

EXPORTACIÓN DE SERVICIOS DE INGENIERIA: DESARROLLO DE PROYECTOS DE WOOD FRAMING EN ESTADOS UNIDOS

Ing. Aranda, Lautaro^a; Ing. Vera Funes, Nahola^a

Ing. Venencia, Lucas^a; Ing. Dean, Diego^a

^aIngeniero Civil, Andes Dean Engineering, engineering@andesdean.pro

Palabras clave: Wood framing, madera, exportación de servicios de ingeniería, USA.

RESUMEN

El trabajo aborda el proceso integral de exportación de servicios de ingeniería para proyectos de *wood framing* al mercado de Estados Unidos a partir de 20 años de trabajo en cientos de proyectos desarrollados en el estudio de ingeniería. Se describe la metodología de ejecución, desde la caracterización de materiales, productos típicamente utilizados en este tipo de estructuras, métodos de cálculo y documentación técnica.

El presente trabajo gravita en el procedimiento de diseño y verificación estructural fundamentado en normativas internacionales, IBC/IRC, destacando el uso de software especializado para el dimensionamiento de elementos estructurales para acciones gravitatorias y laterales.

Se exponen los criterios de diseño, los requisitos de documentación técnica y los estándares de detalles constructivos necesarios para las aprobaciones y la fase de construcción. Esta presentación ofrece una visión estratégica sobre cómo el talento y profesionales nacionales pueden generar oportunidades laborales exportando servicios de ingeniería de alto valor agregado, que implican colaboración intercultural, el cumplimiento de los rigurosos códigos de edificación, gestionar y desarrollar proyectos internacionales en idioma inglés e implementar las últimas tecnologías.

ABSTRACT

This work addresses the comprehensive process of exporting engineering services for wood framing projects in the United States market, based on 20 years of professional experience and hundreds of projects developed by the firm. The methodology for project execution is described, including the characterization of materials, products typically used in this type of construction, structural analysis methods, and the preparation of technical documentation.

The technical core of the study details the structural design and verification procedures based on international building codes, particularly the IBC and IRC, highlighting the use of specialized software for the design and sizing of structural elements subjected to both gravity and lateral loads.

Additionally, the paper presents the design criteria, technical documentation requirements, and detailing standards necessary for permitting approvals and the construction phase. This presentation provides a strategic perspective on the offshoring of knowledge-based engineering services while ensuring compliance with rigorous building codes and efficiency in the management of international projects.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

La digitalización de los procesos de diseño y la adopción de herramientas colaborativas han permitido la participación simultánea de equipos ubicados en distintos países en proyectos estructurales cada vez más complejos. En este contexto, la exportación de servicios de ingeniería se ha consolidado como una alternativa viable para profesionales y empresas que integran cadenas globales de diseño.

Uno de los mercados más representativos es el estadounidense, donde el sistema estructural liviano de madera, en adelante *wood framing*, constituye la solución predominante para edificaciones residenciales y multifamiliares de baja y mediana altura. Este entorno presenta un alto grado de estandarización normativa, especialización profesional y uso intensivo de productos industrializados.

El presente trabajo describe la metodología aplicada al desarrollo remoto de proyectos estructurales de *wood framing* destinados a los Estados Unidos. Se analizan los principales condicionantes técnicos, normativos y organizacionales del proceso, así como su implementación en tres casos de estudio representativos.

El objetivo es identificar criterios de diseño, procedimientos de trabajo y herramientas que permitan garantizar el cumplimiento de los estándares exigidos por este mercado, aportando una base metodológica aplicable a la exportación de servicios de ingeniería estructural.

LOS PROYECTOS DE WOOD FRAMING EN ESTADOS UNIDOS

Tipologías estructurales

El sistema de *wood framing* se utiliza ampliamente en viviendas unifamiliares hasta 2 plantas y desarrollos multifamiliares de hasta mediana altura. Las primeras se desarrollan generalmente bajo criterios prescriptivos establecidos por el IRC [1], mientras que los proyectos de mayor escala quedan comprendidos dentro del IBC [2], requiriendo diseño ingenieril.

En edificaciones multifamiliares resulta frecuente la adopción de configuraciones híbridas, combinando estructuras de madera con elementos de acero u hormigón en sectores específicos, como plantas bajas comerciales o niveles de transferencia.

Materiales y productos estructurales habituales

El mercado estadounidense se caracteriza por el uso extensivo de productos industrializados de madera, tanto aserrada como de ingeniería. Estos materiales presentan propiedades estandarizadas y certificadas, lo que permite una alta repetitividad en el diseño.

Los elementos de entramado liviano utilizados en muros, sistemas de piso y cubiertas son habitualmente contruidos con madera dimensionada de especies comerciales tales como Spruce-Pine-Fir (SPF), Douglas Fir (DF) y Southern Yellow Pine (SYP), entre otras, clasificadas y certificadas de acuerdo con estándares nacionales de calidad y resistencia.

Para elementos sometidos a mayores solicitaciones estructurales se emplean productos de madera de ingeniería como: *Laminated Veneer Lumber* (LVL) [3], *Parallel Strand Lumber* (PSL) [4], *Laminated Strand Lumber* (LSL) [5] y vigas laminadas encoladas (*Glulam*) [6]. Estos materiales permiten resolver grandes luces, concentraciones de carga y elementos de transferencia con elevados niveles de eficiencia estructural y control de calidad.

La Tabla 1 presenta una comparación orientativa de propiedades de diseño de materiales comúnmente utilizados en proyectos de *wood framing*. Se observa que los productos de madera de ingeniería presentan niveles superiores de resistencia y rigidez respecto de la madera aserrada convencional, lo que explica su utilización en vigas, dinteles, elementos de transferencia y sectores sometidos a mayores exigencias estructurales. Donde:

F_b: resistencia a flexión

F_v: resistencia a corte

F_{c||}: compresión paralela a la fibra

F_{c⊥}: compresión perpendicular a la fibra

E: módulo de elasticidad

Material	Clasificación/ combinación	F _b (MPa)	F _v (MPa)	E (MPa)	F _c (MPa)	F _{c⊥} (MPa)
SPF	No. 2	6.0	0.93	9650	7.9	2.9
Hem-Fir	No. 2	6.7	1.03	10340	9.3	2.8
Douglas Fir-Larch	No. 2	6.9	1.24	11030	10.3	4.3
LSL	1.55E, orientación de viga	16.0	2.14	10690	15.0	6.2
LVL	2.0E, orientación de viga	17.9	1.97	13790	17.3	5.2
PSL	2.0E, orientación de viga	20.0	2.00	13790	20.0	4.3
Glulam	24F-V4 DF/DF, 24F-V4, flexión eje x	16.5	1.83	12410	11.4	4.5

Tabla 1. Comparación orientativa de propiedades de diseño de materiales de madera utilizados en sistemas de *wood framing* (unidades SI)

Nota: Los valores presentados corresponden a propiedades de diseño de referencia o valores admisibles publicados para condiciones secas de servicio y duración normal de carga. En todos los casos, su aplicación final depende del grado estructural, dimensiones de la pieza, orientación de uso, factores de ajuste y criterios establecidos por la normativa o documentación técnica correspondiente.

Fuente: elaboración propia a partir de *Dimension Lumber Base Values SPF's and SPF, 2018 NDS Supplement - American Wood Council, Parallam PSL - Technical Notes y 20F, 24F, 26F, and 30F Glulam Beams*.

Los sistemas de piso y cubierta incorporan frecuentemente vigas tipo *I-Joist* [7] y *Plywood* (madera contrachapada) constituyen componentes fundamentales para la conformación de diafragmas horizontales y muros resistentes a cargas laterales. La

utilización de estos productos industrializados contribuye a la estandarización de los procesos de diseño, fabricación y construcción que caracterizan al mercado estadounidense.

Organización del proceso de diseño

El desarrollo de proyectos se estructura en torno a un esquema altamente especializado, donde múltiples actores intervienen con responsabilidades definidas. El diseño estructural suele estar coordinado por un *Engineer of Record* (EOR), responsable del criterio general y la aprobación final del proyecto.

En este contexto, es habitual la participación de equipos externos como soporte técnico, encargados de tareas específicas como: determinación de cargas y acciones sobre las estructuras, análisis estructural, dimensionamiento de elementos y elaboración de documentación. Asimismo, determinados componentes son desarrollados mediante *delegated design* (diseño delegado) por fabricantes o especialistas.

Este esquema exige un alto nivel de coordinación e integración de información, así como una clara definición de responsabilidades entre los participantes.

MARCO NORMATIVO Y CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño estructural de edificaciones de *wood framing* se rige por un conjunto de códigos y normas que establecen los requisitos mínimos de seguridad y desempeño. La selección normativa depende de la tipología y características del proyecto.

El IRC [1] establece criterios prescriptivos para viviendas de baja altura, permitiendo resolver configuraciones habituales sin necesidad de cálculo detallado. Por otro lado, el IBC [2] regula edificaciones de mayor complejidad, requiriendo el uso de procedimientos de diseño por ingeniería.

Las acciones de diseño se determinan principalmente según ASCE 7 [8], que define cargas gravitatorias, de viento y sísmicas. El dimensionamiento de elementos de madera se realiza conforme a la NDS [9], mientras que el diseño frente a acciones laterales se basa en la SDPWS [10], especialmente para muros de corte y diafragmas.

En proyectos híbridos o con materiales adicionales, se incorporan normativas complementarias como ACI 318 [11] para hormigón armado y AISC 360 [12] para acero, junto con documentación técnica específica de fabricantes.

METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE PROYECTOS

El desarrollo de proyectos estructurales de *wood framing* sigue una secuencia de etapas orientadas a garantizar el cumplimiento normativo y la correcta materialización de la estructura. El flujo general del proceso se resume en la Figura 1.

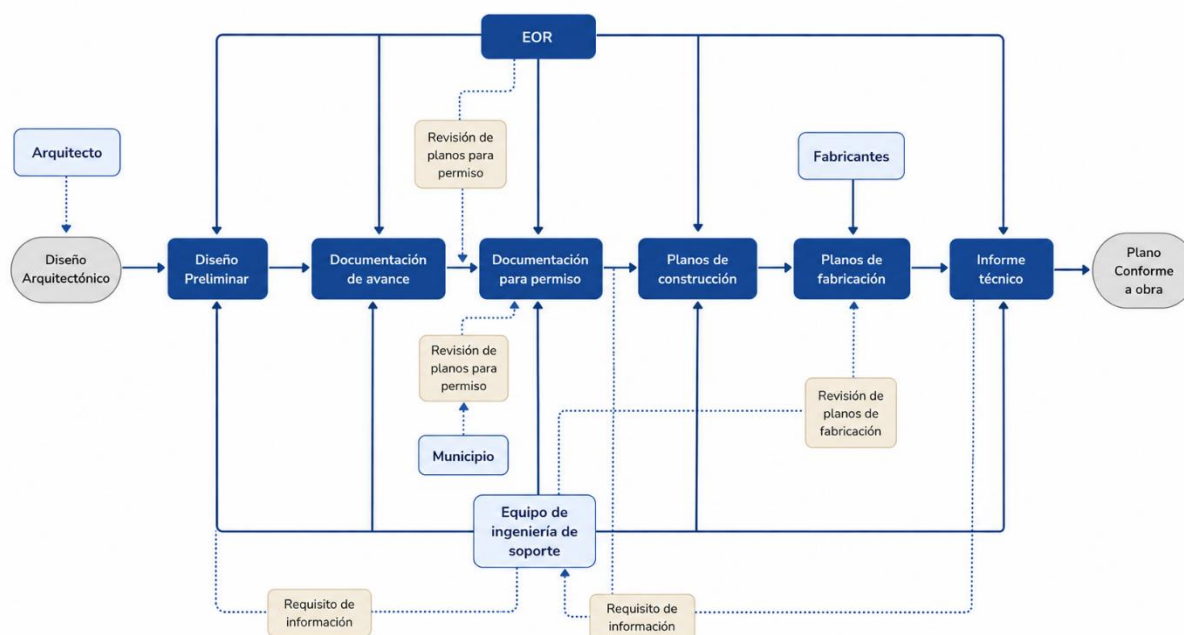


Figura 1. Flujo general del proceso de desarrollo de proyectos estructurales de wood framing.

Recepción y análisis de la información de partida

Se evalúa la documentación inicial del proyecto, incluyendo planos arquitectónicos, condiciones del sitio y características de ocupación. Esta etapa permite definir el marco normativo aplicable y detectar condicionantes estructurales relevantes.

En esta etapa se hace necesario evaluar si la información brindada al ingeniero estructural es suficiente para efectuar el diseño y cálculo estructural, es habitual la emisión de *Requests for Information* (RFI) (Requerimiento de Información) para completar o aclarar la información necesaria para el desarrollo del diseño.

Determinación de acciones de diseño

Las cargas se establecen conforme a ASCE 7 [8], considerando acciones gravitatorias, viento y sismo. Los parámetros dependen de la ubicación, geometría y categoría del edificio.

Diseño estructural para cargas gravitatorias

Se define el recorrido de cargas (*load path*), asegurando la transmisión adecuada de las solicitaciones hacia las fundaciones. Los elementos se dimensionan conforme a la NDS [9], utilizando en muchos casos soluciones estandarizadas para optimizar el proceso.

VIAJE DE CARGAS EN VIVIENDA DE DOS PLANTAS – WOOD FRAMING

1. CARGAS GRAVITATORIAS (↓)

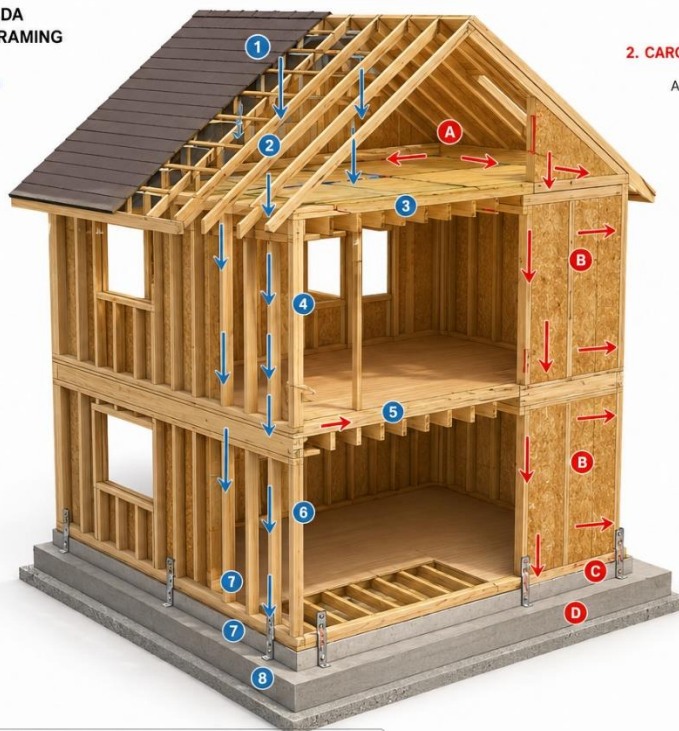
Cubierta (cargas permanentes y variables: nieve, mantenimiento)
↓
Viguetas de techo (cerchas/rafters)
↓
Diafragma de techo (OSB estructural)
↓
Muros portantes superiores
↓
Diafragma de entrepiso (OSB estructural)
↓
Muros portantes inferiores
↓
Solera inferior (sill plate)
↓
Fundación (plata/zapata corrida)
↓
Terreno

REFERENCIAS – GRAVITATORIAS

- 1 Cubierta
- 2 Viguetas de techo (cerchas/rafters)
- 3 Diafragma de techo (OSB)
- 4 Muros portantes superiores
- 5 Diafragma de entrepiso (OSB)
- 6 Muros portantes inferiores
- 7 Solera inferior (sill plate)
- 8 Fundación (plata/zapata corrida)

NOTAS

- Los diafragmas (techo y entrepiso) trabajan como "plataformas rígidas" que distribuyen cargas laterales a los muros resistentes.
- Los muros de corte de OSB resisten por corte en su plano y controlan desplazamientos.
- Las conexiones (clavado, tornillos, anclajes metálicos) son críticas para asegurar la continuidad del camino de cargas.



2. CARGAS LATERALES – VIENTO/SISMO (→)

Acción lateral sobre diafragma de techo
↓
Diafragma de techo (en su plano) distribuye a muros resistentes
↓
Muros de corte (shear walls – OSB) resisten en su plano
↓
Transferencia a fundación a través de anclajes y hold-downs
↓
Fundación
↓
Terreno

REFERENCIAS – LATERALES

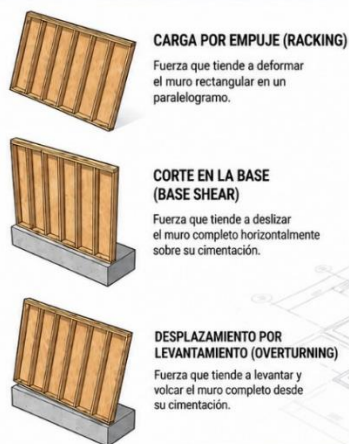
- A Diafragma de techo: capta la acción lateral
- B Muros de corte (shear walls): resisten y conducen la carga en su plano
- C Anclajes y hold-downs: conectan muros a fundación
- D Fundación: transmite la carga al terreno

Figura 2. Esquema conceptual del recorrido de cargas gravitatorias y laterales.

Diseño estructural para acciones laterales

La estabilidad global se resuelve mediante sistemas de muros de corte y diafragmas. Se verifica la continuidad del recorrido de las cargas laterales y se diseñan los elementos de conexión y anclaje necesarios para garantizar la transferencia de cargas.

EL PROBLEMA: FUERZAS LATERALES NO VISIBLES



LA SOLUCIÓN: UN SISTEMA INGENIERIL



RESUMEN DE COMPONENTES

- REVESTIMIENTO (OSB / CONTRACHAPADO)**
Proporciona la principal resistencia al corte frente a las fuerzas en el plano del muro.
- SUJETADORES (CLAVOS)**
Transferen las fuerzas entre el revestimiento y el entramado de madera.
- ANCLAJES Y HOLD-DOWNS**
Resisten el levantamiento (volcamiento) y transmiten las cargas a la cimentación.

Figura 3. Configuración típica de muro de corte con elementos de anclaje.

Organiza:

Elaboración de documentación técnica y entregables

Una vez completadas las verificaciones estructurales, se desarrolla la documentación necesaria para las distintas etapas del proyecto. A diferencia de lo que ocurre habitualmente en Argentina con proyectos de baja/mediana escala, los proyectos de cualquier tipo en Estados Unidos suelen atravesar múltiples instancias de emisión y revisión de documentos antes de llegar a la construcción.

Dependiendo de la etapa de desarrollo, pueden generarse entregables tales como: *Preliminary Design Sets*, *Progress Sets*, *Permit Sets* y *Construction Sets* (conjuntos de planos preliminares, de avance y de aprobación). Cada uno de ellos responde a distintos niveles de definición del proyecto y permite coordinar el avance entre los diferentes participantes involucrados.

En la práctica estadounidense, los planos estructurales incorporan de manera sistemática *General Structural Notes* y *Plan Notes* (Notas Estructurales Generales y Notas Específicas de Plano), las cuales forman parte integral de la documentación y establecen criterios de diseño, especificaciones de materiales y condiciones de ejecución. Estas notas complementan la información gráfica y actúan como requisitos contractuales del proyecto. En contraste, en la práctica local, estos criterios suelen estar menos integrados en los planos, concentrándose en documentación complementaria, lo que genera diferencias en la forma de comunicar el diseño estructural y en muchas ocasiones quedan descoordinadas por cambios en el diseño.

A modo ilustrativo, las notas incorporadas en planos estructurales típicos incluyen especificaciones sobre materiales, sistemas constructivos y criterios de ejecución, tales como:

- Definición del sistema de piso (tableros estructurales machihembrados, espesores y métodos de fijación).
- Configuración de vigas de piso (por ejemplo, vigas tipo TJI con espaciamientos definidos).
- Especificaciones de losas sobre terreno, incluyendo espesores, refuerzos, capas de base y barreras de humedad.
- Requerimientos de refuerzos locales en aberturas del sistema estructural.
- Coordinación obligatoria con planos arquitectónicos y de instalaciones.
- Valores de cargas de diseño adoptadas.
- Requerimientos de los materiales (madera tratada, acero estructural, etc.).
- Referencias a tablas, detalles y hojas específicas dentro del set de documentación.

Estas notas permiten complementar la información gráfica del proyecto, evitando ambigüedades y definiendo de manera explícita condiciones que deben cumplirse durante la ejecución.

La documentación emitida incluye planos estructurales, detalles constructivos, especificaciones técnicas, notas generales de diseño y, cuando corresponde, memorias de cálculo y documentación de respaldo asociada a productos o sistemas específicos.

Revisión jurisdiccional y respuesta a observaciones

Una vez emitido el *Permit Set* (Legajo para Permiso), la documentación es presentada ante la autoridad jurisdiccional correspondiente para su revisión técnica, por ejemplo: la City (Municipalidad) o el County (Departamento). Este proceso, conocido como *Plan Review* (Proceso de Revisión por la Autoridad), constituye una instancia habitual dentro del desarrollo de proyectos en Estados Unidos para todas las disciplinas profesionales y establece responsabilidades.

Durante la revisión, los organismos competentes verifican el cumplimiento de los códigos aplicables y pueden emitir observaciones o solicitudes de aclaración denominadas comúnmente *City Comments* (Observaciones de la Autoridad Municipal). Estas observaciones la realizan generalmente profesionales tercerizados por la misma Autoridad, y requieren la elaboración de respuestas técnicas, modificaciones de planos, revisiones de cálculo o documentación complementaria antes de la aprobación definitiva del proyecto.

La interacción con las autoridades de revisión representa una diferencia significativa respecto de los procedimientos habitualmente observados en Argentina y forma parte del flujo normal de desarrollo de proyectos estructurales destinados al mercado estadounidense, esta dinámica permite la constante retroalimentación y aseguramiento de la calidad y cumplimiento de la última normativa vigente.

Un aspecto complementario relevante en este tipo de proyectos es la exigencia de *Special Inspections* (Inspecciones Especiales) conforme a lo establecido por el *International Building Code* (IBC) [2]. Estas inspecciones, realizadas por entidades independientes aprobadas por la jurisdicción, abarcan disciplinas clave como estructuras metálicas, hormigón, mampostería, suelos y sistemas resistentes a cargas de viento.

La presencia de este esquema de control externo impone un alto nivel de rigor en la documentación del proyecto, así como en la claridad de los criterios de diseño y detallado. En este contexto, la coordinación entre el *Engineer of Record* (EOR) (Ingeniero responsable del diseño estructural) y los equipos de soporte adquiere un rol fundamental para garantizar que la información técnica sea consistente, verificable y adecuada para su validación en obra.

Este marco de control refuerza la necesidad de una comunicación fluida y continua entre los distintos actores del proyecto, alineándose con los procesos colaborativos descritos previamente.

Construcción, RFI y revisión de Shop Drawings

La participación del equipo de ingeniería frecuentemente continúa durante la etapa de construcción. A medida que avanza la obra pueden surgir consultas técnicas emitidas por contratistas, subcontratistas o fabricantes, formalizadas mediante *Requests for Information* (RFI) (Requerimiento de Información).

Asimismo, determinados componentes del proyecto son desarrollados mediante diseños delegados por fabricantes o proveedores especializados. En estos casos se generan *Shop Drawings* (Planos de Fabricación) que deben ser revisados por el

equipo de diseño para verificar su compatibilidad con los criterios estructurales establecidos en la documentación original.

Dependiendo de las características del proyecto, esta etapa también puede incluir la emisión de *Engineering Letters*, revisiones de documentación durante la construcción y la preparación de documentación final conforme a obra (*As-Built Drawings*).

Una vez iniciada la construcción, las autoridades jurisdiccionales realizan inspecciones en distintas etapas de la obra para verificar que la ejecución se ajuste a la documentación aprobada y a los requisitos del código aplicable.

Durante todos estos años de colaboración con ingenieros profesionales y estudios de ingeniería estructural en los Estados Unidos, no ha permitido desarrollar y brindar un servicio integral en todas las etapas de proyectos, logrando un servicio de alto valor agregado producto de la colaboración remota.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN PROYECTOS REPRESENTATIVOS

Caso de Estudio N°1: Vivienda unifamiliar desarrollada bajo IRC

Descripción general del proyecto

El proyecto corresponde a una vivienda unifamiliar desarrollada bajo el International Residential Code (IRC) [1], con una configuración estructural típica de entramado liviano. La estructura combina fundaciones de hormigón armado con una superestructura de madera, incluyendo sistemas de piso con vigas tipo I-Joist [7] (viguetas tipo I) y elementos de transferencia resueltos mediante productos de madera de ingeniería (LVL y PSL) [3] [4]

Un aspecto relevante fue la coexistencia de soluciones estandarizadas con sectores puntuales de mayor exigencia estructural, donde fue necesario incorporar elementos metálicos para resolver concentraciones de carga.

Desarrollo del diseño estructural

El diseño gravitatorio se apoyó en un esquema de recorrido de cargas continuo, con transferencia directa de cargas hacia muros portantes y fundaciones. La mayor parte de los elementos se resolvió mediante configuraciones repetitivas, utilizando *Schedules* (tablas de dimensionamiento) estandarizados para dinteles, conexiones y detalles constructivos.

Este enfoque permitió reducir significativamente los tiempos de cálculo, manteniendo consistencia en los criterios de diseño.

En proyectos residenciales de *wood framing* es frecuente la adopción de parámetros geotécnicos típicos en ausencia de estudios de suelos específicos. En este caso se asume una capacidad portante admisible del terreno de 1,500 PSF (7,32 Tn./m², documentada en notas estructurales, en línea con prácticas habituales para viviendas de baja altura. De manera análoga, la profundidad de fundación asociada al frost depth (profundidad de congelamiento del terreno) se establece a partir de valores regionales

típicos (del orden de 0.75 a 1.20 m), sin requerir estudios específicos. Este enfoque permite optimizar el proceso de diseño manteniendo condiciones adecuadas de seguridad mediante hipótesis conservadoras.

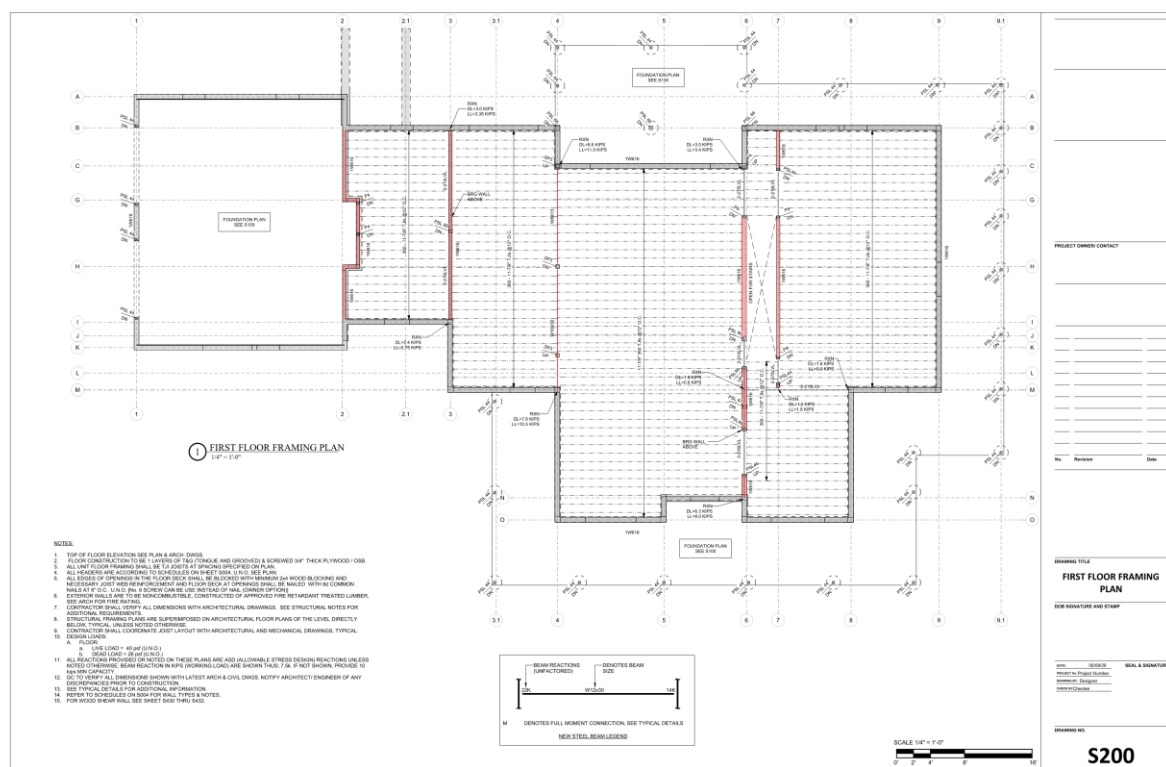


Figura X. Vivienda Caso 1 - Planta de estructuras - Primer piso.

Diseño para acciones laterales

La estabilidad lateral se resolvió mediante muros de corte de OSB distribuidos según la geometría arquitectónica. La principal complejidad estuvo asociada a la presencia de grandes aberturas, que reducen la longitud efectiva de muros resistentes y obligan a una verificación más detallada de la continuidad del recorrido de cargas laterales.

Se definieron configuraciones específicas de clavado y anclaje (*Hold-downs*) para garantizar la transmisión de esfuerzos de volcamiento hacia fundaciones.

Aspecto técnico distintivo del caso

Este caso representa un escenario donde el diseño estructural se apoya fuertemente en:

- Estandarización
- Uso de tablas y soluciones predefinidas
- Repetitividad de elementos

El aporte técnico radica en la optimización del proceso, más que en la complejidad

estructural, constituyendo un ejemplo representativo de proyectos donde el tiempo de desarrollo es un factor crítico en la exportación de servicios.

Caso de Estudio N°2: Vivienda unifamiliar Polo Bluffs, sistema estructural mixto

Descripción general del proyecto

A diferencia del caso anterior, este proyecto presenta una configuración arquitectónica no convencional, con grandes luces, extensas superficies vidriadas y discontinuidades estructurales, lo que impide su resolución mediante criterios prescriptivos del IRC.

Estas condiciones obligaron a desarrollar un diseño ingenieril detallado bajo lineamientos del IBC [2], incluyendo la combinación de madera estructural, productos de ingeniería y elementos de acero.

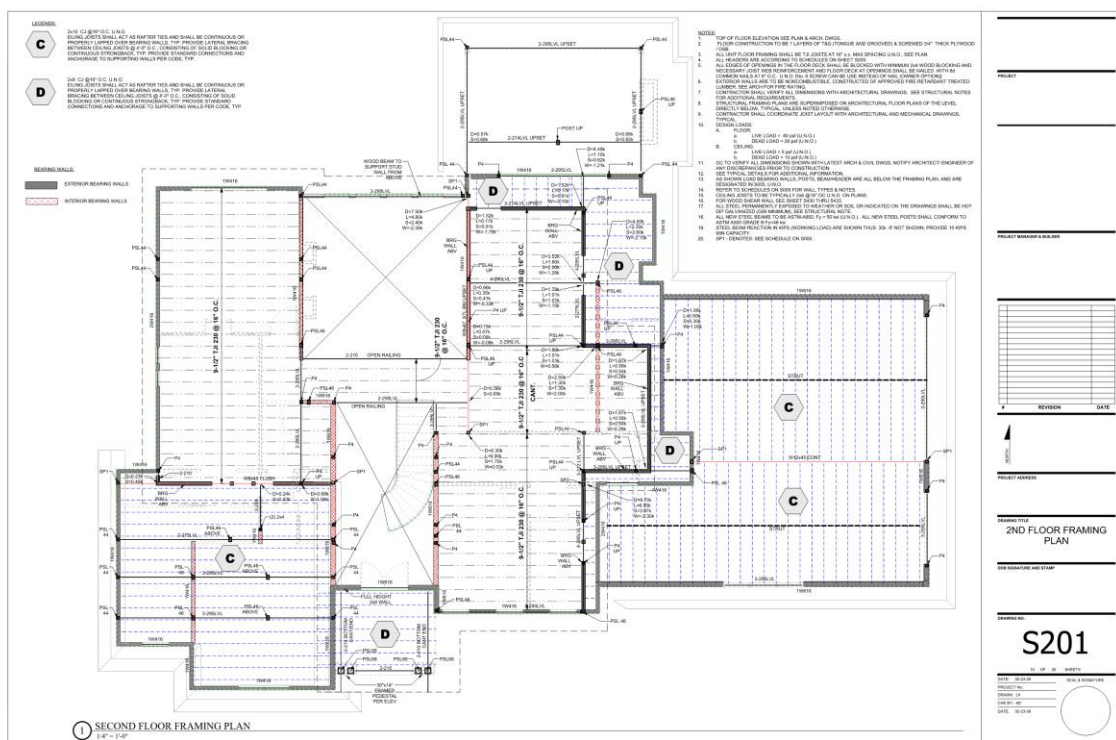


Figura X. Vivienda Caso 2 – Planta de estructuras – Segundo piso.

Resolución estructural

Las principales vigas se resolvieron mediante LVL [3], mientras que elementos comprimidos de alta carga utilizaron PSL. En sectores donde las deformaciones resultaban críticas, se incorporaron perfiles metálicos tipo W como elementos de refuerzo.

Elementos de transferencia

Debido a la falta de apoyos alineados, el proyecto incluyó múltiples elementos de

transferencia de cargas, resueltos mediante vigas de gran altura y combinaciones de materiales.

Este aspecto constituyó uno de los principales focos del diseño, ya que condiciona la continuidad del recorrido de cargas laterales.

Aspecto técnico distintivo del caso

El interés de este proyecto radica en la adaptación del sistema *wood framing* a arquitectura exigente, el uso intensivo de madera de ingeniería y la integración con acero como solución local.

A diferencia del caso anterior, el diseño deja de ser repetitivo y pasa a ser altamente específico, requiriendo análisis particularizados en múltiples sectores.

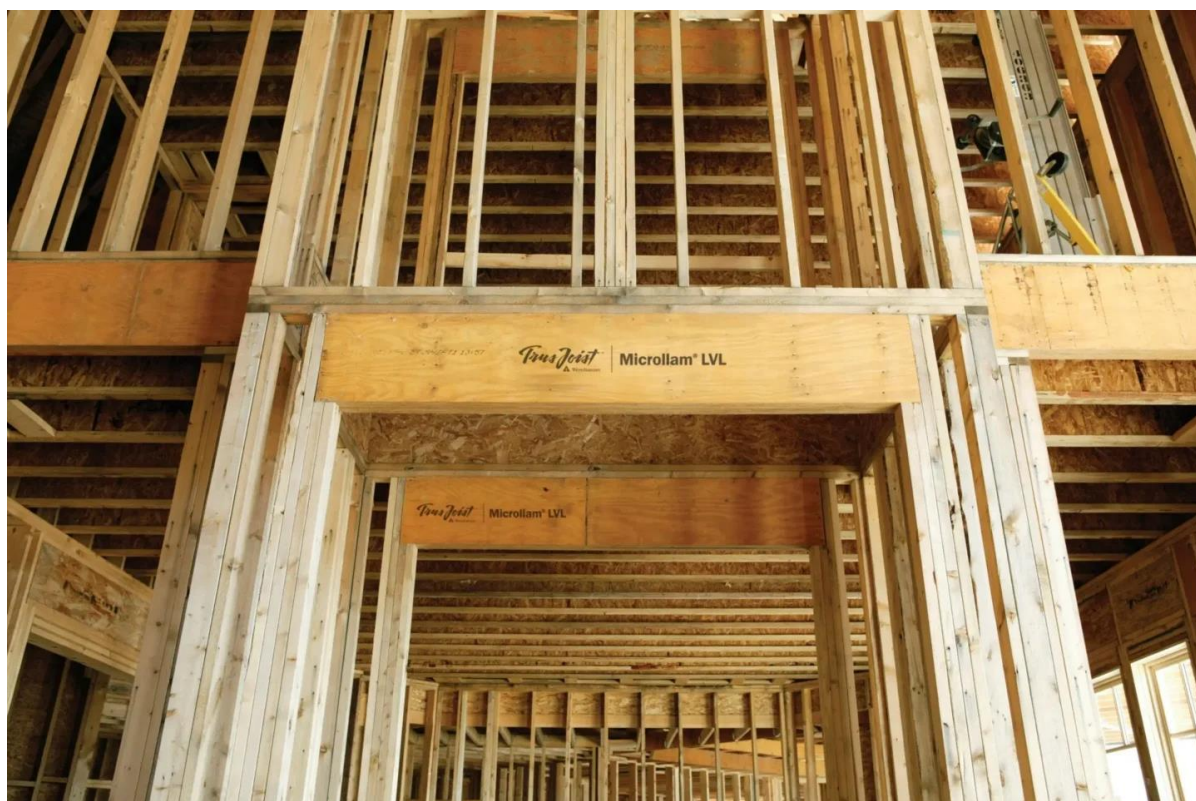


Figura 4. Utilización de vigas tipo LVL para la transferencia de cargas en viviendas con muros no alineados.

Caso de Estudio N°3: Edificio multifamiliar con estructura híbrida acero–madera

Descripción y condicionantes del proyecto

El proyecto corresponde a un edificio multifamiliar con planta baja comercial y niveles residenciales superiores, configurado como una estructura híbrida con base metálica y superestructura de madera.

La principal condición estructural es la discontinuidad entre la modulación de la planta baja y los niveles superiores, lo que genera la necesidad de sistemas de transferencia

de cargas.

Interacción entre sistemas estructurales

Las cargas verticales provenientes de muros portantes de madera se concentran en vigas y columnas de acero ubicadas en el nivel de transición. Esto implica analizar redistribución de cargas, deformaciones diferenciales entre materiales y compatibilidad estructural entre niveles.

Diseño frente a acciones laterales

La estabilidad lateral se resuelve mediante la interacción entre muros de corte en madera, la estructura metálica de planta baja y el sistema de conexiones, asegurando la continuidad del recorrido de cargas laterales.

La principal dificultad radica en la correcta transferencia de esfuerzos entre ambos sistemas, especialmente en presencia de discontinuidades estructurales.

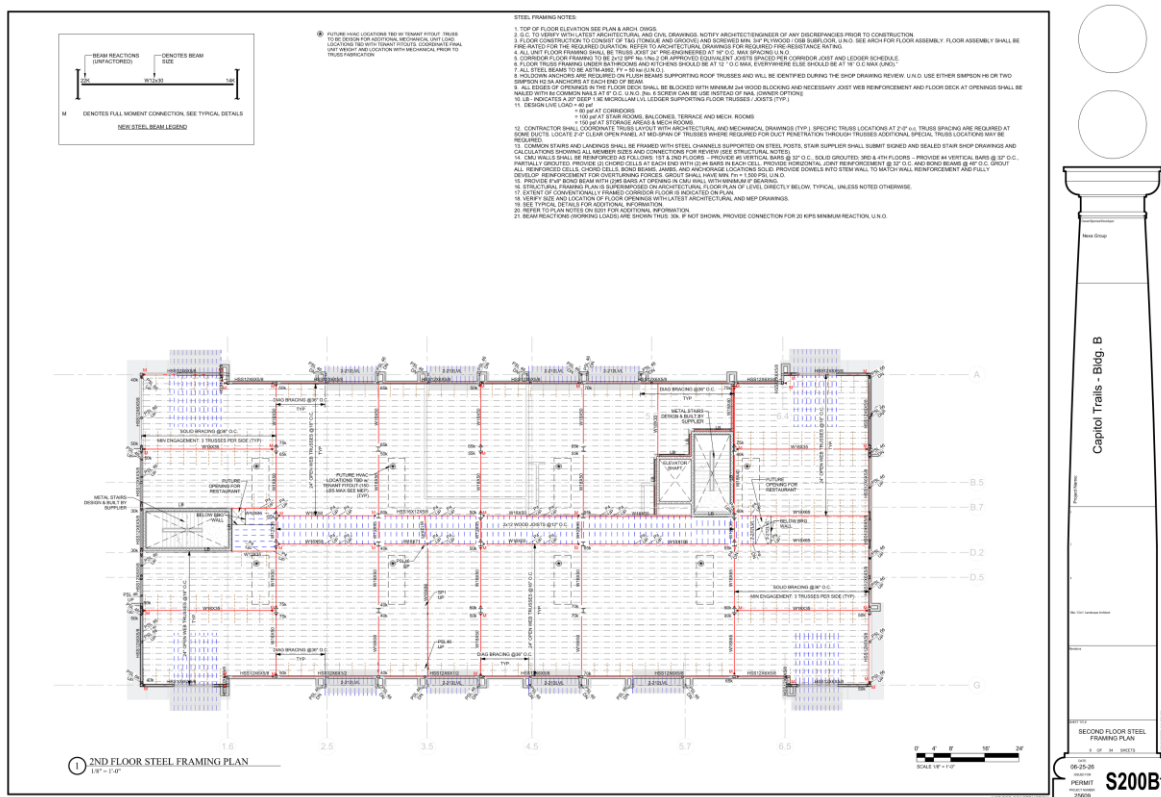


Figura X. Edificio de viviendas Caso 3 – Planta de estructuras – Segundo piso.



Figura 5. Configuración estructural híbrida con nivel de transferencia acero–madera.

Aspecto técnico distintivo del caso

Este caso representa el escenario de mayor complejidad, donde el diseño estructural está dominado por problemas de transferencia de carga, interacción entre materiales y discontinuidades estructurales significativas.

El aporte principal radica en la resolución de sistemas híbridos en edificios de mediana escala, donde la metodología debe adaptarse a múltiples condicionantes simultáneos.

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y HERRAMIENTAS DIGITALES

La ejecución remota de proyectos estructurales destinados al mercado estadounidense requiere la utilización de herramientas digitales que garanticen la trazabilidad del diseño, la coordinación interdisciplinaria y la calidad de la documentación técnica.

Desde el punto de vista del análisis estructural, el diseño combina criterios normativos con el uso de software especializado para la verificación de elementos y sistemas resistentes. En particular, se emplean herramientas como ForteWEB [13], desarrollada por Weyerhaeuser, que permite el dimensionamiento de elementos conforme a la NDS [9], así como programas específicos para análisis lateral como WoodWorks Shearwalls [14], basados en los criterios de la SDPWS [10].

Asimismo, en proyectos desarrollados bajo criterios prescriptivos del IRC [1], se utilizan herramientas como el APA Wall Bracing Calculator [15], que permite verificar configuraciones de arriostramiento conforme a los requisitos del código, reflejando la

Organiza:

estrecha vinculación entre software, normativa y fabricantes en el mercado estadounidense.

La producción de documentación estructural se realiza mediante plataformas CAD y, de manera creciente, mediante entornos BIM. La utilización de modelos digitales permite integrar información geométrica y constructiva, mejorar la coordinación entre disciplinas y reducir inconsistencias durante el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, el proceso se caracteriza por un elevado nivel de control documental. Herramientas de revisión digital como Bluebeam Revu [16] permiten gestionar iteraciones, coordinar observaciones y asegurar la correcta identificación de versiones, aspectos fundamentales en proyectos con múltiples instancias de revisión y aprobación.

En conjunto, estas herramientas no solo facilitan la ejecución técnica del diseño, sino que constituyen un elemento clave para la integración de equipos distribuidos geográficamente, permitiendo sostener estándares de calidad compatibles con los requerimientos del mercado estadounidense.

DISCUSIÓN: Desafíos y oportunidades de la exportación de servicios

Los casos analizados evidencian que la exportación de servicios de ingeniería estructural hacia el mercado estadounidense no se limita a la adaptación a un marco normativo diferente, sino que implica la incorporación de un modelo de diseño basado en industrialización, estandarización y segmentación de responsabilidades. En este sentido, el diseño en *wood framing* no puede interpretarse únicamente como una adaptación material, sino como un cambio conceptual en la forma de abordar el proyecto estructural.

Una de las principales diferencias respecto de la práctica habitual en Argentina es el rol central que adquiere la definición y verificación del recorrido de cargas. Mientras que en sistemas tradicionales de hormigón armado el comportamiento global suele estar implícito en la continuidad del material, en estructuras de *wood framing* la estabilidad depende explícitamente de la correcta transmisión de cargas a través de múltiples componentes discretos. Esto requiere un enfoque sistemático en la identificación de trayectorias de carga, particularmente en presencia de discontinuidades estructurales o sistemas híbridos.

Un factor relevante en la exportación de servicios de ingeniería estructural hacia Estados Unidos es la proximidad horaria entre los equipos de trabajo. En el caso de América Latina, la diferencia horaria reducida —generalmente de una a cuatro horas— permite una coordinación en tiempo real con equipos ubicados en Estados Unidos, facilitando reuniones virtuales, revisiones técnicas y procesos de diseño colaborativo dentro del mismo horario laboral.

Esto posibilita una integración efectiva como extensión de la oficina de ingeniería principal, mejorando los tiempos de respuesta y la resolución de consultas (RFI), aspectos clave en proyectos de *wood framing*.

En consecuencia, la cercanía horaria se constituye como una ventaja estratégica para la exportación de servicios de ingeniería desde América Latina, complementando

otros factores como los costos operativos, la formación técnica y el manejo del inglés.

El análisis de los casos permite distinguir dos enfoques de diseño claramente diferenciados. En proyectos residenciales convencionales, el proceso se apoya en soluciones estandarizadas, donde el valor de la ingeniería radica en la eficiencia operativa y la correcta aplicación de criterios previamente validados. En contraste, en proyectos con mayores exigencias arquitectónicas o estructurales, el diseño adquiere un carácter específico, requiriendo la resolución de problemas de transferencia de cargas, compatibilidad entre materiales y control de deformaciones.

Otro aspecto relevante es la incorporación de esquemas de *delegated design* (diseño delegado), donde parte del diseño se transfiere a fabricantes o especialistas. Este modelo implica que el ingeniero estructural actúa como integrador de múltiples sistemas, debiendo verificar la coherencia global del proyecto y la compatibilidad entre soluciones de especialistas y productos.

Desde el punto de vista organizacional, el proceso de diseño se caracteriza por un alto nivel de documentación y control de revisiones. La necesidad de responder a instancias de *Plan Review* (Proceso de Revisión por la autoridad), RFI (Solicitud de Información) y coordinación interdisciplinaria introduce exigencias adicionales en términos de trazabilidad y claridad en la documentación técnica, que difieren significativamente de la práctica local.

En este contexto, la exportación de servicios de ingeniería presenta oportunidades vinculadas a la participación en proyectos altamente industrializados y al acceso a tecnologías y metodologías de diseño avanzadas. Sin embargo, también plantea desafíos asociados a la adaptación normativa, la comprensión de prácticas constructivas específicas y la necesidad de operar dentro de estructuras de trabajo altamente segmentadas y en idioma inglés.

CONCLUSIONES

El desarrollo de proyectos estructurales de *wood framing* para el mercado estadounidense permite identificar un conjunto de criterios técnicos y organizacionales que resultan determinantes para la exportación de servicios de ingeniería.

En primer lugar, la correcta definición y continuidad del recorrido de las cargas, tanto para acciones gravitatorias como laterales, constituye el eje central del diseño estructural en sistemas de madera. Este aspecto adquiere particular relevancia en proyectos con discontinuidades, configuraciones híbridas o exigencias arquitectónicas que limitan la disposición de elementos resistentes.

En segundo lugar, la estandarización de soluciones representa un factor clave para la eficiencia del proceso en proyectos de baja complejidad, permitiendo reducir tiempos de desarrollo sin comprometer la consistencia técnica. No obstante, los casos analizados muestran que esta lógica no es directamente extrapolable a proyectos de mayor exigencia, donde el diseño debe abordarse desde un enfoque específico y basado en ingeniería.

La integración de sistemas estructurales múltiples, especialmente en configuraciones híbridas madera–acero, introduce desafíos asociados a la compatibilidad de

deformaciones, la transferencia de cargas y el diseño de conexiones, constituyendo uno de los aspectos de mayor criticidad dentro del proceso.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo evidencia que el rol del ingeniero estructural en este contexto trasciende el dimensionamiento de elementos individuales, abarcando la coordinación de diseños delegados, la interpretación de documentación de fabricantes y la verificación de la coherencia global del sistema estructural, cumpliendo con normativa que se actualiza cada 3 años generalmente.

Finalmente, la exportación de servicios de ingeniería hacia este mercado requiere no sólo la adaptación a normativas específicas, sino también la incorporación de una lógica de trabajo basada en la documentación exhaustiva, el control de revisiones y la coordinación interdisciplinaria.

En conjunto, los aspectos analizados permiten establecer una base metodológica para la participación en proyectos internacionales de *wood framing*, aportando criterios técnicos que resultan aplicables a distintos niveles de complejidad estructural.

REFERENCIAS

- [1] International Code Council, "International Residential Code (IRC)."
- [2] International Code Council, "International Building Code (IBC)."
- [3] Weyerhaeuser, "Microllam® LVL." [Online]. Available: <https://www.weyerhaeuser.com>
- [4] Weyerhaeuser, "Parallam® PSL." [Online]. Available: <https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/>
- [5] Weyerhaeuser, "TimberStrand® LSL." [Online]. Available: <https://www.weyerhaeuser.com>
- [6] APA – The Engineered Wood Association, "Glulam." [Online]. Available: <https://www.apawood.org/glulam>
- [7] Weyerhaeuser, "TJI Joists." [Online]. Available: <https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/tji-joists/>
- [8] American Society of Civil Engineers, "ASCE 7."
- [9] American Wood Council, "NDS – National Design Specification."
- [10] American Wood Council, "Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS)."
- [11] American Concrete Institute, "ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete."
- [12] AISC, "AISC 360 – Specification for Structural Steel Buildings."
- [13] Weyerhaeuser, "ForteWEB Software." [Online]. Available: <https://forteweb.com/>
- [14] American Wood Council, "WoodWorks Software."
- [15] APA, "APA Wall Bracing Calculator." [Online]. Available: <https://www.apawood.org/calculator>
- [16] Bluebeam Inc., "Bluebeam Revu."