UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO – CHILE

"ÁNALISIS DE EFICIENCIA ENERGETICA DE MURO CON FARDOS DE PAJA Y REVOQUES DE TIERRA CRUDA"

VÍCTOR EDUARDO PONCE YÁÑEZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TITULO DE CONSTRUCTOR CIVIL

PROFESOR GUIA: GUSTAVO SARABIA

PROFESOR CORREFERENTE: JUAN JOSÉ GARCÍA PÉREZ

ENERO - 2017

Agradecimientos

Resumen

Estudios recientes muestran que la industria de la construcción es responsable del 30% de la contaminación a nivel mundial. En el ciclo de vida de una vivienda en Chile, el 34,61% de la energía corresponde a la extracción y fabricación de los materiales, el 0.01% a la construcción, y el 65,38% al uso y funcionamiento de las construcciones. Disminuir la energía que se usa en una vivienda durante su ciclo de vida, pasa por usar materiales que permitan ser más eficientes energéticamente. Actualmente en Chile, se creó la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, que es llevada a cabo por el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y el Ministerio de Medio Ambiente con el objetivo de coordinar, promover, difundir y fomentar la construcción sustentable en el país, por medio de incentivos al emprendimiento en el área de la construcción sustentable, así como también por medio de fondos concursables públicos y fomento a la innovación en la construcción por medio de I+D en tecnología sustentable.

El objetivo de la presente memoria, es realizar el análisis de la eficiencia energética del sistema constructivo de un muro con fardos de paja, a fin de cumplir con la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable y promover la Innovación en el área de la Construcción, mostrando la viabilidad del uso de éste sistema constructivo.

Para lograr el objetivo propuesto, se realizará la comparación de eficiencia energética de un muro de fardos de paja contra 5 sistemas constructivos, los cuales son: muro de albañilería con ladrillo, muro de albañilería con bloques de hormigón celular, muro con panel estructural Covintec, muro con panel estructural SIP y muro con estructura de madera y aislación térmica de lana mineral. Para ello se realizará un análisis técnico, describiendo los materiales y como se ejecuta cada sistema, se realizará un análisis de eficiencia energética, describiendo las propiedades térmicas de cada sistema, cuantificando monetariamente la energía que pierden, comparando los costos de construcción de cada sistema y por ultimo haciendo una comparación por medio de fichas técnicas que muestran los resultados analizados para poder realizar una comparativa más fácil y obtener conclusiones al respecto.

Abstract

Recent studies show that the construction industry is responsable for the 30% of global pollution. When we look at the Chilean housing's lifecycle, we find that almost 35% of the whole energy used correspond to raw materials extraction and its manufacturing process; more than 65% represents the maintence and use of the construction, but only 0,01% is the construction itself. Decreasing the energy invested in the housing lifecycle, nowadays, is a huge challenge. The key is to learn to chose more energic eficent materials. At present in Chile, has been created the National Strategy of Sustainable Construction, which it has been permorming in hands of the Public Works Ministry, Housing and Urban Development Ministry, Energy Ministry and also Environment Ministry with the objetive of coordinating, spreading and encourage sustainable construction in the country, through incentives to promote entrepreneurship, as well as through public competitive grants and promotion of innovation in the construction through I+D in sustainable technology.

The objective of the present report, is the analysis of the efficiency of the system of the construction of a wall with bales of straw, in order to comply with the national strategy of sustainable construction and promote innovation in the area of construction, showing the feasibility of using this construction system.

To achieve the proposed objective, we are going to compare the energy efficiency of a wall of bales of straw against 5 different building systems, which are: wall masonry with brick, masonry with blocks of cellular concrete wall with structural panel Covintec, SIP structural panel wall and wall with wood structure and thermal insulation of mineral wool. This analysis will be a technical one, describing the materials in details and of course, the process inself as a whole. An energy efficiency analysis will be also necesary, describing the thermal properties of each system, monetarily quantifying energy wasting, compare the costs of construction of each system and finally we are going to draw conclusive findings from a technical data sheets comparision.

Glosario

Arquitectura bioclimática: Consiste en el diseño de edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos) para disminuir los impactos ambientales, intentando reducir los consumos de energía. La arquitectura bioclimática está íntimamente ligada a la construcción ecológica, que se refiere a las estructuras o procesos de construcción que sean responsables con el medioambiente y ocupan recursos de manera eficiente durante todo el tiempo de vida de una construcción. También tiene impacto en la salubridad de los edificios a, través de un mejor confort térmico, el control de los niveles de CO2 en los interiores, una mayor iluminación y la utilización de materiales de construcción no tóxicos avalados por declaraciones ambientales.

Barrera de humedad: capa de material generalmente de espesor pequeño que ofrece una alta resistencia al paso de agua lluvia y una baja resistencia al paso de vapor.

Barrera de vapor: capa de material generalmente de espesor pequeño, que ofrece una alta resistencia al paso de vapor. Para que un material se considere barrera de vapor, su resistencia al paso de vapor debe ser mayor a 10 MNs/ g.

Botadero: Se entenderá por Botadero todo lugar físico, aprobado por la Inspección Fiscal, destinado a depositar desechos provenientes de la construcción o mantenimiento de un camino o carretera. No se aceptará en un botadero ningún tipo de producto derivado del petróleo, como aceites, asfaltos, etc. Del mismo modo, no se permitirán desechos peligrosos, tales como baterías de vehículos, pilas, etc., los que deberán ser enviados a lugares autorizados y especializados en el tratamiento de estos contaminantes.

Cantería: separación entre ladrillos o bloques, en donde va el mortero de pega que une los elementos que conforman el muro. Esta puede ser cóncava, en “V”, llana o plana. En el caso de la albañilería, se le conoce como tendel en la separación horizontal y llaga en la separación vertical.

Complejo: conjunto de elementos constructivos que forman parte de una edificación, tales como, complejo de techumbre, complejo de entrepiso, etc.

Complejo de muro: conjunto de elementos constructivos que lo conforman, tales como estructura, revestimiento exterior e interior, aislación térmica y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Complejo de piso: conjunto de elementos constructivos que lo conforman tales como estructura, revestimiento de piso, aislación térmica y de la humedad, ya sea piso ventilado o

piso en sótano. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior también se considerarán como pisos.

Complejo de techumbre: conjunto de elementos constructivos que lo conforman tales como cielo, cubierta, aislación térmica, cadenetas, vigas y cuyo cielo tenga una inclinación de 60º sexagesimales o menos medidos desde la horizontal.

Complejo de ventana: Conjunto de elementos constructivos que conforman los vanos traslúcidos de la edificación, tales como marco y panel vidriado (practicable o no) y que forman parte de los complejos de muros, puertas, pisos o techumbre.

Condensación: Cambio de estado de la materia de forma gaseosa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización

Condensación Intersticial: Fenómeno de condensación que se produce en el interior de un material debido a una brusca caída de temperatura entre uno de sus lados y el otro. Este fenómeno es típico en la mayoría de los aislantes térmicos.

Conductividad térmica "λ": Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Para un material isótropo la conductividad térmica es un escalar λ definido como:

$$\lambda = \frac{Q}{|\Delta T|}$$

Donde:

- λ: Conductividad térmica [W/mK].
- *Q:* flujo de calor [W/m].
- ΔT: gradiente de temperatura [K].

Cuanto mayor sea la conductividad térmica de un material, será mejor conductor del calor. Cuanto menor sea, el material será más aislante.

Edificación de uso residencial: aquellas que contemplan preferentemente el destino vivienda, e incluye hogares de acogida, así como edificaciones y locales destinados al hospedaje, sea éste remunerado o gratuito.

Elemento: conjunto de materiales que dimensionados y colocados adecuadamente permiten que cumplan una función definida, tal como: muros, tabiques, losas y otros.

Endentado: terminación lateral de un muro de albañilería, donde los ladrillos o bloques que conforman el muro terminan sobresalientes del eje vertical lateral de manera intercalada según

la configuración de la albañilería, dejando una apariencia “dentada” en la vertical lateral del complejo.

Envolvente térmica: elementos perimetrales de las edificaciones que la separan del ambiente exterior (aire, terreno, agua u otro edificio no acondicionado), de un espacio contiguo abierto o un espacio no acondicionado.

Espacio no acondicionado: espacio que no dispone de un sistema de calefacción y/o refrigeración. Los entretechos ventilados y la parte hacia el exterior de muros ventilados se consideran espacios no acondicionados

Huella de Carbono: Es la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Tal impacto ambiental es medido llevando a cabo un inventario de emisiones de GEI o un análisis de ciclo de vida según la tipología de huella, siguiendo normativas internacionales reconocidas, tales como ISO 14064, PAS 2050 o GHG Protocol entre otras. La huella de carbono se mide en masa de CO2 equivalente. Una vez conocido el tamaño y la huella, es posible implementar una estrategia de reducción y/o compensación de emisiones, a través de diferentes programas, públicos o privados.

Isótropo: se dice de un material que presenta las mismas propiedades, independientemente de la dirección en que se midan.

Piso ventilado: el que se mantiene por encima del nivel de terreno, por ejemplo, apoyado sobre viguetas, vigas y emparrillados. Se aplica también al modelo de piso clásico sobre cámara de aire en la que el espacio bajo el piso está ventilado o no ventilado.

Puente Térmico: parte de la envolvente térmica de la edificación, en que la resistencia térmica uniforme es drásticamente modificada por:

a) Penetración total o parcial de la envolvente térmica del edificio por materiales con una conductividad térmica distinta, como elementos estructurales o tuberías de las instalaciones; y/o

b) Una diferencia entre las áreas interna y externa, como la que ocurre en las conexiones de muros/pisos/techos y los elementos que conforman los vanos de la edificación.

Resistencia térmica: oposición al paso de calor que presentan los elementos de construcción. Se expresa en (m^2 K/W) y es inverso de la transmitancia térmica del elemento. En elementos compuestos, es la suma de las resistencias de cada capa especial del elemento. A mayor resistencia térmica, mejor aislante térmico será el elemento.

Transmitancia térmica, U: flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en (W/m^2 K). A menor transmitancia térmica, mejor aislante térmico será el elemento.

Sistemas Constructivos (SC): Se definen como un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular. Lo que diferencia un sistema constructivo de otro es la forma en que se ven, como se comportan tanto estructuralmente como térmicamente los elementos de la edificación, como son: pisos, muros, techos y fundaciones. El sistema constructivo no siempre define la edificación en su totalidad, es más común que defina cada una de sus partes. Para cada sistema constructivo, se usan diferentes procedimientos de construcción, así como también diferentes materiales, otorgando variación en el funcionamiento estructural y térmico, variando también el precio de un sistema constructivo a otro. Se pueden diferenciar 2 tipos de sistemas constructivos; tradicionales y no tradicionales.

Sistemas constructivos tradicionales (SCT): Son aquellos sistemas constructivos, que se rigen en su construcción y diseño por normas chilenas o por normas extrajeras internacionales reconocidas y utilizadas en Chile.

Sistemas constructivos no tradicionales (SCNT): Son aquellos sistemas constructivos, compuestos por materiales innovadores en Chile y/o materiales conocidos, que no se rigen por normas chilenas o normas internacionales reconocidas y utilizadas en Chile

.

Índice General

Agradecimientos I

Resumen II

Abstract III

Glosario IV

Índice General VIII

Índice de Tablas X

Índice de Imágenes XII

Índice de Graficas XIV

Introducción XV

Antecedentes generales XV

Eficiencia Energética XVII

Construcción Sustentable en Chile XVIII

Passivehaus XXII

Reglamentación Térmica en Chile XXIV

Calificación Energética de Viviendas (CEV) XXV

Análisis del ciclo de vida ACV de una vivienda XXVI

Construcción con fardos de paja en el mundo XXX

Objetivos 1

Objetivos Generales 1

Objetivos Específicos 1

Análisis técnico de los sistemas constructivos 2

Sistemas constructivos seleccionados 3

Muro de albañilería confinada con ladrillo térmico 3

Muro con panel Covintec 6

Muro de albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado (HCA) (Thermoblock) 9

Muro con panel SIP (Structural Isolated Panel) 12

Muro de madera con aislación térmica de lana mineral 15
Muro de fardos de paja con revoque de tierra cruda 18
Análisis de eficiencia energética de los sistemas constructivos 21
Cálculo de Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K] 22
Cálculo de transmisión de energía al año por muro según el método de Grados Día 41
Cálculo de costos según transmisión de energía 45
Comparativa de Análisis de Costos Unitarios (ACU) 50
Tiempos de ejecución 52
Cumplimiento de la Reglamentación Térmica 53
Síntesis de los análisis 54
Conclusiones 61
Anexos 64
Anexo 1: Zonificación térmica en Chile. 65
Anexo 2: Certificación LEED 66
Anexo 3: tabla 6 anexo A NCh853 70
Anexo 4: tabla 2 NCh853 Resistencia térmica de superficies 76
Anexo 5: Análisis de costo unitario (ACU) de los Sistemas constructivos 77
Anexo 6: Informe oficial de ensayo de resistencia al fuego para muro de fardo de paja 83
Anexo 7: Art 5.3.1 O.G.U.C. Clasificación estructural de las construcciones 95
Referencias 96

Índice de Tablas

Tabla 1: Requisitos térmicos según zona en Chile. XXIV
Tabla 2: Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico. 25
Tabla 3:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico. 25
Tabla 4:Transmitancia térmica U del flujo térmico 3 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico. 25
Tabla 5:Transmitancia térmica U del flujo térmico 4 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico. 26
Tabla 6:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico . 26
Tabla 7:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro con panel Covintec. 28
Tabla 8:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro con panel Covintec. 28
Tabla 9:Transmitancia térmica U del flujo térmico 3 en muro con panel Covintec. 29
Tabla 10:Transmitancia térmica U del flujo térmico 4 en muro con panel Covintec. 29
Tabla 11:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro con panel Covintec. 29
Tabla 12:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado. 31
Tabla 13:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado. 31
Tabla 14:Transmitancia térmica U del flujo térmico 3 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado. 31
Tabla 15:Transmitancia térmica U del flujo térmico 4 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado. 32
Tabla 16:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado. 32
Tabla 17:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro con panel SIP. 34
Tabla 18:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro con panel SIP. 34
Tabla 19:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro con panel SIP. 34
Tabla 20:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de madera con aislación térmica de lana mineral. 36
Tabla 21:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de madera con aislación térmica de lana mineral. 36
Tabla 22:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de madera con aislación térmica de lana mineral. 36

Tabla 23:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda. 38
Tabla 24:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda. 38
Tabla 25:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda. 39
Tabla 26:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de madera con aislación térmica de lana mineral. 39
Tabla 27: Transmitancia Térmica ponderada de los Sistemas Constructivos. 40
Tabla 28: Energía necesaria para calefaccionar 1[m2] de muro con cada SC 43
Tabla 29: Energía necesaria para enfriar 1[m2] de muro con cada SC 44
Tabla 30: Precio del kWh según recurso energético 45
Tabla 31: Costo de calefaccionar y mantener a 18°C 1[m2] de muro en un año, utilizando distintos recursos energéticos para cada SC. 46
Tabla 32: Costo de calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro en los 4 meses más fríos del año, utilizando distintos recursos energéticos para cada Sistema Constructivo. 47
Tabla 33: Comparativa de ahorro en $ de usar SC de fardos de paja 48
Tabla 34: Costo de calefaccionar al año una casa con envolvente térmica de 75[m²]. 49
Tabla 35: Análisis de Costos Unitarios (ACU) de cada sistema constructivo 50
Tabla 36: Tiempo de ejecución de una vivienda de 70[m²] 52
Tabla 37: Cumplimiento con la Transmitancia Térmica U máxima en muros para vivienda por zona térmica ZT 53
Tabla 38: ACU muro de albañilería de ladrillos térmicos. 77
Tabla 39: ACU muro con panel Covintec 78
Tabla 40: ACU muro de madera con aislación térmica de lana mineral 79
Tabla 41: ACU muro de bloques de hormigón celular autoclavado (HCA) (Termo block) 80
Tabla 42: ACU Muro con panel SIP 81
Tabla 43: ACU muro con fardos de paja 82

Índice de Imágenes

Imagen 1: Influencia del sector de la construcción XV
Imagen 2: construcción Sustentable XVIII
Imagen 3: Ciudad Sustentable XIX
Imagen 4: actores relevantes del PICS. XX
Imagen 5: Certificación Passivhaus XXII
Imagen 6: Calificación Energética de Viviendas XXV
Imagen 7:Análisis del Ciclo de Vida XXVII
Imagen 8: Inventario del ciclo de vida XXVIII
Imagen 9: Maquina enfardadora de paja XXX
Imagen 10.Casa construida con fardos de paja, Simonton House, Nebraska 1908 XXXI
Imagen 11.La “Maison Feuillette” Francia, construida en 1921. XXXII
Imagen 12. Edificio FASBA, Alemania 2014 XXXIII
Imagen 13. Construcción con fardos de paja jumbo, Suiza 1998. XXXIV
Imagen 14. restauración de edificio con fardos de paja, Suiza 2013 XXXV
Imagen 15.Edificio Gateway, Universidad de Nottingham, 2011 XXXVI
Imagen 16. Jules Ferry Residence, Francia 2013 XXXVII
Imagen 17. European Strawbale Gathering ESBG 2015 XXXVIII
Imagen 18. mapa de construcciones con fardos de paja XXXIX
Imagen 19: Red de construcción con paja XXXIX
Imagen 20: Red francesa de Construcción con paja XL
Imagen 21: Asociación Australiana Asiática de Construcción con Fardos de Paja XL
Imagen 22: Mapa de construcciones con fardos de paja en Europa, según registro de la Austrian strawbale network XLI
Imagen 23: Asociación Belga de la construcción con Fardos de Paja XLII
Imagen 24: Construcción con paja, Reino Unido (UK) XLII
Imagen 25: Paja Construcción Países Bajos XLIII
Imagen 26: Asociación Alemana de Construcción con Fardos de Paja XLIII
Imagen 27: Coalición de Construcción con Fardos de Paja de Ontario, Canadá XLIV
Imagen 28: Asociación de Construcción con Fardos de Paja de California XLIV
Imagen 29: Red Europea de Fardos de Paja XLV
Imagen 30: Red Argentina de Construcción con Fardos de Paja XLV
Imagen 31: Red Chilena de Construcción con Fardos de Paja XLVI
Imagen 32: Muro de albañilería confinada de ladrillo 3
Imagen 33: Detalle constructivo corte y planta muro de albañilería confinada de ladrillo 5

Imagen 34: Detalle constructivo isométrico muro de albañilería confinada de ladrillo 5
Imagen 35: Muro con panel Covintec 6
Imagen 36: Detalle constructivo corte y planta muro con panel Covintec 8
Imagen 37Detalle constructivo isométrico de muro con panel Covintec 8
Imagen 38: Muro de bloques de Hormigón Celular Autoclavado 9
Imagen 39: Detalle constructivo corte y planta muro de bloque de Hormigón Celular Autoclavado ... 11
Imagen 40: Detalle constructivo isométrico muro con panel Covintec 11
Imagen 41: Muro con panel SIP 12
Imagen 42: Detalle constructivo corte y planta muro con panel SIP 14
Imagen 43: Detalle constructivo isométrico muro con panel SIP 14
Imagen 44: Muro de madera con aislación de lana mineral. 15
Imagen 45: Detalle constructivo corte y planta muro de madera con aislación de lana mineral 17
Imagen 46: Detalle constructivo isométrico muro de madera con aislación de lana mineral 17
Imagen 47: Muro de fardos de paja 18
Imagen 48: Detalle constructivo corte y planta muro de fardos de paja 20
Imagen 49: Detalle constructivo isométrico muro de fardos de paja 20
Imagen 50: Diagrama de muro de Albañilería confinada con ladrillo térmico. 24
Imagen 51:Diagrama de muro con panel Covintec. 27
Imagen 52: Diagrama de muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado. 30
Imagen 53: Diagrama de muro con panel SIP. 33
Imagen 54:Diagrama de muro de madera con aislación térmica de lana mineral. 35
Imagen 55:Diagrama de muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda. 37
Imagen 56: Aplicación web para el cálculo de Grados Día 42
Imagen 57.Ficha técnica tipo resumen de los sistemas constructivos. 54
Imagen 58. Ficha Técnica Sistema constructivo de muro de albañilería confinada con ladrillo térmico. 55
Imagen 59. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro con panel Covintec 56
Imagen 60. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro de hormigón celular autoclavado. 57
Imagen 61. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro con panel SIP. 58
Imagen 62. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro de madera con aislación térmica de lana mineral. 59
Imagen 63. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro de fardo de paja 60
Imagen 64: Zonificación térmica en Chile. 65
Imagen 65: Niveles de certificación LEED 66

Índice de Graficas

Gráfica 1:Flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda.....XXIX
Gráfica 2: Resumen Transmitancia Térmica de los Sistemas Constructivos Estudiados 40
Gráfica 3: Energía necesaria para calefaccionar 1[m2] de muro con cada SC..... 43
Gráfica 4: Energía necesaria para enfriar 1[m2] de muro con cada SC 44
Gráfica 5: Costo de calefaccionar y mantener a 18°C 1[m2] de muro en un año, utilizando distintos recursos energéticos para cada SC 46
Gráfica 6:Costo de Calefaccionar a 18°C 1 [m²] en los 4 meses más fríos del año 47
Gráfica 7:Ahorro en $ al año por calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro de fardos de paja respecto a los sistemas constructivos convencionales. 48
Gráfica 8: Análisis de Costos Unitarios para cada sistema constructivo..... 51
Gráfica 9: Tiempo de ejecución de una vivienda de 70[m²]..... 52

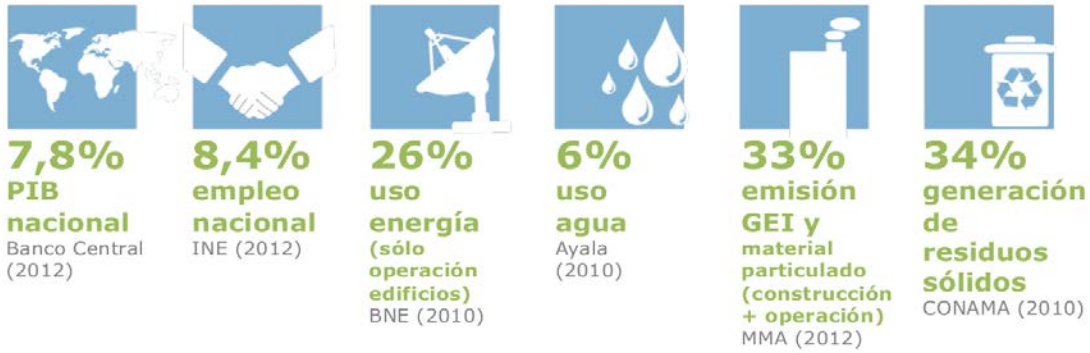
Introducción

Antecedentes generales

La industria de la construcción en Chile juega un papel fundamental en la economía del país, impactando directamente al consumo de energía, el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos.

La producción total de la industria de la construcción representa el 7,8% del PIB nacional[1], aportando con el 8,46% de los empleos[2]. El sector residencial - público - comercial, ligado íntegramente a edificaciones genera el 34% de residuos sólidos[3], así como también, el 33% de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI)[4]. Este mismo sector es responsable, si sólo consideramos la etapa de operación de las edificaciones, del 26% del uso final de energía[5] en el país. Finalmente, el agua potable sanitaria, que se utiliza principalmente en edificaciones, corresponde a un 6% de los recursos hídricos[6] disponibles. A partir de las cifras mencionadas, se puede concluir que los cambios que se puedan realizar por parte de la industria de la construcción en lo que refiere al consumo energético y sus efectos colaterales, tienen un gran potencial de impacto.

Imagen 1: Influencia del sector de la construcción



Fuente: Estrategia Nacional de Construcción Sustentable MINVU, 2013.

Modificar los hábitos y prácticas adoptadas por todos los actores involucrados en las diferentes etapas de la construcción, generaría una transformación sustancial del escenario actual. Para tal efecto, es necesario un compromiso amplio que permita llevar a cabo procesos continuos de educación y difusión de buenas prácticas, en quienes participan en la construcción y operación definitiva de los edificios e infraestructura. Por otra parte, es importante contar con

estándares definidos de planificación, diseño, construcción y operación sustentable que permitan a los actores relevantes interiorizar consideraciones ambientales en cada una de las etapas del ciclo constructivo.

Actualmente Chile depende en un 80% de la importación de recursos para la generación de energía[7]. El 30% del consumo energético es destinado a la climatización de espacios[8]. Una disminución en la dependencia de energía para climatizar las viviendas, generaría un ahorro económico sustancial en su habitabilidad, sin sacrificar el confort térmico, entregando mejoras de vida a los usuarios, contribuyendo además a la disminución de emanación de contaminantes asociados al uso de las viviendas.

La materialidad es un factor clave al momento de generar mejoras de eficiencia energética. En las nuevas viviendas se debe tener presente cuales son los materiales y sistemas constructivos más eficientes que garanticen la sustentabilidad en las edificaciones. La industria de la construcción en los últimos años ha generado nuevas tecnologías para mejorar los materiales usados, optimizando sus rendimientos estructurales y térmicos, así como también, reduciendo los tiempos asociados a su producción y manipulación en obra. Sin embargo, los residuos generados en la construcción de edificaciones, y cuando éstas cumplen con su ciclo de vida, están compuestos por materiales que no pueden ser reducidos, reutilizados, y/o reciclados, siendo enviados a botaderos, contaminando el medio ambiente. Si se utilizan materiales de bajo impacto ambiental reducibles, reutilizables y/o reciclables, se verán beneficiados tanto los usuarios como las generaciones futuras.

Eficiencia Energética

Gran parte de la energía que usamos se desperdicia por diversas razones. Según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, el uso eficiente de la energía es reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios. En 20 años más, el consumo energético del país se triplicará, lo que hace imprescindible hacer cada vez más eficiente su utilización. Usualmente dicha reducción en el consumo de energía se asocia a un cambio tecnológico, ya sea por la creación de nuevas tecnologías que incrementen el rendimiento de los artefactos o por nuevos diseños de máquinas y espacios habitables, los que pueden disminuir la pérdida de energía por calor. Pero no es la única forma, ya que la reducción en el consumo de energía puede estar vinculada a una mejor gestión o cambios en los hábitos y actitudes de productores y usuarios.

Es fundamental fomentar la Eficiencia Energética debido a que es la forma más económica, segura y limpia de utilizar la energía.

Los materiales de construcción avanzan y se adaptan a los nuevos requisitos energéticos promovidos tanto a nivel nacional como a nivel mundial. Estas nuevas medidas de eficiencia energética tratan de contribuir a la reducción de las emisiones de CO2 durante el ciclo de vida de las edificaciones, por medio del ahorro energético que los materiales son capaces de generar, debido a las mejoras de sus propiedades térmicas.

Construcción Sustentable en Chile

La construcción sustentable según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es "una manera de la industria de la construcción de actuar hacia el logro del desarrollo sostenible, tomando en cuenta aspectos medio ambientales, socioeconómicos y culturales. Específicamente, implica cuestiones tales como diseño y administración de edificaciones, construcción y rendimiento de materiales y uso de recursos naturales, todas dentro de la órbita más amplia del desarrollo y la gestión urbanos". En otras palabras, constituye una manera de satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades en tiempos venideros.

El concepto de desarrollo sustentable implica un equilibrio entre la economía y la sociedad (equitativo), entre la sociedad y el medio ambiente (soportable) y entre la economía y el medio ambiente (viable).

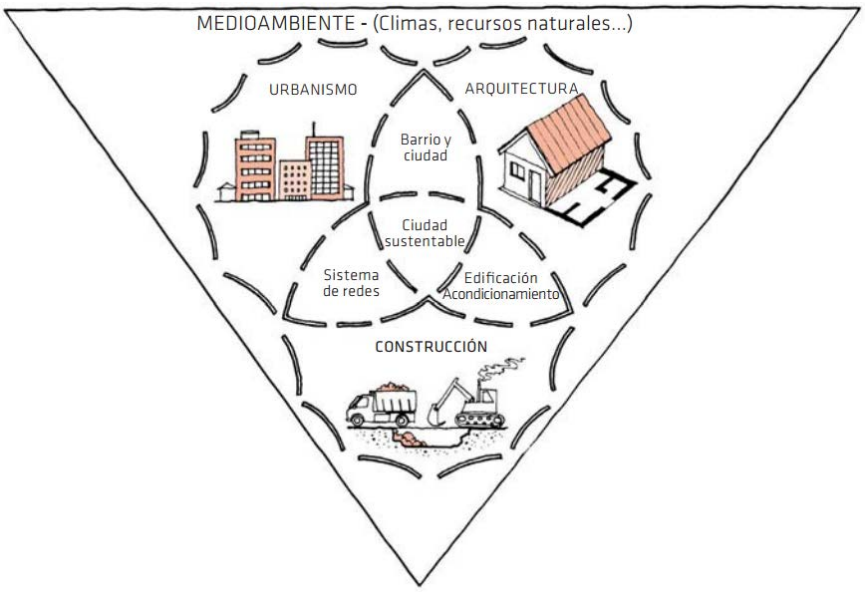
Imagen 2: construcción Sustentable

Fuente: www.veyron.com.mx

La transformación de la industria de la construcción hacia el desarrollo sustentable es un enorme desafío, pero a la vez constituye una oportunidad para Chile de convertirse en líder en la materia, situándose en una posición ventajosa a nivel latinoamericano como polo regional de la industria de la construcción sustentable.

Por otro lado, en el contexto de la edificación y la ciudad, el desarrollo sustentable se consigue al considerar una serie de factores que interactúan entre ellos, los que al ser tomados en cuenta permiten conseguir una ciudad sustentable. En este sentido, la vivienda no es considerada como un elemento aislado. No basta con incrementar el estándar de calidad de la vivienda desde el punto de vista ambiental, sino que también todo el contexto territorial en que se inserta. La gente vivirá en un ambiente habitable (espacio en que las personas perciben y manifiestan satisfacción en su interacción con él) solo si se reúnen condiciones en cuanto a la arquitectura, el urbanismo y la construcción. En otras palabras, la interrelación entre estos tres aspectos y en equilibrio con el medio ambiente, depende si se tendrá una vivienda, barrio o ciudad sustentable, con el consiguiente beneficio para sus habitantes. La imagen 4 muestra la interrelación que podrá conseguir una ciudad sustentable en la medida que cada una de sus partes y las interacciones entre ellas se desarrollen en un marco de respeto por el medio ambiente general., donde los sistemas de redes se refieren a los servicios de electricidad, agua potable, alcantarillado, tratamiento y evacuación de desechos, sistemas de transporte, comunicaciones, etc. La edificación contempla la materialidad, las propiedades físicas de los materiales, los sistemas de acondicionamiento ambiental con eficiencia y uso de recursos renovables. La arquitectura considera estrategias climáticas, las condiciones de confort y las tipologías de edificios.

Imagen 3: Ciudad Sustentable



Fuente: Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social.

Hoy en día existe un pequeño mercado en cuanto a la industria de la construcción sustentable en el país, marcado principalmente por una importante entrada del sistema de certificación LEED (Leadership in Energy and Enviromental Design) (ver anexo 2), además del desarrollo de una serie de normas, iniciativas y proyectos a nivel nacional. Sin embargo, esta industria aún no se ha desarrollado en todo su potencial, desaprovechándose muchas de las ventajas que ofrece en cuanto a mejora de la calidad de vida, mejor performance económico y reducción de impactos ambientales.

Es por esto que, con el objetivo de coordinar, promover, difundir y fomentar la construcción sustentable en Chile, en agosto de 2012 se firmó un convenio de colaboración entre los Ministerios de Obras Públicas, Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y Ministerio de Medio Ambiente, fruto del cual, en el año 2013, se lanzó la "Estrategia Nacional de Construcción Sustentable" ENCS, encomendándose a InnovaChile de CORFO para liderar uno de los ejes estratégicos: "Promover la Innovación y el Emprendimiento en el Área de la Construcción Sustentable".

De este modo, a partir del año 2013 se ha establecido el "Programa de Innovación en Construcción Sustentable" PICS, en respuesta a la ENCS, iniciativa que busca lograr la articulación de actores públicos y privados con el propósito de capturar las oportunidades de negocios existentes en el mercado y aumentar la competitividad de las empresas del sector. El programa es liderado por InnovaChile de CORFO, la Cámara Chilena de la Construcción CChC y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, tiene soporte operativo de la CDT y es apoyado por un Consejo Directivo compuesto por el Colegio de Arquitectos, el Chile Green Building Council, el Instituto de la Construcción, Ministerio de Obras Publicas MOP, Ministerio de Medio Ambiente MMA, Ministerio de Energía y Portal Inmobiliario.

Imagen 4: actores relevantes del PICS.

Fuente: Resumen ejecutivo PICS, abril 2014.

Como objetivos más específicos se pueden nombrar:

- Fortalecer la demanda por construcción sustentable como mecanismo para gatillar el cambio de la cadena de valor completa, tanto a través de difusión de información requerida para la toma de decisiones, como del fomento al acceso a la oferta existente por parte de los consumidores.
- Fortalecer la oferta de construcción sustentable, mediante la difusión del conocimiento y homogenizar la información a través del desarrollo de canales válidos de comunicación e información.
- Propiciar instancias de dialogo y retroalimentación entre los distintos actores involucrados, que permita acelerar las modificaciones normativas necesarias para impulsar la construcción sustentable. También el establecimiento de incentivos para la integración de la construcción sustentable en proyectos futuros.

Todas estas medidas que promueven construir con criterios de sustentabilidad en Chile, pueden generar los siguientes beneficios:

- Reducir gastos por concepto de uso de energía en la vivienda.
- Mejor calidad de vida para los habitantes.
- Reducción de la contaminación intradomiciliaria.
- Reducción de emisiones de CO2.
- Posibilidad de utilizar y absorber las aguas lluvias urbanas.
- Disminución de la generación de residuos.

Todas estas políticas, iniciativas, planes, agendas, entre otras, apuntan hacia la mitigación (reducir las emisiones GEI y aumentar la capacidad de su almacenamiento) y adaptación al cambio climático (evitar o minimizar los impactos negativos del cambio climático y obtener beneficios de los impactos positivos), conceptos que están siendo abordados recientemente en el país, pero que poco a poco van tomando cada vez mayor relevancia.

Según el PICS, el concepto de “Construcción Sustentable” se entiende como “Edificaciones que generan valor al mejorar la calidad de vida de las personas equilibrando los aspectos sociales, económicos y medioambientales, a lo largo de todo el ciclo de vida de la edificación”.

Passivhaus

Imagen 5: Certificación Passivhaus

Fuente: http://passivhaus-chile.cl

De origen alemán, desarrollado por Bo Adamson (Lund University) y Wolfgang Feist (Institut für Wohnen und Umwelt) en el año 1988, es un estándar para la construcción y certificación de viviendas que cuentan con un clima interior confortable, una máxima calidad del aire interior, que además aprovecha la energía del sol para una mejor climatización y una gran aislación térmica, reduciendo el consumo energético hasta en un 80% en comparación a una construcción convencional.

La mayor ventaja del estándar Passivhaus es que asegura la reducción de la demanda máxima de energía para calefacción y refrigeración, además de disminuir el consumo primario de energía. El confort térmico en una construcción Passivhaus se debe a un complemento de medidas pasivas e innovadoras que apuntan al bajo consumo energético:

- Niveles adecuados de aislación térmica en la envolvente.
- Mínimos puentes térmicos entre los elementos que conforman la envolvente.
- Ganancias solares pasivas por medio del diseño bioclimático.
- Alto nivel de estanqueidad, evitando perdidas térmicas
- Óptima calidad del aire interior, mediante el uso de un sistema eficaz de ventilación mecánica con recuperación de calor.

No existen requisitos estrictos en relación al agua caliente para uso doméstico. En términos de iluminación y el consumo de los electrodomésticos, el estándar asigna un límite general para el consumo energético primario que promueve la eficiencia energética en todas estas áreas.
La certificación del estándar Passivhaus se puede obtener a través del Passivhaus Institut (Alemania), u otro organismo de certificación homologado por ellos, y tiene por objetivo entregar una seguridad adicional en el proceso de diseño y uso.

Para que un proyecto de vivienda pueda ser certificado bajo el estándar Passivhaus, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Demanda máxima para calefacción de 15 kWh/(m^2año).
- Demanda máxima para refrigeración de 15 kWh/(m^2año).
- Para edificios con calefacción y refrigeración por aire, se acepta como alternativa, también el conseguir una carga para frío y calor menor de 10 W/m^2.
- Un valor obtenido mediante el test de presurización “Blower Door” (prueba de estanqueidad) n50 no superior a 0,6/h.
- Un consumo de energía primaria para todos los sistemas (calefacción, refrigeración, ACS, electricidad, auxiliar, etc.) no superior a 120 kWh/(m^2año).
- Temperaturas superficiales interiores de la envolvente térmica durante invierno >17°C.

La superficie neta, es decir la que corresponde al área climatizada, se tiene que calcular según protocolo Passivhaus, y los requisitos enumerados deben ser calculados mediante el programa Passive House Planning Package (PHPP) vigente.

Reglamentación Térmica en Chile

Chile posee una variedad climática bastante pronunciada a lo ancho del país, a pesar de ser muy angosto. Esta variación es incluso mayor que en el sentido longitudinal de norte-sur. El Art. 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C), establece sólo con fines de aislamiento térmico, una división del país en 7 zonas térmicas, de acuerdo a la división política-administrativa (comunas) y altitud de cada localidad. (ver anexo 1)

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha incorporado en los últimos años dos modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (denominadas 1° y 2° etapas de Reglamentación Térmica) mediante las cuales se han establecido progresivos requisitos de acondicionamiento térmico a las viviendas, determinando exigencias para los complejos de techumbre en una primera etapa, para luego continuar con los muros, pisos ventilados y superficie máxima para ventanas, según se señala en el Artículo N° 4.1.10 de dicho reglamento.

Es relevante resaltar que la segunda etapa, que entró en vigencia el día 4 de enero de 2007, ha sido determinada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo sobre la base de una propuesta que fue gestionada y dirigida por el Instituto de la Construcción, la que contó para su elaboración con la participación de todos los actores del sector relacionados al tema (profesionales, industriales, académicos y gremiales) que en una situación inédita y exitosa, aportaron una propuesta viable en términos técnicos, económicos y sociales.

En la Reglamentación Térmica se establecen requisitos de acondicionamiento térmico de las viviendas, determinando valores máximos de transmitancia térmica y valores mínimos de resistencia térmica, para los complejos de techumbre, muros y pisos ventilados, como lo indica a continuación la tabla 1

Tabla 1: Requisitos térmicos según zona en Chile.

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m²K	Rt m²K/W	U W/m²K	Rt m²K/W	U W/m²K	Rt m²K/W
1	0.84	1.19	4.00	0.25	3.60	0.28
2	0.6	1.67	3	0.33	0.87	1.15
3	0.47	2.13	1.90	0.53	0.70	1.43
4	0.38	2.63	1.7	0.59	0.6	1.67
5	0.33	3.03	1.60	0.63	0.50	2.00
6	0.28	3.57	1.1	0.91	0.39	2.56
7	0.25	4.00	0.60	1.67	0.32	3.13

Fuente: Manual de aplicación de reglamentación térmica MINVU, O.G.U.C. Art 4.1.10.

Calificación Energética de Viviendas (CEV)

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu), junto al Ministerio de Energía, han implementado un sistema de Calificación Energética de Viviendas (CEV), de uso voluntario, que califica la eficiencia energética de una vivienda nueva en su etapa de uso con una etiqueta con colores y letras, que van desde la A hasta la G, siendo esta última la menos eficiente (sistema similar al usado para etiquetar energéticamente refrigeradores y automóviles). La letra E representa el estándar actual de construcción, establecido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), para aislación en muros, pisos ventilados y techo, a partir de 2007. Esta calificación considera requerimientos de calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria, que busca mejorar la calidad de vida de los usuarios, a través de la entrega de información objetiva acerca de la eficiencia energética de las viviendas, permitiendo tomar una decisión informada a la hora de comprar una vivienda y así optar por la que represente una mayor cantidad de ahorro en calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria. La CEV considera como "nuevas" las viviendas que poseen permiso de edificación posterior al 4 de enero de 2007.

Imagen 6: Calificación Energética de Viviendas

fuente: www.construhub.cl

Análisis del ciclo de vida ACV de una vivienda

El Análisis de Ciclo de Vida es un método para identificar, cuantificar y caracterizar los posibles impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad. Para esto es necesario cuantificar el uso de materia y energía empleados para generar un proceso y que elementos emiten al final de este.

La normativa que enmarca este método es la NCh-ISO 14044, la cual nos entrega una técnica para evaluar los aspectos y los impactos ambientales asociados con un producto mediante la recopilación en un inventario de entradas y salidas pertinentes al sistema de un producto, la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con esas entradas y salidas, la interpretación de los resultados de las dos fases anteriores. En el 2015 se realizó una actualización de la norma con la ISO 14001.2015 en donde se asegura la completa integración de la gestión ambiental con las estrategias de negocio, optimizando el rendimiento del Sistema de Gestión Ambiental.

Las etapas del ciclo de vida son:

1. Adquisición de materia prima: Las materias primas son los materiales extraídos de la naturaleza que sirven para construir bienes de consumo, siendo su origen vegetal, animal o mineral. Los principales impactos ambientales en esta etapa están relacionados con el consumo energético asociado a este proceso de extracción, la degradación y erosión de las tierras, las emisiones de gases contaminantes, las emisiones de gases efecto invernadero y los contaminantes hídricos o del suelo. Otro factor relevante de la etapa de extracción es la toxicidad y peligrosidad de las materias primas.

2. Fabricación y manufacturación: En la fase de fabricación, el impacto ambiental se debe principalmente a la energía necesaria para fabricar el producto y a la generación de residuos asociada al proceso de fabricación. Las materias primas se transforman en materiales aptos para su uso en la fabricación de productos. La industria genera una gran cantidad de residuos muchos de los cuales son recuperables. El problema principal radica en el hecho que en muchas ocasiones no compensa económicamente hacerlo.

3. Embalaje y distribución: Una de las partes fundamentales es el envasado y/o embalaje. También el mismo diseño del producto debe considerarse eco-amigable. Puntos importantes a considerar son:

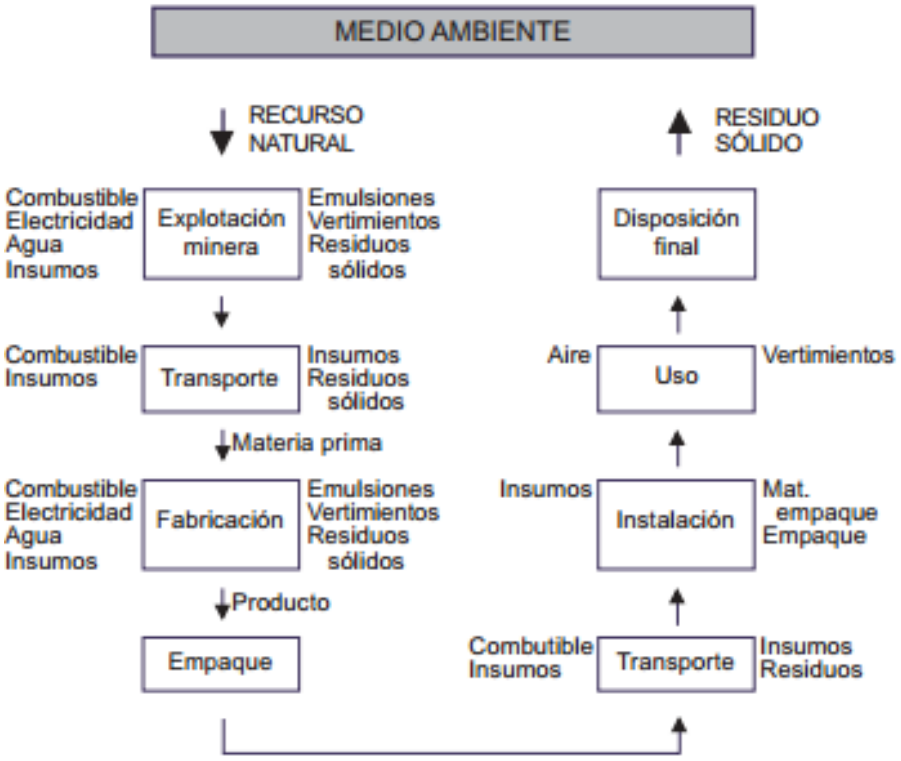
- Reducción en el peso y volumen de los envases
- Minimización de la cantidad de materiales

- Reducción de su volumen por unidad de producto
- Uso de materiales reciclados en los envases.
- Reutilización de los envases
- Uso de materiales reciclables para los envases.
- Aplicar mono-materiales.

4. Utilización y manufacturación: supone un elevado consumo energético y de recursos asociados a la producción de la energía consumida en la fase de utilización y manufacturación del producto, que contempla la energía consumida por la maquinaria empleada en el uso del producto, con sus reparaciones y mantenciones respectivas.

5. Fin de vida: La etapa de fin de vida de los productos tiene diferentes posibilidades dependiendo de la naturaleza de los componentes de los residuos y de la región en la que estos sean tratados. Los residuos podrán ser reutilizados, reciclados con la finalidad de obtener nuevos productos, valorizados energéticamente con el fin de convertirlos en fuente generadora de energía o eliminados.

Imagen 7:Análisis del Ciclo de Vida



Fuente: CNPLM, 2001

ACV es un análisis que realiza el seguimiento de un producto desde su nacimiento hasta la tumba, considerando que un producto posee sólo un uso y que una vez realizado esto se puede volver a disgregar para llegar a la materia prima para realizar otro producto que cubra nuevas necesidades.

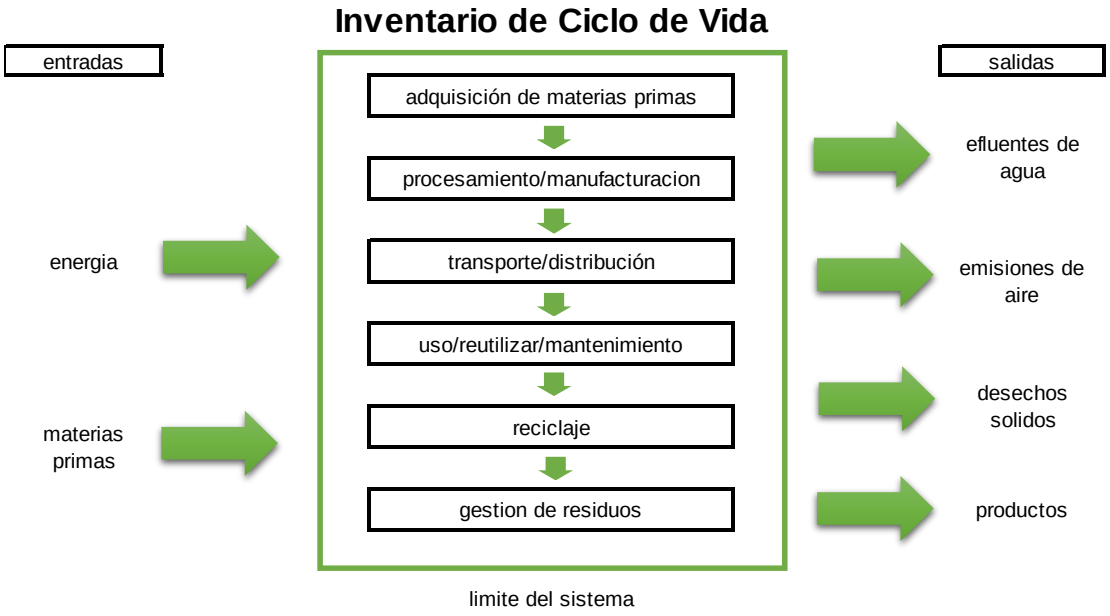
Inventario de Ciclo Vida de un producto (ICV).

El ICV comienza en el momento en que un material se convierte en residuo (es decir, pierde su valor comercial), y termina cuando deja de convertirse en residuo y se convierte en un producto útil, en energía aprovechable o en un material inerte en el relleno sanitario.

Las "entradas" son los residuos sólidos, la energía y otras materias primas. Las "salidas" materiales útiles "revalorizados" (reutilizados, reciclados, derivados a composta o incinerados con recuperación de energía), emisiones al aire o agua. La falta de datos confiables es un problema que se presenta en el ICV.

La utilidad del ICV en el manejo de los residuos sólidos se centra en la evaluación de la eficiencia ambiental. Un ICV no permite decidir automáticamente cual es la "mejor" estrategia de manejo de residuos sólidos. El mejor sistema para cualquier región dependerá de las necesidades y prioridades locales, tales como la necesidad de reducir los requerimientos de los residuos, o la necesidad de reducir las emisiones al agua o aire.

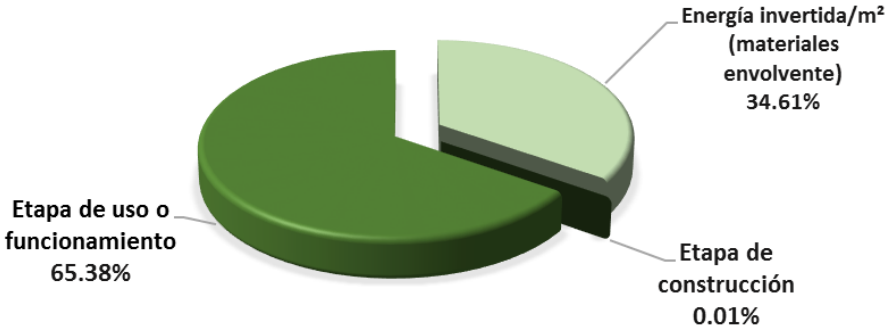
Imagen 8: Inventario del ciclo de vida



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al "Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile"[9] , los resultados finales del ACV de la vivienda estudiada, muestran que la energía utilizada en la fase de extracción y fabricación de los materiales es de un 34.61%, en la fase de construcción de la vivienda es de tan solo un 0,01%, mientras que en la etapa de uso y funcionamiento es de un 65.38% como lo muestra la gráfica 1:

Gráfica 1:Flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda



Fuente: Muñoz, C.; Zaror, C.; Saelzer, G.; Cuchí, A. 2012.

La fase de extracción y fabricación de materiales representa poco más del 1/3 del consumo energético en el ACV de una vivienda. El uso de materiales de bajo impacto ambiental, significaría una disminución considerable de energía en esta fase del ACV, debido principalmente a la poca o nula elaboración, como lo es la paja que es un residuo agrícola y la tierra arcillosa que muchas veces está bajo nuestros pies. Además, cabe resaltar que una vivienda que haya sido diseñada y construida con materiales que otorguen un alto índice de confort térmico, ejemplo de ello son los materiales de bajo impacto ambiental como la paja y la tierra arcillosa, pueden disminuir la energía utilizada durante la fase de uso de la vivienda o de la vida útil de ésta, y con ello disminuir las emanaciones de contaminantes que corresponde casi a 2/3 de las emanaciones totales del ciclo de vida de las edificaciones. Esta diminución se debe principalmente a que la industria de la construcción crea edificaciones que poseen una mala performance térmica. Esto se traduce en un consumo energético elevado para la climatización de estas edificaciones, debido a que los materiales utilizados en su construcción, muchas veces poseen bajas propiedades térmicas.

Construcción con fardos de paja en el mundo

La paja es la parte entre la raíz y la espiga de cereales como trigo, cebada, centeno, avena, mijo, así como de plantas fibrosas como el lino, cáñamo y arroz entre otros. Es una materia prima de origen natural renovable que, mediante fotosíntesis de la energía solar, toma agua y minerales de la tierra. Se compone de celulosa, lignina y tierra silícea. Posee un exterior ceroso e impermeable. Su producción se encuentra en muchas partes del mundo y en diversidad de climas. Una vez finalizado su uso, se puede devolver a la biosfera.

En Chile la paja es un excedente de la industria del cereal, que es usada para cubrir suelos contra heladas, para airear los suelos de cultivos, como abono para suelos o como piso para establos. Anualmente se queman más de 4 toneladas de paja, con las cuales se podría construir 100 viviendas fácilmente.

Imagen 9: Maquina enfardadora de paja

Fuente: http://construccionconfardosdepaja.cl/

El uso del fardo de paja como elemento constructivo se comenzó a utilizar a finales del siglo XIX en Estados Unidos, cuando se creó la maquina enfardadora en 1870. Las primeras construcciones documentadas se realizaron en Nebraska, las cuales no tenían estructura portante de madera y la techumbre era soportada directamente por los muros de fardos de paja. Este sistema de muro portante se conocería posteriormente en la literatura especializada como “Técnica Nebraska”.

Imagen 10.Casa construida con fardos de paja, Simonton House, Nebraska 1908

Fuente: Bárbara Jones Amazonails (2007)

A principios del siglo XX en Europa surgen construcciones utilizando el fardo de paja, propagándose rápidamente. Se realizaron construcciones de todo tipo, como casas de 1 y 2 pisos, escuelas, iglesias, graneros, hospitales, entre otros. En los años 30 ya se comienza a utilizar el fardo como material de relleno en estructuras de madera. Muchas de estas construcciones aún siguen en pie, son habitadas o usadas como museos. Este tipo de construcción cayó en desuso tras la Segunda Guerra Mundial, aunque volvió a resurgir en la década de los 70.

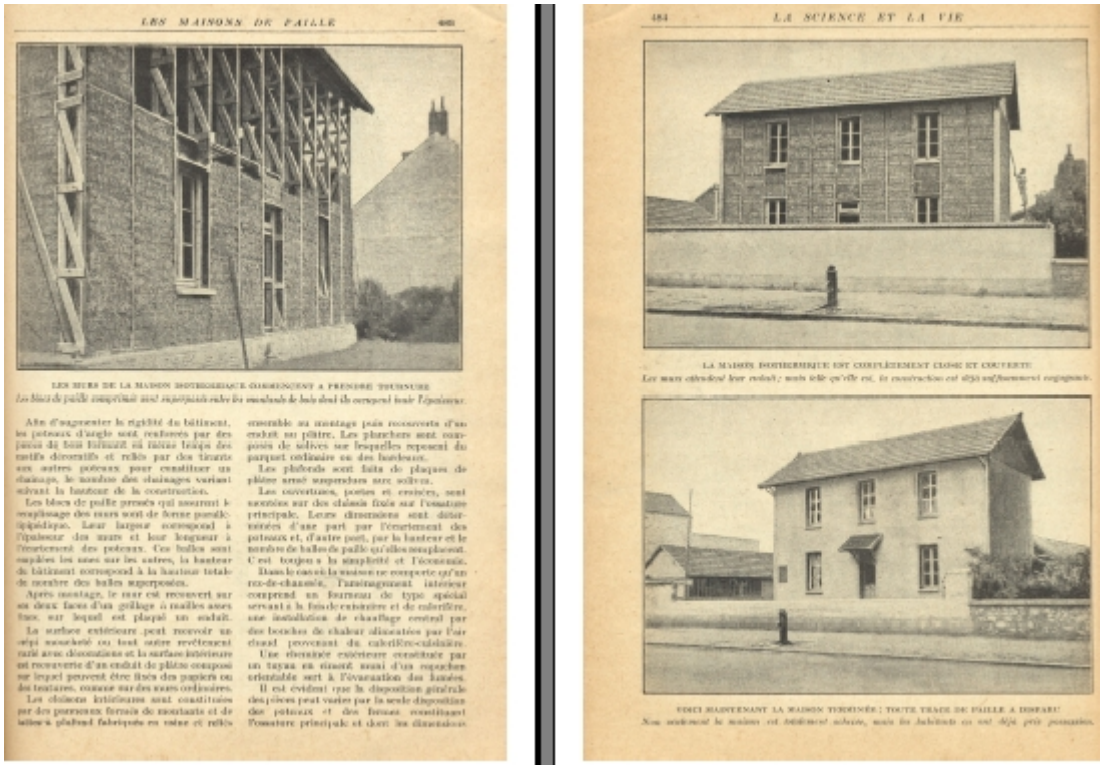
Entre los años 70 y 80 se realizan varias publicaciones, generando con esto un renacimiento del uso del fardo de paja como material constructivo, que hasta esos años había desaparecido su uso constructivo, debido al uso de nuevos materiales en la construcción a raíz de la 2ª revolución industrial. En la década de los 90 en algunos estados de Estados Unidos se crean normas para reglamentar su uso, al igual que se realizan estudios e investigaciones sobre la transmisión térmica, capacidad de carga, resistencia al viento, cualidades antisísmicas y resistencia al fuego.

En los 90 surge un “boom” de la construcción con fardos de paja, liderado principalmente por autoconstructores. Ya en 1991 en Nuevo México se dan los primeros permisos oficiales permitiendo financiamiento bancario para su construcción.

En 1993 se celebra en Estados Unidos la primera conferencia internacional sobre la Construcción con Fardos de Paja, tras lo cual se funda la National Straw Bale Research Advisory Network. También se crearon muchas redes de trabajo internacional que tenían como fin la difusión de la construcción con fardos de paja. En 2002 se funda en Alemania la

Fachverband Strohballenbau Deutschland. En Estados Unidos, Canadá, Australia, Inglaterra y Austria se crean empresas dedicadas a la construcción con fardos de paja.

Imagen 11.La “Maison Feuillette” Francia, construida en 1921.



Fuente: blog-arquitectura.blogspot.com.es

La primera casa de muros portantes de fardos de paja construida por una empresa en Europa fue realizada en 1989 en Inglaterra. Para 1995 había más de 40 casas construidas con este sistema de fardos de paja en Inglaterra, Noruega y Francia. En 1998 se realiza el Primer Encuentro Internacional de Constructores con Fardos de Paja de Europa y el mismo año se celebra un Simposio de Construcción con Fardos de Paja en Holanda. Ya en 2001, ejecutadas por empresas, había más de 400 construcciones de este tipo en toda Europa.

El centro de la asociación profesional alemana para la construcción con Balas de Paja, FASBA, en la localidad de Verden, cerca de Bremen, Alemania, es un edificio de 5 pisos construido con cerca de 3000 fardos de paja, colocados en módulos prefabricados de madera y montados con una grúa.

Imagen 12. Edificio FASBA, Alemania 2014

Fuente: http://casadepaja.es/

Una de las construcciones más grandes hechas con muros portantes de fardos de paja, fue construida en 1998 en Austria por el arquitecto Werner Schmidt, de 250[m^2] con bodega de vinos y salón de ventas, con muros de 4,6[m] de altura, hecha con fardos "jumbo" de 74x120x240 [cm] con un peso cercano a los 225[kg] cada uno, los cuales fueron montados con la ayuda de una grúa en tan solo 3 días.

Imagen 13. Construcción con fardos de paja jumbo, Suiza 1998.

Fuente: http://casaeco.blogspot.cl/2010/05/esta-casa-del-arquitecto-werner-schmidt.html

No solo se puede construir desde cero una casa con fardos de paja, sino que también se puede restaurar o mejorar las condiciones térmicas de una edificación. En la comuna de Susch, Suiza, se restauró y mejoró térmicamente un edificio de 205 m^2, construido en mampostería de piedra, el cual fue revestido con fardos de paja en la envolvente del edificio, logrando mejorar sus propiedades térmicas, agregando además un valor arquitectónico.

Imagen 14. restauración de edificio con fardos de paja, Suiza 2013

Fuente: http://www.atelierwernerschmidt.ch/

El edificio del Gateway del campus de Sutton Bonington de la Universidad de Nottingham, Reino Unido, fue construido usando módulos de madera prefabricadas que contienen fardos de paja de la granja que posee la Universidad a un costado del campus. El edificio cuenta con 3100 m^2 y se construyó en 2011. Los módulos se levantaron con grúa para poder revestir el edificio, y poder otorgar un aislamiento térmico de bajo costo e impacto ambiental. En el interior del edificio se dejaron "vitrinas" para poder observar la paja que conforma el interior de los muros.

Imagen 15.Edificio Gateway, Universidad de Nottingham, 2011

Fuente: http://esbg2015.eu/

El Jules Ferry Residence, en Saint-Dié-des-Vosges, Francia, cuenta con 2 edificaciones en altura con fardos de paja, de los cuales uno es el más alto construido hasta ahora en el mundo, con 7 pisos. Su estructura es de hormigón armado y madera laminada, con losa de hormigón armado y tabiques de madera. Los muros son hechos con módulos prefabricados de madera rellenos de fardos de paja. Posee huella de carbono positiva y energía neta cero (no gastan ni aportan más energía de la que necesitan).

Imagen 16. Jules Ferry Residence, Francia 2013

Fuente: http://www.construction21.org/

Desde el 21 al 24 de agosto de 2015 se llevó a cabo la reunión europea de fardos de paja European Strawbale Gathering ESBG 2015. Este encuentro bienal que se realiza desde 1999, tuvo como lugar la pequeña ciudad de Montargis al Sur de Paris, donde existe la casa de fardos de paja más antigua conocida en Europa, construida en estructura de madera y aislamiento con fardos de paja. Esta casa "Maison Feuillette" se encuentra en excelentes condiciones, gracias a la red francesa de construcción con fardos de paja RFCP y muchas personas que ayudaron a adquirir y arreglarla. En este ambiente histórico se reunió un centenar de personas de muchos países de Europa para el intercambio sobre todos los temas relacionados con la construcción con fardos de paja. También contó con la participación de relatores de tres países no europeos: Australia, Argentina y Chile.

Imagen 17. European Strawbale Gathering ESBG 2015

Fuente: http://esbg2015.eu/

Hoy en día existen organizaciones de apoyo internacional relacionados con la construcción con fardos de paja ubicados en distintos países del mundo.

Algunas de las organizaciones son:

- RCP - Red de Construcción Con Paja (España y países hispanohablantes):

Grupo informal de gente interesada en promover la construcción con fardos de paja en todas las regiones donde se habla castellano, con red de apoyo en 25 provincias de España y 7 países hispanohablantes. Su página web es la fuente más completa de información en español sobre la construcción con fardos de paja, además de un mapa con las ubicaciones y descripciones de las construcciones con fardos de paja existentes en el mundo de habla hispana.

Imagen 18. mapa de construcciones con fardos de paja

Fuente: http://www.casasdepaja.org/casas-de-paja

Imagen 19: Red de construcción con paja

RED DE CONSTRUCCIÓN CON PAJA

Fuente: http://www.casasdepaja.org/

- RFCP - Red francesa de Construcción con paja:

El RFCP “Le Réseau Français de la Construction en Paille” es la encargada de promover la construcción con fardos de paja en Francia. cabe destacar que en Francia existen actualmente cerca de 7000 construcciones con fardos de paja, desde casas pequeñas hasta edificios de 7 pisos.

Imagen 20: Red francesa de Construcción con paja

Fuente: http://rfcp.fr/

- AUSBALE - Asociación Australiana Asiática de la Construcción con Fardos de Paja:

“Ausbale” es un grupo de profesionales de la construcción, investigadores, auto-constructores y demás interesados que quieren “promover el arte y la ciencia de la construcción con fardos de paja”. En el sitio web http://ausbale.org/ se encuentran links interesantes en asuntos técnicos y legales, entre otros.

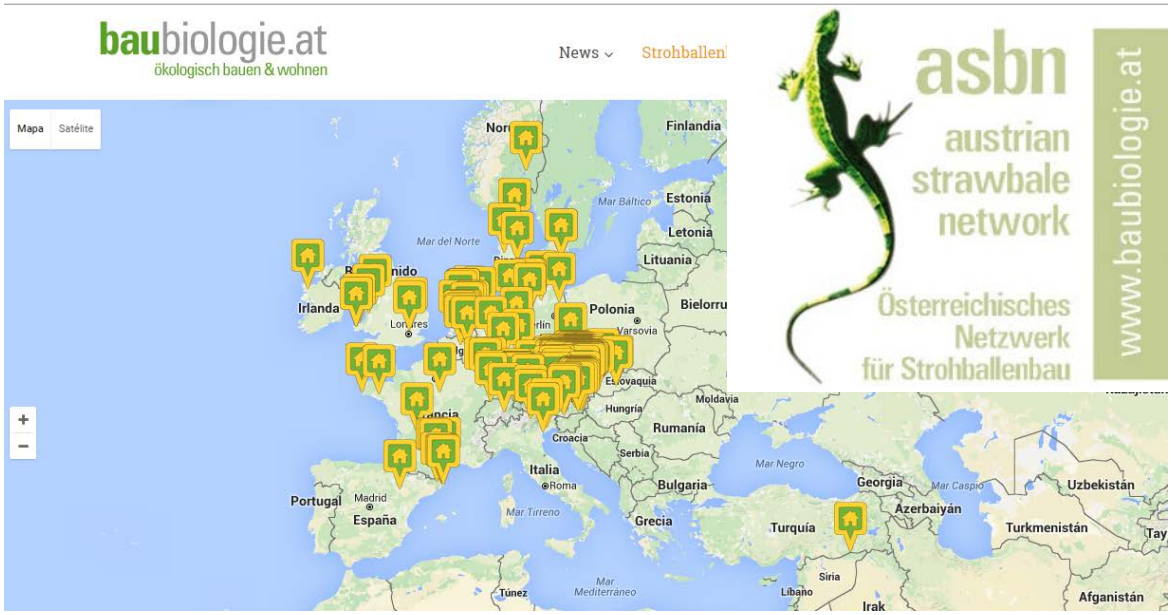
Imagen 21: Asociación Australiana Asiática de Construcción con Fardos de Paja

Fuente: http://ausbale.org/

- ASBN - Red Austriaca de Construcción con Fardos de Paja:

El ASBN “Austrian strawbale network” = “Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau” es una ONG y opera en el sitio web http://baubiologie.at/strohballenbau, siendo la página europea más importante sobre fardos de paja. Incluye la arquitectura solar, la remodelación, la madera y en general técnicas y diseños energéticamente eficientes y ecológicos. La galería de casas da cuenta del alto nivel de la construcción en Austria. Todos los techos son aislados con fardos de paja y muchas casas son prefabricadas. Cuenta además con un mapa de las construcciones ecológicas existentes en Europa, en donde dando click a los iconos de las casas, da la posibilidad de acceder a un link directo hacia los proyectos mostrados en el mapa, otorgando la posibilidad de conocer una galería de imágenes de las construcciones, descripciones técnicas, datos y contactos de los realizadores de los proyectos.

Imagen 22: Mapa de construcciones con fardos de paja en Europa, según registro de la Austrian strawbale network



Fuente: http://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau/

- CASA CALIDA – Asociación Belga de la construcción con Fardos de Paja:

Es una ONG dedicada a la promoción de la construcción con fardos de paja en Bélgica. En su página web http://www.casacalida.be/ es posible encontrar bastante información técnica, así como también una gran galería de imágenes de construcciones con fardos de paja.

Imagen 23: Asociación Belga de la construcción con Fardos de Paja

Fuente: http://www.casacalida.be/

- STRAWBUILD – Construcción con paja, Reino Unido (UK):

Strawbuild es una organización sin ánimo de lucro que ofrece servicios de construcción natural y formación en toda Europa, con el objetivo de crear espacios de calidad sin que sean un impacto negativo al planeta. Ofrece una amplia gama de servicios y asistencia, que van desde el trabajo de diseño, obtención de los permisos de construcción, aprobaciones de planificación, cálculos de energía, ejecución de proyectos y talleres de formación.

Imagen 24: Construcción con paja, Reino Unido (UK)

Fuente: http://www.strawbuild.org/

- STROBOUW – Paja Construcción Países Bajos:

Reúne a constructores, diseñadores, arquitectos, investigadores, ingenieros, autoconstructores, entre otros, para promover el uso de la paja en la construcción de edificaciones, así como también fomentar la cooperación internacional en esta materia. En su página web http://www.strobouw.nl, cuenta con un mapa de las construcciones con paja existentes en Países Bajos, además de una galería de imágenes y herramientas para la construcción con paja, como talleres, documentos online, preguntas frecuentes, etc.

Imagen 25: Paja Construcción Países Bajos

Fuente: http://www.strobouw.nl

- FASBA – Asociación Alemana de Construcción con Fardos de Paja:

El FASBA "Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V." es una ONG para la promoción de la construcción con fardos de paja a nivel alemán e internacional. En su web http://www.fasba.de/ posee una amplia galería de construcciones de fardos de paja y documentación técnica. Contiene informaciones en alemán e inglés.

Imagen 26: Asociación Alemana de Construcción con Fardos de Paja

Fuente: http://fasba.de/

- OSBBC – Coalición de Construcción con Fardos de Paja de Ontario, Canadá:

La OSBBC "Ontario Straw Bale Building Coalition" promueve la construcción con fardos de paja como técnica sustentable de construcción en Canadá y el mundo. En su sitio web http://www.osbbc.ca/ es posible encontrar muchos documentos técnicos y un registro de más que 300 construcciones con fardos de paja.

Imagen 27: Coalición de Construcción con Fardos de Paja de Ontario, Canadá

Fuente: http://www.osbbc.ca/

- CASBA – Asociación de Construcción con Fardos de Paja de California:

Es una organización sin ánimo de lucro de voluntarios comprometidos con la construcción con fardos de paja en California. Sus miembros son personas interesadas en y / o dedicado a la construcción de edificios con fardo paja, como propietarios, constructores, arquitectos, ingenieros y contratistas. Han trabajado para mejorar las técnicas y estándares para la construcción con fardos de paja, con el fin de obtener su aceptación por los municipios, funcionarios, prestamistas y compañías de seguros a través de California. Anualmente se reúnen para compartir experiencias, realizar foros y exposiciones de la construcción con fardos de paja.

Imagen 28: Asociación de Construcción con Fardos de Paja de California

Fuente: http://www.strawbuilding.org

- Red Europea de Fardos de Paja:

Red a nivel europeo donde se reúne en encuentros bienales, a los principales interesados en promover el uso del fardo de paja en la construcción.

Imagen 29: Red Europea de Fardos de Paja

Fuente: http://www.esbg2015.eu/

- Red Argentina de Construcción con Fardos de Paja:

Gracias a la inquietud e interés sobre este sistema constructivo y un encuentro positivo desde diferentes regiones, surge la Red Argentina de Construcción con Paja, con el fin de informar, compartir experiencias, ofrecer apoyo y orientación sobre la construcción con fardos de paja, así como también anunciar talleres, cursos y obras con fardos de paja, divulgar y contactar con profesionales, servicios y proveedores relacionados con la construcción con fardos de paja.

Imagen 30: Red Argentina de Construcción con Fardos de Paja

Fuente: https://construpajaargentina.wordpress.com/

- Red Chilena de Construcción con Fardos de Paja:

Existe desde 2012, conformado por un grupo creciente de personas vinculadas a este tipo de construcción sustentable en Chile, entre ellos habitantes, constructores, arquitectos, ingenieros, consultores, asesores, aficionados, autoconstructores, amantes y entusiastas de edificios hechos de fardos de paja, quienes tienen como misión fomentar la construcción de calidad con fardos de paja en Chile, así como también desarrollar actividades con la finalidad de difundir e informar por medio de charlas y exposiciones con los principales investigadores y profesionales de la construcción con fardos tanto nacional, como a nivel internacional, así como también promover la investigación y normativa sobre el uso del fardo de paja como material constructivo en Chile.

También reúne información en su página web http://construccionconfardosdepaja.cl sobre talleres, cursos, seminarios, obras, profesionales, servicios y proveedores relacionados y vinculados con la construcción con fardos de paja en Chile y el mundo.

Imagen 31: Red Chilena de Construcción con Fardos de Paja

Fuente: http://construccionconfardosdepaja.cl

Objetivos

Objetivos Generales

El objetivo general del presente estudio, es evaluar la factibilidad del uso del muro de fardo de paja como alternativa económica, ecológica y energéticamente eficiente, siendo una alternativa como sistema constructivo para la construcción sustentable de edificaciones.

Objetivos Específicos

Realizar un análisis técnico de los sistemas constructivos, describiendo las propiedades y formas de colocación de los materiales que los componen.

Realizar el análisis de eficiencia energética de los sistemas constructivos estudiados que contempla:

- Cálculo de Transmitancia térmica U [W/m²K].
- Cálculo de Transmisión de energía al año por muro según método de Grados Día.
- Cálculo de costos según cantidad de energía transmitida por muro.
- Comparativa de los costos energéticos anuales de los sistemas constructivos.
- Comparativa de los Análisis de Costo Unitario (ACU) de los sistemas constructivos.
- Comparativa de los tiempos de ejecución de los Sistemas Constructivos
- Cumplimiento de la reglamentación térmica vigente para todas las zonas térmicas del país, por parte de los sistemas constructivos estudiados.

Por ultimo realizar una síntesis de los análisis, presentando una ficha técnica tipo que describa las cualidades de cada sistema estudiado, dando paso a las conclusiones.

Análisis técnico de los sistemas constructivos

El presente capítulo tiene por finalidad entregar un análisis técnico descriptivo de la composición y dimensiones de 6 sistemas constructivos (ST), de los cuales 5 son sistemas constructivos tradicionales (SCT) de muros, y uno es un sistema constructivo no tradicional (SCNT) de muro, mostrando las ventajas y desventajas de cada sistema, con imágenes de referencia, esquemas técnicos, clasificación estructural según Art5.3.1 de la O.G.U.C. (ver anexo 7) resistencia al fuego según Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción E 14-1. En el caso del fardo de paja, se utilizó los datos del informe oficial de ensayo de resistencia al fuego según NCh935/1 Of97, informe N°900.817 emitido en octubre de 2014 (ver anexo 6), también se muestra el rendimiento de avance por día y el costo unitario para cada sistema (ver anexo 6).

Los SC estudiados son estructurales y fueron seleccionados de acuerdo a 3 criterios:

- Tipología de construcción más empleada en Chile actualmente.
- Características tecnológicas de materiales.
- Características tecnológicas de ejecución.

Los SCT estudiados son:

- Muro de albañilería confinada de ladrillo térmico y estuco térmico.
- Muro de albañilería de bloques de Hormigón Celular Autoclavado (HCA) (Thermoblock).
- Muro de estructura de madera con aislación térmica de lana mineral.

Los SCNT estudiados son:

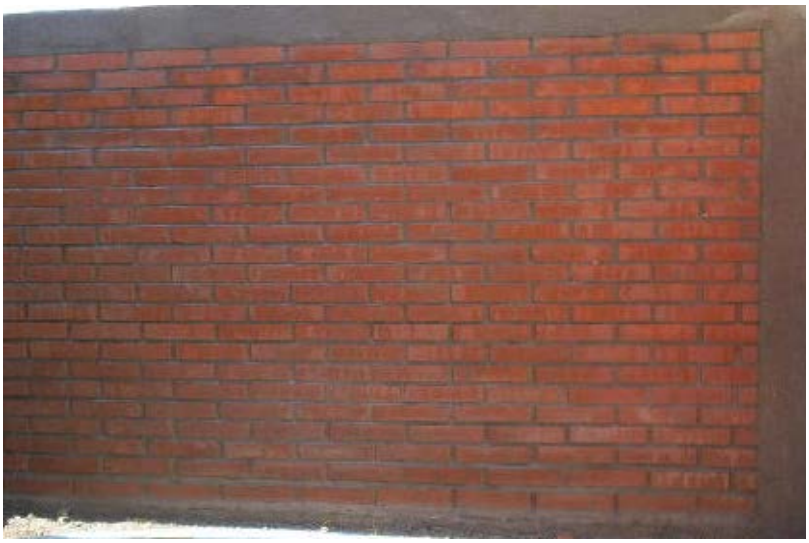
- Muro con panel Covintec.
- Muro con panel SIP (Structural Isolated Panel).
- Muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda.

No se contempla para éste estudio las posibles soluciones de techumbre, cimiento, sobrecimiento ni de piso, solo de muro.

Sistemas constructivos seleccionados

Muro de albañilería confinada con ladrillo térmico

Imagen 32: Muro de albañilería confinada de ladrillo



Fuente: www.serranoconstruccion.wix.com

Sistema conformado por ladrillos cerámicos Santiago Te 7, que poseen la propiedad de tener una baja transmitancia térmica, fabricados a máquina de dimensiones 320x153x71 [mm], colocados a soga y unidos con mortero de pega en dosificación 1:3 cemento-arena y cantería de 15 [mm]. La cara interior y exterior del muro son revestidas con estuco térmico Presec con espesor de 15[mm]. Los paños de albañilería están adheridos al sobrecimiento con un mortero de pega nivelador y confinados por pilares y cadenas de coronación de hormigón armado de sección 20x20[mm], con enfierradura de 12[mm] de diámetro. Posee escalerillas horizontales de acero de diámetro 6[mm], colocadas cada 3 hiladas de ladrillos Para la instalación de tuberías eléctricas, de agua o gas, es necesario cortar los muros, haciendo el rasgo para las canalizaciones, cubriendo posteriormente con mortero o yeso.

Espesor de muro: 170[mm].
Clasificación estructural: Clase C
Resistencia al fuego: F – 120
Rendimiento: 9 m2/día
Costo por m2: $38.485

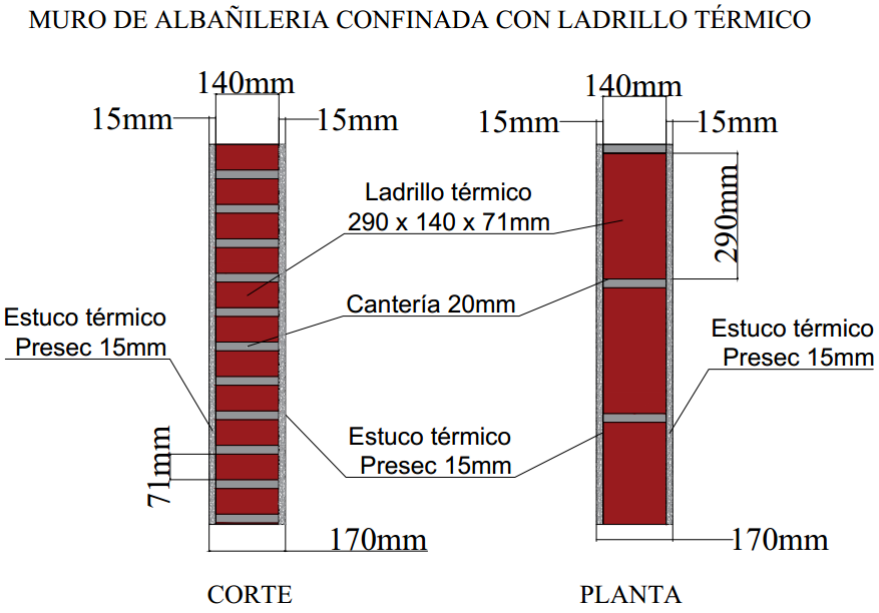
Ventajas:

- Sistema constructivo más conocido en el rubro, por lo que es fácil conseguir mano de obra que conozca el sistema.
- Resistente al fuego, pudiendo ser utilizado como muro medianero.
- Los materiales empleados son de fácil acceso comercial.

Desventajas:

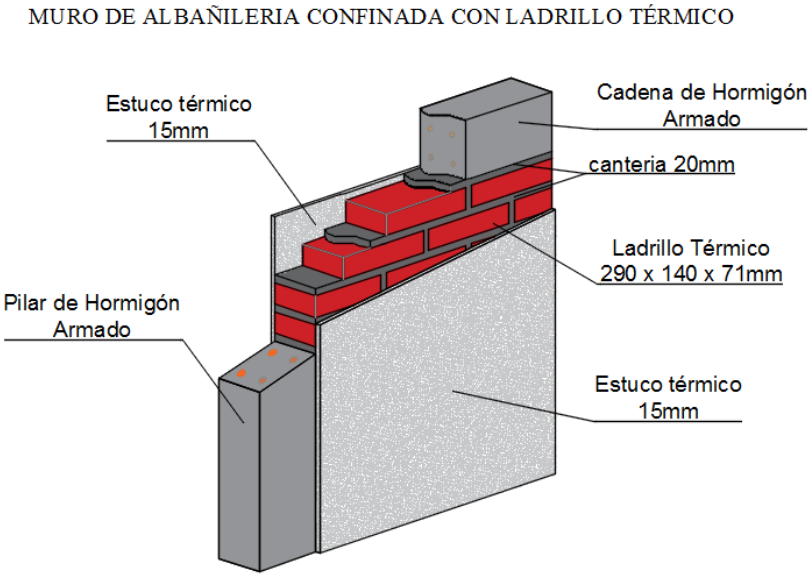
- Para realizar modificaciones futuras como vanos nuevos o ampliaciones, es necesario generalmente, colocar refuerzos estructurales.
- Debido a su clasificación estructural, las construcciones con este sistema constructivo no deben tener más de 4 pisos, estando sujeto a ciertas restricciones de diseño estructural. según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C.
- Para las instalaciones eléctricas, agua y gas, es necesario romper parte del muro para insertar las canalizaciones y después tapar con mortero o yeso, encareciendo la obra y generando atrasos
- No se puede construir más 1,2 [m] de altura por día, al ser un sistema constructivo húmedo que requiere tiempos de secado.
- Requiere moldajes para el hormigonado de pilares y cadenas de amarre, lo que encarece la obra.
- Alta huella de carbono, al usar materiales que en su obtención generan altas cantidades de GEI.
- Los residuos generados por su construcción y cuando finaliza el ciclo de vida de la construcción, requieren una gran inyección de energía y dinero para intentar reutizarlos. La mayoría de las veces los residuos son llevados a botaderos, generando contaminación y costos de traslado.
- Presencia de puentes térmicos en pilares y cadenas de amarre, en rasgos de puertas y ventanas, en unión piso muro y muro cielo, presentando grandes pérdidas de energía al ser un porcentaje considerable de la totalidad del sistema.
- Problemas de condensación, debido a la baja o nula transpirabilidad de los materiales.

Imagen 33: Detalle constructivo corte y planta muro de albañilería confinada de ladrillo



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 34: Detalle constructivo isométrico muro de albañilería confinada de ladrillo



Fuente: Elaboración propia.

Muro con panel Covintec

Imagen 35: Muro con panel Covintec

Fuente: www.panelcocr.com/

El sistema constructivo de muro con panel estructural Covintec, lo componen paneles de 244x122cm, con una estructura interior tridimensional de alambre galvanizado calibre #14 (2,03 [mm] de espesor), electrosoldado en cada punto de contacto, con armaduras verticales y horizontales tipo escalerillas con una trama de 50x50mm, cuya característica principal es su forma de diagonales continuas en toda la altura del panel. Dicha estructura esta confinada en el interior de un prisma de poliestireno expandido de densidad mínima 10 [kg/m^3] y espesor 76 [mm]. Posee una retícula de alambre galvanizado calibre #14, que está completamente separada en 9,5 [mm] del poliestireno, para generar un espacio que asegure un correcto amarre del estuco aplicado en obra a cada cara del panel después de su montaje en espesor de 15 [mm]. En el sobrecimiento a eje con el muro, se colocan anclajes de fierros de 8[mm] de diámetro, los que sobresalen 400[mm], colocados en pares, cuya separación es de 60[mm] entre sí, y distanciados cada 600[mm], para posteriormente montar el panel y ser amarrados a los fierros. Se amarran los paneles entre sí con grapas cada 300[mm]. Se colocan mallas en las uniones, las que se amarran en zigzag en toda la altura de la unión. En las esquinas se colocan mallas esquineras y refuerzos con fierros de 8[mm] en forma de “L” de 400x400[mm] cada 400[mm] amarrados al panel. Sobre los paneles a modo de coronación, se coloca una canal metálica de 80x40x2[mm], soldada a barras de fierro de 8[mm] distribuida de igual manera que las barras de anclaje del sobrecimiento. Este coronamiento es el que recibirá las cerchas que estructuran el techo. Dinteles de ventanas y puertas son revestidos con estuco para dar terminación a plomo.

Para colocar las canalizaciones de luz, agua y gas, es necesario usar una pistola de calor, para derretir el poliestireno expandido y dar cabida a las instalaciones entre el poliestireno y la retícula de acero, antes de colocar el estuco.

Espesor de muro: 150[mm].
Clasificación estructural: Clase G
Resistencia al fuego: F – 120
Rendimiento: 15[m^2/día]
Costo por m2: $33.453

Ventajas:

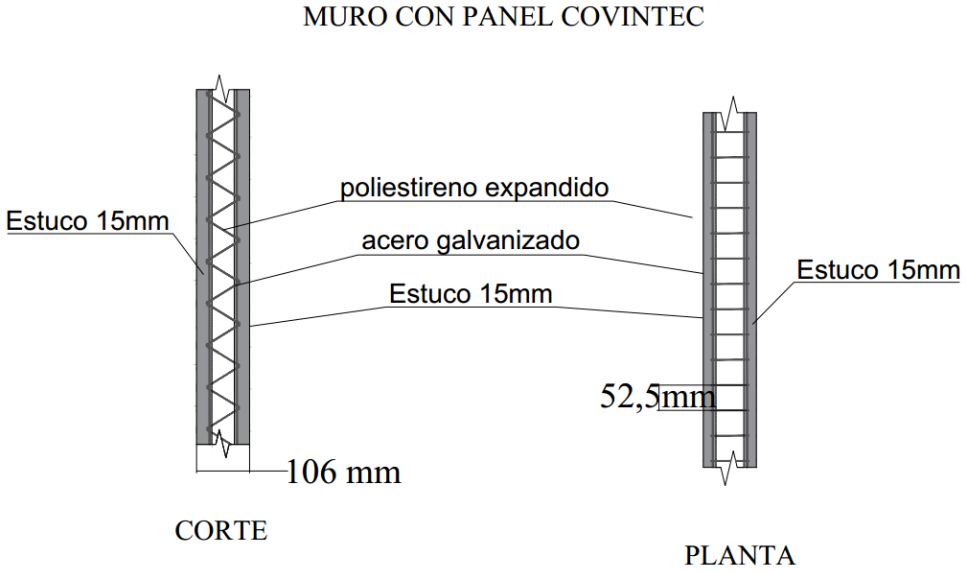
- Rápida ejecución en la colocación de su estructura, lo que otorga mayor rendimiento de la mano de obra.
- Bajo espesor de muro, lo que aumenta la cantidad de m^2 útiles.
- No requiere el estructuras adicionales que den rigidez a los muros, con su estructura interna de malla de acero plegado es suficiente.
- No requiere moldajes.
- Baja cantidad de desperdicio.

Desventajas:

- Requiere mucho mortero para los estucos, ya que absorbe más que la capa de 15 [mm] que se aplica por cada cara al muro, llegando a ser hasta 50 [mm] por cara del muro.
- Debido a su clasificación estructural, las construcciones con este sistema constructivo no deben tener más de 2 pisos y la altura libre de piso a cielo no podrá exceder de 2,60 m, según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C.
- Mayor costo de inversión en materiales por poseer pérdidas.
- Alta huella de carbono, al usar materiales que en su obtención generan altas cantidades de GEI.
- Requiere el uso de maquinaria especializada para proyectar el mortero que dará la terminación gruesa del muro, así como también para soldar los paneles, soleras y vanos.
- Puentes térmicos con gran pérdida de energía en vanos de puertas y ventanas, así como también en unión de piso muro, muro cielo y esquinas.
- Problemas de condensación, debido a la configuración y materialidades utilizadas¸ las cuales poseen poca o nula transpirabilidad.

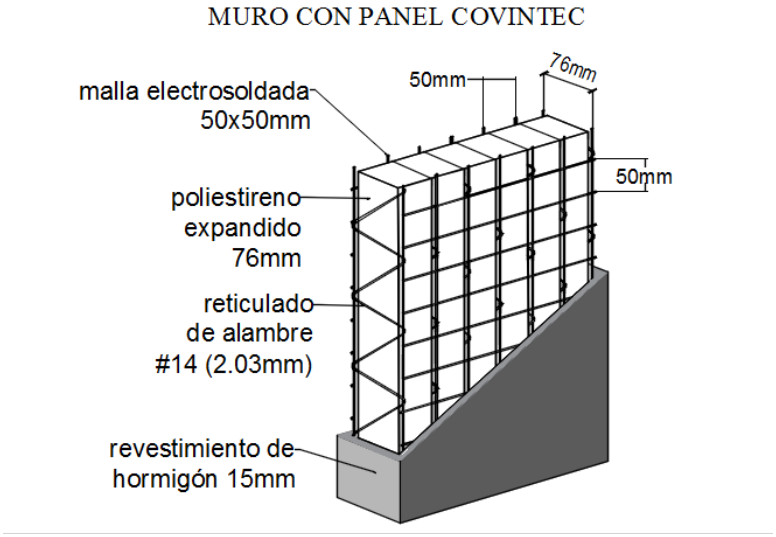
- Presencia de agrietamiento y micro-fisuras, las cuales deben ser tratadas agregando "pelillo de fibra" en el estuco de terminación, lo cual genera aumento de costos.
- Los residuos generados durante la ejecución, son poco reutilizables y casi no reciclables

Imagen 36: Detalle constructivo corte y planta muro con panel Covintec



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 37Detalle constructivo isométrico de muro con panel Covintec



Fuente: Elaboración propia.

Muro de albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado (HCA) (Thermoblock)

Imagen 38: Muro de bloques de Hormigón Celular Autoclavado

Fuente www.especificar.cl/

El Hormigón Celular Autoclavado (HCA) es un material de construcción de color blanco, que se obtiene de la mezcla de cemento, arena de sílice, cal, agua, incorporando al final del proceso de amasado polvo de aluminio, agente expansor, que al reaccionar genera la formación de millones de burbujas de aire al interior de la masa.

El Sistema constructivo estructural de muros de albañilería con bloques de HCA, utiliza bloques de 62,5x20x15 [cm] con densidad entre 600 y 700 [Kg/m^3], unidos entre sí mediante adhesivo cementicio estructural de 30mm, con traslapo horizontal de 15 [cm] entre bloques. Los muros son confinados con pilares y cadenas de hormigón armado con enfierradura de 12 [mm] de diámetro. La unión entre pilares y bloques consideran un endentado de aprox. 2,5 [cm]. y conexiones mediante láminas conectoras de acero ubicadas cada 40 [cm] en vertical. También se ubican láminas conectoras en la unión entre cadenas de hormigón armado y bloques de HCA cada 1,25 [m] en la horizontal. La primera hilada de bloques debe ser adherida al sobrecimiento mediante mortero de pega cementicio nivelador. Sobre ambas caras del muro se aplica estuco de cemento y arena en proporción 1:5 con espesor de 15 [mm].

Espesor de muro: 180[mm]

Clasificación estructural: Clase D

Resistencia al fuego: F – 180

Rendimiento: 20[m^2/día]

Costo por m2: $30.425

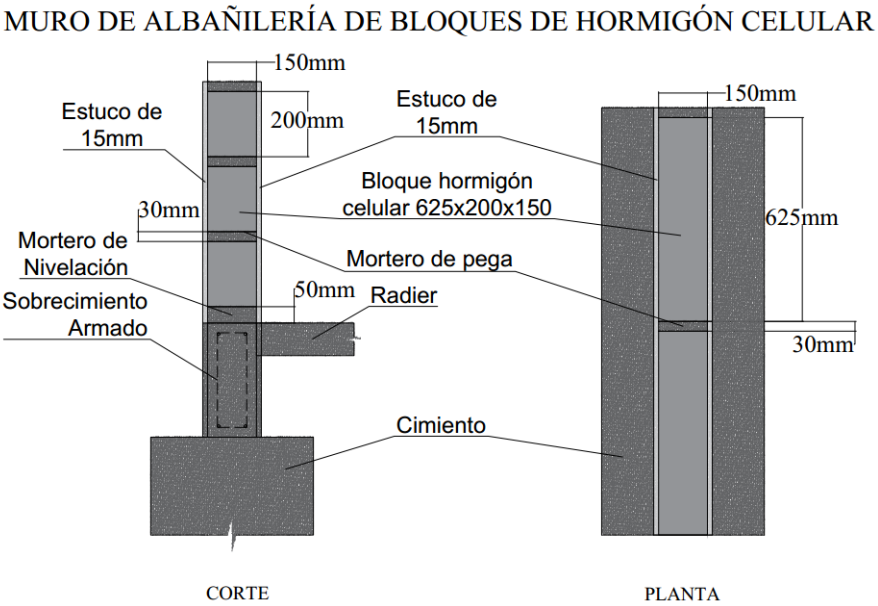
Ventajas:

- Liviano, lo que disminuye los costos de transporte, de fácil manipulación y rápida ejecución.
- Baja cantidad de desperdicios.
- Poca carga de estuco, debido a la superficie plana y homogénea que posee.
- Buen aislante térmico y acústico, debido a las microburbujas de aire que posee en su interior.

Desventajas:

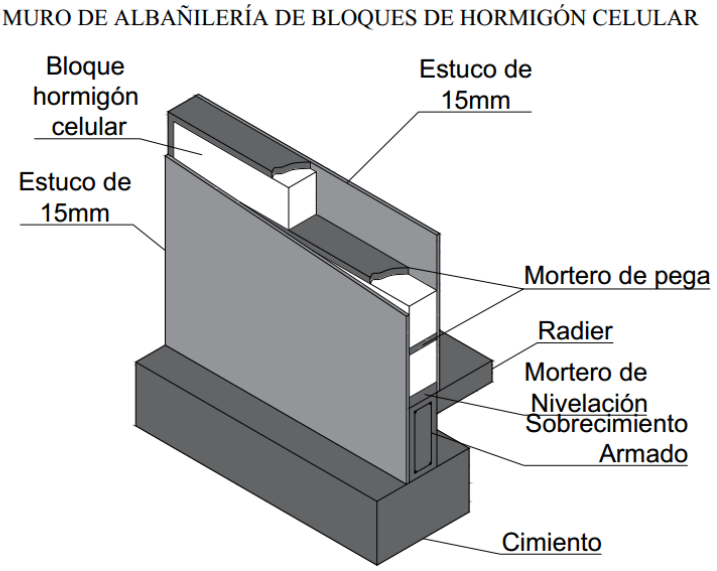
- Requiere mano de obra especializada, aumentando los costos del sistema constructivo.
- Sistema constructivo poco masivo, con proveedores centralizados principalmente en Santiago, lo que aumenta los costos por concepto de transporte si se desea utilizar este sistema constructivo en lugares alejados de Santiago y sus alrededores.
- Debido a su clasificación estructural, las construcciones con este sistema constructivo no deben tener más de 2 pisos y la altura libre de piso a cielo no podrá exceder de 2,60 m, según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C.
- Alta huella de carbono, al usar materiales que en su obtención generan altas cantidades de GEI.
- Requiere moldajes para el hormigonado de pilares y cadenas de amarre, lo que encarece la obra.
- Presencia de puentes térmicos en pilares y cadenas de amarre, en rasgos de puertas y ventanas, en unión piso muro y muro cielo, presentando grandes pérdidas de energía al ser un porcentaje considerable de la totalidad del sistema.

Imagen 39: Detalle constructivo corte y planta muro de bloque de Hormigón Celular Autoclavado



Fuente: Elaboración propia.

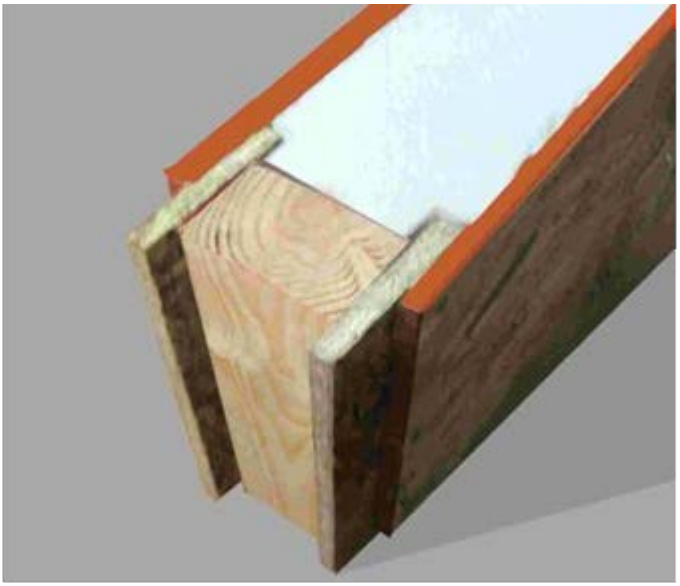
Imagen 40: Detalle constructivo isométrico muro con panel Covintec



Fuente: Elaboración propia.

Muro con panel SIP (Structural Isolated Panel)

Imagen 41: Muro con panel SIP



Fuente: www.casasprefabricadas.bligoo.cl

Sistema constructivo con panel estructural formado por dos placas de madera OSB (Oriented Strand Board) de 2440x1220x11,1[mm] pegadas a un núcleo de poliestireno expandido (EPS) de alta densidad de 2420x1200x68[mm] cuya densidad mínima es de 10[kg/m^3]. En la unión entre los paneles, se coloca un pie derecho de 2”x3” por el alto del muro, sobre el cual se fija una spliner de placa de OSB de unión de 2440x75x9,5 [mm], con la que se unen los paneles entre si y al pie derecho. Las fijaciones son con tornillos punta Phillips para madera aglomerada de 6x1 ¼”. Los paneles son montados en el sobrecimiento sobre una solera inferior de madera de 2”x3” y amarrados en la parte superior por una solera superior madera de 2”x3”. Las uniones de esquina son unidas con tornillos punta Phillips para madera aglomerada de 10x3”. En todas las uniones entre los paneles con los elementos de madera horizontales, verticales y con las tablillas de unión, se aplica un sello de poliuretano.

Espesor: 90[mm]
Clasificación estructural.: Clase H
Resistencia al fuego: F - 15
Rendimiento: 60[m^2/día]
Costo por m2:$27.257

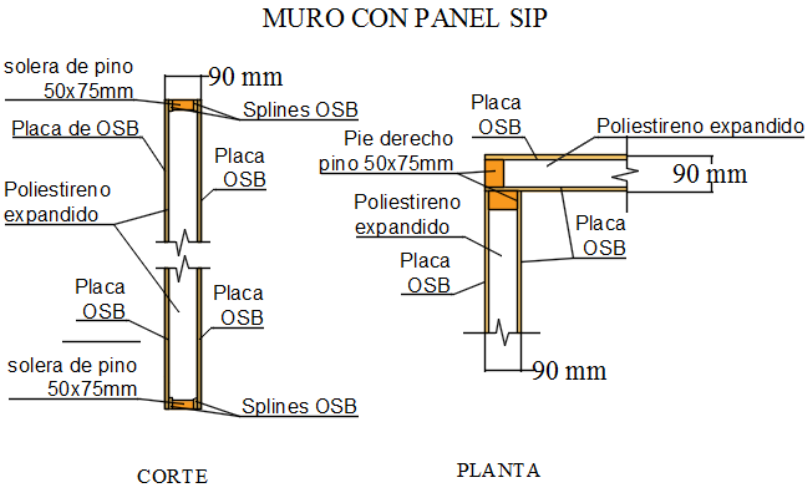
Ventajas:

- Livianos y de fácil manipulación.
- Sistema de construcción en seco, no requiere tiempos de espera.
- Rápida ejecución.

Desventajas:

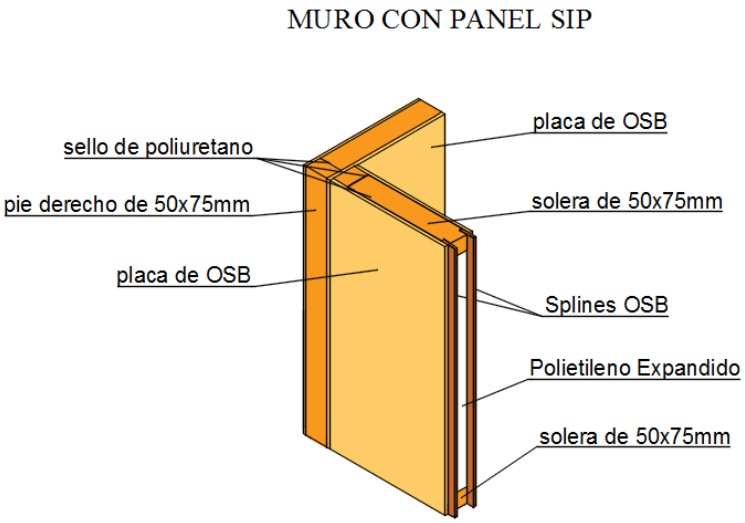
- Mayor costo en comparación a otros sistemas constructivos de similares características térmicas.
- Gran toxicidad en la producción de los materiales que se emplean para la construcción de edificaciones con este SC
- Debido a su clasificación estructural, las construcciones con este sistema constructivo no deben tener más de 2 pisos y la altura libre de piso a cielo no podrá exceder de 2,60 m, según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C.
- Requiere mano de obra especializada en carpintería.
- Altamente inflamable.
- Sus componentes no son reciclables una vez que cumplen con su ciclo de vida.
- Puentes térmicos en vanos de puertas y ventanas, unión piso muro y unión muro cielo.
- Puentes térmicos en los elementos de madera que interrumpen el elemento aislante.
- Problemas de condensación, por su nula transpirabilidad.

Imagen 42: Detalle constructivo corte y planta muro con panel SIP



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 43: Detalle constructivo isométrico muro con panel SIP



Fuente: Elaboración propia.

Muro de madera con aislación térmica de lana mineral

Imagen 44: Muro de madera con aislación de lana mineral.

Fuente: www.canexel.es

Sistema constructivo estructural de muro conformado por pies derechos de madera de 3” x 2”, distanciados entre ejes como máximo cada 40 [cm] y canes de amarre horizontal entre pies derechos como máximo cada 80[cm]. Esta configuración está revestida por el exterior con una placa OSB (Oriented Strand Board) de 15 [mm], sobre la cual se monta una placa de fibro-cemento (comercialmente conocido como Permanit/ Internit) de espesor 4 [mm] y densidad 1,2 [gr/cm^3] para mejorar durabilidad. Las fijaciones de las placas a la estructura de madera son clavos de 1 ½” y se colocan a un distanciamiento máximo de 20 [cm] entre sí. En el interior de esta estructura quedan espacios libres, que son rellenados con una colchoneta de lana mineral de 75 [mm] de espesor y densidad 40 [kg/m^3]. La cara interior es revestida por una placa de yeso cartón de 15 [mm].

Espesor: 84[mm]

Clasificación estructural.: Clase E

Resistencia al fuego: F - 15

Rendimiento: 15[m^2/día]

Costo por m2: $32,395.

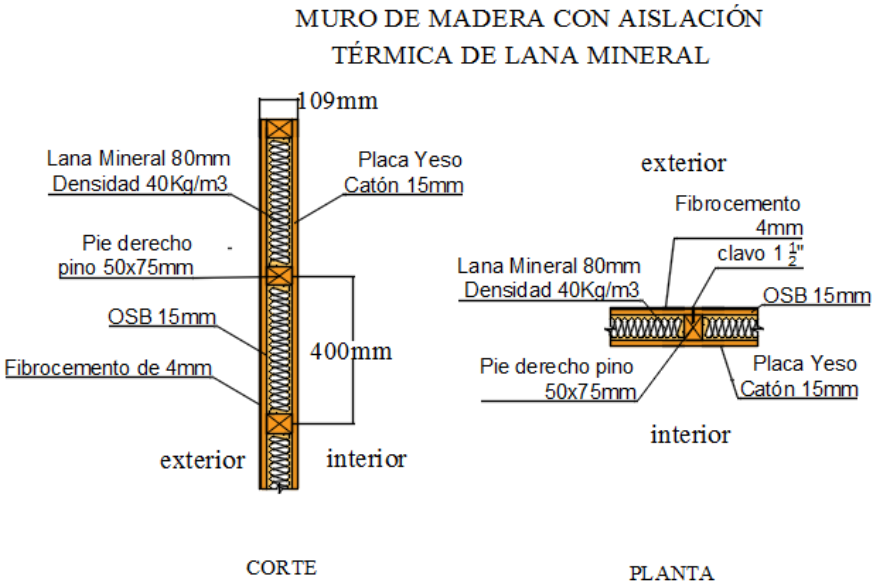
Ventajas:

- Sistema constructivo en seco, no requiere tiempos de espera.
- Los residuos en su ejecución, son reciclables y muchas veces reutilizables.
- Necesita pocas personas para su ejecución.
- Rápida ejecución.

Desventajas:

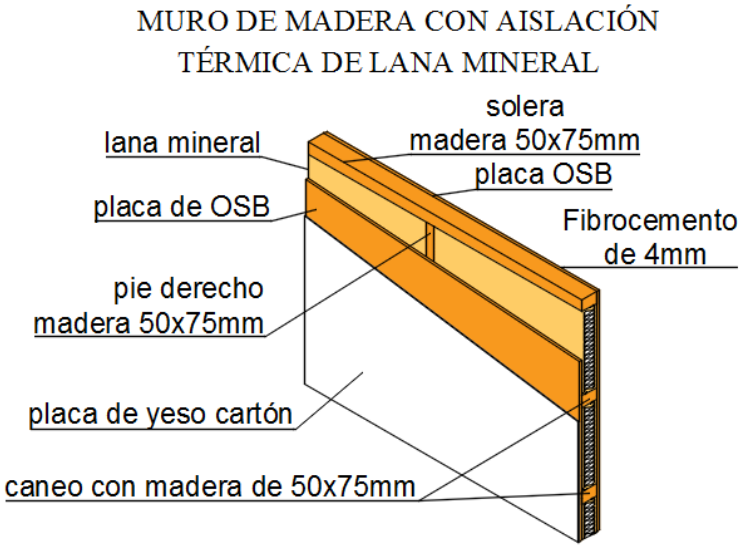
- Altamente inflamable.
- Debido a su clasificación estructural, las construcciones con este sistema constructivo no deben tener más de 2 pisos y la altura libre de piso a cielo no podrá exceder de 2,60 m, según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C.
- Requiere de mano de obra especializada en carpintería.
- Puentes térmicos en vanos de puertas y ventanas, unión piso muro y unión muro cielo.
- Puentes térmicos en los pies derechos y canes que dan estructura al muro, siendo elementos que interrumpen el elemento aislante.
- Riesgos para la salud en la manipulación del aislante, que obligan a utilizar elementos de protección personal (guantes, antiparras y mascarillas).

Imagen 45: Detalle constructivo corte y planta muro de madera con aislación de lana mineral



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 46: Detalle constructivo isométrico muro de madera con aislación de lana mineral



Fuente: Elaboración propia.

Muro de fardos de paja con revoque de tierra cruda

Imagen 47: Muro de fardos de paja

Fuente: https://construpaja.wordpress.com

Sistema constructivo con estructura soportante de madera, cuya aislación térmica la conforman fardos de paja de dimensiones de 100x45x35[cm] y densidad mínima de 90[kg/m³]. Se disponen los fardos a soga. La estructura soportante está resuelta por pies derechos compuestos (reticulado) de madera de sección 2”x3” a modo de cajón, rellenos con paja y cubiertos con placa de terciado estructural de 9mm. La misma configuración poseen las escalerillas horizontales de la misma sección, que confinan los fardos de paja a presión, dando estructura al muro. Los fardos son aplomados con mazos de madera y no necesitan elementos que los unan entre si. Sobre las caras del muro se aplica una capa de imprimación en base a Tierra Arcillosa de Alta Plasticidad (TAAP) y arena de río, en proporción 1:1, cuya penetración en el fardo es máximo 1[cm]. Posteriormente, una vez seca la capa anterior, se aplica un revoque grueso a base a TAAP, arena y paja picada en relación 1:2:1 con un espesor interior de 3[cm] y exterior de 4[cm]. Se completa el muro con un último revoque en base a TAAP y arena en proporción de 1:3, con un espesor de 1[cm] interior y exterior.

Espesor: 400[mm]

Clasificación estructural: Clase E

Resistencia al fuego: F - 120

Rendimiento: 25[m^2/día]

Costo por m2: $23,823.

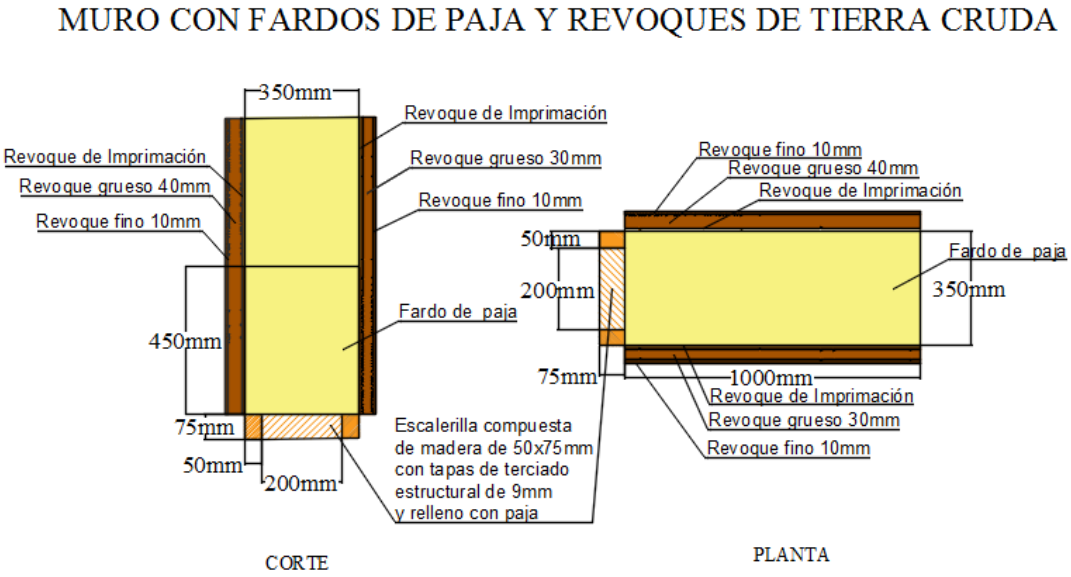
Ventajas:

- Gran resistencia al fuego.
- Bajo costo.
- Liviano, fácil de transportar y manipular.
- Posee buena aislación térmica, lo que ahorra dinero en cuanto a climatización.
- Tiene huella de carbono negativa, al ser un material orgánico.
- No genera residuos tóxicos en la obtención de los materiales que lo componen.
- Los residuos que son generados en la construcción con este sistema, son reciclables y reutilizables.
- No requiere de maquinaria especializada para su ejecución.
- Puentes térmicos con baja perdida de energía en vanos de puertas y ventanas, unión piso muro, muro cielo y esquinas.
- La transpirabilidad de los materiales evita riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales.

Desventajas:

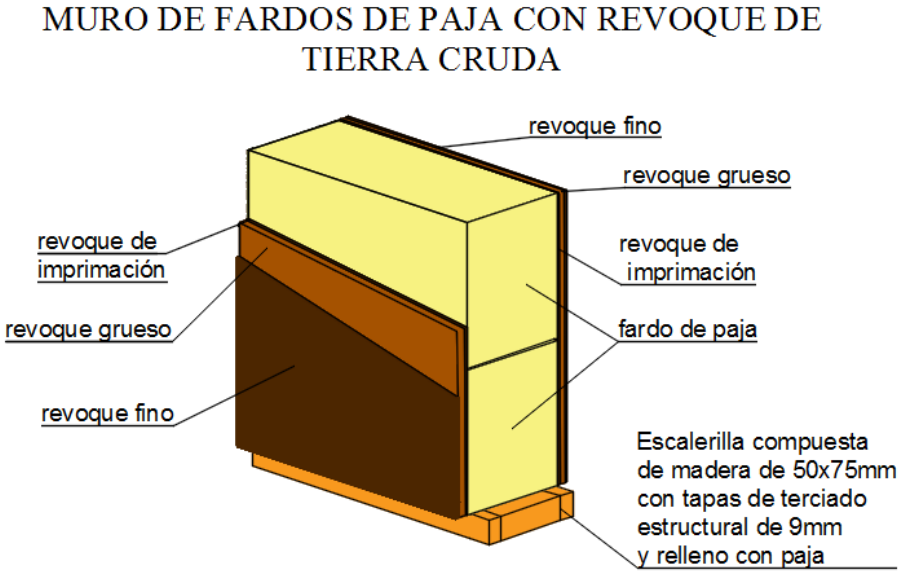
- Los costos de transporte de los fardos pueden incrementar si la adquisición no es local.
- La producción de fardos está sujeta a la estación de cosecha del trigo.
- La densidad de los fardos depende de la maquina enfardadora que los produce.
- Si la colocación de los revoques no es la correcta, se pueden generar patologías como agrietamientos e infiltraciones de agua lluvia, lo que puede generar problemas en el sistema constructivo, como hongos o compostaje de la paja por exceso de humedad.
- Requiere de mano de obra capacitada en carpintería y albañilería en tierra cruda.
- Debido a su clasificación estructural, las construcciones con este sistema constructivo no deben tener más de 2 pisos y la altura libre de piso a cielo no podrá exceder de 2,60 m, según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C.
- No es un sistema industrializado.
- El uso de este sistema carece de certificaciones y normas que lo regulen.
- Su gran espesor, resta superficie utilizable al total de la edificación.

Imagen 48: Detalle constructivo corte y planta muro de fardos de paja



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 49: Detalle constructivo isométrico muro de fardos de paja



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de eficiencia energética de los sistemas constructivos

Uno de los aspectos más relevantes para valorar la viabilidad de construir viviendas mediante muros con fardos de paja y revoques de tierra cruda, respecto los sistemas constructivos tradicionales de muros, es el ahorro de consumo de energía.

La evolución en los sistemas constructivos y sus materialidades ha generado diversas alternativas de soluciones térmicas para las viviendas, logrando disminuir el consumo energético de éstas. A continuación, se realiza un análisis de eficiencia energética de los sistemas constructivos estudiados, a fin de tener una cuantificación de la energía necesaria para climatizar una vivienda manteniendo un parámetro de confort térmico.

Para la comparativa se analizan los siguientes puntos:

- Cálculo de Transmitancia térmica ponderada Ū [W/m²K] de los muros estudiados.
- Cálculo de Transmisión de energía/año [kWh/a] para cada muro según método de grados día.
- Cálculo de costos según transmisión de energía [Q].
- Comparativa de costos energéticos anuales usando cada sistema constructivo.
- Comparativa de Análisis de Costo Unitario (ACU) de los sistemas constructivos.
- Comparativa de los tiempos de ejecución
- Cumplimiento de la Reglamentación Térmica vigente

Para el análisis se diagrama una pared de 12[m^2] con un vano para puerta de 1,6[m^2] y otro para ventana de 1,5[m^2].

Cálculo de Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]

Antecedentes

El artículo 5.4.2 de la NCh 853 of 2007 establece que la Transmitancia térmica ponderada Ū para elementos heterogéneos simples, es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en [W/m^{2}K] y se calcula mediante la fórmula (1):

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_t} = \sum U x I \qquad (1)$$

Donde:

Ū: Transmitancia térmica ponderada [W/m^{2}K]

R_T: Resistencia térmica total [m^{2}K/W]

U_i: Transmitancia térmica del elemento *i*.

A_i: Área del elemento *i*.

A_t: Área total del muro.

I: Incidencia del flujo térmico en el muro, calculado por A_i/A_t.

Siendo:

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \qquad (2)$$

Donde:

R_T: Resistencia térmica total [m²K/W].

R_{si}; Resistencia térmica superficial interior [m²K/W].

e: Espesor de la capa de material que compone el muro [m]

λ: Conductividad térmica de la capa de material que conforma el muro [W/mK].

R_{se}; Resistencia térmica superficial exterior [m²K/W].

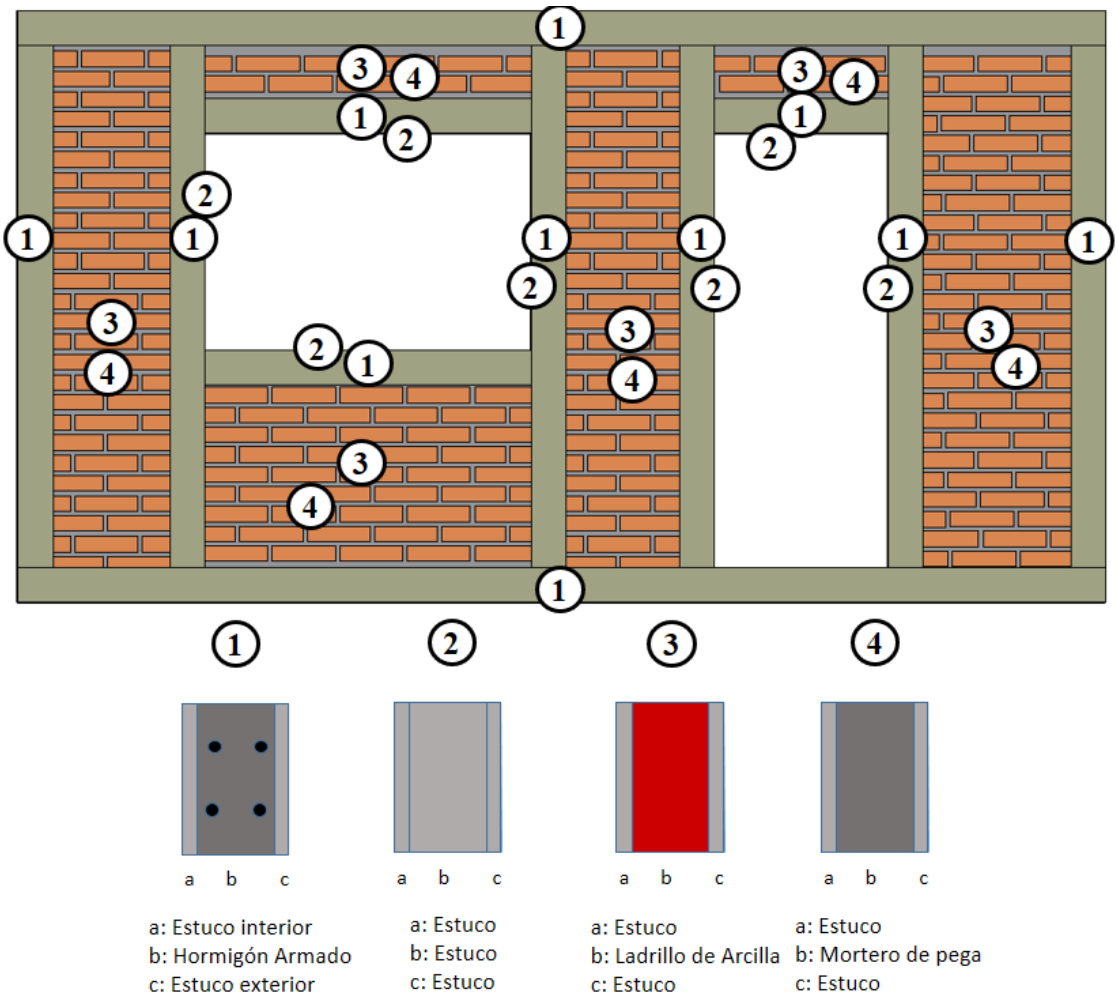
Cálculos

Para el cálculo de la Transmitancia térmica ponderada, es necesario obtener la Transmitancia térmica U de los distintos flujos térmicos que poseen los sistemas constructivos. La Transmitancia térmica U es la inversa de la Resistencia térmica Rt, la cual se calcula con la formula (2) y cuyos valores de Rsi y Rse se obtienen de la tabla 2 de la NCh 853 (ver anexo 4).

Cada sistema constructivo posee varios flujos termicos, y para distinguirlos, se ha diagramado un muro tipo de 2.4[m] de altura y 5[m] de largo, con el vano de una puerta y el vano de una ventana, cuya área total, descontando los vanos, es 8.9[m²].

A continuación, se muestra el diagrama de muro de cada sistema constructivo, en los cuales se han enumerado los distintos flujos termicos que posee, seguido de las tablas con los cálculos de la Transmitancia térmica U de cada flujo térmico y finalmente una tabla con el cálculo de la Transmitancia térmica ponderada $\bar{U}$, donde se involucra la Transmitancia térmica U y el área de incidencia que abarca cada flujo térmico en el muro estudiado, usando la formula (1).

Imagen 50: Diagrama de muro de Albañilería confinada con ladrillo térmico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico.

Flujo Térmico 1 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Hormigon Armado	0.153	1.63	0.09
Estuco interior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.41**
	Transmitancia térmica U		**2.46**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico.

Flujo Térmico 2 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico			
Materiales que componen el Flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Estuco dintel térmico Presec	0.153	0.21	0.73
Estuco interior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**1.04**
	Transmitancia térmica U		**0.96**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4:Transmitancia térmica U del flujo térmico 3 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico.

Flujo Tèrmico 3 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico			
Materiales que componen el Flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Ladrillo hueco Santiago te 7	0.153	0.31	0.49
Estuco interior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.80**
	Transmitancia térmica U		**1.25**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5:Transmitancia térmica U del flujo térmico 4 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico.

Flujo Térmico 4 en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico			
Materiales que componen el Flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Mortero de pega	0.153	1.40	0.11
Estuco interior térmico Presec	0.015	0.21	0.07
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.42**
	Transmitancia térmica U		**2.37**

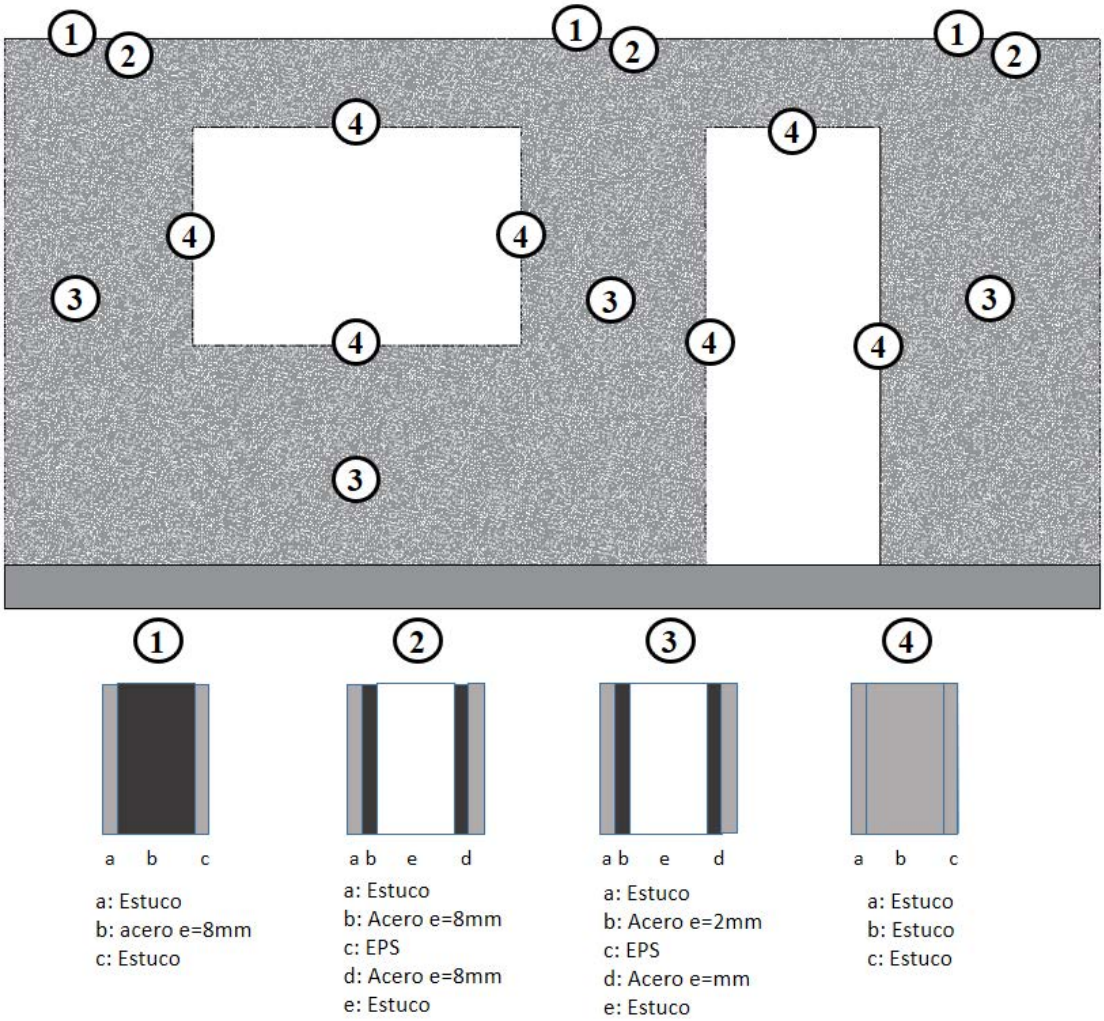
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de albañilería confinada con ladrillo térmico

Muro de albañilería confinada con ladrillo térmico			
Flujo Térmico	**Incidencia (Ai/A total)**	**Transmitancia térmica Ui [W/m²K]**	**Transmitancia térmica total [W/m²K]**
1	22.6%	2.46	0.56
2	1.7%	0.96	0.02
3	55.3%	1.25	0.69
4	20.4%	2.37	0.48
Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]			**1.74**

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 51:Diagrama de muro con panel Covintec.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro con panel Covintec.

Flujo Térmico 1 en muro con panel Covintec			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.016	1.40	0.01
Acero 8mm	0.080	52.00	0.0015
Estuco interior	0.016	1.40	0.01
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.19**
	Transmitancia térmica U		**5.16**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro con panel Covintec.

Flujo Térmico 2 en muro con panel Covintec			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.025	1.40	0.02
Acero 2mm	0.002	52.00	0.00004
Poliestireno expandido entre mallas de acero	0.055	0.04	1.38
Acero 2mm	0.002	52.00	0.00004
Acero 2mm	0.002	52.00	0.00004
Estuco interior	0.025	1.40	0.02
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**1.58**
	Transmitancia térmica U		**0.63**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9:Transmitancia térmica U del flujo térmico 3 en muro con panel Covintec.

Flujo Térmico 3 en muro con panel Covintec			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.019	1.40	0.01
Acero 8mm	0.008	52.00	0.00015
Poliestireno expandido entre mallas de acero	0.055	0.04	1.38
Acero 2mm	0.002	52.00	0.00004
Acero 8mm	0.008	52.00	0.00015
Estuco interior	0.019	1.40	0.01
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**1.57**
	Transmitancia térmica U		**0.64**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10:Transmitancia térmica U del flujo térmico 4 en muro con panel Covintec.

Flujo Térmico 4 en muro con panel Covintec			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.025	1.40	0.02
Estuco exterior	0.061	1.40	0.04
Estuco interior	0.025	1.40	0.02
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.25**
	Transmitancia térmica U		**4.01**

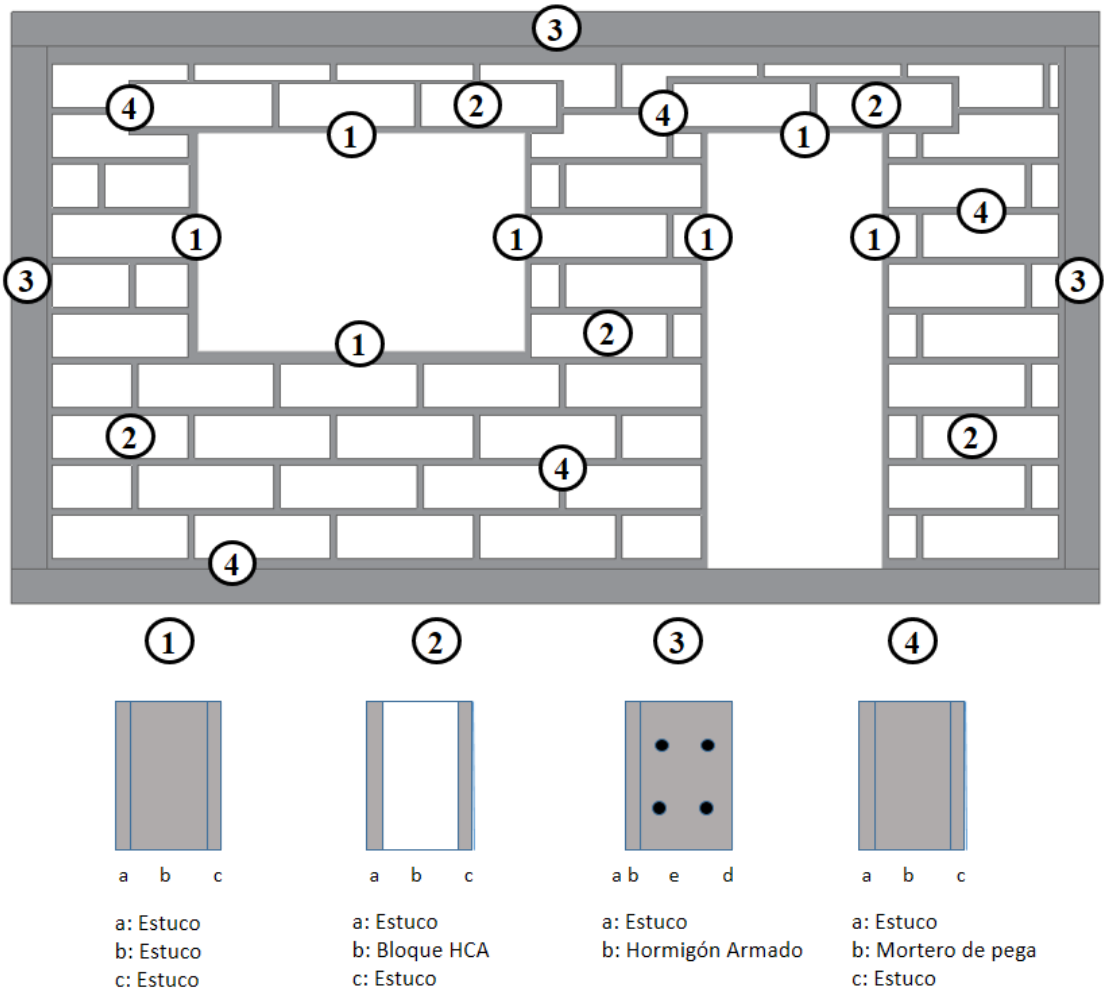
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro con panel Covintec.

Muro con panel Covintec			
Flujo Térmico	**Incidencia**	**Transmitancia térmica Ui [W/m²K]**	**Transmitancia térmica total [W/m²K]**
1	0.3%	5.16	0.02
2	2.2%	0.63	0.01
3	95.8%	0.64	0.61
4	1.7%	4.01	0.07
Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]			**0.71**

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 52: Diagrama de muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado.

Flujo Térmico 1 en muro de hormigón celular autoclavado			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.015	1.40	0.01
Estuco exterior	0.150	1.40	0.11
Estuco interior	0.015	1.40	0.01
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.30**
	Transmitancia térmica U		**3.35**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado.

Flujo Térmico 2 en muro de hormigón celular autoclavado			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.015	1.40	0.01
Bloque hormigón celular	0.150	0.16	0.94
Estuco interior	0.015	1.40	0.01
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**1.13**
	Transmitancia térmica U		**0.89**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14:Transmitancia térmica U del flujo térmico 3 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado.

Flujo Térmico 3 en muro de hormigón celular autoclavado			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.010	1.40	0.01
Hormigon Armado	0.170	1.63	0.10
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.28**
	Transmitancia térmica U		**3.55**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15:Transmitancia térmica U del flujo térmico 4 en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado.

Flujo Térmico 4 en muro de hormigón celular autoclavado			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Estuco exterior	0.015	1.40	0.01
Mortero de pega	0.150	1.40	0.11
Estuco interior	0.015	1.40	0.01
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.30**
	Transmitancia térmica U		**3.35**

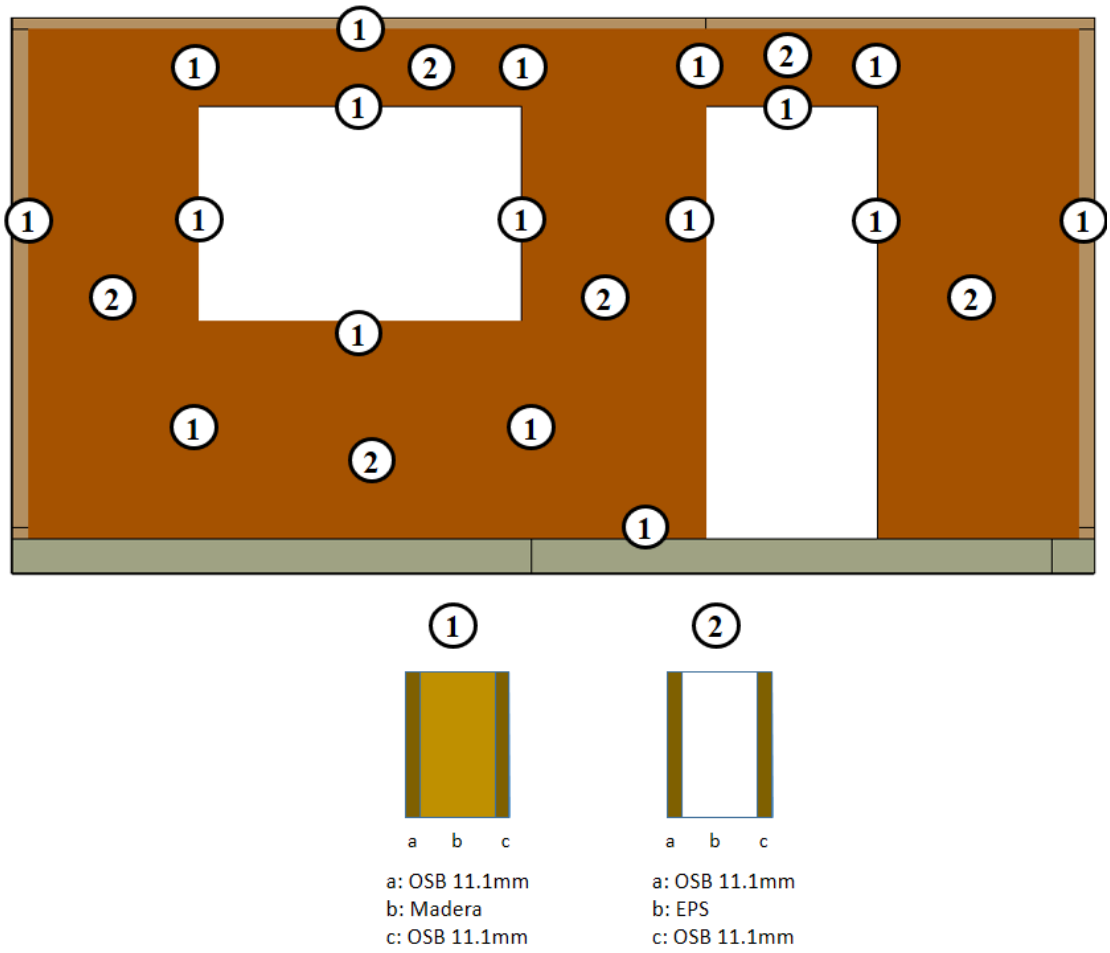
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de Albañilería de bloques de hormigón celular autoclavado.

Muro de hormigón celular autoclavado			
Flujo Térmico	**Incidencia**	**Transmitancia térmica Ui [W/m²K]**	**Transmitancia térmica total [W/m²K]**
1	2.2%	4.95	0.11
2	62.9%	0.89	0.56
3	22.0%	3.67	0.81
4	12.9%	3.43	0.44
Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]			**1.92**

Fuente: Elaboración propio.

Imagen 53: Diagrama de muro con panel SIP.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro con panel SIP.

Flujo Térmico 1 en muro con panel SIP			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Placa OSB 11.1mm	0.011	0.13	0.09
Placa OSB 9mm	0.009	0.13	0.07
Madera	0.065	0.16	0.40
Placa OSB 9mm	0.009	0.13	0.07
Placa OSB 11.1mm	0.011	0.13	0.09
Rsi	0.105		0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.88**
	Transmitancia térmica U		**1.14**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro con panel SIP.

Flujo Térmico 2 en muro con panel SIP			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica R [m²K/W]**
Rse			0.05
Placa OSB 11.1mm	0.011	0.13	0.09
Poliestireno expandido	0.068	0.04	1.65
Placa OSB 11.1mm	0.011	0.13	0.09
Rsi	0.090		0.12
	Resistencia térmica total Rt		**1.99**
	Transmitancia térmica U		**0.50**

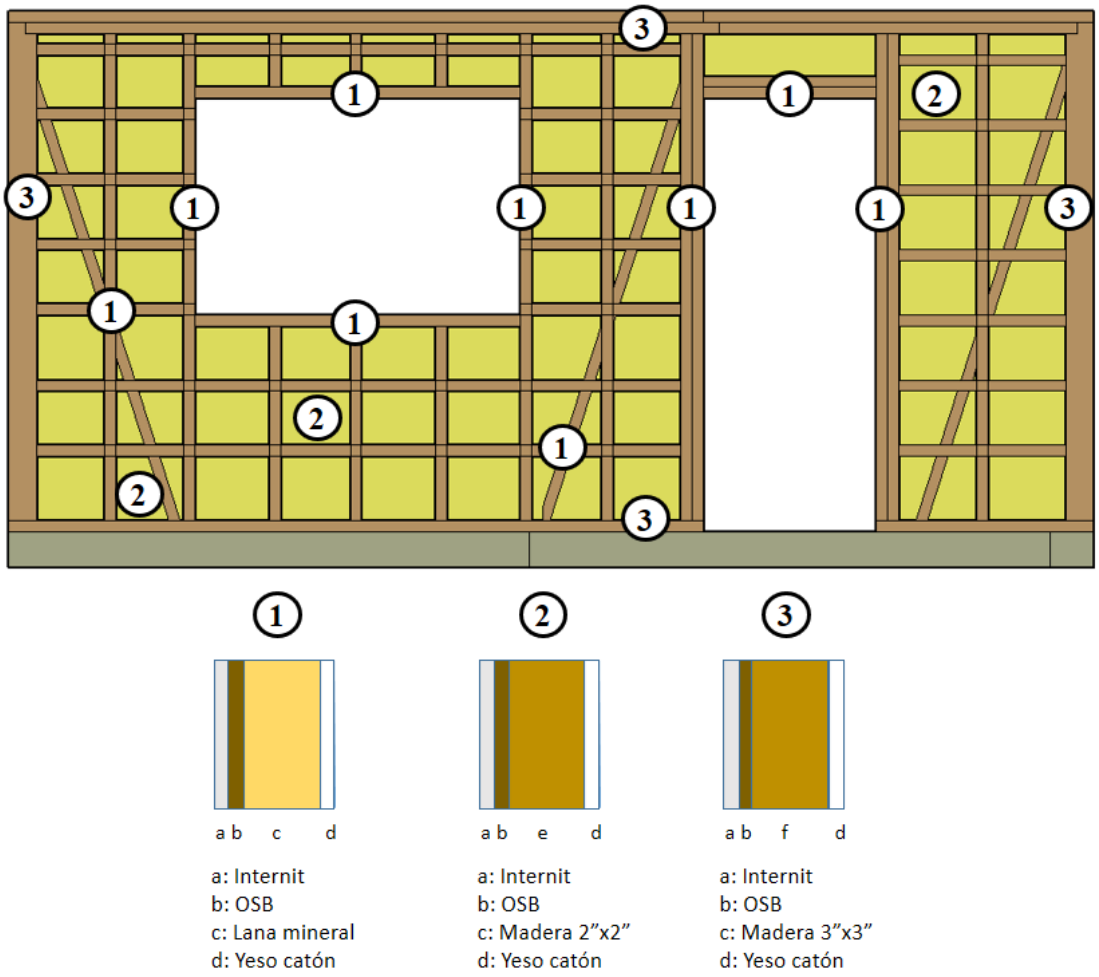
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro con panel SIP.

Muro con panel SIP			
Flujo Térmico	**Incidencia**	**Transmitancia térmica Ui [W/m²K]**	**Transmitancia térmica total [W/m²K]**
1	18.8%	1.14	0.21
2	81.2%	0.50	0.41
Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]			**0.62**

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 54:Diagrama de muro de madera con aislación térmica de lana mineral.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de madera con aislación térmica de lana mineral.

Flujo Térmico 1 en muro de madera con aislación térmica de lana mineral			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad Térmica λ [W/mK]**	**Resistencia Térmica Rt [m²K/W]**
Rse			0.05
Revestimiento exterior Permanit	0.004	0.23	0.02
placa OSB	0.015	0.13	0.12
Colchoneta lana mineral 80kg/m³	0.050	0.04	1.32
Revestimiento interior placa yeso cartón	0.015	0.24	0.06
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**1.68**
	Transmitancia térmica U		**0.59**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de madera con aislación térmica de lana mineral.

Flujo Térmico 2 en muro de madera con aislación térmica de lana mineral			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad Térmica λ [W/mK]**	**Resistencia Térmica Rt [m²K/W]**
Rse			0.05
Revestimiento exterior Permanit	0.004	0.23	0.02
placa OSB	0.015	0.13	0.12
Madera	0.050	0.16	0.31
Revestimiento interior placa yeso cartón	0.015	0.24	0.06
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**0.67**
	Transmitancia térmica U		**1.49**

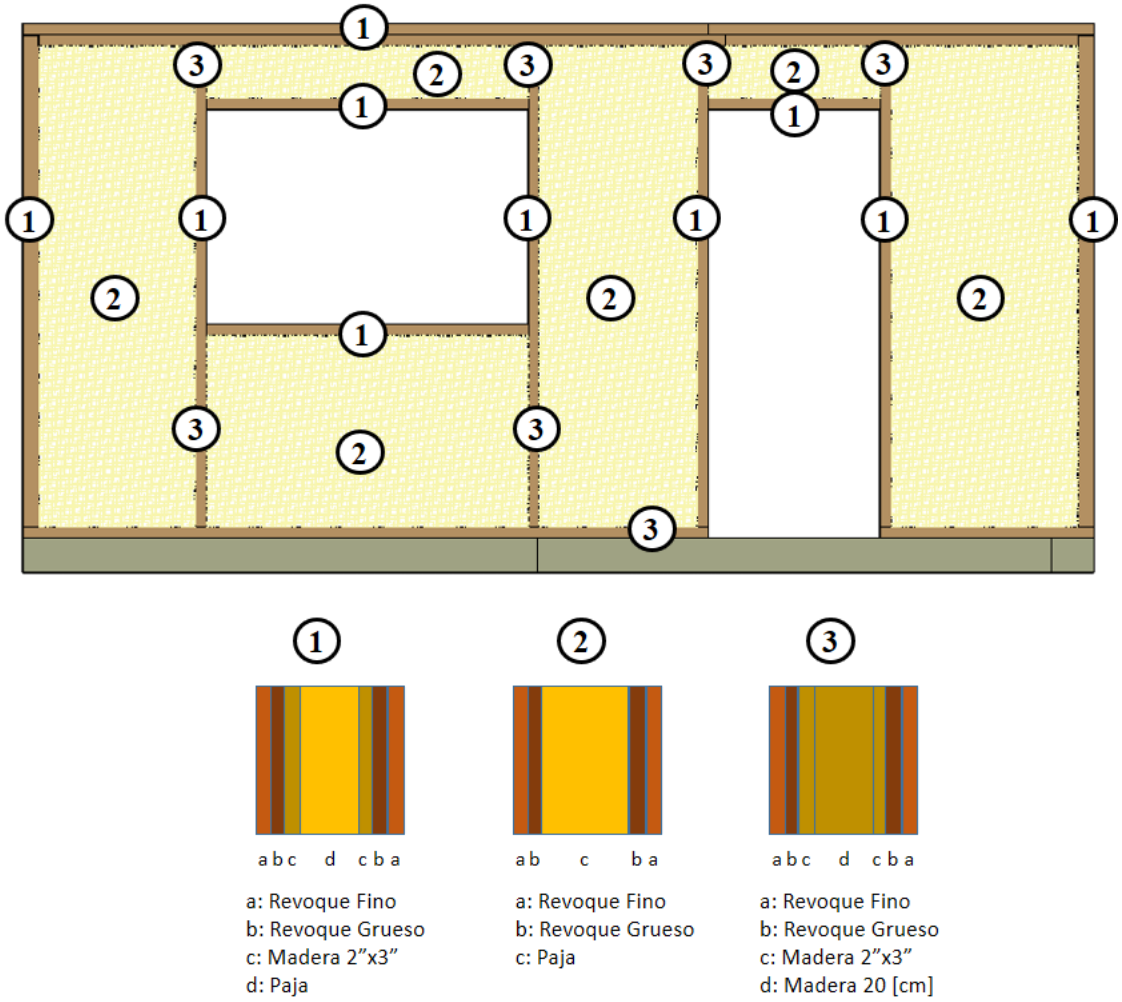
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de madera con aislación térmica de lana mineral.

Muro de madera con aislación térmica de lana mineral			
Flujo Térmico	**Incidencia**	**Transmitancia Térmica Ui [W/m²K]**	**Transmitancia térmica total [W/m²K]**
1	71.5%	0.59	0.43
2	28.5%	1.49	0.42
Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]			**0.85**

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 55:Diagrama de muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23:Transmitancia térmica U del flujo térmico 1 en muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda.

Flujo Térmico 1 en muro de fardo de paja			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica Rt [m²K/W]**
Rse			0.05
Revoque arcilla, arena y paja picada exterior	0.050	0.80	0.06
Madera 2"x3"	0.075	0.05	1.67
Paja picada	0.200	0.16	1.23
Madera 2"x3"	0.075	0.16	0.46
Revoque arcilla, arena y paja picada interior	0.040	0.80	0.05
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**3.64**
	Transmitancia térmica U		**0.28**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda.

Flujo Térmico 2 en muro de fardo de paja			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica Rt [m²K/W]**
Rse			0.05
Revoque arcilla, arena y paja picada exterior	0.050	0.80	0.06
Fardo de paja parado	0.350	0.05	7.78
Revoque arcilla, arena y paja picada interior	0.040	0.80	0.05
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**8.06**
	Transmitancia térmica U		**0.12**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25:Transmitancia térmica U del flujo térmico 2 en muro de fardos de paja con revoques de tierra cruda.

Flujo Térmico 3 en muro de fardo de paja			
Materiales que componen el flujo térmico	**Espesor "e" [m]**	**Conductividad térmica λ [W/mK]**	**Resistencia térmica Rt [m²K/W]**
Rse			0.05
Revoque arcilla, arena y paja picada exterior	0.050	0.80	0.06
Madera 2"x3"	0.075	0.05	1.67
Madera	0.200	0.16	1.23
Madera 2"x3"	0.075	0.16	0.46
Revoque arcilla, arena y paja picada interior	0.040	0.80	0.05
Rsi			0.12
	Resistencia térmica total Rt		**3.64**
	Transmitancia térmica U		**0.28**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26:Transmitancia Térmica Ponderada Ū en muro de madera con aislación térmica de lana mineral.

Muro de fardo de paja			
Flujo Térmico	**Incidencia**	**Transmitancia térmica Ui [W/m²K]**	**Transmitancia térmica total [W/m²K]**
1	27.6%	0.28	0.08
2	69.8%	0.12	0.09
3	2.6%	0.28	0.01
Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]			**0.17**

Fuente: Elaboración propia.

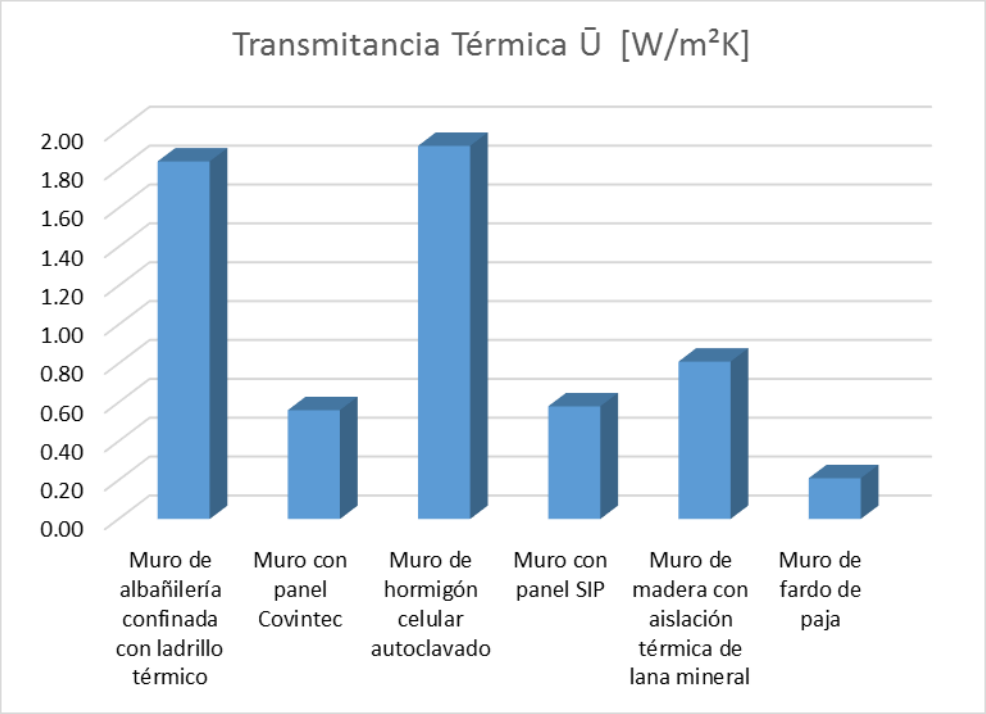
La tabla 33 muestra la transmitancia térmica ponderada de cada sistema constructivo, con cuyos datos es posible hacer una comparación numérica, que se puede apreciar en la gráfica 3.

Tabla 27: Transmitancia Térmica ponderada de los Sistemas Constructivos.

Sistema Constructivo	Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]
Muro de albañilería confinada con ladrillo térmico	1.74
Muro con panel Covintec	0.71
Muro de hormigón celular autoclavado	1.92
Muro con panel SIP	0.62
Muro de madera con aislación térmica de lana mineral	0.85
Muro de fardo de paja	0.17

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2: Resumen Transmitancia Térmica de los Sistemas Constructivos Estudiados



Fuente: Elaboración propia

A menor transmitancia térmica, menor es la perdida de energía calórica.

Cálculo de transmisión de energía al año por muro según el método de Grados Día

Antecedentes

La metodología Grados Día (GD) permite realizar estimaciones de consumo de energía térmica, tanto para calefaccionar como para enfriar un espacio, a partir de la diferencia entre la temperatura interior y la temperatura exterior media del día. Para ello es necesario saber cuántos grados al día está la temperatura ambiente por sobre o bajo una temperatura de confort determinada. Luego se suman los grados día obtenidos en cada día del año, para finalmente obtener los Grados Día por año según:

$$GD = \sum_{1}^{365}(T - T_{base}) \qquad (4)$$

Donde:

GD: Grados día [k/año].

T: Temperatura media diaria [k].

T_{base}: Temperatura base. Límite de referencia inferior o superior de confort [k].

Con los Grados Día se calcula la perdida de energía de un espacio según la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A \cdot GD \qquad (5)$$

Donde:

Q: Pérdida de energía térmica a través del muro [kWh/año].

U: Transmitancia térmica [W/m^{2}K].

A: Área de cálculo del muro [m^2].

GD: Cantidad de grados al año por encima o debajo de la temperatura de referencia o de confort [K*24h/a].

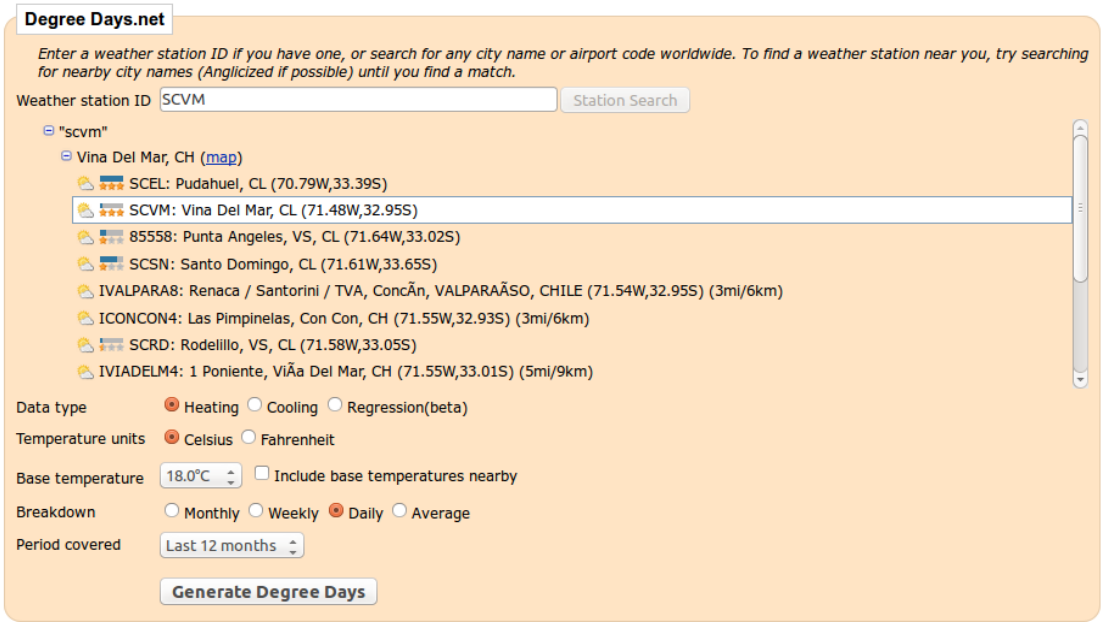
Cálculos

Para los efectos del cálculo de los GD, se ha consultado la aplicación de la web www.degreedays.net. (ver imagen 56) la cual posee una base de datos con las temperaturas medias diarias de cientos de estaciones meteorológicas a nivel mundial. Se usaron los datos obtenidos por la estación meteorológica de Viña del Mar SCVM, datos que fueron entregados por la aplicación web, en una hoja de cálculo Excel y de manera gratuita vía descarga online, en la cual se muestra por fecha la cantidad de grados por cada día del año que se está por debajo de los 18°C o encima de los 23°C (rango de confort térmico al interior de una vivienda en Chile).

Posteriormente, se suma por separado la cantidad de grados día al año que la temperatura media exterior estuvo por debajo de los 18°C y por encima de los 23°C, obteniendo de esta manera el valor de los Grados Día para cada situación límite de confort:

- Cantidad de grados día al año bajo 18°C: 1538
- Cantidad de grados día al año sobre 23°C: 16

Imagen 56: Aplicación web para el cálculo de Grados Día



Fuente: www.degreedays.net.

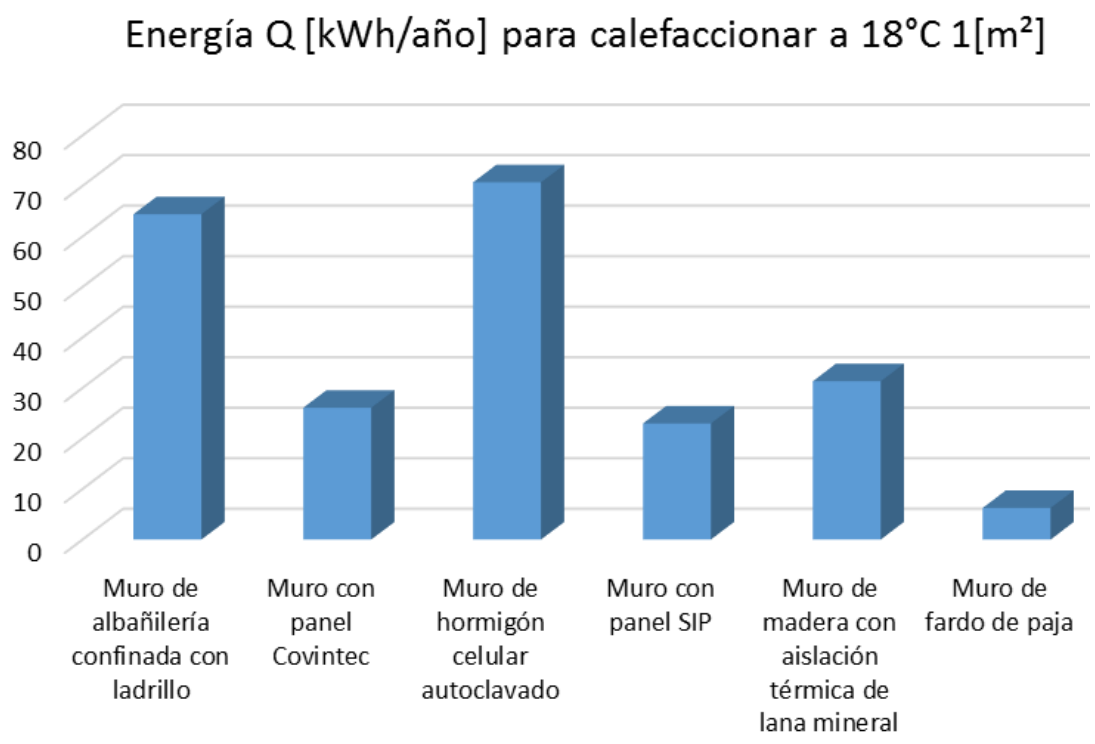
Utilizando la formula (5), se confecciona la tabla 28, que muestra la de energía Q en [kWh/año] necesaria para calefaccionar y mantener la temperatura de confort de 18°C en 1[m^2] de muro con cada SC, y la tabla 29 que muestra la energía Q en [kW/año] necesaria para enfriar y mantener la temperatura de confort de 23°C en 1[m^2] de muro con cada SC.

Tabla 28: Energía necesaria para calefaccionar 1[m2] de muro con cada SC

Calefaccionar a 18°C 1 [m²] al año				
Sistema Constructivo	Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]	Superficie A [m²]	Grados día GD [K*24h/año]	Energía Q [kWh/año]
Muro de albañilería confinada con ladrillo	1.74	1.00	1538	64
Muro con panel Covintec	0.71	1.00	1538	26
Muro de hormigón celular autoclavado	1.92	1.00	1538	71
Muro con panel SIP	0.62	1.00	1538	23
Muro de madera con aislación térmica de lana mineral	0.85	1.00	1538	31
Muro de fardo de paja	0.17	1.00	1538	6

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3: Energía necesaria para calefaccionar 1[m2] de muro con cada SC



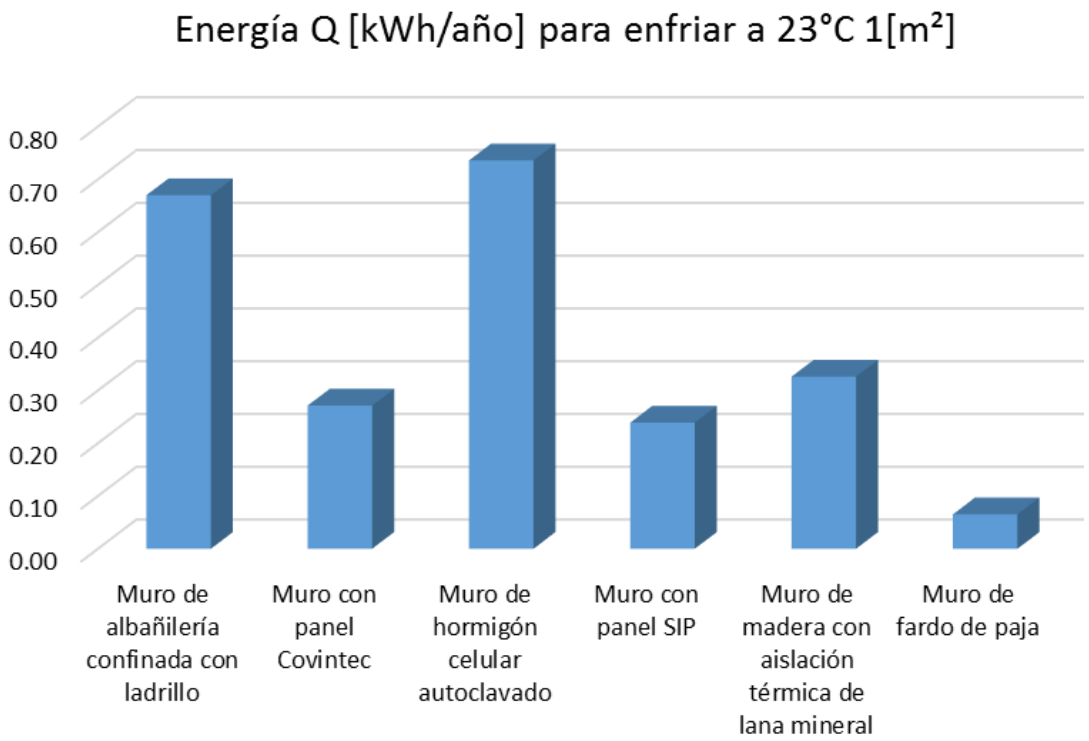
Fuente: elaboración propia.

Tabla 29: Energía necesaria para enfriar 1[m2] de muro con cada SC

Enfriar a 23°C 1 [m²] al año				
Sistema Constructivo	Transmitancia Térmica Ponderada Ū [W/m²K]	Superficie A [m²]	Grados día GD [K*24h/año]	Energía Q [kWh/año]
Muro de albañilería confinada con ladrillo	1.74	1.00	16	0.67
Muro con panel Covintec	0.71	1.00	16	0.27
Muro de hormigón celular autoclavado	1.92	1.00	16	0.74
Muro con panel SIP	0.62	1.00	16	0.24
Muro de madera con aislación térmica de lana mineral	0.85	1.00	16	0.33
Muro de fardo de paja	0.17	1.00	16	0.07

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4: Energía necesaria para enfriar 1[m2] de muro con cada SC



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de costos según transmisión de energía

Antecedentes

El mayor gasto energético de una vivienda durante su ciclo de vida, es en la etapa de uso y funcionamiento, siendo la calefacción la principal causa de consumo de energía. Cuantificar monetariamente la energía que es necesaria para calefaccionar 1 [m^2] de muro por hora en base a los sistemas constructivos estudiados, permitirá tener antecedentes para determinar cuál sistema constructivo es más conveniente económicamente utilizar.

Se consultaron a las principales empresas proveedoras de recursos energéticos (RE) en Chile, los precios sin IVA por [kWh] de energía eléctrica, combustibles y leña.

Tabla 30: Precio del kWh según recurso energético

Recurso Energético	Precio $/kWh
Electricidad	$150
Gas Natural	$83
Gas Licuado	$115
Kerosene	$103
Leña	$37

Fuente: Estudio de mercado. Elaboración propia.

Cálculos

En el cálculo de costo, se utiliza la siguiente expresión:

$$C = Q * P \qquad (6)$$

Donde:

C: Costo económico anual [$/año].

Q: Pérdida de energía térmica a través del muro [kWh/año].

P: Precio del RE [$/kWh].

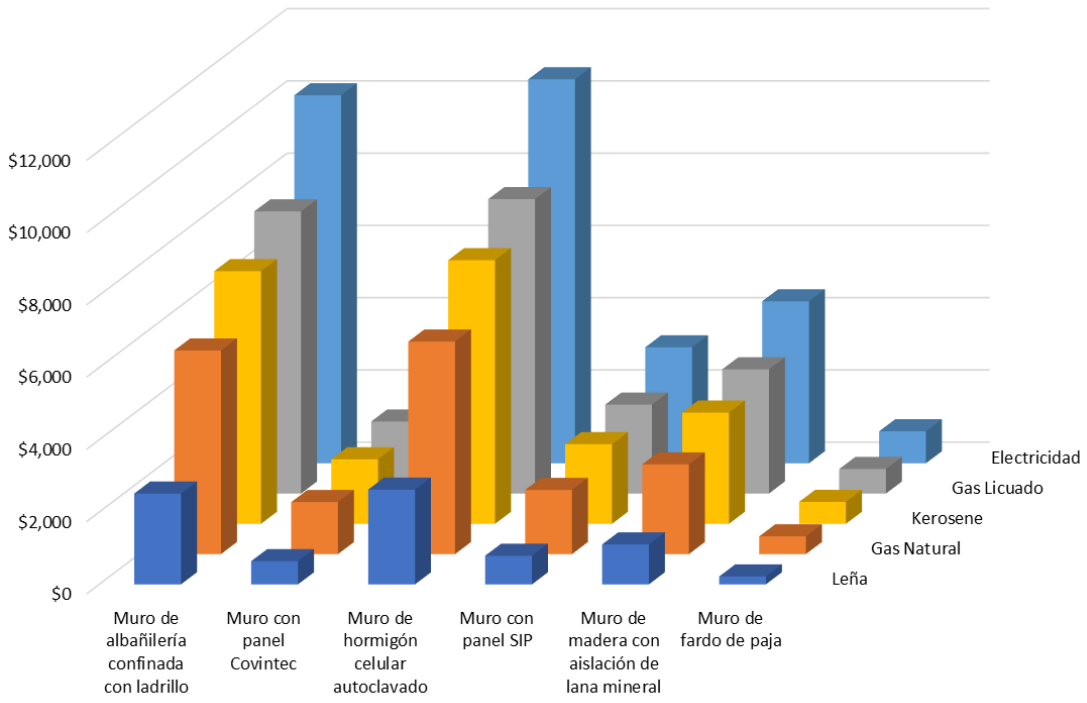
La tabla 31 muestra, según el tipo de recurso energético utilizado para calefaccionar y mantener la temperatura de confort de 18°C al interior de una edificación, el costo asociado dependiendo del tipo de SC que se adopte.

Tabla 31: Costo de calefaccionar y mantener a 18°C 1[m2] de muro en un año, utilizando distintos recursos energéticos para cada SC.

Costo de Calefaccionar a 18°C 1 [m²] al año					
Sistema Constructivo	**Electricidad**	**Gas Natural**	**Gas Licuado**	**Kerosene**	**Leña**
Muro de albañilería confinada con ladrillo	$9,659	$5,344	$7,405	$6,632	$2,382
Muro con panel Covintec	$3,914	$2,166	$3,000	$2,687	$965
Muro de hormigón celular autoclavado	$10,605	$5,868	$8,130	$7,282	$2,616
Muro con panel SIP	$3,448	$1,908	$2,643	$2,368	$850
Muro de madera con aislación de lana mineral	$4,703	$2,602	$3,606	$3,229	$1,160
Muro de fardo de paja	$939	$520	$720	$645	$232

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5: Costo de calefaccionar y mantener a 18°C 1[m2] de muro en un año, utilizando distintos recursos energéticos para cada SC



Fuente: Elaboración propia.

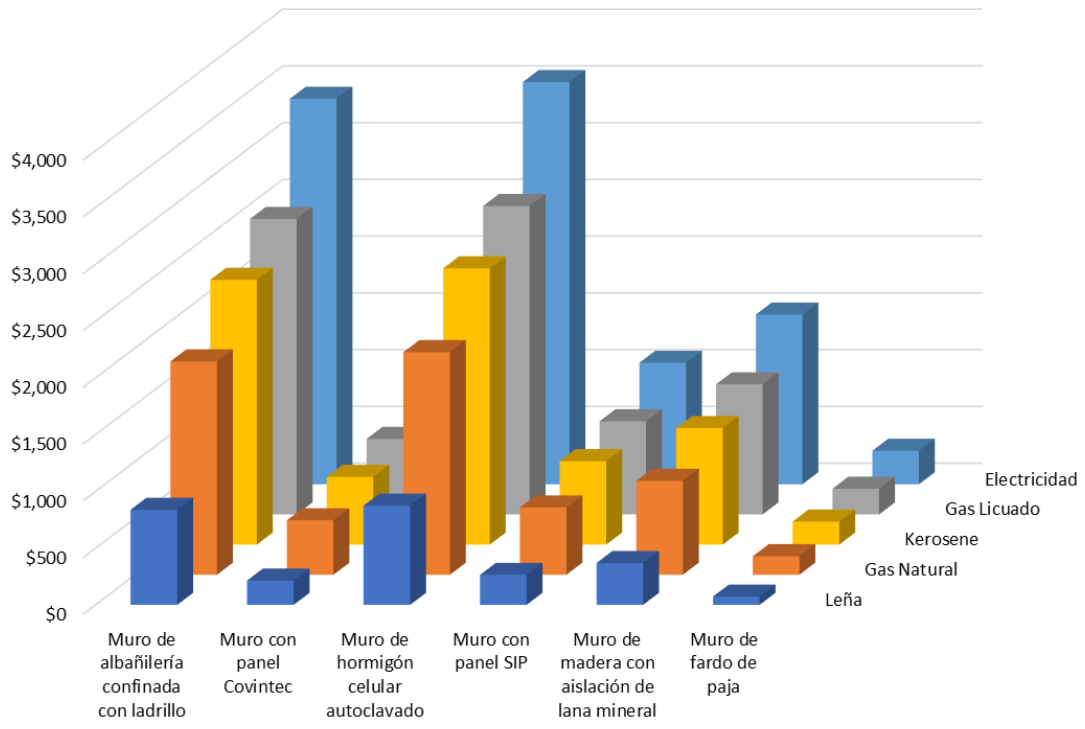
La tabla 32 muestra el costo de calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro en los 4 meses más fríos del año, utilizando distintos recursos energéticos para cada Sistema Constructivo:

Tabla 32: Costo de calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro en los 4 meses más fríos del año, utilizando distintos recursos energéticos para cada Sistema Constructivo.

Costo de Calefaccionar a 18°C 1 [m²] en los 4 meses más fríos del año					
Sistema Constructivo	**Electricidad**	**Gas Natural**	**Gas Licuado**	**Kerosene**	**Leña**
Muro de albañilería confinada con ladrillo	$3,220	$1,781	$2,468	$2,211	$794
Muro con panel Covintec	$1,305	$722	$1,000	$896	$322
Muro de hormigón celular autoclavado	$3,535	$1,956	$2,710	$2,427	$872
Muro con panel SIP	$1,149	$636	$881	$789	$283
Muro de madera con aislación de lana mineral	$1,568	$867	$1,202	$1,076	$387
Muro de fardo de paja	$313	$173	$240	$215	$77

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6:Costo de Calefaccionar a 18°C 1 [m²] en los 4 meses más fríos del año



Fuente: Elaboración propia.

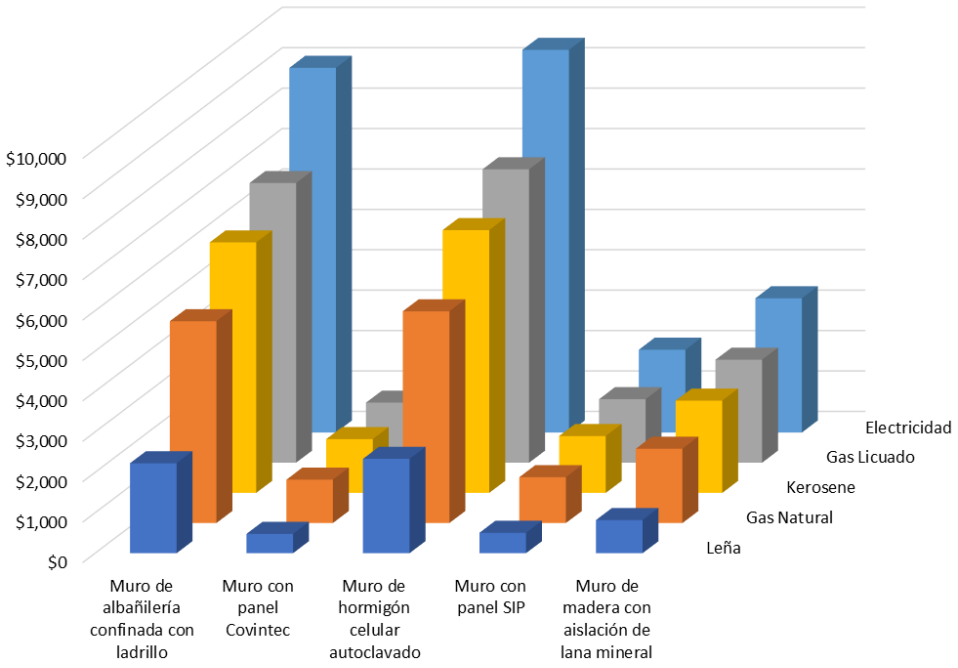
Con ésta información, es posible realizar una comparativa del ahorro que supone usar el sistema constructivo con fardos de paja versus los sistemas constructivos convencionales estudiados. Para esta comparación, se tomará como valor base el costo económico que supone calefaccionar a 18°C 1 [m^2] de muro de fardos de paja al año con los diferentes tipos de recursos energéticos que ofrece el mercado, a fin de obtener la relación entre los sistemas constructivos convencionales y el sistema de construcción con fardos de paja.

Tabla 33: Comparativa de ahorro en $ de usar SC de fardos de paja

Ahorro en $ al año por calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro de fardos de paja respecto a los sistemas constructivos convencionales					
Sistema constructivo	**Electricidad**	**Gas Natural**	**Gas Licuado**	**Kerosene**	**Leña**
Muro de albañilería confinada con ladrillo	$8,719	$4,825	$6,685	$5,987	$2,151
Muro con panel Covintec	$2,974	$1,646	$2,280	$2,042	$734
Muro de hormigón celular autoclavado	$9,665	$5,348	$7,410	$6,637	$2,384
Muro con panel SIP	$2,509	$1,388	$1,923	$1,723	$619
Muro de madera con aislación de lana mineral	$3,764	$2,083	$2,886	$2,584	$928

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7:Ahorro en $ al año por calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro de fardos de paja respecto a los sistemas constructivos convencionales.



Fuente: Elaboración propia.

Para poder dimensionar el gasto de lo que implica utilizar cada uno de los sistemas constructivos estudiados, se hace el ejercicio de determinar cuál sería el costo al año de calefaccionar una vivienda. La tabla 34 muestra el costo de calefaccionar al año una casa que posee una envolvente térmica de 75[m²]para cada sistema constructivo estudiado, utilizando distintas fuentes de energía para calefaccionar.

Tabla 34: Costo de calefaccionar al año una casa con envolvente térmica de 75[m²].

Costo de Calefaccionar al año una casa con envolvente de 75 [m²]					
Sistema Constructivo	**Electricidad**	**Gas Natural**	**Gas Licuado**	**Kerosene**	**Leña**
Muro de albañilería confinada con ladrillo	$724,392	$400,830	$555,367	$497,416	$178,683
Muro con panel Covintec	$293,517	$162,413	$225,029	$201,548	$72,401
Muro de hormigón celular autoclavado	$795,339	$440,087	$609,760	$546,133	$196,184
Muro con panel SIP	$258,593	$143,088	$198,255	$177,567	$63,786
Muro de madera con aislación de lana mineral	$352,729	$195,177	$270,426	$242,207	$87,006
Muro de fardo de paja	$70,449	$38,982	$54,011	$48,375	$17,377

Fuente: Elaboración propia.

Comparativa de Análisis de Costos Unitarios (ACU)

Antecedentes

El Análisis de Costos Unitarios (ACU) estudia el costo de ejecutar una unidad (ml, m^2, m^3, etc.) de una faena determinada. Involucra las variables que inciden en la faena estudiada, entregando la cantidad y precio de venta de una unidad de materiales (unidad, ml, m^2, m^3, lt, tarro, caja, galón, saco, etc.), maquinarias y mano de obra (horas, días, etc.) necesaria para ejecutar una unidad de faena. Luego se multiplica la cantidad por el precio unitario, obteniendo como resultado el costo de ejecutar una unidad de faena separado por materialidad, maquinaria y mano de obra, los cuales se suman para conseguir finalmente el costo unitario de una faena determinada.

De esta manera, se puede utilizar un ACU para presupuestar de manera más simplificada y rápida el costo de ejecutar una faena, multiplicando el ACU de la faena con la cantidad de unidades (ml, m^2, m^3, etc.) que requiere la faena.

Para cada SC se elaboró un ACU (ver anexo 5), con la información obtenida de acuerdo a los principales proveedores del mercado de la construcción. Los precios unitarios consideran IVA del 19%.

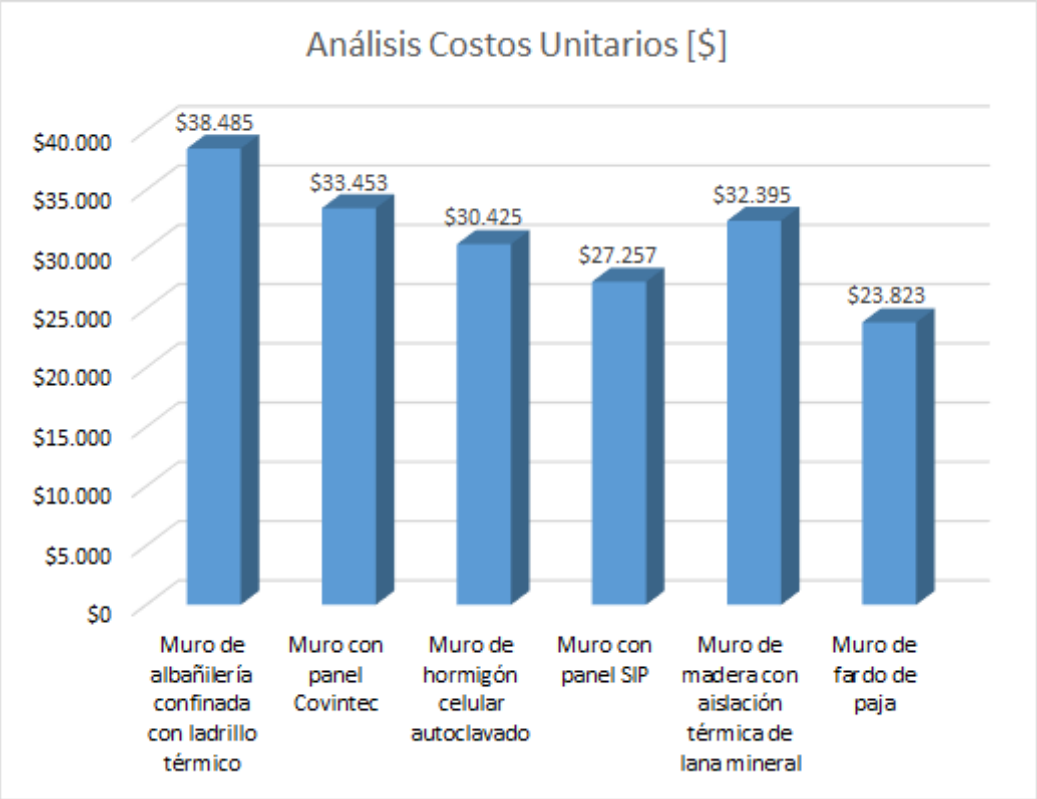
Con los valores obtenidos de los ACU de cada sistema constructivo, se generó la tabla 35 que resume los antecedentes recopilados, los cuales se comparan en la gráfica 8.

Tabla 35: Análisis de Costos Unitarios (ACU) de cada sistema constructivo

Sistema Constructivo	Analisis Costos Unitarios (ACU)
Muro de albañilería confinada con ladrillo	$38,485
Muro con panel Covintec	$33,453
Muro de hormigón celular autoclavado	$30,425
Muro con panel SIP	$27,257
Muro de madera con aislación térmica de lana mineral	$32,395
Muro de fardo de paja	$23,823

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 8: Análisis de Costos Unitarios para cada sistema constructivo



Fuente: Elaboración propia.

El precio promedio de construir un metro cuadrado de muro con los sistemas estudiados es de $30.973.

Tiempos de ejecución

Para saber cuál sistema constructivo es más conveniente al momento de ejecutarlo, es importante saber los tiempos de ejecución de cada sistema.

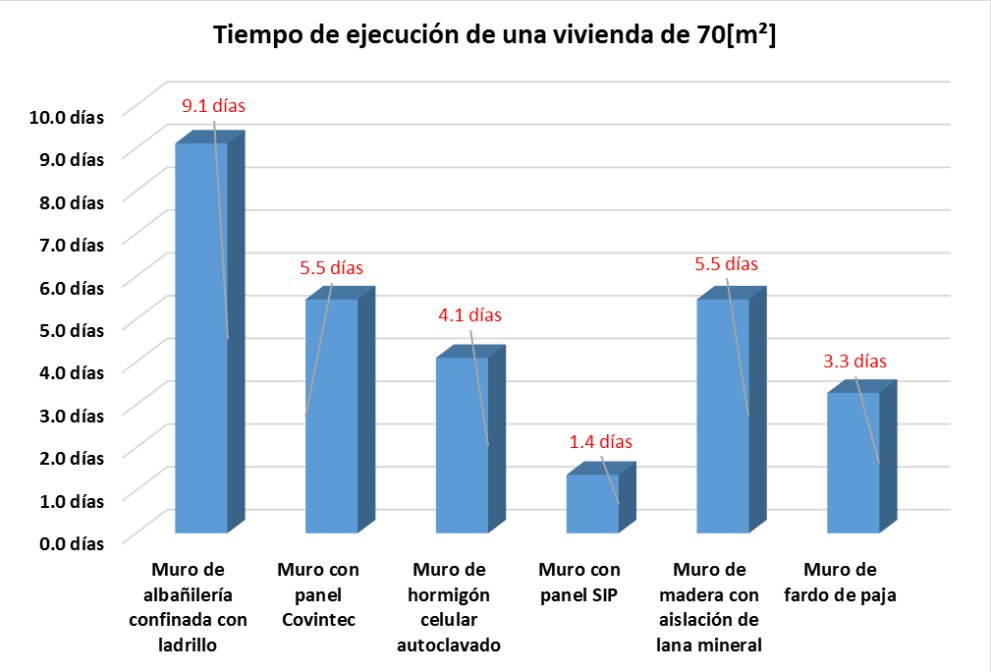
La tabla 36 muestra los tiempos de ejecución de construir los muros de una vivienda básica de 70[m^2] con cada sistema constructivo, según experiencias empíricas. La superficie de muros de la vivienda planteada tiene 82[m^2]. Los tiempos son solo de la obra gruesa de muros. Se considera que todos los materiales, herramientas y mano de obra necesarias para la ejecución de la vivienda, se encuentran en obra. Los valores obtenidos son mostrados en la gráfica 9.

Tabla 36: Tiempo de ejecución de una vivienda de 70[m²]

Sistema Constructivo	Tiempo
Muro de albañilería confinada con ladrillo	9.1 días
Muro con panel Covintec	5.5 días
Muro de hormigón celular autoclavado	4.1 días
Muro con panel SIP	1.4 días
Muro de madera con aislación de lana mineral	5.5 días
Muro de fardo de paja	3.3 días

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9: Tiempo de ejecución de una vivienda de 70[m²]



Fuente: Elaboración propia.

Cumplimiento de la Reglamentación Térmica

Para cada Zona Térmica (ZT) definida en el Art. 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C), existe una reglamentación que define la Transmitancia Térmica máxima que deben cumplir los pisos ventilados, muros y techumbres.

Las tablas 37 muestra el cumplimiento del reglamento térmico para muros en cada zona térmica del país, por parte de cada sistema constructivo estudiado.

Tabla 37: Cumplimiento con la Transmitancia Térmica U máxima en muros para vivienda por zona térmica ZT

Sistema Constructivo	Transmitancia Térmica Ū [W/m²K]	Transmitancia Térmica U [W/m²K] máxima por Zona Térmica						
		ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7
		4.00	3.00	1.90	1.70	1.60	1.10	0.60
Muro de albañilería confinada con ladrillo térmico	1.74	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
Muro con panel Covintec	0.71	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Muro de hormigón celular autoclavado	1.92	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Muro con panel SIP	0.62	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Muro de madera con aislación térmica de lana mineral	0.85	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Muro de fardo de paja	0.17	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

Síntesis de los análisis

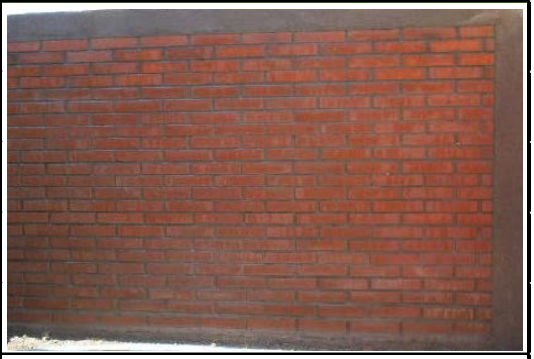
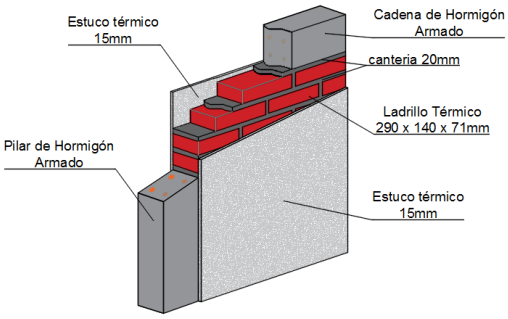
Para sintetizar los análisis realizados en el presente estudio, se elabora una ficha técnica tipo resumen (ver imagen 57), donde se detalla: Nombre del Sistema Constructivo; Espesor de muro en [cm]; Clasificación estructural según Art. 5.3.1 de la O.G.U.C; Resistencia al fuego según Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción E 14-1, y en el caso del Sistema Constructivo con fardos de paja, se consultó el informe N°900.817 emitido en octubre de 2014, con los resultados del ensayo de resistencia al fuego según NCh935/1 Of 97 (ver anexo 6); Resistencia Térmica total Rt [m²K/W] y Transmitancia térmica U [W/m²K] según la NCh 853 of 2007; Energía Q [kWh/año] para calefaccionar a 18°C y para refrigerar a 23°C 1[m²] de muro, utilizando el método de los grados día; Zonas Térmicas de Chile donde aplica el uso del Sistema Constructivo; Absorción Sonora [db] según el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, de conformidad a lo señalado en el artículo 4.1.6 del D.S. Nº 47 , (V. y U.), de 1992, de la O.G.U.C.; Rendimiento de ejecución [m²/día] y Costo Unitario en [$] de Construir con el Sistema Constructivo.

Imagen 57.Ficha técnica tipo resumen de los sistemas constructivos.

Nombre del sistema constructivo		
Espesor de Muro	[cm]	Imagen del Sistema Constructivo
Clasificación estructural		
Resistencia al Fuego		
Resistencia Térmica total Rt	[m²K/W]	
Transmitancia térmica U	[W/m²K]	
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²] de muro	[kWh/año]	Detalle isometrico del Sistema Constructivo
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²] de muro	[kWh/año]	
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso		
Absorción Sonora	[db]	
Rendimiento de ejecución	[m²/día]	
Costo de construir 1 [m²] de muro	$	

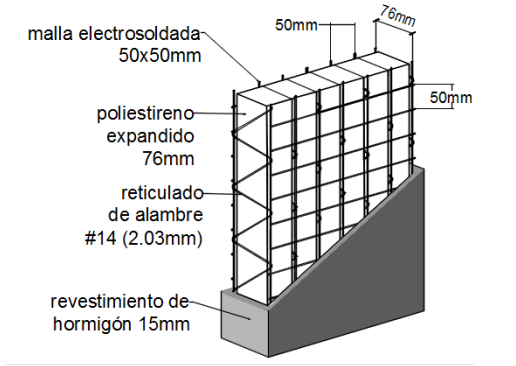
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 58. Ficha Técnica Sistema constructivo de muro de albañilería confinada con ladrillo térmico.

MURO DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON LADRILLO TÉRMICO		
Espesor de Muro	18 [cm]	
Clasificación estructural	C	
Resistencia al Fuego	F-120	
Resistencia Térmica total Rt	0.57 [m²K/W]	
Transmitancia térmica U	1.74 [W/m²K]	
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²]	64 [kWh/año]	
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²]	1 [kWh/año]	
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso	1,2 y 3	
Absorción Sonora	45 [db]	
Rendimiento de ejecución	9 [m²/día]	
Costo de construir 1 [m²] de muro	$38,485	

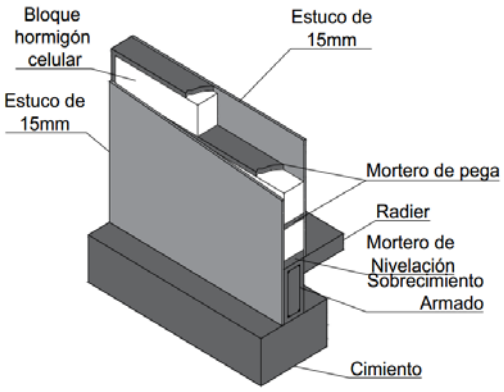
Fuente: elaboración propia.

Imagen 59. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro con panel Covintec.

Nombre del sistema constructivo		
Espesor de Muro	11 [cm]	
Clasificación estructural	G	
Resistencia al Fuego	F-120	
Resistencia Térmica total Rt	1.41 [W/m²K]	
Transmitancia térmica U	0.71 [kWh/año]	
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²]	26 [kWh/año]	
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²]	0.27	
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso	1,2,3,4,5 y 6	
Absorción Sonora	40 [db]	
Rendimiento de ejecución	15 [m²/día]	
Costo de construir 1 [m²] de muro	$33,453	

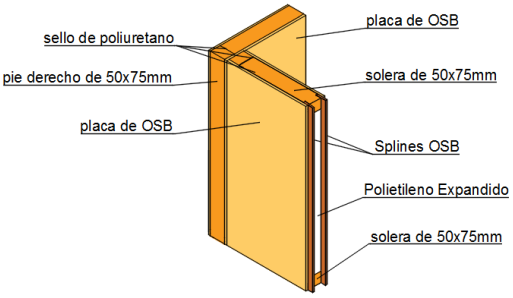
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 60. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro de hormigón celular autoclavado.

Nombre del sistema constructivo		
Espesor de Muro	18 [cm]	
Clasificación estructural	D	
Resistencia al Fuego	F-180	
Resistencia Térmica total Rt	0.52 [W/m²K]	
Transmitancia térmica U	1.92 [kWh/año]	
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²]	71 [kWh/año]	
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²]	0.74	
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso	1 y 2	
Absorción Sonora	39.2 [db]	
Rendimiento de ejecución	20 [m²/día]	
Costo de construir 1 [m²] de muro	$30,425	

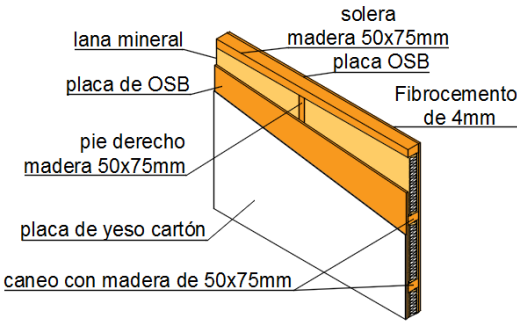
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 61. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro con panel SIP.

Nombre del sistema constructivo		
Espesor de Muro	9 [cm]	
Clasificación estructural	H	
Resistencia al Fuego	F- 15	
Resistencia Térmica total Rt	1.61 [W/m²K]	
Transmitancia térmica U	0.62 [kWh/año]	
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²]	23 [kWh/año]	
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²]	0.24	
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso	1,2,3,4,5 y 6	
Absorción Sonora	38 [db]	
Rendimiento de ejecución	60 [m²/día]	
Costo de construir 1 [m²] de muro	$27,257	

Fuente: Elaboración propia.

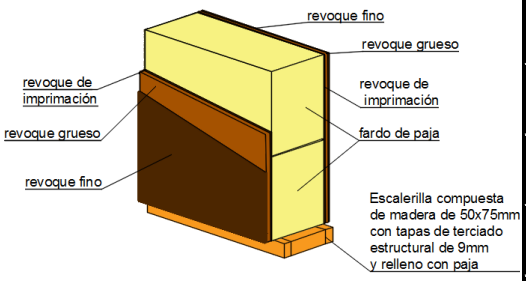
Imagen 62. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro de madera con aislación térmica de lana mineral.

Nombre del sistema constructivo		
Espesor de Muro	8 [cm]	
Clasificación estructural	E	
Resistencia al Fuego	F-15	
Resistencia Térmica total Rt	1.18 [W/m²K]	
Transmitancia térmica U	0.85 [kWh/año]	
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²]	31 [kWh/año]	
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²]	0.33	
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso	1,2,3,4,5 y 6	
Absorción Sonora	43 [db]	
Rendimiento de ejecución	15 [m²/día]	
Costo de construir 1 [m²] de muro	$32,395	

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 63. Ficha Técnica Sistema Constructivo de muro de fardo de paja

Nombre del sistema constructivo	
Espesor de Muro	44 [cm]
Clasificación estructural	E
Resistencia al Fuego	F-120
Resistencia Térmica total Rt	5.89 [W/m²K]
Transmitancia térmica U	0.17 [kWh/año]
Energía Q para Calefaccionar a 18°C 1[m²]	6 [kWh/año]
Energía Q para Refrigerar a 23°C 1[m²]	0.07
Zonas térmicas de Chile donde aplica su uso	1,2,3,4,5,6 y 7
Absorción Sonora	49 [db]
Rendimiento de ejecución	25 [m²/día]
Costo de construir 1 [m²] de muro	$23,823



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Según los datos obtenidos éste análisis de eficiencia energética, el sistema constructivo en base a fardos de paja con revoques de tierra cruda, demostró ser el más eficiente energéticamente conforme a los parámetros calculados, obteniendo un rendimiento energético superior a todos los sistemas constructivos evaluados, debido a las propiedades térmicas que posee el fardo de paja. Esto conlleva a un ahorro energético y económico en el uso de edificaciones con respecto a otros sistemas constructivos, que beneficia no solo al usuario, sino que también al medio ambiente, al tener baja dependencia de combustibles para calefaccionar o enfriar los espacios construidos con muros de fardos de paja, siendo un sistema constructivo que cumple con las expectativas de la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, por ser un sistema que promueve la innovación en el área de la construcción y la eficiencia energética. Además, las edificaciones que se construyan con fardos de paja, podrán optar a la certificación LEED, así como también a la certificación Passive House.

Las principales ventajas del SC con fardos de paja y revoques de tierra cruda son:

- Alta Resistencia Térmica, y baja Transmitancia Térmica, lo que permite un mayor rendimiento contra las temperaturas extremas, superior en comparación a los otros Sistemas Constructivos estudiados.
- Alta resistencia al fuego, permitiendo aguantar sin problemas por lo menos 120 minutos sin que se incinere el muro ni emita humo toxico para el ser humano, protegiendo a los habitantes y sus pertenencias al interior de los espacios construidos con éste SC, gracias a la alta densidad del fardo de paja, que impide la combustión por la ausencia de oxígeno al interior del fardo, y también evita transmisión de calor, retardando considerablemente la transmisión de temperatura hacia la cara no expuesta al fuego. Además, gracias a su configuración de fardo revestido con barro y paja picada, no pierde estabilidad estructural al ser sometido al fuego directo ni a altas temperaturas, como le sucede al acero.
- Fácil de manipular, prescindiendo de maquinarias y herramientas altamente tecnológicas, así como también de personal altamente capacitado para la ejecución de edificaciones con éste SC.
- Buen rendimiento en los tiempos de ejecución, teniendo un avance promedio de 25[m^2/día]

- Bajos costos de construcción de la envolvente de espacios, teniendo un costo unitario por [m^2] promedio de $24.000, quedando por debajo de la media de los SC estudiados, que bordea los $31.000.
- Cumplimiento de la normativa térmica para todas las zonas térmicas del país, siendo posible utilizar éste Sistema Constructuvo en cualquier parte de Chile.
- Baja contaminación asociada a la extracción, uso y fin de vida útil del fardo de paja, debido a que se trata de un material orgánico biodegradable de fácil obtención, al ser un residuo de los cultivos de cereal, que puede ser devuelto a la biosfera sin generar impactos ambientales negativos, por el contrario, una vez terminado el ciclo de vida del fardo de paja, es posible darle otros usos, como material para pisos de establos, para proteger las tierra de cultivos contra las inclemencias del tiempo, como abono para la tierra en procesos de compostaje de material orgánico, como biomasa para procesos de combustión, como aislantes de tabiquerías en otras construcciones, entre otros.
- El fardo de paja se utiliza como relleno. La estabilidad estructural y la resistencia a los esfuerzos son responsabilidad del sistema estructural que lo acompaña, por ejemplo, marcos rígidos de acero, hormigón armado o madera, lo cual implica que las construcciones con este sistema constructivo pueden ser clasificadas en clase A, B y E según Art5.3.1 de la O.G.U.C., permitiendo construir edificaciones en altura y de gran envergadura.

Las principales desventajas del SC con fardos de paja son:

- El gran espesor de los fardos, casi el doble de los SC más usados en el rubro de la construcción, reduce la habitabilidad de los espacios construidos con este SC, pero es casi imperceptible dentro de la totalidad de los [m^2] disponibles en la edificación que se construya. Esta desventaja se acentúa aún más en terrenos donde la superficie disponible para construir es muy pequeña y acotada.
- El ser un sistema no industrializado, limita su uso constructivo en forma masiva.
- Menor factibilidad de obtener fardos de paja debido a su poca masificación de uso, y por la estacionalidad de la obtención del fardo, debido a que es un residuo de la cosecha de cereal que solo se obtiene en verano, pero que se puede almacenar todo el año bajo ciertos parámetros de protección contra la humedad y el contacto directo con el agua.

- Al no ser un sistema normado en Chile, se desconocen los parámetros mínimos para asegurar la calidad y obtener financiamiento bancario para realizar construcciones de edificaciones con este SC, aunque actualmente se encuentra en vías de ser un sistema certificado para su utilización, siendo precursores de la certificación de este SC en Chile el colectivo "Manzana Verde" de Concepción, gracias a la adjudicación un proyecto entregado por Innova Chile en 2014, con el apoyo de Construpaja y la Red Chilena de Construcción con Fardos de Paja.
- Una mala ejecución del SC, puede generar patologías, como el compostaje de los fardos por acción de hongos, debido a una mala aplicación de las capas de barro, no respetar los tiempos de secado entre cada capa que darían paso al exceso de humedad o por acción de contacto directo con el agua por tiempos prolongados.

Dado los argumentos técnicos arrojados en éste estudio, se determina que es factible el uso del sistema constructivo de un muro con fardos de paja y revoques de tierra cruda en Chile, dado las múltiples ventajas que posee, dentro de las cuales destaca su eficiencia energética por sobre los actuales sistemas constructivos que ofrece el mercado de la construcción.

A pesar de la diversidad de climas que posee Chile de norte a sur y de mar a cordillera, el rendimiento térmico demostrado por el Sistema Constructivo de muro con fardos de paja y revoques de tierra cruda, cumple para cada zona térmica según el Artículo N° 4.1.10 de la O.G.U.C., siendo posible construir en cualquier parte Chile.

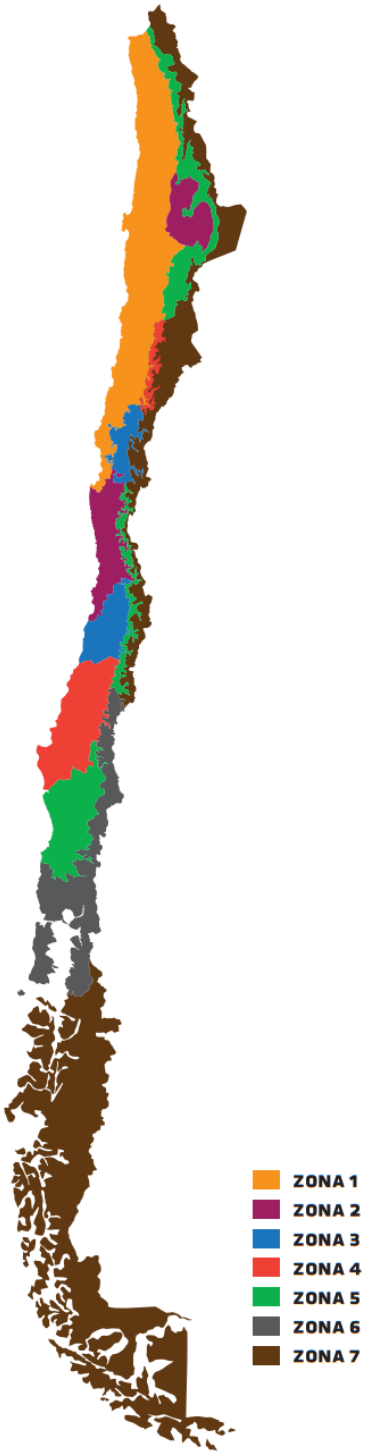
La casi nula emisión de residuos lo hacen un Sistema Constructivo amigable con el medio ambiente y por los bajos tiempos de ejecución y bajos costos de los materiales utilizados, lo posicionan como una buena alternativa económica al momento de elegir un Sistema Constructivo para construir una edificación.

En distintas regiones del mundo se encuentra normado el uso del fardo de paja como material constructivo. En Chile ya se inició el proceso de certificación, y se espera en pocos años más, sea un sistema constructivo normado y reconocido para la construcción de edificaciones, posicionando a Chile a la vanguardia de la sustentabilidad y eficiencia energética.

Anexos

Anexo 1: Zonificación térmica en Chile.

Imagen 64: Zonificación térmica en Chile.



Fuente: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social.

Anexo 2: Certificación LEED

LEED (acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council). Fue inicialmente implantado en el año 1998, utilizándose en varios países desde entonces.

Se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. Existen cuatro niveles de certificación:

Certificado (LEED Certificate) 40 a 49 puntos.

Plata (LEED Silver) 50 a 59 puntos.

Oro (LEED Gold) 60 a 79 puntos.

Platino (LEED Platinum) 80 o más puntos.

Imagen 65: Niveles de certificación LEED

Fuente: http://aberlux.com.ar/

La certificación, de uso voluntario, tiene como objetivo avanzar en la utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción.

Tipos de construcción con certificación LEED

La certificación LEED está disponible para todos los tipos de construcción, incluyendo las construcciones nuevas y las remodelaciones de gran magnitud, edificios existentes, los interiores comerciales, estructura y fachada, escuelas, centros de salud, establecimientos comerciales y desarrollo de vecindades. Hasta la fecha, existen más de 4.5 millones de pies cuadrados (418.000 m2) de espacio de construcción con el sistema LEED.

Funcionamiento de LEED:

LEED es un sistema de puntos en el cual las edificaciones obtienen puntos LEED por satisfacer criterios específicos de construcción sustentable. En cada una de sus categorías, los proyectos deben satisfacer determinados prerrequisitos y ganar "Puntos" o "Créditos LEED".

Las seis categorías son:

- Sitios Sustentables (SS) 24 puntos.
- Ahorro de agua (WE) 11 puntos.
- Energía y Atmósfera (EA) 33 puntos.
- Materiales y Recursos (MR) 13 puntos.
- Calidad Ambiental de los Interiores (IEQ) 19 puntos.
- Innovación en el Diseño (ID) 6 puntos.

El número de puntos obtenidos por el proyecto determina el nivel de certificación LEED que el proyecto recibirá. La Certificación LEED está disponible en cuatro niveles progresivos de acuerdo con la siguiente escala: Existe una base de 100 puntos; además de 6 posibles puntos en Innovación en el Diseño y 4 puntos en Prioridad Regional.

Sitios Sustentables: Aboga principalmente por definir correctos criterios de emplazamiento de los proyectos, por la Revitalización de terrenos subutilizados o abandonados, la conectividad o cercanía al transporte público, la protección o restauración del hábitat y el adecuado manejo y control de aguas lluvias en el terreno seleccionado.

Eficiencia en el Uso del Agua: Nos incentiva a utilizar el recurso agua de la manera más eficiente, a través de la disminución 0 del agua de riego, con la adecuada selección de especies y la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo, por ejemplo.

Energía y Atmósfera: Debe cumplir con los requerimientos mínimos del Standard ASHRAE 90.1-2007 para un uso eficiente de la energía que utilizamos en nuestros proyectos, para esto se debe demostrar un porcentaje de ahorro energético (que va desde el 12 % al 48 % o más) en comparación a un caso base que cumple con el estándar. Además, se debe asegurar en esta categoría un adecuado comportamiento de los sistemas del edificio a largo plazo.

Materiales y Recursos: Describe los parámetros que un edificio sustentable debiese considerar en torno a la selección de sus materiales. Se premia en esta categoría que los materiales utilizados sean regionales, reciclados, rápidamente renovables y/o certificados con algún sello verde, entre otros requisitos.

Calidad del Ambiente Interior: Describe los parámetros necesarios para proporcionar un adecuado ambiente interior en los edificios, una adecuada ventilación, confort térmico y acústico, el control de contaminantes al ambiente y correctos niveles de iluminación para los usuarios.

Innovación en el Diseño: Los créditos frente a la experiencia de construcción sostenible, así como medidas de diseño que no están cubiertos bajo las cinco categorías de crédito LEED.

Créditos Regionales: Son otra de las características de LEED a través del cual se reconoce la importancia de las condiciones locales en la determinación de las mejores prácticas de construcción y diseño ambientales. Los proyectos LEED podrán obtener "puntos de bonificación" por la implementación de estrategias de construcción sustentable que aborden problemas ambientales importantes que se enfrenten a una región específica. A un proyecto se le pueden otorgar hasta cuatro puntos adicionales, cada uno de los cuales será otorgado por lograr hasta cuatro de los seis créditos de prioridad.

Pasos para certificar un proyecto LEED

Para certificar un proyecto LEED, las estrategias de diseño y construcción sustentables deben ser incorporadas en la etapa más temprana del proyecto y debe considerar la participación conjunta de todos los actores, incluyendo el propietario, los arquitectos, ingenieros, paisajistas, constructores, etc. La certificación LEED incentiva a las especialidades a implementar estrategias de eficiencia conjuntas. Esta integración, enfocada al diseño sustentable y desarrollo sustentable de nuestro edificio verde, nos permite articular de mejor manera las metas u objetivos planteados y lograr así un mejor nivel de certificación. El proceso de certificación se realiza a través de oficinas de consultores que actúan asesorando los proyectos, no son certificadores ni revisores, ya que el único organismo facultado para otorgar la certificación LEED es el USGBC en Estados Unidos. El servicio de certificación se realiza completamente en línea, a través de la página web del USGBC, http://www.leedonline.com. Para esto, el organismo consultor documenta la información necesaria y la sube a la red. Esta información puede ser subida dividida en etapas (diseño y construcción), o toda la información de una vez.

Tipos de certificación LEED

Existen diversos tipos de certificación LEED dirigidos hacia el uso que puede tener un edificio verde. Dentro de la evaluación del proyecto, se define en primera instancia qué sistema de certificación se adecúa a ese proyecto específico. Dentro de los sistemas más importantes encontramos:

1. LEED NC; LEED para Nuevas Construcciones Está diseñado principalmente para nuevas construcciones de oficinas comerciales, pero ha sido aplicado por los profesionales a otros tipos de edificios. Todos los edificios comerciales según la definición de estándar de construcción pueden optar a esta certificación. Encontramos; edificios de oficinas, rascacielos de edificios residenciales, edificios gubernamentales, edificios institucionales (museos, iglesias), instalaciones de esparcimiento, plantas de fabricación y laboratorios, entre otros.

2. LEED EB; LEED para Edificios Existentes Este sistema tiene por objetivo maximizar la eficiencia operativa y reducir al mínimo los impactos ambientales de un edificio. LEED para edificios existentes se ocupa de todo el edificio en términos de limpieza y mantenimiento, los programas de reciclaje, programas de mantenimiento exterior, sistemas y actualizaciones. Se puede aplicar tanto a los edificios existentes que buscan la certificación LEED por primera vez y a proyectos previamente certificados bajo LEED para nueva construcción.

3. LEED for Homes; LEED para Viviendas Este sistema promueve el diseño y construcción de alto rendimiento verde para viviendas. Una casa verde usa menos energía, agua y recursos naturales, genera menos residuos, y es más saludable y confortable para los ocupantes. Los beneficios de una casa certificada LEED incluyen una reducción de las emisiones de gases de invernadero y una menor exposición a los hongos, moho y otras toxinas en el interior.

4. LEED ND; LEED para Desarrollo de Barrios Integra los principios de crecimiento inteligente, el urbanismo y el edificio verde en el primer sistema nacional de diseño del vecindario, que debe cumplir con los más altos estándares de respeto por el medio ambiente.

5. LEED SC; LEED para Colegios Integra los principios de diseño inteligente que debiera tener una institución educacional.

Anexo 3: tabla 6 anexo A NCh853

NCh853

Anexo A
(Informativo)

Tabla 6 - Conductividad térmica de materiales

(Ver notas al final de la tabla 6)

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica, λ W/(m · K)
Agua liquida a 0ºC	1 000	0,59
Agua liquida a 94ºC	1 000	0,69
Aire quieto a 0ºC	0,0012	0,024
Aire quieto a 100ºC	-	0,031
Adobe	1 100 - 1 800	0,90
Aluminio	2 700	210
Arcilla	2 100	0,93
Arcilla expandida	300	0,09
Arcilla expandida	450	0,11
Arena	1 500	0,58
Aserrin de madera	190	0,06
Asfaltos	1 700	0,7
Azulejos	-	1,05
Baldosas cerámicas	-	1,75
Betún	1 050	0,16
Bronce	8 500	64
Cascote de ladrillo	1 300	0,41
Capotillo de arroz	117	0,06
Cebada	470	0,07
Cobre	8 930	380
Escorias	800	0,25
	1 000	0,29
	1 200	0,34
	1 400	0,41
Enlucido de yeso	800	0,35
	1 000	0,44
	1 200	0,56

USO EXCLUSIVO MINVU

Tabla 6 - Conductividad térmica de materiales

(Continuación)

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica, λ W/(m · K)
Enlucido de yeso con perlita	570	0,18
Fibro-cemento	920	0,22
	1 000	0,23
	1 135	0,23
Fundición y acero	7 850	58
Grava rodada o de machaqueo	1 700	0,81
Hormigón armado (normal)	2 400	1,63
Hormigón con áridos ligeros	1 000	0,33
Hormigón con áridos ligeros	1 400	0,55
Hormigón celular con áridos siliceos	600	0,34
Hormigón celular con áridos siliceos	1 000	0,67
Hormigón celular con áridos siliceos	1 400	1,09
Hormigón celular sin áridos	305	0,09
Hormigón en masa con grava normal:		
- con áridos ligeros	1 600	0,73
- con áridos ordinarios, sin vibrar	2 000	1,16
- con áridos ordinarios, vibrados	2 400	1,63
Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,12
Hormigón en masa con arcilla expandida	1 500	0,55
Hormigón con cenizas	1 000	0,41
Hormigón con escorias de altos hornos	600	0,17
	800	0,22
	1 000	0,30
Hormigón normal, con áridos siliceos	600	0,34
	800	0,49
	1 000	0,67
Hormigón de viruta de madera	450 - 650	0,26

USO EXCLUSIVO MINVU

Tabla 6 - Conductividad térmica de materiales

(Continuación)

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica, λ W/(m - K)
Hormigón de fibras de madera	300 - 400	0,12
	400 - 500	0,14
	500 - 600	0,16
Hormigón liviano a base de cascarilla de arroz	570	0,128
	780	0,186
	850	0,209
	1 200	0,326
Hormigón liviano a base de poliestireno expandido	260	0,088
	320	0,105
	430	0,134
	640	0,214
	840	0,269
	1 100	0,387
Ladrillo macizo hecho a máquina	1 000	0,46
	1 200	0,52
	1 400	0,60
	1 800	0,79
	2 000	1,0
Ladrillo hecho a mano	-	0,5
Láminas bituminosas	1 100	0,19
Lana de amianto	100	0,061
	200	0,063
	400	0,12
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042
	50	0,041
	70	0,038
	90	0,037
	110	0,040
	120	0,042

USO EXCLUSIVO MINVU

Tabla 6 - Conductividad térmica de materiales

(Continuación)

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica, λ W/(m · K)
Lana mineral granulada	20	0,069
	30	0,060
	40	0,055
	60	0,048
	80	0,044
	100	0,041
	120	0,042
	140	0,042
Linóleo	1 200	0,19
Maderas		
- álamo	380	0,091
- alerce	560	0,134
- coigüe	670	0,145
- lingue	640	0,136
- pino insigne	410	0,104
- rauli	580	0,121
- roble	800	0,157
Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
	420	0,094
	460	0,098
	560	0,102
	600	0,103
	620	0,105
	650	0,106
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
	930	0,26
	1 030	0,28
Mármol	2 500 - 2 850	2,0 - 3,5
Moquetas, alfombras	1 000	0,05
Morteros de cal y bastardos	1 600	0,87

USO EXCLUSIVO MINVU

Tabla 6 - Conductividad térmica de materiales

(Continuación)

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica, λ W/(m · K)
Mortero de cemento	2 000	1,40
Papel	1 000	0,13
Perlita expandida	90	0,050
Plancha de corcho	100	0,040
	200	0,047
	300	0,058
	400	0,066
	500	0,074
Plomo	11 300	35
Poliestireno expandido	10	0,0430
	15	0,0413
	20	0,0384
	30	0,0361
Poliuretano expandido	25	0,0272
	30	0,0262
	40	0,0250
	45	0,0245
	60	0,0254
	70	0,0274
Productos minerales en polvo		
(kieselgur, polvo mineral)	200	0,08
	400	0,12
	600	0,16
	800	0,21
	1 000	0,27
	1 200	0,34
	1 400	0,40
Rocas compactadas	2 500 - 3 000	3,50
Rocas porosas	1 700 - 2 500	2,33
Vermiculita en partículas	99	0,047
Vermiculita expandida	100	0,070

USO EXCLUSIVO MINVU

Tabla 6 - Conductividad térmica de materiales

(Conclusión)

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica, λ W/(m · K)
Vidrio plano	2 500	1,2
Yeso-cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31

NOTAS

1) Los valores de conductividad térmica están dados para una temperatura media de 20ºC. Cabe hacer notar que la conductividad térmica de los materiales varía con la temperatura (NCh850).

2) Los materiales sólidos se midieron en estado seco según lo estipula la NCh850. El valor de la conductividad térmica varía con el contenido de humedad del material.

3) Los materiales que se utilizan en espesores inferiores a 3 mm ofrecen tan pequeña resistencia térmica que ésta no debe considerarse en los cálculos prácticos. Tal es el caso de papeles, folios y láminas delgadas.

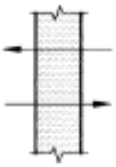
4) No obstante lo anterior, ellos pueden contribuir a aumentar la resistencia térmica de las cámaras de aire confinadas por ellos, al actuar por reflexión, si la cara del material que mira a dicha cámara es la brillante (lámina de aluminio ε = 0,1, fierro galvanizado brillante ε = 0,25). En tal caso se calculan las resistencias con ayuda del ábaco de la figura 1 (subpárrafo 5.3.2.1) o del anexo B.

Fuente: http://proveedorestecnicos.minvu.cl/nch-853/

Anexo 4: tabla 2 NCh853 Resistencia térmica de superficies

NCh853

Tabla 2

Resistencias térmicas de superficie en m² · K/W						
Posición del elemento y sentido del flujo de calor	Situación del elemento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor de 60° respecto a la horizontal 	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60° respecto a la horizontal	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60° respecto a la horizontal	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

NOTAS

1) Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de la norma NCh851.

2) Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior inferiores a 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar $R_{se} = 0$.

3) Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de complejos de techumbres y descendente a través de los pisos.

4) Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.

Fuente: http://proveedorestecnicos.minvu.cl/nch-853/

Anexo 5: Análisis de costo unitario (ACU) de los Sistemas constructivos

Tabla 38: ACU muro de albañilería de ladrillos térmicos.

muro albañilería confinada de ladrillos					
ítem	descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	materiales				
1.1	ladrillo santiago te 7 320x154x71mm	unidad	35	$254	$8,890
1.2	arena (flete 15km)	m3	0.025	$15,000	$378
1.3	cemento especial polpaico 42.5kg	unidad	0.263	$4,538	$1,194
1.4	perdidas	%	12.000		$1,347
1.5	estuco térmico	saco	0.909	$8,990	$8,172
1.6	mortero 250,75 kg/com/m3	litro	15.000	$76	$1,140
1.7	pilar 15x15cm acma	unidad	0.230	$9,541	$2,194
1.8	sika 1 tambor 200kg	tambor	0.0008	$59,390	$48
subtotal materiales					$23,363
2	maquinarias y herramientas				
2.1	trompo eléctrico 130lts	día	0.083	$15,000	$1,245
2.2	pala construcción	día	0.083	$5,000	$415
2.3	carretilla 90 lt	día	0.083	$7,000	$581
subtotal maquinarias y herramientas					$2,241
3	mano de obra				
2.1	albañil + 1 ayudante	día	0.139	$45,000	$6,251
2.2	estucador + 1 ayudante	día	0.083	$45,000	$3,735
2.3	leyes sociales	%	29.000		$2,896
subtotal mano de obra					$12,881
total costo unitario					$38,485

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: ACU muro con panel Covintec

muro con panel Covintec					
ítem	descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	materiales				
1,1	panel de poliestireno exp. entre mallas de acero	unidad	0,342	$30.900	$10.568
1,2	malla unión 25x245cm	unidad	0,500	$1.612	$806
1,3	malla esquinera 22x245x0.5cm	unidad	0,330	$3.185	$1.051
1,4	escalerilla 76x244cm	unidad	0,500	$932	$466
1,5	grapa amarre	caja	0,005	$20.317	$102
1,6	fe cap. kg A-63 18mm	kg	3,1500	$524	$1.651
1,7	bemezcla estuco ext. 40kg	unidad	1,2700	$2.916	$3.703
1,8	sika fibra p/mortero fiber N-6 75gr	unidad	0,100	$527	$53
1,9	perdidas	%	5,000		$920
subtotal materiales					$19.319
2	maquinarias y herramientas				
2,1	trompo eléctrico 130lts	día	0,083	$15.000	$1.245
2,2	pala construcción	día	0,083	$5.000	$415
2,3	compresor 100lt	dia	0,083	$7.490	$622
2,4	lanzadora de estucos	dia	0,083	$3.690	$306
2,5	carretilla 90 lt	día	0,083	$7.000	$581
subtotal maquinarias y herramientas					$3.169
3	mano de obra				
2,1	maestro primera	día	0,100	$35.000	$3.500
2,2	jornalero	día	0,100	$15.000	$1.500
2,3	soldador	dia	0,100	$35.000	$3.500
2,3	leyes sociales	%	29		$2.465
subtotal mano de obra					$10.965
total costo unitario					$33.453

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: ACU muro de madera con aislación térmica de lana mineral

muro de madera con aislación térmica de lana mineral					
ítem	descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	materiales				
1.1	pino seco dimensionado 2"x3"x3.2m	unidad	1	$1,673	$1,673
1.2	pino seco dimensionado 3"x3"x3.2m	unidad	0.2	$2,125	$425
1.3	clavo cte. 4"x8 balde 15kg	unidad	0.009	$11,871	$107
1.4	perno coche 3/8-16x5 pav t-8 50 unidad	unidad	0.130	$10,076	$1,310
1.5	impermeabilizante asfaltico igol denso 17kg	unidad	0.002	$25,588	$38
1.6	pl. superboard Pudahuel 4.0x1200x2400	unidad	0.365	$5,028	$1,835
1.7	clavo corriente 1 1/2" 1kg	unidad	0.0300	$891	$27
1.8	lana mineral 0.5mx1.2m x50mm	unidad	0.0833	$46,690	$3,891
1.9	pl. osb 15x1220x2440	unidad	0.336	$11,540	$3,877
2	pl. yeso cartón st br 10x1200x2400mm	unidad	0.347	$4,866	$1,689
subtotal materiales					$14,872
2	maquinarias y herramientas				
2.1	taladro 600w	unidad	0.010	$54,500	$545
2.2	sierra circular Bosch 7 1/4"	unidad	0.010	$72,450	$725
subtotal maquinarias y herramientas					$1,270
3	mano de obra				
2.1	carpintero + 1 ayudante	día	0.080	$45,000	$3,600
2.2	volcanitero + 1 ayudante	día	0.200	$45,000	$9,000
2.3	leyes sociales	%	29		$3,654
subtotal mano de obra					$16,254
total costo unitario					$32,395

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: ACU muro de bloques de hormigón celular autoclavado (HCA) (Termo block)

muro de bloques de hormigón celular autoclavado (HCA) (Termo block)					
ítem	descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	materiales				
1.1	bloque est termo block 62.5x20x15 cm	unidad	8	$1,442	$11,536
1.2	mortero nivelación p/horm celular 25kg	unidad	0.250	$4,900	$1,225
1.3	adhesivo súper 60 2m 1/16 gln s/t	unidad	0.230	$8,335	$1,917
1.4	bemezcla estuco ext. 40kg	unidad	1.2700	$2,916	$3,703
1.5	pletina metálica p/horm celular 30x3x0.3cm	unidad	0.694	$198	$137
1.6	clavo disparo sdm 3.7x25 galv.mec 10unid	unidad	0.139	$526	$73
1.7	cartucho k.6.8/11 rojo 100 unid	unidad	0.139	$7,364	$1,024
1.7	pilar 15x15cm acma	unidad	0.230	$9,541	$2,194
1.8	Perdidas	%	5.000		$1,090
subtotal materiales					$22,900
2	maquinarias y herramientas				
2.1	trompo eléctrico 130lts	día	0.083	$15,000	$1,245
2.2	pala construcción	día	0.083	$5,000	$415
2.3	carretilla 90 lt	día	0.083	$7,000	$581
2.4	clavadora calibre 18	unidad	0.010	$46,500	$465
subtotal maquinarias y herramientas					$2,706
3	mano de obra				
3.1	albañil + 1 ayudante	día	0.083	$45,000	$3,735
3.2	leyes sociales	%	29		$1,083
subtotal mano de obra					$4,818
total costo unitario					$30,425

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: ACU Muro con panel SIP

muro con panel SIP					
ítem	descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	materiales				
1.1	panel SIP 11.1x1220x2440mm	unidad	0.342	$35,688	$12,205
1.2	pino seco dimensionado 2"x3"x3.2m	unidad	1.3	$1,673	$2,175
1.3	tornillo madera aglomerada 6 x 1 1/4"	unidad	24	$66	$1,584
1.4	tornillo madera aglomerada 10 x 3"	unidad	6	$248	$1,488
1.5	sello de poliuretano	tubo	0.1	$4,500	$450
1.6	solvente poliuretano	tubo	0.01	$6,500	$65
subtotal materiales					$17,967
2	maquinarias y herramientas				
2.1	taladro 600w	unidad	0.010	$54,500	$545
2.2	sierra circular Bosch 7 1/4"	unidad	0.010	$72,450	$725
2.3	pistola poliuretano	unidad	0.01	$28,000	$280
subtotal maquinarias y herramientas					$1,550
3	mano de obra				
2.1	carpintero + 2 ayudante	día	0.100	$60,000	$6,000
2.2	leyes sociales	%	29		$1,740
subtotal mano de obra					$7,740
total costo unitario					$27,257

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: ACU muro con fardos de paja

muro de madera con fardos de paja					
ítem	descripción	unidad	cantidad	precio unitario	total
1	materiales				
1,1	pino seco dimensionado 2"x3"x3.2m	unidad	1	$1.673	$1.673
1,2	clavo cte. 4"x8 balde 15kg	unidad	0,009	$11.871	$107
1,3	arena de rio (flete 15km)	unidad	0,080	$15.000	$1.200
1,4	tierra arcillosa de alta plasticidad (flete 15km)	unidad	0,053	$13.000	$683
1,5	clavo cte. 2" balde 15kg	unidad	0,009	$11.871	$107
1,6	placa terciado estructural 9mm	unidad	0,500	$9.080	$4.540
1,7	fardo de paja	unidad	2,333	$1.200	$2.800
subtotal materiales					$11.109
2	maquinarias y herramientas				
2,1	taladro 600w	unidad	0,010	$54.500	$545
2,2	sierra circular Bosch 7 1/4"	unidad	0,010	$72.450	$725
2,3	pala construcción	día	0,083	$5.000	$415
2,5	carretilla 90 lt	día	0,083	$7.000	$581
subtotal maquinarias y herramientas					$2.266
3	mano de obra				
2,1	carpintero + 1 ayudante	día	0,080	$45.000	$3.600
2,2	estucador + 1ayudante	día	0,100	$45.000	$4.500
2,3	leyes sociales	%	29		$2.349
subtotal mano de obra					$10.449
total costo unitario					$23.823

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Informe oficial de ensayo de resistencia al fuego para muro de fardo de paja

idiem Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION INN - CHILE

Acreditación LE 302

INFORME OFICIAL DE ENSAYO

Inscripción MINVU Res. Ex. Nº 6902 del 22-10-2014

Informe N° 900.817

Ensayo de resistencia al fuego según NCh935/1.Of97
NCh935/1.Of97 Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general

Procedimiento SII-PP-350 Procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción verticales (tabiques y muros).

Solicitante:
Oscar Carrillo Zúñiga
Tucapel #512, Depto. 912, Concepción. Teléfono: +56(9) 644888715
Concepción, Chile
Elemento: muro

UNIVERSIDAD DE CHILE ★ SECCIÓN INGENIERIA CONTRA INCENDIOS ★ Idiem

El resultado obtenido no avala producciones, pasadas, presentes o futuras y es válido sólo para el elemento ensayado, bajo las condiciones estipuladas en el presente documento, ya que el valor de la resistencia al fuego puede variar si se cambian los detalles constructivos. Este informe no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita del laboratorio.

No se permite la utilización de la marca IDIEM o su logo, a excepción que sea autorizado en forma escrita.

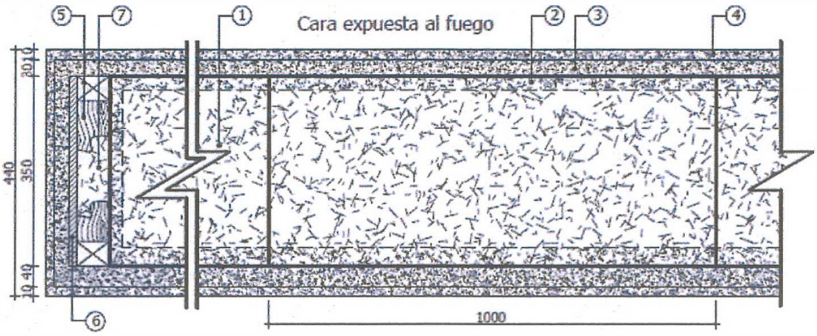
DIVISIÓN CONSTRUCCIÓN SECCIÓN INGENIERÍA CONTRA INCENDIOS		REF: SII.2331.2014.091	Nº DE PÁGINAS: 12
ENSAYADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	DESTINATARIO:
Unidad de Ensayos Laboratorio de Incendios	Andrés Santis A. Jefe de Laboratorios	Richard Inostroza M. Jefe de Sección	Oscar Carrillo Zúñiga
Fecha del ensayo: 20 de octubre de 2014		Fecha de emisión: 04 de noviembre de 2014	

Sección Ingeniería Contra Incendios
Plaza Ercilla 883, Santiago. Fono: 2978 41 30
Laboratorio de Incendios, Salomón Sack 840, Cerrillos.

Resumen

Ensayo de resistencia al fuego según NCh935/1.Of97

Empresa solicitante:	Oscar Carrillo Zúñiga	Dirección:	Tucapel #512, Depto. 912, Concepción
Solicitado por:	Oscar Carrillo Zuñiga	Elemento: muro	Construido en: ~~Fábrica~~ / Laboratorio
Recinto de ensayo:	Laboratorio de Incendios, Salomón Sack 840, Cerrillos.	N° de informe: 900.817	Fecha de ensayo: 20-10-2014



DETALLE CONSTRUCTIVO MURO Medidas en milímetros

N°	Elemento		Descripción
1	Núcleo		Formado por fardos de paja de 1000 x 450 x 350 [mm] y densidad media aparente entre 90 y 100 [kg/m³] cada uno. El aparejo es de tipo panderete y los fardos van afianzados con pitilla de plástico.-
2	Revestimiento	Interior	Revoque de mezcla de tierra arcillosa "de alta plasticidad (TAAP)" con "arena de río", en porción 1:1, penetrando 30 [mm] dentro del fardo aproximadamente, por ambas caras.-
3	Revestimiento	Intermedio	Revoque de mezcla de tierra arcillosa "de alta plasticidad (TAAP)" con arena y con "paja de trigo" picada, en proporción 1:2:1, en ambas caras. Los espesores nominales del revoque son de 30 [mm] en la cara expuesta y de 40 [mm] en la cara no expuesta.-
4	Revestimiento	Terminación	Revoque terminación de mezcla de tierra arcillosa "de alta plasticidad (TAAP)" con arena, en proporción 1:3, más un 10% de cal hidratada, en ambas caras. Los espesores nominales del revoque de terminación son de 10 [mm] es ambas caras. Lo anterior da una espesor total nominal de revoque de 40 [mm] en la cara expuesta y 50 [mm] en cara no expuesta al fuego (espesores promedio obtenidos en laboratorio: 30 [mm] y 57 [mm] respectivamente). La densidad media aparente estimada del revoque completo es igual a 1250 [kg/m³].-
5	Bastidor (Estructura confinante)	Estructura	Bastidor formado con madera de pino IPV de escuadría 2" x 3". La estructura consta de dos pies derechos y cadenetas distanciadas a eje 0,36 [m] en los costados y 0,43 [m] en soleras superior e inferior, aproximadamente.-
6	Bastidor (Estructura confinante)	Revestimiento	Tablero de "OSB" de 15 [mm] de espesor y 350 [mm] de ancho, atornillado al bastidor. En soleras superior e inferior se dispuso por ambas caras.-
7	Bastidor (Estructura confinante)	Relleno	Relleno de mezcla de tierra arcillosa "de alta plasticidad (TAAP)" con arena y con "paja de trigo picada".-

Ancho del elemento	2,2	[m]	Resistencia al fuego del elemento	126 minutos
Alto del elemento	2,4	[m]		
Espesor total aproximado	0,44	[m]	Clasificación	F120
Masa total	>500	[kg]		

Nota: De acuerdo a lo señalado en norma NCh935/1.Of97, el resultado obtenido es válido sólo para el elemento ensayado y bajo las condiciones estipuladas en el Informe de Ensayo Oficial, ya que el valor de resistencia al fuego puede variar si se cambian los detalles constructivos.

Nota: Este resumen no reemplaza el informe. Fecha de emisión: 04 de noviembre de 2014

Idiem SECCIÓN INGENIERIA CONTRA INCENDIOS

1. ALCANCE

El presente informe de ensayo ha sido solicitado a IDIEM de la Universidad de Chile por el Sr. Oscar Carrillo Zuñiga.

Este informe establece la Clasificación de Resistencia al Fuego de un sistema o elemento constructivo (muro), ensayado bajo la norma NCh935/1.Of97, en el Laboratorio de Incendios de IDIEM, ubicado en Salomón Sack 840, Cerrillos.

2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

2.1 Horno de ensayo

El Laboratorio cuenta con un horno de ensayo equipado con un quemador a gas, modulante, de potencia térmica nominal de 1700 [kW].

La boca del horno mide 2,2 [m] de ancho por 2,4 [m] de alto.

2.2 Sistema mecánico de carga

El Laboratorio cuenta con un sistema mecánico de carga que permite aplicar hasta 120 [kg] por metro lineal sobre el elemento de ensayo.

2.3 Instrumentos de medición

- Termocuplas: son de tipo Chromel - Alumel y son utilizadas para el monitoreo de la temperatura al interior del horno.
- Sensor infrarrojo: termómetro infrarrojo tipo pistola, que se utiliza para medir la temperatura promedio y puntual máxima de la cara no expuesta del elemento.
- Manómetro diferencial: manómetro de columna de agua utilizado para medir la sobrepresión al interior del horno.

3. ACONDICIONAMIENTO Y MONTAJE

La probeta se construyó en las instalaciones del Laboratorio, en tres etapas de construcción:

1. Estructura, núcleo y revoque impregnado: 12 de junio de 2014
2. Revoque intermedio: 20 de junio de 2014
3. Revoque de terminación: 11 de septiembre de 2014

La probeta terminada se mantuvo en el Laboratorio por 39 días antes del ensayo.

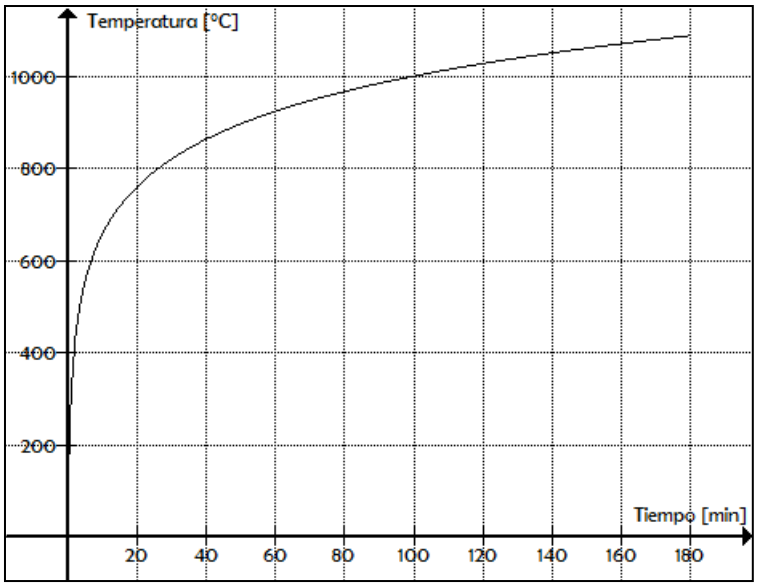
Ésta se apoyó sobre la boca del horno, fijándola mecánicamente en cada uno de sus extremos. El sello se realizó con manta cerámica y pasta a base de yeso.

4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo consiste en exponer al elemento, por una de sus caras, al calor de un horno de modo de imprimirle una temperatura según la curva normalizada tiempo - temperatura señalada en NCh935/1.Of97, regida por la relación

$$T(t) - T_0 = 345 \log_{10}(8t + 1),$$

donde T es la temperatura del horno [°C], T_0 la temperatura ambiente al inicio del ensayo [°C], y t el tiempo transcurrido de ensayo [min]. La gráfica de esta ecuación y una tabla de valores de la curva se presentan en la Figura 4.1.



t	[min]	0	5	15	30	60	90	120	150	180
$T(t) - T_0$	[°C]	0	556	719	822	925	986	1029	1062	1090

Figura 4.1. Curva de incendio estándar.

Durante el ensayo se registra la temperatura del horno, la temperatura de la cara no expuesta y las observaciones respecto al comportamiento de la probeta en términos de los criterios de resistencia al fuego señalados en 5.2.

Durante el ensayo no se evaluó el sistema de empotramiento.

5. VALORACIÓN Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

5.1 Resistencia al fuego

De acuerdo a la norma NCh935/1.Of97, la *resistencia al fuego* de un elemento se expresa como el tiempo en minutos, desde el comienzo del ensayo, hasta que dejan de cumplirse las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento, estanquidad y no emisión de gases inflamables.

5.2 Criterios de resistencia al fuego

Los criterios para determinar la resistencia al fuego del elemento bajo ensayo son los siguientes:

- Capacidad de soporte de carga. Instante en que el elemento no puede seguir cumpliendo la función de soporte de carga para el cual fue diseñado.

- Aislamiento térmico. Instante en que la temperatura de la cara no expuesta alcanza los 180 [°C] puntual o 140 [°C] promedio, por sobre la temperatura ambiente registrada al inicio del ensayo, o si sobrepasa los 220 [°C] cualquiera sea la temperatura inicial.

- Estanquidad. Instante en que una llama (o gases a alta temperatura), se filtra por las uniones o por grietas o fisuras formadas durante el ensayo, y se sostiene por 10 o más segundos. En el caso de filtración de gases, hay pérdida de estanquidad si al colocar una mota de algodón en la filtración, esta enciende.

- Emisión de gases inflamables. Instante en que los gases emitidos por la cara no expuesta arden al aproximar una llama cualquiera y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 [s] de retirada la llama.

5.3 Clasificación de resistencia al fuego

El elemento debe clasificarse como sigue, en función de su resistencia al fuego:

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

6. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales al inicio del ensayo fueron las siguientes:

- Temperatura ambiente : 17 [°C]
- Humedad relativa : 55%

7. RESULTADOS

7.1 Capacidad de soporte de carga

El elemento se sometió a sobrecarga mecánica de 120 [kg] por metro lineal, y mantuvo su estabilidad mecánica hasta el final del ensayo

7.2 Aislamiento térmico

Al término del ensayo, la temperatura promedio de la cara no expuesta al fuego era de 53 [°C] y la temperatura puntual máxima era de 72 [°C].

7.3 Estanquidad

El elemento se mantuvo estanco a las llamas hasta el final del ensayo.

7.4 Emisión de gases inflamables

El elemento no emitió gases inflamables durante todo el ensayo.

7.5 Observaciones adicionales

- La cara expuesta al fuego fue la de menor espesor de revoque.
- Posterior al ensayo, y una vez con la probeta fría, se observó la cara expuesta al fuego destruida con el revoque desprendido, lo que no ocurrió durante todo el ensayo mientras la probeta estuvo expuesta al incendio normalizado.
- Por mutuo acuerdo con el solicitante, a los 126 minutos se dio término al ensayo, no observándose aparición de falla hasta ese momento.

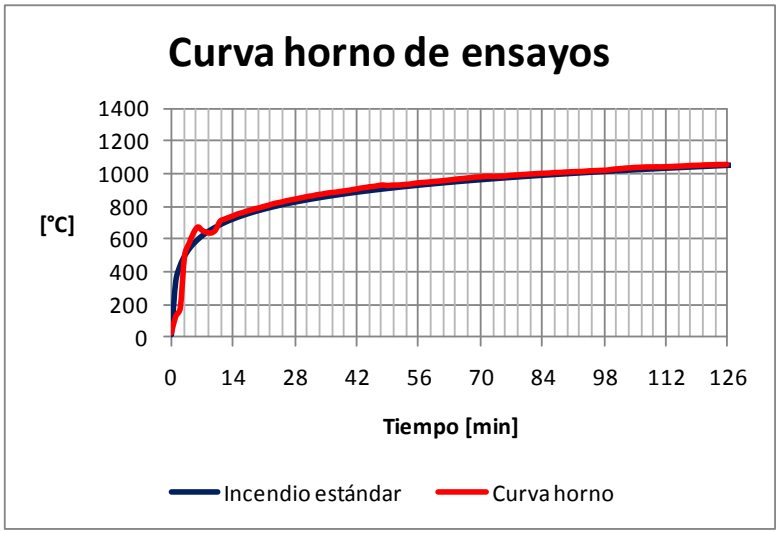
7.6 Resistencia al fuego y clasificación.

Por mutuo acuerdo con el solicitante se dio término al ensayo a los 126 minutos sin observar falla, obteniendo el elemento una resistencia al fuego de 126 minutos, y alcanzando, según lo expresado en 5.3, la **clasificación F120**.

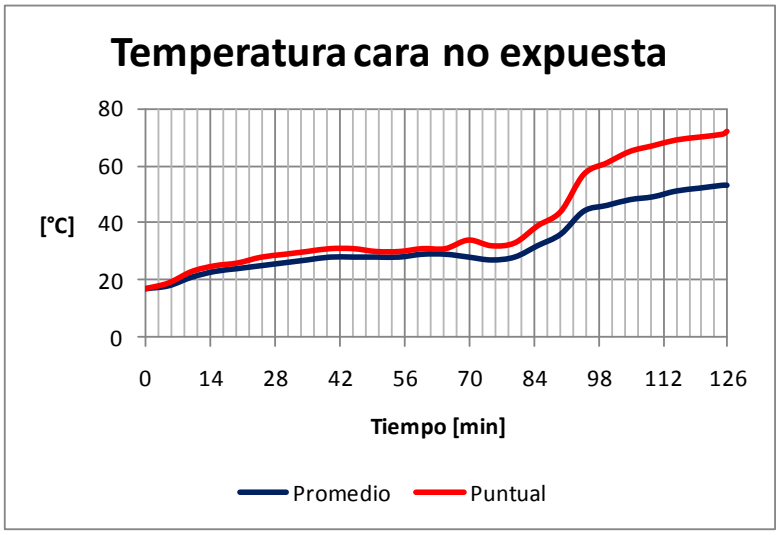
ANEXOS

A. Curvas de ensayo

A.1 Temperatura promedio del horno de ensayo



A.2 Curva de calentamiento cara no expuesta al fuego



B. Datos de ensayo

B.1 Planilla de medición de espesores

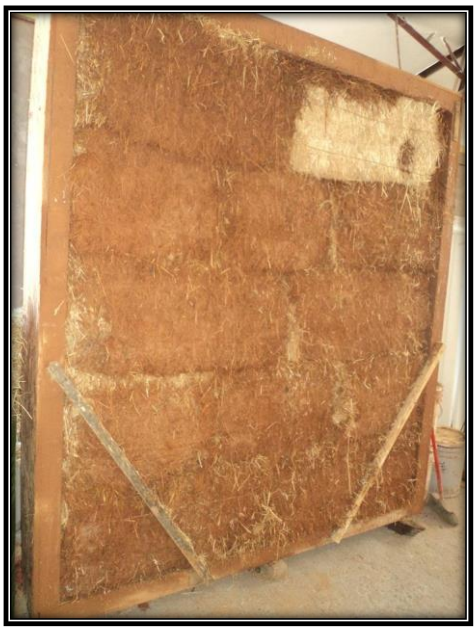
Identificación elemento: MURO DE PAJA	PRESUPUESTO ASOCIADO	SII.2331.2014.091
Cara expuesta al fuego Revestimiento Muro Revestimiento Cara no expuesta al fuego	EMPRESA	OSCAR CARRILLO ZUÑIGA
	PRODUCTO (REVESTIMIENTO)	REVOQUE A BASE DE TAAP
	DIMENSIONES DEL ELEMENTO A REVESTIR	2200 X 2400 X 350 [mm]
	FECHA DE LA MEDICION	21-10-2014
	INSTRUMENTO DE MEDICION	PIE DE METRO MITUTOYO
	LABORATORISTA RESPONSABLE	JOSE CURAQUEO

ZONA DE MEDICIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Espesor mínimo [mm]	Espesor máximo [mm]	Espesor promedio [mm]
CARA EXPUESTA	24	28	29	27	21	26	29	26	27	29	21	37	30
	33	36	28	28	26	32	29	37	30	34			
	37	30	35	37	27								
CARA NO EXPUESTA	60	68	71	80	58	58	40	41	38	51	38	80	57
	48	43	55	60	60	51	62	58	59	72			
DENSIDAD MEDIA APARENTE: 1250 [kg/m3]													

C. Fotografías del ensayo

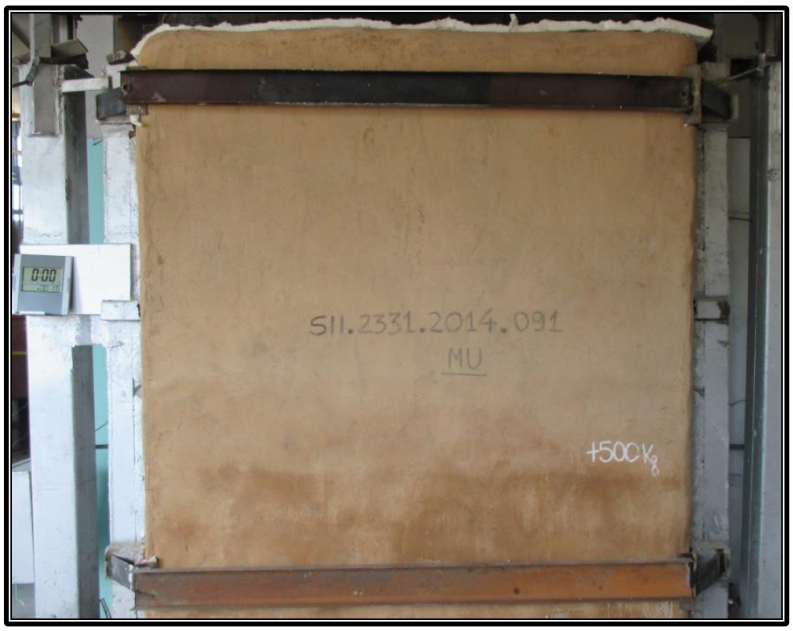
C.1 Construcción de la probeta: preparación y montaje inicial

C.2 Construcción de la probeta: montaje final de fardos de paja en bastidor



C.3 Construcción de probeta: aplicación de revoques de terminación

C.4 Previo al ensayo



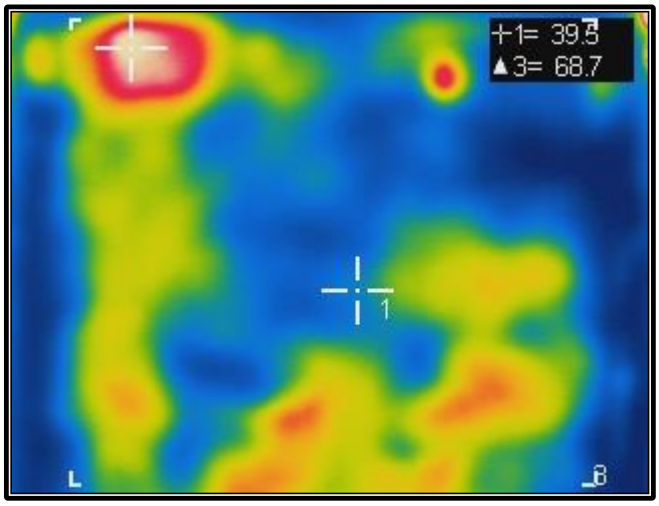
C.5 A los 61 minutos de ensayo

C.6 Al finalizar el ensayo

C.7 Posterior al ensayo; cara expuesta al fuego

D. Imágenes termográficas del ensayo

D.1 Al término del ensayo



Anexo 7: Art 5.3.1 O.G.U.C. Clasificación estructural de las construcciones

CAPITULO 3

CLASIFICACION DE LAS CONSTRUCCIONES

Artículo 5.3.1. Para los efectos de esta Ordenanza, conforme a los materiales predominantes a emplear y al tipo de estructura, en los edificios se distinguirán las siguientes clases de construcción:

Clase A: Construcciones con estructura soportante de acero. Entrepisos de perfiles de acero o losas de hormigón armado.

Clase B: Construcciones con estructura soportante de hormigón armado o con estructura mixta de acero con hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado.

Clase C: Construcciones con muros soportantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.

Clase D: Construcciones con muros soportantes de albañilería de bloques o de piedra, confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.

Clase E: Construcciones con estructura soportante de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe. Entrepisos de madera.

Clase F: Construcciones de adobe, tierra cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento. Entrepisos de madera.

Clase G: Construcciones prefabricadas con estructura metálica. Paneles de madera, prefabricados de hormigón, yeso cartón o similares.

Clase H: Construcciones prefabricadas de madera. Paneles de madera, yeso cartón, fibrocemento o similares.

Clase I: Construcciones de placas o paneles prefabricados. Paneles de hormigón liviano, fibrocemento o paneles de poliestireno entre malla de acero para recibir mortero proyectado.

Referencias

1 Banco Central (2012). Aporte promedio 2008-2011 del sector de la construcción al PIB, series actividad económica.

2 INE (2012). Ocupación por rama de actividad económica nacional.

3 CONAMA (2010). Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile. p.4.

4 MMA (2012) Informe Estado del Medio Ambiente.

5 CNE (2010). Balance Nacional de Energía. Consumo energético residencial, público y comercial.

6 Ayala (2010). Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos

7 Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE, www.acee.cl.

8 Romero, N. 2011. Consumo de energía a nivel residencial en chile y análisis de eficiencia energética en calefacción. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de chile, 107p.

9 Muñoz, C.; Zaror, C.; Saelzer, G.; Cuchí, A. publicado en la Revista de la Construcción vol.11 no.3 Santiago dic. 2012, de la biblioteca electrónica científica SciELO (Scientific Electronic Library Online)