

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Propuesta de herramienta de evaluación y selección de sistemas
constructivos de vivienda de interés social para su uso en Costa Rica**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Luis Enrique Garita Durán

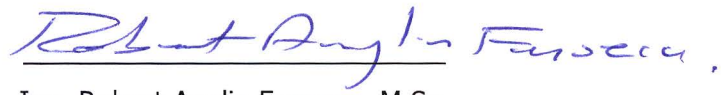
Director de Proyecto de Graduación

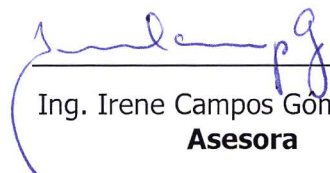
Ing. Robert Anglin Fonseca M. Sc

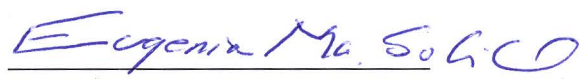
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Hoja de aprobación


Luis Enrique Garita Durán
Estudiante


Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Se.
Director


Ing. Irene Campos Gómez, Mag.
Asesora


Arq. Eugenia Solís Umaña, M.Sc.
Asesora

Derechos de propiedad intelectual

Fecha: 2019, marzo, 11

El suscrito, Luis Enrique Garita Durán, cédula 3-0480-0511, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B22750, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación Propuesta de herramienta de evaluación y selección de sistemas constructivos de vivienda de interés social para su uso en Costa Rica, bajo la Dirección del Ing. Robert Anglin Fonseca, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

Para mami y papá, gracias por todo.

Agradecimientos

A Dios que me ha permitido finalizar mis estudios.

A mami, papá y a mis hermanas Hellen y Anny, por todo su amor, su apoyo incondicional y por creer en mí e impulsarme siempre.

A mis abuelos por siempre estar para mí y ser un ejemplo por seguir.

A todos mis amigos de la universidad por hacer de esta etapa una experiencia invaluable.

A don Robert por todo el esmero y dedicación que dio como mi profesor y posteriormente director de este proyecto de graduación.

A Irene Campos y Eugenia Solís, por su valiosa asesoría.

A los profesionales, amigos y empresas que me brindaron su consejo y valiosa información.

A todos aquellos que estuvieron junto a mí durante los años de estudio y me alentaron a alcanzar esta meta.

Índice

Hoja de aprobación	i
Derechos de propiedad intelectual	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de figuras	viii
Índice de cuadros	x
Resumen	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	1
1.1.1. Problema específico.....	1
1.1.2. Importancia.....	2
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.1 Objetivos específicos.....	4
1.3. Delimitación del problema	5
1.3.1 Alcance.....	5
1.3.2 Limitaciones	6
1.4. Hipótesis.....	6
1.5. Metodología	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. La vivienda de interés social en Costa Rica.....	11
2.1.1 Situación actual de la vivienda de interés social en Costa Rica.....	11

2.1.2	Instituciones encargadas de velar por la vivienda de interés social.....	14
2.1.3	Marco legal de la vivienda de interés social en Costa Rica	16
2.2.	La vivienda de interés social en Latinoamérica	27
2.2.1	Retos y semejanzas con Costa Rica.....	27
2.2.2	Aspectos mínimos internacionalmente estipulados para una vivienda de interés social	28
2.2.3	Barreras que impiden la innovación en la construcción de vivienda social en Latinoamérica.....	29
2.3.	Sistemas constructivos	29
2.3.1	Aspectos generales de un sistema constructivo.....	30
2.3.2	Desarrollo histórico de los sistemas constructivos para vivienda	30
2.3.3	Sistemas constructivos industrializados	32
2.3.4	Clasificación de los sistemas constructivos.....	36
CAPÍTULO 3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....		40
3.1	Selección de los sistemas constructivos a nivel nacional	40
3.2	Selección de los sistemas constructivos a nivel latinoamericano	47
CAPÍTULO 4. HERRAMIENTA PARA LA COMPARACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS		63
4.1	Fundamento técnico de la herramienta QFD (Quality Function Deployment) utilizada en la comparación de sistemas constructivos.....	63
4.2	Aspectos a evaluar en la herramienta comparativa	67
4.3	Desarrollo de la herramienta comparativa	70
CAPÍTULO 5. CUANTIFICACIÓN DE VARIABLES DE LA HERRAMIENTA QFD		78
5.1	Consideraciones generales de cada sistema constructivo	78
5.2	Metodología de cuantificación de variables.....	80
5.3	Cuantificación de variables	97
CAPÍTULO 6. RESULTADOS.....		116

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	121
7.1 Análisis de resultados de la herramienta comparativa	121
7.2 Análisis de resultados obtenidos al aplicar la herramienta con el actor usuario	122
7.3 Análisis de resultados obtenidos al aplicar la herramienta con el actor constructor	123
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
7.2 Conclusiones	124
7.3 Recomendaciones	125
BIBLIOGRAFÍA.....	127
APÉNDICES	A-1

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proyecto, mostrando las fases 1 y 2	7
Figura 2. Diagrama de flujo del proyecto, mostrando la Fase 3 y 4	8
Figura 3. Viviendas de interés social en altura	13
Figura 4. Sistema constructivo en mampostería.....	23
Figura 5. Cortes de sistemas constructivos tipo emparedado	23
Figura 6. Detalles de distribución de acero en un muro de concreto.....	24
Figura 7. Detalles de fundación para baldosas horizontales y verticales	25
Figura 8. Detalles de cimentación de las paredes de doble forro	26
Figura 9. Horas hombre por cada metro cuadrado para diferentes sistemas	34
Figura 10. Horas hombre necesarias para construir una vivienda de 70 m ² para diferentes sistemas constructivos.....	35
Figura 11. Costo unitario de una vivienda contra el índice de prefabricación del sistema constructivo que se utiliza para diferentes países	36
Figura 12. Clasificación de sistemas constructivos según su estructuración.....	38
Figura 13. Bloques de concreto tipo integra.....	41
Figura 14. Sistema emparedado tipo Covintec.....	42
Figura 15. Sistema emparedado con núcleo de poliuretano y bordes de acero	43
Figura 16. Sistema de baldosas horizontales.....	44
Figura 17. Sistema de baldosas verticales.....	45
Figura 18. Sistema Steel Frame	46
Figura 19. Sistema Habicon.....	47
Figura 20. Sistema Bloqueplas.....	48
Figura 21. Sistema EasyBrick.....	49
Figura 22. Sistema ByFusion	50
Figura 23. Sistema Royal Building System	51
Figura 24. Sistema Woodpecker	52
Figura 25. Sistema Steko o Brikawood	53
Figura 26. Sistema Constructivo SIP	54
Figura 27. Sistema de bloques de poliuretano.....	55
Figura 28. Sistema de Concreto Celular Autoclaveado.....	56
Figura 29. Sistema Armados Omega	56

Figura 30. Sistema constructivo en bambú	57
Figura 31. Sistema constructivo Peri-UNO.....	58
Figura 32. Sistema constructivo Moladi	59
Figura 33. Sistema constructivo Hidraform	59
Figura 34. Sistema constructivo Muracciole.....	60
Figura 35. Sistema constructivo Blocon	61
Figura 36. Construcción 3D	62
Figura 37. Matriz de correlación QFD	64
Figura 38. Diagrama esquemático de la construcción y ejecución de la matriz QFD	77
Figura 39. Distribución arquitectónica base utilizada para modular los distintos sistemas constructivos	82
Figura 40. Posibles cimentaciones que se utilizan en los sistemas constructivos con los que se trabaja	85
Figura 41. Fases del ciclo de vida del sistema constructivo que producen impactos ambientales	87

Índice de cuadros

Cuadro 1. Requerimientos mínimos que debe cumplir una vivienda según el Centro Científico y Técnico de la Edificación (CSTB)	28
Cuadro 2. Matriz de correlación QFD	66
Cuadro 3. Matriz de correlación QFD para el constructor	74
Cuadro 4. Matriz de correlación QFD para el usuario.....	75
Cuadro 5. Cuantificación del total de costos y tiempo de construcción.....	86
Cuadro 6. Cuantificación total del Consumo Energético y Huella de Carbono para los diferentes sistemas constructivos.....	90
Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja	98
Cuadro 8. Calificación final de las variables de la herramienta comparativa para el actor usuario	116
Cuadro 9. Calificación final de las variables de la herramienta comparativa para el actor constructor	118

Garita Durán, Luis Enrique

Propuesta de herramienta de evaluación y selección de sistemas constructivos de vivienda de interés social para su uso en Costa Rica.

Proyecto de graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.:

L. Garita D., 2019

xi, 132, [28]h; ils. col. – 51 refs.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto de graduación fue crear una herramienta que permitiera comparar sistemas constructivos de vivienda de interés social. Otro objetivo fue describir en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales sistemas constructivos de vivienda de interés social utilizados tanto en Costa Rica como en Latinoamérica. El último objetivo del trabajo fue utilizar tanto la información recolectada de cada sistema constructivo como la herramienta desarrollada para evaluar dichos sistemas.

Como primera etapa del proyecto, se realizó una investigación bibliográfica gracias a la cual fue posible identificar, tanto la herramienta más conveniente para comparar sistemas constructivos, como las variables que debía considerar dicha herramienta, además, se analizaron sistemas constructivos que se utilizan tanto a nivel nacional como en Latinoamérica. Una vez realizado lo anterior, se procedió a adecuar la herramienta escogida a los objetivos de este trabajo, así como a incorporar las variables que durante la investigación se consideraron relevantes y a idear un indicador para evaluar cada una de esas variables. Posteriormente se escogieron 9 de los sistemas constructivos investigados para aplicarles la herramienta comparativa. Por último, se evaluó cada una de las variables que toma en cuenta la herramienta para cada sistema constructivo y se procedió a realizar los análisis respectivos con los resultados obtenidos.

Como resultados principales se crearon dos matrices comparativas, una que evalúa la conveniencia de casa sistema constructivo para el constructor y otra que evalúa la conveniencia de cada sistema constructivo para el usuario.

Sistemas constructivos, vivienda de interés social, costos, consumo energético, huella de carbono, baldosas horizontales, mampostería Integra, Panelco, Wood Framing, Steel Framing, Bloqueplast, Structural Insulated Panel, Royal Building System, Peri-Uno.

Ing. Robert Anglin Fonseca

Escuela de Ingeniería Civil

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El acceso a la vivienda es un derecho universal fundamental para el desarrollo de cualquier sociedad, incluso en Costa Rica. Para facilitar el acceso a la vivienda a los sectores de más bajo poder adquisitivo, en el Artículo 65 de la Constitución Política, se establece que el Estado promoverá la construcción de viviendas populares. Este proyecto de graduación se realizó con el fin de contribuir a este esfuerzo colectivo.

El desarrollo del trabajo se planteó de forma tal, que provea de una manera metódica, estructurada y ordenada, información valiosa que permite evaluar sistemas constructivos de vivienda social. En este primer capítulo, se introduce al lector tanto a la justificación del proyecto, como al alcance, los objetivos que se persiguen, los antecedentes que se utilizan y finalmente la metodología que se persigue.

1.1. Justificación

En esta primera parte se aborda la justificación de este proyecto de graduación incluyendo tanto el problema específico que se resuelve, la importancia de haber realizado este trabajo y por último se presentan los antecedentes teóricos y prácticos, es decir los documentos más importantes que se utilizaron como fundamento teórico para la construcción de este proyecto de graduación.

1.1.1. Problema específico

Según datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA, 2016), en Costa Rica es común el uso de únicamente cinco sistemas constructivos para la elaboración de vivienda social: baldosas horizontales, bloques de concreto, baldosas verticales, madera y super bloque, representado estos sistemas más del 99% de las viviendas de interés social construidas. Lo anterior, evidencia que en el país no es común la utilización de otros sistemas constructivos que podrían tener ventajas en aspectos particulares como por ejemplo el sistema de bloques de plástico que potencialmente posee un menor impacto ambiental o el sistema RBS (Royal Building System) que es más rápido de construir que la mampostería (ver Capítulo 5).

Existen sistemas constructivos que por diferentes razones como su poco tiempo en el mercado o la falta de difusión que hayan tenido, no son conocidos en el mercado nacional. Lo anterior provoca que, a nivel nacional, diferente información como registros de costos, rendimientos, impactos socioambientales e información técnica sea difícil de obtener.

Por último, según la investigación realizada, no existe a nivel nacional una herramienta o un trabajo que compare de manera integral y cuantitativa, los diferentes sistemas constructivos. Lo anterior, puede provocar que, al ejecutar un proyecto de vivienda social, no se escoja el sistema idóneo para cada proyecto o incluso no se valoren diferentes opciones.

1.1.2. Importancia

La importancia de este trabajo, radica en que a partir de la información que produce ayuda a que los diseñadores, constructores, desarrolladores y demás actores tomen la mejor decisión sobre el sistema constructivo que deben utilizar.

Este proyecto de graduación, genera tres productos principales: una herramienta comparativa de sistemas constructivos de vivienda social (Capítulo 3), un listado de sistemas constructivos que se utilizan tanto a nivel nacional como latinoamericano (Capítulo 4) y una comparación de nueve sistemas constructivos tanto nacionales como latinoamericanos, utilizando la herramienta comparativa (Capítulo 5). A continuación, se describe la importancia de cada uno de estos productos.

La importancia de la herramienta de evaluación y selección de sistemas constructivos, es permitir tener criterio técnico para saber cuáles son los métodos constructivos para vivienda social ventajosos, tomando en cuenta diferentes aspectos de índole económico, técnico, ambiental, social y legal.

Por otra parte, la importancia de enlistar los diferentes sistemas constructivos que se utilizan en el país y en Latinoamérica, radica en que representa un inventario de sistemas, lo cual es información útil para tomar como referencia en futuras investigaciones y proyectos.

Por último, la importancia de comparar los sistemas constructivos y aplicar la herramienta comparativa, es que pone a disposición información de diversa índole (técnica, económica, ambiental, política y social) sobre los nueve sistemas constructivos que se comparan (baldosas horizontales, mampostería Integra, Panelco, Wood Framing, Steel Framing, Bloqueplast, Structural Insulated Panel, Royal Building System, Peri-Uno). Otra importancia es que permite cuantificar la conveniencia de cada uno de estos sistemas, para cada una de las variables evaluadas, lo cual permite demostrar la conveniencia de sistemas constructivos, que no se han utilizado antes en el país.

1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

A nivel Latinoamericano, existen diferentes trabajos que persiguen objetivos similares a los de este proyecto de graduación, a continuación, se mencionan los de mayor relevancia.

La tesis de Favela (2004) denominada *Propuesta de Selección de un Sistema Constructivo para Vivienda de Interés Social*, fue de vital importancia para este trabajo, ya que desarrolla conceptos como la Herramienta Despliegue de Función de Calidad (QFD), que es la base teórica para construir la herramienta de selección de sistemas constructivos de este trabajo.

Por otra parte, el trabajo de Monjo (1986) titulado *Propuesta de Evaluación de Sistemas Constructivos*, fue de importancia puesto que en el mismo se desarrollan la mayor parte de los conceptos, que se emplearon en la herramienta de selección de sistemas constructivos.

La tesis de Salas (2016), denominada *Propuesta de un sistema constructivo para vivienda social para las zonas andinas de Colombia*, resulta de importancia para este trabajo, pues describe de manera integral el problema de vivienda de interés social, en relación con temas sociales, urbanos, arquitectónicos, constructivos, normativos y económicos; además de realizar un recuento de diferentes metodologías constructivas, que utilizan en Colombia, junto con el desarrollo de una serie de criterios, bajo los cuales se debe basar un sistema constructivo para que sea eficiente en vivienda social.

A nivel nacional, existen diversos trabajos de graduación sobre vivienda social, en distintas disciplinas, donde se ha analizado desde diferentes perspectivas como la económica, social, ambiental, arquitectónica, urbana e ingenieril. No obstante, en todos estos estudios, el énfasis ha sido distinto al planteado en este trabajo, ya que en los casos donde se trabaja con sistemas constructivos, se proponen sistemas nuevos, se mejoran sistemas ya existentes o se comparan

sistemas que ya son utilizados en el país. A continuación, se mencionan los trabajos más relevantes para efectos de este proyecto.

Primero se puede mencionar el trabajo de Sancho (2011) denominado *Modulación de una vivienda de interés social para diferentes sistemas constructivos*. Se destaca en dicho trabajo la descripción de los sistemas constructivos más utilizados en Costa Rica para vivienda social. También es de importancia en este trabajo, la modulación y cuantificación de obra que se hace a diferentes sistemas constructivos, puesto que esta información será la base de la cuantificación de costo en el Capítulo 5.

La tesis de Camacho (2014) denominada *Parámetros de sostenibilidad en tipologías de vivienda de interés social*, fue de importancia puesto que en la misma hace una cuantificación de variables ambientales importantes que se deben tener en cuenta como la huella de carbono y el consumo energético de un sistema constructivo de vivienda de interés social.

Por último, el trabajo de Pérez (2001) titulado *Análisis comparativo de sistemas constructivos aplicados a una vivienda de interés social*. De este proyecto se obtienen variables ambientales, sociales, técnicas y económicas que se aplican a la herramienta comparativa.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Crear una herramienta de evaluación y comparación de sistemas constructivos de vivienda de interés social, que permita considerar aspectos económicos, sociales, legales, técnicos y ambientales para validar sistemas no utilizados o poco utilizados en el país.

1.2.2. Objetivos específicos

- a. Describir en términos ingenieriles, económicos, sociales y ambientales, sistemas constructivos de vivienda de interés social, que se utilicen tanto en Costa Rica como en Latinoamérica.
- b. Construir una herramienta comparativa matricial que permita evaluar un sistema constructivo de vivienda de interés social, tomando en cuenta aspectos económicos, sociales, legales, técnicos y ambientales.

- c. Evaluar, con la herramienta propuesta, sistemas constructivos utilizados tanto en el país como en Latinoamérica.
- d. Valorar la idoneidad de los sistemas constructivos de vivienda de interés social nacionales y latinoamericanos investigados, basándose en los resultados obtenidos con la herramienta comparativa.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Alcance

- Este trabajo se enfoca en soluciones constructivas para viviendas de interés social de índole unifamiliares de un nivel.
- A nivel geográfico, se tomó en cuenta para la investigación, solamente los países latinoamericanos, esto por la cercanía geográfica y similitud económica, social y cultural con Costa Rica.
- Se utilizó únicamente los elementos constructivos muro (incluyendo sus acabados) y cimentación, dado que son los elementos que varían en los sistemas constructivos con los que se trabaja. Pese a lo anterior, sí se tomó en cuenta la relación de los muros con otros elementos como: estructura de techo, estructura de piso, ventanería, puertas y obras electromecánicas.
- Se evaluaron, con la herramienta propuesta, los nueve sistemas constructivos que se consideraron más relevantes (ver criterios de selección en el Capítulo 3), estos sistemas son: baldosas horizontales, mampostería, Covintec, Steel Framing, Wood Framing, Bloqueplast, Structural Insulated Panel, Royal Building System y Peri-Uno.
- La herramienta está diseñada para evaluar la conveniencia de un sistema constructivo en el país y no para evaluar la conveniencia de un sistema constructivo en un proyecto específico.
- Se comparó y analizó los sistemas constructivos de una manera genérica, es decir, no se realizó un diseño arquitectónico-estructural detallado, sino que la comparación se basó en características generales que tiene cualquier vivienda diseñada con algún sistema constructivo.
- Se tomó en cuenta para la comparación, únicamente las variables que se indican en la matriz comparativa, dichas variables se consideraron las más representativas, esto por la

imposibilidad de tomar en cuenta todas las posibles variables que puedan existir e influenciar un sistema constructivo.

1.3.2. Limitaciones

- En el caso de los sistemas que se estudiaron a nivel latinoamericano, solo se contó con información accesible mediante medios electrónicos como publicaciones en la Web o contacto con empresas e instituciones, limitando las posibilidades de realizar entrevistas, encuestas o inspecciones de sitio para adquirir la información.
- Cuando se evaluaron sistemas constructivos, que no se han utilizado en Costa Rica, se debió confiar en información como rendimientos y costos que tiene el sistema en el país donde se utiliza, dicha información puede variar si el sistema se aplica en Costa Rica.
- Una limitación importante, es la imposibilidad de realizar una cuantificación precisa de variables cualitativas.

1.4. Hipótesis

Dado que la pobreza y desigualdad son fenómenos de índole global, es inmediato creer que, en muchos países o regiones, se han ideado soluciones para vivienda de interés social asequibles a las poblaciones de más bajos recursos. En este sentido, el presente trabajo plantea la hipótesis de que existen en Latinoamérica diversidad de sistemas constructivos con cualidades positivas en términos económicos, sociales, técnicos y ambientales, con respecto a los sistemas constructivos que se utilizan a nivel nacional y además se puede diseñar y aplicar una herramienta que demuestre cuantitativamente lo anterior.

1.5. Metodología

La metodología aplicada sigue la misma secuencia utilizada en el desarrollo capitular de este proyector de graduación. Para mayor claridad, en las figuras 1 y 2 se presenta un diagrama de flujo de dicha metodología.

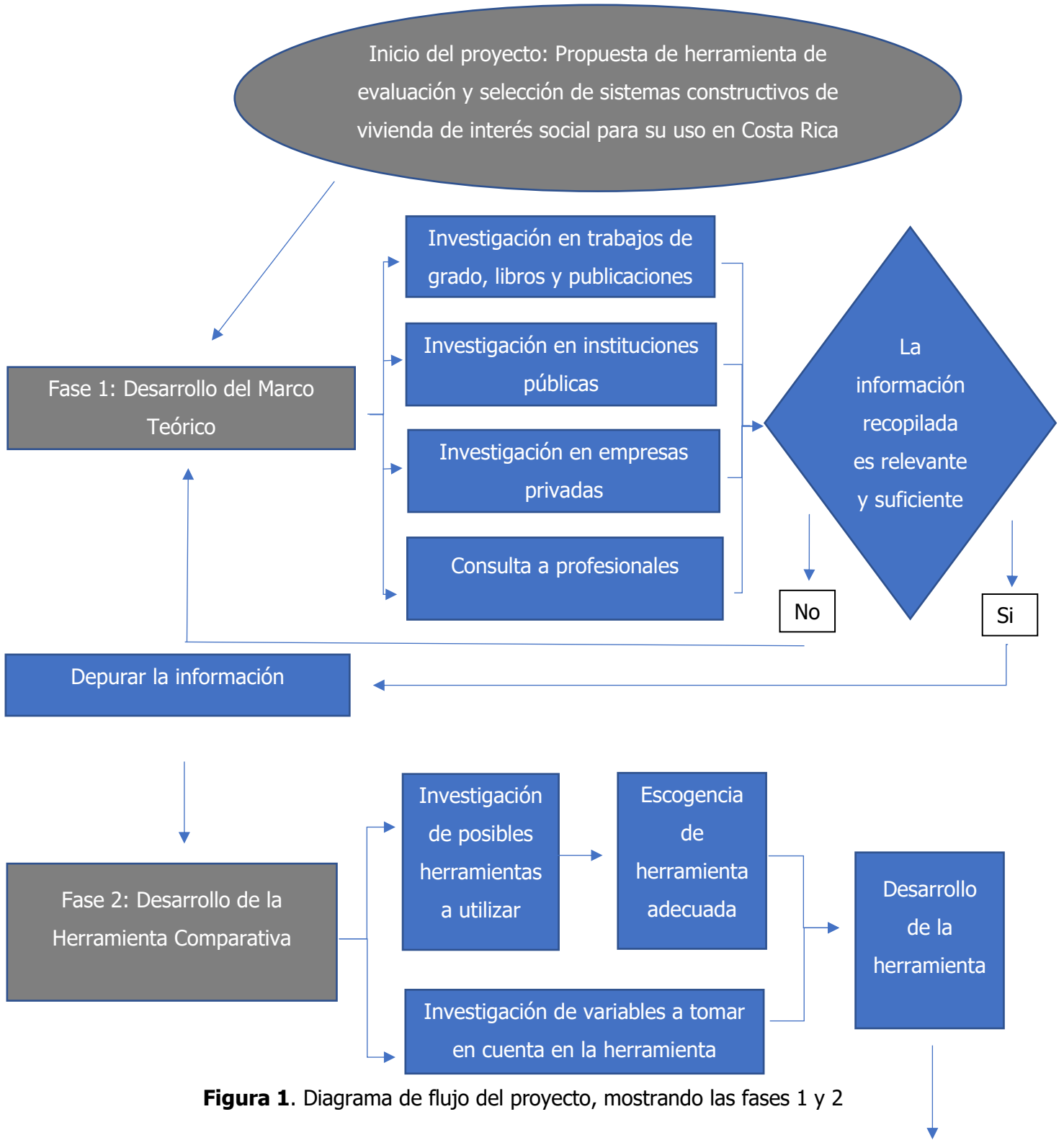


Figura 1. Diagrama de flujo del proyecto, mostrando las fases 1 y 2

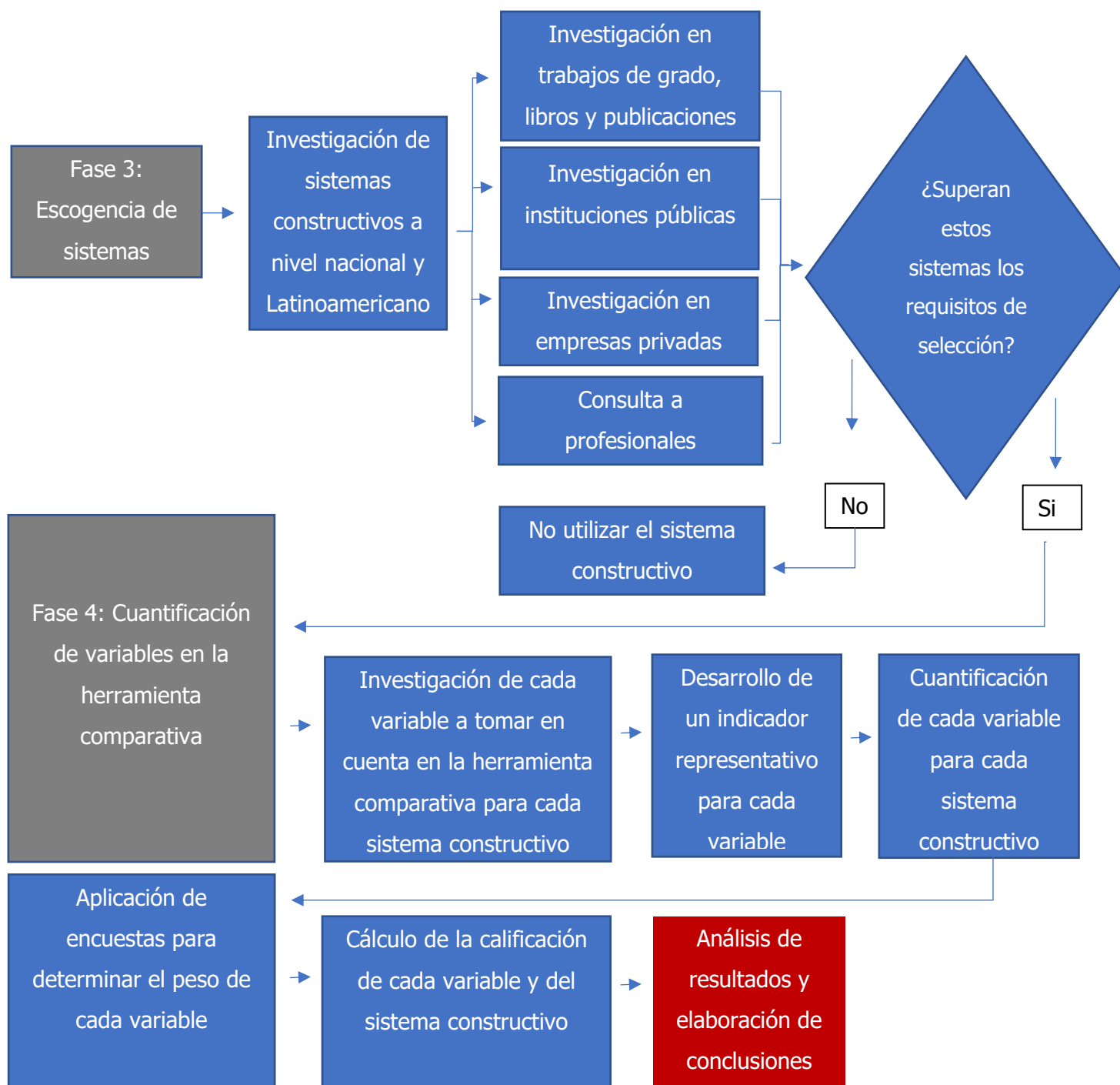


Figura 2. Diagrama de flujo del proyecto, mostrando la Fase 3 y 4

A continuación, las fases más relevantes para la realización de este proyecto de graduación.

Fase I: Desarrollo del Marco teórico

El objetivo de esta fase, fue recopilar información para tener un marco teórico y normativo y así comprender y abarcar temas de importancia en materia de vivienda de interés social antes de desarrollar la herramienta comparativa.

Se recopiló la información en instituciones públicas como el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos (MIVAH), Banco Hipotecario de la Vivienda (Banhvi), Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) y la Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI), también se consultó a profesionales, proyectos de graduación y empresas desarrolladoras de proyectos de vivienda social. Además, se recopiló información legal que enmarca la vivienda de interés social.

Luego del proceso de investigación bibliográfica, se procedió a depurar y priorizar la información, puesto que esta era abundante. Se supuso que el lector tenía un nivel de conocimiento básico en el tema.

Cabe aclarar, que la búsqueda bibliográfica, no abarcó únicamente ámbitos técnicos-ingenieriles, sino que se procuró que el abordaje fuese lo más integral posible.

Fase II: Desarrollo de la herramienta comparativa

Se realizó una investigación bibliográfica, para determinar cuál era la mejor herramienta para comparar sistemas constructivos, paralelamente se desarrolló una investigación, para determinar cuáles variables debía tomar en cuenta la herramienta comparativa. Para este propósito, se consultaron proyectos de graduación y artículos de otros países donde compararan sistemas constructivos.

Luego de identificar la herramienta a utilizar se procedió a adaptarla a las necesidades particulares del país y los objetivos de este proyecto de graduación.

Fase III: Escogencia de los sistemas constructivos

Para determinar cuáles sistemas constructivos investigar a nivel nacional, se utilizó el Capítulo de Vivienda Unifamiliar del Código Sísmico, el cual clasifica en cinco categorías los

sistemas constructivos de vivienda que normalmente se utilizan en el país. También se usó el documento *IX Evaluación de Viviendas de Interés Social* realizado por el CFIA en el 2016, dicho documento enlista diferentes sistemas constructivos utilizados en el país.

Para identificar sistemas constructivos a nivel Latinoamericano, se consultó principalmente páginas web de empresas, tesis de grado, revistas y libros. Se intentó realizar un repertorio lo más variado de sistemas constructivos.

Seguidamente, se procedió a seleccionar los nueve sistemas a los que se les aplicó la herramienta comparativa, en el Capítulo 4 se indican los criterios seguidos para la escogencia de estos sistemas.

Fase IV: Aplicación de la herramienta comparativa

Una vez que se identificaron los sistemas constructivos con los cuales trabajar, se procedió a cuantificar las diferentes variables de la herramienta comparativa, para cada sistema constructivo, para tal propósito, la principal fuente de información fue el manual técnico de cada sistema. Hay que aclarar, que se debieron definir diferentes indicadores, para cuantificar cada una de las variables, como se muestra en el Capítulo 5.

Luego de cuantificar todas las variables a utilizar, se realizan encuestas con el objetivo de determinar el peso de importancia de estas variables. Seguidamente con la herramienta desarrollada, se calculan las calificaciones que obtiene el sistema constructivo en forma global, en cada una de las variables o en cada agrupación de variables (económicas, tecnológicas, sociales, ambientales, legales y políticas).

Fase VI: Análisis y conclusiones del proyecto

Con la información obtenida en la fase anterior, se procedió a realizar el análisis de resultados y las conclusiones, para esto se prepararon diferentes gráficos con los que se facilitó el análisis de la información. También, se efectuaron recomendaciones sobre cuál sistema constructivo utilizar o en qué condiciones utilizarlo.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se exponen una serie de conceptos que ayudaron a esclarecer tanto el problema de la vivienda de interés social en Costa Rica y Latinoamérica, como el funcionamiento de los sistemas constructivos que se utilizan en la vivienda social. Lo anterior, con el fin último de poder desarrollar una herramienta de selección de sistemas constructivos integra y que se adapte a los verdaderos requerimientos del país.

2.1. La vivienda de interés social en Costa Rica

Es necesario analizar la situación actual del país en materia de vivienda de interés social, mostrando indicadores, estadísticas y aspectos de índole normativo e institucional, que ayudan a comprender los requisitos técnicos que debe cumplir un sistema constructivo de vivienda de interés social, así como los retos y debilidades de los actuales sistemas.

2.1.1. Situación actual de la vivienda de interés social

Las viviendas de interés social, son una solución ideada para brindar la posibilidad de obtención de una casa a las familias pertenecientes a los quintiles más bajos de la población. Sin embargo, pese a la política gubernamental que facilita la adquisición de estas viviendas, mediante subsidios como facilidades de crédito, bonos de vivienda y reducción o eliminación de impuestos; según datos de la Fundación Promotora de la Vivienda (FUPROVI, 2016) el déficit habitacional en el periodo 2010-2016 (datos más actualizado a la fecha) presentó un aumento pasando de 121 256 a 125 859 viviendas.

Por otra parte, según el MIVAH (2013) la mayor parte del déficit corresponde a familias que pertenecen al percentil I (menor estrato socioeconómico). En este mismo informe se indica, que, dada la desaceleración en el crecimiento de la población y el envejecimiento de esta, se podría esperar un menor ingreso familiar y por ende un deterioro progresivo de las viviendas y por último un aumento del déficit habitacional.

Según el Estado de la Nación el 78 % de las viviendas de interés social construidas entre el 2000 y 2011 se concentran en 16 distritos en su mayoría fuera de la GAM, lo cual se debe a que cada vez el valor de la tierra en la GAM es mayor y, por ende, las familias de más bajos

recursos han sido desplazadas hacia zonas rurales o de bajo costo, incluso, cayendo en la informalidad.

En busca de lotes de bajos precio, es usual identificar proyectos de vivienda social ubicados en terrenos con riesgo de inundaciones o deslizamientos. El agotamiento de terrenos accesibles económicamente y que sean aptos para zona residencial, ha provocado un deficiente acceso a servicios básicos de infraestructura, salud y educación (Sánchez, 2014).

Por otro lado, también el Ministerio de Vivienda en su Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos (2012), indica que ha existido una debilidad en el acompañamiento social a las personas que salen de los precarios hacia proyectos de interés social, lo que produce que en ocasiones estas familias no logren modificar sus antiguos patrones de vida, llevando un proyecto de interés social a la precarización. Lo anterior, entonces, provoca el rechazo por parte de la población en general hacia la ubicación de proyectos de interés social en sus barrios o poblados. En este mismo documento, se indica que el Estado a través de sus políticas públicas, se ha enfocado en facilitarle vivienda social a las familias de bajos recursos, dejando al margen a las familias de estratos medios.

En el país se trabaja con dos alternativas de vivienda de interés social: las de índole urbanas o en altura y las de índole rural, siendo las de índole rural más populares. En zonas urbanas donde el valor del terreno es elevado, la mejor alternativa para ofrecer vivienda social consiste en crear edificios multifamiliares, en estos casos los sistemas constructivos que se utilizan suelen ser convencionales (mampostería o concreto) y se emplean diversas técnicas en el diseño para ahorrar costos como la modulación de todos los elementos constructivos, la simplificación del diseño, la racionalidad estructural, la austeridad de acabados y elementos costosos y la optimización del espacio. En la Figura 3 se observa un complejo habitacional de índole urbano.

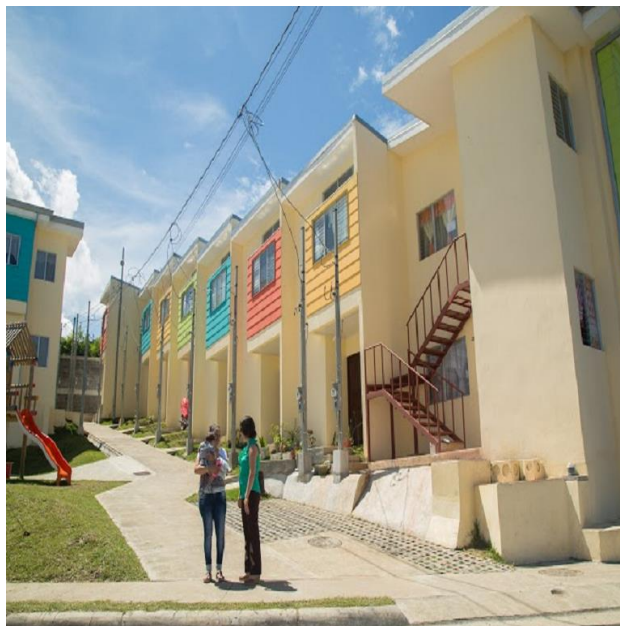


Figura 3. Viviendas de interés social en altura. Proyecto habitacional La Esperanza
Fuente: Revista Construir, 2016

Según datos del CFIA (Vargas, 2016), en el país la mayoría de los proyectos de vivienda de interés social son de índole unifamiliar y rural, con la característica principal de que cada unidad habitacional está separada. Además, las viviendas son de tamaños reducidos y de un solo nivel, por lo que no esté sujeta a altas demandas estructurales. Lo anterior, aunado al hecho de que en una vivienda de interés social, se requiere economizar recursos provocan condiciones ideales para que se pueda innovar con diferentes sistemas constructivos, es por esta razón que este trabajo de graduación se centra en esta alternativa y no en viviendas de interés social en altura.

Algunos de los principales inconvenientes que presenta la vivienda de interés social en Costa Rica se muestran a continuación. Primeramente, se debe mencionar el costo que hace inaccesible para parte de la población las soluciones de vivienda, siendo una de las principales razones que contribuyen a aumentar el déficit habitacional en Costa Rica (FUPROVI, 2016).

Seguidamente, según el Vigésimo Estado de la Nación (2014), algunos de los problemas son: la demora en los trámites para el otorgamiento del Bono de Vivienda, la falta de verificación de la calidad de los proyectos de interés social, los costos asociados a los diferentes trámites que afectan los proyectos, la falta de acceso al crédito formal para muchos desarrolladores de estos

proyectos y por último la baja oferta que se da en viviendas que estén en el rango presupuestario de una vivienda de interés social.

Otro problema de los sistemas constructivos, según Tenorio (2009), es que estos no se adaptan fácilmente a las necesidades climáticas de cada zona, condenando a sus habitantes a vivir en un rango de no confort higrotérmico. Además, en el informe IX Evaluación de Vivienda de Interés Social realizado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA, 2016), los sistemas constructivos comúnmente utilizados en el país para vivienda social están pensados para ser diseñados a nivel de suelo provocando que en algunas zonas del país (como la zona Atlántica) las viviendas se inunden.

Por último, CFIA (2016) realizó una inspección aleatoria a 296 viviendas de interés social y encontró que los sistemas más utilizados en el país son: baldosas horizontales, bloques de concreto, baldosas verticales, madera y super bloque. En dicha inspección se determinaron desperfectos constructivos como: problemas en las fundaciones (4,3 % de viviendas), problemas en el contrapiso (27% de las viviendas), incumplimientos del Código Sísmico de Costa Rica con respecto a las paredes (5,2 % de las viviendas), problemas en los repellos (8,7 % de las viviendas), desperfectos en la solera o viga corona (24% de los casos), falta de protección ante la corrosión en la estructura de techo (23 % de las viviendas), por último con respecto a las viviendas en madera el 67% de estas poseen desperfectos asociados a reventaduras, daños por húmedas o insectos.

2.1.2. Instituciones encargadas de velar por la vivienda de interés social

En Costa Rica existen diversas instituciones que en su quehacer se involucran con el tema de vivienda de interés social, por ende, estudiar dichas instituciones amplia el marco político, institucional y legal de la vivienda de interés social en este trabajo, lo cual ayuda a identificar soluciones más acordes a lo que el país requiere y lo que las diferentes instituciones promueven. Las principales instituciones encargadas de velar por la vivienda de interés social, se indican a continuación.

Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU)

El INVU fue creado en 1954 y tiene la labor de coordinar, promover, diseñar y ejecutar programas habitacionales de interés social, promoviendo criterios de sostenibilidad ambiental y social.

Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI)

El Banco Hipotecario de la Vivienda (BANHVI) es un banco de segundo piso lo cual significa que no atiende a familias directamente, sino que atiende a entidades financieras autorizadas, otorgando crédito a las mismas para que estas gestionen los préstamos a las familias. Cabe aclarar, que existen 22 entidades autorizadas donde se pueden hacer las gestiones para ser beneficiario de los proyectos de vivienda que son analizados por el Banco Hipotecario de la Vivienda

El BANHVI es el rector del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (SFNV), cuya finalidad es financiar la vivienda para los sectores de menores ingresos del país y de la clase media. Entre las responsabilidades de este banco están: administrar los recursos asignados por la Ley para invertirlos en Bonos de Vivienda, supervisar la distribución y uso de estos recursos y gestionar mediante productos financieros, nuevos ingresos para garantizar la sostenibilidad al SFNV, también incentiva el ahorro para vivienda y asesora a entidades autorizadas. El BANHVI avala el financiamiento para la ejecución de proyectos de conjuntos habitacionales, así como para las obras y servicios complementarios, siempre y cuando estos sean promovidos por medio de los entes autorizados.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA)

El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), por medio del Código Sísmico (CSCR) regula en su Capítulo 17 *Vivienda unifamiliar* el componente estructural de los principales sistemas constructivos que se utilizan para vivienda.

Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH)

El Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), es el órgano técnico rector del gobierno en materia de vivienda y asentamientos humanos. Por su naturaleza este ministerio tiene la función de emitir las políticas y lineamientos que facilitan el acceso a la vivienda de todos los estratos sociales sujetas a la coordinación de una planificación integral en el país. También promueve políticas y reglamentos como la Directriz 27 MS MIVAH que son de importancia para garantizar cualidades mínimas que toda vivienda de interés social debe cumplir.

Las propuestas que formula el MIVAH, están dirigidas a solucionar problemas sociales y físico espaciales, así como intervenir y evaluar los procesos de vivienda con el fin de lograr mayor efectividad en la atención a la población, un desarrollo más equitativo y un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. También el MIVAH contribuye con el ordenamiento territorial, gestionando de una manera integral los asentamientos humanos y el territorio.

2.1.3. Marco Legal de la vivienda de interés social en Costa Rica

En Costa Rica existen diversas normativas que se debieron considerar en este trabajo, ya que regulan el tema de vivienda de interés social y por ende pueden afectar tanto la construcción de la herramienta comparativa de sistemas constructivos (Capítulo 4), como la ejecución de esta herramienta en cada sistema (Capítulo 5).

Se muestran leyes que enmarcan legalmente el concepto de vivienda social y sus beneficios, seguidamente se expone el Reglamento de Construcciones, el cual regula la forma en la que se debe de realizar todas las construcciones en el país (tanto en su diseño como construcción). Luego se presenta la Directriz N27 del MIVAH, la cual se denomina: "Especificaciones Técnicas y Lineamientos para la Escogencia de Tipologías Arquitectónicas para la Construcción de Viviendas y Obras de Urbanización", esta regula aspectos mínimos que debe tener una vivienda social.

Definición legal de vivienda de interés social y sus incentivos

El Artículo 65 de la Constitución Política dicta que el Estado promoverá la construcción de viviendas populares. De ahí que se han brindado esfuerzos a nivel país a través de una serie de instituciones y normativas para velar por la vivienda de interés social.

El Artículo 150 de la Ley N°7052 establece que la vivienda de interés social es: “La vivienda para grupos desvalidos, que son aquellas familias sin ingresos o con ingresos muy reducidos, que deben ser subsidiadas en su totalidad por el estado”. No obstante, esta ley no da criterios técnicos de qué es una vivienda de interés social.

Por otro lado, la Ley del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda, ofrece una definición de Vivienda de Interés Social, que considera el valor económico de la vivienda para establecer una definición. El Artículo 1 del Reglamento sobre vivienda de interés social establece que:

“Se entenderá por vivienda de interés social y sus sinónimos aquella que no sobrepase el límite máximo del monto que para tales efectos haya acordado la Junta Directiva del Banco Hipotecario de la Vivienda, en adelante BANHVI, con base en la metodología del cálculo aprobado y las variaciones en el salario mínimo. La fijación se hará una vez al año y deberá ser publicada en el Diario Oficial (...)”

Lo expuesto en el párrafo anterior, indica que no es necesario que una casa haya sido construida mediante el Bono de Vivienda, para que sea declarada de interés social. Cabe aclarar que dicho bono es un subsidio que otorga el Estado a las familias de menor ingreso de la sociedad, también puede ser dado a poblaciones vulnerables, como adultos mayores, personas discapacitadas o jefas de hogar. Algunos de los requisitos para acceder a este beneficio, son que los beneficiarios conformen un núcleo familiar con ingresos menores a un salario y medio de un obrero no especializado de la industria de la construcción, no haber recibido antes un bono y no posee más de una propiedad.

El interés social, se refiere al valor máximo de una vivienda para que pueda beneficiarse de los incentivos que otorga la ley a las viviendas de interés social, actualmente este valor es de ¢58 666 000.

Las exoneraciones fiscales que la ley permite, cuando una vivienda o proyecto ha sido declarado de interés social son:

- **Honorarios profesionales:** Los diferentes profesionales (abogados, ingenieros, arquitectos, peritos y contadores) que estén involucrados en el desarrollo de proyectos de

vivienda de interés social pueden cobrar un 50% menos de honorarios mínimos establecidos por los diferentes colegios profesionales.

- **Inscripción de escrituras:** exoneración del 100% del pago de los derechos de registro, de los timbres fiscales, de los timbres de los colegios de profesionales y cualquier otro timbre, así como del impuesto de transferencia de bienes inmuebles en la inscripción de escrituras.
- **Construcción de viviendas:** exención del pago de derechos de catastro de planos, de los timbres de construcción, y del 50% del pago de permisos de construcción y urbanización y de todo otro impuesto.

Reglamento de construcciones

El Reglamento de Construcciones, fue Publicado en La Gaceta No. 56 y su última actualización se realizó el 22 de marzo de 2018 en el Alcance No. 62 de la Gaceta No. 54. Se utilizó en este trabajo debido a que el mismo regula la construcción de todo tipo de obras en el país. Se tomó en cuenta únicamente los artículos que, de alguna forma, pueden afectar el desarrollo de la herramienta comparativa o la aplicación de esta.

Dicho reglamento tiene la finalidad de garantizar que las edificaciones tengan la solidez, estabilidad, seguridad, salubridad, iluminación y ventilación adecuadas, también regula aspectos mínimos que debe contemplar una edificación y especifica normas de calidad que deben aplicarse a los materiales y procesos constructivos.

El reglamento indica que está permitido cualquier tipo de sistema constructivo, mientras este esté acorde a lo que establece el Código Sísmico de Costa Rica, además debe haber un profesional que garantice su estabilidad y resistencia ante las diferentes acciones de carga.

También dicho reglamento establece que cualquier construcción que se ejecute, debe cumplir requisitos mínimos en seguridad laboral e higiene. Para este fin se establecen las siguientes normativas: Código de Trabajo, Ley General de Salud (No. 5395), Reglamento General de Seguridad e Higiene de Trabajo, Decreto de los ministerios de Trabajo y Bienestar Social y de Salubridad Pública, el Reglamento de Seguridad en Construcciones del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y el decreto ejecutivo de Enfermedades Profesionales.

Los materiales que se utilizan en la construcción de las edificaciones, deben acatar las disposiciones Reglamentarias Técnicas específicas, el CSCR y sus reformas o la normativa que los sustituya, además de cumplir con las disposiciones establecidas por el Cuerpo de Bomberos. El MEIC deberá prohibir el comercio de los materiales que no cumplan con estas normas.

De no existir normativas a nivel nacional, que regule el uso de algún material se utilizan las recomendaciones que establecen los siguientes organismos: Universidad de Costa Rica, Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo e Instituto Costarricense de Electricidad. En última instancia se recurre a normativas de organismos internacionales como la Asociación Estadounidense para Ensayos y Materiales (American Society for Testing and Materials).

Según el reglamento, se debe acatar lo estipulado por el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. Estas consideraciones tienen como fin último proteger la vida humana en caso de un incendio.

Cabe resaltar que el Reglamento de Construcciones, posee también normativas específicas para diferentes materiales o sistemas constructivos como la madera, concreto o el plástico (utilizados en este proyecto) donde se indica la forma en que se deben trabajar y calidades mínimas que se deben alcanzar.

Directriz N 27: "Especificaciones técnicas y lineamientos para la escogencia de tipologías arquitectónicas para la construcción de viviendas y obras de urbanización"

Esta directriz fue realizada especialmente para proyectos que son financiados por el Sistema Financiero Nacional para la Vivienda, lo cual incluye los proyectos de vivienda social. El objetivo es regular los tipos de desarrollo que se pueden realizar para vivienda de interés social, la densidad y las cualidades técnicas que se deben respetar, también la Directriz define la población objetivo que se debe atender. Cabe aclarar que dicha directriz, se basa en aspectos ambientales y de sanidad pública.

Se indica que todos los sistemas constructivos deben ser sismorresistentes y duraderos. Se considera preferibles los materiales con nula toxicidad y que no contaminen ni pongan en

riesgo la salud humana, además, se apuesta a tecnologías que apoyen la conservación sostenible del ambiente (disminución de movimientos de tierra).

La Directriz No. 27 establece que los nuevos sistemas que sean propuestos en los proyectos, deberán contar con diseños de profesionales inscritos en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), en dichos diseños se debe justificar la seguridad y funcionalidad del sistema. Por otra parte, los nuevos materiales de construcción que se propongan, deberán estar certificados por laboratorios, reconocidos e inscritos en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, la evaluación que se haga, debe incluir su comportamiento ante la acción de sismos, su durabilidad, su adecuación a lo que establece el Código Sísmico de Costa Rica, el Código de Cimentaciones de Costa Rica y el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, se debe analizar su capacidad de retardar el fuego, su composición en cuanto a materiales tóxicos, tanto para el ser humano como para el ambiente. No se permitirá la construcción de viviendas con materiales y sistemas constructivos que no cuenten con estos requisitos.

Se promueve la mayor especificación, uniformidad y claridad en el diseño del sistema constructivo, de manera que tanto las autoridades respectivas como la empresa constructora, puedan fiscalizar correctamente la ejecución del proyecto.

En el artículo 5 de dicha ley, denominado "*Especificaciones técnicas y lineamientos para la escogencia de tipologías arquitectónicas para la construcción de vivienda y obras de urbanización*", se especifican las características técnicas mínimas de una vivienda de interés social.

La Directriz indica que el desarrollador que construya una vivienda de interés social, en especial si es un sistema constructivo poco utilizado, deberá entregarle un documento con especificaciones constructivas al propietario, así como una garantía escrita y un manual de mantenimiento básico de la vivienda. Lo anterior, con el objetivo de motivar al desarrollador a ejecutar proyectos de calidad y fácil uso.

Todos los materiales que se utilicen para la construcción de vivienda de interés social, deben ser "de primera calidad y estar en condiciones óptimas", se debe evitar el uso de sobrantes de otras construcciones, en especial cuando son pedazos de materiales o están dañados.

Esta directriz, establece elementos mínimos que debe poseer una vivienda de interés social, además, para cada elemento, se indican una serie de regulaciones técnicas por cumplir. A continuación, se indican los más importantes para efectos de este trabajo.

- Paredes exteriores: Su acabado final no puede tener "imperfecciones", reventaduras o grietas. Se debe garantizar que exista impermeabilización tanto en el paño como en la junta, si se utiliza mampostería, se debe aplicar algún repello que garantice impermeabilidad.
- Paredes internas: Se permite utilizar concreto, madera o algún tipo de muro seco, no obstante, se deben cumplir las recomendaciones del fabricante. De utilizar madera, esta debe ser de primera calidad, sin reventaduras ni ataques biológicos, la madera debe ser tratada contra insectos y contra la humedad. Preferiblemente las paredes internas, deben poseer doble forro con acabado igual a ambos lados. Si se utiliza láminas de algún material, es requisito que la modulación de la plantilla o estructura donde se colocan las láminas, coincida en los extremos de las láminas, no se permiten remates en falso.
- Acabados: la vivienda tiene que estar pintada exteriormente, se debe utilizar mínimo dos manos de pintura. Se permite también utilizar otro tipo de revestimientos, mientras que se garantice la impermeabilidad y durabilidad de las paredes.

Por último, en la Directriz 27 se especifican diferentes tipologías de vivienda social y cada una posee requerimientos específicos como se muestra a continuación.

- Tipología 1: Zonas de posible inundación y zonas de arrastre. En estas zonas la vivienda se debe construir sobre columnas o pilotes, a una altura que dependerá de la altura probable de anegamiento según lo determine el estudio hidrológico de la zona.
- Tipología II: Zona calurosa. Las viviendas deben emplear estrategias de confort higrotérmico.
- Tipología III: Se clasifica dentro de este grupo las viviendas ubicadas en zonas con carácter de reserva indígena. Para esta tipología se deben priorizar el uso de materiales autóctonos, además de respetar las costumbres constructivas del lugar.
- Región Tipología IV: viviendas del valle central sin características especiales.

- Región Tipología V: vivienda para persona con discapacidad, sus requerimientos especiales no tienen relación con el sistema constructivo que se utilice, sino que son requerimientos a nivel arquitectónico.

Código Sísmico de Costa Rica

El Código Sísmico de Costa Rica (CSCR), es una normativa de uso obligatorio en todas las edificaciones del país, ofrece una serie de detalles constructivos, recomendaciones de uso, recomendaciones de estructuración, parámetros de diseño y de construcción para diferentes sistemas constructivos.

Los sistemas constructivos de vivienda más utilizados en el país, están normados en el Capítulo 17 del código. Si se va a utilizar materiales o sistemas constructivos que no pertenezcan o no cumplen lo estipulado en dicho capítulo, se debe realizar un diseño formal de acuerdo con lo indicado en los demás capítulos del CSCR. Los sistemas constructivos que incorporen materiales no regulados por el CSCR, deben ser diseñados siguiendo una metodología científico-ingenieril, además dichos materiales, deben contar con las pruebas de laboratorio correspondientes, de manera que se asegure un comportamiento adecuado ante las diferentes cargas.

Se enlistan a continuación, los aspectos más relevantes de cada sistema constructivo, descrito en el Capítulo de Vivienda Unifamiliar, que afectan la ejecución de la herramienta comparativa.

a) Sistema constructivo en mampostería

En esta sección se indican todas las características técnicas, que debe tener una pared de mampostería. Se permiten dos tipos de estructuraciones: mampostería integral y mampostería confinada. En la Figura 4 se muestran algunos de los detalles constructivos que presenta el código para este sistema.

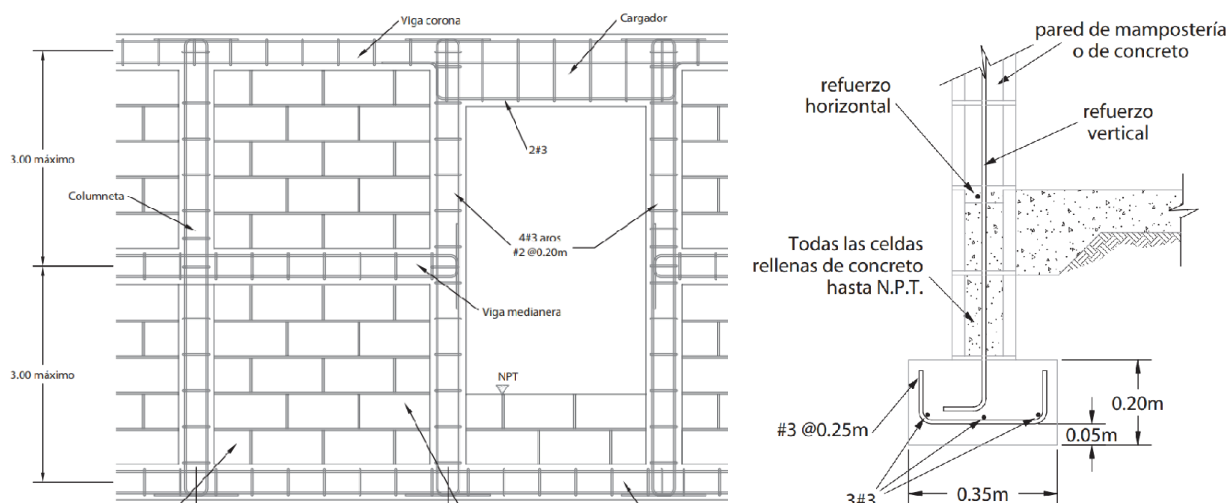


Figura 4. Detalles de sistema constructivo en mampostería
Fuente: CSCR, 2010

Como se observa en la figura anterior, el código indica la disposición de varillas, bloques y concreto que se debe acatar. También se muestran requerimientos mínimos que debe poseer la cimentación. También se indica como unir las paredes y las características técnicas que deben poseer los bloques que se utilizan.

b) Sistema constructivo tipo emparedado

Este sistema posee poliuretano en su núcleo y malla de acero con mortero en su exterior. En la Figura 5 se muestran detalles de este sistema.

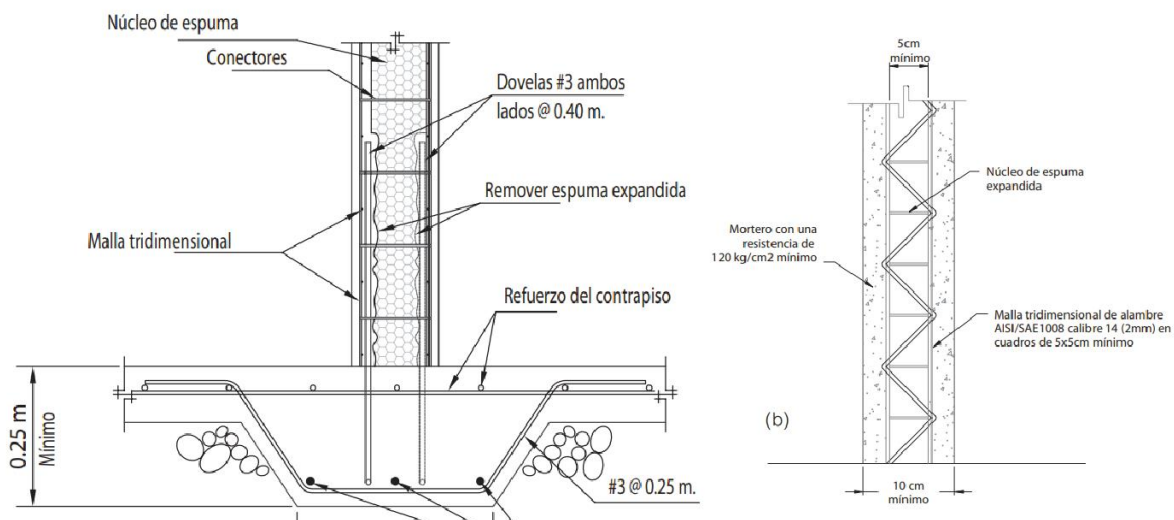


Figura 5. Cortes de sistemas constructivos tipo emparedado
Fuente: CSCR, 2010

Se observa en la figura anterior, que la cimentación que requiere este sistema, es menos profunda que la de mampostería. Adicionalmente, en esta sección se especifica dimensiones mínimas, calidad de la espuma, la disposición del acero que se debe seguir en este sistema, la manera en que se unen las paredes e indicaciones técnicas para el mortero. Según el CSCR, este tipo de muros debe tener siempre una viga corona, ya sea de concreto o de metal.

c) Sistema constructivo de paredes de concreto reforzado

Cabe aclarar, que al igual que en las paredes de mampostería, estos detalles son únicamente para viviendas, en donde se cumplan los requerimientos para usar diseño simplificado,; para los demás casos, se debe recurrir a diseño formal. En la Figura 6 se muestra un detalle de la distribución de acero, que recomienda el capítulo de vivienda.

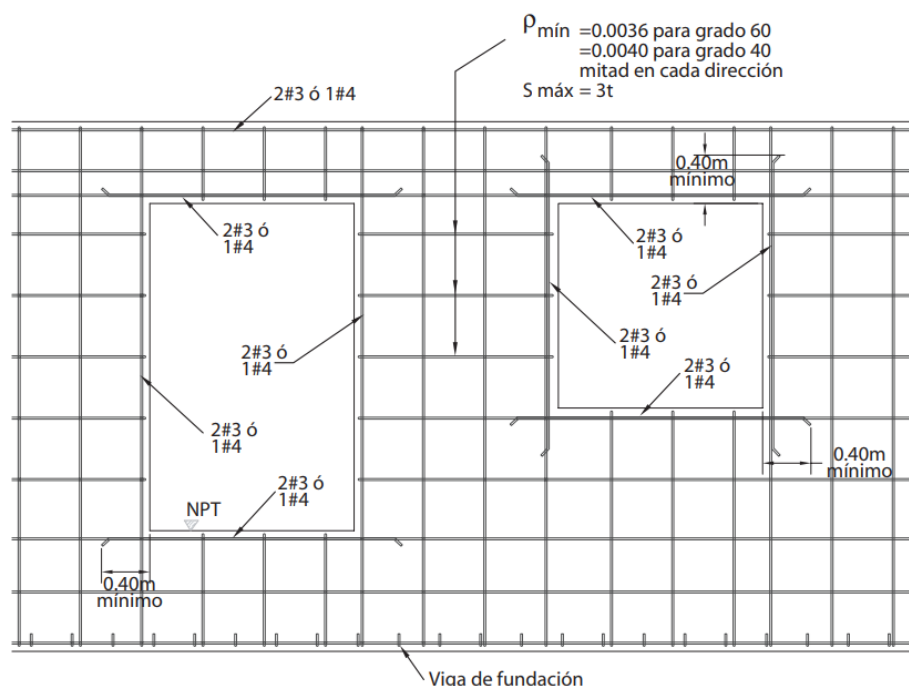


Figura 6. Detalles de distribución de acero en un muro de concreto
Fuente: CSCR, 2010

Para este sistema, el código también establece la forma de proceder para un correcto diseño de cimentaciones y viga corona. Adicionalmente, si se va a utilizar este sistema, se establece un espesor mínimo de 7,5 cm para paredes interiores y 10cm para paredes exteriores.

- d) Sistema constructivo de paneles o baldosas, horizontales o verticales de concreto prefabricado

El Código Sísmico indica que para el sistema de baldosas horizontales, estas deben ir apoyadas en columnas, en este caso las cimentaciones son puntuales en cada columna. En el caso de las baldosas verticales, la cimentación es corrida. En la Figura 7 se muestra la cimentación que el CSCR establece para cada sistema.

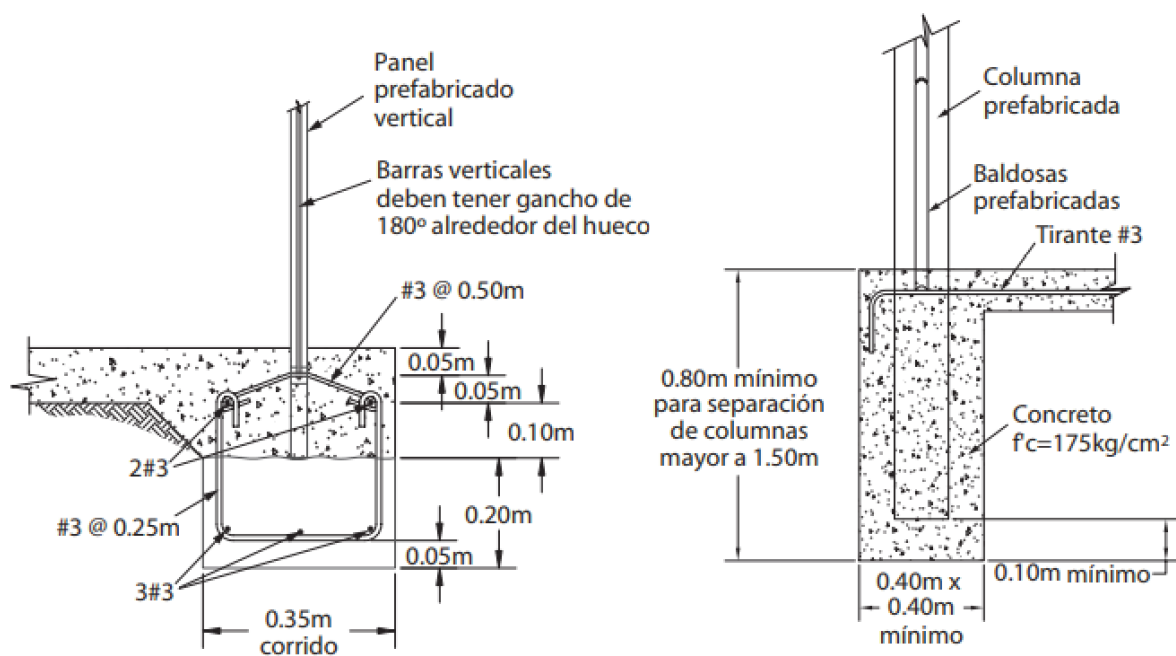


Figura 7. Detalles de fundación para baldosas horizontales y verticales
Fuente: CSCR, 2010

El CSCR también regula los espaciamientos de las columnas, en el caso del sistema de baldosas horizontales. El sistema de baldosas verticales no requiere de columnas; además, todas las paredes, deben tener en su borde superior, un elemento estructural, estos elementos pueden ser de concreto, acero o madera y deben tener continuidad estructural.

- e) Sistema constructivo de paredes de doble forro

En el caso de las paredes de doble forro, el forro puede ser de múltiples materiales, ya que el código sísmico se limita a regular la estructura interna de la pared, dicha estructura puede ser de madera o acero. En la Figura 8 se presentan el detalle típico de fundaciones para este sistema.

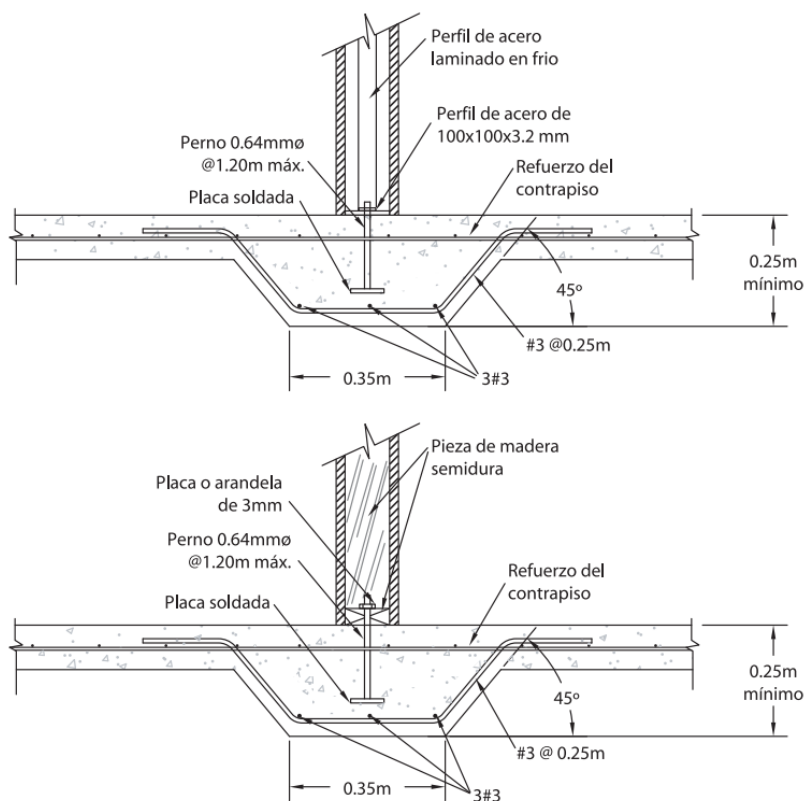


Figura 8. Detalles de cimentación de las paredes de doble forro
Fuente: CSCR, 2010

Se observa en la figura anterior, que el detalle es el mismo, tanto para las paredes de doble forro con estructura de madera, como la pared de doble forro con estructura de acero. También se puede notar, que sus cimentaciones son menos profundas que las de los demás sistemas. El código también da indicaciones y detalles constructivos, de cómo se deben disponer las arriostras, los elementos verticales y los horizontales, que conforman la estructura del muro de doble forro.

d) Otros sistemas

Como se indicó anteriormente, si se requiere trabajar con sistemas que no se acoplan a los requerimientos del Capítulo 17 de Vivienda Unifamiliar, se deberá proceder a realizar diseño formal. En los capítulos 8, 9, 10, 11 y 12 del CSCR, se indica la forma en que se debe trabar los sistemas hechos a base de concreto, mampostería, acero y madera; en el capítulo 12 se indica la forma en que se debe trabajar los sistemas prefabricados en concreto.

2.2. La vivienda de interés social en Latinoamérica

Dada la naturaleza de este trabajo, es pertinente indagar la situación de la vivienda de interés social en los demás países de Latinoamérica, para así orientar una la búsqueda de sistemas constructivos acorde a las necesidades y condiciones de Costa Rica.

2.2.1. Retos y semejanzas con Costa Rica

Según Salingaros (2006), algunos de los principales problemas que se dan en Latinoamérica con respecto a la vivienda social, es la obligación de ofrecer soluciones de bajo costo generando proyectos rígidos, diseñadas al menor costo y mayor eficiencia posible, para posteriormente ser replicados a gran escala, lo cual perjudica la aceptación social y la calidad de vida que estos propician. Lo anterior, es un fenómeno que también se observa en Costa Rica.

Salingaros (2006) también indica que otro problema relevante en la vivienda de interés social latinoamericana, es la ubicación de los proyectos, ya que por el mismo objetivo de abaratar costos, se localizan en zonas desprovistas de infraestructura básica. En este mismo documento se señala, que en muchos casos el éxito político de los proyectos, se mide en términos de la cantidad de soluciones que se ofrecen y del impacto inmediato en lugar de medir la calidad o sostenibilidad, también el autor critica el hábito de utilizar prototipos de vivienda, que no permiten variaciones individuales de cada proyecto. Por último, y de relevancia para este trabajo, este autor denuncia que en Latinoamérica, se han estado utilizando los mismos sistemas constructivos sin antes ver otras alternativas.

Durante la mayor parte del siglo XX, las políticas de vivienda en América Latina se caracterizaron por la preeminencia estatal en la construcción y financiación de vivienda. Dichas políticas evolucionaron hacia un estado facilitador, permitiendo que se estructurara una amplia gama de mecanismos para atender las necesidades habitacionales de la población, como facilidades en el financiamiento, subsidios e incentivos al ahorro. Lo anterior, también produjo que surgieran una serie de empresas privadas, con múltiples soluciones de vivienda diferentes en la región (CEPAL, 2000).

Salas (2002) señala que los mayores problemas que ha sufrido la vivienda de interés social en Latinoamérica son: el aumento del sector informal, la pobreza, la inequidad, el crecimiento

desmedido de las ciudades, el incremento en el déficit de vivienda y las necesidades de inversión en el mejoramiento de los barrios.

2.2.2. Aspectos mínimos internacionalmente estipulados para una vivienda de interés social

Luego de la segunda guerra mundial, el Centro Científico y Técnico de la Edificación (CSTB) con sede en Francia, realizó un estudio científico, para determinar qué aspectos mínimos debía considerar una vivienda para que funcionara correctamente (Mc Donnell, 1999). Dichos aspectos fueron modificándose con el tiempo, hasta llegar a las exigencias actuales aceptadas universalmente, esto se observa en el cuadro a continuación.

Cuadro 1. Requerimientos mínimos que debe cumplir una vivienda según el Centro Científico y Técnico de la Edificación (CSTB)

Exigencias de seguridad	Estabilidad frente a acciones de cargas gravitatorias, viento, nieve, sismos
	Estabilidad contra fuego
	Resistencia al choque duro y blando
	Resistencia a la intrusión humana y animal
	Circulación interna libre, sin obstáculos, ni riesgos eléctricos, asfixias o explosión
Exigencias de habitabilidad	Aislamiento hidro-térmico
	Aislamiento acústico
	Estanqueidad al agua y el aire
	Iluminación, soleamiento y pureza del aire
	Servicios sanitarios, comunicación y muros clavables
Exigencias de durabilidad	Conservación de cualidades durante la vida útil
	Mantenimiento con costo económico y accesible
	Flexibilidad interior, capacidad para variar las divisiones interiores
Exigencias estéticas	Calidad arquitectónica
	Adecuación ambiental

Fuente: Mc Donnell, 1999

Las variables anteriores fueron tomadas en cuenta, al momento de desarrollar la herramienta comparativa de sistemas constructivos en el Capítulo 4.

2.2.3. Barreras que impiden la innovación en la construcción de vivienda social en Latinoamérica

Como se discutirá más adelante en la Sección 2.3.1, debido al déficit de vivienda que ocasionó la Segunda Guerra Mundial en Europa, se indujo un proceso de innovación que ha producido numerosos sistemas constructivos, no obstante, en Latinoamérica, la tendencia ha sido seguir utilizando los mismos sistemas. Para Favela (2004) esto se debe a que nuestras sociedades son conservadoras y por lo tanto las personas tienden a seguir haciendo las cosas de la manera en que siempre las han hecho. También el autor indica, que los constructores prefieren continuar utilizando los métodos constructivos convencionales, por una cuestión de seguridad, previniendo riesgos que con un sistema innovador serían difíciles de detectar, como los sobrecostos. Por otra parte, las empresas constructoras, si no han utilizado un sistema constructivo antes, no tienen registros históricos de rendimientos, ni tampoco un registro completo de costos y desperdicios.

Otra variable por considerar, es la negativa de las empresas financieras, para dar crédito a sistemas nuevos, debido al riesgo que el sistema fracase y no se recupere la inversión.

Favela (2004) también indica que se debe considerar el hecho de que parte de los desarrolladores, diseñadores y constructores, se guían por la experiencia que ellos mismos tienen o que otras empresas constructoras han tenido, por lo tanto, si un sistema novedoso no funciona correctamente, inmediatamente lo descartan sin darle la posibilidad de mejora o que sea aplicado correctamente. El mismo autor, indica que también el diseñador y los usuarios son reacios a innovar, puesto que el primero quiere evadir dificultades en el proceso constructivo y facilitar el proceso de diseño y el segundo porque piensa que las mismas no soportarán eventos extremos como sismos o incendios.

2.3. Sistemas constructivos

En este último apartado, se discuten aspectos básicos de los sistemas constructivos de vivienda, como su definición técnica, su desarrollo histórico y las diferentes clasificaciones que se hacen de sistemas constructivos.

2.3.1. Aspectos generales de un sistema constructivo

Un sistema constructivo es un conjunto de materiales, elementos estructurales, uniones y demás componentes que están relacionados entre sí, acoplándose de una manera previamente estipulada. Los sistemas constructivos tienen diferentes niveles de complejidad y resuelven parte o la totalidad de un edificio, también pueden cumplir una sola función, como los que sólo funcionan como cerramiento o varias funciones, como los que trabajan como cerramiento y estructura vertical a la vez.

En la construcción de una edificación, es normal seguir un proceso aditivo en el cual se van sumando diferentes componentes hasta completar el edificio, por esta misma razón, es común también que existan diferentes sistemas constructivos.

Un sistema constructivo puede poseer subsistemas más básicos que resuelven un aspecto particular. Usualmente en un sistema constructivo, existen los siguientes subsistemas: cimentaciones, estructura vertical o la horizontal, cerramientos, fachadas, puertas o ventanas y acabados (Monjo, 1986).

Según Monjo (1986), no es común que un sistema constructivo incorpore y resuelva todos los componentes que requiere una edificación, sino más bien lo común es que cada sistema constructivo se especialice en una función particular como estructura, cerramientos o cubierta, por ejemplo.

2.3.2. Desarrollo histórico de los sistemas constructivos para vivienda

A lo largo de la historia, los sistemas constructivos para vivienda social que se han utilizado, han sido altamente artesanales. No obstante, desde el siglo XVI con Leonardo da Vinci se tienen registros de planes para fabricar viviendas de una forma industrializada. Incluso se tiene evidencia que durante la colonia inglesa en Norteamérica, se dieron casos de edificaciones prefabricadas en Inglaterra y enviadas en barco para su ensamblaje en E.E.U.U. (García, 2001).

En el siglo XX la industrialización tomó apogeo, en Estados Unidos uno de sus primeros precursores fue Thomas Alva Edison que en 1907, instaló una industria de casas prefabricadas

de concreto en Nueva Jersey que se basaba en verter concreto en moldes de acero (García, 2001).

En Europa la industrialización de la construcción se aceleró drásticamente, luego de la primera guerra mundial ya que la destrucción que causó la guerra, obligó a buscar la mejor manera de reconstruir grandes poblados de la manera más rápida y económica. También el concreto permitió un proceso de fabricación industrial de elementos prefabricados, que se ensamblaban en sitio. Paralelamente en esta época, surge la arquitectura moderna que provoca diseños basados en criterios altamente objetivos como: optimización del espacio, simplificación de la construcción y además se comienza a trabajar en la modulación, dándole más ventajas a los procesos industrializados (García, 2001).

Luego de la Segunda Guerra Mundial, en Europa se dio la llamada primera generación en el desarrollo de la tecnología de la construcción. En este periodo, comenzaron a aparecer innovaciones y fábricas que se especializan en la construcción de grandes paneles, para la construcción, principalmente de concreto (sistema pesado y sistemas cerrados). La idea era reconstruir lo más rápido posible, sacrificando parte de las posibilidades arquitectónicas. Este tipo de construcción, permitió que se estandarizaran muchas dimensiones que se utilizaban en la construcción (Favela, 2004).

Con el tiempo los sistemas cerrados fueron siendo remplazados por los sistemas abiertos, dando paso a la segunda generación en el desarrollo de las tecnologías de construcción, la cual se basa en el uso de componentes semipesados y livianos, que podían ser trabajados de una manera más fácil por los obreros,; además, se introdujeron conceptos como la coordinación dimensional, las tolerancias y los catálogos de construcción, dando más facilidades y flexibilidad en el proceso de diseño y gestión de proyectos (Favela, 2004). Las fábricas que se requerían para producir estos elementos, necesitaban una menor inversión inicial, por lo que funcionaron mejor en Latinoamérica,; además como los elementos eran de menor tamaño, el transporte se facilitó, economizando dinero y permitiendo llegar a más lugares.

La tercera generación en el desarrollo de las tecnologías de construcción, inició en los años noventa y se sigue dando en la actualidad, tiene la característica de que los elementos prefabricados ya no se consideran como el todo en el sistema constructivo, sino que son una parte. En este sistema existe una industria principal altamente tecnificada, apoyada por la

industria química y la automatización que provee los materiales básicos, luego estos materiales son procesados en talleres convencionales donde se producen las piezas del sistema, para finalmente ser montados en obra (Favela, 2004).

Esta generación es la que mayor flexibilidad presenta, al promover la compatibilidad de los diferentes elementos constructivos en todo un sistema, la idea es que todos los elementos, sin importar su tamaño puedan ensamblarse de una manera sencilla en obra, se busca la simplificación y racionalización en la coordinación modular, de manera que el proceso constructivo se realice lo más rápido y limpio posible, con la menor cantidad de mano de obra, además, dicha coordinación permite también que diferentes fabricantes, puedan producir las mismas piezas del sistema. En esta tercera generación, los componentes son lo suficientemente sencillos, como para elaborarse en cualquier taller, además se limita el tamaño y peso para que sean suficientemente fáciles de manipular e instalar. Sistemas altamente utilizados a nivel nacional, como los bloques de mampostería y las baldosas horizontales, son producto de esta tercera generación.

2.3.3. *Sistemas constructivos industrializados*

El desarrollo histórico indica que el uso de sistemas constructivos industrializados, es cada vez mayor. Algunas de las ventajas que posee la construcción industrializada se enlistan a continuación:

- Mejores técnicas de control de calidad de los materiales, de la resistencia, del tamaño y forma de los elementos, acabados y del proyecto en general ya que los elementos constructivos vienen garantizados de fábrica y no hay que producirlos en sitio.
- Se minimiza el impacto que puede provocar el clima, condiciones particulares de obra y la falta de buena voluntad o pericia de los constructores.
- También permite la disminución del tiempo de ejecución de obra y facilita el proceso de montaje.
- La industrialización permite disminuir el uso de contratistas en la obra, debido a que el producto puede venir más acabado y listo de fábrica.
- También mejorar el control de la obra permitiendo realizar presupuestos más confiables (mejorando la competitividad de la empresa) y programando mejor el tiempo de construcción.

- Los sistemas industrializados son más seguros al disminuir el número de accidentes que se producen en obra.
- Una producción en serie de los sistemas constructivos permite introducir conceptos y técnicas tomadas de la industria de manufactura como la especialización en cada una de las fases del proceso, el mejor uso de herramientas y sustituir el trabajo manual en obra por operaciones mecánicas, mejorar el ambiente de trabajo y obtener resultados óptimos.
- Estos sistemas constructivos permiten trabajar en seco, lo cual quiere decir que se ahorran el engorroso proceso que puede traer actividades como el colado y encofrado del concreto.
- También se reducen los desperdicios.
- Ahorro de tiempo muerto en el proceso constructivo, debido a que los componentes ya vienen listos de fábrica y son auto soportables por lo que su instalación se acelera y simplifica.
- A nivel estructural, es usual que se aproveche mejor las capacidades de los materiales debido a que cada elemento se fabrica según lo que el diseñador estructural requiera, comparado al proceso tradicional, donde el diseñador se debe acoplar a lo que le ofrezca el mercado.
- La cantidad de trabajo en sitio, se disminuye al mínimo y se ejecuta de una manera más limpia y ordenada.

Dadas las ventajas competitivas de utilizar sistemas constructivos industrializados en este trabajo, se apostó a la utilización de dichos sistemas, por ende, la herramienta que se presenta toma muchos conceptos de la construcción industrializada.

Algunos de los factores que han dificultado la incorporación de la construcción industrializada en Latinoamérica son: el alto índice de desempleo que provoca una mano de obra barata, que hace poco atractiva la mecanización y la importante inversión de capital que se requiere. Lo anterior provoca que en ocasiones no sea factible financieramente, la incorporación de sistemas industrializados, pese a las ventajas técnicas que puedan tener.

En la literatura tradicional, se establece que, para que un proceso pueda definirse como industrializado, debe ser producto de la unión de la racionalización con la mecanización y la automatización Mc Donnell (1999). La racionalización se da, cuando se estudia a fondo un sistema

constructivo, con el objetivo de mejorar la productividad y rentabilidad. Por otro lado, la mecanización es el proceso de utilizar máquinas en la industria y automatizar, es cuando se sustituye el factor humano de un proceso.

En la Figura 9 se observa las horas hombre invertidas en construcción de obra en sitio, contra los metros cuadrados de construcción para tres metodologías constructivas: tradicional, racionalizada e industrializada.

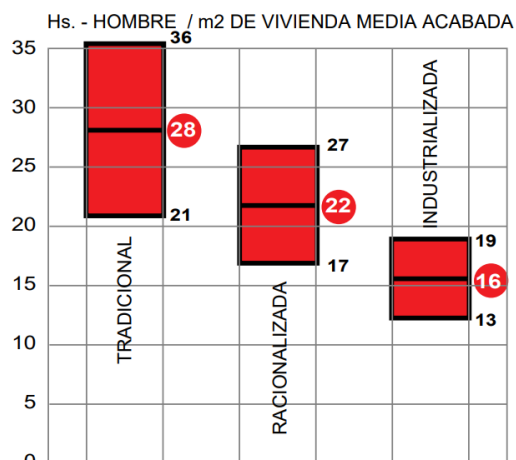


Figura 9. Horas hombre por cada metro cuadrado de construcción de una vivienda social para diferentes sistemas constructivos
Fuente: Mc Donnell, 1999

En la figura anterior, el cuadro en rojo simboliza el rango de valores posibles y la línea negra representa el valor más probable. Como era de esperar, la construcción industrial es la que requiere menor cantidad de horas hombre por metro cuadrado de vivienda construida y el sistema que requiere más es el tradicional (mampostería). A continuación, en la Figura 10, se muestra el total de horas hombre para una vivienda de 70 m² en México construida con distintos sistemas constructivos.

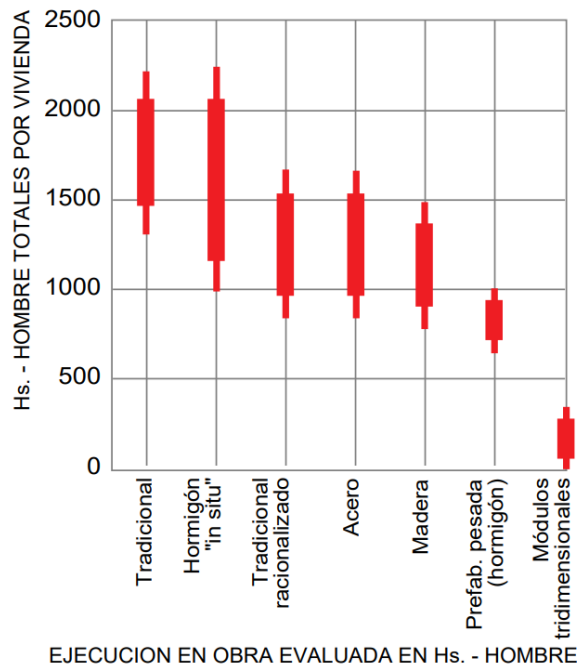


Figura 10. Horas hombre necesarias para construir una vivienda de 70 m² para diferentes sistemas constructivos
Fuente: Mc Donnell, 1999

En la figura anterior, las líneas gruesas del centro representan el 80% de los casos estudiados y las líneas delgadas el 20% de casos extremos.

Cabe aclarar que no siempre la industrialización de la construcción es la mejor solución para la construcción de vivienda social. Cuando un sistema constructivo se lleva a un proceso industrial, entre mayor sea el nivel de tecnificación que se le incorpore a este proceso, el costo unitario de este sistema irá disminuyendo hasta llegar a un mínimo y luego dicho costo aumentará (Monjo, 1986). Lo anterior se debe, a que luego de llegar al mínimo, el costo de industrializar supera el beneficio económico que trae este proceso. En la Figura 11 se observa lo anteriormente explicado.

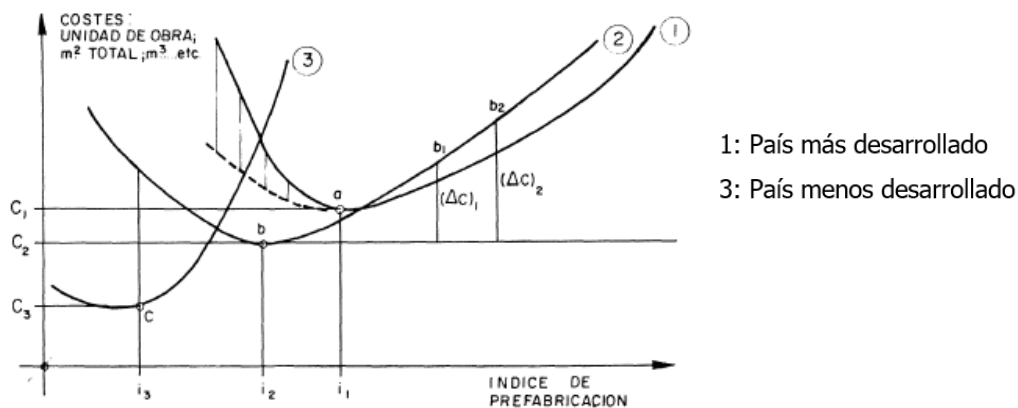


Figura 11. Costo unitario de una vivienda contra el índice de prefabricación del sistema constructivo que se utiliza para diferentes países

Fuente: Monjo, 1986

Las curvas anteriores representan, cada una, diferentes niveles socioeconómicos. La curva 3 representa el país menos desarrollado, mientras que la 1 representa el país con el mayor nivel de desarrollo económico, la curva 2 representa un nivel intermedio entre estos dos. Note que, en el país menos desarrollado, el costo unitario de la vivienda disminuye poco tras industrializar el sistema constructivo y luego del óptimo aumenta a un ritmo elevado, mientras que en el país desarrollado, la industrialización disminuye el costo de la vivienda significativamente, y luego del óptimo aumenta a un ritmo menor que en el país menos desarrollado (Monjo, 1986). Lo anterior se da, porque en los países en vías de desarrollo como Latinoamérica, el costo de la mano de obra es bajo en comparación con los países desarrollados, por lo que en estos últimos es más rentable sustituir la mano de obra por industria.

2.3.4. Clasificación de los sistemas constructivos

Existen muchas maneras distintas de clasificar los sistemas constructivos, a continuación, se exponen las principales.

De acuerdo con el peso de cada sistema constructivo, estos se pueden clasificar en sistema liviano, sistema semipesado y sistema pesado.

- Sistema liviano: sus elementos tienen un peso máximo de 100 Kg (entiéndase elemento como cada uno de los componentes individuales que tiene que manipular un obrero) algunas de sus ventajas son:
 - Más flexibilidad en el diseño del proyecto

- Estos sistemas por lo general poseen una mayor oferta en el mercado por lo que se encuentra más variedad de materiales y tecnologías
- Menor costo en el transporte de los elementos
- Al requerir equipo de menores dimensiones para su izaje, este sistema es más apto para terrenos pequeños o proyectos con construcciones colindantes.
- Las herramientas que por lo general requiere este sistema, son portátiles
- Otra ventaja es trabajar con elementos individuales que son independientes, lo cual permite poder comenzar la obra desde diferentes frentes o poder utilizar diferentes fabricantes para cada elemento.

Por otro lado, las principales desventajas de este sistema constructivo son:

- Al ser los elementos constructivos de menor tamaño se requiere más trabajo en el proceso de diseño, principalmente en sus uniones, anclajes y fijaciones
- Por la misma razón que el punto anterior, en el proceso de montaje/construcción, se requiere más control, coordinación y trabajo.
- Los sistemas semipesados, son los que van de 100 Kg a 500 Kg. Estos combinan características, ventajas y desventajas de los sistemas pesados y livianos
- Los sistemas pesados, son los que poseen componentes con un peso superior a 500 kg y algunas de sus ventajas son:
 - Utilizan materiales más económicos y conocidos
 - Simplifican el diseño estructural
 - Existen menos uniones y además son más simples y tradicionales
 - Estos sistemas requieren menos mantenimiento

Las principales desventajas de los sistemas pesados son

- Mayor rigidez en el diseño arquitectónico de los proyectos
- Mayor inversión inicial, tanto de equipo que se necesita en obra, como para la industria que fabrica los componentes
- Mayor inversión en transporte y montaje
- Mayor peligro de accidentes en el proceso de montaje.

Otra forma de clasificar los sistemas constructivos, es según su estructuración. Existen múltiples formas posibles de estructurar un proyecto, sin embargo, las que más se utilizan y especialmente para sistemas constructivos de vivienda de interés social son:

- Unidireccionales o lineales. También son denominadas estructuras esqueléticas. En estos sistemas las cargas de la estructura las asumen los elementos lineales (vigas, columnas, arriostres...) y el cerramiento se da por medio de forros. Los materiales que normalmente utiliza la estructura es el metal, aluminio o madera, mientras que para el forro se utiliza diversos materiales como plástico, yeso, placas de mortero, placas de acero y madera. En la Figura 12 (derecha) se ilustra este sistema.
- Bidireccionales o planos. También son llamados estructura de paneles, tienen la característica de que no diferencian entre la estructura y el cerramiento, sino que todo es un solo elemento estructural. Existen muchos sistemas constructivos que funcionan de manera bidimensional, como el Panel emparedado tipo Covintec. En la Figura 12 (centro) se ilustra este sistema.
- Tridimensionales o volumétricos. Es el menos común de los tres. Aprovecha diferentes estructuras volumétricas, como el tetraedro o los cubos, para propiciar más estabilidad, usualmente se trata de un solo módulo, que resuelve la estructura de pares, piso y techo a la vez. En la Figura 12 (izquierda) se ilustra este sistema.

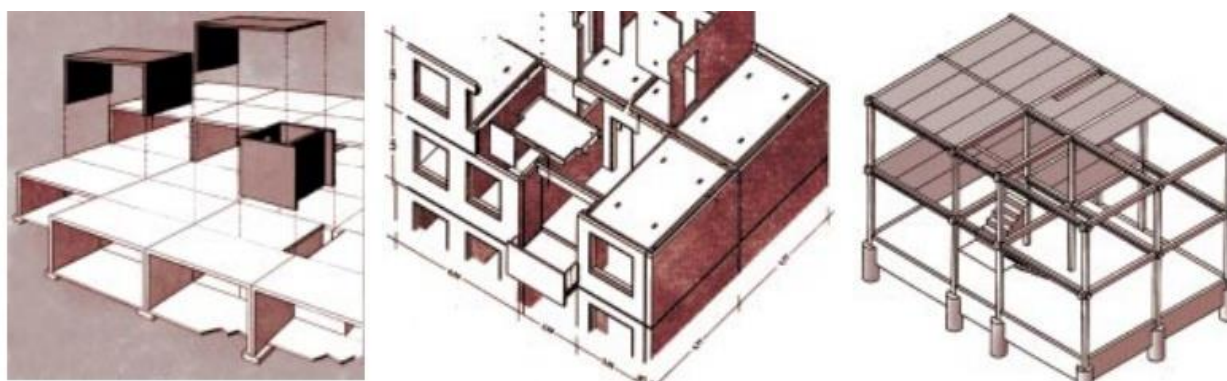


Figura 12. Clasificación de sistemas constructivos según su estructuración
Fuente: Mc Donnell, 1999

Por último, los sistemas constructivos, se pueden clasificar según la flexibilidad que otorga en su diseño, como sistema abierto y sistema cerrado.

- **Sistemas Cerrados.** Los sistemas cerrados, se caracterizan por ser modelos casi terminados de vivienda difíciles de modificar. Estos sistemas se resuelven mayoritariamente en un solo elemento constructivo, además, no permite que sus componentes se cambien por otros. En este caso, no tiene sentido hablar de modulación o coordinación geométrica de diferentes elementos, debido a que el sistema no se relaciona con otros sistemas constructivos.
- **Sistemas abiertos.** En este tipo de sistemas, no se industrializa el proceso constructivo como tal, sino que se industrializan sus componentes y su mayor ventaja, es que los componentes se pueden intercambiar sin importar la fábrica de la que vengan, gracias a que estos son universales. Lo anterior ocurre porque, como ya se mencionó, existe un consenso universal (coordinación) entre todos los agentes que intervienen en el sistema constructivo (cliente, diseñador, constructor).

CAPÍTULO 3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

En este capítulo se presentan distintos sistemas constructivos, utilizados tanto a nivel nacional como en Latinoamérica, además se procedió a seleccionar los sistemas que se utilizan en la herramienta de comparación de sistemas constructivos.

Para identificar los sistemas nacionales, se utilizó el IX Informe de Evaluación de Vivienda del CFIA (2016), dicho informe recopila información estadística sobre características de las viviendas de interés social del país.

Se tomaron en cuenta únicamente sistemas constructivos que han sido utilizados en proyectos de vivienda social y que contaban con la suficiente información técnica, para ser abarcados. También se optó por sistemas que cuenten con respaldo de alguna empresa y que preferiblemente hayan sido desarrollados para vivienda unifamiliar. Por último, cabe aclarar, que al momento de realizar esta investigación, algunos sistemas constructivos poseían mínimas diferencias, dependiendo de la empresa y el lugar donde se trabaje, en este caso, se procuró que los sistemas presentados en esta sección, sean lo más distintos posible (materiales, técnicas constructivas y apariencia), de manera que se tenga un abanico de opciones distintas.

Para cada Sistema incluido en esta sección, se presenta la siguiente información mínima: descripción, nombre o nombres comerciales, empresa o empresas que lo comercializan, ventajas y desventajas, y fotografías del sistema.

3.1. Selección de los sistemas constructivos a nivel nacional

Para analizar los diferentes sistemas constructivos a nivel nacional, se clasifican los mismos de la misma forma en que lo hace el Cap. 17 del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR, 2010). Se procuró escoger un sistema constructivo para cada una de estas categorías, de manera que se tenga representación de todas en la aplicación de la herramienta comparativa de sistemas constructivos.

Sistemas constructivos en mampostería

Estos sistemas se basan en la unión de bloques de mampostería de concreto o arcilla (u otro material) que se refuerzan horizontal y verticalmente con acero y concreto. Este sistema se

puede trabajar con mampostería integral o confinada (incorporando elementos perimetrales al paño de mampostería de concreto).

La mampostería es el sistema constructivo más utilizado en el país, es comercializado por empresas como PC, Pedregal, Bloquera el Progreso, Concrepal, entre otras. La principal ventaja de este sistema, es que es conocido tanto en su construcción como en sus características técnicas. Entre sus principales desventajas, están que el sistema requiere un importante trabajo manual para su ejecución, lo cual aumenta el costo de éste y requiere de personal especializado para su ejecución. En la Figura 13 se muestra dicho sistema.

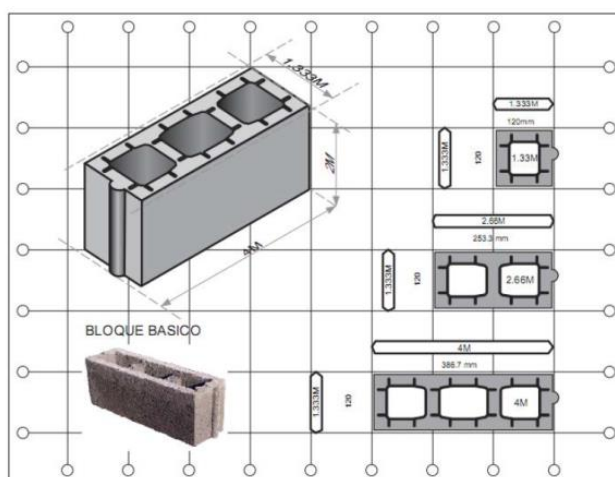


Figura 13. Bloques de concreto tipo integra
Fuente: Productos de Concreto, 2017

Cabe mencionar que a nivel nacional, se comercializan bloques de mampostería de concreto y arcilla de diversos tamaños, por ejemplo, el bloque Integra que actualmente produce la empresa Productos de Concreto (se muestra en la figura anterior) es totalmente modular y posee dimensiones en múltiplos de 120 mm. Otros ejemplos son el Superbloque que es de mayor tamaño (posee seis celdas) y el Teknoblok que también es modular.

Sistemas constructivos tipo emparedado

Los sistemas constructivos tipo emparedado, trabajan análogamente a una viga en "I", donde el núcleo de poliestireno representa el alma y los exteriores representan el ala. El exterior de estos muros, se puede realizar de diferentes materiales, también la unión de los paneles y el

posible refuerzo que estos requieran, se puede resolver de múltiples maneras, a continuación, se presentan las soluciones más comunes.

- Sistema emparedado con núcleo de poliuretano, refuerzo de acero y bordes en concreto (Covintec o similares)

Este sistema consiste, en un núcleo de poliuretano con refuerzo ortogonal o en zigzag de acero incrustado a dicho núcleo y exteriores con malla de acero y mortero. El sistema como tal, tiene la doble función de cerramiento y estructura. Dependiendo de la empresa con la que se trabaja, la unión entre paneles puede ser una unión seca con conectores metálicos o puede darse una unión húmeda con concreto y refuerzo. A nivel nacional, las principales empresas que trabajan con este sistema son Panacor, Covintec y Panelco.

De las principales ventajas de estos sistemas son su ligereza, su resistencia estructural, su adaptación a diferentes diseños arquitectónicos, su facilidad de ensamble y su apariencia sólida. Dentro de las principales desventajas de este sistema, están que es un sistema húmedo, por lo que requiere la fabricación y aplicación de concreto. En la Figura 14 se muestra dicho sistema.

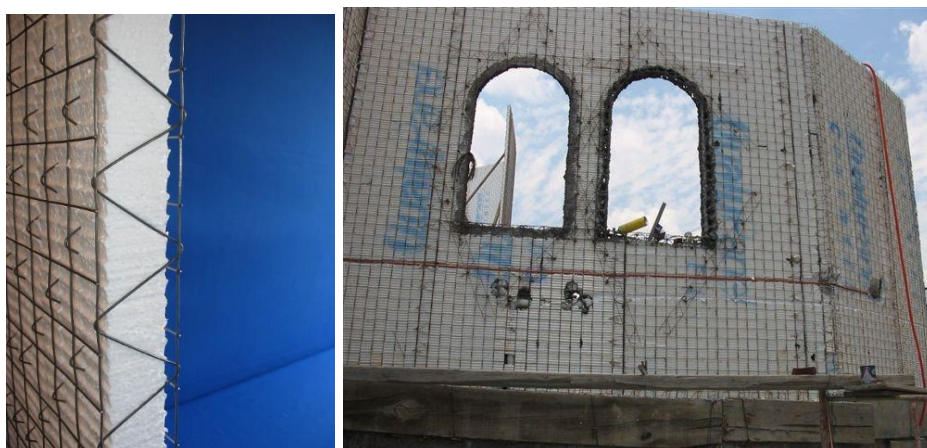


Figura 14. Sistema emparedado tipo Covintec
Fuente: Covintec, (s.f.)

- Sistema emparedado con núcleo de poliuretano y exteriores en diferentes materiales

Este sistema consiste en un núcleo de poliuretano y el borde puede ser de diferentes materiales: acero galvanizado, aluminio, cobre, vinil, cartón fieltro, foil de aluminio, madera o

concreto, dependiendo de la empresa con la que se trabaje. El sistema es autoportante y se fija a una losa de concreto, por medio de un elemento metálico y en su parte superior, se fija a una solera metálica. Cabe destacar que la unión entre los paneles puede ser mediante un elemento metálico o machimbrada. Algunas de las empresas a nivel nacional que trabajan con este sistema son: Panacor y Metecno.

De las principales ventajas de estos sistemas, están su trabajo en seco, su rápida instalación, su alto grado de prefabricación, su modulación y el poco desperdicio de material. En la Figura 15 se muestra dicho sistema.



Figura 15. Sistema emparedado con núcleo de poliuretano y bordes de acero
Fuente: Metecno, 2012

De los sistemas tipo emparedado se decidió analizar el sistema Panelco. Lo anterior por ser el sistema que más información publicada.

Sistemas constructivos de paneles o baldosas, horizontales o verticales de concreto prefabricado

Este sistema se basa en elementos de concreto de bajo espesor, reforzados con malla de acero y producidos industrialmente, los cuales se ensamblan en sitio. La forma de unir los elementos entre sí, suele ser por medio de juntas húmedas, trabamientos mecánicos o conectores metálicos. Una de las mayores ventajas que comparten estos sistemas, es la rapidez de construcción; además es un sistema totalmente modulado, que minimiza los desperdicios y una de las mayores desventajas, es su baja masa térmica.

- Sistema de baldosas horizontales

El sistema consiste en columnas de concreto apoyadas en placas puntuales y también en baldosas de concreto horizontales, que se apoyan una encima de la otra verticalmente y horizontalmente, se apoyan en las columnas de concreto, dichas columnas se amarran entre sí mediante una solera de acero. Este sistema es el más utilizado para vivienda social de bajo costo en el país (Vargas, 2016) y existen muchas empresas a nivel nacional que lo producen como: Productos de Concreto, Imprefa y Prefablock. Algunas de sus ventajas, son el dominio técnico que tienen la mayoría de los trabajadores sobre este sistema y el bajo costo de este. Por otro lado, de las principales desventajas de este sistema, destacan el juicio social que se tiene de este sistema que lo asocia con pobreza. En la Figura 16 se muestra dicho sistema.



Figura 16. Sistema de baldosas horizontales
Fuente: Productos de Concreto (s.f.)

- Sistema de paneles verticales de concretos

Este sistema consiste en paneles verticales con un reducido espesor (del orden de 6cm), los cuales se unen entre sí mediante una junta húmeda (concreto) o mediante conectores metálicos. El sistema puede estar apoyado tanto en un contrapiso de concreto como en una cimentación corrida y requiere una viga metálica en su parte superior. En Costa Rica de las empresas más destacadas que producen este sistema están Zitro y Facoli.

Dentro de las principales ventajas de este sistema están (en el caso del sistema de la empresa Facoli): la facilidad y rapidez en el ensamble de los paneles debido a la unión mecánica que posee. Dentro de las desventajas están ser un sistema más pesado y menos conocido que el de baldosas horizontales. En la Figura 17 se muestra dicho sistema.

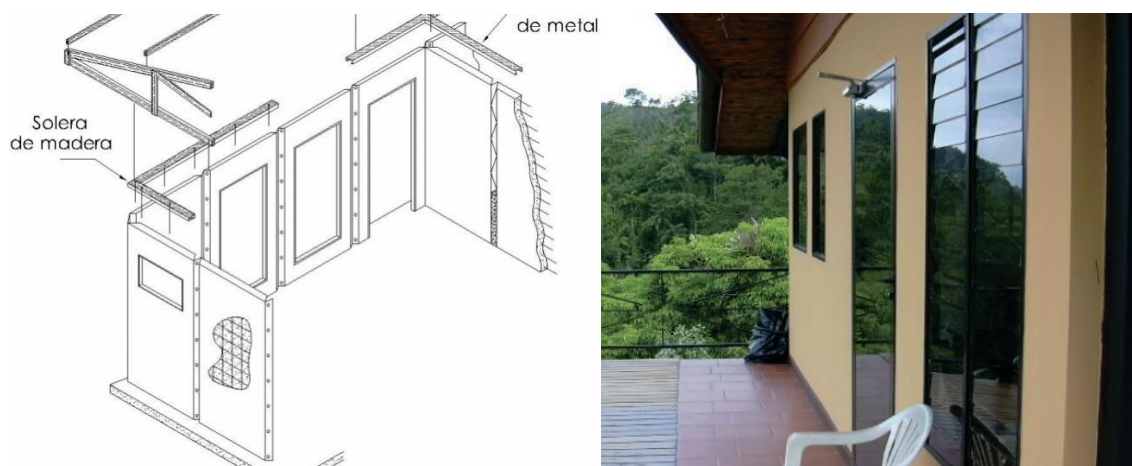


Figura 17. Sistema de baldosas verticales
Fuente: Facoli, (s.f.)

Estudiados los dos sistemas anteriores se toma la decisión de utilizar en la herramienta comparativa el sistema de baldosas horizontales por ser el sistema constructivo de viviendas sociales más utilizado en el país.

Sistema constructivo de paneles de doble forro

Estos sistemas funcionan con una estructura interna de madera o acero, compuesta por columnas, vigas y arriostres, dichos elementos tienen la función de soportar tanto las cargas propias de la pared como de la estructura de techo. Adicional a esta estructura, el sistema posee

un cerramiento a ambos lados, que puede ser en láminas verticales de óxido de magnesio, fibrolit, plystone, gypsum, fibrocemento o paneles de micro-concreto, también se puede trabajar en tablillas que pueden ser hechas con base en madera, plástico y un sin número de materiales que ofrece la industria química. A este sistema constructivo, se le puede incluir en su interior lana mineral o fibra de vidrio, para generar mayor aislación termoacústica, además el forro puede ser de diversos materiales, como paneles de yeso o micro concreto.

- Paneles de doble forro en estructura de acero

Este sistema consiste en una estructura de acero laminado en frío, a la cual se le colocan paños de diversos materiales en su exterior. Entre sus principales ventajas, están su rápido ensamblaje y su ligereza. Por otro lado, entre sus principales desventajas, están el hecho de que en el país no se produce acero por lo que debe de importarse, además el acero es de los materiales de la construcción que más huella de carbono produce (ver Capítulo 5). A nivel nacional, la empresa Bildtek comercializa este sistema. En la Figura 18 se muestra dicho sistema.



Figura 18. Sistema Steel Frame
Fuente: Plataforma Arquitectura (s.f.)

- Paneles de doble forro en estructura de madera

En países desarrollados, este sistema constructivo es el más utilizado para vivienda, llegando a superar el 80% en EE. UU. y el 98% en Finlandia (Howard, 2016), lo anterior dado la industria de plantación de madera que se tiene en estos países. Dentro de las principales ventajas de este sistema, están su baja huella de carbono, su rápida instalación y la posibilidad de trabajar en seco, por otro lado, dentro de las principales desventajas, se encuentra el mantenimiento que debe dársele principalmente contra los insectos, la radiación y la humedad. Cabe resaltar a nivel

nacional, la empresa Habicon que comercializa un sistema basado en una estructura de madera con forros de micro-concreto. En la Figura 19 se muestra dicho sistema.



Figura 19. Sistema Habicón
Fuente: Grupo Habicón, (s.f.)

De los dos sistemas presentados anteriormente se trabaja con un sistema convencional de estructura de madera, como lo indica el Código Sísmico en su Capítulo 17.

3.2. Selección de sistemas constructivos a nivel latinoamericano

En esta sección se enlistan los sistemas constructivos latinoamericanos investigados. Para cada sistema se muestra información básica y en caso de que el mismo fuera escogido para aplicarle la herramienta comparativa (Capítulo 5) se especifica las razones. Cabe aclarar, que los aspectos que se tomaron en cuenta para decidir si al sistema se le aplicaba la herramienta comparativa están: el nivel de innovación, la disponibilidad de información técnica y el éxito que ha tenido el sistema en vivienda social. También se procuró que los sistemas mostrados, fueran distintos para así evaluar más diversidad de sistemas. A continuación, se enlistan los sistemas investigados.

Sistemas de constructivos a base de plástico

Estos sistemas se basan ya sea en plástico nuevo creado por la industria química o plástico reciclado.

- Sistema Bloqueplas

Este es un sistema innovador creado primeramente en Colombia y que ha tomado auge en la última década. El sistema consiste en bloques de plástico sólidos, que son unidos entre sí mediante una trabazón mecánica, con dichos bloques se forma un paño que se confina mediante vigas y columnas, también realizadas a base de plástico. Cabe aclarar que dichas vigas y columnas, se unen también mediante conectores metálicos. En Costa Rica es comercializado por la empresa EKOJUNTO. En la Figura 20 se muestra una imagen del sistema.



Figura 20. Sistema Bloqueplas
Fuente: Ecoplasso, (s.f.)

Los bloques de plástico que se utilizan en este sistema, se pueden fabricar a partir de desechos de bolsas de aperitivos, empaques de golosinas y cajas de refresco, también se utilizan desechos electrónicos y el caucho de las llantas de vehículos.

En Costa Rica se han realizado proyectos puntuales con este sistema, pero no a nivel industrial, puesto que en el país el sistema se encuentra en estudios técnicos;; no obstante, en otros países como Colombia, existen diferentes empresas que trabajan con este sistema, como Conceptos Plásticos y Casa de Plástico.

Razones por las cuales se escogió el sistema: El sistema se escogió por lo innovador. Además, el mismo posee ventajas constructivas, como su rapidez de ensamblaje, su trabajo en seco, su bajo costo, su ligereza, modulación, su bajo peso y la facilidad constructiva, también existe un impacto ambiental positivo al ambiente al reutilizar el plástico que se desecha.

- Sistema EasyBrick

El sistema EasyBrick es un sistema de origen argentino, que se basa en bloques de mampostería huecos fabricados con plástico reciclado. Este sistema trabaja de manera similar a los bloques de mampostería de concreto, ya que requiere que algunas celdas (según diseño estructural) tengan concreto y refuerzo, con la diferencia de que los bloques se unen entre sí, mediante una trabazón mecánica y que requiere perfiles metálicos en la parte superior e inferior del paño de mampostería. El sistema también posee una alternativa constructiva en seco, mediante perfiles metálicos verticales que se introducen dentro de la mampostería de plástico (Magnone, 2018). En la Figura 21 se ilustra el sistema.



Figura 21. Sistema EasyBrick
Fuente: Magnone, 2018

Algunas de las principales ventajas de este sistema son: lo innovador, liviano y ecológico que es, además, el sistema se trabaja en seco. Cabe mencionar que la empresa que fabrica este sistema lleva el mismo nombre (EasyBrick).

- Sistema ByFusion

El sistema ByFusion consiste en bloques de plástico, que a diferencia de los sistemas anteriores, es fabricado con el proceso de "reseteo termal" el cual consiste en calentar elementos de plástico sin llegar al punto de fundición, sin embargo, sí se llega a un punto en que los diferentes elementos en plástico se unen (Carbello, 2017).

El proceso constructivo consiste en bloques de plástico que poseen una trabazón mecánica, que permite apilarlos uno encima de otro, adentro de cada bloque se coloca una varilla que evita el vuelco del muro, por último, tanto en la parte superior como en ambas paredes del muro, se coloca una malla de acero y mortero. En la Figura 22 se muestra dicho sistema.

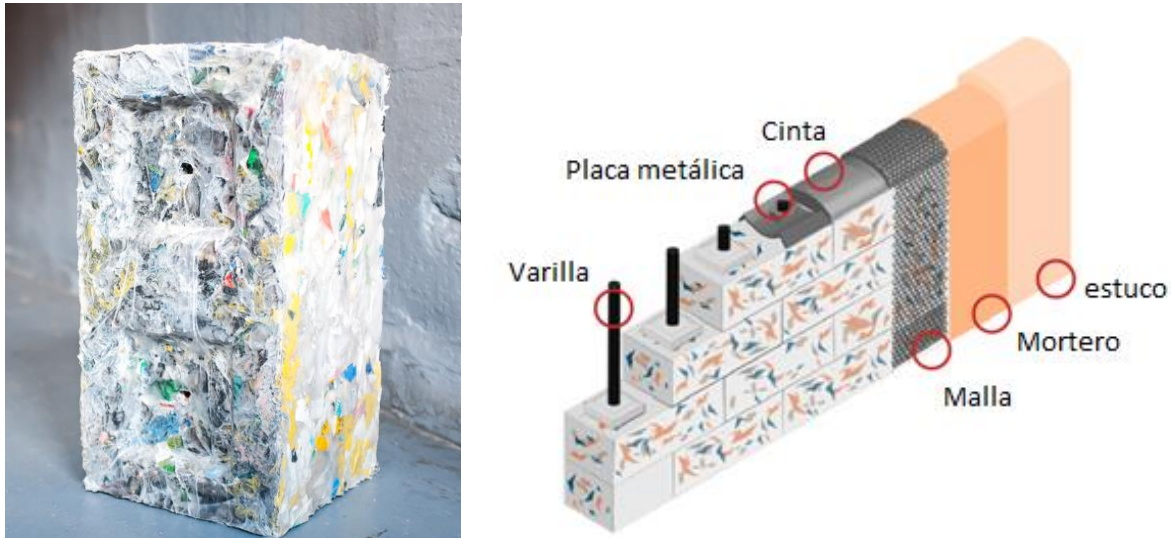


Figura 22. Sistema ByFusion

Fuente: Carbello, 2017; Traducido por el autor

La única empresa que trabaja con este sistema, lleva el mismo nombre (ByFusion). Algunas de las desventajas de este sistema, es que el mismo no posee mucha información técnica ni pruebas de laboratorio que respalden sus propiedades ingenieriles.

- Sistema Royal Building System (RBS)

Este sistema consiste en diferentes elementos constructivos como vigas, columnas y paños de plástico que se unen entre si, mediante un sistema machimbrada, estos elementos funcionan como cerramiento y formaleta a la vez para posteriormente verter concreto. El exterior de este sistema tiene acabado final por lo que no necesita revestimiento. Una característica importante de este sistema, es que alternativamente se puede trabajar con piezas de acero en lugar de concreto. Una de las empresas que comercializa este sistema en Latinoamérica es Azembla. En la Figura 23 se muestra dicho sistema.

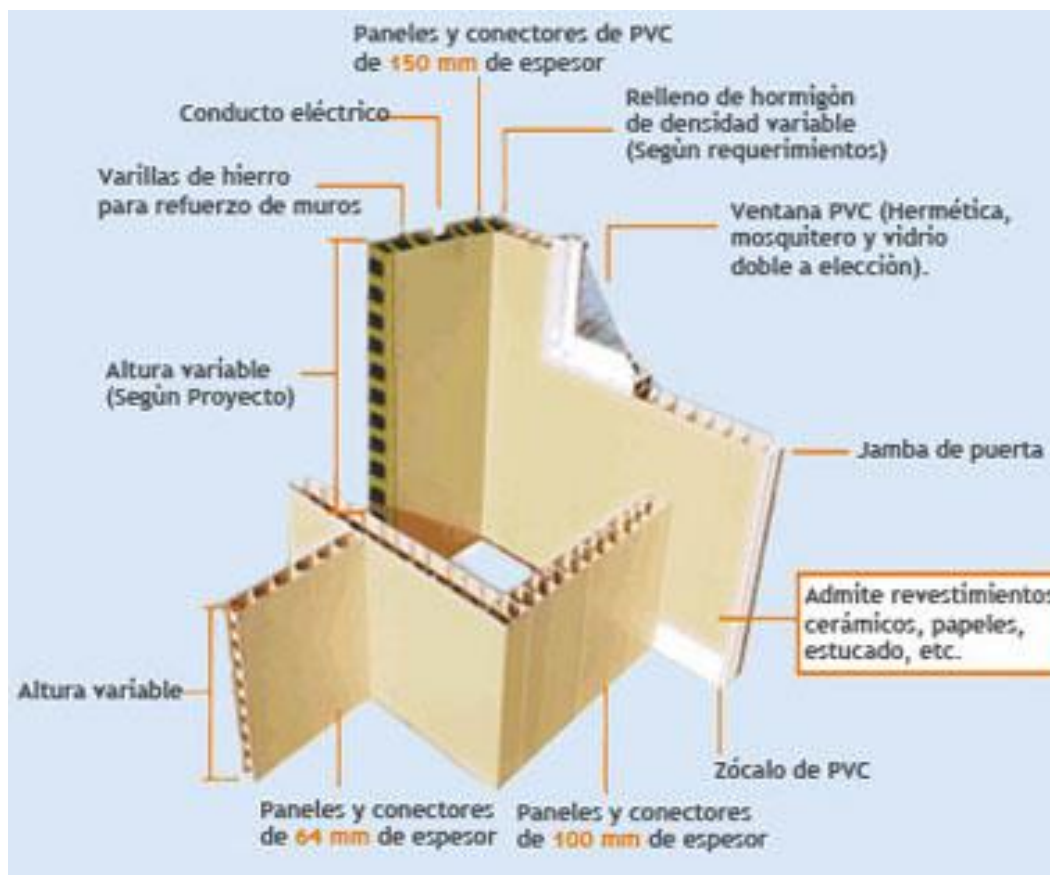


Figura 23. Sistema Royal Building System
Fuente: Azembla, 2012

Razones por las cuales se escogió el sistema: El sistema RBS se escogió por ser innovador, por poseer suficiente información técnica para abordarlo en la herramienta comparativa y por sus ventajas constructivas como su facilidad de instalación.

- Sistema constructivo Woodpecker

Woodpecker es una empresa que nació como un emprendimiento social de la Universidad de los Andes de Colombia. Los elementos están fabricados con madera sintética (Wood Plastic Composite), la cual se fabrica con fibras vegetales de café y polímeros plásticos que se obtienen de molienda de tuberías de PVC recicladas. Mediante un proceso de extrusión (caliente) en moldes se forman los distintos bloques. Cabe destacar que dichos elementos funcionan como cerramiento, requiriendo vigas y columnas de acero para complementar el sistema. En la Figura 24 se muestra dicho sistema (Pfenniger, 2014).



Figura 24. Sistema Woodpecker
Fuente: Pfenniger, (2014)

Algunas de las ventajas del sistema, es que ya tiene un acabado final, además se puede trabajar en limpio, también el sistema tiene un peso reducido (por lo que es fácil de manipular), es sencillo de ensamblar y es amigable con el medio ambiente, ya que se fabrica con materiales reciclados.

Sistemas constructivos a base de madera

Como se mencionó anteriormente, la madera es el material de construcción más utilizado en los países desarrollados y por esta razón es el sistema donde se encontró más innovación en sistemas constructivos. A continuación, los más relevantes.

- Sistema Steko o Brikawo

Este sistema desarrollado por las empresas Steko o Brikawood consiste en bloques de madera que se unen entre sí únicamente mediante trabamiento mecánico logrando que el paño de bloques sea auto soportable. Cada cierta distancia (según diseño estructural) se colocan elementos de madera de forma vertical en toda la altura del muro que da trabamiento mecánico a los mampuestos y funcionan como estructura para soportar las cargas del techo (Franco, 2018). En la Figura 25 se muestra el sistema en cuestión.

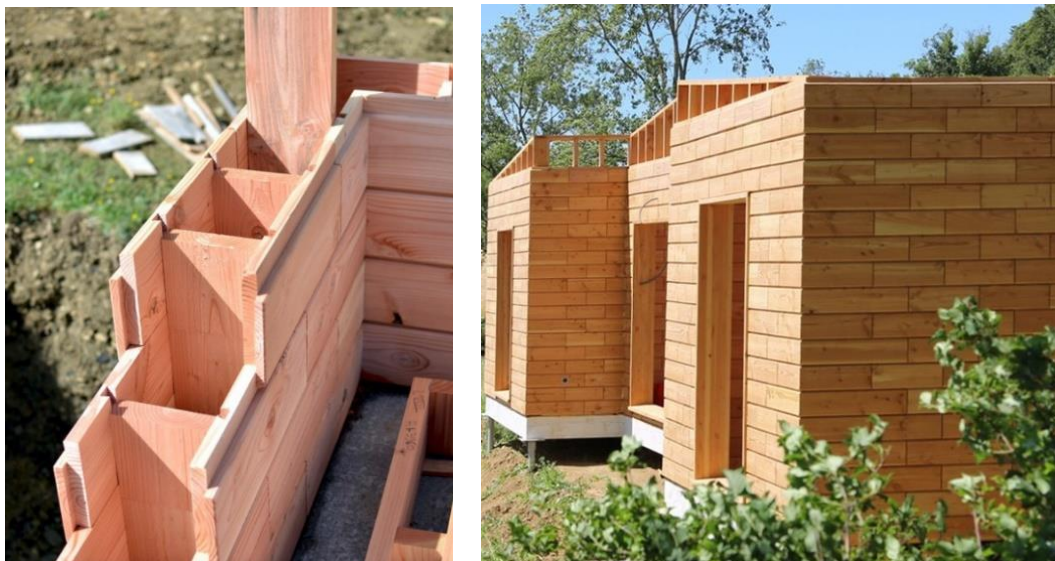


Figura 25. Sistema Steko o Brikawood
Fuente: Franco, (2018)

Este sistema pese a las ventajas constructivas que posee y lo innovador que puede ser, no se seleccionó porque pese a tener más de 10 años en el mercado, no se encontró indicios de que sea ampliamente utilizado en la vivienda social.

- Sistema constructivo Panel SIP

El sistema constructivo Panel SIP (Structural Insulated Panel) es un panel estructural tipo emparedado, que posee núcleo de poliuretano y exterior de madera conglomerada, actuando ambos materiales en conjunto, en analogía con una viga en "I", donde el poliuretano actúa de alma y la madera conglomerada de ala. Normalmente las piezas de este sistema, ya vienen cortadas de fábrica, por lo que en sitio únicamente se requiere unirlos con pegamento. En la figura a continuación se muestran fotografías del sistema.

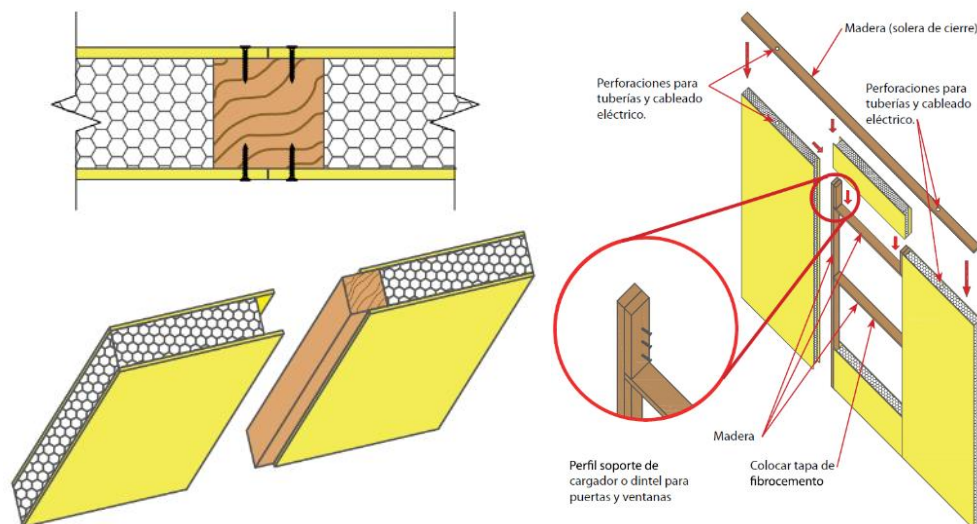


Figura 26. Sistema Constructivo SIP
Fuente: Playcem, (s.f.)

El sistema SIP se escogió por la facilidad en su ejecución, por los impactos ambientales positivos relacionados con el uso y reciclaje de la madera, por su uso comprobado en vivienda social y en zonas sísmicas y por ser un sistema constructivo diferente a los otros seleccionados.

Otros materiales

A continuación, se presentan sistemas constructivos que son de interés para esta investigación en materiales distintos a la madera o el plástico.

- Sistema constructivo con Bloques o paneles de poliestireno expandido

El sistema consiste en bloques huecos o paneles con incrustaciones cilíndricas de Poliestireno Expandido (EPS) auto extingüibles de alta densidad, que se unen entre sí mediante una unión machimbrada. Los bloques funcionan como formaleta perdida, para que en su interior se les coloque concreto y acero según el diseño estructural. Cabe resaltar que una vez que el concreto fragüe, se tiene como resultado una retícula de elementos cilíndricos de concreto (nervios), a diferencia de otros sistemas, donde se obtiene un paño de concreto (ver Figura 29).

Existen diferentes empresas que trabajan con este sistema como: Fanosa (mexicana) y Syntheon (chilena), dependiendo de la empresa con la que se trabaje así será la geometría del bloque que se utilice. En la Figura 27 se muestra el sistema en cuestión.



Figura 27. Sistema de bloques de poliuretano
Fuente: Fanosa, (s.f.)

- Concreto Celular Autoclaveado

El Concreto Celular Autoclaveado, es una técnica de producción de elementos de concreto a nivel industrial, que se inventó a inicios del siglo XX. Este sistema combina industrialmente cemento, cal, yeso, arena finamente molida y polvo de aluminio, dicha mezcla produce una masa espumosa que puede ser curada con vapor a presión. Los elementos de concreto celular, pueden ser reforzados o no, dependiendo de su uso y al igual que en la industrial del concreto existen un sinnúmero de soluciones y elementos constructivos realizados con este sistema (Jiménez, 2014).

Una de las mayores ventajas de este sistema, con respecto al concreto, es ser más ligero, llegando a tener densidades de hasta 500kg/m^3 (Jiménez, 2014). Otra ventaja importante es su acabado final que es completamente liso.

A nivel de este trabajo, es de relevancia dos aplicaciones particulares del Concreto Celular Autoclaveado; primero los paneles reforzados que funcionan como cerramiento y estructura para realizar viviendas prefabricadas y segundo los paneles delgados sin refuerzo que funcionan como forro. En la Figura 28 se muestra el sistema en cuestión.



Figura 28. Sistema de Concreto Celular Autoclaveado
Fuente: Jimenez, 2014

- Sistema de mampostería Armados Omega

Este sistema constructivo consiste en bloques de mampostería hueca de concreto con la diferencia con respecto a la mampostería convencional, de que no requiere mortero para unir los mampuestos, ya que la unión de estos se realiza con un trabamamiento mecánico, lo cual facilita la construcción. Cabe destacar que este sistema es modular y la empresa que lo comercializa posee diversos tipos de bloque para mayor facilidad en la obra (Valencia, 2015).

Este sistema constructivo ha sido ampliamente utilizado en México, país donde se tienen pruebas de laboratorio que respaldan su uso ingenieril. El sistema es comercializado por la empresa Armados Omega, que al momento de realizar este proyecto de graduación, no posee representación en Costa Rica. En la Figura 29 se muestra el sistema en cuestión.



Figura 29. Sistema Armados Omega
Fuente: Valencia, 2015

- Sistema constructivo en bambú

Los sistemas constructivos que se realizan a partir del bambú, son comunes en países vecinos como Nicaragua y Colombia. Existen diferentes maneras de estructurar el bambú para utilizarlo en vivienda, según la investigación realizada, la configuración más común, es utilizar las piezas enteras de bambú, utilizando "uniones de pescado", mientras que los forros utilizados fueron variables. El bambú posee la ventaja de crecer en países tropicales como Costa Rica, además de tener un costo menor que la madera. En la Figura 30 se muestra el sistema en cuestión.



Figura 30. Sistema constructivo en bambú
Fuente: Gonzales, 2018

Al igual que la madera, para trabajar con bambú, se requiere que el mismo se someta a un proceso ingenieril de cultivo, selección, clasificación y caracterización de sus propiedades técnicas.

- Sistema constructivo Uno

El sistema constructivo Uno de la empresa Peri que es comercializado en Costa Rica por SPC consiste en una serie de encofrados de aluminio que se diseñan especialmente para cada proyecto, permitiendo una gran flexibilidad en el diseño arquitectónico. Este sistema posee su mayor innovación en el mecanismo de sujeción de los paneles el cual permite unirlos y desmontarlos rápido y fácil. Cabe resaltar que este sistema se trabaja de forma monolítica, colando todo el concreto a la vez proveyendo importantes ventajas estructurales. En la Figura 31 se muestra el sistema en cuestión.



Figura 31. Sistema constructivo Peri-UNO
Fuente: Manual Técnico Peri-UNO, 2015

Razones por las cuales se escogió el sistema: El sistema Peri-UNO se escogió, porque se ha utilizado con éxito en la vivienda social en México y porque los materiales que requiere (concreto y acero de refuerzo) son altamente conocidos en el país, además es una alternativa de sistema constructivo totalmente diferente a los otros sistemas escogidos.

- Sistema constructivo Moladi

El sistema constructivo Moladi es un sistema especialmente diseñado para vivienda social por la empresa del mismo nombre, este se basa en el uso de concreto monolítico y la innovación de este sistema radica en la formaleta que utiliza. Dicha formaleta consiste en un sistema modular de elementos cuadrados de plástico con dimensiones de 30 cm x 30 cm que pueden ser reutilizados hasta 50 veces según esta empresa (Valencia, 2015). En la Figura 32 se muestra el sistema en cuestión.



Figura 32. Sistema constructivo Moladi
Fuente: Valencia, 2015

Pese a las amplias ventajas constructivas de este sistema, se prefirió trabajar con el sistema de encofrados Peri Uno en la herramienta comparativa, debido a que este es más robusto (sus paneles están hechos de aluminio) y además el sistema Peri está probado en países sísmicos.

- Sistema constructivo Hidraform

El sistema constructivo Hidraform funciona similar a la mampostería de ladrillo de arcilla cocida, con la excepción de que los mampuestos se fabrican a partir de tierra y cemento en un proceso de prensado.

Este sistema ha sido ampliamente utilizado en países africanos como Zimbabue, Sudáfrica y Ghana. En Latinoamérica ha sido utilizado en Argentina de forma experimental y en Costa Rica no se encontró registros de su uso. En la Figura 33 se observa el sistema en cuestión.



Figura 33. Sistema constructivo Hidraform
Fuente: Hidraform, (s.f.)

Una de las mayores desventajas de este sistema, es que no existe una gama importante de literatura de donde se obtengan sus propiedades técnicas y características constructivas.

- Sistema constructivo Muracciole

El sistema Muracciole, consiste en paneles verticales de concreto que forman muros con la particularidad de que estos muros son agujerados, aumentando su inercia estructural y también su aislación acústica y térmica. En la Figura 34 se muestra el sistema en cuestión.

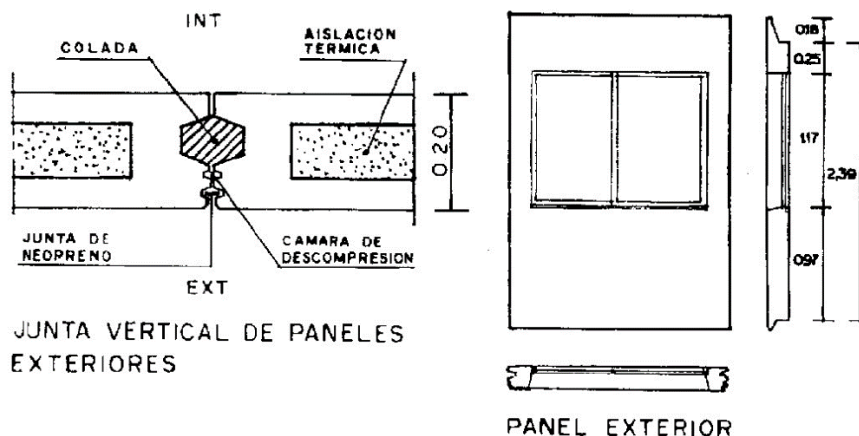


Figura 34. Sistema constructivo Muracciole
Fuente: Castañeda, 2005

Según Castañeda (2005), este sistema es de origen yugoslavo y se ha utilizado en Uruguay ampliamente. Posee la desventaja con respecto a sistemas utilizados en Costa Rica como el Prefa de PC y el Zitro, que requiere de uniones húmedas y que los paneles son más pesados (y costosos) puesto que poseen mayor área transversal de concreto.

- Sistema constructivo Blocon

El sistema constructivo Blocon es de origen guatemalteco y es una combinación entre el sistema de baldosas horizontales y el sistema de mampostería de concreto. Consiste en bloques de mampostería más largos que los comúnmente utilizados en el país y que están apoyados sobre columnas de concreto, como se muestra en la Figura 35, a continuación.



Figura 35. Sistema constructivo Blocon
Fuente: Castañeda, 2005

Este sistema posee ventajas del sistema de mampostería y baldosas horizontales juntos como la facilidad constructiva y la posibilidad de hacer refuerzo estructural interno dependiendo de las condiciones del proyecto.

Próxima tecnología: Impresión 3D

La impresión 3D de concreto para la fabricación de edificaciones promete ser una de las revoluciones más grandes en la historia de la construcción. Esta tecnología sí existe actualmente, incluso ya se han fabricado viviendas y se ha utilizado en países en vías de desarrollo como El Salvador (Cubillo, 2018).

Algunas de las mayores ventajas de este material son el ahorro en material que se puede dar, su automatización (que permite un mejor control de calidad, más rapidez y menos cantidad de operarios) y además la libertad en el diseño arquitectónico y eficiencia en el diseño estructural, ya que se dispone de material justo donde se necesita (Cubillo, 2018). A continuación, en la Figura 36, se presentan fotografías de este sistema.



Figura 36. Construcción 3D
Fuente: Contreras, 2016

Pese a lo prometedor de esta tecnología, no se tiene la suficiente información para incluirla dentro de los sistemas constructivos que se analizaron con la herramienta desarrollada.

CAPÍTULO 4. HERRAMIENTA PARA LA COMPARACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Para elaborar la herramienta comparativa de sistemas constructivos de vivienda social, se utilizó como fuentes bibliográficas las tesis de Favela (2004), Mora (2017) y el trabajo de Monjo (1986). De estos trabajos se tomaron los conceptos utilizados en este proyecto de graduación, para la comparación de sistemas constructivos. También, para el desarrollo de la herramienta comparativa, se tomó como base la metodología QFD utilizada principalmente en la gestión de proyectos para el control de calidad.

Este capítulo se divide en tres partes: en la primera parte se exponen los conceptos que esclarecen y dan sustento teórico a la herramienta desarrollada, en la segunda se muestra la importancia de cada variable que utiliza la herramienta comparativa y, por último, en la tercera parte se describe la herramienta.

4.1. Fundamento teórico de la herramienta QFD (Quality Function Deployment) utilizada en la comparación de sistemas constructivos

La herramienta de función de calidad (QFD) fue desarrollada para la gestión de proyectos, con el objetivo de tomar en cuenta las necesidades, demandas y expectativas del cliente en el proceso de diseño y comparación de productos. Dado que esta herramienta es matricial y cuantitativa, es idónea para realizar análisis y también para identificar debilidades y fortalezas que posea un producto permitiendo la mejora de este.

Esta herramienta se basa en la definición de dos componentes básicos los *que's* y los *como's*. Los *que's* los define el cliente y están basados en las necesidades que esta demanda y espera del producto. Los *como's* los define la industria y representan los aspectos que se deben tomar en cuenta para garantizar satisfacer las necesidades del cliente.

Los principales beneficios de la metodología QFD son: asegura la satisfacción del cliente y establece una fuente de información (base de datos) para futuros diseños, servicios y mejoras del proceso (Ruiz, 2011). Algunas de las preguntas que pretende responder la herramienta QFD son:

- ¿Cuál es la calidad que el cliente necesita? Entendiendo calidad como los aspectos mínimos que se espera que cumpla un sistema constructivo.
- ¿Qué funciones son prioritarias en el producto para lograr la calidad que el cliente requiere?
- ¿Con los aspectos tomados en cuenta, cuáles son los productos competitivamente mejores?

Dependiendo las necesidades de cada proyecto, existen diferentes formas de abordar la matriz de interrelación QFD. A continuación, se explica la forma que se utilizó en el proyecto. La estructura que se siguió está diagramada en la Figura 37, a continuación.

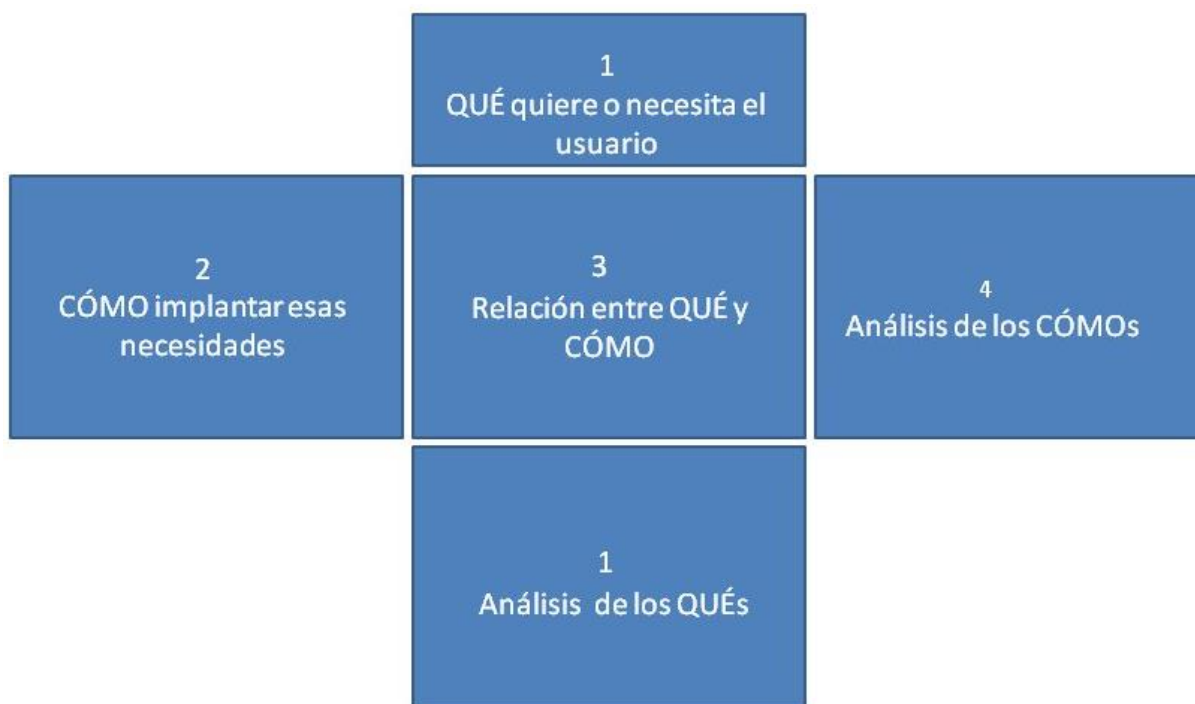


Figura 37. Matriz de correlación QFD
Fuente: Bernal, 2012. modificada por Garita, 2018

Pasos que sigue la herramienta QFD

1. Se enlistan los requerimientos de calidad en términos del cliente (*que's*).

Aquí se reúnen todos los aspectos que el cliente espera y demanda del producto (*que's*). Como no todos los *que's* tienen la misma importancia se debe asignarle un peso de importancia

a cada uno. La técnica más utilizada es realizarle una encuesta al cliente y que este clasifiquen del 1 (no importante) al 5 (muy importante) la importancia de cada *qué's*.

2. Se enlistan los requerimientos de calidad en términos de la industria (*como's*).

En este apartado se definen todos los aspectos que la industria considera relevante para lograr cumplir las necesidades que el cliente demanda. Para lograr que los *como's* abarquen la mayor cantidad de aspectos posibles, se recomienda tomar en cuenta las siguientes categorías: político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal. A diferencia de los *qué's*, todos los *como's* deben tener una manera de ser evaluados para así poder comparar los diferentes productos. Los *como's* pueden estar agrupados en categorías y a cada categoría también se le puede asignar un peso de importancia.

3. Relación entre los *qué's* y los *como's*

La relación entre los *qué's* y los *como's* se hace mediante una matriz, donde se evalúa con tres valores posibles: 10, para cuando la relación es muy fuerte, 5, para una relación leve y 0, cuando no existe relación o es muy débil.

Sí se puede presentar el caso de que existan *qué's* iguales, o conceptualmente similares, a algunos *como's*, lo cual no es incorrecto, debido a que algún aspecto considerado importante a evaluar por la industria también puede ser importante para el cliente, de hecho, en este caso, la relación es muy fuerte y se califica en la matriz como 10.

4. Cálculos por realizar

Luego de obtener (mediante encuestas) el peso de importancia de los diferentes *qué's* y de las categorías de *como's*, además de cuantificar la relación entre los *qué's* y *como's*, se procede a obtener el peso de importancia de los diferentes *como's*. Para esto primero se multiplica la calificación de cada par *qué-como* en la matriz por el peso de su respectivo *qué's*, y el peso de su categoría de *como's*, seguidamente, se suman todos los cálculos anteriores para cada fila obteniendo el *Total* de cada *como's*, con estos resultados se procede a calcular el % de importancia de cada *como's*. En el Cuadro 2 se muestra una representación esquemática de la matriz QFD, seguidamente se presentan los cálculos realizados.

Cuadro 2. Matriz de correlación

		Que's				
		Peso 1	...	Peso n		
Como's	Peso 1	X ₁₁	...	X _{1,n}	Total fila 1	% imp 1
	
	Peso m	X _{m,1}	...	X _{m,n}	Total fila m	% imp m
					Total general	100%

Sea: $X_{i,j}$ = Valor que cuantifica cada relación que-como

Sea: Peso i = Valor (en porcentaje) que se obtiene de encuestas y cuantifica la importancia de cada *que's* según el cliente.

Sea: Peso j = Valor (en porcentaje) que se obtiene de encuestas y cuantifica la importancia de cada grupo de *como's*.

$$Total\ fila\ 1 = \sum_{j=1}^{j=n} X_{1,j} * peso_i * peso_j * precisión_j \quad (1)$$

$$Total\ general = \sum_{i=1}^{i=m} Total\ fila_m \quad (2)$$

$$\% \text{ importancia de los como's}_j = \frac{Total\ fila\ j}{Total\ general} * 100 \quad (3)$$

Terminado lo anterior, se tendrá construida la matriz QFD. Ahora, si se quiere aplicar la matriz a un producto para analizarlo o a varios productos para compararlos, se debe evaluar cada uno de los *como's* para el producto en cuestión. Luego de realizar dicha evaluación, este valor se multiplica por su % de importancia (Ecuación 4), de esta forma se tendrá la calificación (para el producto que se está analizando) de cada uno de los *como's*, en la siguiente ecuación se sintetiza lo anterior.

$$Calificación\ del\ como_j = \% \text{ importancia de los como's}_j * evaluación\ de\ cada\ como's_j. \quad (4)$$

Finalmente, para obtener la calificación total de un producto y poder compararlo con otro, se procede a sumar las calificaciones que se obtenga para cada uno de los *como* 's, en la siguiente ecuación se sintetiza lo anterior.

$$\text{Calificación total del producto}_{\text{cliente A}} = \sum_{i=1}^{i=m} \text{Calificación del como}_i \quad (5)$$

A continuación, se presentan los análisis que se pueden realizar una vez terminado lo anterior.

- Los aspectos (*como* 's) que obtengan mayor % de importancia serán los aspectos más importantes del producto y por lo tanto deben trabajarse con mayor cuidado.
- La idoneidad de un sistema constructivo, se determina comparando sus calificaciones finales (Calificación total del producto), para cada uno de los productos

Por último, si se trabaja en una industria donde se tiene catalogado diferentes tipos de clientes (por ejemplo, de diferentes nacionalidades, edades, profesiones o grupos sociales) se puede realizar y evaluar un QFD para cada uno de los tipos de clientes, de manera que se evalúa la conveniencia, ventajas y desventajas de cada producto para cada cliente.

4.2. Aspectos por evaluar en la herramienta comparativa de sistemas constructivos

Como se mencionó anteriormente, los aspectos o variables se refiere a los *como* 's que va a evaluar la herramienta comparativa. A continuación, se enlistan y explica la importancia de cada uno en este trabajo.

- **Costo del sistema:** El costo del sistema es un indicador directo de eficiencia. Además, como se verá en la sección 3.3, el costo es el elemento que posee más peso de importancia en la herramienta comparativa.
- **Riesgo de inversión:** El riesgo se relaciona con la empresa o desarrollador que construye el proyecto, representa la probabilidad de que ejecutar una construcción de vivienda social con el sistema en cuestión sea un fracaso, en el sentido que le deje pérdidas a la empresa o ponga en peligro su flujo de caja. Se evalúan aspectos como el hecho de que el sistema haya sido utilizado en otras latitudes y el éxito que el mismo

tuvo. Se analiza el respaldo técnico que tenga el sistema y la posibilidad de realizar una presupuestación y programación de obra precisa.

- **Normativa y política nacional:** Estudiando la normativa y política que existe en el país en materia edilicia, se puede determinar si algún sistema constructivo está en ventaja o desventaja, es por esta razón que se estudian normas técnicas y políticas institucionales en materia de vivienda social en el Marco Teórico (Capítulo 2). En esta misma sección, se analiza si el sistema constructivo posee derechos de autor, lo cual lo pondrían en desventaja con respecto a otros sistemas.
- **Facilidades en el diseño estructural:** El sistema tiene que darle seguridad al diseñador de la vivienda de que se está siguiendo un método ingenieril y confiable, para asegurar que la vivienda no sufrirá problemas estructurales durante su vida útil. En este apartado, se evalúa el conocimiento que se tiene de las propiedades mecánicas de los materiales estructurales que posee el sistema.
- **Posibilidades en el diseño arquitectónico:** En este aspecto, se estudia la libertad que provee el sistema constructivo para proponer diferentes distribuciones espaciales, diferentes geometrías y propuestas volumétricas, además de la libertad para solucionar problemas como topografías complicadas y posibilidad de inundación.
- **Industrialización:** Como se discutió en el Capítulo 2, en este trabajo se apuesta a la industrialización, puesto que la misma posee múltiples ventajas con respecto al proceso de construcción artesanal. En este apartado, se analizan variables como la compatibilidad que posee el sistema con otros sistemas, subsistemas y materiales; la cantidad de obra industrializada; la existencia de control de calidad y normativas que regulen el proceso de producción de los componentes y por último, es importante considerar el nivel tecnológico que requiere fabricar el sistema, puesto que de ser accesible se facilita que exista un mercado que oferte los mismos.
- **Acceso al sistema e Importación:** Esta variable es importante tomarla en cuenta debido a que de no existir una importación o acceso constante del sistema en el mercado o no existir un representante que, de acompañamiento técnico, la implementación puede volverse un proceso arduo, principalmente para constructores o desarrolladores que no han trabajado con el sistema antes.
- **Transporte e izaje de los diferentes elementos constructivos:** El transporte e izaje de los elementos constructivos es importante de analizar, porque indica el equipo que se

requiere y el cuidado que hay que tener lo cual repercute directamente en el costo, planificación, diseño y construcción. Además, cabe recordar que las viviendas de interés social en Costa Rica, por la condición económica de sus habitantes, suelen estar ubicadas en propiedades alejadas de centros urbanos y de difícil acceso, por lo que este aspecto puede ser incluso condicionante en el proyecto.

- **Proceso constructivo y de montaje del sistema:** Dada la naturaleza de este proyecto de graduación, se le asigna especial importancia a la facilidad de construcción que auspicie el sistema en la Matriz QFD. Como ya se mencionó, se apuesta a la máxima industrialización posible, donde la construcción se reduzca a un proceso de montaje, minimizando así los costos, accidentes laborales, errores constructivos y desperdicios. Entre los aspectos que se toman en cuenta están: facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos; la posibilidad de realizar control de calidad al sistema durante la construcción; la modulación que sigue el sistema; la especialización que requieren los obreros; la posibilidad que brinda el sistema de que se de autoconstrucción y por último la facilidad de incorporar diferentes elementos al sistema como: acabados, ventanería, puertas y obra electromecánica.
- **Tiempo de ejecución:** El tiempo que se emplea en construir una vivienda condiciona otras variables como el impacto ambiental, el costo de la obra y el retorno de inversión a nivel financiero.
- **Integridad del sistema constructivo en el tiempo:** Se vela porque el sistema constructivo se mantenga íntegro y operativo a lo largo del tiempo ante acciones fisicoquímicas y mecánicas, del clima, de organismos vivos, el fuego, vandalismo, uso diario o desastres naturales. Además, en este punto se analiza la vida útil del sistema, entendiendo la vida útil como el periodo de tiempo prudente para realizar reparaciones, aplicar pintura, sellador u otras.
- **Operatividad de sistema constructivo:** Este inciso evalúa la facilidad que provee el sistema constructivo para el uso diario y operación de la vivienda. Se analiza la permeabilidad del sistema ante acciones del clima, el nivel de acabados finales que se tenga y la posibilidad de realizar intervenciones futuras, esta última variable es de vital importancia, en especial cuando se refiere a construcción progresiva, la cual permite que la vivienda se readecue a las nuevas necesidades de sus ocupantes como nuevos espacios o redistribución de los existentes.

- **Aceptación social:** Este aspecto evalúa la percepción que tengan las personas sobre el sistema constructivo, lo cual es importante debido a que un sistema puede ser económica o técnicamente competitivo, pero si existe una percepción social negativa sobre el mismo, el sistema no será exitoso. Específicamente se miden dos variables: la aceptación social de la estética del sistema y la aceptación social de la seguridad constructiva del sistema.
- **Confort ambiental:** El confort durante la vida útil del sistema, se analiza tomando encuentra parámetros térmicos, específicamente la transmitancia térmica del material y parámetros acústicos, específicamente el aislamiento acústico. Estos aspectos contribuyen a la salud psicológica y fisiológica de los habitantes del sistema.
- **Impactos ambientales que provoca el sistema constructivo:** El análisis de impacto ambiental que se realiza es holístico en el sentido de que toma en cuenta todos los procesos de la vida útil del sistema; desde la extracción de la materia prima, hasta la disposición final del sistema al terminar su vida útil, en el Capítulo 5 se hace un mayor abordaje sobre este tema. El aspecto ambiental es de vital importancia debido a que representa externalidades que usualmente no toma en cuenta el constructor, diseñador o consultor y puede que no los perciba de manera directa el propietario, sin embargo, sí afectan a otras personas que incluso pueden traerse abajo el proyecto.

Para más claridad de la forma en la que se trabajan estos aspectos se tiene el Cuadro 3 en la sección 3.3.

4.3. Desarrollo de la herramienta comparativa

En la presente sección se describe la forma en que se implementó la herramienta comparativa QFD en este proyecto de graduación. Al final de la sección se muestra un resumen esquematizado.

En el caso de los *que's*, en la metodología QFD, se entiende como el cliente, el que compra o escoge cuál producto utilizar. Para un sistema constructivo de vivienda social, la decisión de cuál sistema utilizar recae en diferentes actores y por ende se debe hacer una herramienta comparativa para cada uno; en este trabajo se realizan dos herramientas comparativas; una para el actor constructor y otra para el actor usuario de la vivienda. Cabe aclarar que cada actor (constructor y usuario) se evalúa con las mismas variables (como's), sin embargo, los *que's* son distintos, puesto que responde a los intereses de cada actor.

Otros actores que se pudieron haber usado son: el diseñador, el ambiente y el gobierno. En el caso del diseñador, por ejemplo, este no se seleccionó puesto que, a diferencia de una vivienda convencional donde, en teoría, se contrata a un profesional que diseñe el proyecto el cual escoge el sistema constructivo, en un proyecto de vivienda social, es el desarrollador-constructor quién escoge el sistema constructivo, desarrolla el proyecto de vivienda y luego vende las unidades habitacionales (Umaña, 2019).

Los *como's* se dividen en las siguientes categorías: político, económico, social, tecnológico, legal y ambiental, con esto se asegura que el sistema constructivo sea analizado desde diferentes disciplinas de conocimiento. Dividir los aspectos (*como's*) en estas categorías permite también analizar en específico cada una al momento de obtener los resultados.

Cabe aclarar que, para el desarrollo de la herramienta, se tomó en cuenta las siguientes fases: diseño y planificación, construcción, puesta en marcha y desecho. Con esto se quiso abarcar toda la vida útil de la edificación.

Con el objetivo de ordenar y jerarquizar los aspectos con las que se trabaja se utilizan 3 niveles (ver Cuadro 3 y Cuadro 4). Los aspectos del primer nivel son las que poseen más jerarquía y a la vez agrupan los aspectos del segundo nivel y este a los del tercer nivel. Algunas variables como el costo solo se trabajan en el primer nivel, mientras otras sí se subdividen hasta el tercer nivel.

En el Cuadro 3 y 4 a continuación se muestran las dos matrices QFD (constructor y usuario) con todos sus *como's* y sus *que's*, así como la cuantificación de la relación que-como, la cuantificación del peso de cada *que's* y la cuantificación del peso de cada categoría de *como's*. Cabe aclarar que para reducir el posible sesgo en la evaluación de las relaciones que-como se realizaron encuestas las cuales se muestran en el Apéndice E. Los valores que se presentan en los Cuadro 3 y 4 son los promedios obtenidos.

Cuadro 3. Matriz QFD para el constructor

	1er Nivel	2do Nivel	3er Nivel	Costo Final	Riesgo de inversión	Nivel de industrialización del sistema	Acceso y respaldo técnico en el mercado nacional	Facilidad en el transporte e izaje del sistema	Facilidad de ejecución y coordinación	Especialización de obreros requerida	Tiempo de construcción	Control de calidad	Impactos ambientales	Total de columna	% de imp.	
				4,75	3,25	3	2,875	2,125	4,125	2,125	3,375	3,375	3,25			
Económico	4,63	Costo del sistema		10	10	7,5	3,75	7,5	8,75	7,5	10	2,5	0	1034,516	6,51	
	4,63		Incertidumbre en el presupuesto	7,5	10	3,75	3,75	2,5	5	2,5	3,75	0	0	620,7094	3,91	
	4,63	Riesgo de inversión	Éxito del sistema constructivo en otras latitudes (si aplica)	2,5	10	0	3,75	0	1,25	0	0	0	0	279,2469	1,76	
	4,63		Respaldo técnico por parte de una casa matriz (si aplica)	5	8,75	0	10	0	5	0	0	1,25	0	489,7672	3,08	
Político-legales	1,88	Normativa y política nacional	Derechos de autor del sistema constructivo	5	6,25	0	8,75	0	0	0	0	0	0	130,1313	0,82	
	1,88		Política y normativa costarricense	0	6,25	0	5	0	0	0	0	1,25	1,25	80,78125	0,51	
Tecnológico	3,63	Diseño estructural	Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	29,49375	0,19	
	3,63		Resistencia del material y conocimiento de sus propiedades	0	8,75	0	1,25	0	0	0	0	10	0	238,7859	1,50	
	3,63	Flexibilidad en el diseño arquitectónico	Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	2,5	3,75	0	0	0	7,5	0	1,25	0	6,25	288,6984	1,82	
	3,63		Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	1,25	1,25	0	0	0	5	0	1,25	0	0	126,4828	0,80	
	3,63		Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular, necesidad de retención del terreno o necesidad de elevar el proyecto por inundación.	5	5	0	0	0	7,5	0	1,25	0	8,75	376,0453	2,37	
	3,63	Industrialización	Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	6,25	3,75	2,5	0	0	10	0	6,25	0	0	405,5391	2,55	
	3,63		Cantidad de la obra industrializada	8,75	5	10	0	1,25	10	6,25	10	6,25	6,25	799,1672	5,03	
	3,63		Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	0	7,5	6,25	5	0	5	5	0	10	0	444,675	2,80	
	3,63		Complejidad técnica en la fabricación del sistema	6,25	6,25	10	0	0	2,5	0	0	0	0	0	327,8344	2,06
	3,63	Acceso al sistema e Importación	Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	7,5	10	0	10	0	0	0	0	2,5	0	382,2844	2,41	
	3,63		Representación en el país del sistema y acompañamiento técnico	3,75	8,75	0	2,5	0	2,5	0	0	1,25	0	246,7266	1,55	
	3,63	Transporte e izaje de elementos constructivos	Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	2,5	2,5	0	0	10	6,25	5	1,25	5	0	358,4625	2,26	
	3,63		Vehículo necesario para el transporte	5	1,25	0	0	10	3,75	0	0	0	1,25	248,9953	1,57	
	3,63		Peso de los componentes y equipo especial para izaje	5	1,25	1,25	0	10	5	0	2,5	0	0	297,2063	1,87	
	3,63	Proceso de construcción/montaje	Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	10	8,75	3,75	0	5	10	10	10	7,5	3,75	840,5719	5,29	
	3,63		Control de calidad	3,75	5	5	3,75	0	2,5	5	2,5	10	0	446,3766	2,81	
	3,63		Modulación	8,75	2,5	8,75	0	0	10	5	7,5	5	10	735,075	4,63	
	3,63		Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	6,25	3,75	3,75	3,75	0	10	10	6,25	2,5	0	566,0531	3,56	
	3,63		Facilidad de incorporar otros elementos	Acabados	7,5	3,75	0	1,25	0	10	2,5	6,25	1,25	0	447,5109	2,82
	3,63			Electromecánico	7,5	3,75	0	1,25	0	10	2,5	6,25	1,25	0	447,5109	2,82
	3,63	Puertas/ ventanas		7,5	3,75	0	1,25	0	10	2,5	6,25	1,25	0	447,5109	2,82	
	3,63	Tiempo de ejecución		10	8,75	5	0	5	10	2,5	10	1,25	2,5	705,0141	4,44	
	3,63	Integridad del sistema constructivo	Deterioro de materiales en el tiempo	0	8,75	0	0	0	0	0	0	8,75	5	269,4141	1,70	
	3,63		Acciones físico-químicas y mecánicas	Vida útil del sistema	0	8,75	0	0	0	0	0	0	8,75	5	269,4141	1,70
	3,63			Resistencia ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo	0	7,5	0	0	0	0	0	0	8,75	2,5	225,1734	1,42
	3,63			Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	0	7,5	0	0	3,75	3,75	0	0	8,75	2,5	310,2516	1,95
	3,63		Organismos vivos	Resistencia a la anidación o penetración de animales	0	7,5	0	0	0	0	0	0	7,5	2,5	209,8594	1,32
	3,63			Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	0	7,5	0	0	0	0	0	0	8,75	2,5	225,1734	1,42
	3,63			Acciones del hombre	Resistencia al robo y vandalismo	0	8,75	0	0	0	0	0	1,25	0	118,5422	0,75
	3,63			Fuego	Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	0	8,75	0	0	0	0	0	0	3,75	0	149,1703
	3,63		Operatividad del sistema constructivo	Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	0	8,75	0	0	0	0	0	0	2,5	0	133,8563	0,84
	3,63			Permeabilidad del sistema ante el agua y viento	0	3,75	0	0	0	0	0	0	1,25	0	59,55469	0,37
	3,63	Intervenciones futuras		Construcción progresiva	0	2,5	0	8,75	2,5	10	8,75	2,5	1,25	0	403,2703	2,54
	3,63	Nivel de acabado finales	Facilidad en reparaciones	0	5	0	5	0	10	7,5	0	0	0	318,7594	2,01	
2,13	Aceptación social	Aceptación social de la estética del sistema	10	3,75	0	0	0	7,5	2,5	10	3,75	0	516,7078	3,25		
2,13		Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	0	6,25	0	0	0	0	0	0	0	10	112,4906	0,71		
2,13	Impactos ambientales		0	10	0	0	2,5	5	5	5	0	7,5	234,9656	1,48		
2,13		Variable bioclimática	Transmitancia térmica (valor U) (W/m²K)	0	3,75	0	0	0	0	0	1,25	10	104,1703	0,66		
2,13			Aislamiento acústico del sistema	0	2,5	0	0	0	0	0	0	1,25	10	95,51719	0,60	
2,13			Huella de carbono	0	2,5	0	0	1,25	1,25	0	1,25	0	10	112,1578	0,71	
2,13			Energía incorporada	0	0	1,25	0	1,25	2,5	0	1,25	0	10	113,8219	0,72	
2,13			Impacto socioeconómico durante la construcción	0	7,5	0	0	2,5	2,5	0	5	0	10	190,3688	1,20	
2,13			Posibilidad de reciclaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	69,225	0,44	
2,13		Posibilidad de reutilización y deconstrucción	0	1,25	0	0	0	0	0	0	0	10	77,87813	0,49		
													Total	15891,5	100,00	

Cuadro 4. Matriz QFD para el usuario

	1er Nivel	2do Nivel	3er Nivel	Costo Final	Confort	Estética y estilo de vida que auspicia el sistema	Integridad del sistema en el tiempo	Protección ante agentes exteriores	Posibilidad de realizar intervenciones futuras	Seguridad ante eventos naturales o fuego	Total de columna	% de importancia	
				4,45	2,9	2,9	3,18	3,09	3	3,72			
Económico	4,63	Costo del sistema		10,0	1,7	1,7	1,7	0,0	1,7	1,7	327,186667	4,06	
	4,63	Riesgo de inversión	Incertidumbre en el presupuesto	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	103,0175	1,28	
	4,63		Éxito del sistema constructivo en otras latitudes (si aplica)	5,0	0,0	1,7	5,0	0,0	0,0	0,0	199,012833	2,47	
	4,63		Respaldo técnico por parte de una casa matriz (si aplica)	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	207,578333	2,57	
Político-legales	1,88	Normativa y política nacional	Derechos de autor del sistema constructivo	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	79,43	0,98	
	1,88		Política y normativa costarricense	0,0	0,0	0,0	3,3	5,0	0,0	5,0	83,942	1,04	
Tecnológico	3,63	Diseño estructural	Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	0,0	0,0	1,7	0,0	1,7	8,3	1,7	149,4955	1,85	
	3,63		Resistencia del material y conocimiento de sus propiedades	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	5,0	181,3185	2,25	
	3,63	Flexibilidad en el diseño arquitectónico	Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	0,0	5,0	10,0	0,0	0,0	5,0	0,0	212,355	2,63	
	3,63		Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	0,0	6,7	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	175,45	2,18	
	3,63		Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular, necesidad de retención del terreno o necesidad de elevar el proyecto por inundación.	5,0	5,0	3,3	0,0	0,0	0,0	5,0	236,0105	2,93	
	3,63	Industrialización	Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	135,2175	1,68	
	3,63		Cantidad de la obra industrializada	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	125,84	1,56	
	3,63		Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	1,7	5,0	143,385	1,78	
	3,63		Complejidad técnica en la fabricación del sistema	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,7675	1,00	
	3,63	Acceso al sistema e Importación	Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	198,44	2,46	
	3,63		Representación en el país del sistema y acompañamiento técnico	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	135,8225	1,68	
	3,63	Transporte e izaje de elementos constructivos	Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	126,445	1,57	
	3,63		Vehículo necesario para el transporte	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	153,3675	1,90	
	3,63		Peso de los componentes y equipo especial para izaje	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	171,5175	2,13	
	3,63	Proceso de construcción/montaje	Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	234,135	2,90	
	3,63		Control de calidad	1,7	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	1,7	163,229	2,02	
	3,63		Modulación	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	125,84	1,56	
	3,63		Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	216,59	2,69	
	3,63		Facilidad de incorporar otros elementos	Acabados	3,3	0,0	6,7	6,7	6,7	5,0	0,0	330,209	4,09
	3,63			Electromecánico	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	108,295	1,34
	3,63			Puertas/ ventanas	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	117,0675	1,45
	3,63	Tiempo de ejecución		10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	234,135	2,90	
	3,63	Integridad del sistema constructivo	Deterioro de materiales en el tiempo	0,0	0,0	5,0	10,0	10,0	0,0	5,0	347,754	4,31	
	3,63		Acciones físico-químicas y mecánicas	Resistencia ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo	0,0	0,0	5,0	10,0	10,0	0,0	0,0	280,236	3,47
	3,63			Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	0,0	0,0	3,3	8,3	10,0	0,0	5,0	310,97	3,86
	3,63			Resistencia a la anidación o penetración de animales	0,0	5,0	5,0	10,0	5,0	0,0	0,0	276,7875	3,43
	3,63		Organismos vivos	Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	0,0	5,0	5,0	10,0	5,0	0,0	0,0	276,7875	3,43
	3,63			Acciones del hombre	Resistencia al robo y vandalismo	0,0	0,0	5,0	3,3	10,0	0,0	203,28	2,52
	3,63		Fuego	Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	10,0	250,47	3,11
	3,63			Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	135,036	1,67
	3,63		Operatividad del sistema constructivo	Permeabilidad del sistema ante el agua y viento	0,0	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	217,437	2,70
	3,63			Intervenciones futuras	Construcción progresiva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	108,9
	3,63	Facilidad en reparaciones			0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	10,0	0,0	166,617	2,07
3,63	Nivel de acabado finales	8,3		0,0	8,3	6,7	6,7	0,0	0,0	374,0715	4,64		
Ambiental y social	2,13	Aceptación social	Aceptación social de la estética del sistema	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,77	0,77	
	2,13		Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	51,475	0,64	
	2,13	Variable bioclimática	Transmitancia térmica (valor U) (W/m²K)	0,0	10,0	5,0	0,0	3,3	0,0	0,0	114,594	1,42	
	2,13		Aislamiento acústico del sistema	0,0	10,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,655	1,15	
	2,13	Impactos ambientales	Huella de carbono	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	
	2,13		Energía incorporada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	
	2,13		Impacto socioeconómico durante la construcción	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10,295	0,13	
	2,13		Posibilidad de reciclaje	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	
2,13	Posibilidad de reutilización y deconstrucción	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,885	0,38		
Total											8065,12033	100	

En los Cuadros 3 y 4 presentados anteriormente, se observa, en la parte superior, los aspectos *que* ´s importantes para cada uno de los actores. En caso de que se trabaje con el actor diseñador algunos de los *que* ´s a incluir serían: costo, flexibilidad en el diseño, conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del sistema, respaldo o soporte técnico del fabricante y calidad final que provee el sistema (calidad estética del acabado).

Cabe aclarar que ambas matrices (Cuadro 3 y Cuadro 4) ya se presentan con los cálculos del porcentaje de importancia de cada variable, además, las encuestas que se utilizaron para determinar los distintos pesos se presentan en el Apéndice D. Los cálculos realizados siguen el desarrollo teórico explicado en la sección 3.1.

También se observa en los cuadros 3 y 4, que las diferentes casillas de la matriz (relación *que-como*) están evaluadas, se utilizó tres valores distintos: 0, 5 y 10. El cero indica que en el par *que-como* evaluado la relación es muy baja o nula, el cinco significa que la relación es media y el 10 que la relación es muy fuerte.

Luego de realizar los dos cuadros presentados, se procede a evaluar para cada sistema constructivo, en una escala del -5 al +5, cada una de las variables de la herramienta. En el Capítulo 5 se muestra la forma en que fue evaluado cada *como* ´s y su valor.

Una vez que se tienen evaluado para cada sistema constructivos los diferentes *como* ´s, se procede a multiplicarlos por su % de importancia con lo cual se obtiene la calificación de cada *como* ´s (Ecuación 4). Cada una de estas calificaciones se analiza de forma separada para detectar las variables más importantes y los menos importantes en el sistema constructivo para el cliente que se está tomando en cuenta.

Una vez finalizado lo anterior se procede a aplicar la Ecuación 5 y así determinar la calificación final del sistema, con la cual se comparan los diferentes sistemas constructivos. Se reitera que esta calificación será distinta en las dos matrices construidas (constructor y usuario).

Por último, cabe aclarar que algunas variables (*como* ´s) se repiten en la matriz lo que significa que al mismo concepto se le están evaluando aspectos distintos. A continuación, en la Figura 38, se presenta un diagrama esquemático donde se resume lo anteriormente explicado.

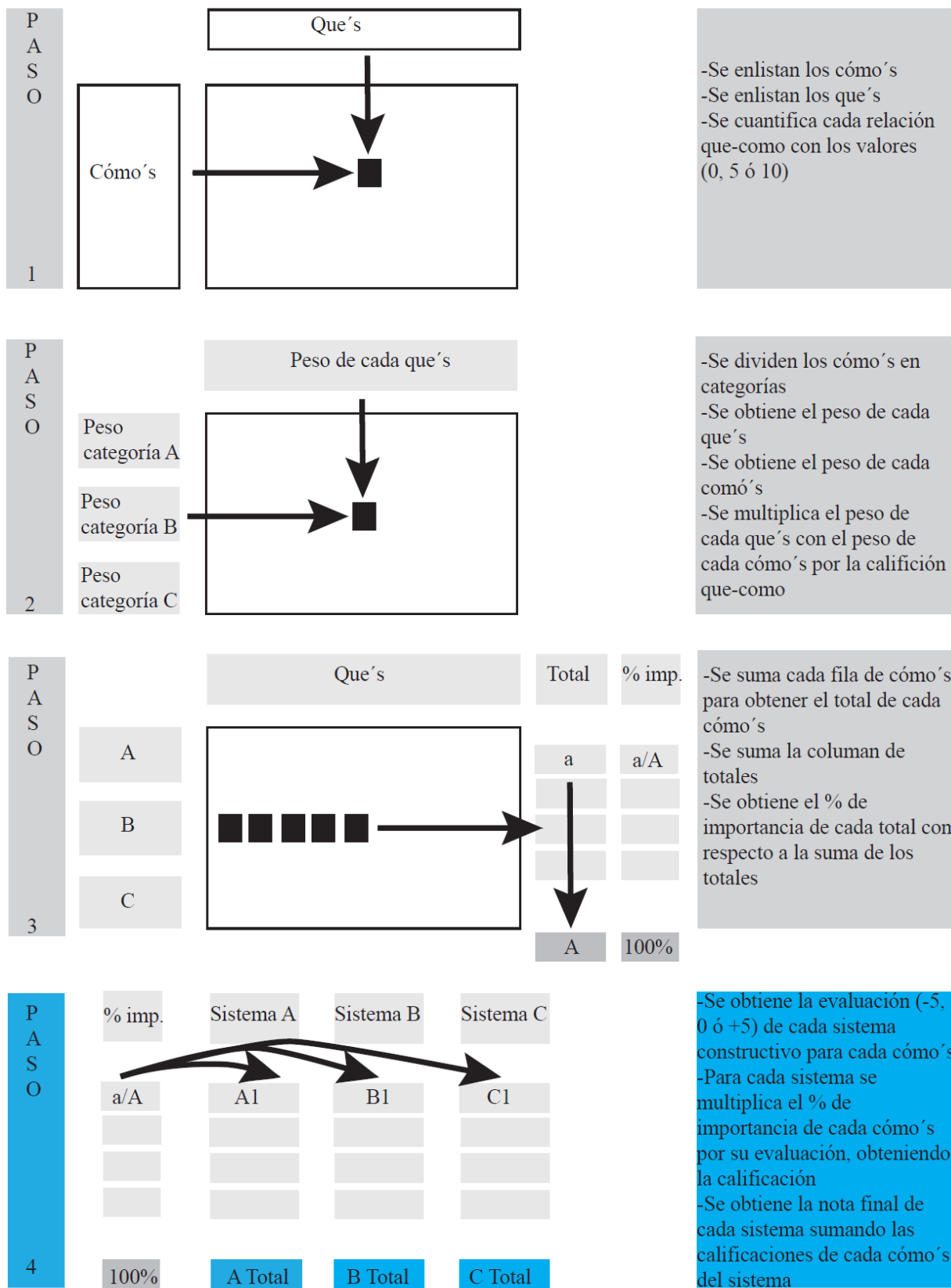


Figura 38. Diagrama esquemático de la construcción y ejecución de la matriz QFD

CAPÍTULO 5. CUANTIFICACIÓN DE VARIABLES DE LA HERRAMIENTA QFD

En el presente capítulo, se presenta el procedimiento de cuantificación de las diferentes variables de la herramienta comparativa para cada uno de los sistemas constructivos escogidos en el Capítulo 3: baldosas horizontales, mampostería Integra, Panelco, steel framing, wood framing, Bloqueplast, Structural Insulated Panel (SIP), Royal Building System (RBS) y Peri-Uno.

Específicamente en la primera Sección 5.1 se indica las consideraciones generales que se tomaron para cada sistema constructivo. En la Sección 5.2 se muestra la forma en que se cuantificó cada variable de la herramienta comparativa. Por último, en la Sección 5.3 se procede a realizar la cuantificación.

5.1. Consideraciones generales de cada sistema constructivo

En el momento de evaluar cada variable de la herramienta comparativa, se debe tener claro la forma en que se va a trabajar cada sistema constructivo, la empresa que se va a utilizar, los acabados con los que se va a trabajar y las suposiciones realizadas. A continuación se muestra dicha información.

- Sistemas constructivos de baldosas horizontales

Se utilizó el sistema Prefa de la empresa PC tal y como se recomienda en su Manual Técnico (Productos de Concreto, 2010). Se supuso que el sistema sólo requiere como acabado la aplicación de pintura con una mano de sellador con película de 1,5 mm (tomado de un plano típico de vivienda). También se utilizó cimentaciones puntuales como lo indica el C.C.C.R.

- Sistema constructivo de mampostería

Se analizó la mampostería Integra de la empresa PC, para tal propósito se utilizó como fuente principal el Manual Técnico (Productos de Concreto, 2010). Para efectos de facilitar la comparación de sistemas constructivos, se supuso que el acabado del sistema consistía únicamente en una mano de pintura y una mano de sellador

- Sistema constructivo Panelco

Se estudió el sistema constructivo Panelco, específicamente se va a trabajar con el Panel Estructural de 3 Pulgadas, el cual según la empresa es el recomendado para este tipo de construcciones. Los acabados que se utilizan son una mano de pintura y una mano de sellado sobre la última capa de mortero fino que posee el sistema. Como principal fuente de información se utilizó la página web de Panelco (Panelco, s.f.)

- Sistema constructivo Steel Framing

Este sistema posee forros de Gypsum y estructura metálica de la empresa Metalco, adicionalmente se incorpora un aislante de fibra de vidrio. Para efectos de comparación se procura aplicar acabados similares a los utilizados en los otros sistemas constructivos, se utiliza una mano de pintura y una mano de sellador. Cabe aclarar, que en interiores se trabaja con la lámina de Gypsum interior Ultra Light, mientras que para exteriores se utiliza la lámina Dens Glass Gold. Como fuente de información se usa principalmente el Manual de recomendaciones para construir con Steel Framing de INCOSE (2018), también se utilizó el manual técnico del Gypsum (National Gypsum, 2006).

- Sistema constructivo Wood Framing

Para efectos de comparación este sistema se trabaja igual que el sistema Steel Framing, con forros de placas marca Gypsum y aislante de fibra de vidrio, adicionalmente se utiliza estructura de madera. Como acabados se utilizó una mano de pintura y una mano de Sellador. Cabe aclarar, que en interiores se trabaja con la lámina de Gypsum interior Ultra Light, mientras que para exteriores se utiliza la lámina Dens Glass Gold. Como fuente de información principal se utilizó el trabajo final de graduación de Trigueros (2011), también se utilizó el manual técnico del Gypsum (National Gypsum, 2006).

- Sistema de bloques de plástico

Se trabaja con el sistema que provee la empresa Ekonjunto, que es la subsidiaria a nivel nacional de la empresa colombiana Bloqueplast, la cual posee la patente sobre este sistema. Debido a que el acabado final que poseen los bloques es liso, no es necesario agregarle acabados

adicionales. Como fuente de información, principalmente se tiene la página web de la empresa Casa de Plástico y el manual técnico facilitado por la empresa (Ekonjunto, 2018).

- Sistema SIP (Structural Insulated Panel)

Debido a que no existe a nivel nacional una empresa que fabrique este sistema, se utiliza como referencia la empresa chilena TermoSip, la cual comercializa el panel SIP con forros de madera conglomerada. Los acabados que requiere este sistema son: malla de fibra de vidrio, mortero, una mano de pintura y una mano de Sellador. Como principal fuente de información se utilizó el Manual Técnico de la empresa (TermoSip, 2009).

- Sistema RBS (Royal Building System)

Se utilizó como referencia la empresa Azembla, que es subsidiaria de Royal Building Systema en Colombia. Se trabajaron los paneles RBS con relleno de concreto y acero de refuerzo en su interior. Además, dado que el acabado final del sistema es vinil liso, no se requiere agregarle ningún tipo de acabado adicional. Como principal fuente de información, se utilizó la Guía Técnica de Azembla (Azembla, 2012).

- Sistema PERI-UNO

El Sistema Uno de la empresa Peri es administrado en Costa Rica por SPC. Para efectos de comparación con los demás sistemas, se le aplica como acabado final al concreto una mano de pintura y una mano de sellador. Como principal fuente de información, se utilizó el Manual Técnico del sistema Uno de la empresa Peri (Peri, 2015).

5.2. Metodología de cuantificación de variables

En esta sección se indica el procedimiento seguido para cuantificar cada una de las variables que utiliza la herramienta comparativa, tomando en cuenta la investigación realizada de sistemas constructivos y la información que se tiene.

Las variables utilizadas fueron tanto cualitativas como cuantitativas. En el caso de las variables cualitativas se decidió que las mismas posean 3 posibles calificaciones: -5, 0 y +5 para condiciones desfavorables, neutras y positivas respectivamente o incluso únicamente dos

calificaciones (-5 y +5) para condiciones desfavorables y positivas. Estas variables fueron el caso más común en la matriz, algunos ejemplos son: el respaldo técnico que posea el sistema, el conocimiento de las propiedades del material y la flexibilidad en el diseño arquitectónico. Cabe aclarar que se decidió trabajar únicamente con tres (-5, 0 ó +5) o dos valores (-5, +5) debido a la complejidad y subjetividad que se puede introducir si se aumenta el espectro de posibles calificaciones. El -5 al ser un valor negativo, se escogió para que represente variables donde el sistema constructivo no es ventajoso; el cero se escogió, al ser un valor neutro, para que represente variables donde el sistema constructivo no tiene ni ventajas ni desventajas; por último; el +5, por ser un valor positivo, se escogió para que represente variables donde el sistema constructivo presenta ventajas.

Otras variables son cuantitativas como el costo y la huella de carbono, las cuales se cuantifican directamente para cada sistema constructivo y su calificación depende de su valor con respecto a los casos extremos.

Cabe resaltar que se utilizaron diferentes fuentes para recopilar la información requerida, a continuación, se enlistan las principales:

- Información recopilada directamente de la empresa que provee el sistema como información disponible en páginas web, manuales técnicos, videos de la empresa y entrevistas que la empresa concede a medios de comunicación.
- Otros datos, especialmente los relacionados con las propiedades de los materiales con los que se trabaja se obtienen de tesis, libros y revistas.
- En caso de ser requerido, se contacta personal de la empresa para evacuar las dudas correspondientes.
- Otros valores como, por ejemplo, la *facilidad constructiva*, se obtienen a partir del análisis y estudios del sistema.
- También existen variables como la huella de carbono y el costo del sistema constructivo que se calculan.
- En el caso de las variables sociales, estas se obtienen a partir de encuestas.

Para la comparación de sistemas constructivos, se tomó en cuenta únicamente las paredes, acabados y cimentaciones. El sistema electromecánico, las puertas, ventanas y uniones

requeridas en la estructura de techo, se tomaron en cuenta de manera indirecta, cuanto se evaluó la facilidad de incorporar estos elementos en el sistema constructivo.

A continuación, se presenta la metodología que se siguió para cuantificar cada variable.

Metodología de cuantificación del costo y tiempo de ejecución

Para cuantificar los costos y tiempo de ejecución, se procedió a realizar un presupuesto detallado, los cálculos y diagramas utilizados se muestra en el Apéndice A. Para efectos de que la comparación sea bajo las mismas condiciones y también sea lo más fidedigna posible a una vivienda real de interés social, se tomó un prototipo de vivienda social comúnmente utilizado en el país (ver Figura 39), al cual se le calculó el costo de materiales, el costo de mano de obra y el costo de los desperdicios propios de la modulación.

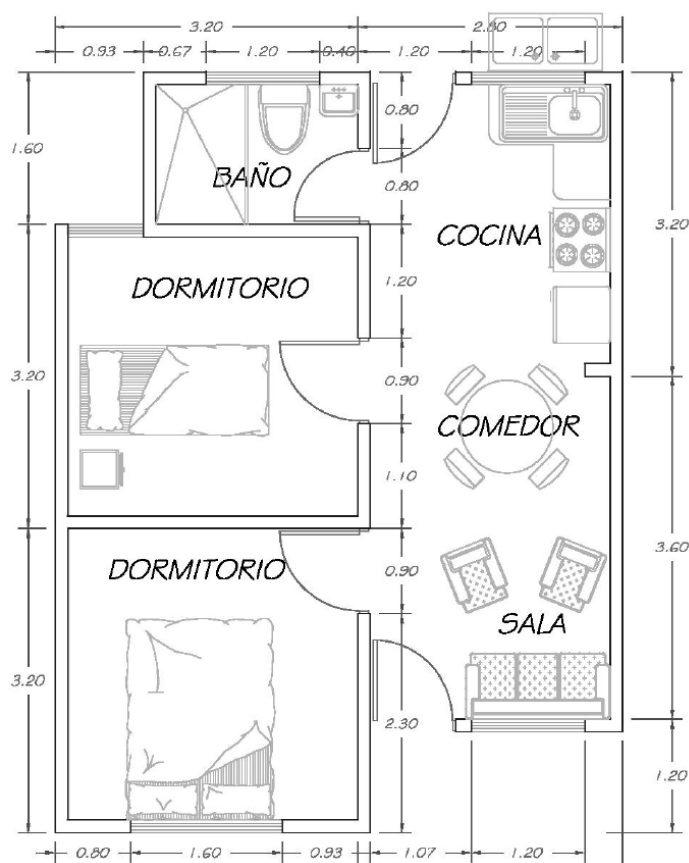


Figura 39. Distribución arquitectónica base utilizada para modular los distintos sistemas constructivos

Fuente: Sancho, 2011

A continuación, se enlistan los supuestos que se siguieron para la cuantificación de costos y tiempo de construcción que se siguieron en este trabajo.

- Suponiendo que el material se utiliza de la mejor forma, se procede a modular tanto vertical como horizontalmente cada uno de los sistemas constructivos, tomando como base el prototipo de vivienda de interés social escogido.
- Para el cálculo del costo, se tomó en cuenta únicamente las paredes, cimentaciones y acabados. Esto por considerar que son los elementos constructivos que se diferencian de una vivienda a otra.
- Dado que los desperdicios sólo se calculan con base en los residuos de modulación, algunos sistemas como el sistema de baldosas horizontales y el sistema Peri, no presentan desperdicios.
- Para el costo de la mano de obra se supone un 50% de cargas sociales.
- En los sistemas de mampostería, baldosas horizontales, Panelco, Steel Framing, Wood Framing y SIP, se utilizó como base las modulaciones propuestas en la tesis de Sancho (2011), por ende, se manejaron las cantidades ya cuantificadas en dicha tesis. En el Apéndice A, se muestra la modulación en planta usada en dichos sistemas, para ver las modulaciones en elevación y demás detalles constructivos se recomienda consultar la tesis de Sancho (2011).
- La mampostería considerada es del tipo Integra, dichos bloques son modulares con dimensiones múltiplo de 12 cm.
- Dada la variedad de precios que existe en el sistema de baldosas horizontales, se decidió obtener 3 proformas de diferentes fabricantes (Expo Prefa, PC y Prefablock) y utilizar el precio promedio.
- Dado que los sistemas Panelco y SIP (utilizados en este proyecto de graduación) y el sistema Covintec (utilizado en la tesis de Sancho del año 2011) poseen iguales dimensiones, se utilizó la misma modulación y cuantificación de materiales.
- Para la cuantificación de la cantidad de uniones en madera y elementos metálicos que requiere el sistema SIP, se siguen las recomendaciones del manual técnico (TermoSip, 2009).
- Al no contar con información sobre el rendimiento de la mano de obra para el sistema de paneles SIP, se procedió a calcular el costo de la mano de obra como un 40% del costo

calculado para el sistema de mampostería. Lo anterior fue una recomendación del fabricante.

- En el sistema Steel Framing, se utilizó la misma estructura metálica que usó Sancho (2011) en su tesis. En el caso de los forros, se utiliza como cerramiento Gypsum. Cabe aclarar que en el interior de la estructura, se utilizó Panel de Yeso marca Gold Bond o similar de 9.5 mm de grosor y en el exterior se usó el Panel de Yeso XP marca Gold Bond o similar de 12,7mm de ancho el cual está especificado para exteriores según el fabricante.
- Para el cálculo del costo del sistema Wood Framing, se utilizó como base la modulación realizada por Sancho (2010) para el sistema Habicón. Como ambos sistemas (Wood Framing y Habicón) utilizan la misma estructura de madera, se mantienen la cuantificación de la estructura. Para el caso de los forros, dado que son distintos, se debe realizar el cálculo de este material.
- En el caso del sistema Bloqueplast, se realizó una modulación tomando como base la vivienda estándar que se utiliza en este trabajo y las dimensiones del bloque de plástico (10 cm x 7 cm x 50 cm).
- Para el sistema RBS, también, se procedió a realizar una modulación tomando en cuenta las dimensiones del panel (33 cm x 124 cm). Para el cálculo de las cantidades de materiales en este sistema se siguen las recomendaciones del manual técnico (Azembla, 2012).
- El rendimiento para la colocación de mampuestos del sistema Bloqueplast se obtuvo a partir de la observación de videos del proceso constructivo.
- En los sistemas RBS y Peri-Uno se decidió emplear una bomba para colar el concreto puesto que es la opción más económica.
- Dado que la formaleta utilizada en el sistema constructivo Peri-Uno se puede adaptar a cualquier configuración en planta y altura, para la cuantificación de materiales, se utilizó la modulación propuesta por Sancho (2011) para el sistema constructivo en mampostería, suponiendo 10 cm de espesor y utilizando los detalles constructivos del Código Sísmico de Costa Rica.
- Se utilizó una dosificación común para 1m³ de concreto con f'c de 210Kg/cm²: 7,5 sacos de cemento, 0,55m³ de arena y 0,75 m³de grava.

Para el cálculo del costo y tiempo de construcción de las cimentaciones, se emplearon tres tipos, como lo indica el Código Sísmico de Costa Rica (2010), las cuales se muestran en la Figura 40, a continuación.

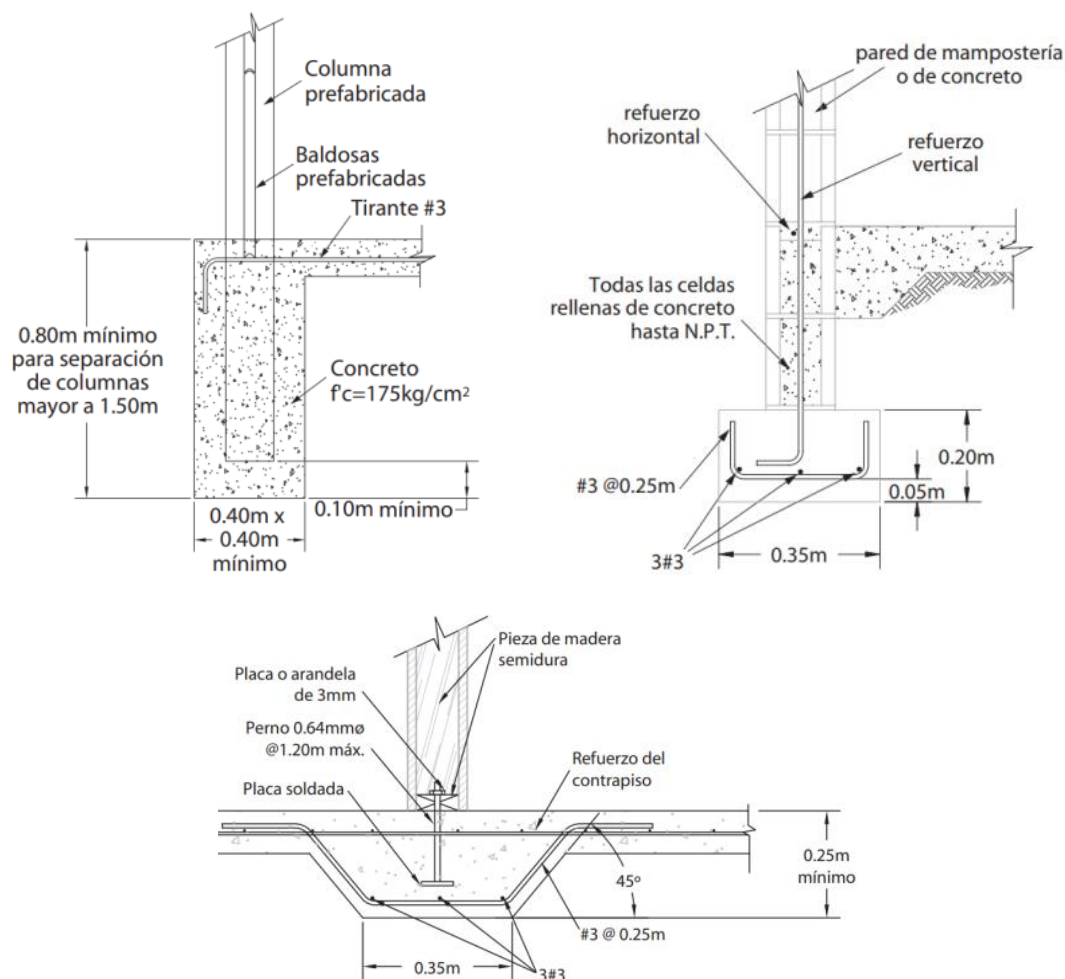


Figura 40. Posibles cimentaciones que se utilizan en los sistemas constructivos con los que se trabaja

Fuente: CSCR, 2010

En la figura anterior, la cimentación de la izquierda corresponde a la utilizada en el sistema constructivo de mampostería y los dos sistemas constructivos en concreto (RBS y Peri-Uno). La cimentación del centro es utilizada en los sistemas livianos, como los de muro seco (Wood Framing y Steel Framing) y además en los sistemas Panelco, SIP y Bloqueplast. Por último, en la figura de la derecha, se observa la cimentación que se utiliza para el sistema de baldosas horizontales, las cuales son puntuales.

Con respecto a los acabados, existen tres posibilidades: los sistemas que ya posee un acabado final incorporado y por ende no necesitan acabados adicionales (Bloqueplast y RBS), los sistemas que requieren como acabado únicamente pintura y sellador (mampostería, baldosas horizontales, Panelco, Steel Framing, Wood Framing y Peri-Uno) y los sistemas que requieren de repello fino, pintura y sellador como acabado (SIP). A cada uno de estos acabados se les calculó el costo y tiempo de construcción.

Por último, cabe mencionar que debido a que el volumen de la obra de construcción es reducido y que las 3 actividades que se están tomando en cuenta son consecutivas (cimentaciones-levantamiento de paredes-acabados), no se realizó un diagrama de Gantt para calcular el tiempo de construcción. En su lugar únicamente se estimó las horas hombre total y se expresó esta cantidad en días.

A manera de resumen, en el Cuadro 5 se muestra la cuantificación de costos y tiempo de construcción obtenida.

Cuadro 5. Cuantificación del total de costos y tiempo de construcción para cada uno de los sistemas constructivos para la casa modelo

Sistema	Costo Materiales: muro + acabados + cemento	Costo de mano de obra: muro + acabados + cemento	Otros costos: desperdicios + equipo	Horas hombre total (expresado en días): muro + acabados + cemento	Costo total
Mampostería	₡ 1,284,743.7	₡ 887,226.6	₡ 3,531.7	55.74	₡ 2,175,502.0
Baldosas horizontales	₡ 1,330,120.0	₡ 537,382.5	₡ -	27.23	₡ 1,867,502.5
Panelco	₡ 1,930,825.4	₡ 957,115.2	₡ 54,506.4	49.58	₡ 2,942,447.0
Steel Framing	₡ 1,323,013.4	₡ 751,957.7	₡ 19,300.0	38.01	₡ 2,094,271.1
Wood Framing	₡ 1,263,105.0	₡ 826,915.3	₡ 19,300.0	41.78	₡ 2,109,320.3
Bloqueplast	₡ 1,325,133.0	₡ 380,063.7	₡ -	21.57	₡ 1,705,196.7
SIP	₡ 1,674,366.4	₡ 951,772.8	₡ 72,000.0	43.13	₡ 2,698,139.2
RBS	₡ 1,367,020.6	₡ 511,504.8	₡ 73,800.0	28.08	₡ 1,952,325.4
PERI	₡ 1,164,375.4	₡ 839,769.1	₡ 73,800.0	43.25	₡ 2,077,944.5

Metodología de cuantificación de variables ambientales

El análisis de impacto ambiental que se planteó incluye el ciclo de vida de la vivienda de interés social, ya que abarca todos los procesos por los que pasa el sistema constructivo desde la extracción del material para su fabricación, hasta que el material se desecha. Estos procesos se presentan en la Figura 41.

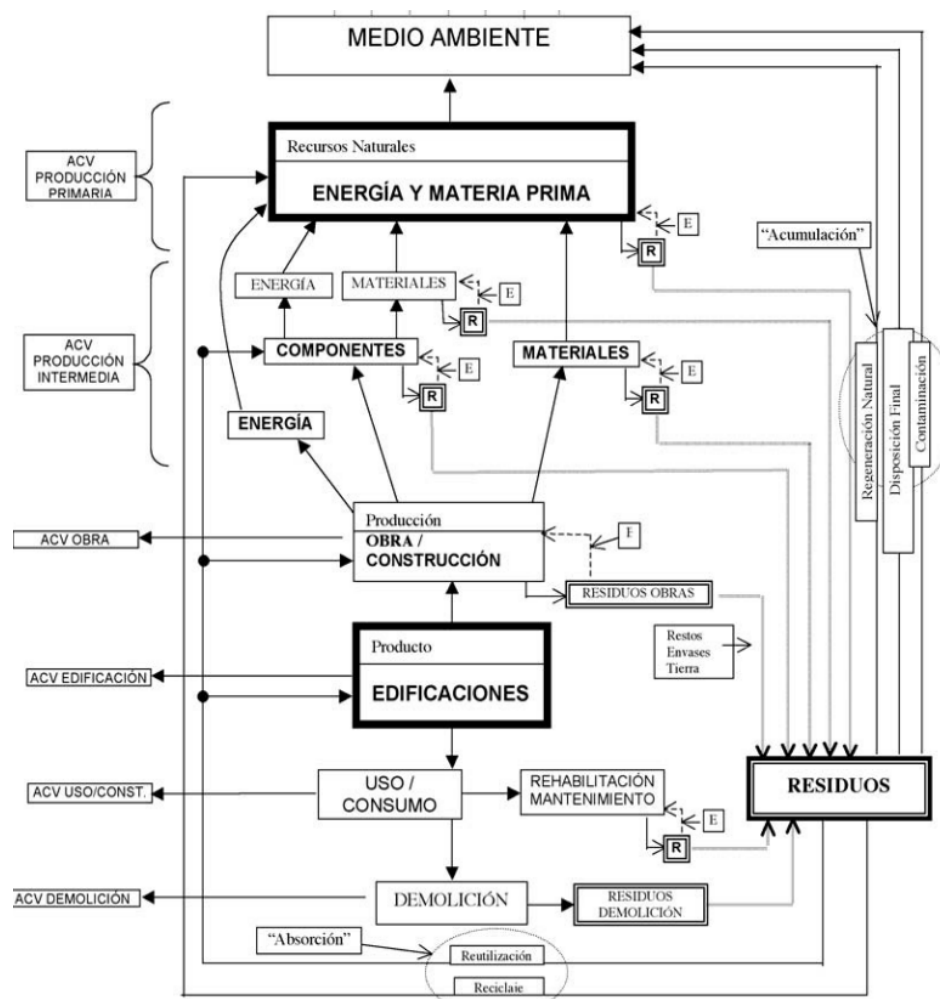


Figura 41. Fases del ciclo de vida del sistema constructivo que producen impactos ambientales
Fuente: Camacho, 2014

Se identificaron las siguientes fases concernientes al ciclo de vida de una vivienda de interés social: producción de la materia prima, fabricación del sistema constructivo, transporte, construcción, puesta en marcha del sistema constructivo y fin de la vida útil de la edificación.

Dado lo complejo y subjetivo que se puede tornar cuantificar todos los impactos en su vida útil para cada uno de los sistemas constructivos con los que se trabaja en este proyecto, se decidió utilizar indicadores que fueran representativos de cada una de las fases del ciclo de vida de la edificación los cuales se muestran a continuación.

- Impacto ambiental durante los procesos de extracción de materia prima, fabricación, transporte y construcción para distintos materiales. Para cuantificar los impactos en esta fase se utilizan los siguientes indicadores:

- Energía incorporada: Según Camacho (2014) "se entiende por energía incorporada, la cantidad de energía de diverso origen y calidad que es necesario emplear para elaborar un producto". En el Anexo B se muestra la cuantificación de la energía incorporada de cada sistema constructivo.
- Huella de carbono: Es la totalidad de gases de efecto invernadero que emite un producto, en este caso un material constructivo. Cabe aclarar que el artículo de donde se obtienen los factores para calcular la huella de carbono toma en cuenta la cantidad de carbono que se libera a la atmósfera durante el proceso de extracción del material, el proceso industrial por el que pasa el mismo para formar los componentes del sistema constructivo y en caso de que aplique también se toma en cuenta el carbono liberado a la atmósfera durante la construcción con dicho material, estos valores son promedios calculados bajo diferentes circunstancias. En el Anexo B se muestra la cuantificación de la huella de carbono de cada sistema constructivo.
- Impactos ambientales durante el proceso constructivo hacia el medio socioeconómico: Algunos ejemplos son: el polvo, el ruido de la maquinaria, los residuos sólidos por desperdicios, estrés e incomodidad en los vecinos y accidentes laborales. Estas variables están directa o indirectamente relacionadas con parámetros ya cuantificados como: cantidad de la obra industrializada; vehículo necesario para el transporte; peso de los componentes y equipo especial para izaje; facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos; modulación y tiempo de ejecución, por lo tanto, para valorar la variable impactos ambientales al medio socioeconómico, se procede a realizar un promedio de dichos parámetros. Cabe aclarar que no se está realizando una doble cuantificación de variables debido a que se está midiendo factores distintos.
- Impactos ambientales durante la puesta en marcha de la edificación: Este aspecto se debe entender como una afectación no hacia el medio biótico o abiótico (puesto que hacia estos medios no hay afectación durante la puesta en marcha), sino hacia el usuario de la vivienda. Es por esta razón que se utilizaron los siguientes indicadores de confort bioclimático: transmitancia térmica, para medir la variable térmica y Sound Transmission Class, para medir el aislamiento acústico.

- Impactos ambientales al final de la vida útil del sistema constructivo: La cuantificación del impacto ambiental que provoca el sistema constructivo tras el fin de la vida útil se cuantifica con dos variables; la primera mide la posibilidad de reciclar el material del cual está hecho el sistema y la segunda mide la posibilidad de deconstrucción y reciclaje de los componentes del sistema para ser reutilizados.

Las variables anteriormente descritas se califican en la herramienta comparativa de la siguiente forma:

- Energía incorporada: El cálculo de la Energía Incorporada se basó en la cuantificación de cada uno de los materiales para los distintos sistemas constructivos que se realizó en el cálculo del costo, con base en estas cantidades y un factor de conversión obtenido de Quispe (2016) se obtiene la Energía Incorporada como se muestra en el Apéndice B. Se califica con un +5 el sistema que requiera menos energía incorporada. Por otra parte, el sistema que requiera más energía incorporada se le coloca un -5. Los demás casos intermedios se interpolan con respecto a los límites -5 y +5.
- Huella de carbono: El procedimiento para el cálculo de la huella de carbono se realiza de manera similar a la energía incorporada, utilizando factores de conversión de Quispe (2016), dichos cálculos se muestran en el Apéndice B. Se califica con un +5 el sistema que produzca menos huella de carbono. Por otra parte, el sistema que produzca más huella de carbono se califica con un -5. Los sistemas que poseen una huella de carbono negativa se interpolan en el rango $]-5, 0[$ mientras que los sistemas que poseen huellas de carbono positiva se interpolan en el rango $]0, +5[$
- Impacto socioeconómica durante la construcción: Dado que esta variable se calculó a partir del promedio de otras variables con valores en el rango $]-5, +5[$ se obtuvo un resultado en ese mismo rango, dicho resultado fue el que se utilizó en la herramienta comparativa.
- Parámetros térmicos: Como parámetro térmico se utilizó la transmitancia térmica (valor U), la cual toma en cuenta tanto la capacidad de conducción de calor del material como el espesor de este y se mide en unidades de $(W/(m^2 \cdot K))$. Un valor U menor a 1,5 (valores típicos de aislantes térmicos) se califica con +5. Un valor de U entre 1 y 20 (valores típicos de muros de vivienda) se califica con 0. Valores de U mayores a 20 se califican con -5.

- **Parámetro acústico:** Para medir el aislamiento acústico de una pared se utiliza el Sound Transmission Class (STC), el cual es la expresión numérica del resultado de una prueba de laboratorio que mide cuanto sonido es bloqueado por una pared en un rango de frecuencias entre 125 y 4 000 Hz. Según la empresa Audimute, la cual comercializa paneles acústicos, en una vivienda es recomendable que las paredes posean 50 dB de STC por lo tanto los sistemas que posean un STC menor a 50 dB tendrá de calificación -5. Los sistemas que posean un STC en el rango de 50 a 55 dB tendrán una calificación de 0 y los que poseen un STC mayor a 55 dB se califican con +5.
- **Posibilidad de reciclaje:** Si el sistema constructivo está constituido por materiales que pueden ser reciclados se califica con un +5. Si por el contrario el sistema está constituido por materiales que no pueden reciclarse se coloca un -5.
- **Posibilidad de reutilización y deconstrucción:** Si el sistema se puede reutilizar completamente al finalizar su vida útil se coloca un +5. Si por el contrario los diferentes componentes del sistema constructivo no se pueden reutilizar de forma completa y por ende se deben desechar o triturar para que sean utilizados en otra industria se coloca un -5.

En el Cuadro 6, a continuación, se muestra el total de consumo energético y huella de carbono obtenido para los diferentes sistemas constructivos

Cuadro 6. Cuantificación total del Consumo Energético (en MJ) y Huella de Carbono (en Kg de CO₂) para los diferentes sistemas constructivos

Sistema	Total C.E. (MJ)	Total H.C. (Kg CO ₂)
Baldosas horizontales	14766,55	1988,70
Mampostería integra	26664,40	4137,74
Panelco	34505,17	4646,52
Steel Framing	42808,01	5047,70
Wood Framig	39106,54	2967,71
Bloqueplast	11939,15	4314,53
SIP	41789,50	86,22
RBS	70593,53	10431,81
Peri-Uno	24970,56	3581,18

Cabe aclarar que para calcular la Huella de Carbono del Bloqueplast, al ser este un material reciclado, se utiliza un factor de conversión 62,5% menor al del plástico convencional como lo demuestra Benveniste (2010) en su investigación. También se debe mencionar que el reducido

valor de Huella de Carbono en el sistema SIP se da porque en una parte importante de la obra se utiliza madera reforestada y según Vega (2014) esto ayuda a absorber el CO₂ de la atmósfera.

Metodología de cuantificación de variables sociales

Para cuantificar las dos variables sociales con las que se trabajó, se realizó una encuesta, la cual se muestra en el Apéndice C. Dicha encuesta no se basa en criterios de expertos, sino que mide la percepción social que generan los sistemas en cuestión, es por esta razón, que la misma se aplica a personas que son ajenas a la industria de la construcción. Teóricamente, la población que se muestreó es toda la población no experta en construcción del país y por ende, para ser estadísticamente preciso, con un nivel de confianza y un margen de error aceptables, se debe tener una muestra (cantidad de encuestados) que supera las posibilidades de este trabajo de graduación. Se logró realizar 11 encuestas y se utilizaron los valores promedios.

Para mediar ambas variables (aceptación social de la estética del sistema y aceptación social de la seguridad constructiva del sistema) se procedió a mostrarle a la población entrevistada una serie de imágenes que ilustran cada sistema constructivo aplicado a una vivienda terminada, una vez que se les muestran las imágenes, se procede a realizar las siguientes preguntas:

- ¿Qué calificación (Del 1 al 10) le da a la estética del sistema? Siendo 1 un sistema poco agradable y calificándose con 10 un sistema que se considera estéticamente agradable. En la herramienta comparativa se promedia los valores obtenidos y se adapta numéricamente a la escala]-5, 5[
- ¿Se sentiría seguro ante diferentes fenómenos (huracán, inundación, terremoto e incendio) habitando en una vivienda construida con ese sistema? La calificación se realiza del 1 al 10, siendo 1 un sistema que se considera poco seguro y 10 un sistema considerado altamente seguro. En la herramienta comparativa se promedia los valores obtenidos y se adapta numéricamente a la escala]-5, 5[

Metodología de cuantificación de otras variables

Las demás variables con las que se trabaja no se obtuvieron ni de cálculos realizados ni de encuestas, sino que se adquieren de una investigación bibliográfica. A continuación, se muestra cada variable y la forma en que se cuantificó.

- Costo del sistema: Para la comparación del costo de los diferentes sistemas constructivos, se procede a realizar un presupuesto como se indica en el Apéndice A. El sistema constructivo con el mayor costo se le coloca -5, el que posea el menor valor se le coloca un +5. Los demás sistemas obtendrán su valor en el rango] -5, +5 [dependiendo de su relación con estos límites.
- Incertidumbre en el presupuesto o inversión: Si el sistema se ha utilizado en el país y se cuenta con bases de datos de rendimientos y costos para presupuestar un proyecto con esa tecnología se coloca un +5, si no se tiene suficiente información para realizar un presupuesto preciso se califica el sistema con -5.
- Éxito que ha tenido el sistema en la construcción de viviendas de interés social en Costa Rica (Si se clasifica como sistema constructivo nacional) y posibilidad de éxito en Costa Rica (Si se clasifica como sistema constructivo Latinoamericano). Si el sistema se ha utilizado con éxito a nivel nacional o latinoamericano (entendiendo éxito como sinónimo de aceptación y uso del sistema) en vivienda social se coloca un +5, si el sistema no ha tenido acogida como sistema para vivienda social se califica con -5.
- Respaldo técnico del sistema en Costa Rica: Si el sistema se compra a una empresa que tenga representación en el país, respalde la calidad de este y asesore sobre su correcto uso se coloca un +5. Caso contrario se coloca un -5. Cabe aclarar que, si el sistema no tiene respaldo técnico en el país por parte del fabricante, pero el mismo es conocido por el gremio de la construcción se coloca un +5.
- Derechos de autor del sistema constructivo: De existir propiedad intelectual sobre el sistema se coloca un -5, caso contrario se coloca +5.
- Política y normativa costarricense: Si existe alguna norma técnica o política institucional que beneficie algún sistema constructivo o facilite su ejecución o diseño se coloca +5, caso contrario se coloca -5. Si esta variable no afecta el sistema se coloca un 0.
- Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel: Si el sistema está diseñado para que se utilice a un nivel se coloca -5, si el sistema permite la incorporación de un segundo nivel se coloca +5.
- Conocimiento y conveniencia de las propiedades estructurales: Si el sistema posee propiedades estructurales conocidas en el gremio de profesionales de ingeniería estructural, lo cual permite que estos realicen un correcto diseño estructural se coloca +5, caso contrario se coloca -5. Casos intermedios se califican con 0.

- Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos): Se analiza las posibilidades que ofrece el sistema constructivo de generar diferentes distribuciones espaciales. Un sistema que ofrezca libertad de generar distintas distribuciones en planta se califica como +5, un sistema rígido ya sea por el tamaño de sus elementos, por sus uniones o por su modulación que restrinja las posibles distribuciones arquitectónicas se califica con un -5.
- Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas y formas del muro): Un sistema que ofrezca libertad de generar propuestas volumétricas se califica como +5, un sistema rígido que por su naturaleza solo posibilite unas cuantas soluciones preestablecidas se califica con un -5.
- Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular y necesidad de retener terreno: Si el sistema se puede utilizar en diferentes topografías y además se puede utilizar para retener terreno se coloca un +5, un sistema que está diseñado solo para terreno plano y por lo tanto requiere estructuras adicionales para cambiar esta condición se califica con -5.
- Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales: Un sistema cuyas soluciones técnicas para unirlos con otros sistemas, subsistemas o materiales sean accesibles y sencillas se califica con un +5, por el contrario, los sistemas que requieren soluciones técnicas más complejas para unir los sistemas se califican con -5. Condiciones intermedias se califican con 0.
- Cantidad de obra industrializada: En este inciso se evalúa la cantidad de trabajo que requiere el proceso de construcción/montaje contra la cantidad de trabajo que requiere el proceso de producción de los elementos constructivos. Un sistema altamente artesanal se califica con -5. Un sistema donde la mayoría de los componentes que se utilicen sean realizados mediante un proceso industrial, de manera que el proceso constructivo de vuele un proceso de ensamblaje califica con +5. Casos intermedios se califican con 0.
- Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional: Si se tiene una industria consolidada que ofrezca de manera continua e ilimitada los materiales y elementos constructivos que requiere el sistema en el mercado nacional se coloca un +5. En caso de que la industria que fabrica el sistema sea limitada o su mercado sea discontinuo se coloca un -5.

- Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema: Si la empresa que produce el sistema posee un control que garantice la homogeneidad y calidad de los elementos o existan normativas nacionales e internacionales que regulen la producción del sistema para garantizar la calidad se evalúa con un +5. Caso contrario se coloca un -5.
- Complejidad técnica en la fabricación del sistema: Si el sistema constructivo requiere de maquinaria automatizada, una industria química altamente especializada, instalaciones especializadas o cualquier otro elemento que pueda disparar la inversión requerida se califica el sistema con un -5. Caso contrario se califica con +5.
- Cuidados que requiere el sistema en su transporte, manipulación y almacenamiento: Si el sistema requiere excesivo cuidado al ser transportado, manipulado y almacenado puesto que los elementos que lo componen son frágiles, susceptibles a despuntarse, rayarse o dañarse con leves golpes, además son sensibles al agua, sustancias químicas u otros se coloca un -5. En caso de que el sistema no requiera cuidados especiales se coloca un +5. Si el sistema requiere cuidado (no excesivo) para su manipulación, transporte y almacenaje, se coloca un 0.
- Vehículo necesario para el transporte y cuidado requerido: Este indicador fue ideado en función de proyectos de difícil acceso y por ende se dificulta el uso de vehículos pesados. Si el sistema constructivo, por el tamaño de sus elementos, requiere de un vehículo pesado y de grandes dimensiones para ser transportado se coloca un -5. Si por el contrario se puede transportar las piezas en un pick up se coloca +5.
- Peso de los componentes y maquinaria especial para izaje: Si los componentes de un sistema pesan menos de 25 kg pueden ser trabajados con facilidad por operarios (Pascual, 2003), por lo que se les asigna una calificación de +5. Pesos mayores de 25 kg se califican con -5.
- Facilidad de ejecución y control de calidad del sistema: En esta variable se mide la facilidad que ofrece el sistema en su construcción, montaje, trabajabilidad de materiales y control de calidad tomando en cuenta aspectos que no se han mencionado como: la posibilidad de trabajar en seco, la facilidad en la unión de las piezas, maquinaria o herramientas que se requieran y el nivel de precisión necesario en la ejecución. También en caso de ser necesario se toman en cuenta aspectos como facilidad de generar aberturas (para buques de puertas y ventanas) y facilidad de cortar elementos. Un sistema que sea positivo en

estos aspectos se evalúa con +5, por el contrario, un sistema constructivo que sea deficiente en estos aspectos se evalúa con un -5. Casos intermedios se evalúan con 0.

- Modulación: Si el sistema se puede trabajar de una forma modular se coloca +5, de lo contrario se coloca -5.
- Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción: Si el proceso de montaje del sistema constructivo requiere personal especializado y por ende se dificulta la autoconstrucción, se coloca un -5. Si no se requiere personal especializado y el sistema es lo suficientemente sencillo para permitir la autoconstrucción se coloca +5. Casos intermedios se califican con 0.
- Facilidad de aplicar pintura y sellador o mortero para pegar enchapes: Si al sistema se le puede aplicar directamente sellador, pintura y mortero de pega (acabados comunes en una vivienda de interés social) se califica con +5. Caso contrario se califica con -5.
- Facilidad de incorporar instalaciones electromecánicas: Si el sistema ya tiene previsto una abertura por donde pasar los ductos o cableado electromecánico se coloca un +5. Si el sistema no tiene ductos previstos para las instalaciones electromecánicas, pero de igual forma estas pueden incorporarse dentro del muro se coloca un 0. Si no se pueden realizar las instalaciones electromecánicas dentro del muro se coloca un -5.
- Facilidad de incorporar puertas y ventanas: Si el sistema posee elementos especiales que facilitan crear aberturas y o colocar banquetas y cargadores se coloca +5. Si el sistema permite generar aberturas para puertas y ventanas cortando el material o adicionando elementos externos se coloca 0. Si el sistema no permite crear aberturas se coloca -5.
- Tiempo de ejecución del sistema: Paralelo a la realización del presupuesto se calcula la cantidad de horas necesarias para ejecutar el sistema (ver Apéndice A). El sistema que requiera más horas para ser ejecutado se califica con +5, el que requiera menos se califica con -5. Casos intermedios se interpolan entre estos dos valores.
- Vida útil del sistema: Se obtienen los valores de vida útil del Manual de Valores Unitarios por Tipología del Ministerio de Vivienda. El sistema que posee la mayor vida útil se califica con +5, el que posea la menor vida útil se califica con -5. Casos intermedios se interpolan entre estos dos valores.
- Resistencia del sistema ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo (agua, viento y sol): Si el sistema por si solo es capaz de resistir la acción del interperimo, agentes contaminantes y sustancias químicas de uso común en viviendas se

califica con +5. Si el sistema requiere acabados para lograr su protección se coloca -5. En caso de que no sea necesario, pero sí recomendable utilizar acabados, se califica con 0.

- Resistencia ante golpes y cargas fortuitas: Si el sistema resiste golpes o cargas fortuitas como instalaciones electromecánicas que pueda tener una vivienda o mobiliario permanente se califica con +5. Caso contrario se califica con -5. Casos intermedios se califican con 0.
- Anidación o penetración de animales: En caso de que el material sea totalmente sólido y resistente por lo que un animal no puede penetrar ni moverse por él se coloca +5. Si el sistema es sólido, pero existe la posibilidad de que un animal penetre el mismo se coloca 0. Si existe la posibilidad de que un animal penetre el sistema y se mueva libremente por este se coloca -5.
- Ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos. Si el material es totalmente resistente e inerte a ataques biológicos como microorganismos, insectos, plantas y hongos se coloca un +5. Si el sistema puede sufrir a lo largo de su vida útil diferentes ataques biológicos se califica con -5.
- Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación: si el sistema constructivo posee materiales con una baja resistencia al fuego, elevada combustibilidad y una elevada contribución a la carga de fuego sobre la edificación se califica como -5. Por otra parte, si el sistema posee materiales con una alta resistencia al fuego, baja combustibilidad y baja contribución a las cargas de fuego sobre la edificación se coloca +5. Casos intermedios se califican con 0.
- Protección a los ocupantes durante un incendio: En este punto se mide la conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego), si un sistema es favorable en estos aspectos se coloca un +5. Caso contrario se coloca un -5. Casos intermedios se evalúan con 0.
- Construcción progresiva: En este punto se evalúa la facilidad que ofrece el sistema de cambiar su distribución en planta adaptándose a nuevos requerimientos. Un sistema sólido el cual se tenga que demoler para quitar una pared se califica con -5. Un sistema fácil de desmontar ya sea porque sus uniones son mecánicas o porque sus elementos son fáciles de cortar se califica con +5. Casos intermedios se califican con 0.

- Facilidad de reparaciones: Si el sistema requiere trabajos en obra húmedos, demoliciones o tener que desmontar el muro se califica con -5. Si basta con hacer obras menores se califica con +5.
- Nivel de acabado final: Este parámetro se evalúa en función de la forma en que normalmente se trabaja el acabado en cada sistema. Si el sistema no requiere ninguna intervención a nivel de acabados se coloca un +5. Por el contrario, si el sistema requiere algún tipo de acabado para tener una presentación aceptable se coloca -5.

5.3. Cuantificación de variables

En la presente sección se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de las distintas variables que toma en cuenta la herramienta comparativa. Para efecto de mayor claridad, los resultados se ordenan en el Cuadro 7, donde se observa la calificación y la explicación del porqué se dio dicha calificación.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
Costo del sistema	3,69	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 1 867 500 colones.	1,20	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 175 500 colones.	-5	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 942 500 colones.	1,84	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 095 500 colones.
Incertidumbre en el presupuesto o inversión	5	Por ser un sistema comúnmente utilizado en el país, sí se cuenta con la información suficiente para realizar una estimación de costos detallada.	5	Es el sistema constructivo más utilizado en el país (CFIA, 2016) y por ende, es el que cuenta con más información para realizar una estimación de costos detallada.	5	El sistema se utiliza ampliamente en el país y cuenta con información suficiente para realizar una estimación de costos detallada.	5	El sistema se utiliza ampliamente en el país y cuenta con información suficiente para realizar una estimación de costos detallada.
Éxito que ha tenido el sistema en la construcción de viviendas de interés social en Costa Rica (si el sistema se utiliza a nivel nacional) o posibilidad de que tenga éxito en el país (si el sistema se utiliza en Latinoamérica)	5	Según el CFIA (2016), este es el sistema más utilizado en el país para vivienda social	5	Según el CFIA (2016) este sistema es el más utilizado en el país y en vivienda social es el segundo más utilizado.	-5	Pese a que el sistema se conoce en el país. Según el CFIA (2016) no es común su aplicación en vivienda social (menos del 1%)	-5	Pese a que el sistema sí se utiliza a nivel nacional. Según el CFIA (2016) no es común su aplicación en vivienda social (menos del 0,5 %)
Respaldo técnico del sistema en Costa Rica:	5	Existen en el país múltiples empresas que comercializan este sistema y algunas como Productos de Concreto dan soporte técnico y posee manuales altamente detallados.	5	Existen en el país múltiples empresas que comercializan este sistema como: PC, Pedregal, Bloquera el progreso y Concrepal, algunas como Productos de Concreto dan soporte técnico y posee manuales altamente detallados.	5	Algunas empresas que comercializan el sistema a nivel nacional como: Panacor, Covintec y Panelco, dan soporte técnico y poseen manuales técnicos para su uso.	5	Existen empresas en el país como Metalco que comercializan la estructura de este sistema y dan soporte técnico.
Derechos de autor del sistema constructivo	5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual
Política y normativa costarricense	5	El CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	5	El CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	5	El CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	5	El CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
1,7	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 109 500 colones.	5	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 1 705 500 colones.	-3	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 698 500 colones.	3	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 1 952 500 colones.	1,99	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 077 000 colones.
5	Este sistema es utilizado en el país y se tienen registros de rendimientos y costos.	-5	A nivel nacional solo una empresa utiliza este sistema y al momento de realizar este trabajo no se tienen registros estadísticos de rendimientos.	-5	El sistema se ha utilizado poco en el país y la información necesaria para realizar un presupuesto detallado la manejan solamente las empresas que han trabajado con este sistema.	-5	El sistema sí se ha utilizado en el país, sin embargo, sus rendimientos la manejan solamente las empresas que han trabajado con este sistema.	-5	Los rendimientos y costos a nivel nacional relacionados con el proceso de formateo de este sistema solo los tienen a disposición las empresas constructoras que han utilizado este sistema las cuales son pocas.
-5	Pese a que el sistema sí se utiliza a nivel nacional. Según el CFIA (2016) no es común su aplicación en vivienda social (menos del 1%)	-5	El sistema se diseñó especialmente para vivienda social, no obstante, dada la cantidad de plástico reciclado que se requiere, en su país de origen (Colombia) solo existe una empresa que lo produce con capacidad limitada. En Costa Rica solo se ha utilizado en casos puntuales	-5	Este sistema sólo se utiliza con frecuencia en países con una industria maderera importante como Chile. Lo anterior no es el caso de Costa Rica.	-5	El sistema se ha probado para la construcción de vivienda social en diferentes partes de Latinoamérica como Colombia, Uruguay y México, sin embargo, en ninguno de estos países se usa extensamente.	5	El sistema se ideó para vivienda social y su éxito radica en la repetición. Según el fabricante, en México, y demás países latinoamericanos, sí se ha usado extensamente para vivienda social, con el inconveniente que se requiere un proyecto con múltiples viviendas repetidas para ser rentable.
5	El sistema es conocido en el gremio de profesionales de la construcción.	5	Existe en el país un socio de la empresa colombiana que fabrica este producto llamada EKONJUNTO el cual da respaldo técnico en caso de ser necesario	-5	Las empresas que fabrican este sistema no tienen representación directa en el país, además, el sistema no es tan conocido en el gremio de la construcción.	5	La empresa ZuperCasa distribuye y da soporte técnico para este sistema en el país.	5	La empresa que fabrica este sistema da soporte técnico tanto en el diseño de la obra como en su ejecución.
5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	-5	El sistema está patentado en Colombia.	5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	-5	El sistema está patentado	-5	El sistema está patentado
5	El CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	0	Este sistema constructivo no está regulado a nivel nacional. Tampoco va en contra de ninguna normativa a nivel nacional.	0	Este sistema constructivo no está regulado a nivel nacional. Tampoco va en contra de ninguna normativa a nivel nacional.	5	Como la estructura de este sistema es un muro de concreto, el CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	5	Como la estructura de este sistema es un muro de concreto, el CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación
Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	-5	El sistema está diseñado para resistir solo un nivel	5	Si se puede realizar un segundo nivel (siempre que se tome encuentra en el diseño estructural)	5	Si se puede realizar un segundo nivel (siempre que se tome encuentra en el diseño estructural)	5	Si se puede realizar un segundo nivel (siempre que se tome encuentra en el diseño estructural)
Conocimiento y conveniencia de las propiedades estructurales	5	El material que utiliza el sistema es concreto reforzado, el cual tiene propiedades conocidas y favorables en términos ingenieriles (resistencia, deformabilidad, dureza e isotropía).	5	El material que utiliza el sistema es concreto reforzado, el cual tiene propiedades conocidas y favorables en términos ingenieriles (resistencia, deformabilidad, dureza e isotropía).	0	El sistema Panelco está conformado por dos materiales: poliestireno y concreto. Pese a que la empresa posee estudios técnicos de capacidad cortante, portante y flexionarte del sistema con ambos materiales trabajando en conjunto, en la práctica no se conocen tanto las propiedades de esta combinación como se conocen las del concreto, acero y madera.	5	El material que se utiliza es acero, el cual tiene propiedades favorables y conocida en términos ingenieriles (resistencia, deformabilidad, dureza e isotropía). La relación resistencia/ peso del acero es muy alta por lo que es muy eficiente
Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	-5	El sistema se debe trabajar de una manera ortogonal y siguiendo las dimensiones modulares de las baldosas.	5	Cuando el sistema de mampostería se trabaja de forma confinada, es decir, incorporando elementos de concreto, se pierden las restricciones modulares del sistema, además, se puede trabajar con configuraciones no ortogonales incluyendo diagonales, por ejemplo, y soluciones como paredes curvas.	5	El sistema Covintec es flexible, permitiendo realizar muros curvos y en diagonal, además, los paneles se pueden cortar a las dimensiones requeridas evitando tener adaptarse a las dimensiones modulares.	5	El sistema de acero es de los más flexibles que existen para realizar una distribución en planta.
Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	-5	Pese a que se comercializan las piezas de este sistema en diferentes dimensiones y geometrías, en general, el sistema es rígido y solo permite soluciones preestablecidas	5	El sistema es flexible para general una serie de formas, aberturas y volúmenes.	5	El sistema Covintec es ampliamente versátil para crear todo tipo de formas, aberturas y volúmenes incluyendo los que poseen superficies que no son planas.	5	La estructura de acero de este sistema se puede adaptar a múltiples formas y volumen

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
1,7	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 109 500 colones.	5	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 1 705 500 colones.	-3	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 698 500 colones.	3	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 1 952 500 colones.	1,99	El costo total de las paredes y cimentación de una vivienda de interés social con este sistema es de 2 077 000 colones.
5	Este sistema es utilizado en el país y se tienen registros de rendimientos y costos.	-5	A nivel nacional solo una empresa utiliza este sistema y al momento de realizar este trabajo no se tienen registros estadísticos de rendimientos.	-5	El sistema se ha utilizado poco en el país y la información necesaria para realizar un presupuesto detallado la manejan solamente las empresas que han trabajado con este sistema.	-5	El sistema sí se ha utilizado en el país, sin embargo, sus rendimientos la manejan solamente las empresas que han trabajado con este sistema.	-5	Los rendimientos y costos a nivel nacional relacionados con el proceso de formateo de este sistema solo los tienen a disposición las empresas constructoras que han utilizado este sistema las cuales son pocas.
-5	Pese a que el sistema sí se utiliza a nivel nacional. Según el CFIA (2016) no es común su aplicación en vivienda social (menos del 1%)	-5	El sistema se diseñó especialmente para vivienda social, no obstante, dada la cantidad de plástico reciclado que se requiere, en su país de origen (Colombia) solo existe una empresa que lo produce con capacidad limitada. En Costa Rica solo se ha utilizado en casos puntuales	-5	Este sistema sólo se utiliza con frecuencia en países con una industria maderera importante como Chile. Lo anterior no es el caso de Costa Rica.	-5	El sistema se ha probado para la construcción de vivienda social en diferentes partes de Latinoamérica como Colombia, Uruguay y México, sin embargo, en ninguno de estos países se usa extensamente.	5	El sistema se ideó para vivienda social y su éxito radica en la repetición. Según el fabricante, en México, y demás países latinoamericanos, sí se ha usado extensamente para vivienda social, con el inconveniente que se requiere un proyecto con múltiples viviendas repetidas para ser rentable.
5	El sistema es conocido en el gremio de profesionales de la construcción.	5	Existe en el país un socio de la empresa colombiana que fabrica este producto llamada EKONJUNTO el cual da respaldo técnico en caso de ser necesario	-5	Las empresas que fabrican este sistema no tienen representación directa en el país, además, el sistema no es tan conocido en el gremio de la construcción.	5	La empresa ZuperCasa distribuye y da soporte técnico para este sistema en el país.	5	La empresa que fabrica este sistema da soporte técnico tanto en el diseño de la obra como en su ejecución.
5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	-5	El sistema está patentado en Colombia.	5	El sistema no está protegido por propiedad intelectual	-5	El sistema está patentado	-5	El sistema está patentado
5	El CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	0	Este sistema constructivo no está regulado a nivel nacional. Tampoco va en contra de ninguna normativa a nivel nacional.	0	Este sistema constructivo no está regulado a nivel nacional. Tampoco va en contra de ninguna normativa a nivel nacional.	5	Como la estructura de este sistema es un muro de concreto, el CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.	5	Como la estructura de este sistema es un muro de concreto, el CSCR en su capítulo de vivienda regula este sistema lo cual facilita el correcto diseño y construcción.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular y necesidad de retener terreno.	-5	El sistema posee elementos especiales que permiten sostener terreno y trabajar con desniveles, no obstante, lo anterior no está ideado para topografías con altas pendientes o muros de más de 1 m.	5	Este sistema sí permite trabajar con topografía irregular también los muros de mampostería se pueden utilizar como muros de retención.	5	Este sistema sí permite trabajar con topografía irregular, también, según el fabricante, los muros de Panelco se pueden utilizar como muros de retención	-5	Para poder utilizar los muros de Steel Framing como soporte del terreno o en topografías complicadas, no es conveniente utilizar Gypsum que es el forro con el que se está trabajando y comparando este sistema.
Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	-5	Como los elementos ya vienen terminados de fábrica y son de concreto, no es fácil unirlos a muros de otros sistemas.	5	Este sistema mediante conectores metálicos embebidos en el concreto de relleno se une a otros sistemas metálicos o de madera y mediante el refuerzo vertical y horizontal de acero se une a estructuras de concreto, mampostería o Covintec.	5	Como se observa en su manual técnico, mediante conexiones húmedas de concreto y acero de refuerzo este sistema se puede unir a otras estructuras de concreto, mampostería y Covintec, además con uniones metálicas embebidas en elementos de concreto diseñados dentro del muro Covintec, se puede unir el sistema con estructuras metálicas o de madera.	5	La estructura de acero de este sistema se puede soldar a cualquier unión metálica que a su vez esté embebida en una estructura de concreto, apernada a una estructura de madera o soldada a otra estructura de acero.
Cantidad de la obra industrializada	5	El sistema es predominantemente industrializado.	-5	Este sistema es altamente artesanal, solo los bloques provienen de la industria, el resto de obra se realiza en sitio.	-5	Pese a que los paneles vienen listos de fábrica, la mayor parte de la obra (que involucra trabajo en húmedo) se hace en el sitio. Lo anterior queda demostrado en el cálculo de horas hombre, al ser el segundo sistema que más horas consumió en su ejecución.	5	Lo usual al momento de trabajar con este sistema es que todas las piezas metálicas vengan listas de fábrica. En sitio solamente se hacen obras menores como colocar el gypsum y la lana de vidrio.
Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	5	El sistema se comercializa en el país de manera ininterrumpida.	5	El sistema se comercializa en el país de manera ininterrumpida.	5	El sistema se comercializa en el país de manera ininterrumpida.	5	Todos los componentes de este sistema se comercializan de forma continua en el país.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
-5	Para poder utilizar los muros de Steel Framing como soporte del terreno o en topografías complicadas, no es conveniente utilizar Gypsum que es el forro con el que se está trabajando y comparando este sistema.	-5	El sistema está ideado para ser trabajado en un terreno plano	-5	Este sistema por estar compuesto de materiales como el poliuretano y el conglomerado, no se recomienda que esté en contacto directo con el agua o suelo.	5	Este sistema sí se puede utilizar como muro de retención o en condiciones topográficas adversas (el Manual Técnico explica cómo se debe trabajar en este caso).	-5	El sistema no está diseñado para ser utilizado como muro puesto que requiere formaleta a ambos lados.
5	La estructura de madera de este sistema se puede apernar a una unión metálica que a su vez esté embebida en una estructura de concreto, apernada a una estructura de madera o soldada a una estructura de acero.	-5	Se pueden utilizar elementos metálicos para unir este sistema con otro, sin embargo, no hay certeza de su comportamiento ingenieril.	-5	Por el bajo espesor de la lámina de conglomerado, este sistema requiere conexiones laboriosas para unirlo con otro sistema.	5	Este sistema se une a otros mediante conectores metálicos o uniones húmedas antes de chorrear el concreto.	5	Este sistema se une a otros mediante conectores metálicos o uniones húmedas antes de chorrear el concreto.
5	Lo usual cuando se trabaja con este sistema es que todas las piezas de madera vengan cortadas, cepilladas y tratadas de fábrica. En el sitio el trabajo es principalmente de carpintería para hacer coincidir las piezas.	5	Todo el sistema es industrializado, en sitio solo se ensamblan los elementos.	5	Este sistema usualmente se trabaja con paneles que ya vienen cortados de fábrica. A nivel de paredes en sitio únicamente se unen estos paneles.	0	En este sistema todos los paneles vienen listos de fábrica. Pese a lo anterior, existe un importante trabajo manual especialmente en la elaboración del armado y en la fabricación y chorreo del concreto.	0	En este sistema todos los paneles vienen listos de fábrica. Pese a lo anterior, existe un importante trabajo manual especialmente en la elaboración del armado y en la fabricación y chorreo del concreto.
5	Todos los componentes de este sistema se comercializan de forma continua en el país.	-5	Solo existe una subsidiaria en el país que provee el sistema de una forma limitada.	-5	El sistema se importa y utiliza en el país, pero en proyectos puntuales. El suministro de este sistema en el mercado no es continuo	-5	El sistema se importa y utiliza en el país, pero en proyectos puntuales. El suministro de este sistema en el mercado no es continuo	-5	La empresa fabrica el encofrado de un proyecto a la medida por lo que se debe hacer el pedido a la fábrica e importarlo.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable a cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	5	La empresa PC fabrica este sistema de manera industrial siguiendo las normas ASTM e INTECO concernientes al concreto.	5	La empresa PC fabrica este sistema de manera industrial siguiendo las normas ASTM e INTECO concernientes al concreto.	5	El poliuretano se fabrica mediante una avanzada industria química siguiendo diferentes normas como las ASTM E-117 para garantizar su apariencia, densidad, comportamiento ante el fuego, resistencia ante agentes biológicos, así como sus propiedades termoacústicas. La malla de metal también sigue normas técnicas principalmente para garantizar su resistencia a tensión y galvanizado (ASTM A90-78).	5	Los tres componentes principales de este sistema se producen industrialmente (acero, lana de vidrio y forros de gypsum). Los perfiles metálicos del Steel Framing se producen a nivel nacional de forma industrial, además se garantiza la calidad bajo norma ASTM A653 SS (structural steel). El acero que se utiliza en la fabricación de estos elementos se importa verificando que en su producción se sigan las normas ASTM A1003.
Complejidad técnica en la fabricación del sistema	5	Fabricar las piezas de concreto del sistema no requiere equipo especial, industria química o instalaciones especializadas	5	Fabricar las piezas de concreto del sistema no requiere equipo especial, industria química o instalaciones especializadas	-5	Para producir el poliuretano y acero de este sistema se requiere de una industria química importante.	-5	La producción de elementos de acero, gypsum y fibra de vidrio del sistema requiere una industria altamente tecnificada.
Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	0	Las piezas (especialmente las columnas) deben manipularse con cuidado para que no sufran golpes durante su transporte. También, al ser fabricados con concreto, estos elementos son frágiles y propensos a quebrarse en las puntas. El manual técnico recomienda tener un lugar protegido de la lluvia y acondicionado para almacenar estos elementos.	0	Por ser los bloques elementos huecos, de concreto y sin refuerzo, los mismo son propensos a quebrarse o despuntarse si no se transportan con cuidado.	0	Se debe procurar que, al transportar los paneles, estos no se mojen ni se ensucien, además no se debe colocar pesos importantes encima de los paneles y estos deben ser transportados en forma apilada.	0	Las estructuras de acero se deben cuidar de que no se rayen y pierdan galvanizado. La fibra de vidrio se debe transportar en rollos sin ningún tipo de peso encima, por último, las láminas de gypsum deben transportarse almacenadas en su canto cuidando que no se despunten.
Vehículo necesario para el transporte	-5	Se recomienda un vehículo grande (camión) para el transporte de este sistema ya que posee elementos pesados y otros (como las columnas) de dimensiones importantes.	5	Los mampuestos pueden ser transportados en un vehículo estilo pick-up.	-5	Por las dimensiones del panel (1,22 x 2,44) y los cuidados que este requiere, se recomienda utilizar un camión para el transporte.	-5	Los paneles de gypsum tienen una medida de (1,22 x 2,44) y pueden existir elementos metálicos de 6 m en caso de soleras, por lo que se recomienda utilizar un camión.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
5	En los últimos años INTECO ha hecho esfuerzos por normalizar la industria maderera en el país introduciendo las normas: INTE 06-07-02-2014 (Madera aserrada para uso general) y INTE 06-07-03-2011 (Madera estructural)	-5	No existe a nivel nacional normas que regulen este material.	5	Las industrias que producen este sistema en Chile sí cuentan con normas que controlan la producción de este sistema como la norma ABNT MB1562 para regular la inflamabilidad del sistema, la norma IRAM 11585 para regular los ensayos estructurales que se le debe realizar a estos paneles y la norma Norma NCh 1198 para regular la calidad de madera que se utiliza en el conglomerado.	5	La empresa Azembla que produce este sistema en Colombia posee altos estándares de calidad y homogeneidad que incluyen inspecciones visuales y ensayos al azar. Cabe destacar que esta empresa posee la certificación ISO 9001. Por último, en el Manual Técnico se especifican todas las normativas ASTM que cumple el sistema referente a las pruebas técnicas que se le realizan los paneles de vinil para garantizar sus propiedades mecánicas y de resistencia al fuego y a la intemperie.	5	La fabricación de la formaleta se hace a nivel industrial-robotizado con todos los controles de calidad pertinentes al acero, incluso se hace una prueba del sistema antes de entregarlo.
-5	La producción de elementos de gypsum y fibra de vidrio del sistema requiere una industria importante.	5	El sistema no requiere una industria muy especializada para producir los elementos. Se necesita básicamente una máquina llamada aglutinador que se encarga de moler el plástico, luego otra máquina llamada extrusora que calienta el material y lo prensa en los distintos moldes.	-5	Para producir el poliuretano de este sistema se requiere de una industria química importante.	-5	Para producir el vinil de este sistema se requiere de una industria química importante.	-5	La producción de elementos de acero requiere una industria altamente tecnificada.
0	La fibra de vidrio se maneja en rollos sin ningún tipo de peso encima y protegida del agua, mientras que las láminas de gypsum deben transportarse almacenadas en su canto cuidando que no se despunten.	5	El sistema no requiere cuidados especiales para su traslado. Las piezas de plástico son inertes al agua u otras sustancias, además son resistentes a los golpes o a rayaduras, por último, estas piezas no son frágiles.	0	El sistema requiere un cuidado (no excesivo) en su manipulación, transporte y almacenaje.	-5	Se debe seguir las recomendaciones que da el manual con respecto al apilamiento de los elementos ya que al estar hechos estos de PVC de capa delgada los mismos son propensos a deformarse ante cargas. Se debe tener especial cuidado en las caras de los paneles, puesto que estas constituyen el acabado final de la vivienda y por ende no se pueden rayar o astropear.	5	Al ser los paneles de aluminio tratado, los mismos son altamente resistentes a golpes y a sustancias químicas.
-5	Los paneles de gypsum tienen una medida de (1,22 x 2,44) y pueden existir elementos de 6 m en caso de soleras, por lo que se requiere un camión grande (más de 4,5 X 2,5 m de cajón)	0	Los mampuestos del sistema pueden transportarse en cualquier vehículo, sin embargo, las vigas y columnas pueden tener dimensiones de 2,6 m, por lo que se requiere un camión pequeño (aproximadamente 4,5 m X 2,5 m en el cajón).	-5	En este sistema se realizan de manera completa las paredes en fábrica para luego transportarlas y ensamblarlas. Dado lo anterior, se requiere un camión grande para transportar los paneles.	0	Los paneles de este sistema pueden llegar a tener más de 3 m de dimensión, por lo que se requiere un camión pequeño (aproximadamente 4,5 m X 2,5 m en el cajón).	-5	Debido a que el encofrado de este sistema se diseña especialmente para cada proyecto, pueden existir paneles de dimensiones importantes. Dado lo anterior se recomienda utilizar un camión grande (más de 4,5 m X 2,5 m de dimensiones en el cajón)

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
Peso de los componentes y equipo especial para izaje	-5	En este sistema la mayoría de los componentes pesan entre 40 Kg y 100 Kg.	5	Los bloques de mampostería pesan menos de 25 Kg.	5	Los paneles pesan menos de 12 Kg cada uno	5	Según la empresa Metalco, los elementos que se utilizan en este tipo de estructura poseen pesos inferiores a 25 Kg
Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	5	El sistema es sencillo y de fácil armado. En su mayor parte se trabaja en seco, uniendo las baldosas de una forma machimbrada a las columnas y no se requieren herramientas o maquinaria especial. Cabe resaltar que las fundaciones de este sistema son puntuales, lo cual facilita la ejecución de estas. Dado lo sencillo del proceso constructivo y el tamaño de sus elementos, el control de calidad se facilita.	-5	Pese a ser el sistema más utilizado para construir vivienda en el país, la mampostería no es sencilla de ejecutar, esto principalmente por la calidad que se debe lograr y el control que se debe llevar en el aparejo de los bloques, elaboración del concreto y colocación del acero.	0	Los paneles son fáciles de manipular, unir y crear aberturas. Pese a lo anterior, el sistema requiere la fabricación de concreto y el correcto colocado del concreto en las superficies del panel.	5	En este sistema todos los componentes se trabajan en seco, además, la estructura metálica viene lista de fábrica y en sitio únicamente se deben unir mediante pernos enroscados los diferentes elementos. Por otra parte, el Gypsum se instala fácilmente únicamente atornillándolo las láminas.
Modulación	5	El sistema es modular	5	El sistema integra con el que se trabaja sí es modular.	5	El sistema se puede trabajar de forma modular	5	El sistema se puede trabajar modularmente de manera que los elementos estructurales coincidan con las dimensiones de las placas de gypsum
Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	0	Pese a que en general el sistema es sencillo de armar puesto que las piezas ya vienen listas de fábrica, se requiere personal especializado principalmente al hacer el trazado, al izar las columnas y embeberlas en el concreto de la cimentación, puesto que de este proceso dependerá la calidad final de todo el proyecto.	-5	Por la cantidad de obra que se debe realizar en sitio y las calidades que se deben cumplir, se recomienda que el proceso constructivo sea ejecutado por obreros especializados	-5	Esta obra requiere la inspección de personal capacitado principalmente al fabricar y colocar el concreto, izar los paneles y reforzar los mismos.	0	Pese a que el sistema trae las piezas listas de fábrica, se recomienda la supervisión de un experto para asegurar que cada pieza sea colocada en el sitio en que le corresponde.
Facilidad de aplicar pintura y sellador o mortero para pegar cerámica	5	Se puede aplicar pintura, sellador y mortero de pega directamente sobre las baldosas.	5	Se puede aplicar pintura, sellador y mortero de pega directamente sobre la mampostería.	5	Se puede aplicar pintura, sellador y mortero de pega directamente sobre el repello fino del Panelco	5	Se puede aplicar pintura, sellador y mortero de pega directamente sobre el panel de Gypsum.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación
5	Los elementos de madera que se utilizan en este sistema poseen pesos inferiores a 25 Kg	5	Todos sus componentes pesan menos de 25 Kg	-5	Los paneles del sistema tienen pesos en el rango de 25 Kg a 100 Kg	5	Los paneles de sistema pesan menos de 25 Kg	-5	Los paneles del sistema tienen un peso que está en el rango de 25 Kg a 50 Kg
0	Este sistema, al igual que el Steel Framing se trabaja en seco y sus elementos estructurales vienen cortados de fábrica, sin embargo, se requiere trabajo adicional de carpintería en el sitio para hacer coincidir los diferentes elementos constructivos. Además, se requiere un importante control de calidad en la selección y tratado de la madera para garantizar sus propiedades.	5	EL sistema es de fácil y rápido ensamblaje, además se trabaja de forma seca. Este sistema posee la ventaja de que las piezas ya vienen terminadas de fábrica y se unen mediante una unión mecánica sin requerir de un alto nivel de precisión u obras adicionales.	5	En este sistema se trabaja totalmente en seco, los paneles vienen listos de fábrica y en sitio únicamente se atornillan a la base y unen a otros paneles mediante pegamento y clavos. De requerir cortar un panel, esto se puede hacer con una caladora.	0	Los paneles son livianos y fáciles de unir (dada su unión machimbrada), además el sistema está diseñado para facilitar la inclusión de buques de puertas y ventanas. Pese a lo anterior, el sistema requiere la elaboración de concreto y chorreo de este dentro de los paneles, además de la fabricación del refuerzo.	0	El sistema de encofrado Peri está diseñado para poseer pocas piezas y facilitar el armado y desarmado. Pese a lo anterior, el sistema requiere la elaboración de concreto y chorreo de este dentro de los paneles, además de la fabricación del refuerzo.
5	El sistema se puede trabajar modularmente de manera que los elementos estructurales coincidan con las dimensiones de las placas de gypsum	5	El sistema es modular	5	Se puede trabajar en forma modular	5	El sistema es modular, se utilizan módulos de 33.3 cm	5	Pese a que el sistema se fabrica especialmente para cada diseño, la empresa da la posibilidad de utilizar formaleas prefabricadas que funcionan de forma modular.
-5	Por ser un sistema de madera, se requiere de mano de obra calificada que sepa de carpintería.	5	Este sistema constructivo es lo suficientemente simple para no requerir mano de obra calificada y por lo tanto permitir la autoconstrucción	0	Pese a que en este sistema los paneles vienen listos de fábrica y las uniones entre estos son fáciles de ejecutar, se requiere la supervisión de personal calificado para asegurar que dichos paneles sean colocados en la posición correcta y con la precisión requerida.	-5	Dado que este sistema requiere de una correcta coordinación en la colocación de los paneles RBS, así como la colocación y colado de concreto, se recomienda que este sistema sea ejecutado por personal capacitado.	-5	Dado que este sistema requiere de una correcta coordinación en la colocación de los paneles RBS, así como en la fabricación y colado de concreto, se recomienda que sea ejecutado por personal capacitado.
5	Se puede aplicar pintura, sellador y mortero de pega directamente sobre el panel de Gypsum.	-5	EL sistema admite pintura directamente sobre sus bloques, sin embargo, para pegar cerámica, se requiere clavar sobre los mampuestos plásticos láminas de gypsum.	-5	No se recomienda pintar o colocar directamente mortero de pega y cerámica sobre este sistema, sino que se debe primero colocar una barrera antihumedad y luego clavar algún panel como Gypsum o también aplicar mortero.	-5	Las láminas de PVC de este sistema se pueden pintar directamente, sin embargo, el mortero de pega no se adhiere requiriendo químicos especiales para adherir la cerámica al vinil.	5	Se puede aplicar pintura, sellador y mortero de pega directamente sobre el concreto.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
Facilidad de incorporar instalaciones electromecánicas	5	El sistema posee columnas especiales que permitir la incorporación de cableado y tubería dentro de estas.	5	Las obras electromecánicas se pueden colocar dentro de los bloques que no van rellenos de concreto	0	El sistema no incluye ductos para colocación de las obras electromecánicas, sin embargo, dentro del panel se puede dejar un espacio cortando espuma y así colocar las previstas electromecánicas	5	Usualmente los fabricantes de perfiles metálicos de este sistema poseen perfiles especiales con aberturas que permiten el paso de ductos.
Facilidad de incorporar puertas y ventanas	5	El sistema está modulado para permitir la incorporación de buques de puertas y ventanas. También posee columnas especiales con ménsulas que facilitan la incorporación de banquinas y dinteles	0	Con la ayuda de elementos de concreto se pueden fabricar banquinas y dinteles, además, dado que la mampostería se trabaja traslapada, cortando mampuestos se pueden realizar aberturas.	0	Se pueden realizar aberturas cortando el panel y reforzando con malla electrosoldada los bordes de este según diseño estructural	5	Este sistema se modula para incorporar aberturas de puertas y ventanas
Tiempo de ejecución	3,35	Se requirieron 27 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	-5	Se requirieron 56 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	-3	Se requirieron 50 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	0,19	Se requirieron 38 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.
Vida útil del sistema	5	La vida útil de viviendas prefabricadas de concreto es de 60 años (Ministerio de Hacienda, 2015)	5	La vida útil de viviendas de mampostería es de 60 años (Ministerio de Hacienda, 2015)	5	La vida útil de viviendas de Panelco es de 60 años (Ministerio de Hacienda, 2015)	-5	La vida útil de las estructuras de acero con doble forro es de 40 años (Ministerio de Hacienda, 2015)
Resistencia del sistema ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo (agua, viento y sol)	0	El concreto es altamente resistente al interperimo (agua, viento y sol), a la oxidación y a sustancias químicas de uso común en las viviendas. Pese a lo anterior, se recomienda una capa de pintura y sellador.	0	El concreto es altamente resistente al interperimo (agua, viento y sol), a la oxidación y a sustancias químicas de uso común en las viviendas. Pese a lo anterior, se recomienda una capa de pintura y sellador.	0	Por su recubrimiento en concreto el sistema resiste interperimo (agua, viento y sol), oxidación y sustancias químicas de uso común. Además, el poliuretano es un material inerte y resistente a la humedad. Pese a lo anterior, se recomienda una capa de pintura y sellador.	-5	Las láminas de gypsum (forro) de este sistema son químicamente inertes y pueden ser resistentes al agua, pero no se recomienda la exposición directa y constante. Se recomienda aplicar pintura periódicamente y en casos de alta exposición aplicar mortero.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	No	Explicación
0	Los elementos electromecánicos se pueden pasar dentro del panel, sin embargo, se necesita taladrar las piezas de madera	5	Existen bloques especiales que tienen aberturas y ductos para pasar cableado o instalar tomas	0	El sistema SIP no posee ductos internos sin embargo (Según el manual técnico) se puede hacer un agujero con una barra metálica caliente en el poliuretano del panel y luego hacer las salidas cortando dicho panel.	0	El sistema posee elementos especiales (en las uniones) que posee ductos para el paso de instalaciones eléctricas. No obstante, estos ductos no son lo suficientemente grandes para el paso de instalaciones mecánicas.	0	El sistema no posee ductos para el paso de instalaciones, sin embargo, estos se pueden dejar previstos antes de chorrear el concreto, teniendo todas las consideraciones estructurales.
5	Este sistema se modula para incorporar aberturas de puertas y ventanas	5	Entre las piezas del sistema se tienen dinteles, banquinas y elementos verticales que se ensamblan con los mampuestos de plástico permitiendo crear aberturas.	0	Se puede incorporar aberturas para puertas y ventanas cortando el panel e introduciendo elementos de madera en los bordes de este	5	El sistema posee dentro de su repertorio de piezas marcos para puertas y ventanas que se adaptan a la modulación de los paneles (333 mm), permitiendo crear aberturas.	5	Dado que el sistema se diseña para cada proyecto, ya de fábrica vienen las formaletas que se requieren para las aberturas de puertas y ventanas
0,9	Se requirieron 42 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	5	Se requirieron 22 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	-1,31	Se requirieron 43 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	3,1	Se requirieron 28 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.	-1,2	Se requirieron 50 días laborales según el presupuesto realizado, lo anterior tomando en cuenta un solo trabajador y 8 horas laborales por día.
-5	La vida útil de las estructuras de madera de teca con doble forro es de 40 años (Ministerio de Hacienda, 2015)	5	No se cuenta con el valor de vida útil del Bloqueplast, sin embargo, el fabricante asegura que es mayor que la del concreto.	-5	Debido a que el Ministerio de Vivienda no posee la cuantificación de la vida útil de este sistema se supone que esta es de 40 años (igual que el Wood Framing)	5	La vida útil de viviendas de concreto es de 60 años (Ministerio de Hacienda, 2015)	5	La vida útil de viviendas de concreto es de 60 años (Ministerio de Hacienda, 2015)
-5	A la madera se le da una protección para resistir a la intemperie y humedad, además, está protegida de la intemperie por el forro exterior. Las láminas de gypsum son químicamente inertes y pueden ser resistentes al agua, pero no se recomienda la exposición directa y constante. y en casos de alta exposición aplicar mortero.	5	Según el fabricante el plástico del que está hecho este sistema es inerte a contaminantes atmosféricos y sustancias químicas.	-5	Los tableros que utiliza el sistema no están hechos para resistir la acción directa del agua por lo que requiere la incorporación de soluciones como mortero para lograr protección	5	El PVC que se utiliza es inerte a contaminantes atmosféricos, sustancias químicas de uso común en viviendas y a el interperimo (agua, viento y sol). En su interior el concreto también es resistente al interperimo, oxidación y sustancias químicas de uso común en las viviendas	0	El producto del sistema (muros de concreto reforzado) también es resistente al interperimo, oxidación y sustancias químicas de uso común en las viviendas. Pese a lo anterior, se recomienda una capa de pintura y sellador.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Sistema de panel emparedado con núcleo de poliuretano y exterior de concreto		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación
Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	5	El sistema posee 3,6 cm de espesor de concreto reforzado que es resistente a golpes y cargas fortuitas	5	Dado que se trabaja con concreto, este sistema es resistente a golpes y cargas fortuitas	0	El sistema tiene 2,4 cm de recubrimiento por lo que los otros sistemas de concreto evaluados.	0	El forro de gypsum supera la prueba de resistencia a golpes ASTM D-5420, sin embargo, es menos resistente que el concreto y si se quiere hacer una instalación electromecánica importante el manual aconseja reforzar el panel.
Resistencia a la anidación o penetración de animales	5	El sistema es resistente a la penetración de animales y no posee cavidades donde aniden los mismos	0	El sistema es resistente a la penetración de animales y en caso de que algún roedor logre entrar, sus cavidades no están conectadas debido a que existe refuerzo (y concreto) vertical y horizontal.	0	El sistema es resistente a la penetración de animales y en caso de que algún roedor logre entrar el poliuretano es resistente al paso de este y no es comestible.	-5	Pese a que ninguno de los componentes de este sistema es comestible por los roedores, el espacio entre la lana de vidrio y el forro en ocasiones es utilizado como escondite por los roedores
Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	5	Las estructuras de concreto al aplicarles sellador y pintura y, además, darles mantenimiento (como se supone en este trabajo) no debería presentar problemas por ataques biológicos	5	Las estructuras de concreto al aplicarles sellador y pintura y, además, darles mantenimiento (como se supone en este trabajo) no debería presentar problemas por ataques biológicos	5	Las estructuras de concreto al aplicarles sellador y pintura y, además, darles mantenimiento (como se supone en este trabajo) no debería presentar problemas biológicos. Por otra parte, según el manual técnico, el poliuretano es resistente a ataques biológicos y no es comestible.	-5	En este sistema los paneles de gypsum pueden ser propensos al ataque de hongos, además como el sistema posee una cavidad oculta en el interior se pueden crear comunidades de insectos o artrópodos como cucarachas y arañas, los cuales se mueven con facilidad por toda la pared.
Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto tienen una alta resistencia al fuego, una nula combustibilidad y una nula contribución a la carga de fuego de la edificación.	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto tienen una alta resistencia al fuego, una nula combustibilidad y una nula contribución a la carga de fuego de la edificación.	0	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto tienen una alta resistencia al fuego, una nula combustibilidad y una nula contribución a la carga de fuego de la edificación. Por otra parte, según el Manual Técnico, el poliestireno que se utiliza sí es combustible, sin embargo, tiene agentes que retardan la ignición.	0	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de acero tienen una baja resistencia al fuego, sin embargo, tienen una nula combustibilidad y una nula contribución a la carga de fuego de la edificación. Cabe aclarar que la lana de vidrio es incombustible y el forro de gypsum poseen agentes retardantes al fuego.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
0	El forro de gypsum supera la prueba de resistencia a golpes ASTM D-5420, sin embargo, es menos resistente que el concreto y si se quiere hacer una instalación electromecánica importante el manual aconseja reforzar el panel.	5	Según pruebas realizadas por el fabricante, el sistema resiste impactos incluso provocados por herramientas como martillos.	0	El sistema tiene una resistencia a golpes similar al Panelco	5	Si el sistema se utiliza con concreto de relleno el cual es resistente a golpes y cargas fortuitas.	5	Dado que se trabaja con concreto, este sistema es resistente a golpes y cargas fortuitas
-5	Pese a que ninguno de los componentes de este sistema es comestible por los roedores, el espacio entre la lana de vidrio y el forro en ocasiones es utilizado como escondite por los roedores	5	Los bloques de este sistema son sólidos y resistentes al ataque de roedores, además no representan material comestible	0	El sistema es resistente a la penetración de animales y en caso de que algún roedor logre entrar el poliuretano es resistente al paso de este y no es comestible.	5	El sistema es resistente a la penetración de animales y no posee cavidades donde aniden los mismos	5	El sistema es resistente a la penetración de animales y no posee cavidades donde aniden los mismos
-5	En este sistema los paneles de gypsum pueden ser propensos al ataque de hongos, además como el sistema posee una cavidad oculta en el interior se pueden crear comunidades de insectos o artrópodos como cucarachas y arañas, los cuales se mueven con facilidad por toda la pared (Desinsectador, 2017).	5	Según el fabricante, el plástico que se utiliza en este sistema es resistente a microorganismos, insectos, plantas y hongos	5	Tanto el forro de madera conglomerada como el poliuretano están hechos para resistir ataques biológicos. Además, al sistema se le debe aplicar acabado, lo que le da mayor protección.	5	Según el fabricante, el PVC del que está hecho este sistema es resistente a ataques de microorganismos, insectos, plantas y hongos	5	Las estructuras de concreto al aplicarles sellador y pintura y, además, darles mantenimiento (como se supone en este trabajo) no debería presentar problemas por ataques biológicos
-5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de madera tienen una muy baja resistencia al fuego, una elevada combustividad y una elevada contribución a la carga de fuego, por lo que la madera se le debe dar tratamientos ignífugos.	-5	El sistema no tiene estudios técnicos que demuestren la resistencia al fuego, la combustividad y la contribución a la carga de fuego de la edificación, se sabe que las estructuras de plásticos no son resistentes al fuego y son combustibles.	-5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de madera tienen una baja resistencia al fuego, una elevada combustividad y una elevada contribución a la carga de fuego, por lo que la madera se le debe dar tratamientos ignífugos.	5	Según la plataforma europea de hormigón las estructuras de concreto tienen una alta resistencia al fuego, una nula combustividad y una nula contribución a la carga de fuego. Por otra parte, el recubrimiento de PVC posee un aditivo que lo hace ignífugo, además, cumple con la norma: ASTM E84-91a que controlan la propagación del fuego y la velocidad de quemado. El sistema está clasificado según esta norma como clase A (mejor resistencia al fuego)	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto tienen una alta resistencia al fuego, una nula combustividad y una nula contribución a la carga de fuego de la edificación.

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Sistema de panel emparedado con núcleo de poliuretano y exterior de concreto		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación	Nota	Explicación
Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto poseen muy baja conductividad térmica y no produce gases tóxicos o gotas incandescentes, además proveen una elevada protección a las personas ante una evacuación.	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto poseen muy baja conductividad térmica y no produce gases tóxicos o gotas incandescentes, además proveen una elevada protección a las personas ante una evacuación.	-5	El poliuretano durante un incendio libera gases tóxicos (menos tóxicos que la madera) y gotas incandescentes.	0	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de acero poseen elevada conductividad térmica, no producen gases tóxicos y proveen una baja protección a las personas ante una evacuación. Por otra parte, la lana de vidrio no emite gases tóxicos ni humos oscuros y los elementos de gypsum no son combustibles y no producen gases tóxicos
Construcción progresiva	0	Las baldosas de concreto pueden removerse de su sitio rompiendo las juntas de concreto entre ellas, sin embargo, las columnas deben demolerse debido a que están embebidas en concreto.	-5	Las paredes de mampostería se deben demoler.	0	Por ser este sistema liviano es más sencillo de demoler que un muro de concreto o mampostería	5	El sistema permite con facilidad remover los paneles de gypsum y desarmar la estructura de metal.
Facilidad de realizar reparaciones	-5	Repara este sistema requiere: trabajos en húmedo o reponer las piezas del sistema, lo cual puede significar desmontar estructura de techo.	-5	Las reparaciones requieren trabajos en húmedo y la colocación de acero	-5	Las reparaciones requieren trabajos en húmedo y la colocación de acero	5	Las piezas de Gypsum se pueden sustituir fácilmente
Nivel de acabado final	-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.	-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.	-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.	-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.
Aceptación social de la estética del sistema	-4	Ver Apéndice C	3,4	Ver Apéndice C	1,2	Ver Apéndice C	2,1	Ver Apéndice C
Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	2	Ver Apéndice C	5	Ver Apéndice C	0	Ver Apéndice C	0,5	Ver Apéndice C

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
-5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de madera poseen baja conductividad térmica, si producen gases tóxicos y proveen una baja protección a las personas ante una evacuación.	-5	El plástico emite toxinas cuando se incendia	-5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de madera poseen baja conductividad térmica, producen gases tóxicos y proveen una baja protección a las personas ante una evacuación.	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto poseen muy baja conductividad térmica y no produce gases tóxicos o gotas incandescentes, además proveen una elevada protección a las personas ante una evacuación. Con respecto al recubrimiento de PVC este cumple la norma ASTM E84-91a clasificado como tipo A (baja producción de humo).	5	Según la plataforma europea de hormigón (2008) las estructuras de concreto poseen muy baja conductividad térmica y no produce gases tóxicos o gotas incandescentes, además proveen una elevada protección a las personas ante una evacuación.
5	El sistema permite con facilidad remover los paneles de gypsum y desclavar la estructura de madera.	5	Dado que el sistema se ensambla completamente con uniones mecánicas, este es fácil de desmontar.	5	Las paredes se pueden cortar fácilmente con cortadora de disco	-5	Dado que el sistema se construye a base de concreto para realizarle alguna modificación se debe demoler con equipo especializado	-5	Dado que el sistema se construye a base de concreto para realizarle alguna modificación se debe demoler con equipo especializado.
5	Las piezas de Gypsum se pueden sustituir fácilmente	-5	Reparar este sistema requiere reponer las piezas, lo cual puede significar desmontar la estructura de techo.	5	Las paredes se pueden cortar fácilmente con cortadora de disco para retirar la pieza dañada y sustituirla con un nuevo panel que se une al muro con	-5	Reparar este sistema requiere trabajar en húmedo y con elementos de acero	-5	Reparar este sistema requiere trabajar en húmedo y con elementos de acero
-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.	5	El acabado de los bloques de plástico es liso por lo que no se suele agregar un acabado adicional	-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.	5	El acabado final del material es de vinil liso, por lo que es aceptable	-5	El sistema (según la forma común en que se trabaja) requiere que se le incorpore algún acabado adicional.
2,3	Ver Apéndice C	-4	Ver Apéndice C	2,8	Ver Apéndice C	1,1	Ver Apéndice C	4,1	Ver Apéndice C
-1.1	Ver Apéndice C	-4	Ver Apéndice C	0,8	Ver Apéndice C	3,1	Ver Apéndice C	4,5	Ver Apéndice C

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Variable a cuantificar en su último nivel	Sistema de Baldosas horizontales		Sistema de mampostería		Panelco		Sistema Steel Framing con forro de Gypsum	
	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
Transmitancia térmica (valor U) (W/m ² K)	-5	La transmitancia térmica es de 42(W/m ² K). Este valor se obtiene de dividir la conductividad térmica del concreto 1,70 (W/(m·K)) por el grosor de las baldosas que es de 0,04 m. (Hernández, 2014)	0	El valor U de la mampostería de 12 cm es de 6,25 (W/m ² K) según Pérez (2010)	5	El valor U es 0,68 (W/m ² K) según el manual técnico	5	El valor U es de 1,05 (W/m ² K) para la lana de vidrio de 4 cm de grosor (Hernández, 2014). Se desprecia la contribución de los demás materiales.
Aislamiento acústico del sistema	-5	Se desprende del documento de Martínez, (s.f) que el aislamiento acústico en una pared de hormigón de 4 cm es menor a 30 STC.	5	Una pared de mampostería repellada a ambos lados tiene un STC de 58 decibeles según el Manual Técnico de PC	0	El sistema Panelco tiene un STC de 55. (Brenes, 2013)	5	El sistema completo (dos placas de gypsum, espacio de aire y fibra de vidrio) posee un SPC de 55 decibeles (Martínez, (s.f))
Huella de carbono	-1.5	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 1,4 Ton.	-2	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 3 Ton	-2.4	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 3,7 Ton	-2.6	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 4,1 Ton
Energía incorporada	5	El total de energía incorporada calculada fue de 11,2 GJ	2,9	El total de energía incorporada calculada fue de 20 GJ	1,5	El total de energía incorporada calculada fue de 28,7 GJ	0	El total de energía incorporada calculada fue de 37,0 GJ
Impacto socioeconómico durante construcción	2,7	Ver Sección 4.2	-1	Ver Sección 4.2	1,4	Ver Sección 4.2	2	Ver Sección 4.2
Posibilidad de reciclaje	5	El concreto (material predominante en este sistema) se puede reciclar	5	El concreto (material predominante en este sistema) se puede reciclar	-5	Dado que el concreto está adherido al acero y poliestireno es más difícil reciclarlo	5	Todos los componentes se pueden reciclar
Posibilidad de reutilización y deconstrucción	5	El sistema se puede reutilizar de manera completa	-5	Los bloques no se pueden reutilizar debido a que están adheridos al concreto	-5	Los paneles no se pueden reutilizar	5	La estructura de acero (elemento dominante del sistema) sí se puede reutilizar

Cuadro 7. Cuantificación de las diferentes variables de la matriz comparativa para todos los sistemas constructivos con los que se trabaja (Cont.)

Sistema Wood Framing con forro de Gypsum		Sistema Bloqueplas		Structural Insulated Panel		Royal Building System		Sistema Peri UNO	
N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación	N	Explicación
-5	La transmitancia térmica es de 42(W/m ² K). Este valor se obtiene de dividir la conductividad térmica del concreto 1,7 (W/(m·K)) por el grosor de las baldosas que es de 0,04 m. (Hernández, 2014)	0	El valor U de la mampostería de 12 cm es de 6,2 (W/m ² K) según Pérez (2010)	5	El valor U es 0,68 (W/m ² K) según el manual técnico	5	El valor U es de 1,05 (W/m ² K) para la lana de vidrio de 4cm de grosor (Hernández, 2014). Se desprecia la contribución de los demás materiales.	5	El valor U es de 1,05 (W/m ² K) para la lana de vidrio de 4cm de grosor (Hernández, 2014). Se desprecia la contribución de los demás materiales.
-5	Se desprende del documento de Martínez, (s.f) que el aislamiento acústico en una pared de hormigón de 4 cm es menor a 30 STC.	5	Una pared de mampostería repellada a ambos lados tiene un STC de 58 decibeles según el Manual Técnico de PC	0	Según el Manual Técnico, el Covintec tiene un STC de 52	5	El sistema completo (dos placas de gypsum, espacio de aire y fibra de vidrio) posee un SPC de 55 decibeles (Martínez, (s.f))	5	El sistema completo (dos placas de gypsum, espacio de aire y fibra de vidrio) posee un SPC de 55 decibeles (Martínez, (s.f))
1,1	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 2 Ton.	5	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de -111 Ton. El valor negativo se debe a que el plástico se recicla.	4,92	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de -2 Ton.	-5	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 9,3 Ton.	1,5	El total de huella de carbono calculado para una vivienda social fue de 2,5 Ton.
0,7	El total de energía incorporada calculada fue de 33,2 GJ	5	El total de energía incorporada calculada fue de 9,2 GJ	0,16	El total de energía incorporada calculada fue de 30,1 GJ	-5	El total de energía incorporada calculada fue de 63,9 GJ	3,2	El total de energía incorporada calculada fue de 18,2 GJ
1,8	Ver Sección 4.2	4	Ver Sección 4.2	0,74	Ver Sección 4.2	2,6	Ver Sección 4.2	0,1	Ver Sección 4.2
5	Todos los componentes se pueden reciclar	5	El plástico se puede reciclar	-5	Dado que el mortero, madera y poliestireno están unidos, se dificulta el reciclaje	-5	Dado que el vinil está unido al acero se dificulta el reciclaje	5	El concreto se puede reciclar
5	La estructura de madera (elemento dominante del sistema) sí se puede reutilizar	5	Los bloques de plástico se pueden reutilizar	-5	Los paneles no se pueden reutilizar	-5	Las paredes de concreto no se pueden reutilizar	-5	Las paredes de concreto no se pueden reutilizar

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el presente capítulo se procede a mostrar la calificación final para cada variable, cabe aclarar que dicha calificación se obtuvo de multiplicar el % de importancia de cada variable por su calificación para cada sistema constructivo. En el Cuadro 8 y el Cuadro 9 se muestran dichas calificaciones.

Cuadro 8. Calificación final de las variables de la herramienta comparativa para el actor usuario

Variable por cuantificar en su último nivel	Baldosas horizontales	Mampostería Integra	Panelco	Steel Framing con forro de Gypsum	Wood Framing con forro de Gypsum	Bloqueplas	Structural Insulated Panel	Royal Building System	Sistema Peri UNO
Costo del sistema	14,97	4,87	-20,28	7,46	6,90	20,28	-12,17	12,17	8,07
Incertidumbre en el presupuesto o inversión	6,39	6,39	6,39	6,39	6,39	-6,39	-6,39	-6,39	-6,39
Éxito que ha tenido el sistema en la construcción de viviendas de interés social en Costa Rica (si el sistema se utiliza a nivel nacional) o posibilidad de que tenga éxito en el país (si el sistema se utiliza en Latinoamérica)	12,34	12,34	-12,34	-12,34	-12,34	-12,34	-12,34	-12,34	12,34
Respaldo técnico del sistema en Costa Rica:	12,87	12,87	12,87	12,87	12,87	12,87	-12,87	12,87	12,87
Derechos de autor del sistema constructivo	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	-4,92	4,92	-4,92	-4,92
Política y normativa costarricense	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20	0,00	0,00	5,20	5,20
Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	-9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	-9,27	9,27	9,27	9,27
Conocimiento y conveniencia de las propiedades estructurales	11,24	11,24	0,00	11,24	0,00	-11,24	-11,24	11,24	11,24
Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	-13,17	13,17	13,17	13,17	13,17	-13,17	-13,17	-13,17	13,17
Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	-10,88	10,88	10,88	10,88	10,88	-10,88	10,88	-10,88	10,88
Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular y necesidad de retener terreno.	-14,63	14,63	14,63	-14,63	-14,63	-14,63	-14,63	14,63	-14,63
Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	-8,38	8,38	8,38	8,38	8,38	-8,38	-8,38	8,38	8,38
Cantidad de la obra industrializada	7,80	-7,80	-7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	0,00	0,00
Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	12,30	12,30	12,30	12,30	12,30	-12,30	-12,30	-12,30	-12,30
Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90	-8,90	8,90	8,90	8,90
Complejidad técnica en la fabricación del sistema	5,00	5,00	-5,00	-5,00	-5,00	5,00	-5,00	-5,00	-5,00
Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,84	0,00	-7,84	7,84
Vehículo necesario para el transporte	-9,51	9,51	0,00	-9,51	-9,51	0,00	-9,51	0,00	-9,51
Peso de los componentes y equipo especial para izaje	-10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	-10,63	10,63	-10,63
Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	14,52	-14,52	0,00	14,52	0,00	14,52	14,52	0,00	0,00
Modulación	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80
Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	0,00	-13,43	-13,43	0,00	-13,43	13,43	0,00	-13,43	-13,43
Facilidad de aplicar pintura y sellador o mortero para pegar cerámica	20,47	20,47	20,47	20,47	20,47	-20,47	-20,47	-20,47	20,47

Cuadro 8. Calificación final de las variables de la herramienta comparativa para el actor usuario (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Baldosas horizontales	Mampostería Integra	Panelco	Steel Framing con forro de Gypsum	Wood Framing con forro de Gypsum	Bloqueplas	Structural Insulated Panel	Royal Building System	Sistema Peri UNO
Facilidad de incorporar instalaciones electromecánicas	6,71	6,71	0,00	6,71	0,00	6,71	0,00	0,00	0,00
Facilidad de incorporar puertas y ventanas	7,26	0,00	0,00	7,26	7,26	7,26	0,00	7,26	7,26
Tiempo de ejecución	9,73	-14,52	-8,71	0,55	2,61	14,52	-3,80	9,00	-3,48
Vida útil del sistema	21,56	21,56	21,56	-21,56	-21,56	21,56	-21,56	21,56	21,56
Resistencia del sistema ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo (agua, viento y sol)	0,00	0,00	0,00	-17,37	-17,37	17,37	-17,37	17,37	0,00
Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	19,28	19,28	0,00	0,00	0,00	19,28	0,00	19,28	19,28
Resistencia a la anidación o penetración de animales	17,16	0,00	0,00	-17,16	-17,16	17,16	0,00	17,16	17,16
Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	17,16	17,16	17,16	-17,16	-17,16	17,16	17,16	17,16	17,16
Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	15,53	15,53	0,00	0,00	-15,53	-15,53	-15,53	15,53	15,53
Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	8,37	8,37	-8,37	0,00	-8,37	-8,37	-8,37	8,37	8,37
Construcción progresiva	0,00	-6,75	0,00	6,75	6,75	6,75	6,75	-6,75	-6,75
Facilidad de realizar reparaciones	10,33	-10,33	-10,33	10,33	10,33	-10,33	10,33	-10,33	-10,33
Nivel de acabado final	-23,19	-23,19	-23,19	-23,19	-23,19	23,19	-23,19	23,19	-23,19
Aceptación social de la estética del sistema	-3,06	2,60	0,92	1,61	1,76	-3,06	2,14	0,84	3,14
Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	1,28	3,19	0,00	0,32	-0,70	-2,55	0,51	1,98	2,87
Transmitancia térmica (valor U) (W/m ² K)	-7,10	0,00	7,10	7,10	7,10	0,00	7,10	7,10	7,10
Aislamiento acústico del sistema	-5,74	5,74	0,00	5,74	5,74	5,74	0,00	5,74	5,74
Huella de carbono	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Energía incorporada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Impacto socioeconómico durante la construcción	0,34	-0,13	0,18	0,26	0,23	0,51	0,09	0,33	0,01
Posibilidad de reciclaje	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Posibilidad de reutilización y deconstrucción	1,91	-1,91	-1,91	1,91	1,91	1,91	-1,91	-1,91	-1,91
Total	165,7718	196,34626	81,369	82,8352564	13,6378043	86,56828	-132,66	147,26	139,14

Cuadro 9. Calificación final de las variables de la herramienta comparativa para el actor constructor.

Variable por cuantificar en su último nivel	Baldosas horizontales	Mampostería Integra	Panelco	Steel Framing con forro de Gypsum	Wood Framing con forro de Gypsum	Bloqueplas	Structural Insulated Panel	Royal Building System	Sistema Peri UNO
Costo del sistema	24,02	7,81	-32,55	11,98	11,07	32,55	-19,53	19,53	12,95
Incertidumbre en el presupuesto o inversión	19,53	19,53	19,53	19,53	19,53	-19,53	-19,53	-19,53	-19,53
Éxito que ha tenido el sistema en la construcción de viviendas de interés social en Costa Rica (si el sistema se utiliza a nivel nacional) o posibilidad de que tenga éxito en el país (si el sistema se utiliza en Latinoamérica)	8,79	8,79	-8,79	-8,79	-8,79	-8,79	-8,79	-8,79	8,79
Respaldo técnico del sistema en Costa Rica:	15,41	15,41	15,41	15,41	15,41	15,41	-15,41	15,41	15,41
Derechos de autor del sistema constructivo	4,09	4,09	4,09	4,09	4,09	-4,09	4,09	-4,09	-4,09
Política y normativa costarricense	2,54	2,54	2,54	2,54	2,54	0,00	0,00	2,54	2,54
Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	-0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	-0,93	0,93	0,93	0,93
Conocimiento y conveniencia de las propiedades estructurales	7,51	7,51	0,00	7,51	0,00	-7,51	-7,51	7,51	7,51
Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	-9,08	9,08	9,08	9,08	9,08	-9,08	-9,08	-9,08	9,08
Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	-3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	-3,98	3,98	-3,98	3,98
Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular y necesidad de retener terreno.	-11,83	11,83	11,83	-11,83	-11,83	-11,83	-11,83	11,83	-11,83
Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	-12,76	12,76	12,76	12,76	12,76	-12,76	-12,76	12,76	12,76
Cantidad de la obra industrializada	25,14	-25,14	-25,14	25,14	25,14	25,14	25,14	0,00	0,00
Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	12,03	12,03	12,03	12,03	12,03	-12,03	-12,03	-12,03	-12,03
Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	13,99	13,99	13,99	13,99	13,99	-13,99	13,99	13,99	13,99
Complejidad técnica en la fabricación del sistema	10,31	10,31	-10,31	-10,31	-10,31	10,31	-10,31	-10,31	-10,31
Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,28	0,00	-11,28	11,28
Vehículo necesario para el transporte	-7,83	7,83	0,00	-7,83	-7,83	0,00	-7,83	0,00	-7,83
Peso de los componentes y equipo especial para izaje	-9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	-9,35	9,35	-9,35
Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	26,45	-26,45	0,00	26,45	0,00	26,45	26,45	0,00	0,00
Modulación	23,13	23,13	23,13	23,13	23,13	23,13	23,13	23,13	23,13
Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	0,00	-17,81	-17,81	0,00	-17,81	17,81	0,00	-17,81	-17,81
Facilidad de aplicar pintura y sellador o mortero para pegar cerámica	14,08	14,08	14,08	14,08	14,08	-14,08	-14,08	-14,08	14,08

Cuadro 9. Calificación final de las variables de la herramienta comparativa para el actor constructor (Cont.)

Variable por cuantificar en su último nivel	Baldosas horizontales	Mampostería Integra	Panelco	Steel Framing con forro de Gypsum	Wood Framing con forro de Gypsum	Bloqueplas	Structural Insulated Panel	Royal Building System	Sistema Peri UNO
Facilidad de incorporar instalaciones electromecánicas	14,08	14,08	0,00	14,08	0,00	14,08	0,00	0,00	0,00
Facilidad de incorporar puertas y ventanas	14,08	0,00	0,00	14,08	14,08	14,08	0,00	14,08	14,08
Tiempo de ejecución	14,86	-22,18	-13,31	0,84	3,99	22,18	-5,81	13,75	-5,32
Vida útil del sistema	8,48	8,48	8,48	-8,48	-8,48	8,48	-8,48	8,48	8,48
Resistencia del sistema ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo (agua, viento y sol)	0,00	0,00	0,00	-7,08	-7,08	7,08	-7,08	7,08	0,00
Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	9,76	9,76	0,00	0,00	0,00	9,76	0,00	9,76	9,76
Resistencia a la anidación o penetración de animales	6,60	0,00	0,00	-6,60	-6,60	6,60	0,00	6,60	6,60
Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	7,08	7,08	7,08	-7,08	-7,08	7,08	7,08	7,08	7,08
Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	4,69	4,69	0,00	0,00	-4,69	-4,69	-4,69	4,69	4,69
Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	4,21	4,21	-4,21	0,00	-4,21	-4,21	-4,21	4,21	4,21
Construcción progresiva	0,00	-12,69	0,00	12,69	12,69	12,69	12,69	-12,69	-12,69
Facilidad de realizar reparaciones	10,03	-10,03	-10,03	10,03	10,03	-10,03	10,03	-10,03	-10,03
Nivel de acabado final	-16,26	-16,26	-16,26	-16,26	-16,26	16,26	-16,26	16,26	-16,26
Aceptación social de la estética del sistema	-2,83	2,41	0,85	1,49	1,63	-2,83	1,98	0,78	2,90
Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	2,96	7,39	0,00	0,74	-1,63	-5,91	1,18	4,58	6,65
Transmitancia térmica (valor U) (W/m ² K)	-3,28	0,00	3,28	3,28	3,28	0,00	3,28	3,28	3,28
Aislamiento acústico del sistema	-3,01	3,01	0,00	3,01	3,01	3,01	0,00	3,01	3,01
Huella de carbono	-1,06	-1,41	-1,69	-1,84	0,78	3,53	3,47	-3,53	1,06
Energía incorporada	3,58	2,08	1,07	0,00	0,50	3,58	0,11	-3,58	2,29
Impacto socioeconómico durante la construcción	3,23	-1,20	1,68	2,40	2,16	4,79	0,89	3,11	0,12
Posibilidad de reciclaje	2,18	2,18	-2,18	2,18	2,18	2,18	-2,18	-2,18	2,18
Posibilidad de reutilización y deconstrucción	2,45	-2,45	-2,45	2,45	2,45	2,45	-2,45	-2,45	-2,45
Total	236,50	128,20	30,44	193,13	121,26	166,42	-70,78	81,75	76,70

Cabe aclarar que el análisis de los resultados presentados en los cuadros 8 y 9 se describe en el Capítulo 7. En el Cuadro 10 se muestran, a manera de resumen, las calificaciones finales de casa sistema constructivo para cada actor.

Cuadro 10. Calificaciones totales para cada actor y para cada sistema constructivo

Sistema	Calificación Total	
	Actor Usuario	Actor Constructor
Baldosas horizontales	165,7	236,5
Mampostería Integra	196,3	128,2
Panelco	81,4	30,4
Steel Framing	82,8	193,1
Wood Framing	13,6	121,2
Bloqueplat	86,5	166,4
Structural Insulated Panel (SIP)	-132,6	-70,8
Royal Building System	147,3	81,8
Peri Uno	139,1	76,7

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Análisis de los resultados de la herramienta comparativa

Con respecto a las herramientas comparativas elaboradas, se obtuvieron variables con porcentajes de diferencia sustancialmente diferentes entre los actores constructor y usuario. Por ejemplo, la variable que mide la cantidad de obra industrializada tiene un valor de 5,0% para el caso del constructor, mientras que en el caso del actor usuario la importancia es de 1,5%.

Para el actor constructor, la variable con el mayor peso fue el costo del sistema (6,51 %) en segundo lugar la facilidad constructiva (5,29 %), en tercer lugar, la cantidad de obra industrializada (5,0 %) y, en cuarto lugar, el tiempo de construcción (4,4 %). Los resultados anteriores eran esperables, ya que son variables que afectan directamente al constructor. Cabe resaltar, que en realidad el costo del sistema posee un peso de importancia mayor, de lo que muestra este porcentaje, debido a que al estar en uno de los *como* 's de la matriz, afecta todas las variables de esta.

A diferencia del actor constructor, para el actor usuario las variables de más relevancia fueron las relacionadas con la integridad del sistema constructivo como la vida útil del material, su resistencia al fuego, resistencia a ataques biológicos y resistencia a golpes. Lo anterior era predecible puesto que el actor usuario, a diferencia del constructor, no percibe el proceso constructivo de la vivienda, sino que evalúa la misma en función de su calidad final constructiva y las facilidades que esta le otorga para vivir.

Se observó que variables como la incertidumbre en el presupuesto y el acceso en el mercado nacional, tuvieron ventaja los sistemas que se utilizan a nivel nacional sobre los latinoamericanos, esto podría incluso revertirse si estos últimos sistemas comienzan a utilizarse más seguido en el país.

Algunas variables, principalmente las de índole ambiental, obtuvieron porcentajes de importancia bajos, incluso cero, tanto para el actor usuario como para el actor constructor. Esto no quiere decir que dichas variables no sean importantes, sino que estas no son percibidas por los actores evaluados como relevantes.

7.2. Análisis de resultados obtenidos al comparar sistemas constructivos para el actor constructor

Con respecto a los resultados obtenidos al comparar los diferentes sistemas constructivos para el actor constructor, se obtuvo que el sistema de baldosas horizontales, con una nota de 236,5, fue el mejor calificado. Lo anterior es relevante puesto que este es el sistema más utilizado para la construcción en el país.

El sistema de mampostería con bloques de concreto modular, fue ventajoso en variables económicas como la precisión al realizar un presupuesto constructivo y también en variables relacionadas con el conocimiento que se tiene del sistema en el país, sin embargo, fue afectado por ser un sistema constructivo altamente artesanal.

El sistema constructivo Bloqueplast obtuvo una calificación de 166,4 la cual es superior a sistemas utilizados en el país como el de mampostería modular Integra (128,2) y Panelco (30,4). Lo anterior demuestra la validez, para el actor constructor, del uso del sistema Bloqueplast.

El sistema Structural Insulated Panel fue el que obtuvo la menor calificación siendo afectado principalmente por variables de índole económico concernientes al hecho de que en Costa Rica no existe la producción, el mercado y el conocimiento que este sistema posee en otros países como Chile.

El Royal Building System y el Sistema Peri-Uno, obtuvieron calificaciones similares en la mayoría de las variables, incluso en su nota final. Lo anterior se debe al predominio del concreto reforzado en ambos sistemas.

Pese a la similitud en la mayoría de las variables, entre el sistema Wood Framing con forro de Gypsum y el Steel Framing con forro de Gypsum, el segundo obtuvo mejor calificación debido a que es un sistema más industrializado.

7.3. Análisis de resultados obtenidos al comparar sistemas constructivos para el actor constructor

Para el actor usuario el mejor sistema fue el de mampostería Integra con un valor total de 196,3 seguido por el sistema de baldosas horizontales que obtuvo una calificación de 165,7. Lo anterior es relevante, puesto que ambos son los sistemas constructivos más utilizados en el país.

Los sistemas Peri-Uno y Royal Building System, obtuvieron el tercero y cuarto lugar (139,1 y 147,2 respectivamente). Ambos sistemas poseen como material predominante el concreto y de ahí la razón para obtener calificaciones similares. El sistema Panelco por estar hecho principalmente de concreto, obtuvo muchas de sus calificaciones similares a los sistemas anteriores, diferenciándose principalmente en aspectos como el costo, tiempo de construcción y resistencia al fuego que le afectaron su calificación obteniendo un 81,8.

El sistema Steel Framing, que se ubicó en la sexta posición, obtuvo la mayoría de sus calificaciones similar al Wood Framing, con algunas excepciones como la resistencia ante el fuego, el tiempo de construcción, el costo y la especialización requerida de obreros, dichas excepciones provocaron que el Steel Framing obtuviera una mayor calificación.

El sistema Structural Insulated Panel (SIP), al igual que para el actor constructor, fue el peor calificado de los sistemas. Algunos de los factores que más contribuyeron a esto fueron: el costo, la falta de respaldo técnico y aceptación social, la falta de conocimiento de sus propiedades ingenieriles y la dificultad de incorporar elementos externos como acabados.

El segundo sistema peor calificado en la herramienta comparativa fue el Wood System, este sistema fue afectado por variables relacionadas con la integridad del sistema constructivo como: protección ante incendios, protección ante interperimo y protección ante ataques biológicos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- Se logró identificar y describir en términos ingenieriles, económicos, sociales y ambientales, nueve sistemas constructivos de vivienda de interés social, que se utilizan tanto en Costa Rica como en Latinoamérica. Lo anterior representa información valiosa para futuros proyectos e investigaciones.
- Fue posible construir una herramienta comparativa matricial, que permite evaluar un sistema constructivo de vivienda de interés social, tomando en cuenta aspectos económicos, sociales, legales, técnicos y ambientales.
- Se evaluó, con la herramienta propuesta, nueve sistemas constructivos utilizados tanto en el país como en Latinoamérica.
- Las variables ambientales por ser externalidades obtuvieron calificaciones reducidas para ambos actores.
- Las cuantificaciones realizadas para cada sistema constructivo no son absolutas y constantes en el tiempo, sino que dependen de factores como: el mercado, normativas, modas y percepción social, dichos factores varían con el tiempo.
- La metodología desarrollada necesita para ser aplicada conocer el sistema constructivo a cabalidad, además requiere una serie de información técnica como: costos, huella de carbono e inercia térmica que dependiendo del sistema constructivo con el que se trabaje puede ser de difícil acceso. Dado lo anterior, se recomienda el uso de la herramienta para evaluar y comparar nuevos sistemas constructivos, cuando se pretendan utilizar a nivel industrial.
- Se debe ser precavido al interpretar los resultados obtenidos, si un sistema obtiene mejor calificación quiere decir que para, las variables tomadas en cuenta, para los pesos de importancia asignados y para el usuario evaluado, ese sería el mejor sistema constructivo. No se debe interpretar que un sistema con una mayor calificación es superior a los demás en términos absolutos y por ende sólo se recomienda utilizar el mismo.
- Con respecto a los resultados obtenidos, para ambos actores, el sistema de baldosas horizontales estuvo entre los dos sistemas mejor evaluados, lo anterior es relevante puesto que es el sistema constructivo de vivienda social más utilizado en el país.

- En general se observó que, para el actor constructor, las variables de más importancia fueron las de índole económico y las variables relacionadas directamente con el proceso constructivo, como la facilidad constructiva y el nivel de industrialización. Por otra parte, para el actor usuario las variables de más importancia fueron las relacionadas con la integridad y operatividad del sistema constructivo como su vida útil.
- Esta herramienta es útil para diferentes instituciones públicas como el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, para realizar diferentes análisis con la información recopilada, ya que la misma está cuantificada, tabulada y ordenada. Los resultados de dichos análisis pueden incluso conducir a formular políticas públicas que corrijan externalidades o defectos sistemáticos en los sistemas constructivos.
- Se debe ser precavido al interpretar los resultados obtenidos, un sistema mejor calificado indica que para las variables utilizadas y para los intereses del actor supuestos, ese sería el mejor sistema. No se debe interpretar que un sistema con una mayor calificación es superior a los demás en términos absolutos.

8.2. Recomendaciones

- Como se mencionó anteriormente, dado la complejidad y cantidad de variables de diversa índole con las que se trabajó, se decidió solamente incluir en la matriz los aspectos que el autor consideró más relevantes basado en la investigación bibliográfica. Dicho lo anterior, se recomienda que este proyecto de graduación funcione como guía de otros proyectos para que los mismos se especialicen en las diferentes temáticas que abarca la matriz comparativa (ambiental, social, económica, técnica, política, legal, arquitectónica) y así lograr tener un mayor bagaje teórico para determinar cuáles son las variables más idóneas por considerar.
- Se recomienda realizar otros proyectos de graduación que evalúen actores diferentes al constructor y usuario. Se recomienda trabajar con el actor Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, para evaluar cuál sistema constructivo responde mejor a las políticas públicas y a las necesidades de la sociedad. Cabe aclarar que en caso de que se quiera agregar un actor adicional únicamente se deben definir los que´s de la nueva matriz QFD, así como los pares que-como

obtenidos mediante encuestas. No se debe volver a calificar cada sistema constructivo, ya que esta calificación es única y aplica para todas las matrices QFD.

- Este proyecto de graduación se puede complementar, evaluando más sistemas constructivos, incluso, lo mejor sería que todos los sistemas que se utilicen en el país estén evaluados con esta metodología y así los diferentes actores involucrados en su escogencia (usuario, diseñador, desarrollador y constructor) tengan a mano información útil para la toma de decisiones.
- Como se indicó en las conclusiones, tanto para el actor constructor, como para el actor usuario, las variables ambientales no se percibieron como importantes, lo cual se debe a que estas variables son externalidades. Para evitar que ocurra lo anterior, se recomienda que el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, considere dichas externalidades al momento de formular sus políticas de vivienda social y así los diferentes actores perciban dichas externalidades mediante regulaciones.
- Los pesos que se utilizaron para calcular el porcentaje de importancia de cada variable se obtuvieron con base en encuestas y se consideran valores estándar y aplicables en cualquier situación. Con el fin de lograr mayor veracidad en los resultados, estos pesos se pueden modificar dependiendo de los intereses del usuario y las condiciones específicas de un proyecto.
- Cabe aclarar que las variables evaluadas fueron las que el autor consideró relevantes de evaluar para una vivienda de interés social con base en la investigación bibliográfica realizada. Existe la posibilidad que, para las condiciones específicas de un proyecto o los intereses de un usuario, se deban agregar o eliminar variables.
- Un aspecto importante por destacar es que las evaluaciones realizadas para cada sistema constructivo en algunas variables no son constantes en el tiempo, sino que dependen del mercado, la moda y el conocimiento que se tenga del sistema en el país. Lo anterior aplica principalmente a variables como: incertidumbre en el presupuesto, respaldo técnico, conocimiento de las propiedades estructurales, acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional y aceptación social del sistema. Se recomienda que la calificación de dichas variables se revise periódicamente y así asegurar su veracidad.
- Cabe resaltar que esta herramienta ha sido diseñada para comparar sistemas constructivos en proyectos convencionales. En un proyecto específico se puede

tomar esta herramienta y modificarla, de manera que se le eliminen o incorporen variables a criterio del actor evaluado y del proyecto, también se pueden modificar los factores de importancia para que el usuario le dé más peso a las variables que considere más relevantes.

- La herramienta puede ser ampliada para ser utilizada con otros elementos constructivos diferentes a los tomados en cuenta en este trabajo (muro, cimentación y acabados) como por ejemplo la estructura de techo y estructura de piso, logrando así que esta evalúe la globalidad de una vivienda y por ende se obtengan resultados más aprovechables.
- Dada la flexibilidad de la herramienta desarrollada para agregar o eliminar diferentes aspectos (que´s y como´s), la misma se puede utilizar para fines distintos a los propuestos en este trabajo y así, por ejemplo, no solamente evaluar sistemas constructivos, sino también materiales o metodologías de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Azembla. (2012). Manual Técnico. Tomado de la página http://azembla.com.co/descargas?tid=All&field_tipo_producto_tid=1
- Benveniste, G. (2010). Herramienta simplificada para el cálculo de huella de carbono. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España.
- Bernal, J. (2012). Despliegue de la Función de Calidad QFD. Tomado de la página <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>
- Brenes, F. (2013). Desempeño acústico de paneles Panelco. Tomado de la página <https://docplayer.es/5281128-Panelco-costa-rica-s-a-departamento-de-proyectos-atencion-sr-diego-estrada.html>
- Camacho, J. (2014). Parámetros de sostenibilidad en tipologías de vivienda de interés social (tesis de maestría). Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Carbello, L. (2017). Una máquina convierte el plástico de los océanos en ladrillos. Tomado de la página https://www.clarin.com/arq/arquitectura/maquina-convierte-plastico-oceanos-ladrillos_0_H15wbOmdb.html

- Castañeda, C. (2005). Catálogo latinoamericano de técnicas constructivas industrializadas para vivienda de interés social. Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- CEPAL, (2000). Políticas de viviendas de interés social orientadas al mercado: experiencias recientes con subsidios a las demandas en Chile, Costa Rica y Colombia. Santiago, Chile.
- Código Sísmico de Costa Rica (2010). Editorial Tecnológica de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Contreras, L. (2016). La impresión 3d de concreto. Tomado de la página <https://www.3dnatives.com/es/la-impresion-3d-concreto-01062016/>
- Cubillo, E. (2018). ¿Qué beneficios trae la impresión 3D a la industria del cemento? Tomado de la página <http://revistaconstruir.com/que-beneficios-trae-la-impresion-3d-a-la-industria-del-cemento/>
- Directriz N°27. Especificaciones Técnicas y Lineamientos para la Escogencia de Tipologías Arquitectónicas para la Construcción de Viviendas y Obras de Urbanización. Costa Rica, San José, 19 de mayo del 2017.
- Ekonjunto. (2018). Manual técnico de Bloqueplast.
- Fanosa. (s.f.). Manual de instalación Foamblock. Tomado de la página <https://www.fanosa.com/productos-foamblock.html>
- Favela, C. (2004). Propuesta de Selección de un Sistema Constructivo para Vivienda de Interés Social (Tesis de maestría). Tecnológico de Monterrey. Monterrey, México.
- Franco, F. (2018). Este sistema constructivo de ladrillos de madera permite ensamblar edificios en pocos días. Tomado de la página <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/887517/este-sistema-constructivo-de-ladrillos-de-madera-permite-ensamblar-edificios-en-pocos-dias>
- García, E. (2001). Estudio-Diagnóstico sobre las posibilidades de desarrollo de una edificación residencial industrializada dirigida a satisfacer las necesidades de vivienda pública. Valencia, España.

- Gonzales, M. (2018). UNI investiga una especie de bambú en Nicaragua para la construcción de viviendas. Tomado de la página <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/456521-uni-investiga-especie-bambu-nicaragua-construccion/>
- Hidraform. (s.f.). Hidraform: The leading Alternative Building Technology company in the developin word. Tomado de la página <http://www.hydraform.com/>
- Howard, G. (2016). En EEUU la madera es por lejos el material más importante para construir casas. Madea21. Recuperado de <http://normasapa.com/como-referenciar-articulos-de-revistas-con-normas-apa/>
- INCOSE. (2018). Manual de recomendaciones para construir con Steel Framing. Tomado de la página <http://www.incose.org.ar/documentacion-tecnica/manuales/download/29-manuales/265-manual-de-steelframing.html>
- Jiménez, R. (2014). Concreto aireado en autoclave. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Barcelona. Barcelona, España.
- Ley N°7052. Ley del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda y creación del BANHVI. Publicado en La Gaceta el 27 de noviembre de 1986. San José, Costa Rica.
- Magnone, H. (2018). Como es el ladrillo que nace a partir de tapas de plástico. Tomado de la página <https://www.lavoz.com.ar/tendencias/como-es-el-ladrillo-que-nace-partir-de-las-tapitas-de-plastico>
- Mc Donnell, H. (1999). Manual de la Construcción Industrializada. Revista Vivienda SRL. Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de Hacienda (2015). Manual de valores base unitarios por tipología constructiva.
- MIVAH (2013). Atención del déficit habitacional con el Bono Familiar de Vivienda (BFV) y con crédito del Sistema Financiero Nacional (SFN) 2000-2012: Estimaciones 2013-2015.
- Monjo, C. (1986). Propuesta de Evaluación de Sistemas Constructivos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España.

- Mora, K. (2017). Comparación entre sistemas de construcción de mampostería confinada y paneles de Covintec como nueva alternativa para la construcción de viviendas de interés social (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- National Gypsum. (2006). Guía de construcción con Yeso National Gypsum. Onceava edición.
- Panelco. (s.f.). Información Técnica. Tomado de la página <https://www.panelcocr.com/sistema-constructivo/informacion-tecnica.html>
- Pascual, C. (2003). Guía técnica de manipulación de cargas. Tomado de la página <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/cargas.pdf>
- Pérez, A. (2001). Análisis comparativo de sistemas constructivos aplicados a una vivienda de interés social (tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Peri. (2015). UNO-Para el método constructivo monolítico. Weissenhorn, Alemania.
- Pfenniger, F. (2014). Sistemas constructivos para viviendas sociales. Tomado de la página <file:///C:/Users/luisg/Downloads/ARTICULO%20ARQ%20EN%20ACERO..pdf>
- Plataforma Europea del Hormigón. (2008). Resistencia al fuego. Tomado de la página https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/fuego/SEGURIDAD_FRENTE_FUEGO.pdf
- Productos de Concreto (2010). Capítulo 1 Bloques de Mampostería. En Manual Técnico PC.
- Productos de Concreto (2010). Capítulo 11 Sistema Prefa. En Manual Técnico PC.
- Reglamento de Construcciones. Publicado en La Gaceta el 16 de agosto de 2018. San José, Costa Rica.
- Ruiz, R. (2011). QFD: Una herramienta para alinear satisfacción del usuario y calidad científico-técnica. Tomado de la página <https://ricardoruizdeadana.blogspot.com/2011/05/qfd-una-herramienta-para-alinear.html>
- Salas, J. (2002). Latinoamérica: Hambre de vivienda. Revista Invi. Vol 17 (número 45).

- Salas, J. (2016). Propuesta de un sistema constructivo para vivienda social para las zonas andinas de Colombia (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Salingaros, N. (2006). Vivienda Social en Latinoamérica: Una metodología para utilizar procesos de autoorganización. En Congreso Iberoamericano de Vivienda Social. Brasil.
- Sánchez, L. (2014). Mercado de la Tierra y Vivienda en el Gran Área Metropolitana. En: Vigésimoprimer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible.
- Sancho, J. (2011). Modulación de una vivienda de interés social para diferentes sistemas constructivos (tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Solano, F. (2016). Situación de la vivienda y desarrollo urbano. En: Informe Nacional de FUPROVI.
- Tenorio, A. (2009). Tico propone diseño bioclimático para viviendas de interés social en el país. La Nación. Recuperado de <https://www.nacion.com/viva/cultura/tico-propone-diseno-bioclimatico-para-viviendas-de-biensocial/Q3NI7Z6JAZGJTPTS35OYWDEVJCY/story/>
- Termosip. (2009). Manual de instalación. Tomado de la página <https://es.scribd.com/document/18649723/Manual-de-Instalacion-Termocret>
- Trigueros, S. (2011). Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. Tesis de máster. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Valencia, H. (2015). Innovación en sistemas constructivos que reducen costos. Tomado de la página <http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/4068-innovacion-en-sistemas-constructivos>
- Valencia, N. (2015). Moladi, el sistema constructivo que está volviendo más asequible la vivienda social en Sudáfrica. Tomado de la página <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769227/moladi-el-sistema-constructivo-que-esta-volviendo-mas-asequible-la-vivienda-social-en-sudafrica>

Vargas, O. (2016). IX Evaluación de vivienda de interés social. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. San José

Vega, S. (2014). Cálculo y reducción de la Huella de Carbono en materiales de construcción de vivienda de interés social. Tesis de licenciatura en ingeniería civil. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

APENDICES

Apéndice A: Cálculo del costo y tiempo de ejecución de los sistemas constructivos

En el presente apéndice se procede a mostrar los cálculos y resultados de costo y tiempos de ejecución de cada uno de los sistemas constructivos con los que se trabaja en la herramienta comparativa. Los supuestos, consideraciones y teoría que se utilizó para realizar estos cálculos se muestran en la Sección 3.3 del cuerpo del trabajo.

Calculo de costos y tiempos de ejecución del muro

- Bloques de mampostería

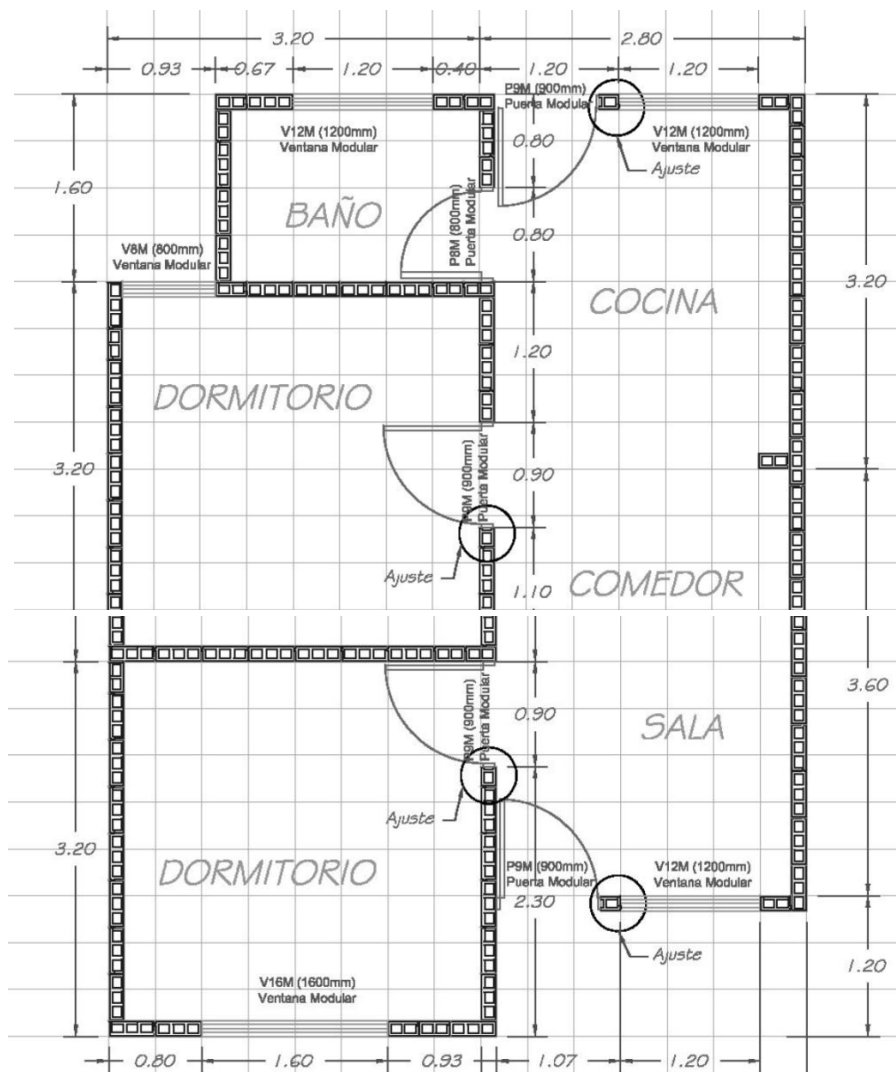


Figura A.1 Modulación de vivienda de interés social con bloques integra. Planta sin escala a la altura del bloque #13.

Fuente: Sancho, 2011

Cuadro A.1 Cuantificación de materiales utilizados en el sistema Integra

Material	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total de materiales
Bloque 12x20x13.3 cm	6	Unid.	₺ 139.20	₺ 835.20
Bloque 12x20x26.6 cm	210	Unid.	₺ 351.43	₺ 73,800.30
Bloque 12x20x40 cm	908	Unid.	₺ 425.20	₺ 386,081.60
Arena	3.6	m3	₺ 16,000.00	₺ 57,600.00
Piedra	1.6	m3	₺ 18,000.00	₺ 28,800.00
Cemento	33	Sacos	₺ 6,400.00	₺ 211,200.00
Varilla #2	3	Unid.	₺ 720.00	₺ 2,160.00
Varilla #3	64	Unid.	₺ 1,800.00	₺ 115,200.00
Total				₺ 875,677.10

Fuente: Sancho, 2011 & Precios cotizados en PC, 2018 & Construplaza, 2018

Cuadro A.2 Cuantificación de mano de obra utilizados en el sistema Integra

Mano de obra							
Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total mano de obra
Confección del mortero y concreto de relleno	0.00	5.60	m2/hora	84	0	15	₺ 29,250.00
Acarreo de bloques y mortero	0.00	1.50	m2/hora	84	0	56	₺ 109,200.00
Colocación del acero	10.00	0.00	m2/hora	84	8.4	0	₺ 22,680.00
Relleno de bloques	5.90	0.00	m2/hora	84	14.2	0	₺ 38,340.00
Pega de bloques	1.75	0.00	m2/hora	84	48	0	₺ 129,600.00
Total					₺ 70.60	₺ 71.00	₺ 329,070.00

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

Cuadro A.3 Cuantificación de desperdicios en el sistema Integra

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Bloque 12x20x26.6 cm	4	Unid.	₺ 351.43	₺ 1,405.72
Bloque 12x20x40 cm	5	Unid.	₺ 425.20	₺ 2,126.00
Total				₺ 3,531.72

Fuente: Sancho, 2011 & Precios cotizados en PC, 2018

- Sistema de baldosas horizontales

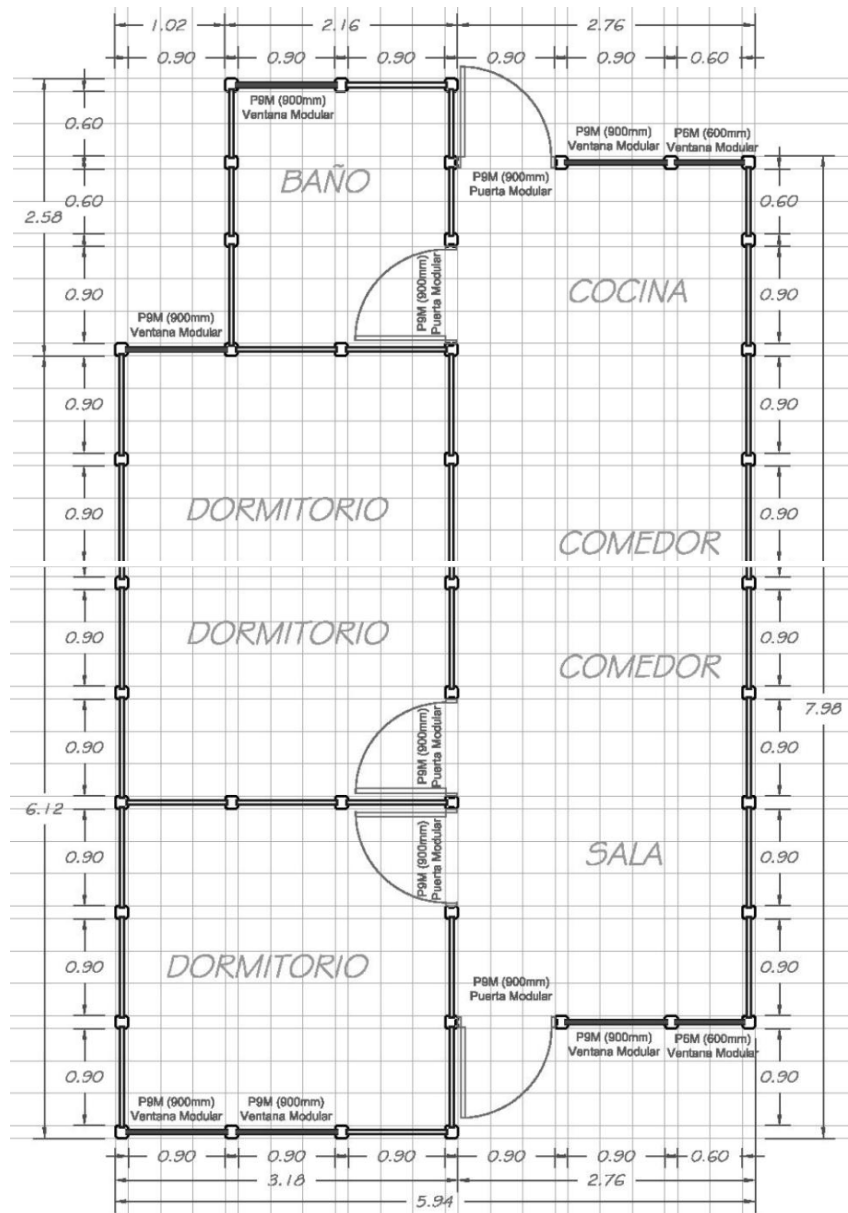


Figura A.2. Modulación de vivienda de interés social con baldosas horizontales. Planta sin escala

Fuente: Sancho, 2011

Cuadro A.4 Cuantificación de materiales utilizados en el sistema de baldosas horizontales

Materiales	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Pecio Unitario	Total
Baldosa b 1.62x0.63m	28	Unid.		
Baldosa b 1.32x0.63m	14	Unid.		
Baldosa b 1.02x0.63m	39	Unid.		
Baldosa b 0.72x0.63m	21	Unid.		
Baldosa bb 1.32x0.31m	2	Unid.		
Baldosa bb 1.02x0.31m	2	Unid.		
Baldosa bb 0.72x0.31m	4	Unid.		
Columna C 3.15m	19	Unid.		
Columna D 3.15m	7	Unid.		
Columna E 3.15m	5	Unid.		
RTG (6m)	7	Unid.		
			Total	Q 1,080,000.00

Fuente: Sancho, 2011 & Proformas de Expo Prefa, 2018, PC, 2018 y Prefablock, 2018

Cuadro A.5 Cuantificación de mano de obra en el sistema de baldosas horizontales

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unid. rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total
Levantamiento de columnas	4	1.5	Unid/hora	31.00	7.75	20.66667	Q 61,225.00
Colocación de baldosas	30	7	Unid/hora	110.00	3.666667	15.71429	Q 40,542.86
					11.41667	36.38095	Q 101,767.86

Fuente de rendimientos: Gutiérrez, 2005

- Sistema Panelco y Sistema SIP

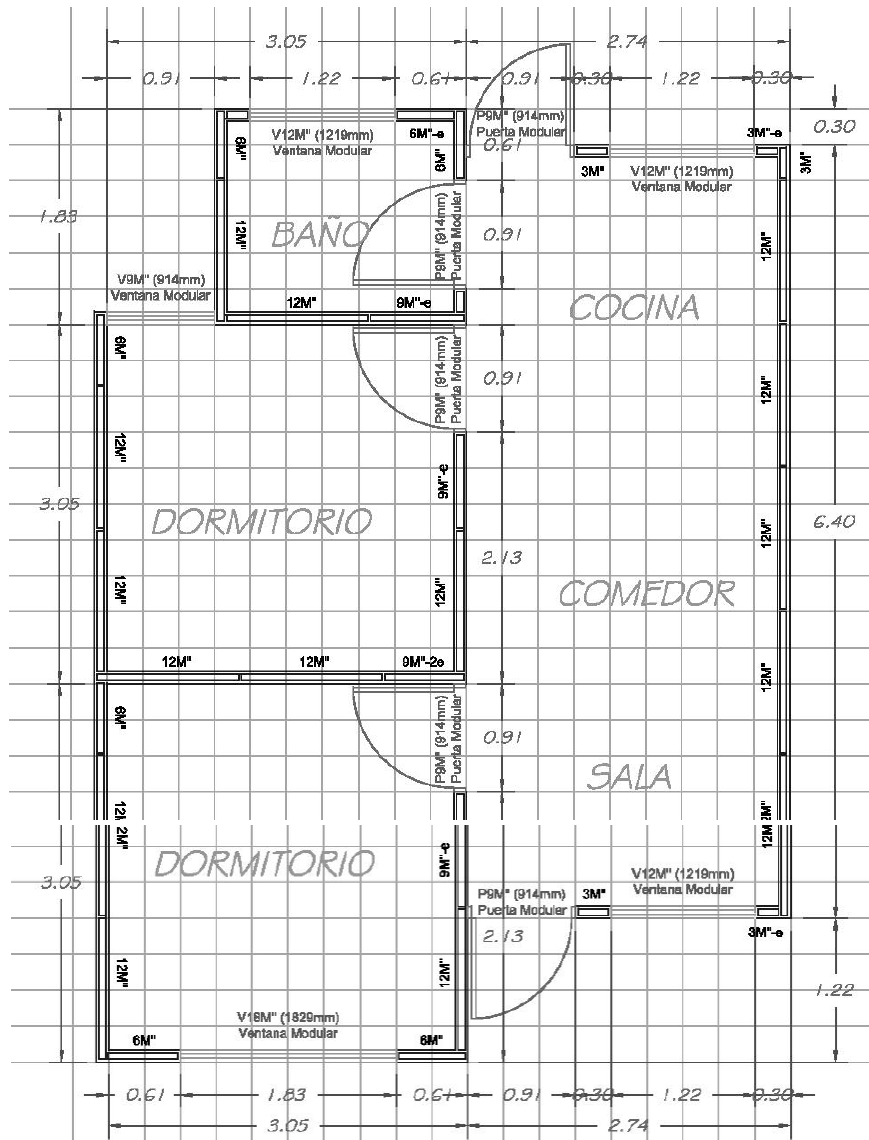


Figura A.3. Modulación de vivienda de interés social con sistema Panelco y SIP. Planta sin escala
 Fuente: Sancho, 2011

Cuadro A.6 Cuantificación de materiales utilizados en el sistema Panelco

Materiales				
Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Panel 3	27	Unid.	₺ 27,253.19	₺ 735,836.15
Arena	3.82	m3	₺ 16,000.00	₺ 61,120.00
Piedra	0.28	m3	₺ 18,000.00	₺ 5,040.00
Cemento	33	Sacos	₺ 6,400.00	₺ 211,200.00
Fibra	41	Paquetes	₺ 1,025.66	₺ 42,052.08
Grapas	2025	Unid.	₺ 10.60	₺ 21,469.86
Malla unión	36	Unid.	₺ 1,611.75	₺ 58,023.01
Malla esquinera interna	11	Unid.	₺ 2,168.54	₺ 23,853.93
Malla esquinera externa	9	Unid.	₺ 2,784.00	₺ 25,056.00
Malla Zigzag	68	Unid.	₺ 1,582.45	₺ 107,606.52
Recibidor cortante	80	Unid.	₺ 2,051.32	₺ 164,105.66
Varilla #3	24	Unid.	₺ 1,800.00	₺ 43,200.00
Perfil RTG	6	Unid.	₺ 11,478.20	₺ 68,869.20
				₺ 1,567,432.41

Fuente: Sancho, 2011 & Construplaza, 2018

Cuadro A.7 Cuantificación de mano de obra en el sistema Panelco

Mano de obra							
Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total mano de obra
Corte y colocación del panel	3.20	3.20	Unid/hora	27	8.44	8.44	₺ 39,234.38
Colocación de malla en juntas	10.00	10.00	Unid/hora	27	2.70	2.70	₺ 12,555.00
Fabricación del concreto	0.67	0.22	m3/hora	4.71	7.08	21.22	₺ 60,483.96
1era capa de repello	7.50	7.50	m2/hora	155.52	20.74	20.74	₺ 96,422.40
2do capa de repello	3.20	3.20	m2/hora	155.52	48.60	48.60	₺ 225,990.00
					87.55	101.69	₺ 434,685.74

Fuente de rendimientos: Panelco, 2017

Cuadro A.8 Cuantificación de desperdicios por mano de obra en la vivienda con Panelco

Desperdicios del sistema Covintec				
Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Panel 3	2	Unid.	₺ 27,253.19	₺54,506.38
				₺54,506.38

Fuente: Sancho, 2011 & Construplaza, 2018

Cuadro A.9 Cuantificación de materiales utilizados en el sistema de paneles SIP

Material	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Panel SIP 64 mm grosor	27	Unid.	₺ 36,000.00	₺ 972,000.00
Masilla Premier	5	Cubetas	₺ 8,500.00	₺ 42,500.00
Regla 7.5 x 7.5 cm L=6m	13	Unid.	₺ 6,496.00	₺ 84,448.00
Regla 7.5 x 3.75 cm L=6m	11	Unid.	₺ 4,251.40	₺ 46,765.40
Clavos 6 pulgadas	34	Kg	₺ 830.00	₺ 28,220.00
Perno de anclaje roscado	138	Unid.	₺ 500.00	₺ 69,000.00
			Total	₺ 1,242,933.40

Fuente: Sancho, 2011 & Precios de Estructural SIP, 2018

Cuadro A.10 Cuantificación de mano de obra en el sistema de paneles SIP

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total
Levantamiento de paredes					28.2549	28.4	₺ 131,668.27

Fuente de rendimientos: Panelco, 2018

Cuadro A.11 Cuantificación de desperdicios en el sistema de paneles SIP

Desperdicios del sistema SIP				
Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Panel SIP 64 mm grosor	2	Unid.	₺ 36,000.00	₺ 72,000.00
			Total	₺ 72,000.00

Fuente: Sancho, 2011 & Precios de Estructural SIP, 2018

- Sistema Steel Framing

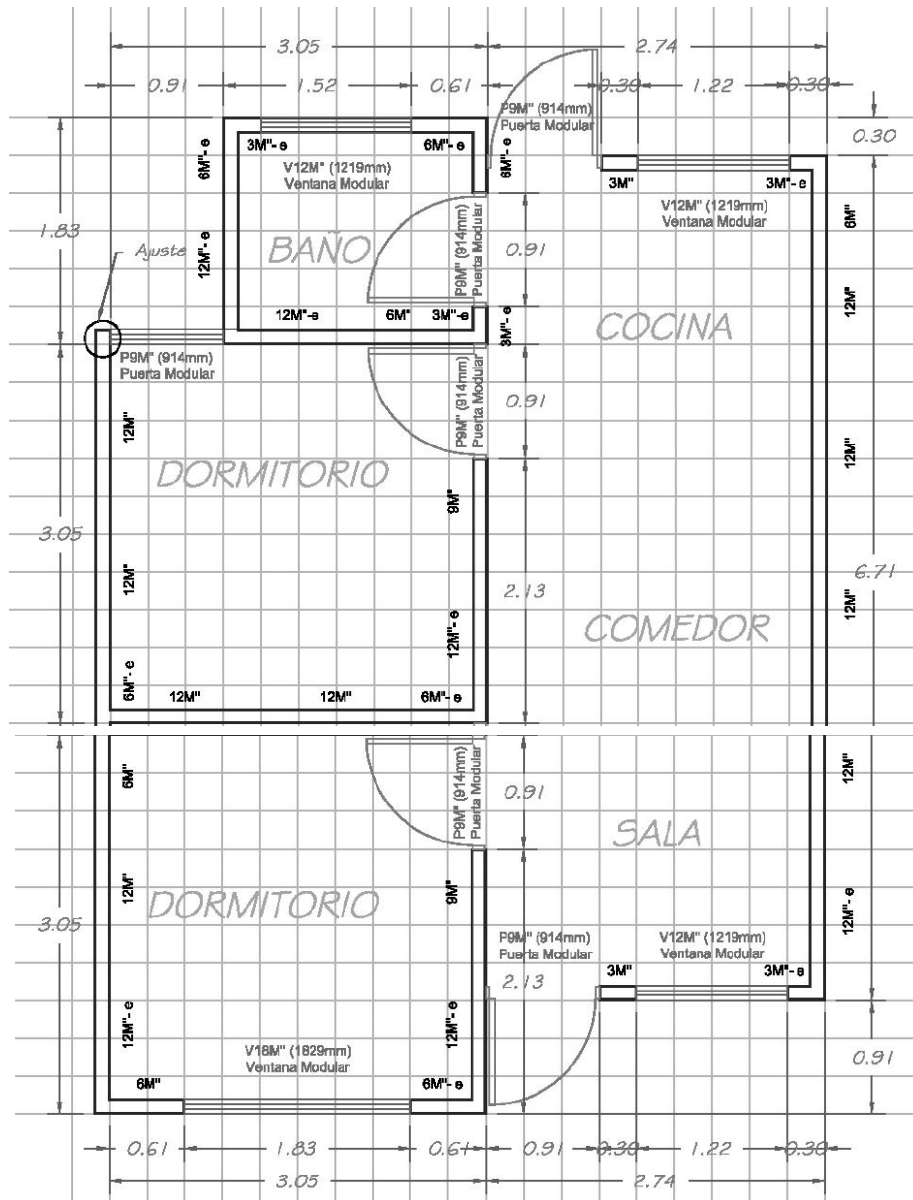


Figura A.4. Modulaci3n de vivienda de inter3s social con sistema Steel Framing. Planta sin escala

Fuente: Sancho, 2011

Cuadro A.12 Cuantificación de materiales utilizados en el sistema Steel Framing

Material	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Lámina exterior (1.22x2.44m)	28	Unid.	₡ 15,000.00	₡ 420,000.00
Lámina interior (1.22x2.44m)	29	Unid.	₡ 4,300.00	₡ 124,700.00
Perfil encuentro cal. 24 (L = 2.44m)	62	Unid.	₡ 2,821.12	₡ 174,909.44
Perfil intermedio cal. 24 (L = 2.44m)	42	Unid.	₡ 2,224.88	₡ 93,444.96
Perfil de Anclaje cal. 24 (L = 3.05m)	20	Unid.	₡ 2,351.32	₡ 47,026.40
Angular	10	Unid.	₡ 1,601.96	₡ 16,019.60
Tornillos	3000	Unid.	₡ 27.84	₡ 83,520.00
			Total	₡ 959,620.40

Fuente: Sancho, 2011 & Construplaza, 2018

Cuadro A.13 Cuantificación de mano de obra en el sistema Steel Framing

Actividad	Mano de obra						
	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	TOTAL
Estructura de acero	2.50	4.00	m2/hora	84	33.60	21.00	₡ 131,670.00
Enchapes	6.70	6.70	m2/hora	84	12.54	12.54	₡ 58,298.51
Corte de láminas	6.70	6.70	Unid./hora	57	8.51	8.51	₡ 39,559.70
					54.64	42.04	₡ 229,528.21

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

Cuadro A.14 Cuantificación de desperdicios en el sistema Steel Framing

Desperdicios del sistema Steel Framing				
Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Lámina exterior (1.22x2.44m)	1	Unid.	₡ 15,000.00	₡ 15,000.00
Lámina interior (1.22x2.44m)	1	Unid.	₡ 4,300.00	₡ 4,300.00
				₡ 19,300.00

Fuente: Sancho, 2011 & Precios de Construplaza, 2018

- Sistema Wood Framing

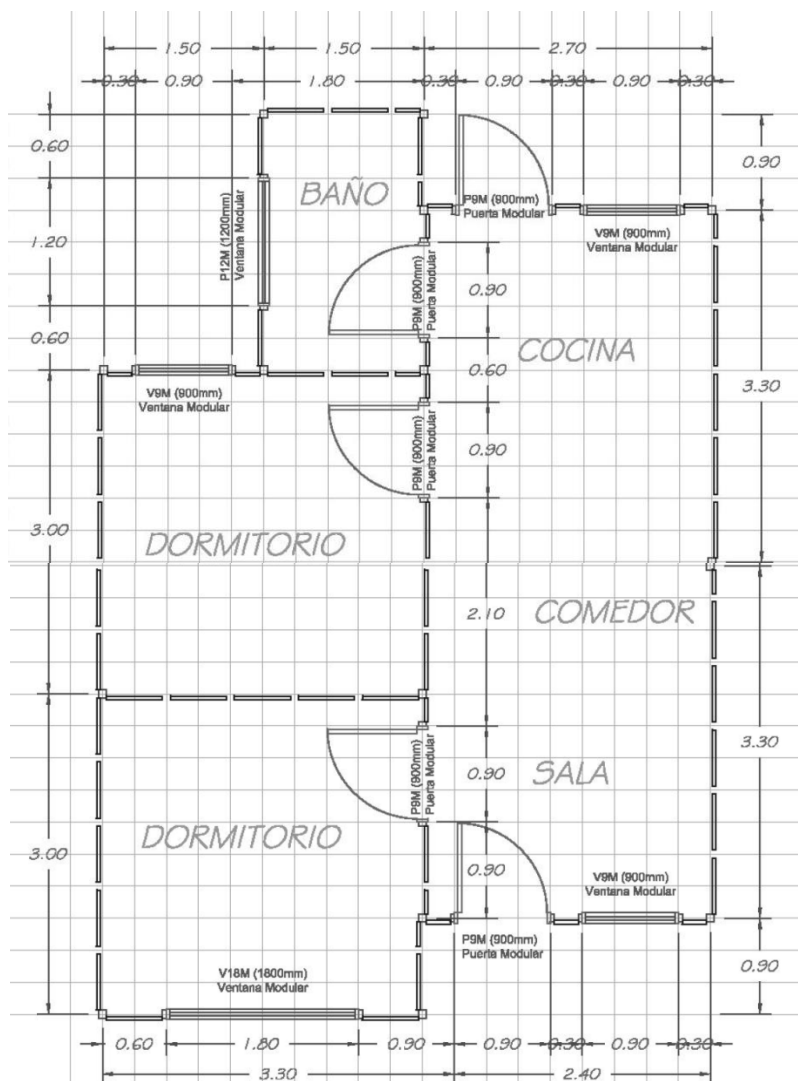


Figura A.5. Modulaci3n de vivienda de inter3s social con sistema Wood Framing.
Fuente: Sancho, 2011

Cuadro A.15 Cuantificación de materiales utilizados en el sistema Wood Framing

Material	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Lámina exterior (1.22x2.44m)	29	Unid.	€ 15,000.00	€ 435,000.00
Lámina interior (1.22x2.44m)	31	Unid.	€ 4,300.00	€ 133,300.00
Regla 5 x 10 cm (L=6m)	25	Unid.	€ 6,496.00	€ 162,400.00
Regla 7.5 x 3.75 cm (L=6m)	30	Unid.	€ 4,251.40	€ 127,542.00
Conectores metálicos	55	Unid.	€ 754.00	€ 41,470.00
			Total	€ 899,712.00

Fuente: Construplaza (2018)

Cuadro A.16 Cuantificación de mano de obra en el sistema Wood Framing

Actividad	Mano de obra						
	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total mano de obra
Estructura de madera	1.54	2.86	m2/hora	84	54.55	29.37	€ 204,545.45
Enchapes	6.70	6.70	m2/hora	84	12.54	12.54	€ 58,298.51
Corte de láminas	6.70	6.70	Unid./hora	60	8.96	8.96	€ 41,641.79
					76.04	50.86	€ 304,485.75

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

Cuadro A.17 Cuantificación de desperdicios en el sistema Wood Framing

Desperdicios del Wood Framing				
Material	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Lámina exterior (1.22x2.44m)	1	Unid.	€ 15,000.00	€ 15,000.00
Lámina interior (1.22x2.44m)	1	Unid.	€ 4,300.00	€ 4,300.00
				€ 19,300.00

Fuente: Sancho, 2011 & Construplaza, 2018

- Sistema Bloqueplast

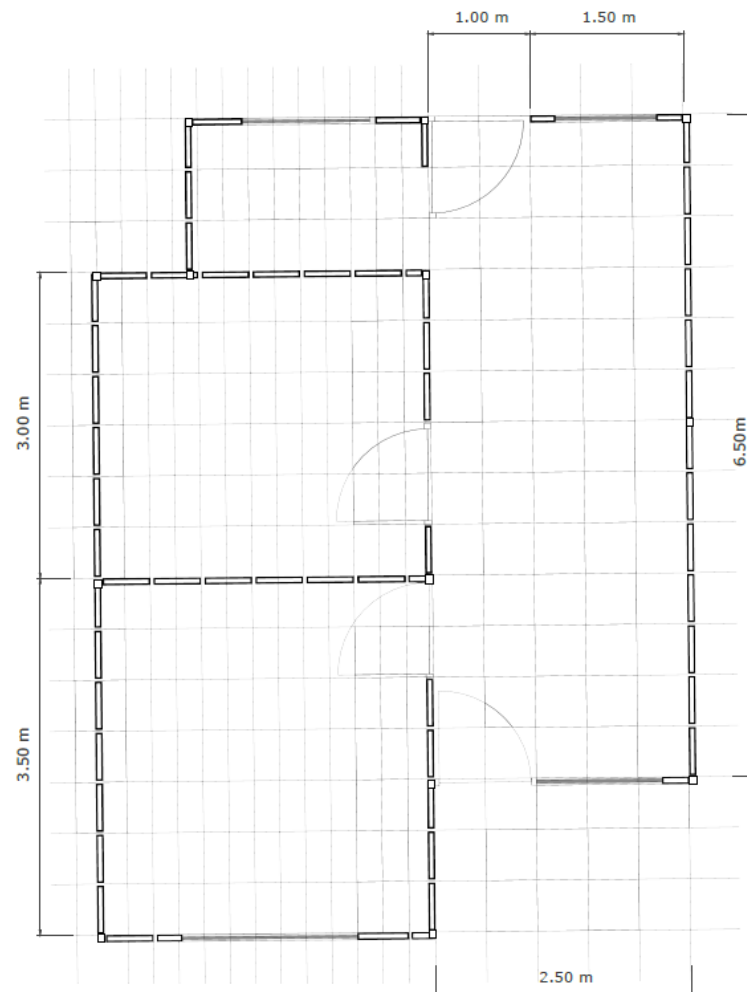


Figura A.6. Modulaci3n de vivienda de inter3s social con Bloqueplast

Cuadro A.18 Cuantificaci3n de materiales en sistema Bloqueplas

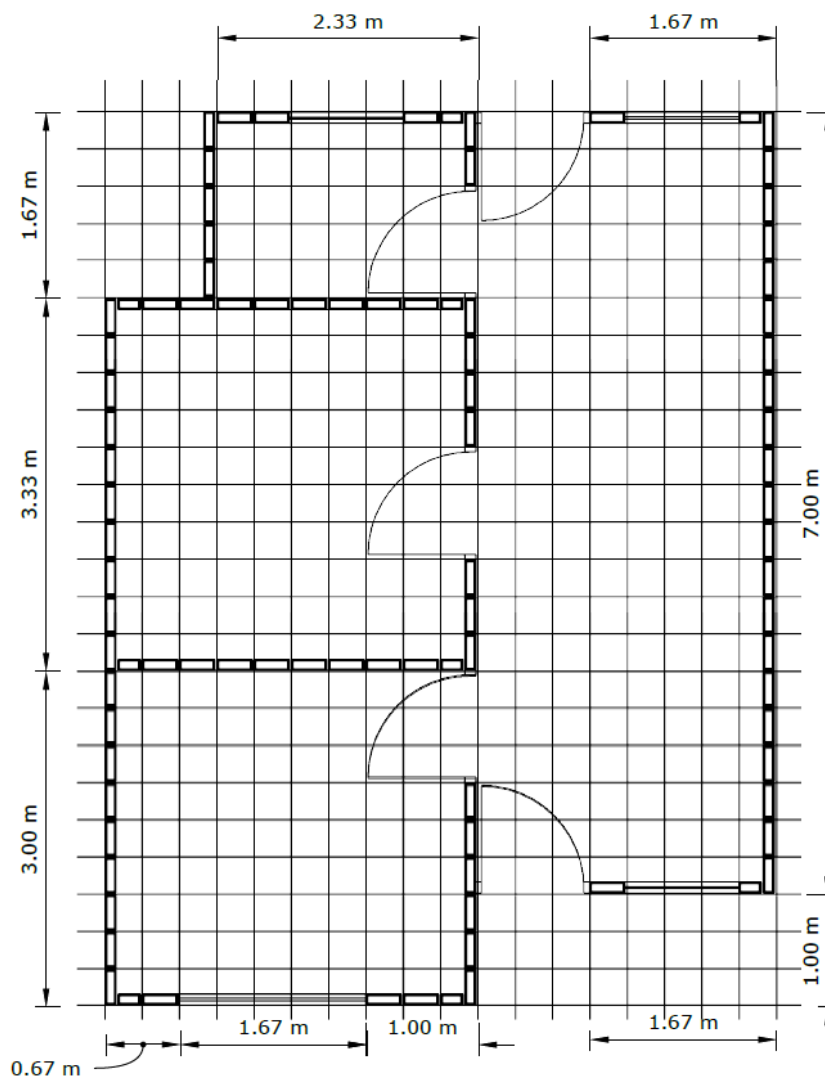
Material	Materiales			Total
	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	
Bloques enteros	1605	Unid.		
Columnas	11	Unid.		
Vigas (3.5 m largo)	15	Unid.		
Elementos de marco de ventana	11	Unid.		
Uniones met3licas en T	14	Unid.		
Uniones met3licas en L	35	Unid.		
			Total	∅ 1,080,000.00

Fuente: CasadePlastico, 2017

Cuadro A.19 Cuantificación de mano de obra en sistema Bloqueplas

Mano de obra							
Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total
Ensamblado de muros	3.80	1.30	m2/hora	84	22.1052632	64.615385	∅ 185,684.21
					22.11	64.62	∅ 185,684.21

- Sistema RBS

**Figura A.8.** Modulación de vivienda de interés social con Bloqueplast.

Cuadro A.20 Cuantificación de materiales del sistema RBS

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Panel RBS (232*100 mm *2.4m)	135	Unid.		₺ 435,000.00
Conector (100*100 mm)	135	Unid.		
Elemento de marco (6m)	6	Unid.		
Tapa de muro (6m)	4	Unid.		
Piedra	5.535	m3	₺ 18,000.00	₺ 99,630.00
Arena	4.059	m3	₺ 16,000.00	₺ 64,944.00
Cemento	55.35	sacos	₺ 6,400.00	₺ 354,240.00
Varilla N3 (6m)	68	Unid.	₺ 1,800.00	₺ 122,400.00
			Total	₺ 1,076,214.00

Fuente: Construplaza, 2018 & Azembla, 2018

Cuadro A.21 Cuantificación de la mano de obra del sistema RBS

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unid. Rend.	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total
Armado	7.6	25	kg/hora	228.48	30.0632	9.14	₺ 98,991.97
Confección del concreto	0.666	0.2222	m3/hora	7.38	11.0811	33.21	₺ 94,684.90
Colocación de paneles RBS	5	3	m2/hora	73.8	14.76	24.60	₺ 87,822.00
					55.9042	66.95	₺ 281,498.86

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.) & Azembla, 2018

Cuadro A.22 Cuantificación del costo de alquiler de la bomba

Alquiler	Cantidad	Unidad	P. Unit.	TOTAL
Alquiler de bomba	7.38	m3	₺ 10,000.00	₺ 73,800.00

- Sistema Peri-Uno

Cuadro A.23 Cuantificación de materiales del sistema Peri-Uno

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Piedra	5.535	m3	₺ 18,000.00	₺ 99,630.00
Arena	4.059	m3	₺ 16,000.00	₺ 64,944.00
Cemento	55.35	sacos	₺ 6,400.00	₺ 354,240.00
Varilla N3 (6m)	68	Unid.	₺ 1,800.00	₺ 122,400.00
Formaleta	147.6	m2	₺ 773.00	₺ 114,094.80
			Total	₺ 755,308.80

Fuente: Construplaza, 2018 & Peri, 2018

Cuadro A.24 Cuantificación de mano de obra del sistema Peri-Uno

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unid. Rend.	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total
Confección del concreto	0.666	0.2222	m3/hora	7.38	11.0811	33.21	₺ 94,684.90
Armado	7.6	25	kg/hora	228.48	30.0632	9.14	₺ 98,991.97
Colocación de la formaleta	11	7	m2/hora	168	15.2727	24.00	₺ 88,036.36
					56.417	66.35	₺ 281,713.23

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

Cuadro A.25 Cuantificación del costo de alquiler de la bomba

Alquiler	Cantidad	Unidad	P. Unit.	TOTAL
Alquiler de bomba	7.38	m3	₺ 10,000.00	₺ 73,800.00

Cálculo de cimentaciones

- Cimentación puntual

Cuadro A.26 Cuantificación de la mano de obra de la cimentación puntual

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total de materiales
Arena	1	m3	₺ 16,000.00	₺ 16,000.00
Piedra	1.77	m3	₺ 18,000.00	₺ 31,860.00
Cemento	15	sacos	₺ 6,400.00	₺ 96,000.00
Total				₺ 143,860.00

Fuente: Sancho, 2011 & Precios de Construplaza (2018)

Cuadro A.27 Cuantificación de la mano de obra de la cimentación puntual

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total
Confección del concreto	0.666	0.2222	m3/hora	2.00	3.003003	9.0009	₺ 25,659.86
Chorrea y acarreo del concreto	0.14	0.09	m3/hora	2.00	14.28571	22.22222	₺ 81,904.76
					17.28872	31.22312	₺ 107,564.63

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

- Cimentaciones de sistemas livianos: Panelco, Steel Framing, Wood Framing, Bloquplast y SIP

Cuadro A.28 Cuantificación de materiales de cimentaciones livianas

Material	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total de materiales
Varila 7.2 mm Ø	7	Unid.	₺ 1,800.00	₺ 12,600.00
Varilla 5.5 mm Ø	23	Unid.	₺ 910.00	₺ 20,930.00
Arena	1.6555	m3	₺ 16,000.00	₺ 26,488.00
Piedra	2.2575	m3	₺ 18,000.00	₺ 40,635.00
Cemento	22.575	sacos	₺ 6,400.00	₺ 144,480.00
Total				₺ 245,133.00

Fuente: Construplaza, 2018

Cuadro A.29 Cuantificación de mano de obra de cimentaciones livianas

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo Total
Confección del concreto	0.666	0.2222	m3/hora	3.01	4.51952	13.54635	₺ 38,618.09
Armado	7.6	25	kg/hora	75.00	9.868421	3	₺ 32,494.74
Chorrea y acarreo del concreto	0.14	0.09	m3/hora	3.01	21.5	33.44444	₺ 123,266.67
					35.88794	49.9908	₺ 194,379.50

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

- Cimentación de mampostería y muro de concreto

Cuadro A.30 Cuantificación de materiales de las cimentaciones para mampostería y muro de concreto

Material	Materiales			
	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total de materiales
Varila 7.2 mm Ø	7.7	Unid.	₺ 1,800.00	₺ 13,860.00
Varilla 5.5 mm Ø	25.3	Unid.	₺ 910.00	₺ 23,023.00
Arena	1.9866	m3	₺ 16,000.00	₺ 31,785.60
Piedra	2.709	m3	₺ 18,000.00	₺ 48,762.00
Cemento	27.09	sacos	₺ 6,400.00	₺ 173,376.00
			Total	₺ 290,806.60

Fuente: Construplaza (2018)

Cuadro A.31 Cuantificación de mano de obra de las cimentaciones para mampostería y muro de concreto

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unid. Rend.	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo Total
Confección del concreto	0.666	0.2222	m3/hora	3.61	5.423423	16.25563	₺ 46,341.71
Armado	7.6	25	kg/hora	82.50	10.85526	3.3	₺ 35,744.21
Chorrea y acarreo del concreto	0.14	0.09	m3/hora	3.61	25.8	40.13333	₺ 147,920.00
					42.07869	59.68896	₺ 230,005.92

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

Cálculo de acabados

- Acabado Tipo 1: Pintura y sellador, aplicado al sistema de baldosas horizontales, mampostería, Panelco, Steel Framing, Wood Framing, Peri-Uno

Cuadro A.32 Cuantificación de materiales para el acabado Tipo 1

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total de materiales
Dos manos de pintura	162	m2	240	₺ 77,760.00
Una mano de sellador	162	m2	250	₺ 40,500.00
			Total	₺ 118,260.00

Fuente: Construplaza, 2018

Cuadro A.33 Cuantificación de mano de obra del acabado Tipo 1

Mano de obra							
Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unidad rendimiento	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total mano de obra
Pintura	2	0	m2/hora	162	81	0	₺ 218,700.00
Aplicación del sellador	4	0	m2/hora	162	40.5	0	₺ 109,350.00
				Total	121.5	0	₺ 328,050.00

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

- Acabado Tipo 2: Pintura, sellador y mortero, aplicado al sistema SIP

Cuadro A.34 Cuantificación de materiales para el acabado Tipo 2

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total de materiales
Repello fino enmasillado	162	m2	420	₺ 68,040.00
Dos manos de pintura	162	m2	240	₺ 77,760.00
Una mano de sellador	162	m2	250	₺ 40,500.00
			Total	₺ 186,300.00

Fuente: Construplaza, 2018

Cuadro A.35 Cuantificación de mano de obra del acabado Tipo 2

Actividad	Ren.op.	Ren.pe.	Unid. Rend.	Cantidad	Tot.h.op	Tot.h.pe	Costo total mano de obra
Repellar	2	2	m2/hora	162	81	40.5	₺ 297,675.00
Pintura	2	0	m2/hora	162	81	0	₺ 218,700.00
Aplicación del sellador	4	0	m2/hora	162	40.5	0	₺ 109,350.00
				Total	202.5	40.5	₺ 625,725.00

Fuente de rendimientos: Fernández, (s.f.)

Apéndice B: Cálculo de la energía incorporada de los sistemas constructivos

Cabe aclarar que los factores de conversión para obtener la huella de carbono y los consumos energéticos fueron tomados de la tesis de (Quispe, 2016).

Cuadro A.36 Cuantificación del Consumo Energético y Huella de Carbono en paredes para los diferentes sistemas constructivos

Consumo Energético (C.E.) y Huella de Carbono (H.C.) en paredes									
Sistema	Material	Cantidad	Unidad	C. E. unitario	H.C. unitaria	C. E. (MJ)	H.C. (CO2)	Total C.E. (MJ)	Total H.C. (CO2)
Baldosas horizontales	Concreto	3,60	m3	1200,0	240,0	4320,0	864,0	11197,95	1414,24
	Acero	196,51	kg	35,0	2,8	6877,9	550,2		
Mampostería integra	Concreto	10,30	m3	1200,0	240,0	12364,8	2473,0	19889,80	3074,96
	Acero	215,00	kg	35,0	2,8	7525,0	602,0		
Panelco	Acero	322,88	kg	35,0	2,8	11300,8	904,1	28679,57	3747,50
	Concreto	4,40	m3	1200,0	240,0	5280,0	1056,0		
	Poliuretano	3,44	m3	3513,0	519,0	12098,8	1787,4		
Steel Framing	Acero	428,79	m3	35,0	2,8	15007,7	1200,6	36982,41	4148,68
	Lana de vidrio	3,94	m3	3513,0	519,0	13827,2	2042,8		
	Gypsum	3,94	m3	2070,0	230,0	8147,5	905,3		
Wood Framig	Madera	1,26	m3	9000,0	-700,0	11306,3	-879,4	33280,94	2068,69
	Lana de vidrio	3,94	m3	3513,0	519,0	13827,2	2042,8		
	Gypsum	3,94	m3	2070,0	230,0	8147,5	905,3		
Bloqueplast	Plástico reciclado	4,92	m3	1000,0	675,0	4920,0	3321,0	6162,15	3420,37
	Acero	35,49	kg	35,0	2,8	1242,2	99,4		
SIP	Conclomerado	5,54	m3	3000,0	-700,0	16633,1	-3881,1	30131,90	-1981,63
	Acero	40,00	kg	35,0	2,8	1400,0	112,0		
	Poliuretano	3,44	m3	3513,0	519,0	12098,8	1787,4		
RBS	Vinil	0,50	m3	94800,0	14040,0	47014,7	6962,9	63867,53	9373,89
	Acero	228,48	kg	35,0	2,8	7996,8	639,7		
	Concreto	7,38	m3	1200,0	240,0	8856,0	1771,2		
Peri-Uno	Acero	266,86	kg	35,0	2,8	9340,0	747,2	18195,96	2518,40
	Concreto	7,38	m3	1200,0	240,0	8856,0	1771,2		

Nota: Se está asumiendo que la madera es de plantación forestal por lo que la huella de carbono es beneficiosa (signo negativo)

Cuadro A.37 Cuantificación del Consumo Energético y Huella de Carbono en acabados para los diferentes sistemas constructivos

Consumo Energético (C.E.) y Huella de Carbono (H.C.) en acabados									
Sistema	Material	Cantidad	Unidad	C. E. unitario	H.C. unitaria	C. E. (MJ)	H.C. (CO2)	Total C.E. (MJ)	Total H.C. (CO2)
Mampostería, baldosas horizontales, Panelco, Steel Framing, Wood Framing y Peri-Uno	Pintura	324	m2	0.1	0.015	32.4	4.86	48.6	4.86
	Sellador	162	m2	0.1		16.2	0		
SIP	Repello fino	4.86	m3	1200	240	5832	1166.4	5880.6	1173.69
	Pintura	324	m2	0.1	0.015	32.4	4.86		
	Sellador	162	m2	0.1	0.015	16.2	2.43		

Cuadro A.38 Cuantificación del Consumo Energético y Huella de Carbono en cimientos para los diferentes sistemas constructivos

Consumo Energético (C.E.) y Huella de Carbono (H.C.) en cimientos									
Sistema	Material	Cantidad	Unidad	C. E. unitario	H.C. unitaria	C. E. (MJ)	H.C. (CO2)	Total C.E. (MJ)	Total H.C. (CO2)
Cimentación puntual: Baldosas horizontales	Concreto	2	m3	1200	240	2400	480	3520	569.6
	Acero	32	Kg	35	2.8	1120	89.6		
Cimentación para: Mampostería, RBS y Peri-Uno	Concreto	3.61	m3	1200	240	4332	866.4	6726	1057.92
	Acero	68.4	Kg	35	2.8	2394	191.52		
Cimentación para: Panelco, Steel Framing, Wood Framing, Bloqueplast, SIP	Concreto	3	m3	1200	240	3600	720	5777	894.16
	Acero	62.2	Kg	35	2.8	2177	174.16		

Apéndice C: Encuestas de percepción social de estética y calidad constructiva

Cuadro A.39 Resultados de las encuestas de percepción social de la estética y calidad constructiva realizadas

	Parámetro \ Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Promedio
Calificación a la estética	Baldosas horizontales	5	6	4	3	5	6	4	4	4	6	5	4.73
	Mampostería Integra	7	8	8	8	9	8	9	8	7	7	8	7.91
	Panelco	9	8	8	7	8	8	8	8	9	8	8	8.09
	Wood Framing	8	7	7	8	8	8	8	8	7	8	8	7.73
	Steel Framing	9	7	7	7	8	8	8	10	9	8	8	8.09
	Bloqueplast	7	7	7	6	4	4	7	7	6	5	6	6.00
	Structural Insulated Panel	8	7	8	7	8	8	8	8	8	8	8	7.82
	Royal Building System	9	8	7	6	8	8	9	8	7	7	6	7.55
	Peri-Uno	8	10	9	8	9	9	9	8	7	7	8	8.36
Calificación a la seguridad constructiva del sistema	Baldosas horizontales	4	5	5	6	8	4	4	5	5	5	5	5.09
	Mampostería Integra	9	9	8	9	9	9	9	9	9	7	9	8.73
	Panelco	8	7	8	7	8	8	5	8	8	8	8	7.55
	Wood Framing	8	8	8	7	7	7	4	5	8	8	8	7.09
	Steel Framing	7	9	8	8	7	7	8	7	8	8	8	7.73
	Bloqueplast	6	6	6	5	5	4	2	8	4	5	5	5.09
	Structural Insulated Panel	5	7	6	6	5	8	7	5	5	6	6	6.00
	Royal Building System	8	9	8	8	8	9	9	8	8	9	7	8.27
	Peri-Uno	10	9	9	8	8	8	9	9	9	8	8	8.64

Apéndice D: Encuestas para determinar el peso de importancia de variables en la herramienta comparativa

Cuadro A.40 Resultados de las encuestas realizadas para determinar el peso de importancia de las variables económicas, político-legales, tecnológicas, ambientales y sociales

Parámetro \ Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio
Económico	5	5	5	5	4	5	5	3	4,63
Político-legal	2	1	2	2	2	1	3	2	1,88
Tecnológico	3	4	4	3	3	5	4	3	3,63
Ambiental y social	2	2	1	3	2	2	2	3	2,13

Cuadro A.41 Resultados de las encuestas realizadas para determinar el peso de importancia de los *que's* del actor constructor

Parámetro \ Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio
Costo final	5	4	4	5	5	5	5	5	4,75
Riesgo de inversión	2	3	3	4	4	4	4	2	3,25
Nivel de industrialización del sistema	3	3	3	4	3	2	3	3	3,00
Acceso y respaldo técnico en el mercado nacional	2	3	3	3	3	3	3	3	2,88
Facilidad en el transporte e izaje del sistema	2	1	3	2	2	3	2	2	2,13
Facilidad de ejecución y coordinación	4	4	3	5	5	4	4	4	4,13
Especialización de obreros requeridos	1	1	2	1	3	3	3	3	2,13
Tiempo de construcción	3	3	4	4	4	3	3	3	3,38
Control de calidad	3	3	4	3	4	5	2	3	3,38
Impactos ambientales	2	2	3	3	5	3	4	4	3,25

Cuadro A.42 Resultados de las encuestas realizadas para determinar el peso de importancia de los *que's* del actor usuario

Parámetro \ Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Promedio
Costo final	5	5	5	4	5	4	4	4	5	5	3	4,45
Confort	2	3	4	3	3	4	3	3	2	3	2	2,91
Estética y estilo de vida que auspicia el sistema	3	4	3	3	3	3	2	5	2	2	2	2,91
Integridad del sistema en el tiempo	3	3	4	3	3	3	4	4	2	3	3	3,18
Protección ante agentes exteriores	4	3	3	4	4	3	1	3	3	3	3	3,09
Posibilidad de realizar intervenciones futuras	3	3	3	4	5	4	1	2	2	3	3	3,00
Seguridad ante eventos naturales o fuego	5	4	5	4	4	3	3	4	3	3	3	3,73

Cuadro A.48 Resultados de la segunda encuesta realizada para determinar la relación que-como de la matriz QFD para el actor Usuario

Último nivel	Costo Final	Confort	Estética y estilo de vida que auspicia el sistema	Integridad del sistema en el tiempo	Protección ante agentes exteriores	Posibilidad de realizar intervenciones futuras	Seguridad ante eventos naturales o fuego
	4,45	2,9	2,9	3,18	3,09	3	3,72
Costo del sistema	10	0	0	0	0	0	0
Incertidumbre en el presupuesto	5	0	0	0	0	0	0
Éxito del sistema constructivo en otras latitudes (si aplica)	5	0	0	5	0	0	0
Respaldo técnico por parte de una casa matriz (si aplica)	5	0	0	0	0	10	0
Derechos de autor del sistema constructivo	5	0	0	0	0	10	0
Política y normativa costarricense	0	0	0	0	5	0	5
Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	0	0	5	0	5	10	5
Resistencia del material y conocimiento de sus propiedades	0	0	0	5	5	0	5
Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	0	5	10	0	0	5	0
Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	0	5	10	0	0	0	0
Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular, necesidad de retención del terreno o necesidad de elevar el proyecto por inundación.	5	5	5	0	0	0	5
Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	5	0	0	0	0	5	0
Cantidad de la obra industrializada	10	0	0	0	0	5	0
Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	0	0	0	5	0	0	5
Complejidad técnica en la fabricación del sistema	5	0	0	0	0	0	0
Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	10	0	0	0	0	10	0
Representación en el país del sistema y acompañamiento técnico	0	0	0	0	0	10	0
Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	0	0	0	0	0	5	0
Vehículo necesario para el transporte	5	0	0	0	0	10	0
Peso de los componentes y equipo especial para izaje	5	0	0	0	0	10	0
Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	10	0	0	0	0	5	0
Control de calidad	0	0	0	5	5	0	0
Modulación	10	0	0	0	0	0	0
Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	5	0	0	0	0	10	0
Acabados	5	0	10	10	10	5	0
Electromecánico	5	0	0	0	0	5	0
Puertas/ ventanas	5	0	0	0	0	0	0
Tiempo de ejecución	10	0	0	0	0	5	0
Vida útil del sistema	0	0	5	10	10	0	5
Resistencia ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo	0	0	5	10	10	0	0
Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	0	0	5	10	10	0	5
Resistencia a la anidación o penetración de animales	0	5	5	10	5	0	0
Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	0	5	5	10	5	0	0
Resistencia al robo y vandalismo	0	0	5	5	10	0	0
Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	0	0	0	10	0	0	10
Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	0	0	0	0	0	0	10
Permeabilidad del sistema ante el agua y viento	0	10	0	0	10	0	0
Construcción progresiva	0	0	0	0	0	10	0
Facilidad en reparaciones	0	0	0	5	0	10	0
Nivel de acabado finales	10	0	5	5	5	0	0
Aceptación social de la estética del sistema	0	0	10	0	0	0	0
Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	0	0	5	0	0	0	0
Transmitancia térmica (valor U) (W/m²K)	0	10	5	0	0	0	0
Aislamiento acústico del sistema	0	10	5	0	0	0	0
Huella de carbono	0	0	0	0	0	0	0
Energía incorporada	0	0	0	0	0	0	0
Impacto socioeconómico durante la construcción	0	0	0	0	0	0	0
Posibilidad de reciclaje	0	0	0	0	0	0	0
Posibilidad de reutilización y deconstrucción	0	0	5	0	0	0	0

Cuadro A.49 Resultados de la tercera encuesta realizada para determinar la relación que-como de la matriz QFD para el actor Usuario

Último nivel	Costo Final	Confort	Estética y estilo de vida que auspicia el sistema	Integridad del sistema en el tiempo	Protección ante agentes exteriores	Posibilidad de realizar intervenciones futuras	Seguridad ante eventos naturales o fuego
	4,45	2,9	2,9	3,18	3,09	3	3,72
Costo del sistema	10	0	5	0	0	0	0
Incertidumbre en el presupuesto	5	0	0	0	0	0	0
Éxito del sistema constructivo en otras latitudes (si aplica)	5	0	5	5	0	0	0
Respaldo técnico por parte de una casa matriz (si aplica)	5	0	0	0	0	10	0
Derechos de autor del sistema constructivo	5	0	0	0	0	5	0
Política y normativa costarricense	0	0	0	5	5	0	5
Posibilidad de que el sistema soporte un segundo nivel	0	0	0	0	0	5	0
Resistencia del material y conocimiento de sus propiedades	0	0	0	5	5	0	5
Flexibilidad en el diseño en planta (adaptación a diferentes tipologías y terrenos)	0	5	10	0	0	5	0
Posibilidades volumétricas (adaptación a diferentes alturas, aberturas, formas del muro y concavidades)	0	5	10	0	0	0	0
Adecuación a condiciones especiales como topografía irregular, necesidad de retención del terreno o necesidad de elevar el proyecto por inundación.	5	5	5	0	0	0	5
Compatibilidad con otros sistemas, subsistemas y materiales	5	0	0	0	0	5	0
Cantidad de la obra industrializada	5	0	0	0	0	0	0
Control de calidad en la fabricación y existencia de normas técnicas que regulen la producción del sistema	0	0	0	5	0	5	5
Complejidad técnica en la fabricación del sistema	5	0	0	0	0	0	0
Acceso y continuidad del sistema en el mercado nacional	10	0	0	0	0	5	0
Representación en el país del sistema y acompañamiento técnico	5	0	0	0	0	10	0
Cuidado que requiere el sistema en transporte, manipulación y almacenamiento	5	0	0	0	0	5	0
Vehículo necesario para el transporte	5	0	0	0	0	5	0
Peso de los componentes y equipo especial para izaje	5	0	0	0	0	10	0
Facilidad de construcción, montaje y trabajabilidad de los diferentes elementos	10	0	0	0	0	5	0
Control de calidad	5	0	0	5	5	0	0
Modulación	5	0	0	0	0	0	0
Especialización de los obreros y posibilidad de autoconstrucción:	5	0	0	0	0	10	0
Acabados	5	0	5	5	5	5	0
Electromecánico	5	0	0	0	0	5	0
Puertas/ ventanas	5	0	0	0	0	5	0
Tiempo de ejecución	10	0	0	0	0	5	0
Vida útil del sistema	0	0	5	10	10	0	5
Resistencia ante contaminantes atmosféricos, sustancias químicas e interperimo	0	0	5	10	10	0	0
Resistencia ante golpes y cargas fortuitas	0	0	0	5	10	0	5
Resistencia a la anidación o penetración de animales	0	5	5	10	5	0	0
Resistencia a ataques biológicos: Microorganismos, insectos, plantas y hongos	0	5	5	10	5	0	0
Resistencia al robo y vandalismo	0	0	5	5	10	0	0
Resistencia de los materiales al fuego, combustibilidad y contribución a la carga de fuego de la edificación	0	0	0	10	0	0	10
Protección a los ocupantes durante un incendio: Conductividad térmica, producción de gases tóxicos o gotas incandescentes y tiempo de evacuación (tiempo de resistencia al fuego)	0	0	0	0	0	0	10
Permeabilidad del sistema ante el agua y viento	0	10	0	0	10	0	0
Construcción progresiva	0	0	0	0	0	10	0
Facilidad en reparaciones	0	0	0	5	0	10	0
Nivel de acabado finales	10	0	10	10	10	0	0
Aceptación social de la estética del sistema	0	0	10	0	0	0	0
Aceptación social de la seguridad constructiva del sistema	0	0	10	0	0	0	0
Transmitancia térmica (valor U) (W/m²K)	0	10	5	0	5	0	0
Aislamiento acústico del sistema	0	10	5	0	0	0	0
Huella de carbono	0	0	0	0	0	0	0
Energía incorporada	0	0	0	0	0	0	0
Impacto socioeconómico durante la construcción	0	0	0	0	0	0	0
Posibilidad de reciclaje	0	0	0	0	0	0	0
Posibilidad de reutilización y deconstrucción	0	0	5	0	0	0	0