

ESTÁNDARES DE HABITABILIDAD Y RANKING DE DISCRIMINACIÓN BASADO EN SUSTENTABILIDAD DE CONSTRUCCIONES EN MADERA

HABITABILITY STANDARDS AND RANKING OF DISCRIMINATION BASED ON SUSTAINABILITY OF WOOD CONSTRUCTIONS

R. Garay ⁽¹⁾ (P), M. Castillo ⁽²⁾, O. Fernández ⁽³⁾, J. Vergara ⁽⁴⁾

(1) Académico, Profesor Asociado, Magister Ciencias e Industrias de la Madera, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(2) Académico, Profesor Asociado, Dr. en Recursos Naturales y Sostenibilidad, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(2) Académico, Ayudante, Magíster en Prevención de Riesgos. Universidad de Chile, Santiago, Chile

(3) Memorante, Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Santiago, Chile

Dirección de contacto: rgaray@uchile.cl; (P) Presentador

Código de identificación: T7-06

Resumen

La habitabilidad de una vivienda debe dar cumplimiento a estándares de seguridad, confort y durabilidad. En Chile las disposiciones legales están en la ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Los estándares de Confort Térmico, Verificación Mecánica, Resistencia al Fuego y Comportamiento Acústico han sido revisados y evaluados en prototipos de madera fabricados e instalados en 5 zonas térmicas del país, investigación financiada por FONDEF D09I1058. Esta información permitió crear manuales de fabricación, instalación, especificaciones técnicas y un proyecto de ley que regule estándares de viviendas de emergencia y de asentamientos transitorios que refugian a las personas tras desastres. Como resultado adicional, esta experiencia ha servido para hacer un análisis crítico del cumplimiento aislado de los estándares para viviendas sociales y edificaciones en madera, sin que se integren la sustentabilidad y priorización de criterios, por ejemplo el riesgo de toxicidad de aislantes térmicos y acústicos, que impactan sobre la resistencia al fuego. La protección de la madera, no siempre usa preservantes menos nocivos o recubrimientos base agua pensando en la sustentabilidad de la construcción. La verificación mecánica sólo se exige para obras de gran tamaño, pero no para todas las viviendas, aunque los Inspectores no poseen las competencias para asegurar su comportamiento frente a sismos e incendios simultáneamente. Estos análisis se incorporan en un ranking de discriminación multicriterios que ayuda a la toma de decisiones de diseño y mejoramiento en construcciones en madera.

Palabras clave: estándares de construcción de viviendas; protección de la madera; resistencia al fuego

Abstract

The housing habitability must comply with safety, comfort and durability standards. In Chile the legal dispositions are in the General Ordinance Of Urbanism and Construction. The thermal comfort, mechanical verification, fire resistance and acoustic behavior standards have been reviewed and evaluated in wood prototypes manufactured and installed in 5 thermal zones of the country, research funded by FONDEF D09I1058. This information allowed the creation of Manufacture, Installation, and Technical Specifications manuals and a bill aimed to regulate Emergency housing and transitional settlements that shelter people after disasters. As an additional result, this experience has served to make a critical analysis of the compliance of the isolated standards for social housing and wood buildings, without integrating the sustainability and prioritization of criteria, such as the risk of toxicity of thermal and acoustic insulation, which have an impact on fire resistance. Wood protection does not always use the least harmful preservatives or water based coatings keeping in mind the construction sustainability. Mechanical verification is only required for large buildings, but not for all dwellings, although the inspectors do not have the competences to ensure their behavior against earthquakes and fires simultaneously. These analysis are incorporated in a multi-criteria discrimination ranking that helps the decision-making on design and improvement in wood constructions.

Keywords: housing construction standards; wood protection; buildings fire resistance

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Chile cuenta con un escenario que ofrece oportunidades para la construcción en madera, sin embargo aún persisten obstáculos por diversos motivos como la alta combustibilidad del material y la fragilidad o precariedad que se asocia a este tipo de viviendas.

En el mercado mundial hay un aumento importante del uso de madera en construcción en altura, así como su validación como material sustentable. Este hecho despierta interés, pero en Chile coexiste con la preocupación por incendios, condición sísmica natural de Chile y la diversidad de climas que caracterizan al país, por lo se que ha gatillado la interrogante de si son suficientes los criterios normativos para asegurar la calidad en las viviendas de madera, considerandose hasta ahora, una respuesta “en construcción”, que está atravesando por modificaciones normativas que se están adoptando. Si bien, existen normativas que cubren los ámbitos de resistencia al fuego, resistencia sísmica, confort térmico, entre otras. Es posible notar que la realidad nacional dista bastante de los avances que hay en los países desarrollados con alta cultura de construcción en madera, situación que se contrapone con el potencial que existe en el país por la disponibilidad del recurso y las regiones a las que pertenece.

La normativa vigente aún no es suficiente, y hasta ahora sólo se ha abordado desde la perspectiva de cada criterio técnico analizado en forma aislada: confort térmico, acústico o resistencia sísmica ó al fuego, aunque los arquitectos al diseñar debiesen chequear la compatibilidad, esto queda sujeto sólo a confiar en su experiencia, pero no a normativas que así lo exijan. (Garay, 2016).

Un proyecto de construcción pasa por una secuencia de eventos que parten con el diseño arquitectónico en donde se definen la ubicación y orientación de la(s) vivienda(s), limitación de espacios, planificación, tipo de uso, etc., por supuesto, siempre de acuerdo a las exigencias del mandante; luego el proyecto avanza al diseño estructural, en donde se especifica con mayor detalle los materiales y dimensiones de los elementos estructurales que le entreguen la resistencia mecánica adecuada; por lo que la construcción, debiera ser un fiel reflejo del diseño. El proyectista realiza esta labor basándose en la normativa legal vigente, en la medida de lo posible tomando en consideración recomendaciones del Código de Construcción Sustentable e incluso certificaciones de sustentabilidad y eficiencia internacionales, aunque estas últimas están muy fuera del alcance de proyectos de viviendas sociales.

Lo ideal es que durante todas las etapas de un proyecto, exista una integración y optimización del cumplimiento de los criterios técnicos, por lo que se requiere comunicación y coordinación entre proveedores, mandante, arquitecto, ingeniero y constructor con respecto a todos los elementos estructurales, no estructurales y materiales que se proyectan para la vivienda, y por cierto, debe conocerse el comportamiento que tendrán éstos ante la eventualidad de un incendio. Asumiendo que la obra deberá basarse en dos ejes estructurales ineludibles, la resistencia mecánica y la resistencia al fuego, por lo que los otros criterios deben cumplirse supeditados a los dos primeros.

Esto último, por lo general no es asumido con la relevancia que amerita, pues se diseña y construye bajo las normas , suponiendo una muy baja probabilidad de un incendio, sin embargo tras las experiencias se constata que hay varios aspectos no contemplados, tales como la toxicidad y opacidad de los humos, actualmente las medidas de resguardo que se toman son tan básicas como que el recinto cumpla con los requerimientos mínimos que exige la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), no tomando en consideración que una buena elección de los elementos que compondrán la vivienda, pueden por ejemplo, permitir que el incendio no se propague a otras zonas, o bien, que el incendio se apague por el hecho de contar con una buena elección de materiales que garanticen que el fuego no se expanda superficialmente.(Hernández, 2008)

La construcción de una vivienda se debe diseñar teniendo en cuenta la relación entre materiales en sus funciones como estructurales, de protección y preservación de la madera; así como la compatibilidad de los materiales aislantes con la resistencia al fuego, cualidades pirógenas y

térmicas de los elementos de construcción, de sus materiales de revestimiento, e incluso, estas cualidades respecto al alhajamiento de las viviendas.

La normativa chilena aborda el comportamiento al fuego de los materiales, elementos y componentes de la construcción de acuerdo a una serie de normas, tales como: normas generales sobre prevención de incendios en edificios, normas de resistencia al fuego, normas sobre cargas combustibles en edificios, comportamiento al fuego, señalización en edificios, elementos de protección y combate contra incendios, detectores de humo y rociadores automáticos. Sin embargo, no se cuenta con una norma que clasifique los materiales de revestimientos para que la OGUC pueda hacer alusión a ella, siendo estos los principales causantes de la propagación del fuego dentro del recinto en los primeros segundos, luego de haberse declarado el incendio (Hernández, 2008).

Es por esto último que este trabajo indaga y trae a la discusión normativas extranjeras y la compara con la normativa nacional, qué entre otras no aborda suficientemente las características pirógenas como temperatura de ignición del material, combustión espontánea, poder calorífico, velocidad de llama, índice de oxígeno, análisis de gases, etc. Y entre las características térmicas, la conductividad térmica y la dilatación térmica sólo se analizan bajo su rol en confort térmico, sin integrarse con su comportamiento frente al fuego. Tras el análisis, se plantea la importancia de una reestructuración de la normativa chilena, de manera que se adecúe a las exigencias de los distintos criterios técnicos y que contemple la necesidad de normalizar los tipos de materiales estructurales y de revestimiento que se deben evitar en estructuras destinadas a ciertos usos con el objeto de minimizar el riesgo de incendio, su velocidad de propagación, toxicidad, etc. Todo esto basado en una clasificación de materiales de construcción según su comportamiento al fuego siguiendo el ejemplo de las normativas extranjeras. Es por ello que nace el índice integrado de seguridad y sustentabilidad, una herramienta que pretende abordar una problemática que hasta el día de hoy, no ha sido solucionada, por medio de un completo análisis Multicriterio, que abarque las temáticas más importantes en la construcción y sea capaz de relacionarlas entre sí, para posteriormente obtener un indicador que señale la seguridad y sustentabilidad de las viviendas, con el objetivo de aumentar el conocimiento sobre la construcción en madera, sus reales ventajas y desventajas, además, de contribuir a la mejora de los requisitos ya propuestos en la matriz normativa chilena y el ordenamiento territorial.

La definición de criterios técnicos no debe entenderse como un mero mejoramiento visual de una vivienda, sino el cumplimiento estricto de un estándar, que se cumple según las disposiciones reglamentarias exigidas por la OGUC para las viviendas sociales, vale decir, se debe demostrar con pruebas y ensayos normalizados el cumplimiento de estos criterios. La validación es clave para transparentar el mercado, de esta forma se estará entregando un producto probado y validado a las personas más vulnerables de la sociedad. Ese es el concepto de estándar que se quiere traspasar a los proveedores y compradores de viviendas y edificaciones en madera, en general. Se requiere validar los criterios técnicos y poner la información a disposición de quienes la requieran, por ejemplo las autoridades para que se tomen decisiones informadas. Ya no es posible que los proveedores se limiten a ofrecer algún producto que presente ciertas mejorías atractivas y que el mercado se conforme con eso. Por ejemplo, cuando se debe cumplir con la normativa de confort térmico en el territorio nacional, significa que se debe probar que esto es efectivamente así, eso va a permitir crear un sistema de características comparables y verificables para el conjunto e interacción de diversos criterios técnicos, no de un por sobre el otro, tal como la inscripción de soluciones constructivas que existe en la división Técnica del MINVU.

1.1 Marco Conceptual y Normativo

Resistencia al Fuego. Es la cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio sin menoscabo de su función estructural y evitando que el incendio se transmita hacia el recinto contiguo al que el elemento separa. Esta cualidad se mide por el tiempo durante el

cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables.

Existen dos variables que influyen en la rapidez con que se producen las etapas de un incendio:

*La Carga de combustible contenida al interior de la vivienda (Velásquez, 2010).

*El Sistema constructivo utilizado, este puede oponerse en mayor o menor medida al avance de las llamas, dependiendo de los revestimientos de protección y barreras físicas utilizadas (Velásquez, 2010).

Primera etapa/ Inicio. En esta etapa ocurre el desarrollo inicial, existe oxígeno adecuado y la combustión es relativamente completa, debido a esto, el incendio es más rápido, las llamas más vigorosas y la emisión de humo y calor son mínimos. Las temperaturas que se alcanzan van desde los 35 a 400 °C (Velásquez, 2010).

Segunda etapa/ Crecimiento. Dentro de esta etapa el incendio es muy difícil de controlar y la combustión de los elementos inflamables dentro de la vivienda es muy rápida. Además, la capacidad de resistencia de la estructura se ve afectada negativamente a medida que continúa el incendio. Pronto se consume el oxígeno y descende su cantidad hacia el lugar del fuego. En ella aumentan las llamas y la temperatura sube de 400 a 550 °C (CORMA, 2007).

Tercera etapa/ Declinación Por ser una etapa de decline, el contenido de oxígeno ya no es suficiente para continuar con la combustión, por lo que el fuego retrocede hasta su punto de origen y posteriormente se mantiene en forma de brasas. La emisión de calor es muy elevada, con temperaturas de 550 hasta 1100 °C (CORMA, 2007).

En esta etapa, se presenta la parte más peligrosa, puesto que la combustión incompleta emite un humo denso, el cual se queda atrapado en el interior del edificio, en conjunto con los gases combustibles sobrecalentados, los cuales no llegan inflamarse por la falta de oxígeno. En el momento de que ingrese aire al lugar antes de evacuar los gases, se puede provocar una explosión súbita llamada back-draft (explosión de humo), la cual genera bastante daño a las estructuras y a las personas presentes (Velásquez, 2010).

La estructura de la vivienda colapsa y las llamas declinan, puesto que el material combustible ya ha sido consumido casi en su totalidad (Velásquez, 2010).

Artículo I. Propagación del fuego. En ocasiones, la falta de conocimientos presente en las personas les permite subestimar la peligrosidad de los humos, temperaturas y avance del incendio, por lo que, muchas veces la muerte de personas se debe a que estas vuelven a entrar en la vivienda incendiada, con el objetivo de salvar bienes materiales e incluso a seres queridos (Velásquez, 2010).

1.2 Carga combustible. Prevención de incendio en edificios. Clasificación de los edificios según su densidad de carga combustible. (NCh 1993 OF 87)

La posibilidad que un fuego inicial producido en un edificio se convierta en un incendio desastroso depende, entre otros factores, de la densidad de carga combustible que tenga y de su distribución. En consecuencia, es de utilidad clasificar los edificios según su densidad de carga combustible y su densidad de carga combustible puntual, la que variará según los materiales empleados en la construcción, en el alhajamiento y en el uso a que se destine el edificio.

En Chile, se establecen seis categorías para clasificar los edificios o sectores de ellos según su densidad de carga combustible y su densidad de carga combustible puntual máxima. Dicha clasificación se encuentra en la tabla 1. La determinación de la carga de combustible nace de la necesidad de estimar el riesgo de que un eventual fuego se convierta en incendio (NCh 1916Of 1999), esta carga depende de la cuantía y calidad pirógena de los materiales utilizados para la construcción de un edificio (NCh 1916Of 1999).

Tabla 1: Clasificación de edificios según su densidad de carga combustible puntual máxima.

Clasificación	Densidad de Carga Combustible MJ/m ²	Densidad de Carga Combustible Puntual Máxima MJ/m ²
Dc 1 (baja)	Hasta 500	Hasta 750
Dc 2 (media baja)	Más de 500 hasta 1000	Más de 750 hasta 1500
Dc 3 (media)	Más de 1000 hasta 2000	Más de 1500 hasta 3000
Dc 4 (media alta)	Más de 2000 hasta 4000	Más de 3000 hasta 6000
Dc 5 (alta)	Más de 4000 hasta 8000	Más de 6000 hasta 12000
DC 6 (especial)	Más de 8000	Más de 12000

Nota: Para clasificar un edificio o sector de él, se aplica la densidad de carga combustible mayor de ambas columnas de la tabla.

La norma chilena NCh 1914 OF 84 de Prevención de incendio en edificios Ensayo de reacción al fuego. Parte 1: Determinación de la no combustibilidad de materiales de construcción, establece un método de ensayo relativo a uno de los aspectos de la reacción al fuego de un material. Este método permite valorar la característica de dicho material a emitir, en las condiciones del ensayo, un calor superior a un nivel dado o a emitir, en las condiciones del ensayo, un calor superior a un nivel dado o a emitir llamas. Se aplica a los materiales o productos de construcción y/o edificación, que hayan recibido o no una capa de acabado; no es aplicable a la materia empleada en el acabado.

Actualmente existen estudios de carga combustible obligatorios para recintos industriales ya que la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) lo establece así, sin embargo, este tipo de estudios aún no son de carácter obligatorio para viviendas, por lo cual se pretende avanzar en la regulación de este ámbito.

Matriz multicriterio. La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas que ayudan a la toma de decisiones (Voogd,1983:21) que permiten jerarquizar los distintos problemas y las opciones de acuerdo a su grado de atracción (Janssen y Rietveld, 1990:129).

Los análisis multicriterio y los modelos de decisión multiobjetivo entregan un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación (Nijkamp y Van Delft, 1977) lo que en la planificación territorial, abarcaría cada una de las partes del territorio susceptibles de ser evaluadas (Gómez y Barredo, 2005: 48).

Existen dos tipos de criterios utilizados para la asignación de valores dentro de la matriz: Los factores y los limitantes; un factor corresponde a un criterio que aprueba o desaprueba la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración (Eastman et al., 1993:2) mientras que el limitante restringe la disponibilidad de las opciones en función de la actividad analizada, este criterio genera una capa binaria donde un código muestra la disponibilidad de las alternativas susceptibles a utilizar y otro muestra la no disponibilidad.

1.3 Normativa vigente respecto a la regulación del fuego en edificios

En la tabla 2, se resume la normativa oficial de prevención de Incendios en Edificios en Chile.

Tabla 2: Normas chilenas de seguridad y control de incendio exigibles por DS.594/99 MINSAL

NCh 382 of. 98 “Sustancias peligrosas - Terminología y clasificación general”
NCh 1411 of. 78 “Identificación de riesgos de materiales”
NCh 2120 /1 al 9/ of. 89 “Sustancias peligrosas – Parte 1 al 9: Clases 1 al 9”
NCH 2137 of. 92 “Sustancias peligrosas – Embalajes/envases – Terminología, clasificación y designación”
NCh 933 Terminología.
NCh 934 Clasificación de fuegos
NCh 935/1 Ensaye de resistencia al fuego - Parte 1: “Elementos de construcción general”
NCh 935/2 Ensaye de resistencia al fuego - Parte 2i: “Puertas y otros elementos de cierre”
NCh 2209 “Ensaye del comportamiento al fuego de elementos de construcción vidriados”
NCh 1914/1 Ensaye de reacción al fuego Parte 1: Determinación de la no combustibilidad de materiales de construcción”
NCh 1993 “Clasificación de los edificios según su carga combustible”
NCh 1974 “Pinturas - Determinación del retardo al fuego”
NCh 1977 “Determinación del comportamiento de revestimientos textiles a la acción de una llama”
NCh 1979 Determinación del comportamiento de telas a la acción de una llama.
NCh 2189 “Seguridad – Señalización de edificios – Condiciones básicas”

Tabla 3: Clasificación de Elementos constructivos según su resistencia al fuego

Clase	Duración (minutos)	
F0	≥ 0	< 15
F15	≥ 15	< 30
F30	≥ 30	< 60
F60	≥ 60	< 90
F90	≥ 90	< 120
F120	≥ 120	< 150
F150	≥ 150	< 180
F180	≥ 180	< 240
F240	≥ 240	

Fuente: NCh 1914 Of84

El cuestionamiento suele provenir de viviendas de madera mal diseñadas, que han mostrado llamas que se pueden propagar tan rápidamente que, en 2 minutos, se puede extenderse por toda la habitación donde empezó el fuego. En 3 minutos, todo lo que hay en una habitación puede calentarse lo suficiente como para estallar en llamas. En 5 minutos, dicha vivienda puede estar completamente en llamas (Velásquez, 2010).

Este análisis enmarca la importancia del diseño de las viviendas en cuanto a la disposición de los elementos y materiales. Tomando en cuenta los tiempos de resistencia que pueden soportar los elementos constructivos de una vivienda, incluyendo las condiciones exteriores e interiores de la misma, generando un índice integral que permita prevenir del riesgo, lo que ayudaría a generar construcciones mucho más sustentables en el tiempo y bastante más seguras para la población.

1.4 Objetivo General

Diseñar un índice integral de seguridad y sustentabilidad (IISS) para la construcción en madera para las zonas de interfaz urbano rural del Cajón del Maipo, en donde sea posible incluir los

criterios evaluativos de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), y el código de construcción sustentable (CCS) por medio de una matriz Multicriterio.

1.5 Objetivos Específicos

Realizar una revisión e integración de las normas técnicas vigentes para viviendas (OGUC, CCS) y comparar con las normas de protección contra el fuego para proponer modificaciones; Ensayar la metodología de análisis de la carga de combustible al interior y exterior de la vivienda y Matriz Multicriterio como un nuevo criterio técnico; Generar una matriz multicriterio incluyendo carga de combustible (interior y exterior), vulnerabilidad de infraestructura crítica, condiciones del lugar de emplazamiento para la elaboración del IISS.

2. MATERIAL

Vivienda Modular fabricada en Paneles SIP, instalada en la comuna de La Pintana, Región Metropolitana, Santiago, CHILE.

Se diseña, fabrica, instala y evalúa prototipos de vivienda modular que deberá cumplir con criterios técnicos mínimos de habitabilidad, que garantice protección a las personas en distintos ámbitos de seguridad y confort, por lo que se adoptó como materialidad principal para la fabricación de la vivienda los paneles SIP, que son descritos a continuación:

Los paneles SIP son paneles estructurales aislantes; conformados por un núcleo sin uniones, de material aislante térmico rígido y dos placas de comportamiento mecánico homogéneo; material que va unido con un adhesivo permanente de uso estructural, logrando un elemento solidario con capacidad para absorber solicitaciones estructurales. (INN, 2016). Las dimensiones en este estudio son 1,22 x 2,44 m, con un espesor total de 64 mm (en adelante SIP64), y su estructura básica está compuesta por:

- Alma: Poliestireno expandido de alta densidad (INN 1983, INN 1984) 15 kg/m³ y 45 mm de espesor.
- Caras: Tableros estructurales de madera tipo OSB Standard, 1,22 x 2,44 m y 9,5 mm.
- Adhesivo: En base a poliuretano mono componente fragüe bajo presión y a alta temperatura.

Los detalles de los paneles se muestran en la Figura 1.

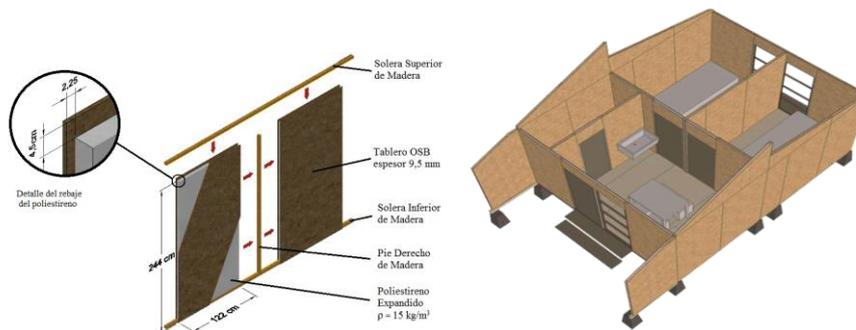


Figura 1: Sistema constructivo de muros y vista en 3D

Los prototipos se han construido con paneles SIP 64 mm en el espesor de aislación, incorporando una unión de pie derecho de 45 x45 mm (Figura 1), consecuentemente la resistencia mecánica de esta estructura es superior al sistema de unión patentado en 75 mm. Se sabe que los puentes térmicos se deben más a filtraciones de aire que al espesor del aislante, fallas de aislación, rendijas, ventanas y puertas, entre otras causas similares, entonces se privilegia evitar tales puentes

y se fija el espesor en 64 mm, manteniendo el espesor de los tableros OSB en 9,5 mm y el aislante en muros a 45 mm, al igual que los pies derecho y soleras superior e inferior. Esta estructura es liviana y fácil de montar (peso aproximado 32 Kg/ panel).

Además estas estructuras han sido diseñadas para que puedan ser fabricadas (Figura 2) en un taller con baja, mediana o alta implementación técnica, pues se estableció como propósito transferir la tecnología industrializada de fabricación de los paneles SIP a cualquier nivel de ejecución técnica. Particularmente se usa adhesivo de fraguado en frío mono componente aplicable con llana y presión ejercida por carga estática repartida transversalmente, así como prensas automatizadas de uso habitual en esta tecnología.

Los espesores de aislación en muros (45 mm) se mantienen constantes para todos los prototipos, independiente de la zona climática para evitar diferenciar más componentes, los que sí deben ser diferenciados son pisos y techumbres, como se explica más adelante.

Aunque el mapa climático de Chile describe zonas climáticas extremas en distintas partes del territorio, es un hecho que en cada región, así como hacia la cordillera, las zonas climáticas se vuelven más extremas, en un análisis global, se puede analizar el país en tres grandes zonas, así las viviendas en la zona norte, son preferentemente zonas climáticas 1 y 2, requieren ventilación, la protección exterior debe ser fundamentalmente frente a la irradiación solar, más que a efectos de lluvia, el confort térmico debe apuntar a proveer enfriamiento de día y mantención del calor en la noche. Otro aspecto relevante a contemplar es la ubicación en áreas de riesgo, peligros como excesiva carga combustible por zonas de interfaz urbano forestal o su cercanía a zonas de deslizamiento o inundaciones deben ser estudiadas en profundidad.

Por su parte en la zona central, mayoritariamente condiciones climáticas zona 3, 4 y 5, las condiciones de protección no son extremas, como fríos muy intensos o temperaturas muy altas, pero existen ambas condiciones además de lluvia que puede ser abundante. Por lo que la habitabilidad de estas viviendas debe procurar protección frente a diversos efectos climáticos. En concreto, la protección exterior debe ser resistente a lluvia y temperaturas altas y bajas, irradiación solar intermedia, los cambios climáticos entre invierno y verano son más marcados, por lo que debe procurarse un buen sellado y una buena condición de ventilación para cubrir ambas necesidades cuando el criterio a resolver es el confort térmico.

En el extremo sur, preferentemente zonas climáticas 6 y 7, las condiciones son más lluviosas, menores cambios de temperatura entre el día y la noche. Sin embargo, debido al cambio climático se observa temperaturas inusualmente altas si se analizan estadísticas históricas, por lo que la ventilación en verano es un tema de preocupación, pero es más gravitante la protección al frío en estas zonas, por lo que se considera más relevante la estanquidad al agua y sellado como criterios para estas condiciones. Estos criterios, se muestran en las Figura 2 con las diferencias que tendrán las viviendas según la condición climática.



Figura 2: Detalles terminaciones exteriores Zona Norte, Centro y Sur

En la Figura 3 se presenta los planos de arquitectura y una de las viviendas fabricadas.



Figura 3: Vista en planta y final.

Para las terminaciones exteriores de protección superficial se protegió los muros y la madera con esmalte al agua a dos manos, más aplicación de estuco elastómero. En cambio, en la zona sur, se revistió los muros con zinc 5V y luego se terminó con pintura del tipo acrílica especialmente formulada para el zincalum aplicada a dos manos, tanto en techumbre como en muros.

Pequeñas modificaciones fueron introducidas a los diseños, la conformación de los pisos cambia según los requerimientos de cada zona, las ventanillas superiores de ventilación (Figura 2), son más altas y se pueden abrir en la zona norte y central, en el sur son más bajas y permanecen cerradas, permitiendo el paso de luz. Asimismo, en el norte las puertas de acceso traseras de la vivienda son hasta el piso, permitiendo mejorar la ventilación y en el sur sólo son hasta la mitad del muro. Así mismo la terraza frontal ha sido protegida de la lluvia directa en el extremo sur, en cambio en el norte permanece completamente abierta.

OGUC establece para las viviendas sociales en Chile la obligatoriedad de uso de madera tratada para todos los componentes estructurales, en piso, muros y techo, esta condición no siempre se cumple para todo tipo de viviendas, está más arraigado el cumplimiento para la fabricación de vigas impregnadas para pisos, cerchas y menos arraigado en tabiquería de muros. Para esta investigación, en donde es importante equilibrar los costos y los beneficios, se optó por dar cumplimiento a la normativa en pisos, incorporando vigas impregnadas de 2x6” y el resto de la madera utilizada correspondió a madera seca dimensionada sin impregnar ya que la madera siempre queda protegida de exposición directa a la intemperie.

3. MÉTODO

Para generar el índice integrado es necesario realizar ciertos pasos, que se detallan a continuación:

Carga de combustible. Para hacer el cálculo de la carga de combustible es necesario realizar con antelación un inventario del lugar, esto implica realizar un dimensionamiento de la superficie del recinto o de las superficies, comenzando por la medición de altura de las habitaciones, a esto se le debe incluir las características de los materiales de cierre, separaciones y tabiquería (NCh 1916.Of99). Por último, se debe especificar los elementos almacenados en el interior de cada compartimiento, diferenciando por tipo de objeto y material de composición (NCh 1916.Of99).

Una vez reconocido los materiales de composición, se les asigna un valor predeterminado de calor de combustión, el cual está designado según la Norma Oficial Chilena NCh 1916.Of99 “Prevención de incendios en edificios - Determinación de cargas combustibles”.

La carga de combustible se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$C = Cc_1 * M_1 + Cc_2 * M_2 + \dots Cc_n * M_n$$

Fuente: INN, 1999.

En donde

C: Es la carga de combustible expresada en MJ o Mcal.

Cc1...Ccn: Corresponde a calores de combustión de los materiales combustibles integrantes, expresados en MJ/kg o Mcal/kg.

M1...Mn: Masas de los materiales combustibles integrantes, de calores de combustión Cc1... Ccn respectivamente, expresadas en kg.

Para su utilización se debe conocer previamente la cantidad de los materiales involucrados, además de la composición de los objetos. De esta forma, se obtiene un cálculo estimado de la carga de combustible para un lugar determinado. Para finalizar se divide el total de la carga combustible por el área del lugar y así se obtiene la densidad media de carga de combustible.

Para el cálculo de la densidad de carga de combustible puntual máxima se utiliza la norma NCh 1993.Of.98, que establece un método para corregir eventuales distorsiones debido a almacenamientos puntuales. Para ello, se considera un área de 2 x 2 m (4 m²) donde exista la mayor densidad de carga combustible.

Matriz Multicriterio. El desarrollo de la matriz implica ingresar los criterios (Tabla 3) que deben estar presentes en la evaluación y que permiten generar un rating de preferencias (Tabla 4) utilizando los índices aleatorios de Satty (Tabla 5).

Tabla 3: Criterios técnicos obligatorios y Voluntarios

Criterios técnicos obligatorios OGUC	Criterios incorporados en CCS
1. Resistencia sísmica	6. Entorno inmediato
2. Resistencia al Fuego	7. Impacto ambiental
3. Confort térmico	8. Residuos
4. Hermeticidad agua y aire	9. Materiales
5. Iluminación y Ventilación	10. Energía

Tabla 4: Rating de Comparación

Rating	Comparación
1	igualmente preferida
3	moderadamente preferida
5	fuertemente preferida
7	muy fuertemente preferida
9	extremadamente preferida
2,4,6,8	rating recíproco

Fuente: Elaboración propia

Fuente: OGUC y Códigos de Construcción Sustentable. MINVU. 2016.

Tabla 5: Índice aleatorio de Satty

Total de alternativas	Índice aleatorio (RI)
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41

Fuente Saaty, 1980

Luego de definir los criterios se procede al modelamiento del índice, para ello se utiliza el modelo de proceso analítico jerárquico de Thomas Saaty, que se divide en 8 etapas.

- Descomponer el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados: Se deben identificar a) meta general, b) los criterios ($i=1,2,3\dots m$) c) las alternativas ($j=1,2,3\dots n$). Para cada uno de los “m” criterios se deben repetir las etapas (2) a (5):
- Desarrollar la matriz de comparación por pares (MCP) en este paso se obtienen los ratings de importancia relativa entre las alternativas consideradas para cada uno de los criterios. Cuando se realiza la comparación de una alternativa con si misma se le asigna el valor 1. Para ello se debe utilizar una escala que se señala a continuación:
- Desarrollar la matriz normalizada (MCN) dividiendo cada número de una columna de la MCP, por la suma total de la columna.
- Generar el vector de prioridad para el criterio calculando el promedio de cada fila de la MCN. Este promedio por fila representa el vector de prioridad de la alternativa con respecto al criterio considerado.
- La consistencia de las opiniones utilizadas en la MCP puede ser determinada a través del cociente de consistencia (RC). Un CR inferior a 0,10 es considerado aceptable. Para aquellos los casos en que CR sea mayor a 0,10, se deberá considerar nuevamente las ponderaciones. *El Cálculo del Cociente de consistencia se detalla más abajo.
- Luego de que la secuencia (2) -(3) -(4) -(5) ha sido ejecutada para todos los criterios, los resultados obtenidos en (4) son resumidos en una matriz de prioridad (MP), listando las alternativas por fila y los criterios por columna.
- Desarrollar una matriz de comparación de criterios por pares de manera similar a lo que se hizo para las alternativas en (2)- (3)- (4)
- Desarrollar un vector de prioridad global multiplicando el vector de prioridad de los criterios (7) por la matriz de prioridad de las alternativas (6).

La determinación del cociente de consistencia, se realiza por medio de 6 etapas:

- Para cada línea de la matriz de comparación por pares, determinar una suma ponderada en base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa correspondiente.
- Para cada línea, dividir su suma ponderada por la prioridad de su alternativa correspondiente.
- Determinar la media λ máx del resultado de la etapa (2).
- Calcular el índice de consistencia para cada alternativa $CI = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1}$
- Determinar el índice RI de la tabla 5.
- Determinar el cociente consistencia (CR): $CR = CI/RI$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se diseñó, fabricó y evaluó viviendas modulares fabricadas en paneles SIP. Basado en Especificaciones técnicas que se generaron, se sistematiza la información según el índice que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Índice de Especificaciones técnicas consideradas en las Viviendas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
1.1 Introducción	3.4. Revestimientos Exteriores
1.2 Gastos adicionales y obras preliminares	3.5 Tratamiento de Fachadas
2 Obra gruesa	3.6. Revestimientos Interiores
2.1. Excavaciones y movimientos de tierra	3.7 Cielos
2.2 Estabilización del terreno	3.8 Pavimentos
2.3 Fundaciones y Cimientos	3.9 Puertas
2.4 Sobrecimientos	3.10 Ventanas
2.5 Bases de Pavimentos	3.15 Pinturas y Barnices
2.6 Estructura Resistente	4 Instalaciones
2.7 Elementos verticales no soportantes	4.1. Agua Potable
2.10 Estructura de Techumbre	4.2. Instalación Alcantarillado
2.11 Cubiertas	4.3. Artefactos Sanitarios
3 Terminaciones	4.4. Evacuación de Aguas Lluvias
3.1. Comportamiento al Fuego	4.6. Instalaciones Eléctricas
3.2. Aislación Térmica	4.9. Instalaciones domiciliarias de combustible
3.3. Aislación Acústica	5 Planimetría

Tanto las Edificaciones como los Elementos Constructivos Prefabricados que se integren al proyecto deben cumplir con los criterios técnicos que se especifican en la Tabla 7.

Tabla 7: Ponderaciones para Índice de Seguridad y Sustentabilidad (IISS)

Criterio Técnico	Escala Edificación	Escala Elemento	Nivel	Ponderación IISS
1	Resistencia Mecánica, de la Edificación Exigible sólo a grandes obras de Ingeniería	Ensayos de Resistencia Mecánica, del elemento constructivo elegido. Panel SIP 64	B	0,3
2	Elementos y Normativas de Resistencia al Fuego Exigibles sólo a edificios en Altura y Grandes Obras	Resistencia al Fuego, del elemento constructivo elegido Panel SIP 64	B	0,3
3	Estudio del Comportamiento Térmico. Exigibles a Todas las Viviendas sociales	Comportamiento Térmico del elemento constructivo elegido. Panel SIP 64	B	0,3
4	Verificación estructural Exigible sólo a estructuras de mayor envergadura	Verificación estructural del elemento constructivo elegido. Panel SIP 64	M	0,6
5	Comportamiento acústico, según condición de uso: Hospitales, discoteques, viviendas	Comportamiento acústico del elemento constructivo elegido. Panel SIP 64	M	0,3

- *(B: Básico, M: Medio o A: Avanzado)

Evaluaciones Técnicas. 1.- Verificación Mecánica. La Figura 4, resume los resultados de las evaluaciones y estandarización mecánica de los elementos estructurales de la Vivienda, para este ejemplo Paneles SIP.

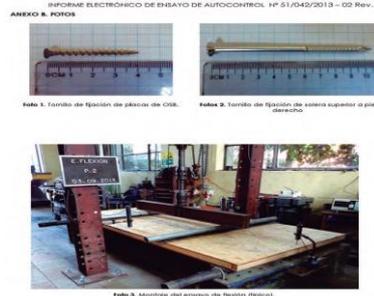


Figura 4: Resultados evaluaciones mecánicas

2. Verificación Resistencia al Fuego: La Figura 5, resume los resultados de las evaluaciones de resistencia al fuego de los elementos estructurales de la Vivienda, para este ejemplo Paneles SIP.



Resumen de ensayo de resistencia al fuego según NCH2663.01 OK 97. Incluye un detalle constructivo y una tabla de clasificación.

Elemento	Clasificación
1. Solera (no protegida)	R180
2. Montantes	R180
3. Codo izquierdo	R180
4. Codo no protegido	R180
5. Accesorio	R180



Figura 5: Resultados evaluaciones Resistencia al Fuego

3. Verificación Térmica. La Figura 6, resume los resultados de las evaluaciones confort térmico evaluado en la vivienda, para este ejemplo fabricada con Paneles SIP.

1.2. RESULTADOS Y EVALUACION IN SITU

1.2.1. Grados día de calefacción

La reglamentación térmica nacional con la cual se trabaja, divide el país en 7 zonas de acuerdo a la temperatura media del lugar o más bien con respecto a la diferencia de temperaturas entre una interior de base y la temperatura exterior por medio del método de Grados- Día correspondiente al Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo (Decreto Supremo 47, 2006).

El conteo del Grado-Día permite estimar los requerimientos energéticos anuales en un lugar geográfico dado. El cálculo del Grado-día para calefacción de un día cualquiera, es la sumatoria de la diferencia de temperatura entre la temperatura base o de confort y la temperatura ambiente en cada hora del día. Cabe destacar que si la temperatura ambiente es superior a la temperatura base se sumará cero.

Por ende se calcula los Grados-Día de cada localidad donde se ubican las viviendas de estudio, obteniendo los resultados mostrados en Tabla N°1, y graficados en Figura 1 y Figura 2:

Tabla 1: Grados día mensual de 5 zonas de estudio, bajo condiciones de T° media mensual <15°C.

[Grados-Día]	Las Cardas Zona Térmica 2	Las Balbas Zona Térmica 3	Santiago Zona Térmica 3	Pantamillos Zona Térmica 4	Frutillar Zona Térmica 6
Grados-Día Mensual	648	825	892	1171	1535
Grados-Día Real (Condición T° med mensual <15°C)	232	694	678	807	1328

Como se observa en la Tabla 1, los resultados expuestos corresponden al ajuste realizado al no considerar los meses cuya temperatura media fuera mayor a la temperatura de base, es decir, 15°C.

En la Figura 1 se puede apreciar que existe una correspondencia total de los resultados obtenidos con la zonificación térmica chilena dependiendo de su ubicación geográfica.



Figura 1: Grados día mensual sin condición de T° media mensual <15°C.

En Figura 2 se puede apreciar una disminución sustancial de los grados día de calefacción al no considerar los Grados-Día de los meses en los cuales se registra una temperatura media mensual mayor a la temperatura base (15°C).



Figura 2: Grados día mensual condición, T° media mensual <15°C.

Se obtiene una tendencia clara que se muestra en los análisis particulares de cada una de las zonas, el mayor porcentaje de Grados-Día de calefacción se tiene en el mes de Julio registrándose valores cercanos al 20% en Frutillar, donde existen la mayor distribución de Grados días de calefacción en el año, y mayores al 53% en las Cardas donde solo se requieren dos meses de calefacción.

En la Figura 3 se expone un promedio de los grados día de calefacción de las 5 zonas donde se encuentran emplazadas las viviendas. Se desprende de esta Figura que los meses en promedio que necesitan una mayor calefacción Agosto, Junio y Julio.

Grados día mensual (Promedio 5 localidades)

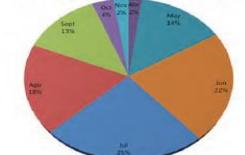


Figura 3: Grados día mensual promedio de 5 localidades.

MANUAL DE FABRICACIÓN VIVIENDA DE EMERGENCIA

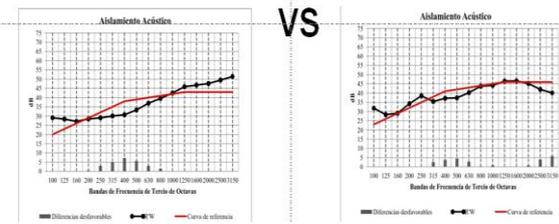
Figura 6: Resultados evaluaciones confort térmico

4. Verificación Acústica. La Figura 7, resume los resultados de las evaluaciones acústica de la vivienda, para este ejemplo fabricada con Paneles SIP.

MURO PAREADO PANEL SIP + YESO CARTÓN (128 MM) VS MURO DE LADRILLO

R'w (C ; Ctr)	39(-1;-4)	dB
R'w + C	38	dB(A)
R'w + Ctr	35	dB

R'w (C ; Ctr)	42(-1;-3)	dB
R'w + C	41	dB(A)
R'w + Ctr	39	dB



PARED DIVISOR DE AMBIENTE DE PANEL SIP VS PARED YESO CARTÓN VIVIENDA SOCIAL

R'w (C ; Ctr)	30(0;-1)	dB
R'w + C	30	dB(A)
R'w + Ctr	29	dB

R'w (C ; Ctr)	40(-1;-3)	dB
R'w + C	39	dB(A)
R'w + Ctr	37	dB

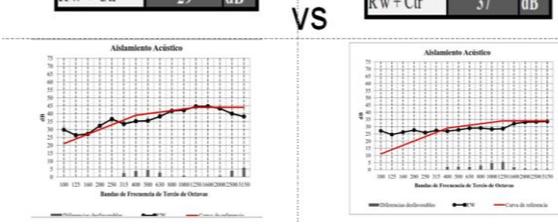


Figura 7: Resultados evaluaciones confort acústico

La Tabla 8 resume la Densidad de Carga Combustible Media y Puntual Máxima para la Vivienda.

Tabla 8: Resumen comparativo de carga combustible calculada/m²

Sector	Densidad de carga combustible media (mj/m ²)	Densidad de carga combustible puntual máxima (mj/m ²)
Compartimiento	488	278.411

Matriz Multicriterio. Jerarquización de Factores por medio de comparación por pares de Satty. Razón de Consistencia = 0,06 (Aceptable).

Tabla 9: Matriz de jerarquización de factores

Crterios Resistencia al Fuego	Normativa Vigente NV	Actualización Normativa AN	Código de Construcción Sustentables CCS
Normativa vigente NV	1	1/3	0,125
Actualización Normativa AN	3	1	1/6
Código de Construcción Sustentables CCS	8	6	1
RC	0,063	se acepta	

Factores de Ponderación por criterio y normalizados para cada Variable incluida

0,7741935 **0,2580645**

0,8181818 **0,2727273**

0,6666667 **0,2222222**

Se crea un Índice Integrado de Seguridad y Sustentabilidad empleando ponderadores para los subcriterios, lo que implica el potenciamiento económico de la madera bajo estándares medibles

IISS: SUMATORIA DE MATRICES SEGÚN CRITERIOS, UBICACIÓN, CC EXTERNA

MMC1 = NV= 10

MMC1 = NV+AC = 10 +10=20

MMC1 = NV+AC + CCS = 10 +10+10=30

Como Ejemplo:

MMC1 puede ser equivalente a la evaluación de una vivienda social unitaria

MMC2 puede ser equivalente a la evaluación de la ubicación y del entorno inmediato de una vivienda social unitaria (incluye factores como factor de riesgo por área de emplazamiento, carga combustible por biomasa u otros).

MMC3 puede ser equivalente a un vivienda que incorpora recomendaciones de los CCS: preservante, pinturas amigables con el ambiente (base agua), edificio construido en madera, entre otros.

CONCLUSIONES

Este trabajo, más allá de la entrega de datos puntuales, pretendió crear elementos nuevos de validación de la madera puesta en servicio, mediante la evaluación y estandarización de los elementos constructivos a través del IISS, con ello la industria de la construcción podrá emplear un material homogéneo, cuyas características son conocidas y valoradas por el mercado.

Aporta el IISS para la agenda de construcción sustentable: soluciones habitacionales medibles de mejor calidad, más eficientes, que otorguen mayor confort y calidad de vida a las familias que las habiten.

Contribuye a aumentar la productividad del sector: mediante criterios de sustentabilidad medibles: (disponibilidad + calidad + costos): ello implica superar brechas normativas; romper prejuicios; incorporar tecnología. incorporación de estandarización.

Permite productores informados de las necesidades: Dar a conocer los requisitos que deben ser satisfechos por los proveedores de manera que se acerquen a satisfacer necesidad en el encadenamiento productivo

REFERENCIAS

- [1] **CORMA.** 2007. Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera. Manual de Construcción de Viviendas de Madera. Unidad 15: Protección Contra El Fuego. p. 375 – 397.
- [2] **EASTMAN, J. R., KYEM, P. A., TOLEDANO, J. y JIN, W.** 1993. Gis and decision Making, United Nations Institute for training and Research (UNITAR), Ginebra.
- [3] **GARAY, R.M; F. PFENNIGER; R, TAPIA; J, LARENAS.** 2014. PROYECTO FONDEF. DO9I1058: Desarrollo de bases técnicas y normativas para prototipos de vivienda modular, con énfasis en soluciones de emergencia, bajo criterios técnicos, geográficos y económicos que mejoren su eficiencia y funcionalidad. INVI FAU Universidad de Chile. Santiago, Chile. (Descargable en: <http://www.forestal.uchile.cl/investigacion/proyectos/114518/proyecto-fondef-d09i1058>).
- [4] **GARAY, M. Y SILVA, R.** 2011. Comportamiento de tableros a base de madera, durante ensayos de atenuación ultrasónica. Revista de la Construcción 10(3). 41-51
- [5] **GARAY, R.** 2016. La problemática de la protección contra el fuego en la construcción de viviendas y su relación con otros criterios técnicos. V Congreso Red Iberoamericana de protección de la madera. RIPMA. Colonia, Uruguay.
- [6] **GÓMEZ, M. y BARREDO, J.** 2005. “Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio”, 2ª Edición, México. 279p.
- [7] **HERNÁNDEZ, J.** 2008. Recopilación de información sobre comportamiento al fuego de elementos de construcción de viviendas. Tesis Ing. civil industrial. Universidad de Chile. 241p.
- [8] **INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (CHILE).** Prevención de incendio en edificios – Ensayo de reacción al fuego- Parte 2: Determinación del calor de combustión de materiales en general. NCh1914/2. Santiago, Chile, 1985. 8p
- [9] **INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (CHILE).** Prevención de incendio en edificios - Clasificación de los edificios según su densidad de carga combustible media y densidad de carga combustible puntual máxima. NCh 1993.Of.98. Santiago, Chile, 1993. 7p
- [10] **INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (CHILE).** Prevención de incendios en edificios- Determinación de cargas de combustibles. NCh1916 Of1999. Santiago, Chile, 1999. 17p
- [11] **JANSSEN, R. y RIETVELD, P. (1990).** “Multicriteria Analysis and GIS: An Application to Agricultural Landuse in The Netherlands”, en Scholten, H. y Stillwell, J. (eds) Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning. Dordrecht, Kluwer.
- [12] **ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES.** Título 4: De la Arquitectura. Capítulo 3: De las Condiciones de Seguridad Contra Incendio. 2009.
- [13] **SAATY, T. (1980).** The analytical Hierarchy process. New York, Mc Graw Hill.
- [14] **VELÁSQUEZ, M. CRISTÓBAL J.** “Diseño de los elementos constructivos de una vivienda de madera unifamiliar aislada según requerimientos mínimos de resistencia al fuego”. Tesis Ingeniero Constructor). Valdivia, Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil, 2010. 89 p.
- [15] **VOOGD, H. (1983).** Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. London, Pion.