DE LA MADERA.....	11
IV.1.a. - Estructura de la Madera.....	11
IV.1.b. - Propiedades Físicas y Mecánicas.....	15
IV.1.c. - Características de crecimiento de la madera.	27
IV.2.- Tipos de madera.....	28
IV.2.a. - LaminatedVeneerLumber (LVL).....	29
IV.2.b. - ParallelStrandLumber (PSL).....	32
IV.2.c. - LaminatedStrandLumber (LSL).....	34
IV.2.d. - GluedLaminatedTimber (GLB).....	34
IV.2.e. - I-Joists.....	40
IV.2.f. - Open Web.....	42
V. - CAPITULO II	46
V.1.- Red Built: “Providence Hall High School”.....	46
V.2.- Tipo de Fundaciones.....	50
V.3.- Walls (Muros).....	54
V.4.- Diafragma horizontal. (Piso y Techo).....	59
V.5.- Conexiones.....	65
V.6.- METODO DE CÁLCULO.....	75
V.6.a. - Normas y Referencias Recomendadas.....	75
V.6.b. - Verificación.....	87
V.6.c. - Avance de Obra.....	95
VI. - CONCLUSIÓN	105
VII. - BIBLIOGRAFÍA	107
VIII. - ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA IV-1: TAMAÑOS DISPONIBLES MADERA LVL. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	31
TABLA IV-2: CARGAS ADMISIBLES PARA LVL. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	31
TABLA V-1: MÍNIMO ESPACIO PARA EL CLAVADO. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	64
TABLA V-2: INFORMACIÓN DE CLAVADO. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA IV-1: CORTE TRANSVERSAL DE LA MADERA EN ESTADO NATURAL. FUENTE: SITIO WEB.....	11
FIGURA IV-2: CORTES EN LA MADERA. FUENTE: SITIO WEB.	12
FIGURA IV-3: DURAMEN. FUENTE: SITIO WEB.	13
FIGURA IV-4: DETALLE CORTE TRANSVERSAL. FUENTE SITIO WEB.	15
FIGURA IV-5: VALORES DE LÍMITE ELÁSTICO Y RESISTENCIA ÚLTIMA PARA UN EJEMPLAR DE MADERA. FUENTES: FILMINAS ESTRUCTURAS METÁLICAS Y DE MADERA.	17
FIGURA IV-6: FASE 1. ZONA ELÁSTICA. FUENTE: FILMINAS ESTRUCTURA METÁLICAS Y DE MADERA.....	18
FIGURA IV-7: FASE 2. ZONA PLÁSTICA. FUENTE: FILMINAS ESTRUCTURAS METÁLICAS Y DE MADERA.....	19
FIGURA IV-8: FASE 3. ZONA DE FLUENCIA. FUENTE: FILMINAS ESTRUCTURAS METÁLICAS Y DE MADERA.....	20
FIGURA IV-9: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA. FUENTE: ESTRUCTURAS METÁLICAS Y DE MADERA.	21
FIGURA IV-10: PROCESO DE SECADO. FUENTE: H. ALVAREZ NOVES Y J.I. FERNÁNDEZ-GOLFIN CENTRO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL.	23
FIGURA IV-11: TIPOS DE CORTE. FUENTE: AZAHARASOILAN-CSI MADEIRA.	24
FIGURA IV-12: FENDAS. FUENTE: SITIO WEB.....	28
FIGURA IV-13: MADERA LVL. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	30
FIGURA IV-14: COMPARACIÓN PSL – LSL. FUENTE: SITIO WEB.....	33
FIGURA IV-15: GLUED LAMINATED TIMBER. FUENTE: SITIO WEB.	35
FIGURA IV-16: CAMBER PARA VIGA GLULAM-ENGINEERED WOOD SYSTEMS. FUENTE: SITIO WEB.....	40
FIGURA IV-17: RED-I JOISTS-RED BUILT. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.	42
FIGURA IV-18: RED-L, RED-LT Y RED W. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.	43
FIGURA IV-19: RED-S. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.	44
FIGURA IV-20: RED-M, RED-H. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	45

FIGURA V-1: TAYLOR MIDLE SCHOOL CAFETERIA. I-JOISTS Y OPEN WEB. FUENTE: FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	47
FIGURA V-2: DULUTH DEPOT TRAIN SHED. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	47
FIGURA V-3: LAS VEGAS CYLERY. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.	48
FIGURA V-4: RIVERSTONE INTERNATIONAL SCHOOL. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	48
FIGURA V-5: YOGURT LAND. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.	48
FIGURA V-6: LOCALIZACIÓN DE PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL	49
FIGURA V-7: TIPO DE FUDACIONES. FUENTE: FRAME CONSTRUCTION.....	50
FIGURA V-8: ARRIOSTRAMIENTO CMU A LA FUNDACIÓN. FUENTE: STRUCTURAL PLANS “PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL”- SHEET S1.2.	52
FIGURA V-9: ARRIOSTRAMIENTO STUD WALL A FUNDACIÓN. FUENTE: FRAME CONSTRUCTION- ROB THALLON.....	52
FIGURA V-10: DETALLES DE FUNDACIONES. FUENTE: FUENTE: FRAME CONSTRUCTION.	53
FIGURA V-11: DRENAJE DE FUNDACIÓN.....	53
FIGURA V-12: DETALLE DE MURO Y HEADER.	55
FIGURA V-13: DETALLE DE MURO PORTANTE.FUENTE: STRUCTURAL PLANS “PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL”.....	55
FIGURA V-14: TRANSMISIÓN DE CARGA. FUENTE: FRAMECONSTRUCTION-ROB THALLON.....	57
FIGURA V-15: SHEARWALL. FUENTE: FUENTE: FRAME CONSTRUCTION - ROBTHALLON.	58
FIGURA V-16: DETALLE TIPICO HOLDOWN. FUENTE: STRUCTURAL DRAWINGS.“PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL”.....	58
FIGURA V-17: PISO CONCRETO PRIMER PISO. FUENTE: FRAME CONSTRUCTION.	59
FIGURA V-18: DETALLE RIM BOARD. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.	61
FIGURA V-19: DETALLE BLOCKING PANEL. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	61
FIGURA V-20: DETALLE BLOCKING. FUENTE: FRAME CONSTRUCTION.....	62

FIGURA V-21: WEB STIFFENER. FUENTE: SITIO WEB.....	63
FIGURA V-22: TIPOS DE HANGERS. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.	66
FIGURA V-23: TOP FLANGE HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT	67
FIGURA V-24: FACE MOUNT HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT	68
FIGURA V-25: SKEW HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	69
FIGURA V-26: SLOPE HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	70
FIGURA V-27: SKEW AND SLOPE HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	70
FIGURA V-28: OFFSET HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT	71
FIGURA V-29: CONCEALED FLANGE HANGER. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	71
FIGURA V-30: SELECCIÓN DEL HANGER. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	72
FIGURA V-31: SELECCIÓN DEL HANGER. CAPACIDAD DE CARGA. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	73
FIGURA V-32: EJEMPLO DE SELECCIÓN DE HANGER. FUENTE: PORYECTO "PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL".....	74
FIGURA V-33: LUZ DE CÁLCULO. FUENTE: ASD, ALLOWABLE STRESS DESIGN.	78
FIGURA V-34: DETALLE DE PAQUETE DE PISO Y TECHO. CARGA MUERTA. FUENTE: FRAME CONSTRUCTION.....	80
FIGURA V-35: TRANSMISIÓN DE FUERZAS EN LA VIGA I-JOST. FUENTE: HANGER LESSON BY REDBUILT.....	86
FIGURA V-36: WEB STIFFENER. FUENTE: ASD "ALLOWABLE STRESS DESIGN"	87
FIGURA V-37: FACTOR POR DURACION DE LA CARGA. FUENTE: CIRSOC 601. .	90
FIGURA V-38: FACTOR VS DURACIÓN DE CARGA. FUENTE: ASD "DESIGN OF WOOD STRUCTURES-FIFTH ADITION".	90
FIGURA V-39: DETALLE CROSS BRACING. FUENTE: REDBUILT ENGINEERED WOOD PRODUCTS.....	94
FIGURA V-40: SLAB CONCRETE. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL....	95
FIGURA V-41: LEVANTAMIENTO MUROS DE LA PRIMERA PLANTA. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.....	95
FIGURA V-42: ENTRADA LATERAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.	96

FIGURA V-43: AVANCE ENTRADA LATERAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL	97
FIGURA V-44: ENTRADA PRINCIPAL. PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.	97
FIGURA V-46: NUDO DE ENTRADA PRINCIPAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.	98
FIGURA V-45: AVANCE ENTRADA PRINCIPAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCOO.....	98
FIGURA V-47: I-JOIST PRIMER PISO. INSTALACION DE LEDGER Y HANGER EN MURO DE CONCRETO. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCOOOL.	99
FIGURA V-48: OPEN WEB. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.....	100
FIGURA V-49: TERMINACIONES ENTRADA LATERAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.	101
FIGURA V-50: TERMINACIONES ENTRADA PRINCIPAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.	101
FIGURA V-51: VISTA LATERAL. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL.....	102
FIGURA V-52: TERMINACIONES. AUTOR: PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL..	102
FIGURA V-53: LEVANTAMIENTO DE MUROS. REDBUILT. AUTOR: PAUL KOHL.	103
FIGURA V-54: ACOPIO DE MATERIAL REDBUILT. AUTOR: PAUL KOHL.	103
FIGURA V-55: OPEN WEB. AUTOR: PAUL KOHL.....	104
FIGURA V-56: OPENING OPEN WEB. AUTOR: PAUL KOHL.....	104

I. - OBJETIVOS

En nuestro país no se ha desarrollado aun un análisis profundo y sustentable de la madera como un recurso estructural. El presente informe presenta una combinación de, por un lado un estudio profundo de la utilización de madera en un país desarrollado como Estados Unidos, y por el otro el análisis estructural del comportamiento de la misma en un proyecto americano.

La producción de madera conformada, patentada por Red Built, empresa americana, surge de la necesidad de diseñadores como ingenieros, arquitectos, constructores, etc. de salvar grandes luces para ambientes más amplios sin sufrir las falencias de la madera maciza.

La madera compensada es considerada, por la industria, como el mejoramiento de la madera maciza, material con el cual es posible fabricar vigas y estructuras con mayores dimensiones y del que se resaltan sus propiedades físico mecánicas, no sólo comparada con la madera maciza, sino también con materiales tradicionales para la construcción como el acero y el concreto; frente a ellos, la madera compensada a simple vista está un paso más adelante por sus cualidades estéticas.

En síntesis, los objetivos del presente documento son, mostrar un resumen de las múltiples características de los productos de madera para uso estructural, su clasificación funcional y factores importantes a tener en cuenta en el cálculo estructural. En la segunda etapa se aplican los conceptos expuestos en la primera, y con base en códigos y normas se verifica el piso y techo de un proyecto que se desarrolla en Utah, estado americano.

De aquí en adelante y para el desarrollo ordenado del trabajo se plantean dos Etapas:

- Etapa I: Resumen de las características físico- mecánicas de la madera estructural. Análisis de los productos que ofrece la empresa RedBuilt.
- Etapa II: Análisis de normas vigentes en Estados Unidos. Análisis estructural y Verificación, piso y techo, de proyecto emplazado en el Estado de Utha, Estados Unidos.

II. - AGRADECIMIENTOS.

Quisiera tomarme un momento para agradecer a través de este trabajo a todas las personas sin las cuales no estaría hoy terminando esta importante etapa de mi vida.

A mis padres, porque me enseñaron que todo es posible si así se desea. Por darme la posibilidad de elegir mi futuro, de estudiar. Por apoyar todas mi decisiones y siempre confiar en mí. Darme esa seguridad necesaria para seguir adelante en cada tropiezo. Gracias.

A mi hermana Florencia, que siempre estuvo ahí, con su apoyo incondicional.

Al resto de mi familia, a los que descuide para poder lograr esto, mi sueño.

A cada persona que conocí en este largo recorrido, a los que me recibieron en la oficina a los que despedí y a los que recibí. A cada uno de ellos gracias, porque de cada uno me llevo un conocimiento. Pero principalmente a mi supervisor externo, que desde el primer día no se guardó nada y todo lo que me pudo transmitir ya lo incorporé y seguro lo voy utilizar en todo el camino que me queda.

A mis amigos porque enriquecen mi vida, porque me enseñaron tantas cosas y porque compartimos tantas otras. Porque hicieron un gran esfuerzo por entenderme y aceptarme como soy.

A mis profesores, a todos por la dedicación de ejercer esta noble profesión. De ellos me llevo todo, tanto conocimientos técnicos como humanos. Gracias.

A todos, muchas gracias.

III. - INTRODUCCIÓN

La práctica supervisada se basa en un trabajo de verificación de estructura realizado con una empresa de Estados Unidos llamada Red Built, con sede central en el estado de Oregón, dedicada a la producción de madera estructural.

En Estados Unidos, sobre todo en la zona oeste, el material predominante en la construcción de edificios es la madera. La mayor parte de estos edificios son casas uni-familiares, aunque muchos otros se tratan de estructuras de gran tamaño como departamentos, edificios comerciales e industriales. La utilización de la madera en la construcción, generalmente, es más económica y hasta a veces más estética arquitectónicamente que otros materiales como el metal y el hormigón.

La empresa posee 50 años de excelencia en el mercado, brindando productos y elementos necesarios para estructuras de madera de todo tipo. Además, ofrece un servicio de verificación de la estructura, punto a partir del cual comienza nuestro trabajo.

Los proyectos llegan ya diseñados y dimensionados, se reciben planos tanto de arquitectura, como de estructura e instalaciones. Nuestro trabajo es verificar que todo funcione correctamente y caso contrario remarcar e informar del problema al ingeniero del proyecto, para poder llegar a una solución con los productos que brinda la empresa.

Providence High Hall School, proyecto que desarrollaré en el presente informe, fue diseñado por el estudio Ken Harris Architect y calculado por DynamicStructures. Los planos proyectados por las mismas se pueden encontrar en los Anexos 1, Planos de arquitectura, y Anexo 2, Planos de Estructura.

Principalmente, la función de la empresa RedBuilt es asegurar que los elementos estructurales funcionen en el lugar y con las solicitaciones que fueron proyectados. Para esto, se hace un análisis de las cargas de diseño y mediante un programa, RedSpec creado por la misma empresa, se compara con la carga admisible de cada elemento en particular. El análisis que se debe realizar tiene que ser exhaustivo y muy minucioso, se debe tener conocimiento de ciertos conceptos básicos e imprescindibles, explicados en el desarrollo de este trabajo.

Por último, luego de la verificación de cada elemento provisto, se elaboran planos de framing con la ubicación de cada miembro y las cargas a la que se ven solicitados, hojas de detalle, donde se muestran elementos y forma de

instalación, y portada con explicaciones generales. Todo esto se encuentra en el Anexo 3 correspondiente a Planos de framing proyectados en el desarrollo de la práctica supervisada. Se generan hojas de cálculo con la verificación realizada en RedSpec, que se encuentran en el Anexo 4 y lista de materiales, la cual es enviada a fábrica para la producción de los elementos necesarios y el transporte al lugar de obra. Esta última se encuentra expuesta en el Anexo 5.

La obra del colegio en Utah ya está en construcción, el continuo contacto con el cliente, nos facilitó el acceso a imágenes de la puesta en marcha y el desarrollo de la misma. Estas se pueden encontrar al final del informe.

IV. - CAPÍTULO I

IV.1.- CARACTERISITICAS DE LA MADERA.

IV.1.a. - Estructura de la Madera

La madera es la parte del árbol por debajo de la corteza, es el conjunto de elementos lignificados. Es un material heterogéneo y anisotrópico, con propiedades muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. Las principales características de la madera son

- Es un material poroso, celular, no es un sólido.
- Está compuesta por más de un tipo de células, por lo tanto su constitución es heterogénea.
- La mayor proporción de elementos celulares es alargada con su eje longitudinal paralelo al eje del fuste.
- Las paredes celulares están constituidas fundamentalmente de celulosa, que forman largas cadenas moleculares.
- Contiene también lignina y hemicelulosas; éstas se ubican entre las cadenas de celulosa, donde además puede haber agua.
- El lumen de las células y la pared celular pueden contener diferentes materiales.

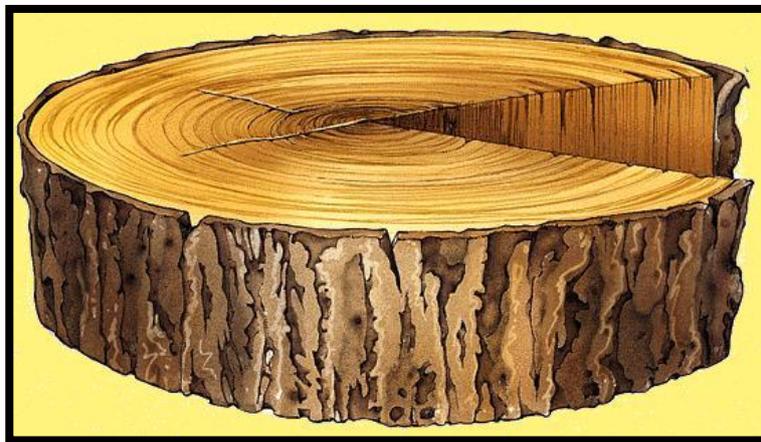


Figura IV-1: Corte transversal de la madera en estado natural. Fuente: Sitio web

Dadas las características estructurales, las posibles fuentes de variación en el leño son:

- Tipos de células presentes y sus proporciones.
- Tamaño de los diferentes tipos de células
- Espesor de la pared celular.
- Dirección del eje de la célula en referencia al tronco.
- Proporción de un tipo de células con respecto a otro.
- Composición de la pared celular.
- Naturaleza, presencia y distribución de materiales extraños.

La madera es un material altamente heterogéneo por su estructura y textura, por lo que exige importantes investigaciones en el ámbito de la Tecnología Industrial y del Mejoramiento Genético con el fin de obtener una materia prima lo menos variable posible. El secado de la madera, los sistemas de corte, el encolado, etc. están relacionados con las cualidades anatómicas de cada especie.

Un aprovechamiento forestal implica una serie de conocimientos precisos acerca de la biología de las especies forestales maderables. Todos los datos necesarios para ello están basados en la edad y ritmo de crecimiento de los árboles. La dificultad de determinar la edad de los árboles o la tasa de crecimiento se agudiza en zonas tropicales subtropicales, donde la visibilidad de los anillos no es buena. Si se desconoce la edad es difícil evaluar el crecimiento y por ende determinar el volumen para poder aplicar una metodología correcta de trabajo.

La estructura de la madera es el resultado de la influencia de factores intrínsecos, (genéticos) y extrínsecos (ambientales). La naturaleza e intensidad de la influencia de estos factores sobre los elementos anatómicos pueden diferir según la especie y el género.

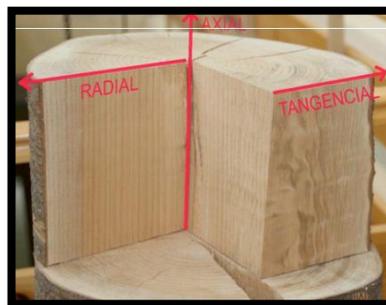


Figura IV-2: Cortes en la madera. Fuente: Sitio web.

La apariencia y el comportamiento físico-mecánico de la madera difiere en cada uno de los cortes que se puede realizar en ella, transversal, radial y tangencial. Este fenómeno se conoce como anisotropía.

Si se observa una sección transversal de afuera hacia adentro, se evidencian diferentes zonas. En la parte más externa la Corteza Forestal, constituida por la Ritidoma y la Corteza Viva. Y luego la Madera propiamente dicha, constituida por la Albura y el Duramen.

Corteza: La corteza está constituida interiormente por floema, conjunto de tejidos vivos especializados en la conducción de savia elaborada, y exteriormente por ritidoma o corteza muerta, tejido que reviste el tronco. La corteza protege al vegetal contra el desecamiento, ataques fúngicos o fuego, además de la función de almacenamiento y conducción de nutrientes.

Albura: La albura es la parte activa de la madera, que en el árbol vivo, contiene células vivas y material de reserva. Es la parte del leño naturalmente más expuesta a la alteración total o parcial, cuando el árbol ha sido abatido. La albura conduce gran cantidad de agua y de sales en solución, desde la raíz a las hojas; provee rigidez al tallo y sirve de reservorio de sustancias. Esta zona es menos resistente que el duramen.

La parte externa de la albura corresponde a la parte activa del tronco, sus células se encuentran llenas de nutrientes y las células conductoras de regiones periféricas realizan el transporte de agua en el árbol. En consecuencia, el alto tenor de humedad y la ausencia de impregnadores le confieren menor resistencia mecánica. La albura es la parte más permeable del tronco y consecuentemente recibe con facilidad las soluciones preservantes. Las sustancias nutritivas contenidas en las células son en parte responsables de la mayor susceptibilidad al ataque de hongos e insectos, frecuentemente atraídos por sus contenidos.

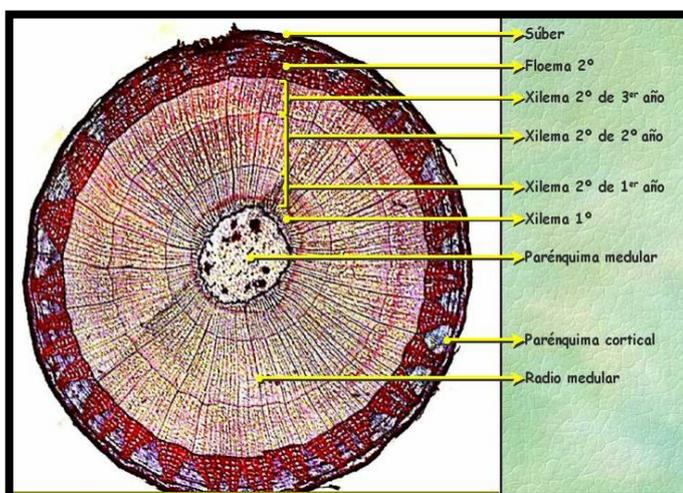


Figura IV-3: Duramen. Fuente: Sintio web.

Duramen: El duramen es biológicamente inactivo, con funciones de sostén que ocupa la porción del tronco entre la médula y la albura, generalmente de estructura más compacta y de coloración más oscura

que la albura. Son las capas internas de la madera, sin células vivas y en el cual el material de reserva (almidón), ha sido removido o constituido en sustancia del duramen. La causa fisiológica de la formación del duramen es el hecho que al envejecer el árbol, los anillos más externos son los que conducen el líquido. La madera del duramen, pierde gradualmente su actividad vital y adquiere una coloración más oscura debido al depósito de taninos, resinas, grasas, carbohidratos y otras sustancias, resultado de la transformación de materiales de reserva contenidos en las células del duramen, antes de su muerte. Debido a que el duramen es un tejido más compacto y más pobre en sustancias nutritivas, es mucho más resistente al ataque de hongos e insectos, presenta una durabilidad natural superior a la albura y se impregna con mayor dificultad.

La proporción de albura y duramen varía de un árbol a otro y dentro de una especie depende de la edad, sitio, clima, suelo y otros factores. Cada año se forma un anillo, razón por la que son llamados anillos anuales. Estos determinan la edad del árbol. Además un análisis de ellos, nos indican si el árbol tuvo un crecimiento rápido (anillos bien espaciados), o lento (pequeño espacio entre anillos); o aquellos años que han sido desfavorables para la planta (espacios menores), o más beneficiosos (espacios mayores).

La zona más ancha del anillo anual, de paredes finas se forma al comienzo de la temporada de cultivo. Estas son conocidas como celdas de la madera temprana. Las celdas depositadas en la parte exterior del anillo se forman hacia el final de la temporada de cultivo, éstas son más pequeñas, tienen paredes más gruesas, y se conocen como celdas de la madera tardía.

Debido a que la madera tardía es más densa que la madera temprana, ésta es más fuerte. Los anillos anuales, por lo tanto, proporcionan uno de los medios visuales para evaluar, de forma aproximada, la celda de la madera con mayor resistencia. La capacidad de la pieza se puede determinar mediante la relación del número de anillos de crecimiento por unidad de anchura de la sección transversal.

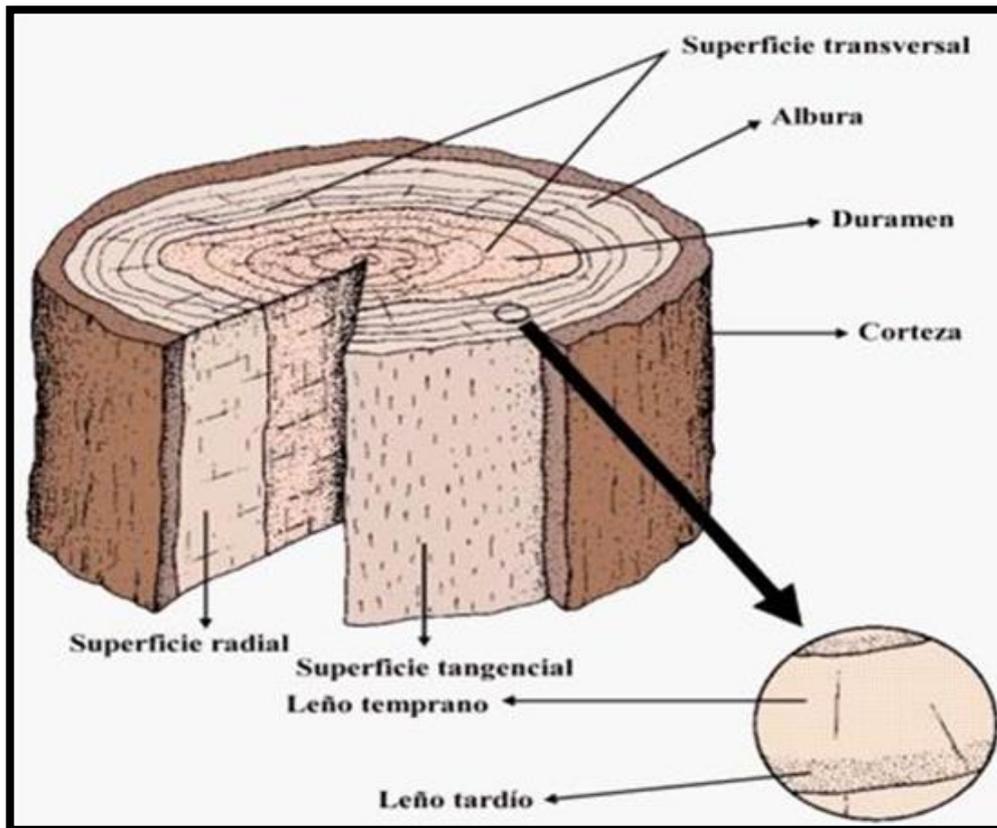


Figura IV-4: Detalle corte transversal. Fuente Sitio web.

IV.1.b. - Propiedades Físicas y Mecánicas

La madera se compone de celdas en forma alargada, redonda o rectangular. Las celdas son mucho más largas que ancha, y la longitud de ellas es generalmente paralela a la longitud del árbol. Las paredes de las celdas están compuestas de celulosa, y están unidas por un material conocido como lignina. Como material biológico, la madera representa un material estructural único, ya que su suministro puede ser renovado por el crecimiento de nuevos árboles que han sido cosechados. Se necesita un manejo forestal adecuado a lo largo del tiempo, para garantizar el suministro continuo de madera para la producción de elementos estructurales, por este motivo es fundamental conocer las propiedades del material.

Propiedades Mecánicas

Resistencia a Compresión: Como consecuencia de la naturaleza alargada de las fibras que originan el pandeo de las mismas, obligando que se plieguen lateralmente, la resistencia a la compresión de la madera es inferior a la

resistencia a tracción. Estas mismas circunstancias hacen que la madera se comporte como material dúctil a la compresión y frágil a la tracción. La ley constitutiva de la madera para esfuerzos paralelos a las fibras pone de manifiesto una zona de proporcionalidad entre tensiones y deformaciones unitarias. A partir de la tensión límite de proporcionalidad el diagrama se curva hasta llegar a la tensión de rotura, valor por encima del cual la madera no puede aceptar más cargas. A diferencia de lo que sucede en la tracción, la madera brinda cierta resistencia en dirección perpendicular a las fibras con una breve zona de proporcionalidad a la cual sigue un período de gran deformación, debido a la compresibilidad de la masa leñosa y de las fibras que son de naturaleza tubular.

Módulo elástico: La determinación del valor absoluto del módulo de elasticidad resulta muy dificultosa, por cuanto la madera es un material anisótropo y variable. Este módulo dependerá de la clase de madera, del contenido de humedad, del tipo y naturaleza de las acciones, de la dirección de aplicación de los esfuerzos y de la duración de los mismos. El valor del módulo de elasticidad E en el sentido transversal a las fibras es de 4000 a 5000 Kg / cm². El valor del módulo de elasticidad E en el sentido de las fibras es aproximadamente 80.000 a 180.000 Kg / cm².

sometida a un impacto. La resistencia es mayor, en el sentido axial de las fibras y menor en el transversal, o radial. En la resistencia al choque influyen: el tipo de madera, el tamaño de la pieza, la dirección del impacto con relación a la dirección de las fibras, la densidad y la humedad de la madera, entre otros.

Resistencia a Tracción: La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones. Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil.

En la práctica existen algunos inconvenientes, que se han de tener en cuenta al someterla a este tipo de esfuerzos. El punto crítico se encuentra en las uniones que romperían la pieza por corte en la sección donde se ubican los orificios, antes que falle por tracción. Por otra parte, los defectos de la madera, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de sollicitación, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión. Para elementos sollicitados a tracción y en la zona traccionada de elementos flexados se deben tener presentes todos los

debilitamientos de sección (agujeros practicados por clavos, pernos, bulones, conectores, entalladuras y rebajes)

Flexión Simple: Dado el comportamiento disímil entre la compresión y tracción originado por la diferencia de los valores del módulo de elasticidad ($E_t > E_c$) el eje neutro se desplaza hacia la zona traccionada de la sección. Generalmente la rotura por flexión se inicia en los nudos localizados en las fibras extremas traccionadas de la sección.

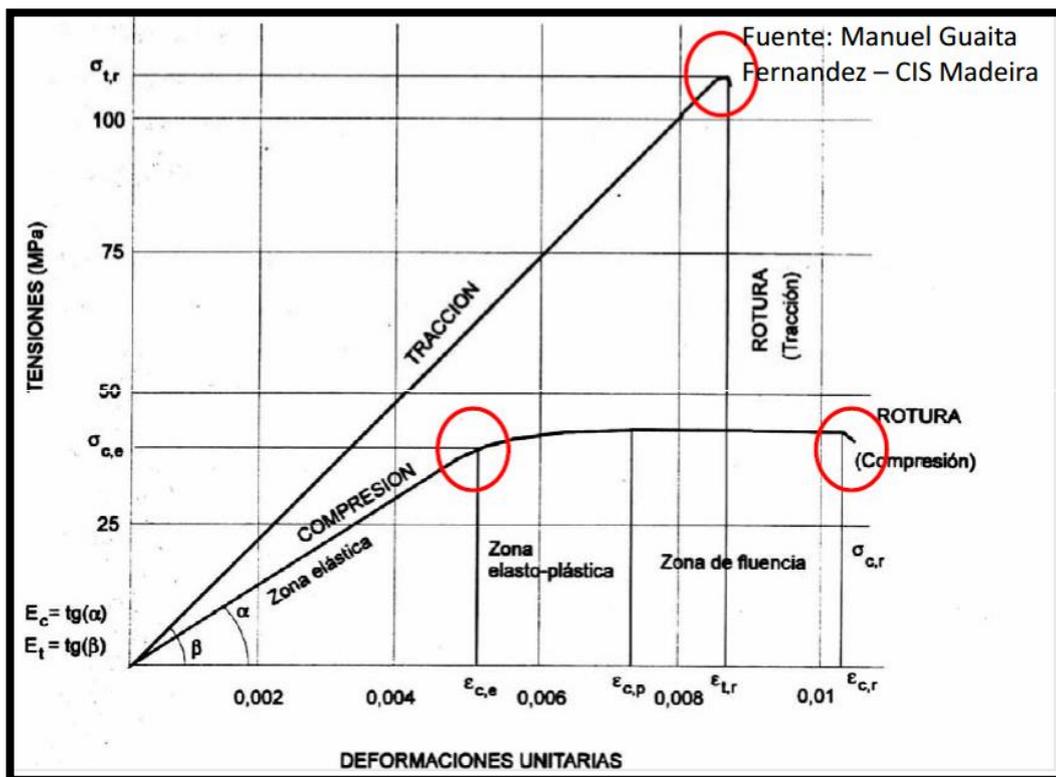


Figura IV-5: Valores de límite elástico y resistencia última para un ejemplar de madera. Fuentes: Filminas Estructuras Metálicas y de madera.

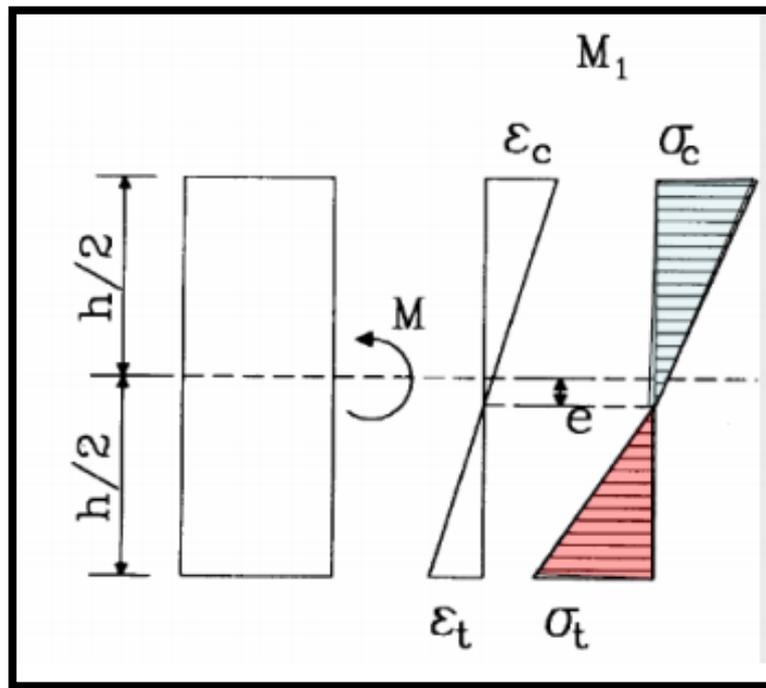
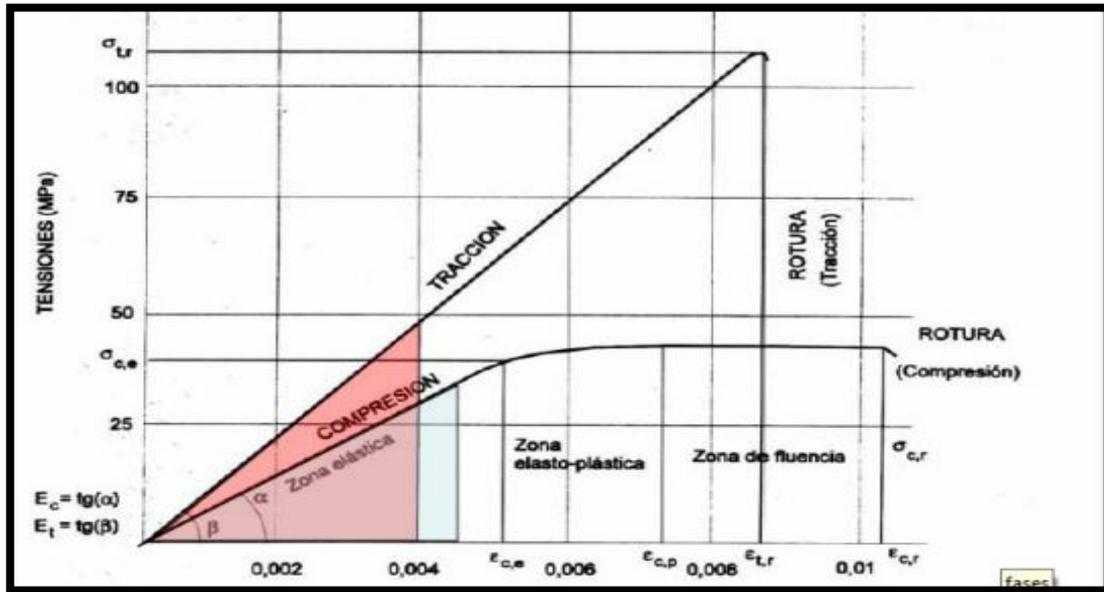


Figura IV-6: Fase 1. Zona Elástica. Fuente: Filmidas Estructura Metálicas y de Madera.

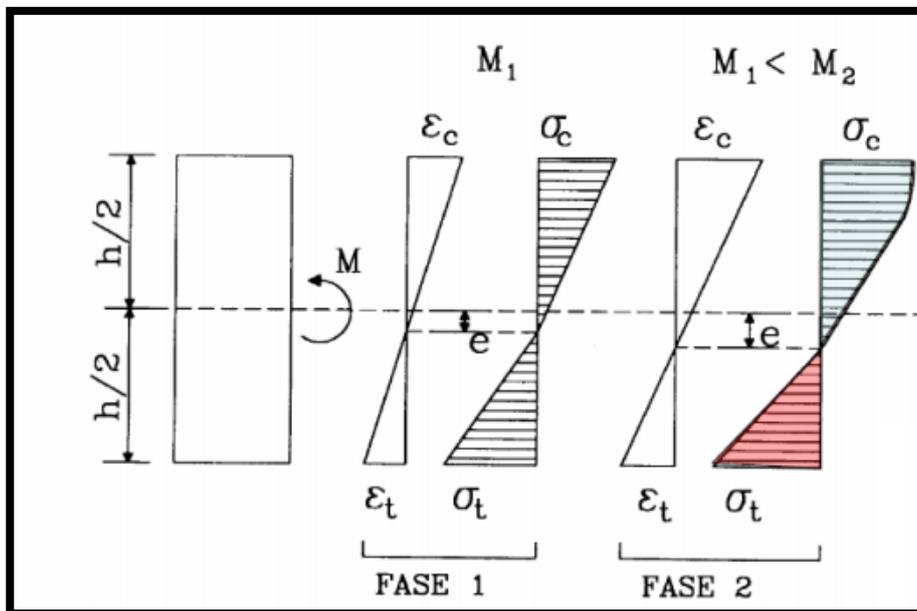
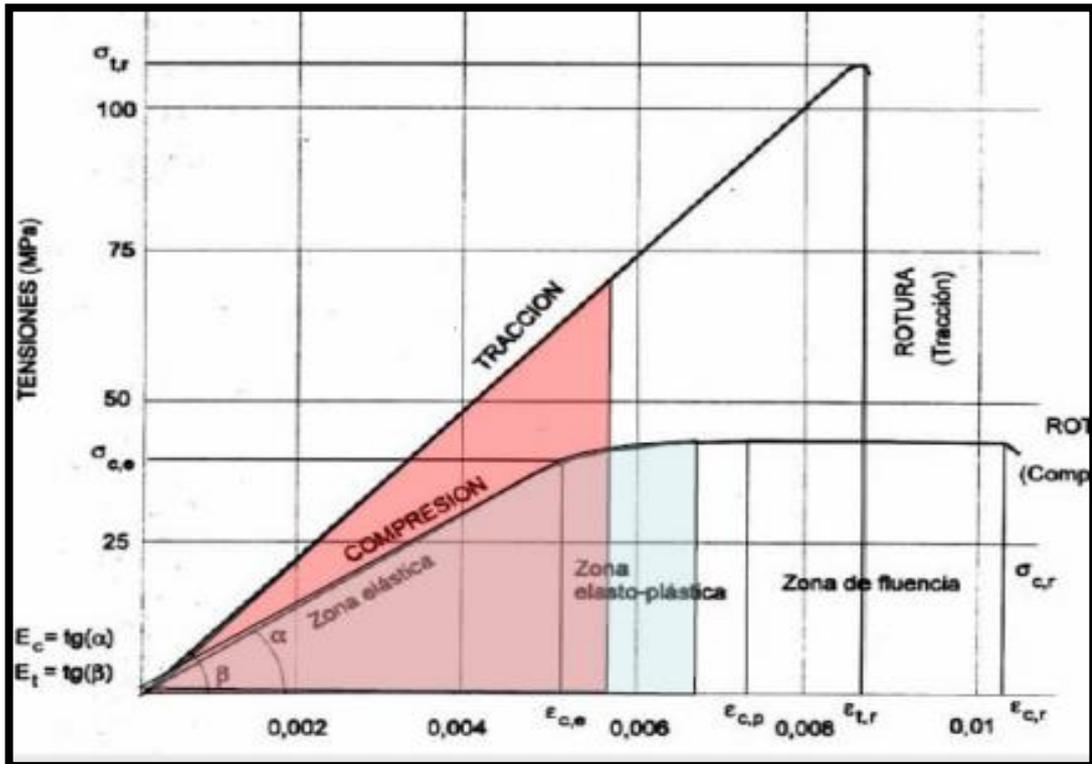


Figura IV-7: Fase 2. Zona Plástica. Fuente: *Filminas Estructuras Metálicas y de Madera.*

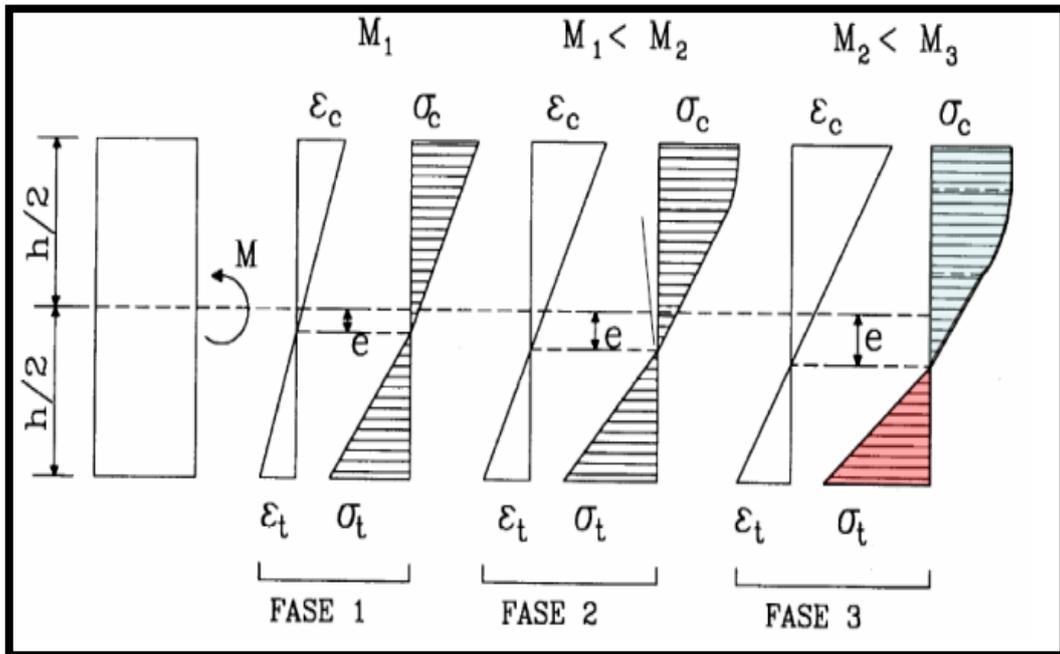
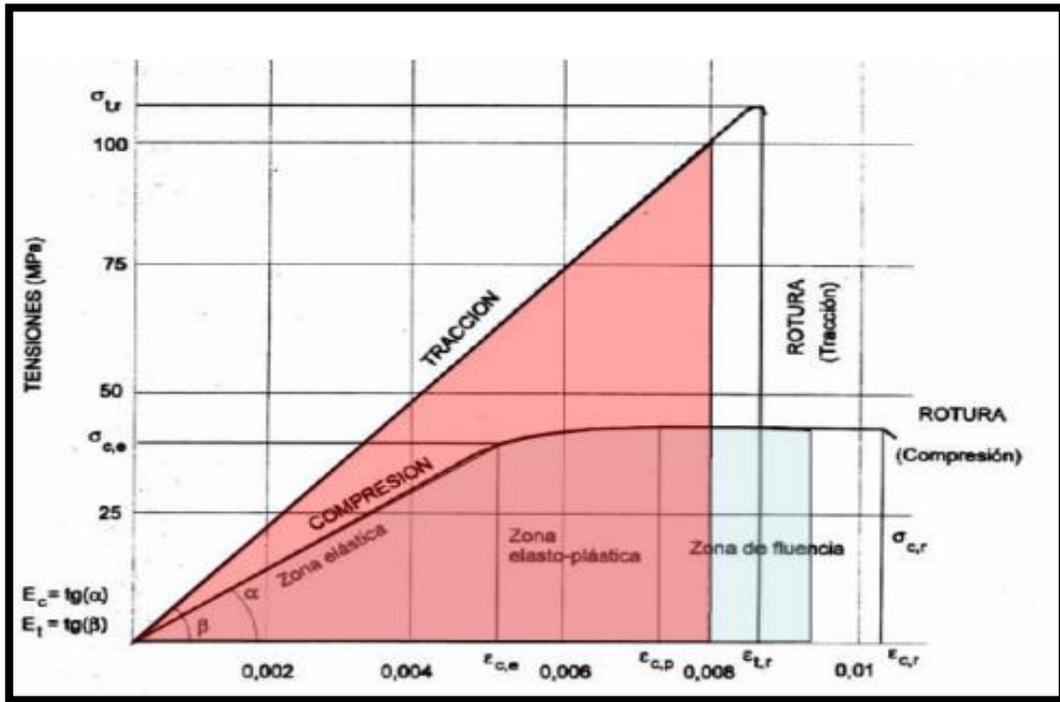


Figura IV-8: Fase 3. Zona de Fluencia. Fuente: Filminas Estructuras Metálicas y de Madera.

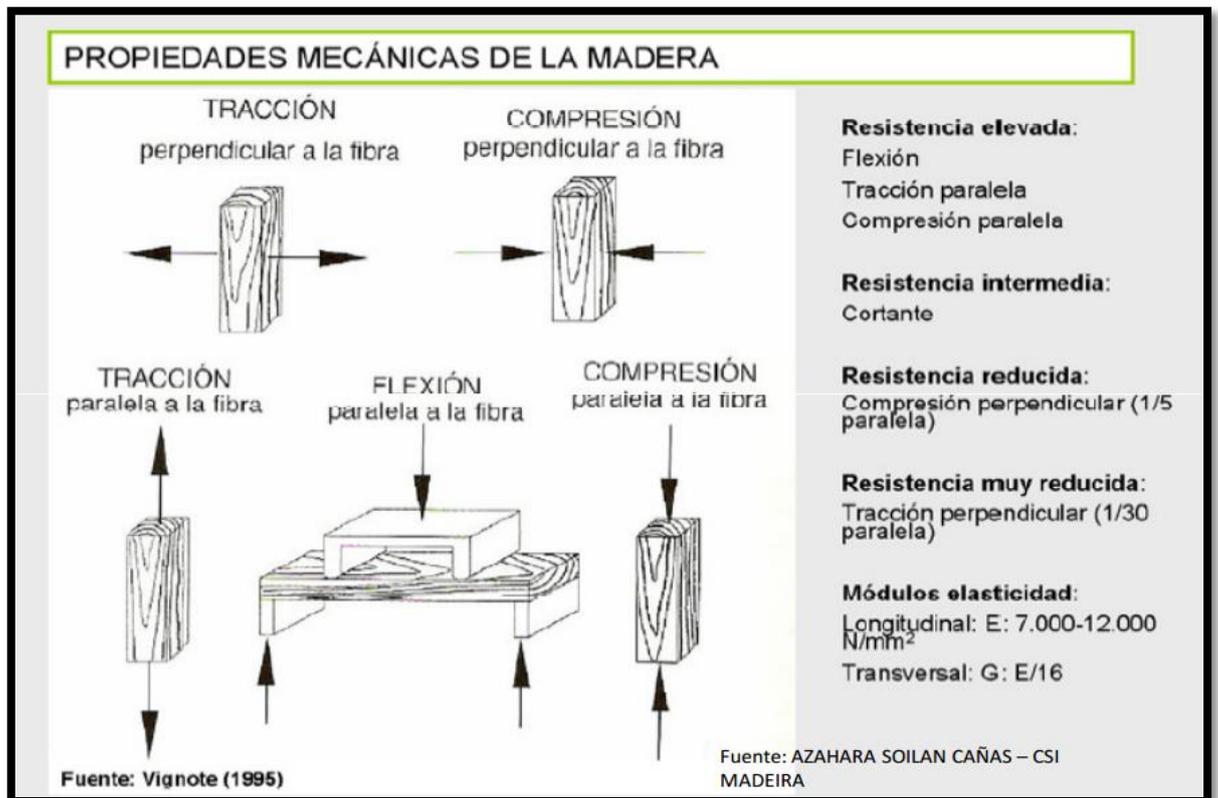


Figura IV-9: Propiedades Mecánicas de la Madera. Fuente: Estructuras Metálicas y de Madera.

Grado de Humedad

Uno de los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta en la puesta en servicio de cualquier elemento o estructura de madera, es su estabilidad dimensional. Es sabido que la madera es un material higroscópico, es decir, que toma o pierde humedad con los cambios de temperatura y humedad relativa del medio ambiente en que se encuentra situada. Esta ganancia o pérdida está siempre acompañada de cambios dimensionales, hinchazón al ganar humedad y merma al perderla, y, a veces, también de deformaciones como alabeos, abarquillados, curvados, etc.

Es muy importante, para minimizar éstos defectos, que la madera posea en el momento de su utilización un grado de humedad tal, que este valor se encuentre en equilibrio con las condiciones ambientales medias en que será empleada y, por consiguiente, el paso de humedad de la madera al medio ambiente o viceversa sea casi despreciable.

El exacto conocimiento del grado de humedad de la madera y la determinación para las condiciones higrotérmicas a las que va a estar expuesta, son dos

factores fundamentales para lograr un grado aceptable de estabilidad dimensional.

El contenido de humedad (MC) se mide como un porcentaje de agua por peso de madera totalmente seca en horno.

$$MC = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100$$

El contenido de humedad en un árbol vivo puede ser tan alto, como 200 por ciento. Sin embargo, para la madera estructural en servicio utilizada en la construcción debe ser mucho menor.

Supongamos una madera completamente seca, expuesta a un ambiente de humedad y temperatura determinadas. Las moléculas de agua del medio ambiente ingresan por los espacios existentes en su estructura y quedan retenidas en ellos; este proceso continúa hasta que se establece un estado de equilibrio dinámico entre las moléculas de agua que entran y salen de la madera, es decir, hasta que alcanza un equilibrio dinámico entre la humedad de la madera en estado higrotérmico del medio ambiente, recibiendo este grado de humedad el nombre de Humedad de Equilibrio Higroscópico (EMC). Si se hubiera partido de madera húmeda, ésta iría perdiendo humedad con el tiempo, hasta alcanzar la Humedad de Equilibrio Higroscópico. Por consiguiente, para cada par de valores de temperatura-humedad relativa de la atmósfera corresponde un grado de humedad de la madera que es precisamente la EMC.

El valor máximo de la Humedad de Equilibrio Higroscópico, correspondiente a condiciones de saturación de humedad relativa del medio, se denomina Punto de Saturación de las Fibras. Este punto resulta crítico para la madera, pues por encima de él no hay cambios dimensionales y por debajo de él se producen los fenómenos de hinchazón y merma.

La humedad se mantiene dentro de la madera de tres maneras. El agua contenida en la cavidad de la célula que se conoce como agua libre. El agua contenida dentro de las paredes celulares, se conocen como agua higroscópica o fija. Y el agua que forma parte de la materia celular se denomina agua de constitución. Para el secado de la madera, el agua libre es la más fácil de eliminar. El agua de constitución implicaría la destrucción parcial de la madera. La evacuación del agua fija es lenta hasta lograr el equilibrio higroscópico, el cual, para la mayoría de las especies está entre 12% y 18% de humedad.

La Humedad de Equilibrio depende de la velocidad con la que la madera toma o pierde humedad, que a su vez depende de la permeabilidad superficial y de

la densidad de la misma. También, hay que tener en cuenta que las maderas tratadas con productos ignífugos, fungicidas, insecticidas, o hidrófugos pueden sufrir una sensible variación del valor de humedad de equilibrio. Cuando la madera se seca por debajo del punto de Saturación de las Fibras (valor medio 30%) se contrae, siendo la contracción mayor en la dirección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) que en la dirección radial (perpendicular a los anillos) y normalmente muy pequeña, casi despreciable, en la dirección longitudinal (paralela a la dirección del hilo de la madera).

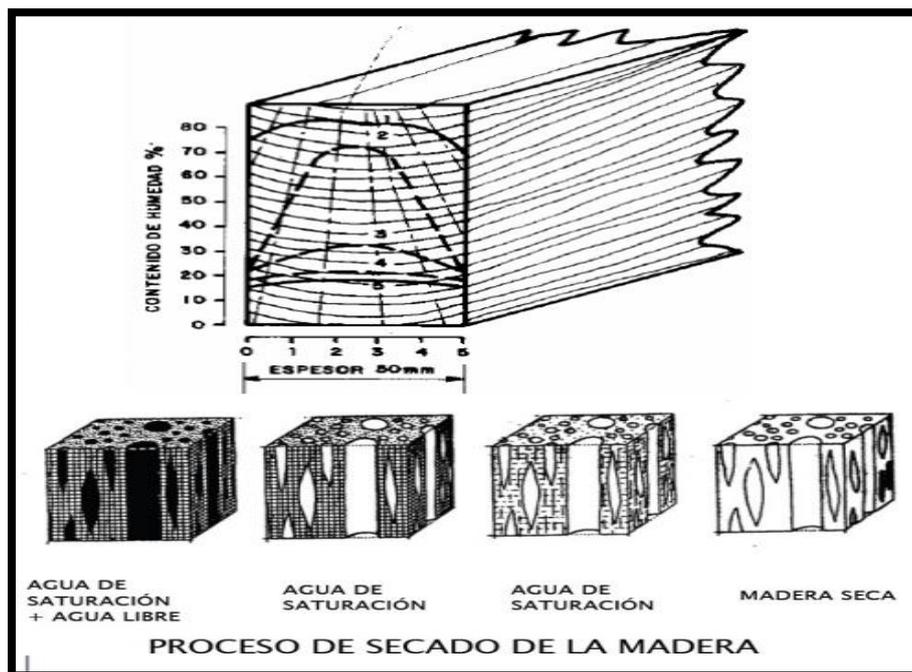


Figura IV-10: Proceso de secado. Fuente: H. ALVAREZ NOVES Y J.I. FERNÁNDEZ-GOLFIN CENTRO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL.

A veces es necesario que el diseñador estime la contracción o hinchamiento (deformaciones) que pueden ocurrir en la estructura. El caso más común consiste en la contracción de la madera en servicio cuando se seca. Varios enfoques pueden ser utilizados para estimar el encogimiento.

Al realizar la estimación de la contracción de la madera, es importante que se tenga en cuenta las siguientes propiedades:

- La contracción de la madera es muy variable.
- La verdadera orientación de los anillos anuales en las piezas de madera se desconocen. Los lados de un miembro probablemente no son totalmente paralelos o perpendiculares a los anillos de crecimiento.

- El diseñador probablemente sabrá sólo el grupo de especies que está tratando, y las especies individuales del miembro probablemente no las conozca.

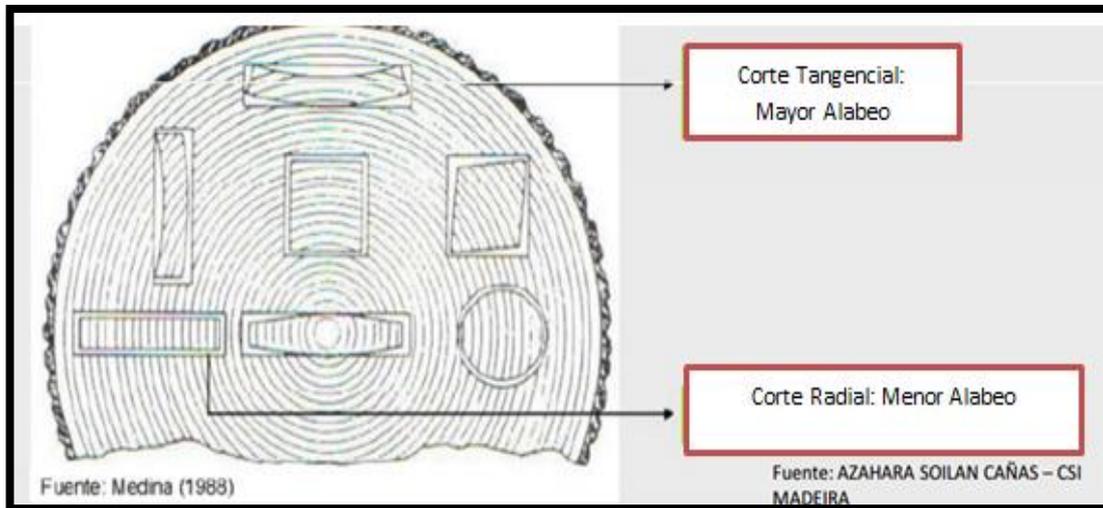


Figura IV-11: Tipos de corte. Fuente: AzaharaSoilan-CSI Madeira.

El peso específico es la relación entre el peso de la madera y el volumen que ocupa. Sin embargo, la madera es un material poroso, y los poros contienen aire; por esta razón se distinguen dos tipos de pesos específicos: el peso específico de la madera, que corresponde a pesar la madera sin poros, y el peso específico aparente que se obtiene pesando la madera con todos sus poros. La primera varía muy poco de una madera a otra, y está determinada por los componentes de la misma (celulosa, etc.); la segunda varía enormemente.

Como la humedad influye tanto en el peso como en el volumen, para obtener resultados sobre el peso específico, el grado de humedad en el que se tomen las medidas debe estar comprendido entre 0 y 30%, ya que en este rango el volumen varía en la misma proporción que la humedad. La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56. La densidad aparente varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios.

Como la densidad aparente comprende el volumen de los huecos y los macizos, cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus elementos resistentes y menor el de sus poros.

Durabilidad

La discusión del contenido de humedad en madera de construcción a menudo conduce a las preocupaciones sobre la durabilidad de las estructuras de madera y la potencial decadencia. Sin embargo, el expediente es claro. Si la madera se utiliza correctamente, puede ser un elemento permanente. Si la madera se utiliza de forma incorrecta, los principales problemas se pueden desarrollar, a veces muy rápidamente. Como sigue, se hace una breve explicación de los principales agentes nocivos de la madera.

Humedad: Generalmente, si está protegida (por ejemplo, no expuesta a la intemperie o fuera del contacto con el suelo) y se utiliza con un contenido relativamente bajo de humedad, puede funcionar satisfactoriamente sin tratamiento químico. Sin embargo, si el contenido de humedad es alto y varía con el tiempo, o si la madera está en contacto con el suelo, el uso de un tratamiento adecuado debe ser considerado.

Altos valores de contenido de humedad puede producirse, por ejemplo, en techo de madera sobre piscinas o en plantas de procesos de fabricación con condiciones de alta humedad. Estos problemas también pueden ocurrir en ubicaciones geográficas con alto grado de humedad.

También pueden ser ocasionados por la acumulación de agua de lluvia, los defectos en los techos y cubiertas (como grietas, tuberías en mal estado, etc.), contacto de la madera con muros de otro material, falta de ventilación, condensación, etc. En algunos casos, el agua de humedad puede quedar atrapada en los sistemas de aislación que tienen algunos techos. Este tipo de aislación puede crear aire-muerto, y la humedad de condensación o de otra fuente puede provocar un problema.

Moho: El moho a menudo está presente en la construcción, donde hay un exceso de humedad. Ambientes húmedos, oscuros o con poca luz, con flujo de aire estancado contribuyen al moho activo y al crecimiento de moho. Tal condición es más común en fundaciones y sótanos, pero también susceptibles son las paredes exteriores y el área de techo y ático.

Hongos: El deterioro de la madera es causado por hongos que se alimentan de la celulosa o lignina de la madera. Estos hongos deben tener alimento, humedad, aire y temperaturas favorables para su desarrollo. Todos estos elementos son necesarios para que se produzca la descomposición de la madera, si alguno de los requisitos no está presente, no se producirá el deterioro. El tratamiento a presión introduce químicos que envenenan los alimentos de los que se suministran los hongos. Los hongos crecen en la madera como una red microscópica a través de los agujeros o directamente

penetrando la pared celular de la madera. Las hifas producen las enzimas que degradan la celulosa o lignina que absorbe el material degradado para terminar el proceso de desintegración. Una vez que el hongo obtiene una suficiente cantidad de energía de la madera, produce un cuerpo fructífero sexual o asexual para distribuir las esporas reproductivas que pueden invadir otras maderas.

Termitas: Las termitas se pueden encontrar en cualquier zona, pero son más, un problema en zonas climáticas más cálidas. Las termitas subterráneas son las más comunes, estas anidan en el suelo y en la madera que está cerca o en contacto con el suelo húmedo. La celulosa forma la oferta de alimentos para las termitas. Una buena ventilación y un saneamiento adecuado ayuda en la prevención del ataque de termitas. La madera que está cerca o en contacto con el suelo, y en contacto con el hormigón, tiene que ser tratada a presión. Los mismos tratamientos de presión proporcionan protección contra la descomposición y las termitas.

Como ya se mencionó, cuando es necesario un tratamiento, los productos químicos se pueden impregnar en madera por un proceso de tratamiento a presión. Los conservantes químicos son muy efectivos para impedir y retrasan la destrucción de la madera. El tratamiento a presión por lo general se lleva a cabo en un cilindro de acero de gran tamaño. La madera a tratar se transporta en el cilindro, el cilindro está cerrado y lleno de un conservante. Este se somete a presión, que obliga a la sustancia química a ingresar a la madera.

El producto químico no satura la sección transversal completa del miembro. Es por eso, que los cortes que se deban realizar en campo y las perforaciones de agujeros para las conexiones luego del tratamiento deben tratar de reducirse al mínimo. Es conveniente llevar a cabo la fabricación de elementos estructurales, cuando sea posible, antes de realizar el tratamiento de los mismos. La profundidad de penetración se conoce como la zona tratada. La cantidad de retención requerida varía con el uso final y el tipo de tratamiento.

Muchas especies, aceptan fácilmente los tratamientos para conservar el elemento. Otras, sin embargo, no aceptan tratamientos de presión, y requieren una incisión para hacer que el tratamiento sea eficaz. En efecto, la madera de construcción generalmente posee pequeños cortes, o incisiones, hechas a lo largo de los cuatro lados. Los cortes o hendiduras crean más área de superficie para que los productos químicos puedan penetrar al interior de la madera, lo que aumenta la eficacia del tratamiento a presión. Los cortes, por un lado aumentan la eficacia del tratamiento, pero por otro, afectan negativamente a muchas propiedades mecánicas. Cuando se realizan hendiduras a la madera,

debe hacerse una modificación del módulo de elasticidad y flexión permisible, tensión y compresión paralela a las fibras.

Resistencia al Fuego: Cuando es necesario cumplir con los requisitos del código, o si el diseñador decide como medida adicional la protección contra incendios, se puede utilizar la madera con tratamiento ignífugo. Este tipo de tratamiento implica el uso de productos químicos utilizados con conservantes y por lo tanto también proporcionan protección contra la descomposición y termitas. El tratamiento ignífugo, sin embargo, requiere mayores concentraciones de sustancias químicas en la zona tratada que los tratamientos normales para asegurar dicha conservación.

IV.1.c. - Características de crecimiento de la madera.

Los defectos producidos por las características de crecimiento del árbol también afectan a la resistencia de la madera de construcción, y se establecen límites en el tamaño y el número de estos defectos estructurales permitidos para un grado de tensión dada.

Nudos: La madera es un material que, por su naturaleza, contiene una serie de particularidades y anomalías morfológicas que a largo plazo modifican las propiedades originales. Los nudos constituyen la porción de una rama o miembro que ha sido incorporado en el cuerpo principal del árbol. Se clasifican en función de la forma, tamaño, calidad y ocurrencia. Los nudos disminuyen las propiedades mecánicas de la madera debido a que el nudo desplaza las fibras y estas se ven obligadas a desviarse alrededor del mismo, esto produce una gran concentración de tensiones. La madera de construcción, se clasifica para las diferentes especies en función del tamaño, el tipo y la distribución de nudos permitidos.

Fibra torcida o revirada: Al crecer el árbol sus fibras no lo hacen paralelamente al eje, sino en forma de hélice, debido al excesivo crecimiento de las fibras periféricas, con relación a las interiores. Esta Madera sólo sirve para pilotes, postes, pies derechos, etc., pues al escuadrarla se cortan los haces fibrosos en varios sitios, perdiendo muchas resistencia.

Irregularidad de los anillos de crecimiento: Debida a cambios bruscos de la vegetación del árbol por excesivo aclareo o por vivir aislados.

Fendas: Son grietas más o menos profundas en sentido longitudinal que se aprecian en el árbol. A diferencia de las grietas se producen desde el exterior hacia el centro del árbol. Son causadas por la contracción o secado demasiado

rápido del mismo, la pueden producir la sequía, la acción excesiva de sol o intensas heladas.



Figura IV-12: Fendas. Fuente: Sitio web.

Acebolladura o Calaña: Grietas o fendas circulares, que separan los anillos anuales de crecimiento total o parcialmente, debido a la acción del frío intenso o de los vientos sobre los árboles. La Madera con este defecto no puede emplearse en la construcción, por su escasa resistencia.

IV.2.- TIPOS DE MADERA.

Un gran número de especies de árboles se puede utilizar para producir madera estructural. Como regla general, las especies se cultivan, cosechan, procesan y se comercializan conjuntamente. En EE UU, los diseñadores estructurales utilizan la madera de construcción que pertenece a un grupo de especies comerciales más que de una especie individual específica. En algunos casos, una o más especies individuales pueden ser marcadas con el sello de calidad. Cuando uno o más géneros del grupo de especies se identifican con el sello de calidad, significa que las tensiones admisibles para el grupo comercial son las tensiones adecuadas para su uso en diseño estructural.

En otros casos, el sello de calidad de algunas maderas puede reflejar sólo el nombre del grupo de especies comerciales y los datos reales de una pieza del grupo de especies no se sabrán. Se requeriría un conocimiento especial en la identificación de la madera para determinar las especies individuales.

La elección de especies para su uso en el diseño estructural es básicamente una cuestión económica. Las especies de árboles que se usan para la producción de madera estructural se clasifican en maderas duras y maderas blandas. Las maderas duras son árboles caducifolios de hoja ancha. Las maderas blandas, por otro lado, tienen hojas más estrechas, habitualmente son de hoja perenne, y se conocen como coníferas. Generalmente, la gran mayoría de la madera para construcción estructural viene de la categoría de madera blanda. Existen ejemplos de grupos de especies constituidos por maderas que

están clasificadas como blandas, que son relativamente densos y tienen propiedades estructurales que superan las propiedades de muchos de los grupos constituidos con maderas duras.

IV.2.a. - Laminated Veneer Lumber (LVL)

LVL es una madera de ingeniería que se produce utilizando múltiples finas capas paralelas de madera, ensambladas con adhesivos. Normalmente se utiliza para headers (dinteles), vigas, rimboards o material de borde. LVL ofrece varias ventajas sobre la madera aserrada: Es elaborado en una fábrica bajo especificaciones controladas, es más fuerte, más recta y más uniforme. Debido a su naturaleza compuesta, a comparación de la madera convencional, es mucho menos probable que se deforme, gire, arquee, o se produzca el fenómeno de hinchamiento o encogimiento.

Vigas del ejemplar RedLam™ (LVL) funcionan bien en todo tipo de aplicaciones de la estructura. No importa donde se las utilice, se instalan rápidamente con poco o ningún residuo. RedLam™ LVL es muy estable y resiste a la deformación, fraccionamiento y contracción.

RedLam™ LVL puede ser utilizado como vigas principales, vigas rasantes, headers o dinteles, framing o viguetas y studwall o montante. El proceso de fabricación RedLam™ LVL elimina y dispersa los defectos naturales inherentes a la madera y produce un producto que es fuerte, dimensionalmente estable y muy fiable. Más fuerte que la madera natural o aserrada.

La producción de este tipo de madera, consiste en láminas de madera de los troncos pelados, los cuales se secan cuidadosamente, se someten a ultrasonidos que clasifica la capacidad de la madera, y se evalúa para asegurar un espesor uniforme y el contenido de humedad óptimo. Las capas están recubiertas con adhesivo y se someten a calor y presión para conseguir una unión permanente. Este proceso minimiza muchas de las inconsistencias naturales que se encuentran en la madera, tales como nudos, grietas y decadencia. El resultado es un producto de madera de ingeniería que puede soportar cargas pesadas y pueden ser utilizadas para una variedad de aplicaciones, como las vigas de madera, los encabezados y partes de Red- I viguetas explicadas posteriormente.

Los elementos de madera laminada encolada no deben contener, bajo ninguna circunstancia, clavos o grapas como elementos vinculantes de las tablas. El encolado es la vinculación más efectiva, no acarrea disminución de sección y su efectividad aumenta en algunos casos la resistencia nominal de las secciones. La altura de los elementos de vigas o arcos puede ser constante o variable, y su dimensión en largo está limitada solo por las posibilidades de

transporte.

La primera operación consiste en ajustar el porcentaje de humedad, con diferencias no mayores a 4% entre tablas y no mayor a 2% entre sectores de una misma tabla. Se continúa con un saneado de defectos y empalme en largo. La Temperatura de la madera en esta etapa debe ser apta para el proceso.

El prensado se efectúa en un local cerrado con control y registro continuo de las condiciones ambientales. Es necesario que se mantenga la presión requerida hasta que termine completamente el proceso.

Luego de operaciones finales de acabado y conservantes para lograr un producto de calidad, fiable y resistente es necesario realizar sistemáticamente numerosos controles operativos en forma permanente de calidad y servicios de los elementos.



Figura IV-13: Madera LVL. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Tabla IV-1: Tamaños disponibles Madera LVL. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products

Available Width	Depth												
	3½"	5½"	7¼"	9¼"	9½"	11¼"	11½"	14"	16"	18"	20"	22"	24"
1½"	X	X	X	X		X							
1¾"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2½"	X	X	X	X		X							
3½"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5¼"		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X
7"			X		X		X	X	X	X	X	X	X

Tabla IV-2: Cargas admisibles para LVL. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products

BEAM DESIGN PROPERTIES						
100% Load Duration						
Width (in)	Depth (in)	Weight (plf)	Shear (lbs)	Moment (ft-lbs)	I (in ⁴)	EIx10 ⁴ (in ² -lbs)
1.75	9.5	4.8	3,160	6,600	125	250
	11.875	6.1	3,950	10,000	244	490
	14	7.1	4,660	13,500	400	800
	16	8.2	5,320	17,400	597	1,190
	18	9.2	5,990	21,600	851	1,700
3.5	9.5	9.7	6,320	13,100	250	500
	11.875	12.1	7,900	19,900	488	980
	14	14.3	9,310	27,100	800	1,600
	16	16.3	10,640	34,700	1,195	2,390
	18	18.4	11,970	43,200	1,701	3,400
	20	20.4	13,300	52,600	2,333	4,670
	22	22.5	14,630	62,800	3,106	6,210
24	24.5	15,960	73,900	4,032	8,060	
5.25	9.5	14.5	9,480	19,700	375	750
	11.875	18.2	11,850	29,900	733	1,470
	14	21.4	13,970	40,600	1,201	2,400
	16	24.5	15,960	52,100	1,792	3,580
	18	27.6	17,960	64,800	2,552	5,100
	20	30.6	19,950	78,900	3,500	7,000
	22	33.7	21,950	94,200	4,659	9,320
24	36.8	23,940	110,800	6,048	12,100	
7	9.5	19.4	12,640	26,300	500	1,000
	11.875	24.2	15,790	39,800	977	1,950
	14	28.6	18,620	54,100	1,601	3,200
	16	32.7	21,280	69,400	2,389	4,780
	18	36.8	23,940	86,400	3,402	6,800
	20	40.8	26,600	105,200	4,667	9,330
	22	44.9	29,260	125,700	6,211	12,420
24	49.0	31,920	147,800	8,064	16,130	

IV.2.b. - ParallelStrandLumber (PSL)

Básicamente, la diferencia con respecto a la LVL, es que en lugar de utilizar capas paralelas para la producción, utiliza hebras finamente delgadas que le permite tener un patrón más elevado de defectos a la hora de seleccionar la madera. En conclusión es un tipo de madera elaborada a partir de hebras largas y delgadas de madera recortadas establecidas en alineación paralela y unida con adhesivo. Tiene usos similares a la LVL. El producto se fabrica como un 12 "x 12" o 12 "x 18" en una sección transversal rectangular, que es entonces típicamente aserrada y recortado a tamaños de sección transversal menor. Por lo general, la longitud de la viga sólo se limita a la longitud máxima que puede ser manejado y transportado. Los espesores típicos son 3 ½ ", 5 ¼" o 7 "; las profundidades típicas son 9 ½ ", 11 ⅞" 14 ", 16" y 18". Normalmente las vigas se hacen para una longitud máxima de 60 pies (18.3 mt.).

Los valores de cálculo de Parallam, en flexión, tensión paralela a la fibra y compresión paralela a la fibra son mayores que la madera aserrada. Esto se debe a que nudos y otras imperfecciones se dispersan al azar en todo el producto de modo que la variabilidad de la capacidad de una pieza a otra es menor que en las vigas de madera aserrada.

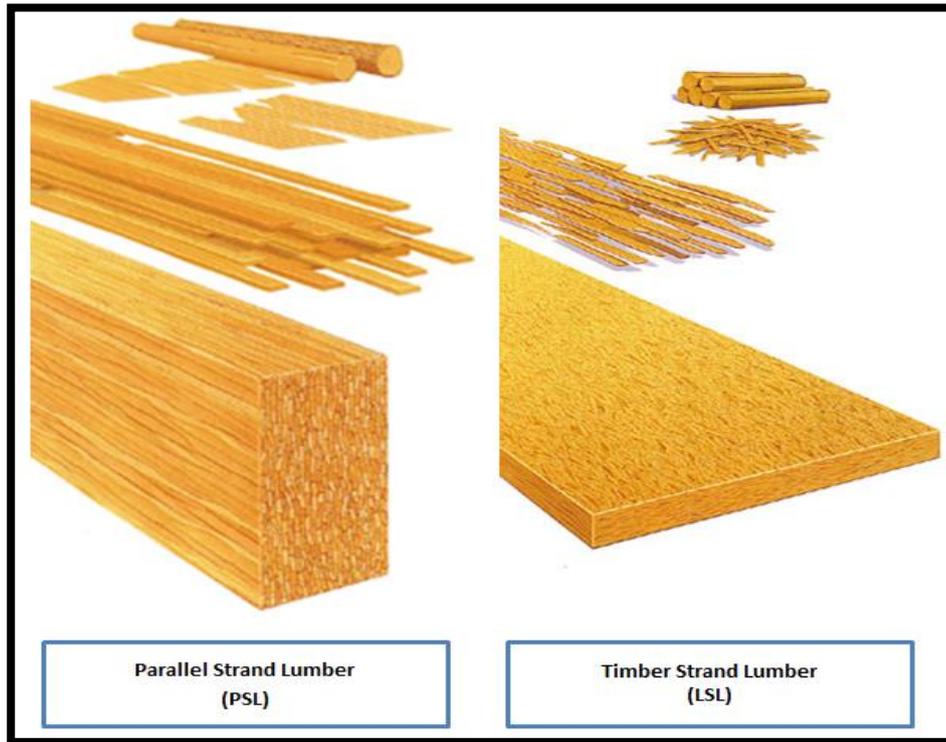


Figura IV-14: Comparación PSL – LSL. Fuente: Sitio web

IV.2.c. - LaminatedStrandLumber (LSL)

LSL es otro tipo de Madera Compuesta estructural pero utiliza láminas más pequeñas aun. Es similar a un tablero de virutas como el tipo de madera OrientedStrandBoard (OSB).

La empresa no comercializa más estos dos últimos tipo de productos PSL y LSL. Los reemplaza utilizando LVL, que tiene características similares.

IV.2.d. - GluedLaminatedTimber (GLB)

Para mayores luces o mayores áreas de influencia, es decir mayores cargas se utilizan este tipo de producto, el cual no es fabricado por la empresa pero si posee el servicio de venta del mismo. La empresa no se responsabiliza de la verificación de los elementos de este tipo.

Los elementos de madera del tipo GLULAM o también llamado madera laminada, es un tipo de estructura que comprende una serie de capas de madera dimensionadas unidas con adhesivos estructurales duraderos, resistentes a la humedad. En Norteamérica, el material que proporciona las láminas se denomina 'material para laminar "o lamstock.

El proceso de producción de este tipo se basa en la laminación de una serie de piezas más pequeñas de madera , que juntas constituyen un solo miembro de mayor dimensión, fuerte y estructural. Estos miembros estructurales se utilizan como columnas y vigas , con la opción de formas rectas, y también la posibilidad de formas curvadas o en forma de arco. La Glulam es producida fácilmente en formas curvas y está disponible en una gama de especies y diferentes características de apariencia para cumplir diversos requisitos en su uso final.

La madera laminada optimiza los valores estructurales de un recurso renovable –la madera. Debido a su composición, los miembros grandes de madera laminada se pueden fabricar a partir de una variedad de árboles más pequeños extraídos de bosques de segundo y tercer crecimiento y plantaciones. Este tipo de madera laminada proporciona la fuerza y la versatilidad de las piezas de madera grandes sin depender de las viejas maderas aserradas sólidas de crecimiento dependiente como sucede con las demás maderas compuestas. Se reduce la cantidad total de la madera utilizada en comparación con las maderas aserradas sólidas, disminuyendo el impacto negativo de los nudos y otros pequeños defectos en cada tabla.

La madera laminada implica mucha menor energía de producción que el hormigón y el acero reforzado, aunque por supuesto sí implica más energía

incorporada que la madera sólida. Sin embargo, el proceso de laminación permite la utilización de la madera para luces mucho mayores, cargas más pesadas, y formas complejas. La madera laminada es mucho más liviana, de menor peso, que el acero y el hormigón. Este tipo puede ser fabricado para una variedad de configuraciones rectas y curvas por lo que ofrece a los arquitectos la libertad artística sin sacrificar requisitos estructurales. La madera tiene una mayor resistencia a la tracción con respecto al acero (dos veces sobre una base de resistencia en función del peso) y tiene una fuerza de resistencia a la compresión superior a la del hormigón. La alta resistencia y rigidez de estas permiten vigas de madera y arcos para abarcar grandes distancias sin columnas intermedias, lo que permite una mayor flexibilidad de diseño. El tamaño está limitado sólo por el transporte y manejo.



Figura IV-15: GluedLaminatedTimber.Fuente: Sitio web.

La producción de Glulam se basa en la unión de elementos más pequeños de 2.5" de ancho (1 cm.) que implican algunos controles de fabricación adicionales que no son necesarios en la producción de un miembro normal de un ancho específico, que no va a ser unido a otro miembro. Por lo tanto, las dimensiones que se encuentran en el mercado son múltiplos del ancho de los elementos más la unión de los mismos.

Este tipo de madera tiene muy buen momento de inercia y modulo sobre el eje fuerte, pero no tan así sobre el eje débil. Es importante que la zona comprimida, cuando se aplican las cargas y el elemento está en servicio, se prepare para que no se produzca pandeo junto con torsión en el elemento. Por otro lado, se pueden utilizar las láminas con mejor capacidad y menos defectos en las zonas más críticas del elemento, y por consiguiente reducir costos. Existen Normas de Control de Calidad que aseguran la producción de productos muy estables y confiables. De hecho, las propiedades estructurales de los miembros de madera laminada (Glulam) en la mayoría de los casos exceden las propiedades estructurales de madera aserrada.

La razón por la cual podemos afirmar que la madera del tipo compuesta como la Glulam tiene propiedades estructurales muy altas, es porque el material incluido en el miembro puede ser seleccionado de gran stock de láminas de madera de muy buena calidad. Aquellas maderas aserradas que posea características, que por problemas en el crecientemente o demás, limitan la capacidad estructural simplemente se pueden excluir en la fabricación. Además, este método de producción permite optimizar la utilización del recurso, dispersando los defectos a lo largo del miembro.

Además de la dispersión de las características que reducen la capacidad, la fabricación de componentes de madera laminada hace un uso eficiente de los materiales estructurales disponibles de otra forma. Como ya lo mencionamos, es posible utilizar las láminas de mayor calidad en las zonas de mayor tensión y momento. Por ejemplo, un caso típico se produce en la viga glulam, en las cuales las maderas de calidad superior se encuentran en las zonas exteriores de tensión y compresión. Esto coincide con la ubicación de tensiones máximas de flexión bajo carga en este tipo de elemento.

Aunque en las fibras externas, podemos considerar la máxima tensión igual a la máxima compresión, exhaustivas investigaciones ha demostrado que las laminaciones exteriores en la zona de tracción son las más críticas en la viga. Por esta razón, las maderas de mejor calidad y mayor capacidad se utilizan para las láminas exteriores expuestas a tracción.

En resistencia de materiales vimos que un miembro de material compuesto, como lo es la glulam, es un elemento que se compone de más de un material con diferentes valores de módulo de elasticidad. Estos se han analizado utilizando el método de sección transformada. El ejemplo más obvio, de un miembro compuesto en la construcción de edificios con vigas de hormigón armado, o también la viga de madera laminada (Glulam) debido a que los diferentes miembros de madera aserrada tienen diferentes módulos de elasticidad. Sin embargo, desde el punto de vista de un diseñador, una viga

laminada puede ser tratada como un material homogéneo con una sección transversal rectangular. Las tensiones se han determinado de acuerdo con la norma ASTM usando la sección transformada. Todos los valores de diseño de madera laminada han sido en base a la madera ya transformada para permitir el uso de propiedades rectangulares aparentes. Por lo tanto, excepto por las diferencias en los valores de diseño y propiedades de la sección, un diseño de madera laminada se lleva a cabo de la misma manera que el diseño de la viga aserrada sólida.

Las láminas se seleccionan y se secan hasta llegar a un contenido de humedad de 16% o menos antes de ser pegada. Las diferencias en el contenido de humedad de las láminas en un elemento no pueden superar el 5 por ciento de humedad con el fin de minimizar las tensiones internas. Debido al contenido de humedad relativamente bajo (MC) de los miembros de madera laminada en el momento de la fabricación, el cambio en el contenido de humedad cuando se pone en servicio es generalmente mucho menor que para la madera aserrada. Esto disminuye estrechamiento e hinchamiento, y lo hace un material mucho más estable.

La madera se contrae y dilata con el cambio de contenido de humedad más en dirección tangencial del anillo anual, que en la dirección radial, y casi nada en la dirección de las fibras. Cuando se unen solo dos piezas, se ensamblan encolando entre sí las caras más distantes a la médula, los anillos más alejados de la medula son los últimos en formarse y por lo tanto los menos resistentes y menos densos. De esta manera se restringe la distorsión de los elementos en virtud de que la cara en contacto más sensible al cambio de humedad quedaría protegida de su influencia. En el caso de la Glulam, se unen más de una pieza, por lo que se pone en contacto una cara con sus fibras más alejadas al corazón del árbol con una más próxima a la médula.

Tradicionalmente, los dos tipos de pegamento que se utilizan en la fabricación de madera laminada son: adhesivos de uso en seco (dry-use) y adhesivos de uso húmedo (wet-use). Mientras que los dos tipos de pegamento son capaces de producir uniones que tienen capacidades de deformación horizontal mayor a la capacidad de la propia madera, hoy sólo se permiten adhesivos de uso húmedo.

Para que los elementos, formados por la unión de láminas de madera, funcionen correctamente y tengan propiedades mejores que una madera aserrada el empalme longitudinal deben tener mayor capacidad de carga que la madera propiamente dicha. Los tipos de unión son:

- Junta a peine horizontal (Horizontal finger joint)

- Junta a peine vertical (Vertical finger joint)
- Junta Oblicua (Scraf Joint)

Si se respetan las condiciones que la norma exige para las juntas longitudinales, las piezas de madera laminada se dimensionan en base a las mismas tensiones admisibles que para madera maciza.

A partir de la breve explicación del proceso de fabricación de la Glulam, podemos explicar cómo se clasifican. Los miembros sometidos principalmente a flexión se especifican típicamente sobre la base de la tensión máxima de flexión admisible del mismo. Por ejemplo, una designación 24F indica un miembro de un esfuerzo de flexión permisible de 2,400 psi. Del mismo modo, una designación 26F se refiere a un miembro de un esfuerzo de flexión permisible de 2,600 psi. Estos diferentes niveles de capacidad se logran mediante la variación de los porcentajes y de la selección de un grado superior en la calidad de la madera utilizada para la producción. El uso de diferentes especies también puede dar lugar a diferentes denominaciones.

Para identificar si la madera utilizada en la viga se clasifica visualmente o mecánicamente, en la denominación también se incluye un segundo conjunto de designaciones. Por ejemplo, para una del tipo 24F, la misma puede ir acompañada de una letra como sigue, 24F-V4. La "V" indica que la madera utilizada es clasificada visualmente. Una viga que se identifica como 24F-E4 indicaría una madera clasificada mecánicamente. Por otro lado, V4 significa que el material de selección de mejor calidad se dispone en la parte inferior, utilizadas generalmente en vigas simplemente apoyadas. Si la designación es V8 significa que el material de selección se proyecta en la parte inferior, y es utilizada en vigas con apoyo continuo.

La Madera Glulam está disponible en una variedad de aspectos, se ve diferente pero con las mismas características estructurales para un grado de resistencia dada:

- Grado Framing, es sólo para uso en aplicaciones ocultas.
- Grado industrial, se utiliza donde la apariencia no es de importancia.
- Vigas de grado arquitectónico, tienen un acabado suave y atractivo, destinadas a ser expuesta a la vista en el acabado de la estructura.
- Vigas de primera calidad, están disponibles en el orden de encargo donde el aspecto acabado es de primera importancia.

Si bien cualquier elemento compuesto de madera puede ser diseñado para minimizar la deflexión, la madera laminada es el único producto en ingeniería que puede fácilmente combado para reducir el efecto estético de las

deflexiones. La mayoría de las aplicaciones residenciales requieren muy poca o ninguna curvatura que, a su vez, hace que la glulam sea la elección ideal.

Cuando se diseña un edificio con la utilización de vigas glulam, el ingeniero sabe que para tramos largos, el diseño es a menudo controlado por límites de deflexión más que por la capacidad de la viga. Una forma de reducir el efecto estético adverso y lo que significa estructuralmente una viga deformada, es a través del uso del camber.

Camber es una curvatura inicial que se mide en "pulgada" de deformación o "pies" de radio de curvatura, es opuesta a la dirección en la que se produce la deformación del miembro bajo cargas gravitatorias, y se da en el momento de la producción del elemento estructural. Para el caso, de cargas muertas mínimas esta curvatura no es necesaria ya que la comba diseñada para la viga nunca llega a relajarse y por lo tanto queda deformada en sentido contrario a las cargas. Se utiliza sobre todo, para vigas de gran longitud con cargas gravitatorias importantes.

Los códigos de madera exigen límites de deflexión en función del uso de la estructura y del elemento que se esté diseñando. Una de las razones es la condición de servicio del edificio, además de los múltiples efectos adversos que pueden surgir en consecuencia, como problemas en las instalaciones, acumulación de líquidos en la zona de depresión, etc. El código no admite techos o pisos con apariencia "flácida", y elementos, como vigas y columnas, que no transmitan confianza a las personas que van a habitar o utilizar el mismo.

En el proyecto las Glulams se fabricaron con un camber standard de 3500' de radio, solo para glulams del tipo V4, es decir simplemente apoyadas. Cuando las mismas poseen apoyos continuos o un tramo en cantiliver, no es recomendable utilizar camber para disminuir la deflexión. Esto se debe, porque la curvatura impediría el apoyo intermedio de la viga. Este ejemplo se puede observar en los planos del techo (Roof) hoja 7/13 del Anexo 3, se encuentran, en la entrada al building, vigas con sus extremos en cantiliver con el nombre de GC20 y GC21. Las mismas se proveen del tipo V8, es decir con material de mejor calidad en los extremos superiores e inferiores debido al momento negativo que se produce en el apoyo continuo. En el apoyo continuo, si se fábrica la viga con una curvatura para disminuir la deflexión, no se produce el contacto adecuado y por este motivo las mismas son enviadas con camber cero (ver Anexo 5, hoja 1 del delivery 4)

En el proyecto se enviaron las vigas GLULAM con camber standard, pero también es posible la determinación exacta del radio de curvatura necesario

para el elemento que se va a deformar, y por lo tanto darle un camber especial, lo que implica un precio mayor para esa viga.

Se calcula la deformación máxima de la viga por cargas gravitatorias, la cual se produce en el centro de la misma. En función de este cálculo, se determina un camber deseado a partir del producto de la deflexión máxima por un factor de seguridad igual o mayor a 1. Con el camber deseado, partir de la siguiente ecuación se determina el radio de curvatura.

$$R = \frac{3 \cdot L^2}{2 \cdot \Delta}$$

L= longitud de la viga; Δ=camber deseado; R= radio de curvatura.

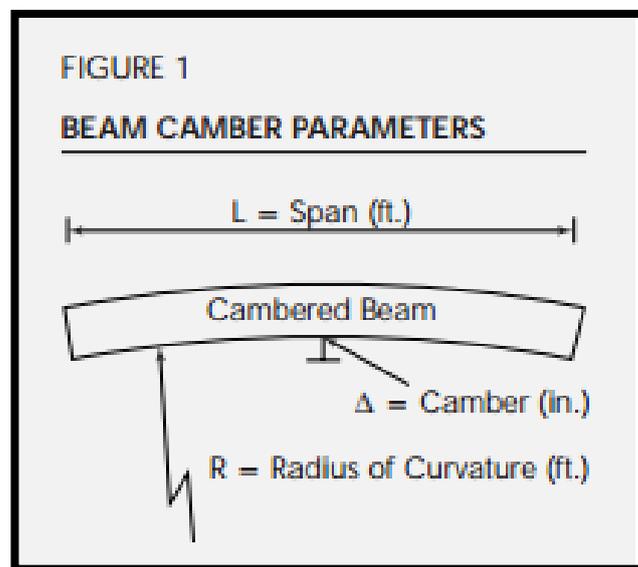


Figura IV-16: Camber para Viga Glulam-Engineerd Wood Systems. Fuente: Sitio web.

IV.2.e. - I-Joists

Hace cuarenta años, los fundadores de RedBuilt desarrollaron la vigueta de madera con forma en “I” muy útil en ingeniería. Están diseñadas para proporcionar fuerza y estabilidad, las vigas compuestas Red-I™ se han convertido en una parte integral de pisos, techos y tejados en edificios tanto residenciales como comerciales. La estabilidad dimensional de estas vigas compuestas ayuda a resistir la deformación, torsión, y contracción que puede producir las cargas aplicadas a la estructura. Son fuertes pero ligeras e

incluyen una amplia gama de tamaños y profundidades en longitudes de hasta 80 pies, dándole extraordinaria libertad de diseño. Debido a que son más rápidas y fáciles de instalar que los demás elementos de madera, ahorran en mano de obra.

Las vigas compuestas Red-I™ están fabricadas con alta calidad de madera de ingeniería, que incluyen alas de LVL y alma de OSB (Oriented Strand Board), estas están patentadas por RedBuilt. El camber también está disponible en algunas series, bajo pedido especial. Red-I™ vigas compuestas ofrecen a los arquitectos, ingenieros, propietarios de edificios comerciales y contratistas comerciales, fáciles y económicas soluciones para prácticamente todas las estructuras, al tiempo que aumentan la confianza de diseño y calidad de construcción.

Algunos de los beneficios de utilizar Red-I Joists para construcción de pisos y techos son:

Mínimo desperdicio: Red-I™ se fabrican para resistir la torsión y contracción, y se pueden cortar a medida tanto en la fábrica o en el campo para obtener residuos mínimos.

Compatibilidad: Todas las vigas que componen el framing de madera pueden adaptarse a una amplia variedad de materiales, como mampostería, elementos metálicos, contrachapado, acero, yeso, etc.

Acceso mecánico fácil: Fácil de instalar ductos y caños en las almas de las vigas mediante agujeros pre-standard. El alma también se puede cortar o taladrar para acomodar mayor red de conductos.

Existen cinco series de Red-I Joists: Red-I45, Red I-65, Red-I90, Red-I90H y Red-I90HS, con múltiples aplicaciones desde edificios uni-familiar, residenciales, hasta edificios comerciales de gran envergadura como colegios, hospitales, centro comerciales, etc.

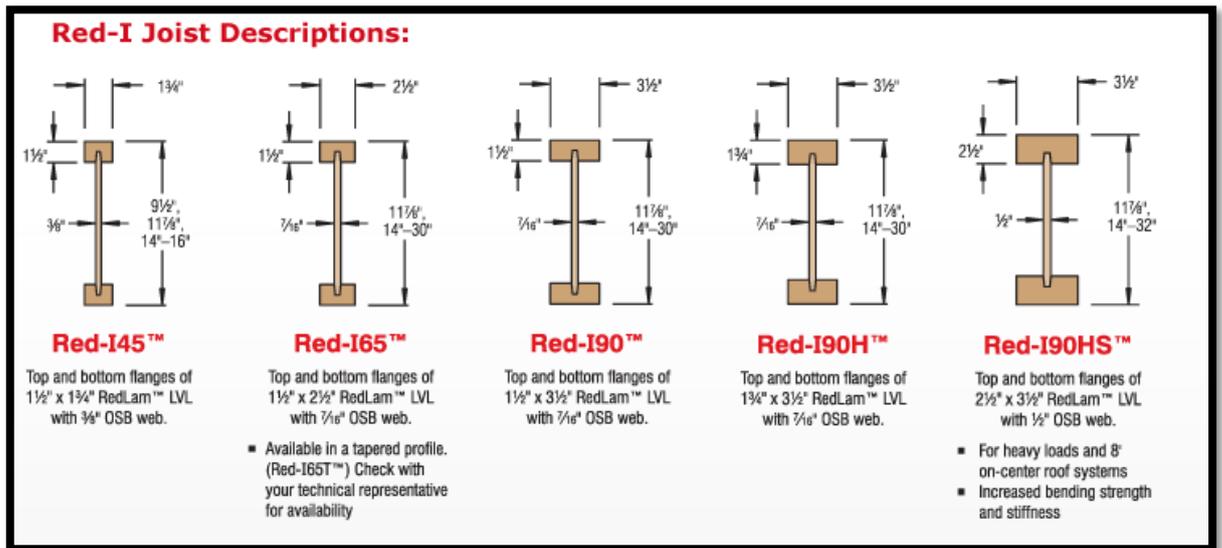


Figura IV-17: Red-I Joists-Red Built.Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Las Alturas van desde 14" a 32", con Alturas que crecen de a dos pulgadas. (14", 16", 18", 20" etc.)

IV.2.f. - Open Web

Viguetas Open-Web RedBuilt™ proporcionan la libertad de arquitectura para aplicaciones de construcción comercial y de industria ligera. Diseñadas y construidas específicamente para cada necesidad, crean soluciones eficiente y económica para pisos y techos. Las ventajas de una buena utilización maderacero, su alta relación resistencia-peso y la gran capacidad de carga, permiten al diseñador construir grandes espacios abiertos de más de 100 pies de ancho, con este tipo de viguetas. Desde su introducción en 1960, la Openweb trusses se ha convertido en uno de los productos de ingeniería en construcción de madera más utilizados en la construcción comercial. Se caracterizan por ser ligeras, fáciles de instalar, y tienen sistema de clavados que facilitan la sujeción de la cubierta del techo, muy estable y eficiente. La línea de productos Open-Web RedBuilt incluye:

Red-L, Red-LT y Red-W Trusses

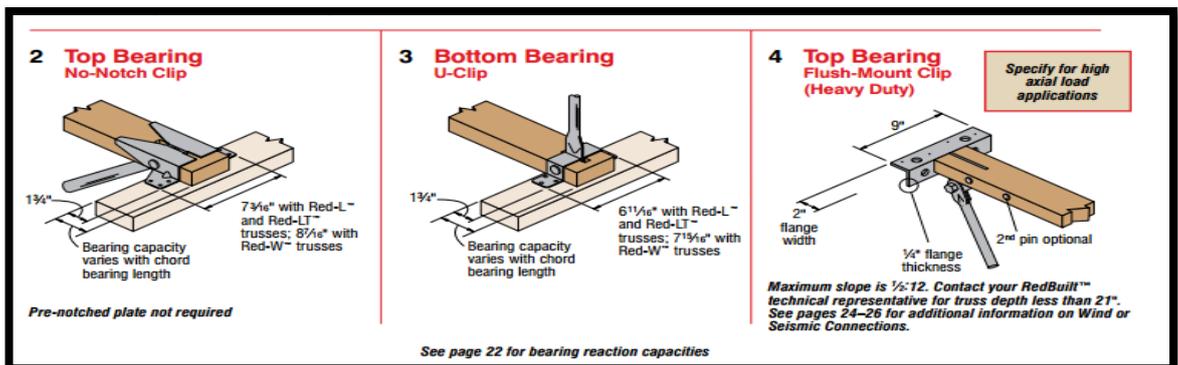
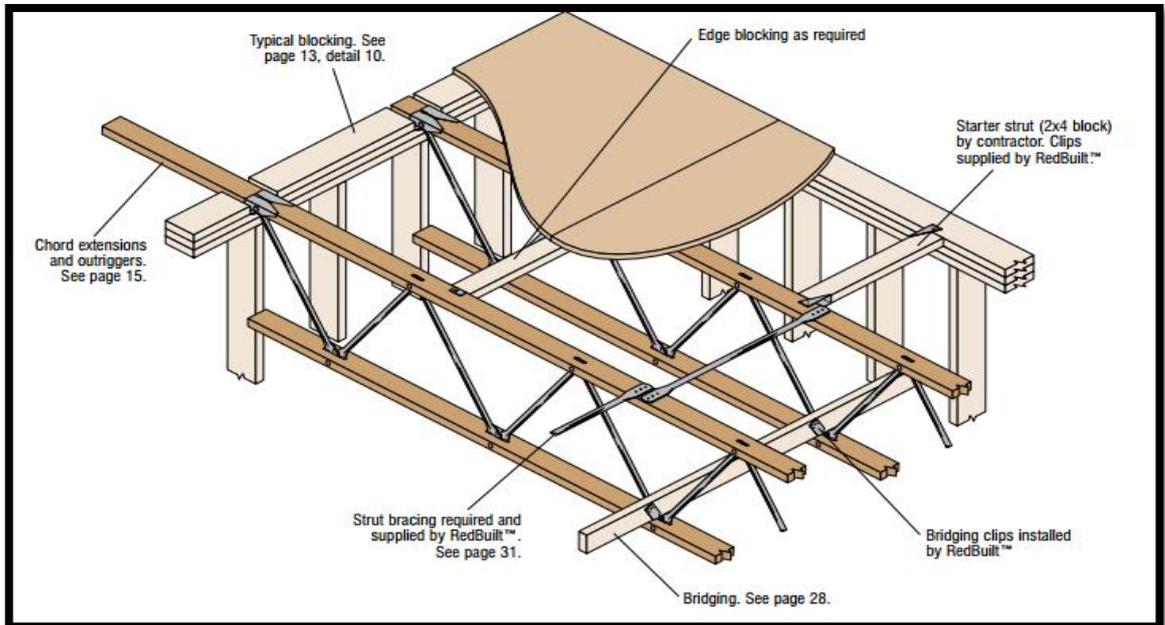


Figura IV-18: Red-L, Red-LT y Red W. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Red-S Trusses

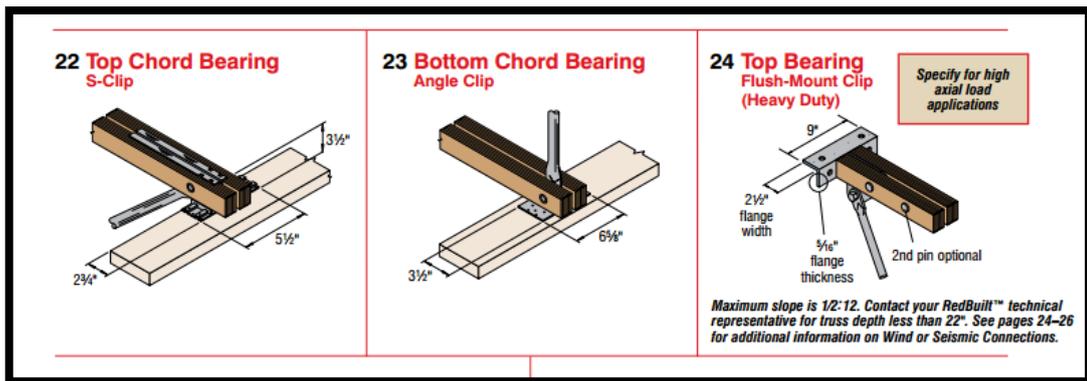
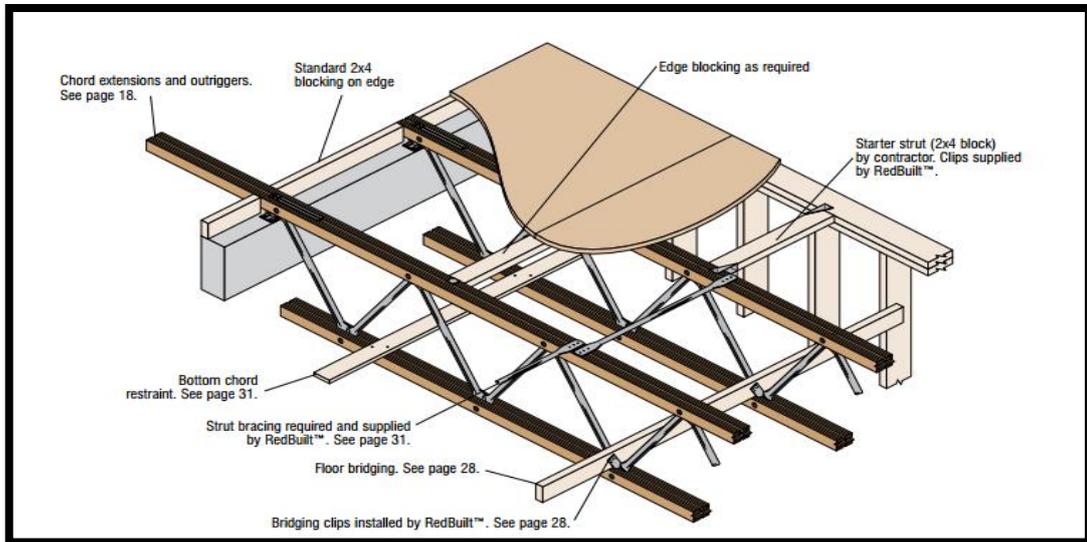


Figura IV-19: Red-S. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Red-M y Red-H Tursses

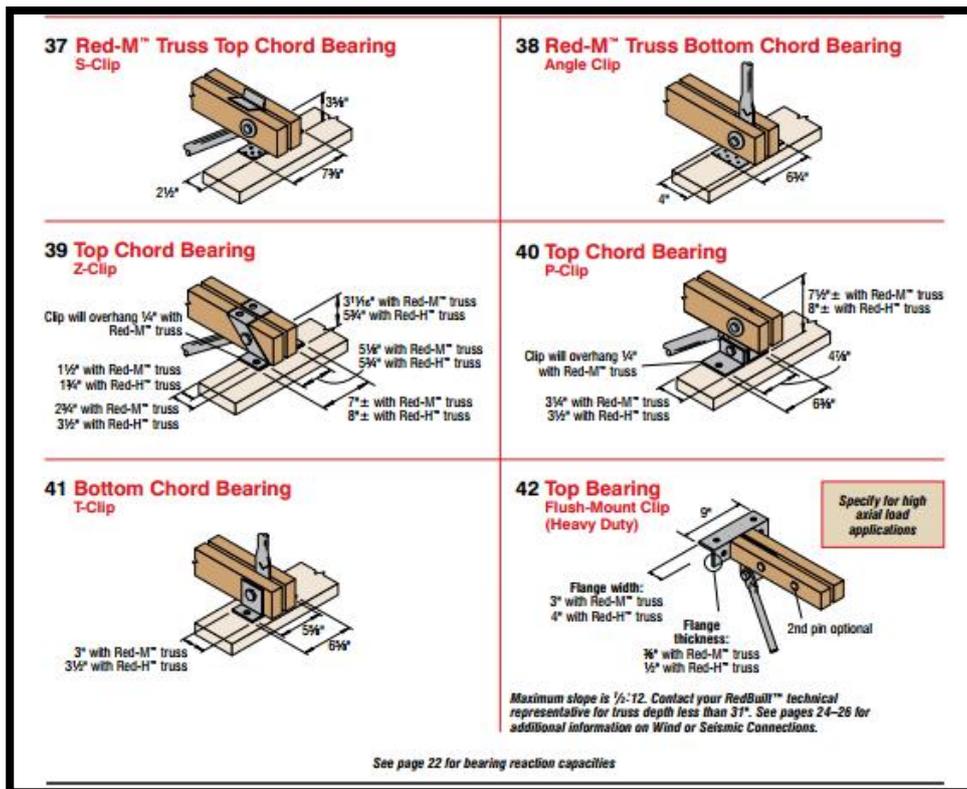
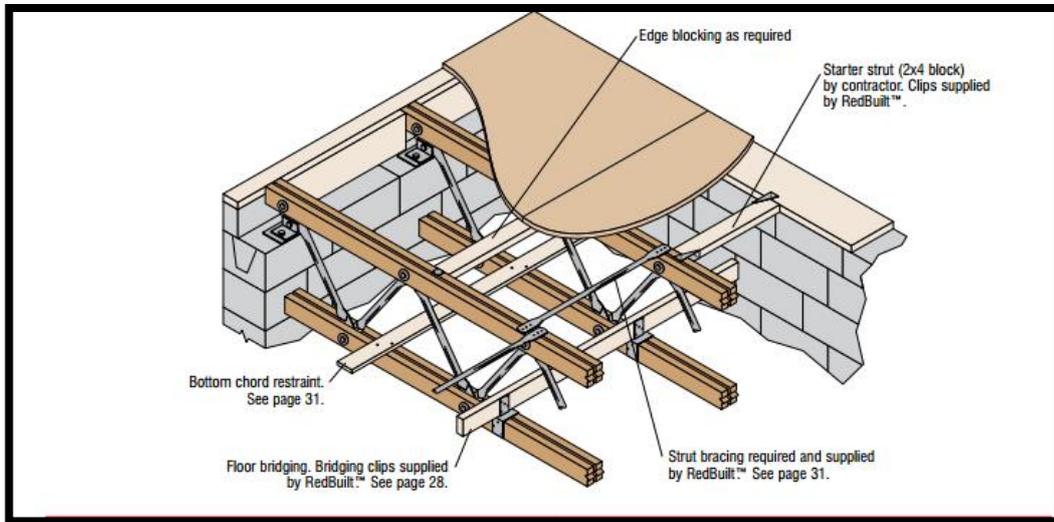


Figura IV-20: Red-M, Red-H. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

V. - CAPITULO II

V.1.- RED BUILT: “PROVIDENCE HALL HIGH SCHOOL”



La Practica Supervisada se basó en la verificación, de piso y techo de “Providence Hall High School”. La empresa para la que se trabaja, Red Built, se trata de una fábrica que diseña elementos estructurales de madera con las características descritas en la Etapa I. Además, brinda un servicio adicional de verificación y confección de planos finales para la construcción de edificios de diversos usos como, colegios, clínicas, residenciales, etc.

La empresa tiene 50 años de excelencia en proveer servicios de ingeniería en estructuras de madera. Intervino en decenas de edificios en todo Norte América y fuera del país. Sus productos de excelente calidad y resistencia se encuentran patentados por la misma. Brindan un servicio de ingeniería, que básicamente se encarga de verificar que sus productos funcionen correctamente en el proyecto a construir.

A continuación se muestran ejemplos en los que intervino,



Figura V-1: Taylor Middle School Cafeteria. I-Joists y Open Web. Fuente: Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.



Figura V-2: Duluth Depot Train Shed. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.





Figura V-3: Las Vegas Cybery. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.



Figura V-4: Riverstone International School. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.



Figura V-5: Yogurt Land. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Providence Hall High School se trata de un colegio ubicado en Herriman, Utah. El mismo abrió sus puertas para 700 alumnos y 32 profesores en el año 2008, y hoy seis años después crea un nuevo edificio con el objetivo de un gran crecimiento, y la apertura del nivel secundario.



Figura V-6: Localización de Providence Hall High School

El proyecto consiste en el edificio de aproximadamente 45000 ft² (4180 m²). Dispone de instalaciones indispensables para el correcto funcionamiento de la institución, como un amplio gimnasio, comedor donde los alumnos almuerzan, aulas, oficinas, sala de música, de arte, sanitarios y espacios comunes.

A continuación en los puntos siguientes se explican las características constructivas del proyecto. Algunas de ellas son, tipo de fundación utilizada, muros portantes y resistentes a corte (shearwall), características del diafragma horizontal (piso) y techo, incluyendo conexiones entre las partes. Por otro lado se da a conocer las cargas que actúan y la resistencia de los elementos previamente ensayados.

Esto es de suma importancia para entender el funcionamiento de la estructura y así poder realizar la verificación de sus elementos, sobre todo los proporcionados por la empresa.

V.2.- TIPO DE FUNDACIONES

Un sistema de cimentación tiene dos funciones importantes en las estructuras de madera. Por un lado, hace posible la nivelación de la estructuras aportando las cargas gravitatorias, permite minimizar la sedimentación, impide el levantamiento por fuerzas producidas por congelamiento o hinchamiento de suelos expansivos y resiste fuerzas horizontales como vientos y Sismos. Por otro lado, un sistema de base mantiene las partes del edificio de madera distanciadas del terreno natural aislándola de agentes perjudiciales para la misma como lo son ciertos organismos y la humedad, evitando su descomposición.

La elección del tipo de fundación no es sencilla, depende de varios factores como tipo de suelo, clima, tipo de estructura, lugar de emplazamiento, uso del edificio, presupuesto disponible, etc. Lo principal para cualquier tipo de fundación es investigar el tipo de suelo y su capacidad a soportar cargas, ya que un problema en la fundación es muy difícil y sobretodo costoso de reparar. Es importante estar seguro, que el sistema utilizado es el correcto dada las condiciones del lugar.

Los tres tipos más comunes de fundación en la zona oeste de Estados Unidos son Slabon Grade (Platea), Crawl Space (Zapata) y Basment (Sótano).

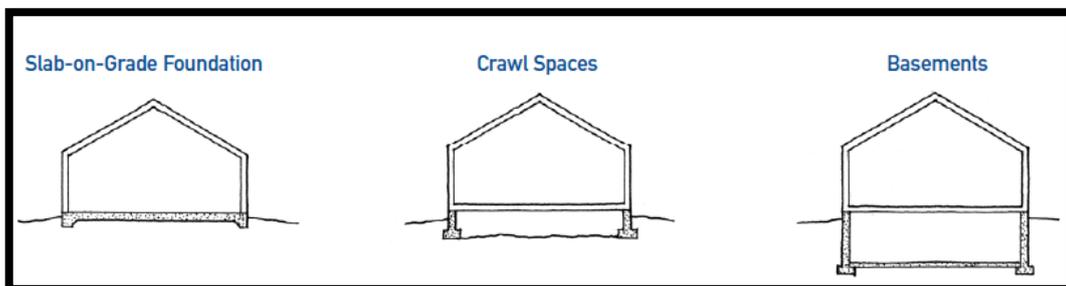


Figura V-7: Tipo de Fudaciones. Fuente: Frame Construction.

En el proyecto se utilizó una combinación de SlabonGrade y Crawl Space. Slabon Grade son las denominadas 'Plateas de Fundación' ó 'Losas de Cimentación' en Argentina, son cimentaciones superficiales, sobre el terreno natural. Este tipo de cimentación se utiliza sobre todo en climas cálidos, donde la vida y la línea de congelamiento están cerca de la superficie. Las plateas actúan como planos rígidos y tienen la propiedad de repartir uniformemente las cargas sobre el terreno, que se ve menos solicitado ante cargas puntuales de columnas, en especial cuando el terreno es 'malo' (rellenos o arcillas), evitando los llamados 'asentamientos diferenciales', que se producirían con otro tipo de

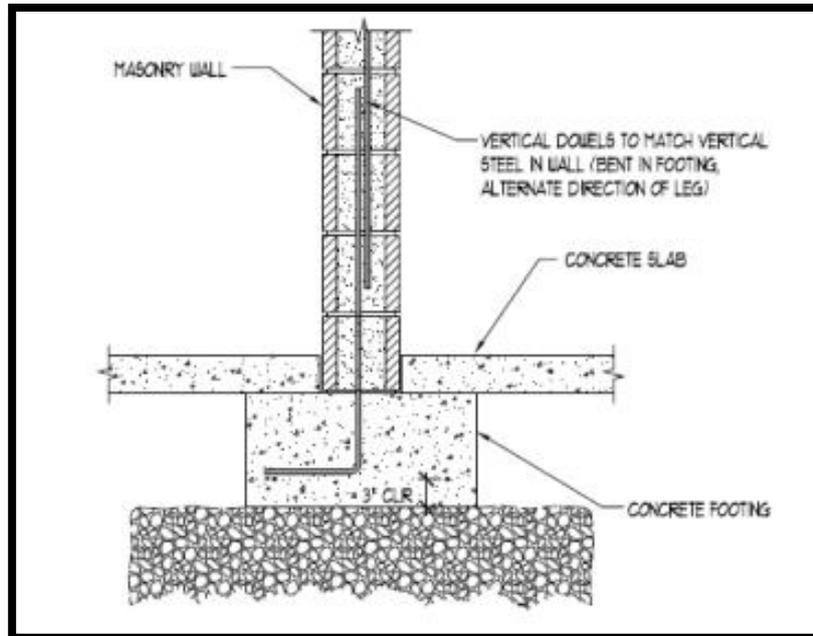
fundación, y por ende las grietas o roturas en la edificación, que pueden llevar al colapso de la misma.

Las ventajas de utilizar este sistema son, que es económico y robusto, y se considera menos vulnerable a la invasión de termitas porque no hay espacios huecos o canales que permitan el ingreso desde el suelo a la estructura. Las desventajas son la falta de acceso a las líneas de servicios públicos, la posibilidad de pérdidas de calor, donde las temperaturas del suelo caen muy por debajo de la temperatura interior, y una elevación muy baja que expone el edificio a daños por inundaciones, incluso en lluvias moderadas. A largo plazo, el movimiento de suelos (o hundimientos) pueden ser un problema. La platea como fundación se utiliza comúnmente en áreas con suelo de arcilla expansiva, sobre todo en California y Texas.

En las algunas zonas se proyectó Crawl Space, se utilizó este tipo de fundación solo para paredes que funcionan como sostenimiento de la estructura, denominadas ‘BearingWalls’. Este tipo de base es una especie de zapata corrida, que deja un espacio entre el suelo de la estructura y el suelo natural. Se encuentran en todos los climas, pero predominan en las regiones templadas. En este sistema, el piso de madera de la planta baja se apoya sobre la pared de fundación, hecha de bloques o concreto. El espacio entre la rasante del suelo y el piso de madera es suficientemente amplio como para que acceda una persona. Además permite la colocación de conductos, tuberías y demás instalaciones, y una reparación de los mismos simple, rápida y económica.

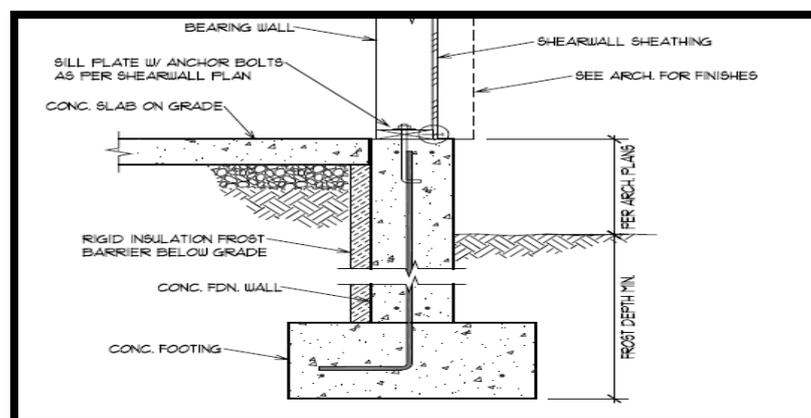
El tipo y características de las fundaciones es fundamental en la vida útil de la estructura, una falla en la misma implica un costo importante en su reparación. Por esto es muy importante ser sumamente conservador en el diseño y construcción de la fundación. Para ello en la construcción de esta estructura se tuvo en cuenta los siguientes puntos:

- Se determinó la línea de congelamiento del suelo y se construyó la base de fundación por debajo de esta. Esto evita los movimientos por hinchazón y el material orgánico sumamente perjudicial para la madera.
- Se utilizó barras de refuerzo horizontal continuo en la base y la parte superior de las paredes de la fundación. En el caso de paredes de bloques de concreto, se unió a la fundación mediante refuerzo vertical.



**Figura V-8: Arriostamiento CMU a la fundación. Fuente: Structural Plans
“Providence Hall High School”- Sheet S1.2.**

- Se arriostro las piezas de madera a la fundación, en las áreas con muro de studs (madera), con bulones o straps embebidos en la fundación. Esto es sumamente importante en zonas sísmicas o de huracanes. La verificación del mismo depende del sitio en el que se ubica la estructura, la zona sísmica a la que pertenece y debe realizarse con los códigos locales.



**Figura V-9: Arriostamiento Stud wall a Fundación. Fuente:
Frame Construction- Rob Thallon.**

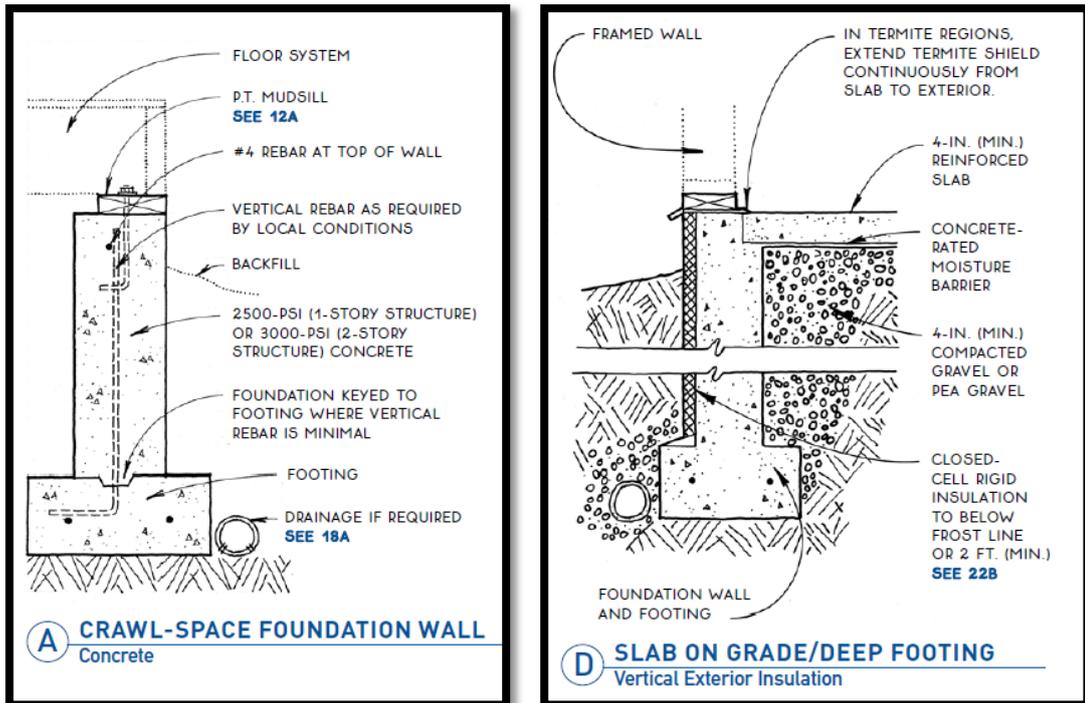


Figura V-10: Detalles de Fundaciones. Fuente: Fuente: Frame Construction.

- Se proporcionó un drenaje adecuado alrededor de la fundación. Se tuvo especial cuidado en la óptima pendiente del terreno y en mantener un espacio mínimo entre el terreno y elementos de madera. En el caso de contacto, se realizó un tratamiento especial para la misma.

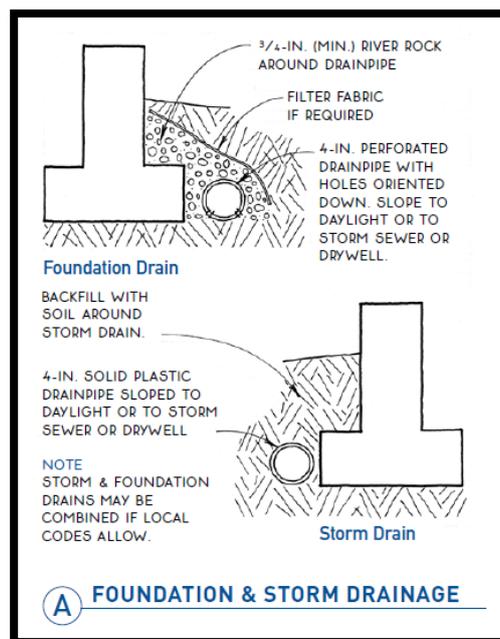


Figura V-11: Drenaje de Fundación.

- Se utilizó madera con un tratamiento especial para las zonas donde la misma se encuentra en contacto con el concreto. En el caso de madera no tratada en contacto con concreto, se proyectó una barrera de protección contra la humedad, denominada "moisture barrier".

A pesar de no estar dentro del alcance de este trabajo, la elección y cálculo de la fundación y el cálculo de las paredes de corte (shearwall) es importante, ya que intervienen en la verificación de nuestros elementos. Las shearwalls tienen condiciones diferentes a los demás muros portantes, por este motivo es necesario determinar su ubicación y características. El análisis de la fundación es de principal importancia para conocer los apoyos de nuestro piso y techo.

V.3.- WALLS (MUROS)

Dentro del proyecto nos encontramos con tres tipos de paredes, paredes que reciben cargas, denominadas paredes portantes o bearingwalls, paredes resistentes a corte (viento y sismo) denominadas shearwalls, y paredes divisorias de ambientes llamadas partition walls.

Las paredes de un edificio tienen varias funciones: Definen los espacios dentro de la construcción para ofrecer privacidad y zonificación, y en sí encierran el edificio, manteniendo el clima apropiado dentro. Es la estructura que soporta los pisos superiores, el techo del edificio, tanto como fuerzas laterales que amenazan el inmueble. Por otro lado también encierran los sistemas mecánicos (cableado eléctrico, plomería y calefacción). Incorporar todo esto dentro de 4 o 6 pulgadas de profundidad es todo un logro, por lo que se deben tomar numerosas decisiones en el diseño de una pared para un edificio con estructura de madera.

La elección del tipo de pared que se utiliza en cualquier proyecto de madera, no es una tarea sencilla. Para Providence Hall School se proyectó paredes 2x6 para bearing Wall exteriores e interiores y 2x4 para partition Wall- No Portantes. El muro 2x6 se ha vuelto cada vez más popular en los últimos años, principalmente porque proporciona más espacio para aislamiento e instalaciones. Estas ventajas siempre tienen un costo. Una pared 2x6 con clavado cada 24" (espaciamiento máximo permitido por código) utiliza alrededor del 20% más de material, pernos y placas, que una pared 2x4 con clavos con una separación de 16". En el exterior, el revestimiento tiene que ser de ½ pulgada de grosor (1/8 de pulgada más grueso que el revestimiento en un muro 2x4). En el interior, los paneles de yeso también tienen que ser 1/8 más

grosos que en un muro 2x4. Por otro lado, también aumentan los costos de aislamiento para un muro 2x6, aunque el funcionamiento es mucho mejor que en un muro 2x4.

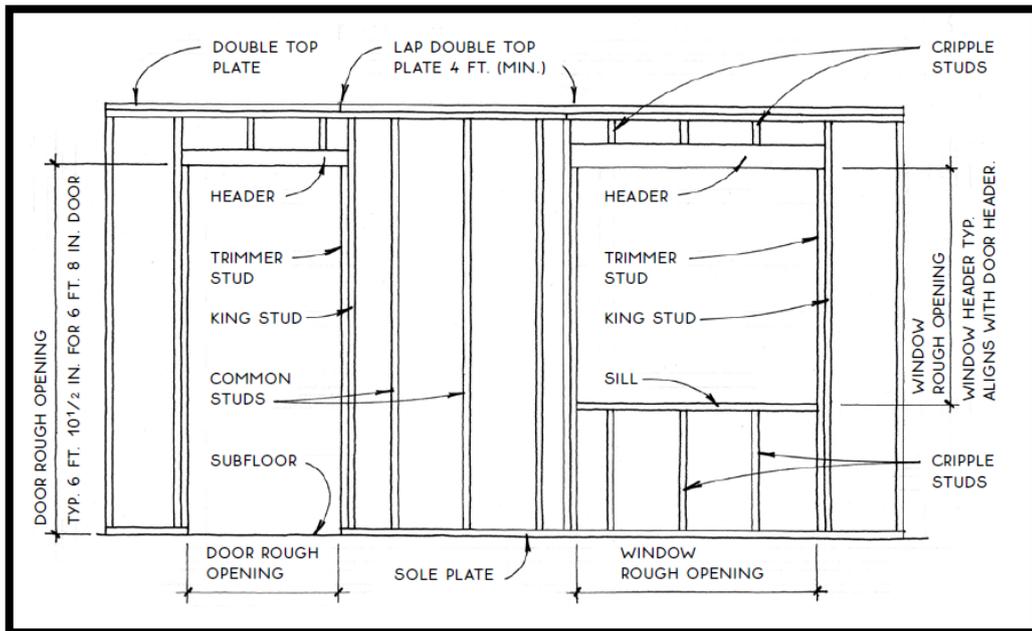


Figura V-12: Detalle de muro y header.

Las paredes de este tipo se componen de un soile-plate conectado a la fundación de concreto, a este se conectan studs distanciados en función de la carga que soportan. La separación de los studs debe ser múltiplo de la longitud del sheathing (12”, 16”, 24”, 32” y 48”). Y en la parte superior doble top plate, donde se conecta el piso de la planta superior o el techo.

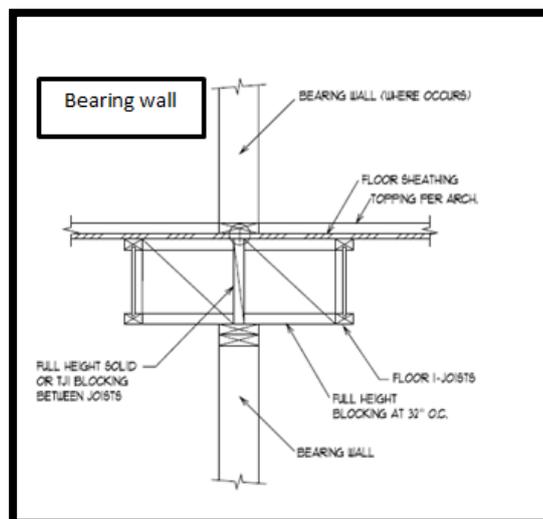


Figura V-13: Detalle de muro portante. Fuente: Structural Plans “Providence Hall High School”.

Ya determinado el tamaño y espaciamiento de los studs, y el tipo de muro (de corte o solo portante) se selecciona el cerramiento estructural. Se utilizó OSB de 1/2" con clavos 8d distanciados cada 6". El revestimiento estructural desempeña dos funciones muy importantes, por un lado proporcionar arrojamiento lateral, y por otro lado, formar un soporte estructural para los materiales de revestimiento. El revestimiento de OSB tiene un eje de resistencia a lo largo de la longitud del panel debido a la orientación de las fibras, pero este eje sólo es importante en relación a su resistencia a la flexión. Los paneles se pueden instalar tanto vertical como horizontalmente. Los revestimientos aplicados verticalmente no suelen requerir plywood edge blocking para el clavado, debido a que todos los bordes del panel están alineados con elementos del bastidor. Por otro lado, los paneles aplicados horizontalmente, son diseñados para proporcionar resistencia lateral, y deben tener plywood edge blocking entre los montantes (studs) para clavado.

En la mayoría de los casos, los requisitos mínimos del código son la utilización de diagonales o revestimiento estructural denominado sheathing, lo que provee suficiente rigidez a las paredes del edificio para resistir las típicas cargas laterales de viento o carga excéntrica dada para el tiempo de recurrencia estimado. Estas paredes estructurales actúan como los lados de una caja de zapatos que trabajan en conjunto con la tapa para mantener la forma general de la caja.

En las condiciones más extremas, como zonas con un alto riesgo de terremotos o vientos fuertes, deben ser tomadas otras medidas con otros tipos de refuerzos estructurales para estas cargas. Para edificios pequeños bien modulados en estas zonas, los códigos normalmente requieren clavados más densos y anclajes más resistentes, así como mayor capacidad de los miembros estructurales.

Es común tener condiciones donde incluso este aumento de capacidad dada por el código no es suficiente. Además de las condiciones extremas que se pueden dar, muchas veces la necesidad de aberturas en las paredes disminuye la capacidad de resistir este tipo de solicitaciones. En estos casos, se deben tomar medidas para resistir cargas laterales, y estos por lo general implican cálculos que escapan al alcance de este informe.

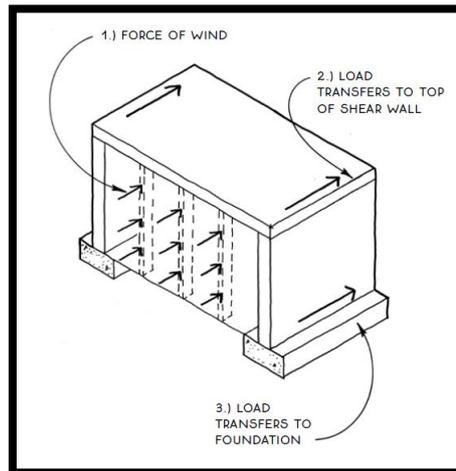


Figura V-14: Transmisión de carga. Fuente: FrameConstruction-Rob Thallon

La figura que se muestra resume cómo el diafragma y los muros de corte trabajan juntos para resistir las fuerzas laterales. Por simplicidad, el diagrama muestra un viento que actúa en una sola dirección perpendicular a la pared del edificio, pero en realidad, la dirección de las fuerzas laterales no pueden pre-determinarse, por lo que los sistemas que resisten estas, deben estar diseñados para la eventualidad de fuerzas en todas las direcciones.

La fuerza lateral sigue un camino continuo a través de la estructura: (1) la fuerza del viento en la pared de barlovento se transfiere a través de los montantes de madera (stud) y de los tirantes superiores (top plate),(2) el diafragma recoge las cargas desde la parte superior de la pared de barlovento y los transfiere a la parte superior de los muros de corte en ambos lados , y (3) los muros de corte en los extremos opuestos del diafragma transfieren las cargas hacia abajo, a la fundación.

Estos elementos estructurales están diseñados esencialmente para resistir fuerzas laterales del viento o de terremotos y sismos, pero es importante tener en cuentas que estas dos fuerzas actúan de forma diferentes en los edificios. En pocas palabras, la fuerza del viento actúa sobre la parte superior de un edificio y las fuerzas sísmicas actúan sobre la parte inferior. El tratarse de estructura de madera, se cuenta con la ventaja de un peso ligero para el caso del sismo, pero es una desventaja en el caso de fuertes vientos. En los cálculos y diseño de este tipo de paredes de corte, se debe tener en cuenta.

Shearwalls son paredes muy fuertes que conectan el diafragma horizontal a la fundación. Actúan como diagonal o paredes estructuralmente revestidas para resistir la acción lateral. Su mayor capacidad viene dada por el aumento en la densidad del clavado, revestimiento, y en el anclaje.

Los muros de corte actúan como vigas en voladizo desde la fundación, para resistir las fuerzas paralelo a ellos. Están conectados en su base a la fundación (o otro muro de corte) y en su parte superior a un diafragma.

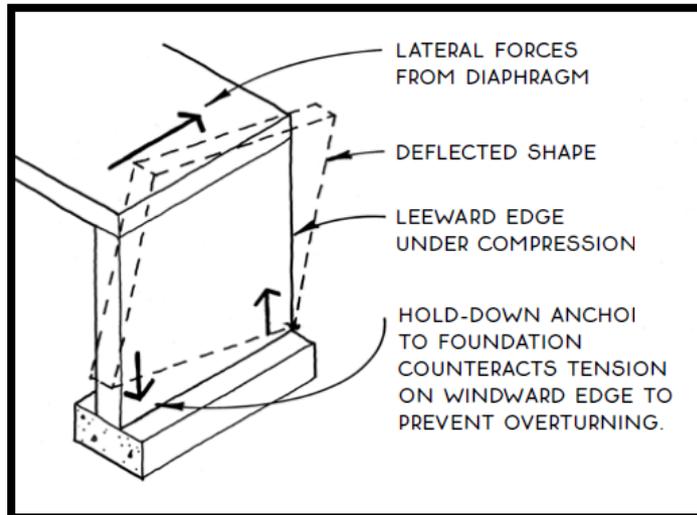


Figura V-15: Shearwall. Fuente: Fuente: Frame Construction - RobThallon.

Por último, es de suma importancia el cálculo de la conexión del muro de corte a la fundación y al diafragma. Debido a que los muros de corte involucran un gran número y variedad de elementos y conexiones, es crítico que cada conexión se diseñe y construya para resistir las fuerzas que pasan a través ella. Dependiendo de su ubicación, las conexiones pueden ser llamadas a resistir las fuerzas verticales y horizontales en varias direcciones.

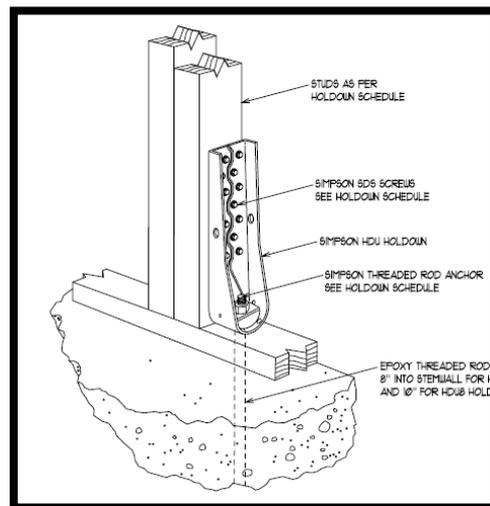


Figura V-16: Detalle típico Holdown. Fuente: Structural drawings. “Providence Hall High School”.

V.4.- DIAFRAGMA HORIZONTAL. (PISO Y TECHO)

El piso es la principal característica de calidad del edificio, por lo tanto, es importante detenerse en un análisis exhaustivo de cargas y sollicitaciones que va a sufrir el mismo. Es la parte del edificio con que las personas mantienen más contacto, y pueden percibir en instantes una desnivelación, un movimiento o vibración no apropiada, etc. El piso recibe las cargas de nuestro peso, todos nuestros muebles, y la mayoría de otras posesiones. También actúa como un diafragma al transferir cargas laterales (por ejemplo, viento, terremotos) a las paredes, que como vimos, son las encargadas de transferirlas a la fundación. Generalmente, el piso aísla a las personas que habitan el espacio de conductos, plomería y otros servicios públicos. Por lo que este debe ser cuidadosamente diseñado como un sistema que se integra con el resto de los sistemas de una estructura de madera.

En Providence Hall High School, se proyectó el piso de la primera planta de concreto (concrete slab) por lo que queda fuera del alcance de este trabajo.

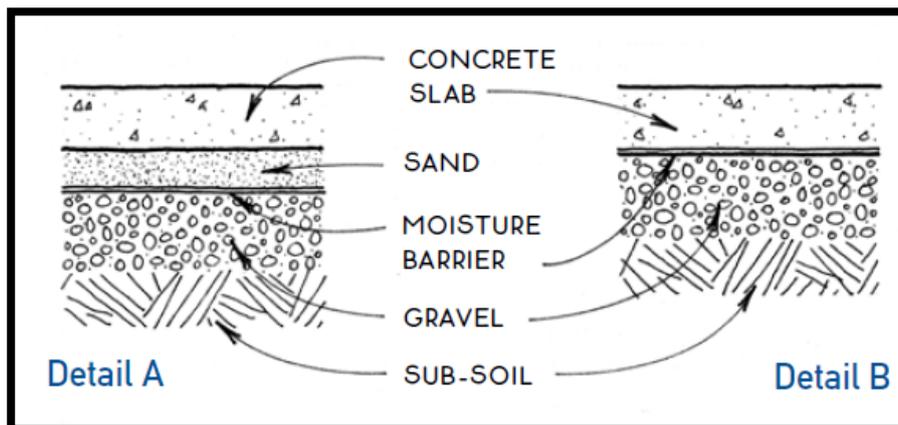


Figura V-17: Piso Concreto Primer Piso. Fuente: Frame Construction.

En el piso de la segunda planta se proyectaron viguetas I-Joists en función del uso del ambiente y de la luz de las mismas. Antes de comenzar con el análisis del cálculo es importante conocer los elementos que componen el piso:

- Soportes. Ya visto en los puntos anteriores, las viguetas se apoyan en soportes paralelos normalmente, que pueden ser paredes de madera (studbearing Wall), fundación, o muros de hormigón (CMU o concrete Wall), headers, ledgers, vigas (LVL beam o GLULAM beam), etc.
- Vigas (Joist). Es el elemento principal del piso, transmite las cargas a los apoyos. En nuestro proyectos utilizamos vigas compuestas denominadas I-Joists, Open Web y en casos especiales vigas LVL, todas descritas anteriormente.

- Subsuelo. La superficie plana estructural unida a la parte superior de las vigas se llama subsuelo. El subsuelo proporciona la superficie nivelada en el cual se aplica el piso acabado, y también actúa como un diafragma para transferir cargas laterales a las paredes. El subsuelo de nuestro edificio se proyectó de madera contrachapada o tablero de virutas orientadas (OSB) con clavado 10d common cada 10".

Las vigas I-joists están diseñadas para funcionar de manera eficiente con la mayor parte de la madera en la parte superior e inferior de la vigueta donde los esfuerzos son mayores. Estas vigas son más rectas y más precisas que la madera maciza de construcción por lo tanto, hacen un piso más plano y más tranquilo. Su capacidad es sólo ligeramente mayor que la madera de construcción, pero se pueden fabricar mucho más profundas y más largas que estas, por lo que son las más seleccionadas en el caso de grandes luces.

El diseño de vigas compuestas de un piso requiere más consideraciones que solo las cargas a las que están afectadas cuando están en servicio. La longitud de apoyo tiene un número mínimo de consideraciones a tener en cuenta. Estos incluyen: la flexión en la sección de la pieza y las fuerzas de tracción y compresión en las alas, refuerzo de alma (webstiffeners) sobre todo por aplastamiento en los extremos, ubicación de juntas y fuerzas puntuales, y tensiones perpendiculares a la sección de la viga.

Para el diseño comenzamos por conocer la conexión entre las vigas y muros exteriores. Esta puede ser mediante dos sistemas, platform framing o balloon framing. El tipo platform es uno de los sistemas más comunes en la construcción de edificios de este tipo, se llama así porque la estructura de la pared se interrumpe en cada nivel, donde el piso proporciona una plataforma para la construcción de las paredes del siguiente nivel. En cambio, en el sistema balloon los studs o montantes del muro son continuos y no se interrumpen en cada nivel. Las paredes en el colegio se proyectaron todas con sistema platform framing.

Debido al sistema ya indicado, en el apoyo viga-muro exterior la transmisión vertical de la carga, del ala superior al ala inferior, se realizó mediante la colocación de Rimboard. (Ver detalles 1/10, 2/10, 4/10, 5/10, 11/10, 15/10 de Anexo3). El Rimboard tiene múltiples funciones, Además de la transmisión de la carga vertical, da un cerramiento general y ayuda a prevenir vuelcos durante la instalación.

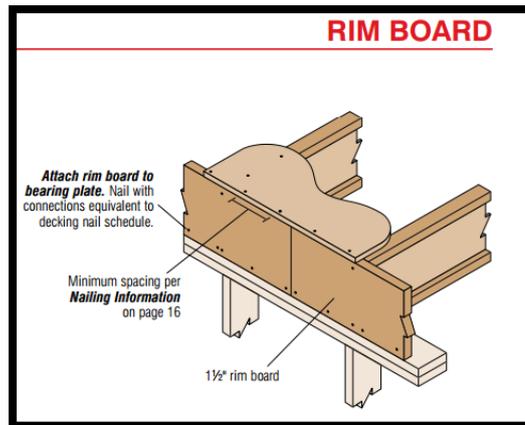


Figura V-18: Detalle Rim Board. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Por otro lado la transmisión vertical de carga en muros portantes internos se proyectó a través de blocking, se utilizaron pedazos de la misma viga Red-I, o LVL. (ver detalles 3/10 y 7/10 del Anexo 3)

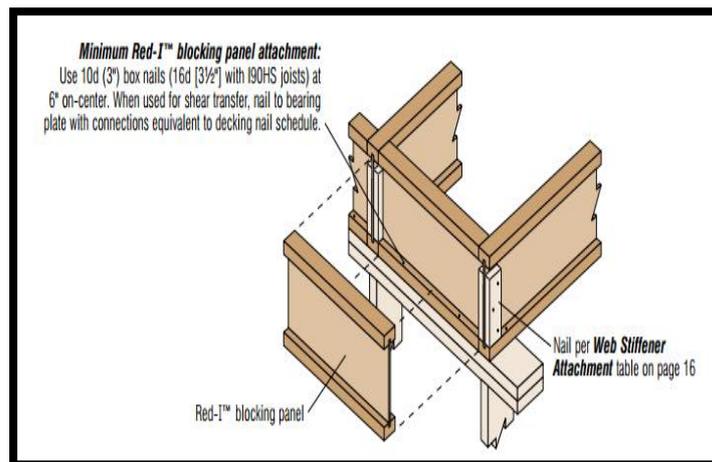


Figura V-19: Detalle Blocking Panel. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Las vigas I-Joists o vigas compuestas son aproximadamente 50% más ligeras que las vigas de madera. Pero el tratarse elementos con alma tan delgada pierde capacidad a solicitaciones por aplastamiento vertical, por lo que en algunas áreas se tuvo que reforzar el alma con madera OSB o contrachapada. Estos refuerzos son utilizados donde se localizan cargas puntuales, por ejemplo una pared “bearing Wall”, instalaciones mecánicas, aire acondicionado, extractores, etc. y en las conexiones sobre todo cuando se realiza mediante hangers.

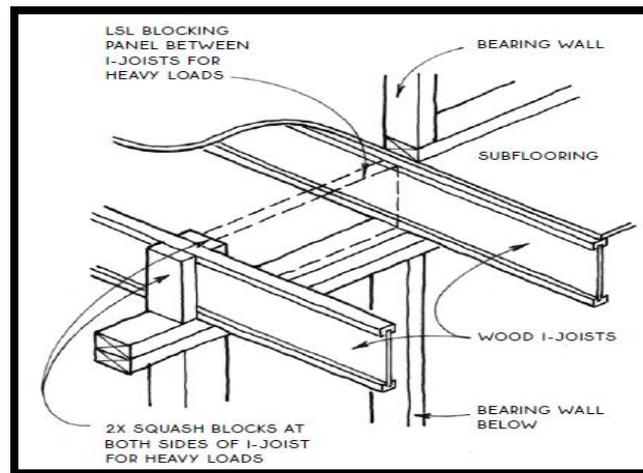


Figura V-20: Detalle Blocking. Fuente: Frame Construction.

Cuando se instalan correctamente estos refuerzos de alma, aumentan la capacidad de reacción de la viga al desviar una porción de la carga lejos de la unión Web-alma. Esto se logra a través del contacto directo entre la parte inferior del rigidizador y la parte superior del ala. Los refuerzos de alma ayudan a prevenir que esta se doble, y también proporcionan estabilidad lateral en determinadas configuraciones de hangers (ver Anexo 4- Cálculos - Web stiffeners required para hangers).

Es importante tener en cuenta donde se dan los esfuerzos de corte críticos para el análisis de refuerzos de alma. Cuando la condición de la viga es simplemente apoyada la fuerza cortante crítica es la reacción vertical en los extremos. Cuando la viga compuesta posee uno o varios apoyos continuos, la ubicación del corte crítico se encuentra a una distancia igual a la profundidad de la vigueta desde la línea central del apoyo (si sólo existen cargas uniformes). Cuando una parte de la misma se encuentra en voladizo, en general, no se considera una situación de continuidad (a menos que la longitud en voladizo exceda la profundidad de la vigueta) y la fuerza cortante en el apoyo del voladizo es la crítica.

El apoyo juega un papel muy importante a la hora del diseño, y la determinación de la capacidad de la viga. Según norma existen longitudes de apoyo mínimas que deben ser utilizadas como parámetros de diseño (ver Anexo 4- Cálculos –Required Bearing con refuerzo de alma y sin refuerzo de alma). Un aumento de la longitud de apoyo o la utilización de refuerzos de alma, significan capacidad adicional para soportar solicitaciones de corte.

La mayor reacción admisible de una viga Red-I con refuerzos de alma asume (3) clavos como se muestra en detalle (figura que se muestra abajo). En algunos casos las reacciones admisibles pueden aumentar utilizando más clavos.

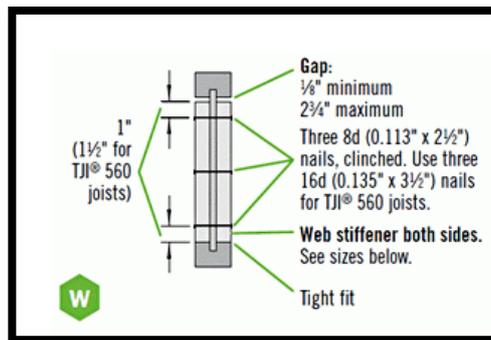


Figura V-21: Web Stiffener. Fuente: Sitio Web.

Debido al gap, el refuerzo de alma no funciona como un medio para transferir la carga desde arriba hacia la parte inferior de la viga. Para aplicaciones donde se necesita una mayor transferencia de carga vertical se utilizan rim-board, squash blocks y blocking panels que son métodos aceptables para la transferencia de carga desde arriba, alrededor de la vigueta, al ala inferior.

Por otro lado la capacidad de la viga a momento se ve limitada por la tensión admisible menor entre la unión del ala-alma y la tensión admisible del material de las alas, que son las que reciben las mayores solicitaciones. Por este motivo la norma no permite entallar o cortar parte de las alas, del mismo modo está limitado el tamaño y cantidad de clavos en las mismas. Importante el análisis sobre todo en zonas donde es necesario la instalación de straps o similares. En el análisis de Providence Hall High School se hizo un estudio exhaustivo de los mismos tanto en I-Joists como OWs., ya que no cumplir con estos requerimientos mínimos puede producir la separación de las fibras y la consecuente disminución de la capacidad.

Tabla V-1: Mínimo espacio para el clavado. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Nail Type	Nail Size	LSL			RedLam™ LVL			Sawn Lumber	
		Face	Edge		Face	Edge		Face	Edge
			Truss Chord	Rim Board, Header, Beam		Truss Chord	Rim Board, Header, Beam		
8d ⁽¹⁾	0.113" x 2½"	1½"	4"	3"	2"	4"	3"	4"	2"
	0.131" x 2½"	1½"	6"	3"	2"	6"	3"	6"	2"
10d	0.128" x 3"	1½"	6"	3"	2"	6"	3"	6"	2"
	0.148" x 3"	1½"	6"	4"	3"	6"	4"	6"	2½"
12d	0.128" x 3¾"	1½"	6"	3"	2"	6"	3"	6"	2"
	0.148" x 3¾"	1½"	6"	4"	3"	6"	4"	6"	2½"
16d	0.135" x 3¾"	1½"	6"	4"	3"	6"	4"	6"	2½"
	0.162" x 3¾"	1¾"	8"	6"	4"	8"	8"	8"	4"

(1) 14 gauge staples may be a direct substitute for 8d nails if a minimum penetration of 1" is maintained.

- If more than one row of nails is used, offset the rows at least ½" and stagger. Use 10d (0.148" x 3") nails, maximum, and maintain ¾" minimum edge distance. **Exception: High Shear Diaphragm Nailing** above.
- Failing pattern to be per plans and specifications, and nail spacing should comply with criteria listed on this page.
- For member stability, nail sheathing to the full length of the member (24" on-center, maximum).

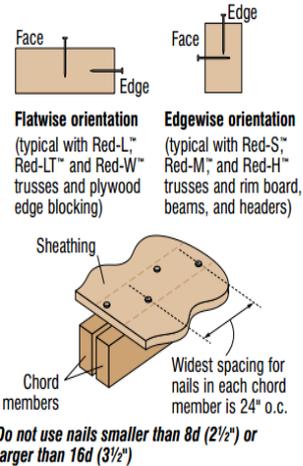
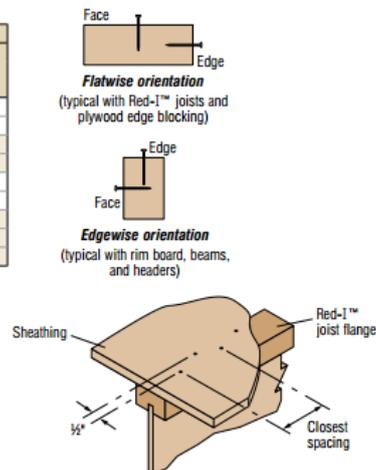


Tabla V-2: Información de clavado. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

NAILING INFORMATION						
Minimum Nail Spacing						
Nail Type	Nail Size	Face	RedLam™ LVL		Face	Edge
			Joist Flange	Rim Board, Header, Beam		
8d ⁽¹⁾	Box 0.113" x 2½"	2"	4"	3"	4"	2"
	Common 0.131" x 2½"	2"	6"	3"	6"	2"
10d	Box 0.128" x 3"	2"	6"	3"	6"	2"
	Common 0.148" x 3"	3"	6"	4"	6"	2½"
12d	Box 0.128" x 3¾"	2"	6"	3"	6"	2"
	Common 0.148" x 3¾"	3"	6"	4"	6"	2½"
16d	Box 0.135" x 3¾"	3"	6"	4"	6"	2½"
	Sinker 0.148" x 3¾"	3"	6"	4"	6"	2½"
	Common 0.162" x 3½"	4"	8"	8"	8"	4"

(1) 14 gauge staples may be a direct substitute for 8d nails if a minimum penetration of 1" into the flange is maintained.

- If more than one row of nails is used, offset rows at least ½" and stagger. Use 10d (3") common nails, maximum, and maintain ¾" minimum edge distance. **Exception: Wind/Seismic Connections** (page 18) and **High Shear Diaphragm Nailing** (page 17).
- Nailing pattern to be per plans and specifications, and nail spacing should comply with criteria listed on this page.
- For member stability, nail sheathing to the full length of the member (24" on-center, maximum).



Cuando la carga supera la capacidad de la viga existen tres posibilidades, cambiar la sección de la misma que muchas veces por motivos arquitectónicos o de espacio no es posible, modificar el área tributaria disminuyendo el espaciamiento de las mismas, o en tercera instancia y sobre todo cuando la

carga se de en determinados sectores, por alguna carga puntual, snowdrift, etc., se puede acudir a la instalación de una viga doble.

El techo recibe un análisis diferente, ya que se ve solicitado a cargas muy distintas, como por ejemplo levantamiento por viento (winduplift) o acumulación de nieve (snowdrift) o agua, descriptas en capítulos posteriores.

V.5.- CONEXIONES

La conexión de los miembros se realiza mediante productos de Simpson Strong-Tie. Los elementos utilizados son seleccionados por diseñadores con conocimiento en estructura de madera. Para esto se realiza un análisis exhaustivo de los tipos de conectores que existen en el mercado, las condiciones y limitaciones de cada uno y las características del elemento estructural a conectar. Como diseñadores debemos permanecer en continua comunicación con la empresa que nos provee los elementos de conexión, para actualizarnos continuamente de los nuevos productos que entran en el mercado, productos que ya no se fabrican, características de los mismos, pero principalmente de las cargas admisibles de estos, que luego utilizamos para el diseño de la conexión.

Para conocer las cargas admisibles la empresa Simpson Strong-Tie realiza permanentes ensayos con sus productos. La carga permisible es la menor que alcanza 1/8" de desviación en tres pruebas de ensayo. Se realizan ensayos en todas las direcciones, carga admisible paralela al plate, carga admisible perpendicular al plate, carga admisible a uplift(levantamiento)

Para la selección de un hanger (conector) en primer lugar se tiene en cuenta la fuerza de reacción a la que estará solicitado y la geometría del miembro. Otro requerimiento limitante son los accesorios que serán necesarios, como clavos y web stiffeners. Y por último dentro de los conectores disponibles, que cumplen con las condiciones necesarias, se realiza la selección con un criterio económico, es decir en función del precio.

Lo primero que debemos verificar es el correcto análisis de carga del miembro o viga, para garantizar que la reacción a la que va a estar solicitado el conector es la real y así poder comparar con la capacidad de carga de cada modelo. Esto se debe realizar con las combinaciones de carga más críticas, tanto con reacciones positivas como negativas. Muchas veces un hanger que funciona perfectamente para carga muerta y viva en sentido positivo, no tiene capacidad para cargas negativas, como succión del viento.

Se debe chequear la luz del miembro, como se explica en el próximo capítulo, y verificar que las dimensiones del miembro de soporte sean suficientes para recibir los elementos de fijación especificados. Los medios de soporte utilizados generalmente en estructuras de madera son muro portante de madera (bearing studwall), viga (beam) o miembro de madera perimetral (ledger) en el caso de muros continuos (balloonframing). Otro requerimiento importante es si el miembro tiene o no pendiente. La existencia de una pendiente implica una modificación del conector, esto no es aplicable para todos, y en función del grado de pendiente el hanger pierde capacidad.

Entonces, antes de poder reconocer que hanger utilizaremos, necesitamos saber cuáles son los mejores tipos de conectores para diferentes tipos de aplicaciones, y cuáles pueden ser modificados. Hay dos categorías de perchas que se utilizan con vigas de madera: facemount hangers y top flange hangers. Facemount hanger, como lo indica su nombre, se monta en la cara de la viga de apoyo. Top flange hangers, se instala en la parte superior del soporte.

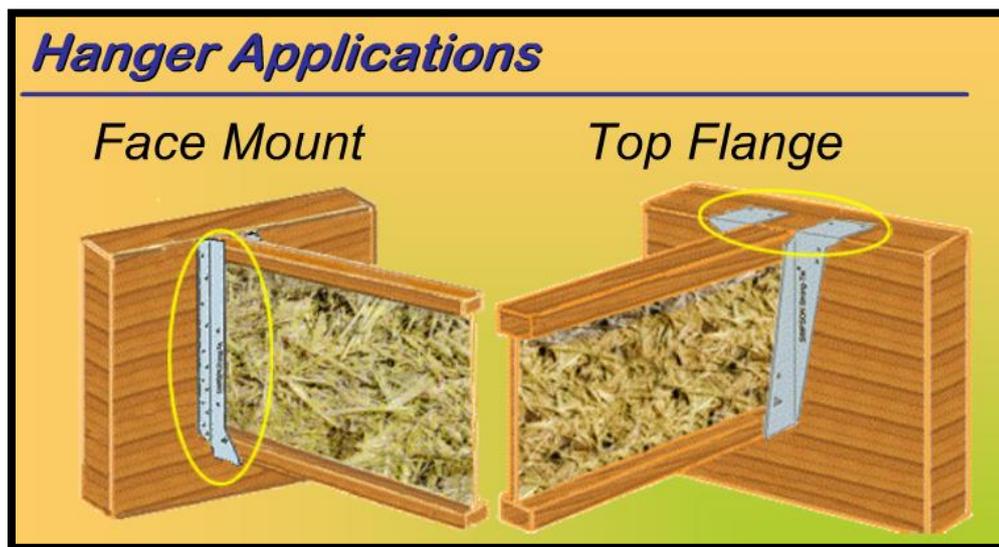


Figura V-22: Tipos de Hnagers. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

Top flange hangers lo utilizamos a menudo cuando el soporte es una viga, especialmente cuando el miembro tiene mayor altura que la viga de soporte. O cuando la viga de soporte es de acero, y el hanger tiene que ser clavado a la placa superior. También es muy utilizado cuando se debe conectar al plate superior de un studwall. En resumen, un top flange es necesario en aplicaciones en las que el clavado del hanger debe estar cerca de la parte superior del mismo.

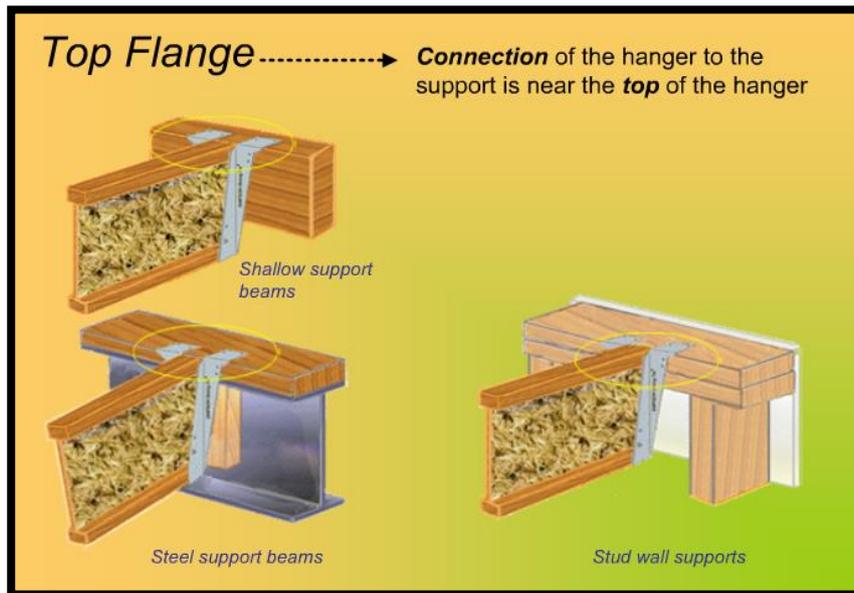


Figura V-23: Top Flange Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt

Facemount hangers son casi siempre usados cuando el miembro se apoya en una viga soporte de madera. A diferencia de top flange hangers necesitan que la altura de la viga soporte sea mayor que la I-Joist a sostener, para poder realizar el clavado del mismo. Son especialmente usados donde el elemento de soporte es más estrecho que el ala superior de un hanger típico. Caben fácilmente en la cara superior de cualquier ledger con mayor altura que el hanger, sin problemas de interferencia del ala superior con la pared de mampostería. Tiene mejor capacidad al levantamiento que un top flange hanger, debido a su mayor densidad de clavos en la cara del soporte, que son los encargados de resistir el uplift, o carga de levantamiento, por corte. En términos generales, los facemount hanger son la mejor opción para aplicaciones donde se necesita evitar la interferencia del ala superior del hanger, y cuando se necesita resistir las fuerzas de levantamiento.

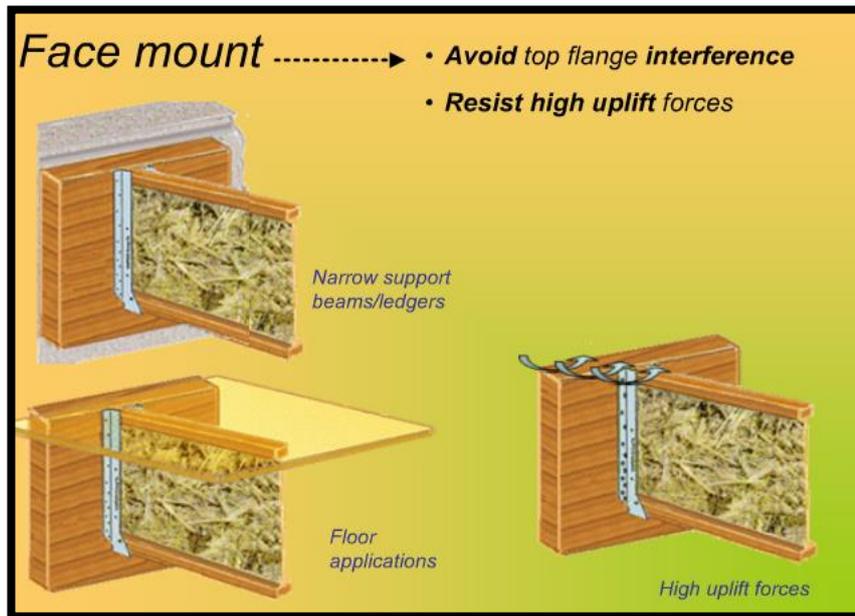


Figura V-24: Face Mount Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt

Algunos hangers pueden ser modificados para adaptarse a aplicaciones especiales. Algunas de estas son las siguientes:

Skew hanger: es aquel que puede ser doblado en sentido horizontal, esto se puede necesitar para una pared o viga soporte oblicua. Por ejemplo, ver Anexo 3 hoja 8/16, la tabla de hangers muestra los tipos 22 y 23 con modificaciones de skew en las conexiones con vigas Glulam en posición oblicua, localizadas en la entrada principal. Al no tener una conexión perpendicular de las I-Joists con las vigas GLB se debió calcular el ángulo de encuentro y proveer hangers modificados. Para esto se hizo una selección dentro de los hangers posibles a modificar.



Figura V-25: Skew Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

Slope hanger: pueden ser inclinados verticalmente, hacia arriba o hacia abajo, que es útil en techos con pendiente, en la conexión con ridge. En el caso de top flange hangers, también se le puede dar pendiente a las alas superiores, esto es una modificación aparte.

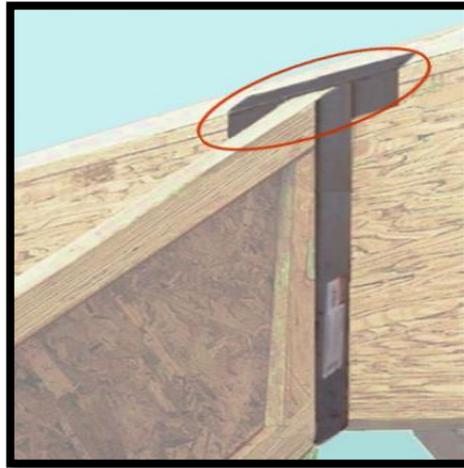


Figura V-26: Slope Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt



Figura V-27: Skew and Slope Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

Offset: En el tipo top flange hangers muchas veces es necesario desplazar una de las alas superiores cuando un miembro cae demasiado cerca de una pared o miembro en paralelo y no es posible su instalación.



Figura V-28: Offset Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt

Concealed flange: De manera similar, las alas de un facemount hanger puede necesitar ser modificadas con el fin de encajar en un espacio reducido o en un poste o columna. Cuando las alas de un facemount hanger se vuelve hacia dentro, esto se llama ala oculta o concealed flange.

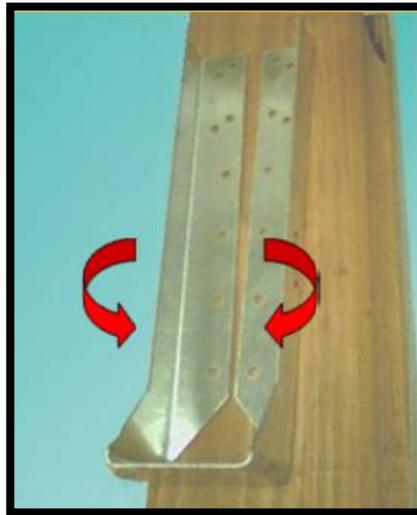
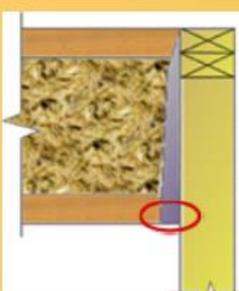


Figura V-29: Concealed Flange Hanger. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

Antes de comparar hangers con un criterio económico se debe determinar cuáles de los disponibles cumplen con las condiciones necesarias en todas las bahías. Para esto se comienza por la determinación de la geometría y la reacción. Se debe verificar los casos más críticos, e identificar si el mismo responde a las condiciones de todas las vigas del mismo tipo. Es importante mantener el mismo hanger en una misma bahía, en la medida de que sea posible, por un motivo de practicidad para evitar errores en obra.

La geometría se pueden consultar en las tablas de hanger del Catálogo de Simpson, disponible muy fácilmente en la página web. En la figura se muestra las dimensiones que se pueden encontrar en dichas tablas. Esta lista clasifica los hangers de acuerdo a sus características geométricas. Lo primero que se debe verificar es que el hanger sea el adecuado para la viga a conectar, es decir tenga un ancho adecuado “w” y una altura adecuada “h”. De acuerdo a la carga se determina la longitud de apoyo mínima como se ve más adelante, esta condición es indispensable verificar que sea cumplida por el hanger, es decir “b” > longitud mínima de apoyo.

Hanger Selection Procedure



Actual Joist Size	Model No.	Web Stiff Req'd	Ga	Dimensions				Fasteners ^{3,4}		
				W	H	B	TF	Solid Header ⁴		Joist
								Top	Face	
2½ x 18	MIT318	—	16	2½ ¹⁶	18	2½ ¹⁶	2½ ¹⁶	4-16d	4-16d	2-10d x 1½
	HIT318	—	16	2½ ¹⁶	18	3	2½ ¹⁶	4-16d	6-16d	2-10d x 1½
	L8V2.56/18	—	14	2½ ¹⁶	18	2½ ¹⁶	2½ ¹⁶	6-16d	4-16d	2-10d x 1½
	WPI318	✓	12	2½ ¹⁶	18	2½ ¹⁶	2½ ¹⁶	2-16d	—	2-10d x 1½
	WMI318 ⁵	✓	12	2½ ¹⁶	18	3	3¾	2-16dDPLX	—	2-10d x 1½

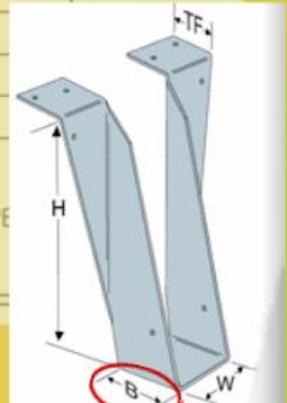



Figura V-30: Selección del Hanger. Características Geométricas. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

Una vez que se aseguran las condiciones geométricas se debe confrontar la capacidad de carga del hanger con la reacción de la viga debido a las cargas aplicadas a la misma, tanto en sentido hacia abajo como en levantamiento. Es importante asegurar todas las combinaciones de carga más críticas que pueden afectar la reacción de la viga. Esto se analiza en el próximo capítulo. En las tablas que enumeran las características de los distintos tipos de

hangers, también se especifica la capacidad de carga de cada uno de ellos para los distintos soportes posibles.

Hanger Selection Procedure

		Allowable Loads ¹								
		Uplift (133)	Uplift (160)	DF/SP LVL	PSL	LSL	DF/SP	SPF	DF/SCL I-Joist ¹	Masonry ²
2½ x 18	MIT318	240	290	2550	2140	2115	2400	1665	1230	—
	HIT318	240	290	2550	2050	2500	3050	1950	—	—
	LBV2.56/18	265	265	3570	2885	3190	2310	1830	1495	—
	WPI318	—	—	3635	3320	3635	3255	2600	2030	—
	WMI318 ³	—	—	—	—	—	—	—	—	4175

Figura V-31: Selección del Hanger. Capacidad de Carga. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

La reacción de la viga y longitud de apoyo mínima se pueden observar en el Anexo 4. En la figura de abajo se muestra un ejemplo de una viga del tipo 11,875” Red-I45, ubicada en la zona de escaleras, por lo que se puede observar las gran carga viva de las mimas. El soporte izquierdo es un header formado por tres LVL vigas de 1,75”x11,875”, y en el lado derecho se conecta a un ledger LVL de 1,75”x11,875”. Esto nos limita geoméricamente a utilizar un hanger facemount o bien un top flange con alas de menor profundidad que 1,75”. Por este motivo se seleccionó un hanger ITS con TF<1,75”. La longitud mínima de apoyo, por cálculo, es 1,75”. ITS hanger cumple esta condición. Y por último se verifica que la capacidad sea menor a la reacción, es decir menor a 771 #.

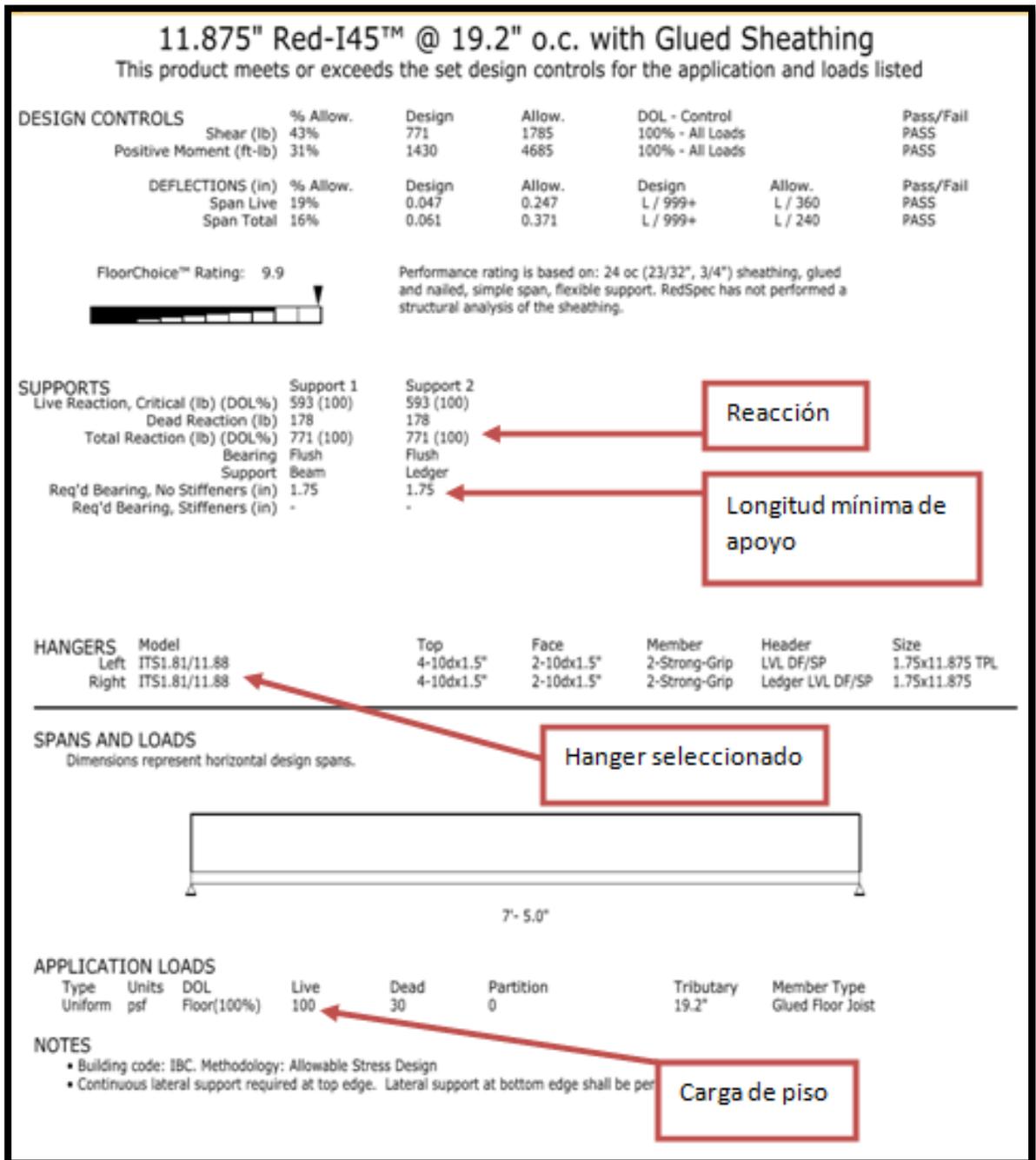


Figura V-32: Ejemplo de Selección de hanger. Fuente: Proyecto "Providence Hall High School"

Algunas series permiten clavado adicional que aumenta la capacidad del conector.. Este clavado opcional nos puede dar la oportunidad de utilizar el hanger, aun cuando con el clavado estándar no se obtiene la capacidad suficiente.

V.6.- METODO DE CÁLCULO

El procedimiento de verificación básicamente consiste en asignar al elemento en estudio las cargas de servicio, se obtienen las solicitaciones de sección de servicio y se calculan las tensiones máximas de servicio producidas por estas. Las máximas tensiones de servicio deben ser menores o iguales a la tensión admisible del miembro, obtenida previamente por minuciosos estudios de la resistencia del material.

V.6.a. - Normas y Referencias Recomendadas.

Antes de comenzar a explicar el método de cálculo es importante tener conocimiento de los métodos utilizados para el análisis de cargas y resistencia de la madera, que tiene vigencia en el lugar donde se va llevar a cabo la construcción del edificio.

El problema del cálculo estructural se puede resolver siguiendo diversos caminos. Uno de ellos es el Método por Tensiones Admisibles (ASD), que deriva del siguiente razonamiento. Se puede determinar la resistencia requerida para cargas que sean las de servicio mayoradas por el coeficiente de seguridad único, o sea cargar la estructura modelada con $\gamma \cdot P_s$, siendo P_s la intensidad de las acciones de servicio y γ el coeficiente de seguridad. Luego $\gamma \cdot S_s$ es la resistencia requerida, y si suponemos que el material es elástico hasta la fluencia, hay proporcionalidad entre solicitaciones de sección y tensiones. Si además suponemos que la falla se produce cuando una fibra de la sección llega a la fluencia (F_y), se debe cumplir:

$$\gamma \cdot \sigma \leq F_y$$

Siendo σ las máximas tensiones producidas por las acciones de servicio (Solicitaciones S_s). Entonces,

$$\sigma \leq \frac{F_y}{\gamma} = \sigma_{adm}$$

Por lo tanto, las tensiones producidas por las acciones de servicio deben ser menores o iguales a la tensión de fluencia dividida por el coeficiente de seguridad, que se denomina tensión admisible.

En resumen, en este método se carga la estructura con las cargas de servicio; se obtienen las solicitaciones de servicio, y se calculan las tensiones máximas de servicio producidas por esas solicitaciones de sección. Las máximas tensiones de servicio deben ser menores o iguales a la tensión admisible.

Otro método conocido es el Método de Cálculo por factores de carga y resistencia o Método por estados límites. Las incertidumbres en la determinación de las cargas y en la de sus efectos (resistencias requeridas) así como en las resistencia de diseño de los miembros, son distintas para cada tipo de carga, método de cálculo, tipo de elemento y sollicitación, tecnología de ejecución y grado de control de la misma, etc. Por ello con la adopción de un único coeficiente de seguridad no es posible obtener una confiabilidad uniforme ni totalmente previsible, para cada situación de carga de la estructura, para cada elemento o punto de la misma. En busca de solucionar este problema, las nuevas especificaciones y reglamentos fijan factores distintos para cada tipo de carga y de resistencia y plantea el proyecto por estados límites con condiciones mínimas acotadas por los métodos y procedimientos de cálculo.

Es importante, para esto, conocer el significado de estado límite. Un estado límite es una condición que representa el límite de utilidad de una estructura o de una parte de ella. Tenemos dos tipos, de Resistencia, los cuales definen la seguridad frente a las cargas externas y de Servicio que definen los requerimientos funcionales.

Los estados límites últimos o de resistencia están asociados con el colapso de la estructura u otro modo de falla. Por otro lado, los estados límites de servicio están asociados con condiciones funcionales establecidas, como por ejemplo: deformación elástica o flechas que pueden afectar la apariencia o el uso efectivo de la estructura, o afecten o dañen a elementos no estructurales ligados a la estructura, vibraciones inaceptables o deformaciones permanentes.

El método se basa en lograr que la Resistencia Requerida, que es la suma de los efectos producidos en el elemento estructural por las acciones supuestas en el estado de carga considerado, multiplicado por los correspondientes factores de carga mayores o iguales a uno, no supere la Resistencia de Diseño del miembro. Esta última, hace referencia a la resistencia nominal basada en la teoría y en las propiedades nominales del material y de la sección, multiplicada por el factor de resistencia igual o menor que uno.

Los factores de carga y de resistencia reflejan la inevitable inexactitud de la teoría, las variaciones en las propiedades del material y en las dimensiones de las secciones, y la incertidumbre en la intensidad de las acciones, dando un margen de seguridad para considerar intensidades inesperadas. No cubren errores gruesos o negligencias en el proyecto.

Por métodos aproximados de cálculo, y a partir de estudios estadísticos sobre los valores medios y las desviaciones estándar de las cargas y de las resistencias, realizados sobre las obras proyectadas y ejecutadas, y de una

evaluación comparativa de los índices de confiabilidad obtenidos por la ASD para distintos elementos estructurales y combinaciones de carga, se fijaron índices de confiabilidad. A partir de estos se determinaron los factores de carga y de resistencia que puedes encontrar en las Especificaciones de la ASCE 7. Se debe tener en cuenta, que los factores de carga son independientes del tipo de material.

Luego de una breve explicación de los Métodos de Cálculos, es importante conocer los códigos utilizados para el diseño y verificación de estructuras de madera:

- NDS: National Design Specification.
- ASD: Allowable Stress Manual.
- IBC: International Building Code.
- ASCE 7: Sociedad Americana de Ingenieros Civiles-Cargas de Diseño mínima para edificios y otras estructuras.

La NDS es publicada por primera vez en el año 1944, creada por American Forestry Paper Association y representantes de recomendaciones en diseño estructural de viguetas de madera. Tanto el diseño por tensiones admisibles (NDS) y el diseño por factores de carga son utilizados en estructuras con elementos de madera y sus conexiones. La NDS para construcciones de madera y su suplemento es análoga a la AISC-LRFD para construcciones metálicas.

Por otro lado para la determinación de cargas y fuerzas requeridas, especialmente cargas gravitatorias y fuerzas laterales se recurre al IBC International Building Code, y los correspondientes a cada estado, por ejemplo CBC California Building Code, OBC Oregon Building Code, etc. Los mismos son actualizados cada tres años.

Cargas de Diseño

En el proceso de análisis de carga lo primero que se determina es la luz libre del miembro. La luz de cálculo utilizado para determinar esfuerzos de corte y momento crítico se define como la luz libre entre las caras interiores de los apoyos más la mitad de la longitud de apoyo mínima requerida en cada extremo. Esta varía entre 1 ¾" y 3 ½" para la mayoría de las vigas compuestas. Cuando las vigas se apoyan en hangers, la luz libre es la distancia entre las caras interiores de los apoyos menos la mitad de la longitud de apoyo del hanger en cada extremo. En los lugares de continuidad, donde existen apoyos

intermedios, la luz de cálculo se mide desde la línea central del soporte a la cara interna del apoyo más la mitad de la longitud de apoyo. Si el extremo es en voladizo, se mide desde la mitad del apoyo a la cara externa de la viga.

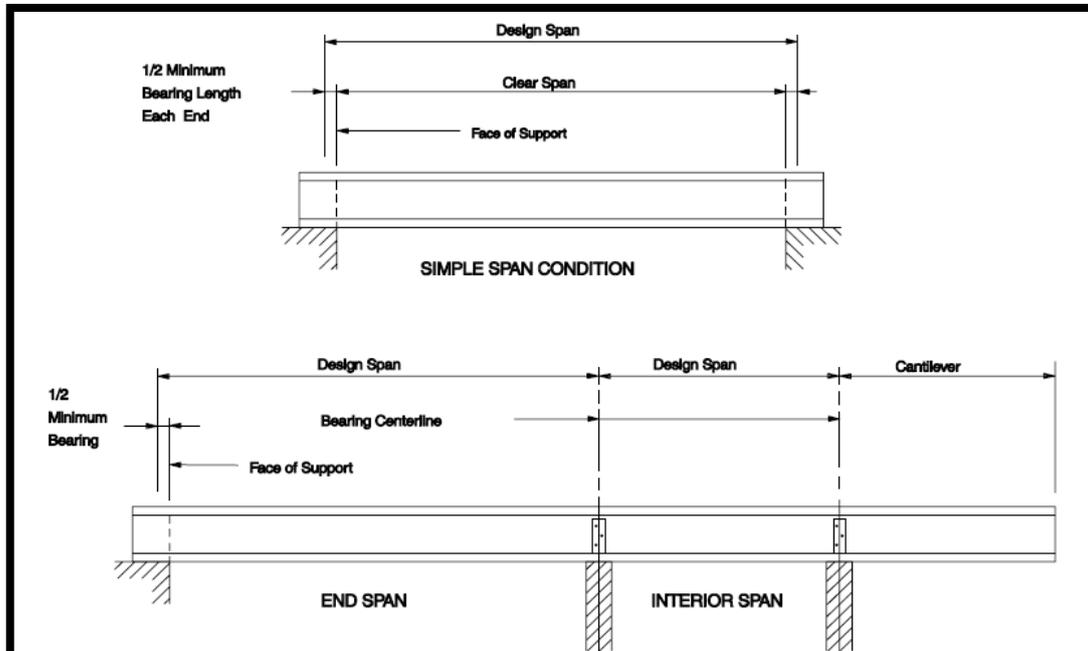


Figura V-33: Luz de Cálculo. Fuente: ASD, Allowable Stress Design.

Una vez determinada la longitud o luz de la viga para el cálculo se comienza con el análisis de carga. En el análisis de carga de diseño (cargas de servicio) lo principal es distinguir entre dos acciones, por un lado cargas verticales (gravity) y por el otro cargas laterales (lateral forces).

Independientemente de cómo funcione el miembro, es conveniente clasificar los criterios de diseño en estas dos categorías principales. La razón de esto es doble. En primer lugar, la carga de la gravedad es una carga cada vez más presente, y como es natural, es la preocupación de diseños básicos y tradicionales. Segundo, en el caso de la fuerza sísmica lateral, es necesario conocer la magnitud de la carga vertical antes de estimar la fuerza provocada por el sismo.

El término carga vertical hace referencia a los efectos de la gravedad (carga muerta, carga viva, carga de nieve, etc.) y el término fuerza lateral hace referencia a los efectos del viento y sismo.

Las principales categorías de cargas verticales son, carga muerta, carga viva y carga de nieve. Sin embargo, también es importante tener en cuenta otros tipos de cargas verticales como, cargas de impacto y succión del viento. La carga

especificada en los códigos representa criterios mínimos, si el diseñador tiene conocimiento de que la carga real superará las cargas mínimas de código, los valores más altos se deberán utilizar para el diseño.

Carga Permanente: La carga muerta (DL) son cargas permanentes y que no son debidas al uso de la estructura. En esta categoría se pueden clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas, techos, etc. Dentro de las cargas muertas también se pueden clasificar aquellos equipos permanentes en la estructura. En general las cargas muertas se pueden determinar con cierto grado de exactitud conociendo la densidad de los materiales. En este caso de pisos o techos de madera, incluyen revestimientos de piso y techo, el framing de madera propiamente dicho, sistema de aislamiento, cielo raso, y otros materiales adheridos a la estructura permanentes como cañería, sprinklers, etc.

Otra carga permanente que debe ser considerada, pero que es fácil pasar por alto es el equipo mecánico o aire acondicionado. A menudo, este tipo de carga las toman dos o tres vigas o viguetas de lado a lado que son del mismo tamaño de los demás elementos del techo o piso. Otra posibilidad es disminuir la distancia entre vigas en la zona donde se ubican los equipos mecánicos, esto disminuye el área de influencia.

Para el cálculo es importante conocer y entender el concepto de área tributaria, principalmente porque es un factor condicionante de la reducción de carga. El área de influencia es el área cargada que contribuye en forma directa a la carga aplicada a un miembro particular de la estructura.

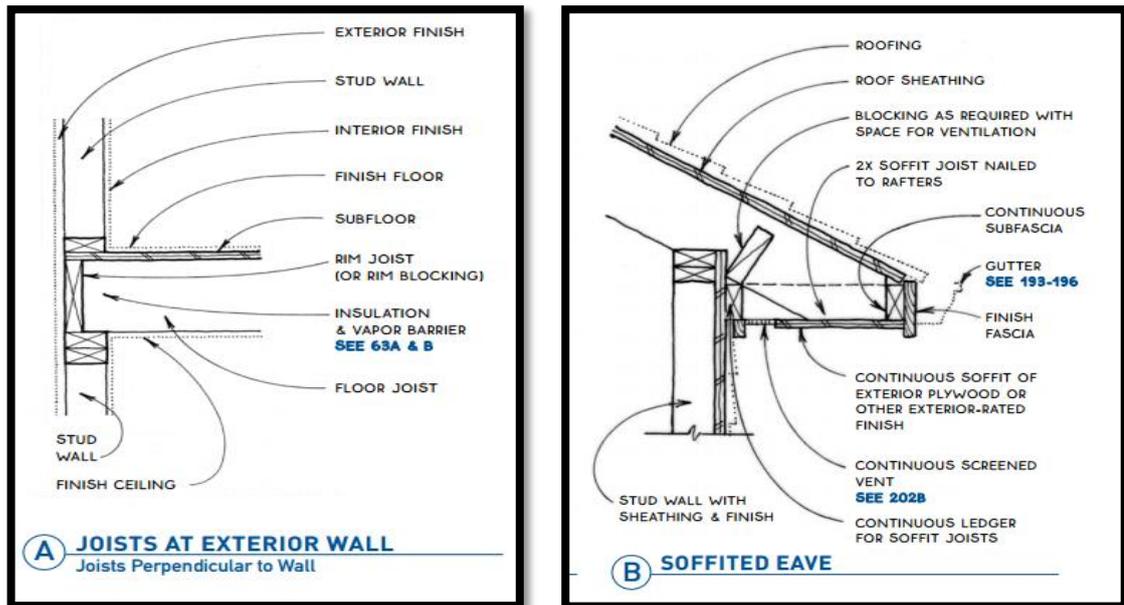


Figura V-34: Detalle de paquete de Piso y techo. Carga Muerta. Fuente: Frame Construction.

Carga Viva: Son cargas asociadas con el uso y ocupación de las estructuras. Debido a la característica de movilidad y no permanencia de esta carga el grado de incertidumbre en su determinación es mayor. La determinación de la posible carga de diseño de una edificación ha sido objeto de estudio durante muchos años y gracias a esto, por medio de estadísticas, se cuenta en la actualidad con una buena aproximación de las cargas vivas de diseño según el uso de la estructura. Las cargas vivas no incluyen las cargas ambientales como sismo o viento.

Para efectos de diseño es el calculista quien debe responder por la seguridad de la estructura en su vida útil, para esto cuenta con la ayuda de las normas y códigos de diseño donde se especifican las cargas vivas mínimas a considerar. Mientras las cargas muertas se aplican de forma permanente, las cargas vivas tienden a fluctuar en el tiempo. Incluyen normalmente a personas, muebles, etc.

Las cargas vivas que especifican los códigos son para miembros con pequeñas áreas de influencia. El área de influencia es condicionante para la reducción de carga ya que si un miembro tiene una pequeña zona de influencia, es probable que una carga viva bastante alta se imponga sobre el área de superficie relativamente pequeña. Por otra parte, a medida que el área de influencia aumenta, es menos probable que esta área grande se cargue de manera uniforme con la misma magnitud que se considera en el diseño. Para miembros

con un área de influencia de $A > 400\text{ft}^2$, se puede reducir la carga viva (L) de la siguiente manera:

$$L = L_0 \left(0.25 + \frac{15}{\sqrt{A_I}} \right)$$

Carga de nieve: Las cargas de nieve a nivel de terreno (groundsnow load) p_g , son las que se utilizan para la determinación de las cargas de nieve de diseño sobre cubiertas, se establecen en el mapa que muestra la IBC (International Building Code). En aquellos lugares específicos para los cuales no se dispone de datos suficientes, o donde las variaciones locales son extremas, se deberá realizar estudios especiales para determinar las cargas de nieve a nivel de terreno. El cálculo de la carga de diseño de nieve se realiza a partir de la siguiente fórmula:

$$S = 0.7 \times C_e \times C_t \times C_s \times p_g \times I_s$$

p_g : carga de nieve a nivel de terreno. La carga de nieve en altura debe ser determinada en base a datos específicos del sitio y registros históricos. En la fórmula dada anteriormente para la carga de nieve de diseño, las cargas de nieve a nivel de piso se reducen por un factor de 0,7 para tener en cuenta el hecho de que la acumulación de nieve es mayor en el suelo que en el nivel del techo para la mayoría de las estructuras.

I_s = Factor de importancia. El factor de importancia se ha incluido para tener en cuenta la necesidad de relacionar las cargas de diseño con las consecuencias de una falla. El concepto detrás del factor de importancia es que ciertas estructuras se deben diseñar para cargas más grandes que otras estructuras ordinarias. Las cubiertas que tienen destinos y funciones normales se diseñan con un factor de importancia de 1 que corresponde al uso no modificado de la carga de nieve a nivel de terreno, estadísticamente determinada para el 2% anual de probabilidad de ser excedida (intervalo de 50 años de recurrencia media). Este factor está en función de la ocupación del edificio (category).

C_e : factor de exposición para nieve. El factor de exposición varía en función del tipo de terreno y la exposición de la cubierta. Los techos que no tienen refugio inmediato proporcionado por árboles, estructuras o terrenos circundantes son clasificados como "totalmente expuestos", los techos que están rodeadas de altas coníferas se clasifican como "protegido" y el resto de las azoteas son clasificadas como "parcialmente expuesto".

C_t : Factor térmico. Como su nombre lo indica, el factor térmico varía basado en la condición térmica de la estructura del techo. Para estructuras sin calefacción, o para la construcción de techos bien ventilados, que tienen alta resistencia térmica y se mantendrán relativamente fríos durante las condiciones climáticas de invierno, el factor térmico es mayor que la unidad y se especifica por la transferencia de calor desde el interior de la estructura hacia el exterior, si se mantiene frío no se derretirá gran parte de la nieve en el techo.

C_s = Factor por pendiente de techo. El factor de pendiente de la cubierta se especifica en la norma y ofrece reducción de carga por nieve basado en la pendiente del techo, el tipo de superficie de la cubierta, y la condición térmica del techo. El factor por pendiente de techo tiene la intención de abordar la probabilidad de que deslice la nieve hasta el suelo por el techo inclinado. El valor de C_s va de 1 a 0 correspondiente a los grados de pendiente de la cubierta, de 30° a 70°.

Fuerzas Laterales: El tema de las fuerzas laterales es muy extenso y podría llevarnos varias páginas de este informe. Cargas por viento y sismo son las dos fuerzas laterales primarias consideradas en el diseño de edificios. Cada una ha sido tema de numerosos proyectos de investigación. Al tratar las fuerzas laterales, principalmente se debe considerar que cargas actuarán simultáneamente. Por ejemplo, es muy poco probable que la fuerza máxima por sismo y la fuerza máxima del viento actúen simultáneamente. En consecuencia, la norma requiere simplemente la utilización de una de las dos fuerzas para realizar el diseño, la carga que crea la condición más crítica es la que se debe utilizar para el cálculo.

Las cargas de viento de diseño para edificios y otras estructuras, incluyendo tanto su sistema principal resistente a la fuerza del viento como sus elementos componentes y de revestimiento se puede determinar mediante dos métodos según la ASCE.

El método simplificado se utiliza para la determinación de la fuerza del viento sobre estructuras de baja altura que no se encuentran en terrenos altos aislado de otras estructuras. Es un método de análisis más exhaustivo para determinar la fuerza del viento sobre estructuras que cumplan con las condiciones. Los requisitos para la utilización del método son: estructuras de baja altura cerradas con una forma regular aproximadamente simétrica, pueden ser superficies planas, a dos aguas, o un sistema de cubierta a cuatro aguas. La altura del techo no debe sobrepasar los 30ft. y la menor dimensión horizontal no puede superar 60 ft.

Como ya mencionamos, la IBC y ASCE da dos métodos para determinar las cargas de diseño para viento, para el sistema principal resistente a la fuerza del viento. Además del método simplificado existe el método analítico.

El método analítico proporciona una descripción más precisa de la presión del viento en las distintas partes de la estructura, pero el método simplificado produce diseños satisfactorios para muchas estructuras. Un problema con el método simplificado es que existe la posibilidad de obtener momentos incorrectos en marcos rígidos de dos aguas. En consecuencia, el método simplificado no se aplica a estos tipos de estructuras.

En el método analítico, las presiones internas se aplican a la pared de barlovento, y las presiones externas se aplican a la pared de sotavento. La fuerza sobre un techo inclinado se dirige hacia afuera en el lado de sotavento, y en el lado de barlovento dependerá de la inclinación de la cubierta. En el método simplificado, las fuerzas del viento horizontales se aplican al área proyectada vertical del edificio, y las fuerzas verticales se aplican a la zona horizontal proyectada del edificio.

El análisis de la acción lateral escapa al análisis de este proyecto. Solo tenemos en cuenta succión del viento, ya que trabajamos con elementos estructurales del techo y pisos.

En los proyectos que recibimos es importante obtener la presión de viento en succión, sobre todo si lo que verificamos es un techo. La carga por viento en succión tiene varias consideraciones. La primera podría ser como se transfiere la fuerza de levantamiento en el techo a través de la estructura. Obviamente, si el peso propio de la estructura del techo es superior a la fuerza de levantamiento, se requiere un diseño más simple para la succión. Sin embargo, para las estructuras parcialmente cerradas y estructuras con baja carga permanente, la carga en succión puede ser muy condicionante en el tamaño de los miembros. Las conexiones y el tamaño de las fundaciones son los elementos que normalmente requieren una atención especial. Por ejemplo, las conexiones se diseñan normalmente para las cargas de gravedad. Para grandes fuerzas de levantamiento, pueden necesitar ser modificadas las conexiones entre vigas de techo y columna, o una columna a la base de fundación, para transmitir la carga de diseño por viento en succión.

Si el ingeniero no provee el dato debemos encargarnos de determinarlo, para esto debemos conocer:

- Velocidad básica de viento
- Factor de exposición (Exposure)

-Exposición A: Centro de grandes ciudades con al menos 50% de edificios de altura mayor a 65ft (20m).

-Exposición B: Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas, o terrenos con numerosas obstrucciones próximas entre sí, del tamaño de viviendas unifamiliares o mayores.

-Exposición C: Terrenos abiertos con obstrucciones dispersas, con alturas generalmente menores 32ft (10m)

-Exposición D: Áreas costeras planas, sin obstrucciones, expuestas al viento soplando desde aguas abiertas.

Factor de importancia: se determina en base a la categoría del edificio.

Combinación de Cargas.

Las combinaciones de carga utilizadas son:

1. $D + F$
2. $D + H + F + L + T$
3. $D + H + F + (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
4. $D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5. $D + H + F + (W \text{ or } 0.7E)$
6. $D + H + F + 0.75(W \text{ or } 0.7E) + 0.75L$
 $+ 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
7. $0.6D + W + H$
8. $0.6D + 0.7E + H$

D=Carga muerta.

D_i =Carga muerta por hielo.

E= Carga sísmica.

F= Carga por fluidos.

F_a = Carga por inundaciones

H= Presión lateral por materiales sueltos.

L= Carga viva

L_r = Carga viva de techo

R=Carga de lluvia

S= Carga de nieve

W=Carga de viento

W_i =Carga de hielo por viento

La mayoría de los códigos de construcción requieren la consideración de la distribución de cargas más crítica. Teniendo en cuenta las múltiples posibilidades de apoyo de la viga, la distribución de la carga puede ser más crítica de una forma o de otra, se deben tener en cuenta los siguientes casos de carga de diseño como mínimo:

- Todos los vanos con las cargas totales, Este caso de carga implica la colocación de todas las cargas de diseño (dead load y live load) en todos los tramos a la vez.
- Alternar cargas por vano. Este caso de carga coloca cargas vivas de diseño (nieve, acumulación de lluvia, presencia de personas, etc) en tramos alternados y puede seguir dos patrones de carga. Por un lado la eliminación de cargas vivas de todo número par de tramos, o bien la eliminación de cargas vivas en números impares de tramos.
- Dos tramos contiguos, Este caso de carga elimina carga viva de todos los tramos menos de dos contiguos. El resto de tramos, si es que existen, están cargados de carga muerta solamente. Generalmente se utiliza para calcular los esfuerzos de corte máximos y reacciones en apoyos internos.
- Aplicación de cargas concentradas. (Ver Anexo 4- Cálculo viga type "B3")

Con el análisis de carga obtenemos las longitudes mínimas de apoyo que están relacionadas con la capacidad admisible de la viga (es decir, con el producto en particular), con la profundidad y las reacciones de corte permitidas.

Para comprender mejor el funcionamiento de una I-Joist es mejor analizar la viga como una composición de piezas, donde cada elemento cumple una tarea específica. Para una viga simplemente apoyada, el ala superior es el miembro

que trabaja a tracción, el ala inferior es el miembro que trabaja a tensión, y el alma resiste las fuerzas de corte.

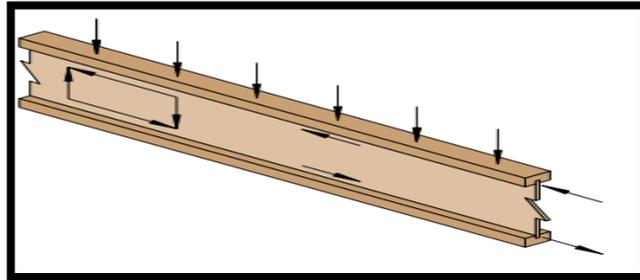


Figura V-35: Transmisión de fuerzas en la viga I-joist. Fuente: Hanger Lesson by RedBuilt.

Usando este concepto, la reacción de corte se da en el alma, en el apoyo de la viga, y debe ser transferido a través de las alas. Esto implica dos interfaces críticas, entre el alma y el ala, y entre el ala y el elemento de soporte. En el primer caso, para determinar la capacidad de diseño del apoyo se utiliza la menor entre la capacidad del elemento de soporte y el material del ala. En el segundo caso, la conexión entre el ala y la parte inferior del alma, por lo general es a través de un adhesivo estructural resistente. En la mayoría de los casos este es el que controla la capacidad de la unión. Generalmente, la longitud de apoyo del alma dentro del ala es aproximadamente igual a la longitud de apoyo del ala sobre el elemento de soporte más un incremento relacionado con el espesor y el material del ala.

Como las vigas I-Joists tienen alma con gran capacidad a corte, en muchos casos se utilizan refuerzos en la unión alma-ala. Los refuerzos de alma se utilizan sobre todo en vigas de gran altura, a partir de las 20" de altura la utilización de web-stiffeners es obligatoria. Para vigas bajas, con esfuerzos de corte relativamente bajos, pueden no ser necesarias salvo en casos donde la longitud de apoyo es muy pequeña. Los refuerzos cumplen la función implícita de refuerzo de alma contra el pandeo.

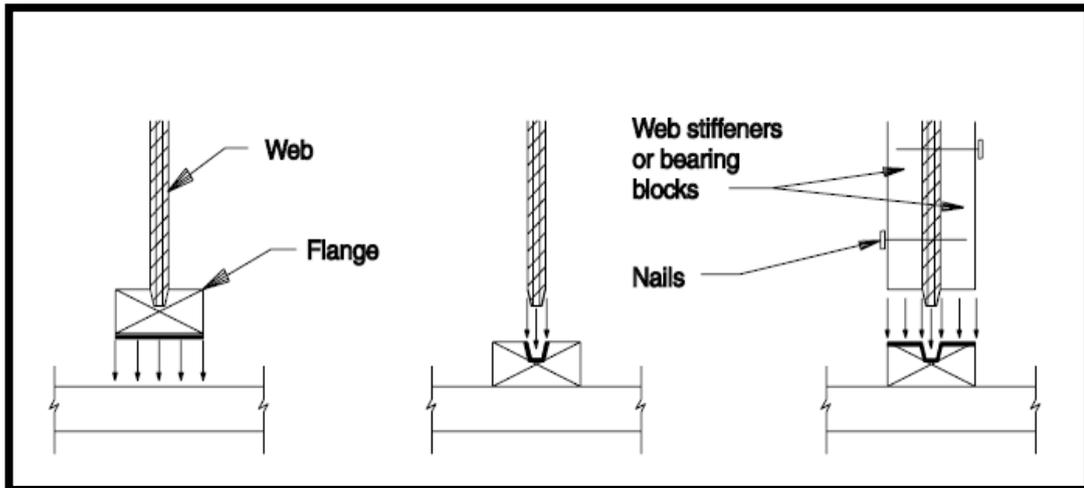


Figura V-36: Web Stiffener. Fuente: ASD "Allowable Stress Design"

V.6.b. - Verificación.

Tensión Real.

Determinadas las acciones, con las incertidumbres respectivas en cuanto al valor máximo que alcance cada una en la vida útil de la estructura, y en cuanto a las intensidades que tengan en un mismo instante de ese período de tiempo, por análisis estructural se pueden determinar los efectos (solicitaciones de sección) que aquellas producen en los distintos elementos estructurales y en la estructura en su conjunto. Y aquí aparecen otras incertidumbres originadas en la mayor o menor semejanza entre el comportamiento de la estructura real y el del modelo de análisis utilizado. Las solicitaciones de sección determinadas, son la resistencia requerida. Conociendo el tamaño de los miembros podemos determinar la tensión real. Estas tensiones se representan con el símbolo “f” y se le añade un apóstrofe para indicar el tipo de tensión. Por ejemplo, la tensión axial en un miembro se calcula como la fuerza dividida por el área de la sección transversal.

Tensión Admisible.

La resistencia real se encuentra además influenciada por la calidad de los materiales, las condiciones de ejecución de la estructura real, las diferencias con respecto al modelo de proyecto, los defectos constructivos, etc.

Las tensiones según el Suplemento de la NDS se denominan tensiones tabuladas o valores de diseño tabulados. Todas las tensiones

tabuladas incluyen la reducción por seguridad. Los valores del módulo de elasticidad que figuran en la tabla son valores medios y no incluyen la reducción por seguridad. Cuando se emplean los valores de diseño de referencia estipulados en tablas para las distintas clases resistentes correspondientes a las combinaciones especie/procedencia, los miembros estructurales deben responder a los requisitos de calidad especificados en cada caso.

Las tensiones tabuladas para la madera, simplemente representan un punto de partida en la determinación de la tensión admisible para un diseño particular. Las tensiones admisibles se determinan multiplicando las tensiones tabuladas por el factor de ajuste apropiado.

La norma considera condiciones usuales de utilización. Los valores de diseño ajustados para miembros de madera o productos derivados de la madera y sus uniones que se destinen a usos especiales, deben ser apropiados para las condiciones en que se empleen. Se debe tener en cuenta en esos casos la influencia que sobre las propiedades del material ejercen los cambios en el contenido de humedad, duración de las cargas, y distintos tipos de tratamientos. Es responsabilidad del proyectista ajustar los valores de diseño de referencia con los factores apropiados para cada caso de utilización especial, considerando las condiciones de servicio asumidas.

Para que el diseñador tenga en claro que se está trabajando con la tensión tabulada multiplicada por los factores de ajuste, es decir con el "valor admisible", se añade al símbolo un apóstrofe que indica que los ajustes necesarios se han aplicado para obtener el esfuerzo admisible. Por ejemplo, el estrés de tensión admisible se obtiene multiplicando el valor tabulado para la tensión por los factores de ajuste adecuados:

$$F' = F_t \times (\text{factores de ajuste})$$

Estos factores de ajuste no se aplican a todos los valores de diseño tabulados. Además, otro ajuste puede ser necesario en ciertos tipos de problemas.

Todas las incertidumbres mencionadas para la determinación de la resistencia requerida y de la resistencia de diseño no son necesariamente acumulativas. Ambas son variables aleatorias independientemente y responden en general a las leyes de probabilidad.

El hecho de que la probabilidad de falla de la estructura y de cada uno de los elementos estructurales sea pequeña y aceptable queda garantizado si se cumple:

$$\text{Tensión Real (Rest. Requerida)} \leq \text{Tensión Admisible (Rest. Diseño ajustada)}$$

$$f_t \leq F'$$

Factores de Ajuste.

Factor de duración (C_D): La madera tiene la propiedad de soportar cargas máximas sustancialmente mayores cuando éstas actúan durante un tiempo breve que cuando lo hacen durante un tiempo prolongado. Los valores tabulados para las tensiones de diseño se refieren al material cuando es sometido a una carga de duración normal. Una carga de duración normal es una que solicita al material al nivel de su tensión de diseño durante un tiempo acumulado de aproximadamente 10 años, o el 90% de una carga que solicita al material al nivel de su tensión de diseño en forma continua durante toda la vida útil de la estructura, sin que se afecte el coeficiente de seguridad adoptado.

Para una combinación de acciones que incluye cargas de distinta duración aplicadas simultáneamente, es de aplicación el valor de C_D correspondiente a la carga de menor duración. Todas las combinaciones de carga que actúan deben ser evaluadas con este criterio para determinar la combinación crítica, es decir la que produce las mayores solicitaciones, que es la que se debe utilizar para el diseño y verificación de los miembros estructurales y sus uniones.

El factor de duración de carga es independiente de los factores de combinación de carga. Los factores de combinación, que afectan los valores característicos de las cargas variables, consideran la probabilidad de ocurrencia simultánea de acciones, mientras que C_D tiene en cuenta la relación entre la duración de la carga y la resistencia del material, por este motivo ambos pueden ser utilizados en el diseño estructural.

Duración de la carga	C_D	Ejemplo de carga
Permanente	0,9	Peso propio
10 años (duración normal)	1,0	Sobrecarga de uso ⁽¹⁾
2 meses	1,15	Nieve ⁽²⁾
7 días	1,25	Constructiva
10 minutos	1,6	Viento, sismo
Instantánea	2,0 ⁽³⁾	Carga accidental

(1) Si bien las sobrecargas de uso son generalmente consideradas como cargas de larga duración, el Proyectista Estructural puede evaluarlas particularmente en cada caso para la aplicación de C_D . Un análisis detallado puede proporcionar información que permita diferenciar aquellas sobrecargas que se corresponden con una duración acumulada de **10 años** durante la vida útil de la estructura, como generalmente sucede con las cargas almacenadas en depósitos o con un porcentaje de la sobrecarga de uso, de aquellas que tienen una duración acumulada mucho menor. Las sobrecargas en cubiertas solo accesibles para mantenimiento, así como un porcentaje de la sobrecarga de uso en locales de viviendas, a modo de ejemplo, constituyen casos en los cuales la duración acumulada suele ser inferior a **10 años** durante la vida útil de la estructura. En estos casos, el Proyectista Estructural puede adoptar un valor mayor que **1** para C_D , con el fin de evitar un diseño demasiado conservador,

(2) Dependiendo de la zona,

(3) Valores de C_D mayores que **1,6** no se deben aplicar a uniones (excepto cuando su capacidad portante sea determinada por partes metálicas u otros materiales), y a miembros estructurales de madera impregnada con preservantes o a tratamientos químicos de protección contra el fuego.

Figura V-37: Factor por Duración de la Carga. Fuente: Cirsoc 601.

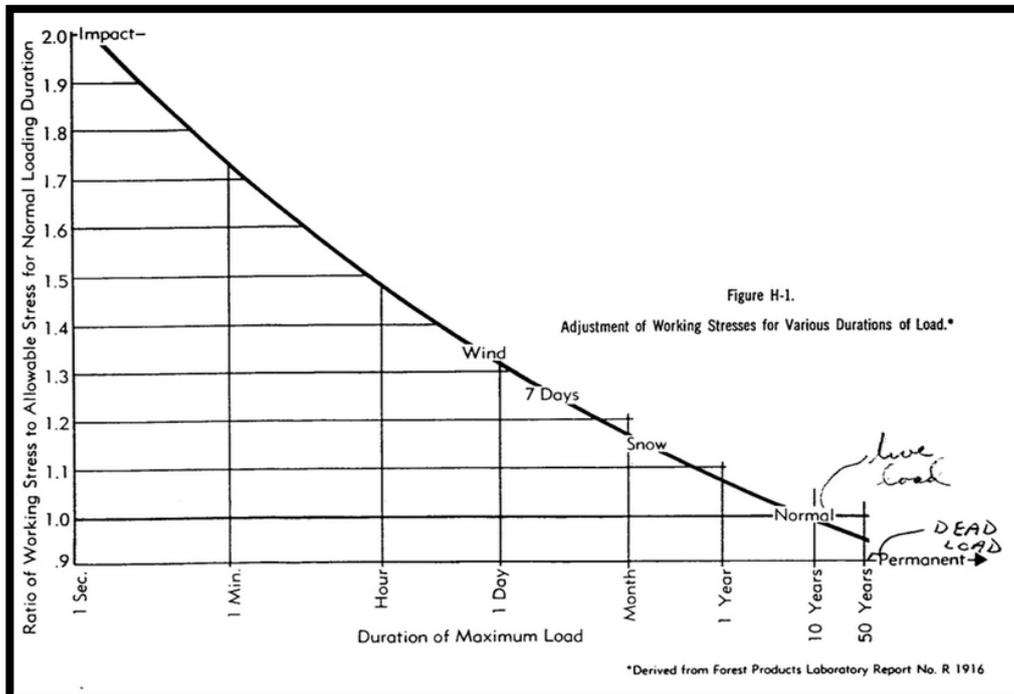


Figura V-38: Factor vs Duración de Carga. Fuente: ASD "Design of Wood Structures-Fifth Edition".

Factor de Condición de Servicio (C_M): Todos los valores de diseño de referencia, para las tensiones y el módulo de elasticidad, especificadas en la norma están referidos a un contenido de humedad máximo de 19 %. Esta condición de servicio corresponde a los miembros estructurales ubicados en locales cerrados o espacios semicubiertos. Cuando la madera se utiliza en estado verde o la condición de servicio determina que el contenido de humedad indicado será superado durante la vida útil de la estructura, los valores de diseño de referencia se deben multiplicar por el Factor de Condición de Servicio.

Factor de Temperatura (C_t): La resistencia y la rigidez de la madera se incrementan cuando su temperatura, T , desciende y viceversa. Este efecto es inmediato y su magnitud depende del contenido de humedad del material, pero cuando el tiempo de exposición es reducido y la temperatura no alcanza $65^\circ\text{C}(150^\circ\text{F})$, el efecto puede considerarse reversible. Por otra parte, la disminución en el contenido de humedad, que normalmente acompaña al calentamiento, compensa ese efecto negativo. En reconocimiento de los efectos contrapuestos de los dos factores mencionados, los valores de diseño de referencia para las tensiones y el módulo de elasticidad, que corresponde al material cuando $T \leq 40^\circ\text{C}(100^\circ\text{F})$, también pueden aplicarse sin modificación cuando la temperatura es superada ocasionalmente, y por períodos breves de tiempo, $40^\circ\text{C}(100^\circ\text{F})$, sin sobrepasar los $65^\circ\text{C}(150^\circ\text{F})$. En estas condiciones se encuentra la mayoría de las estructuras normales en las cuales debe tomarse $C_t=1$

En condiciones especiales, para miembros estructurales expuestos a temperaturas comprendidas entre los $40^\circ\text{C}(100^\circ\text{F})$ y $65^\circ\text{C}(150^\circ\text{F})$ por un tiempo prolongado, los valores de diseño de referencia se deben multiplicar por los valores de C_t indicados en la norma. Temperaturas superiores a 65°C pueden producir daños permanentes, sobre todo cuando actúan durante un tiempo prolongado.

Factos de Tamaño (C_F): Las tensiones de diseño tabuladas, en flexión y tracción paralela a las fibras, F_t , especificadas en la norma están referidas a las dimensiones de referencia. La altura de referencia en flexión y el ancho de referencia en tracción para madera aserrada son iguales a 12in(300mm). Cuando la altura de la sección de un miembro sometido a flexión o la mayor dimensión transversal de uno solicitado por un esfuerzo de tracción paralela a las fibras difiere de la dimensión de referencia, el valor de la tensión de diseño de referencia debe ser multiplicada por el Factor de Tamaño (C_F) cuyo valor se obtiene de la siguiente expresión:

$$C_F = \left(\frac{12}{d}\right)^{1/9}$$

d= altura de la sección sometida a flexión o la mayor dimensión transversal de una sección sometida a tracción paralela a las fibras.

Para miembros que tienen menos de 12 pulgadas en Factor por tamaño es $C_F=1$.

Factor de Distribución Lateral de Cargas (C_r): Cuando un conjunto de miembros estructurales con separaciones iguales o similares se encuentra lateralmente conectado a través de un sistema continuo que asegura la distribución de cargas, la resistencia de diseño de referencia en flexión, F_b , puede multiplicarse por el factor de distribución de cargas, C_r . Para que el sistema permita la distribución lateral de las cargas, sus miembros deben estar calculados para resistir tanto las cargas permanentes como las variables. A su vez, cada miembro estructural que forma parte del mismo debe ser continuo en al menos dos vanos y las juntas deben disponerse contrapeadas. Casos típicos son los constituidos por las estructuras de techos o entrepisos en los cuales las correas o los entablados conforman el sistema de distribución lateral y en general satisfacen los requisitos antes descritos.

Si no se utilizan métodos más precisos de cálculo, para los casos indicados debe tomarse $C_r=1.1$.

Flat Use Factor (C_{fu}): En las cargas tabuladas para flexión, la norma asume las mismas aplicadas sobre la cara estrecha del miembro, es decir sobre el eje fuerte de la viga. En un número limitado de situaciones puede suceder que la carga en flexión este aplicada sobre el eje débil del miembro. Cuando sucede esto la resistencia a flexión (F_b) del miembro debe ser multiplicada por el Factor C_{fu} .

Factor de ajuste por entalladura (C_i): Muchas especies, aceptan fácilmente los tratamientos realizados en la madera para mejorar su durabilidad, mientras que otras especies no los aceptan tan fácilmente. Para estas últimas, muchas veces se realizan incisiones para hacer que el tratamiento sea más eficaz. Si se realiza este método para que penetren los conservantes, algunas tensiones de diseño tabuladas cambian y deben ser multiplicadas por el factor C_i . Para el módulo de elasticidad $C_i= 0.95$, para la flexión $C_i= 0.8$, y para compresión y corte $C_i =1$.

Factor de Forma (C_f): El propósito del factor de forma es ajustar el esfuerzo de flexión tabulado para ciertas secciones transversales no rectangular. La sección circular son comunes en el diseño de la madera en el caso de pilotes

de madera redondos y postes. Este tipo de elementos reciben principalmente cargas verticales y cargas laterales.

Efectos de los Tratamientos preservativos y de protección contra el fuego: los efectos de los tratamientos químicos de protección contra ataques biológicos y contra el fuego debe ser considerados en el diseño estructural. La influencia de los tratamientos sobre las propiedades de material, cuyo conocimiento es necesario para calcular las tensiones de diseño ajustadas, debe ser obtenida de parte del proveedor de producto.

Criterios de Deflexión: Además, de verificar que las tensiones máximas de servicio son menores a la tensión admisible del miembro, el elemento debe cumplir con criterios mínimos de deflexión. Esto está asociado con las condiciones funcionales de las estructura. Por norma, los elementos no deben superar deformaciones admisibles, para procurar un correcto funcionamiento de todos los elementos del edificio, incluyendo maquinas, instalaciones, etc. Así como también no afectar a la apariencia del edificio y a elementos no estructurales como cielorrasos, cerramientos, etc.

También es importante limitar la deformación instantánea bajo la acción de una carga concentrada igual a la unidad, para disminuir la frecuencia natural de vibración asegurando mayor rigidez de la estructura y un control de vibraciones. Este criterio es sumamente importante en este tipo de estructuras, el cual puede afectar el confort de los ocupantes.

La cuestión del confort para el usuario está directamente ligada a la confianza que los ocupantes tienen con respecto a la seguridad de la estructura. Es posible que una estructura que es muy segura con respecto a tensiones admisibles, pueda deformarse bajo carga hasta tal punto que sea insatisfactoria.

Deflexiones excesivas pueden producirse bajo una variedad de condiciones de carga. Por ejemplo, la comodidad del usuario está esencialmente relacionada con la deformación causada solo por carga viva.

Otra de las condiciones de carga, que se relacionan con la fisura del cerramiento y la creación de una situación visual desagradable, es el de deflexión bajo carga muerta más carga viva. (Ver Anexo 4: Cálculos-Deflections).

La elección de la deflexión máxima o límite se realiza por norma, en función de determinados parámetros, entre ellos el uso del edificio. Las deflexiones límites para el piso es $L/360$ para deflexión por carga viva y $L/240$ para deflexión por

carga viva más carga muerta. En el caso del techo L/240 para deflexión por carga viva y L/180 para deflexión por carga viva más carga muerta.

El hecho de que el diseño de la estructura, tanto techo como piso, cumpla con los requisitos mínimos de un código de construcción no significa siempre que pueda proporcionar los rendimientos aceptables para el usuario. Aunque estos mínimos criterios ayudan a asegurar un sistema de piso que puede soportar de manera segura las cargas impuestas, es importante que el mismo satisfaga las necesidades de forma confiable y segura del usuario. Dado que la expectativa puede variar de una persona a otra, el diseño de la estructura se convierte en una cuestión subjetiva que requiere juicio a la sensibilidad del ocupante previsto. Este es un caso sumamente complicado por tratarse de una entidad de uso público, al que recurren centenares de personas con muy diferentes ideologías y de muy diferentes características. La deflexión de la viga se utiliza como uno de los principales criterios para el rendimiento de la estructura de un piso o techo.

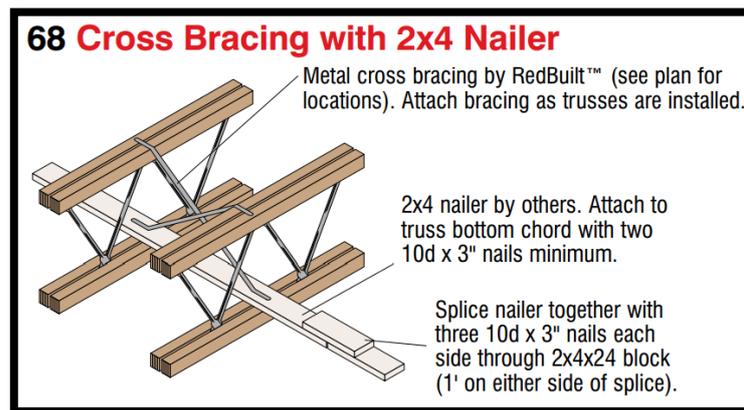


Figura V-39: Detalle Cross Bracing. Fuente: RedBuilt Engineered Wood Products.

Otro factor de importancia para evaluar el rendimiento del piso es la vibración, que se da sobre todo en sistemas rígidos con poca carga muerta. La misma fue controlada en el proyecto por un sistema de bridging y nailers clavados a la inferior de las joist y estos atados a las paredes de los extremos.

Como ya vimos en el capítulo de propiedades físicas y mecánicas, sección durabilidad, la madera necesita tratamientos especiales para aumentar su performance tanto contra hongos y termitas, y contra la descomposición por presencia de humedad. Los elementos estructurales de madera suministrados por la empresa ya disponen de estos procesos. Es importante saber que

existen limitaciones para el usuario por parte de la empresa, estas se basan en no permitir el uso de algunas aplicaciones y / o tratamientos no autorizados que pueden anular la garantía del producto, y pueden dar lugar a deficiencias estructurales.

V.6.c. - Avance de Obra.

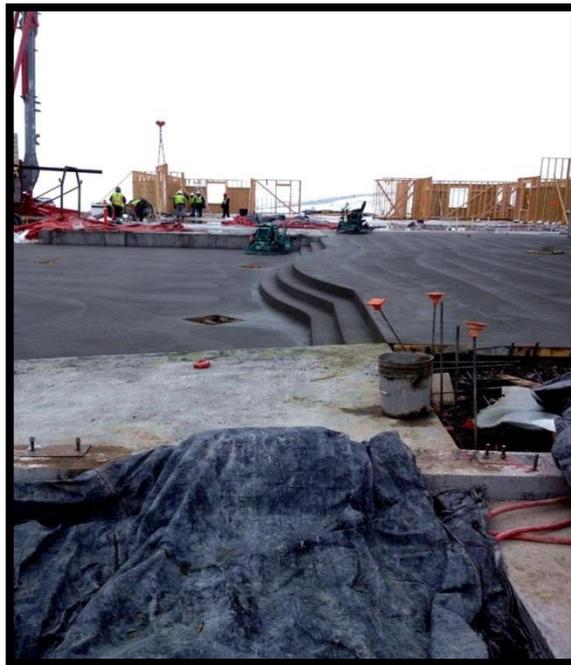


Figura V-40: Slab Concrete. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-41: Levantamiento muros de la primera planta. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-42: Entrada lateral. Autor: Providence Hall High School.

Figura V-43: Avance Entrada Lateral. Autor: Providence Hall High School



Figura V-44: Entrada principal. Providence Hall High School.



Figura V-45: Nudo de Entrada Principal. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-46: Avance Entrada Principal. Autor: Providence Hall High Scoo.

Figura V-47: I-Joist Primer Piso. Instalacion de ledger y hanger en muro de concreto. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-48: Open Web. Autor: Providence Hall High School.

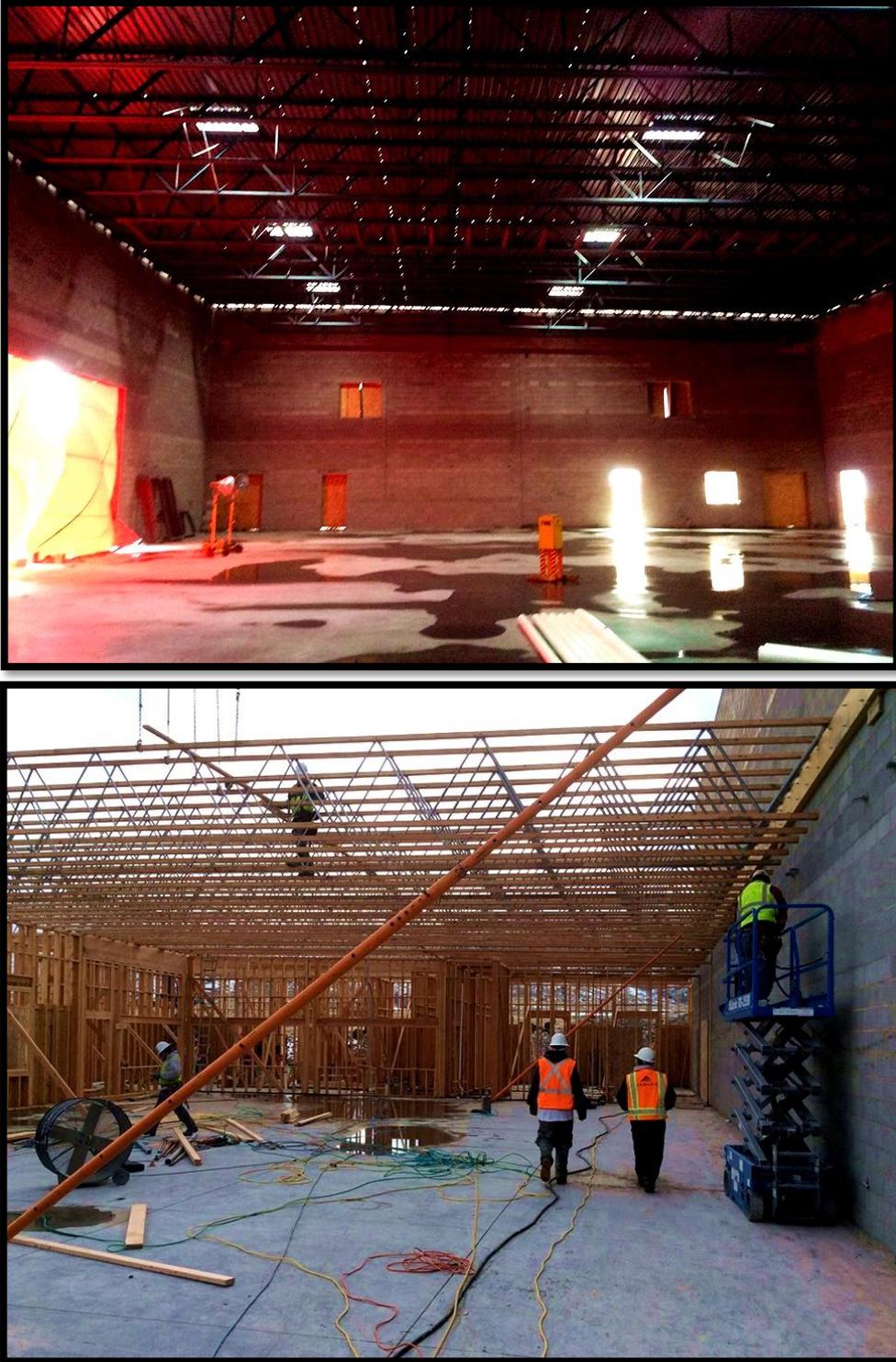


Figura V-49: Terminaciones Entrada Lateral. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-50: Terminaciones Entrada Principal. Autor: Providence Hall High School.





Figura V-51: Vista Lateral. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-52: Terminaciones. Autor: Providence Hall High School.



Figura V-53: Levantamiento de muros. RedBuilt. Autor: Paul Kohl.



Figura V-54: Acopio de Material RedBuilt. Autor: Paul Kohl.



Figura V-55: Open Web. Autor: Paul Kohl.



Figura V-56: Opening Open Web. Autor: Paul Kohl.

VI. - CONCLUSIÓN.

Los resultados de este proceso son múltiples. El estudio de la madera como elemento estructural data del comienzo de la humanidad, el mismo es fascinante y lleno de enigmas. En el presente informe trate de exponer algunos de ellos, necesarios para poder llevar a cabo la construcción de un edificio totalmente de madera.

Esta experiencia comienza en entender la madera como material de construcción. La misma presenta características particulares: estructura heterogénea y de anisotropía, con lo cual presenta una serie de limitaciones. Así mismo, también los defectos naturales interfieren en el comportamiento de la madera. De aquí surge la necesidad de un análisis sustentable del uso de la madera en la construcción civil. El hombre a través de la transformación mecánica y química de la materia prima logra obtener productos útiles a sus necesidades, estos se dividen en tres grandes grupos: los derivados en madera aserrada, el cual solo tiene una transformación física; y los derivados en laminas y de composición, estos últimos con una transformación física y química para su reconstrucción a partir de pequeños elementos y geometría variada a través de la mezcla con adhesivos y prensado, de los cuales se obtienen productos con propiedades diferentes del material original pero con propiedades adecuadas en función al uso que se le va a dar.

Luego de un exhaustivo análisis de las propiedades de estos grupos llego al resultado, que hoy en día, la madera compensada puede lograr tensiones admisibles y modulo de elasticidad muy superiores a la madera maciza. Lo que permite salvar grandes luces, en proyectos q así lo ameritan. Esta idea es la utilizada por la empresa RedBuilt para montar la industrialización de la madera como elemento estructural, y hoy en día tener 50 años de experiencia en esta área.

A partir de estos conceptos, y luego de un análisis de las principales características de la madera, pude dar comienzo a la verificación de piso y techo de un proyecto emplazado en el Estado de Utha, en los Estados Unidos. Como resultado se obtuvo la verificación de los miembros estructurales del proyecto, luego de un análisis de carga y comparación con las tensiones admisibles de los elementos, todo basado en las normas estadounidenses.

Referido al desarrollo de la Practica Supervisada, en un primer momento, cuando se me propone el desafío lo tome como una utopía necesaria para

concluir esta etapa, pero hoy luego de terminado el proceso entiendo el objetivo que se proponen y llego a la conclusión que más que una utopía es totalmente necesario para crecer como profesional y tener un contacto directo con la realidad de esta profesión. A partir de este proyecto logré integrar la formación teórico - práctica recibida en la facultad con el desarrollo de habilidades y destrezas adquiridas en el ámbito laboral.

Pude poner en práctica procedimientos constructivos aprendidos durante el desarrollo de la carrera de Ingeniería Civil, y me brindo la posibilidad de desarrollar capacidades para resolver problemas reales con fundamentos científicos y técnicos.

La posibilidad de trabajar con personal experimentado en el ejercicio de la ingeniería y dispuesto a guiarme durante la experiencia, representó una oportunidad única en la formación ingenieril.

VII. - BIBLIOGRAFÍA

2012 NDS, "Design Values for Wood Construction"

2012 IBC, "*International Building Code*"

2012 ASD, "*Allowable Stress Design*"

ASCE-10, "*American Society of Civil Engineers*"

Design of Wood Structures-Fifth edition.*Autores: Donald E. Breyer, Kenneth Fridley, David Pollock and Kelly Cobeen.*

Frame Construction, "*Graphic guide to Frame Construction*". *Autor: Rob Thallon.*

CIRSOC 601, "*Reglamento Argentino de Estructuras de Madera*"

RedBuilt Engineered Wood Products. *Sitio web: <http://www.redbuilt.com/>*

VIII. - ANEXOS