



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

**El Impacto de los materiales en la arquitectura sostenible
La Energía incorporada en las viviendas de Cuenca**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
ARQUITECTO

Autor: Ana Gabriela Torres Avilés

Director: Arq. Jefferson Torres-Quezada, PhD

CUENCA - ECUADOR

2020

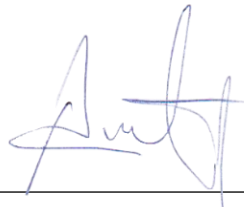
*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

Declaración

Yo, **Ana Gabriela Torres Avilés**, con cédula de identidad 010643085-3, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. Que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en la presente investigación.
2. Que trabajo es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, citas completas, ilustraciones, tablas, etc. sacadas de alguna publicación (en versión digital o impresa).
Caso contrario, referencio en forma clara y exacta su origen o autor.
3. Que el trabajo no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.
4. Que el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Católica de Cuenca.

Me hago responsable ante la universidad o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado y asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndome a la normas establecidas y vigentes de la UCACUE.

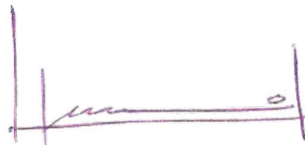


Ana Gabriela Torres Avilés

Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTO con el título: “*El Impacto de los materiales en la arquitectura sostenible, La Energía incorporada en las viviendas de Cuenca*” ha sido elaborado por la Srta. **Ana Gabriela Torres Avilés**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Jefferson Torres-Quezada', is written over a horizontal line.

Arq. Jefferson Torres-Quezada, PhD

Dedicatoria

A mis padres que siempre han estado a mi lado, a cada uno de mis hermanos Juan Pablo, María Paula, Pedro Jacob, Rafaela, Santiago y Mariángel, a más de ser una familia somos el mejor equipo que puede existir y cada logro se los dedico a Uds.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme el regalo más grande que es mi familia, gracias a su apoyo he podido seguir adelante pese a cualquier circunstancia. Mis padres y hermanos, Uds. han sido el principal motor para este logro.

Quiero agradecer a todas las personas que de una u otra manera han formado parte de este camino, mis amigos, profesores, y a la mejor persona que pude conocer, cada experiencia ha sido fundamental para llegar hasta este punto.

Un agradecimiento especial para el Arq. Jefferson Torres, que me ha enseñado más allá de conceptos y teorías, gracias por forjar en mí un criterio distinto.

Resumen

El consumo energético mundial ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, esto ha repercutido en el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El sector residencial y de la construcción, son uno de los mayores responsables de este incremento. Conforme avanza la demanda de vivienda, el sector de la construcción tiende a insertar nuevos materiales. Con frecuencia estos materiales tienen la intención de ahorrar tiempos de ejecución o solventar aspectos de confort ambiental, no obstante, muchas veces estas inserciones buscan solventar caprichos estéticos de usuarios o constructores. La introducción de nuevos materiales, tiene un alto impacto en el aspecto ambiental, debido a que requieren más energía para su fabricación. En este contexto se enmarca el Ecuador, el cual ha adoptado sistemas constructivos importados, sin fundamento térmico y mucho menos ambiental, los cuales se aplican en las diferentes regiones del país.

Cuenca, ha experimentado este cambio. Por este motivo, esta tesis tiene como objetivo diseñar una vivienda para la ciudad, con énfasis en la reducción de Energía Incorporada, en función de un análisis previo de los sistemas constructivos utilizados. Para alcanzar dicho objetivo, primero se ha desarrollado una investigación bibliográfica de estrategias aplicadas para reducir el impacto ambiental de los materiales de construcción. Segundo, a través de datos estadísticos se estableció el cambio de materiales dado en los últimos años, a nivel nacional, regional y provincial. Tercero, fueron seleccionadas viviendas de cada periodo, para corroborar el cambio de materiales dado en la ciudad de Cuenca. A través de ello, se estableció, la influencia del cambio de materiales en el incremento o decremento de Energía Incorporada. En base a estos datos se ha generado un índice de materiales que será de utilidad para el usuario o constructor. Finalmente, se ha propuesto un diseño de vivienda que considera aspectos térmicos que permiten mejorar el confort interior de manera pasiva. Y se proponen estrategias aplicadas a materiales y al diseño para reducir la demanda de energía. Esta propuesta es comparada con las viviendas analizadas, a través de simulaciones digitales, para establecer la repercusión de la Energía Incorporada en las condiciones térmicas interiores.

A través del análisis se ha concluido que, desde 1980 hasta 2018, la Energía Incorporada en las viviendas de Cuenca se ha incrementado un 72 %. Sin embargo, este incremento no presenta ningún beneficio en la temperatura interior. Ya que, conforme la Energía Incorporada se ha incrementado, el confort interior se ha disminuido. Finalmente, la propuesta logra mejorar el confort un 45 %, y reduce la demanda un 80 % en relación a una vivienda construida en los últimos años.

Palabras clave: ENERGÍA INCORPORADA, IMPACTO TÉRMICO, IMPACTO AMBIENTAL, MATERIALES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES, CUENCA-ECUADOR.

Abstract

World energy consumption has grown exponentially in recent decades, this has had an impact on the increase in greenhouse gas emissions. The residential and construction sectors are one of the main responsible for this increase. As the demand for housing advances, the construction sector tends to insert new materials. These materials are often intended to save execution times or solve aspects of environmental comfort, however, many times these inserts seek to solve aesthetic whims of users or builders. The introduction of new materials has a high impact on the environmental aspect because they require more energy to manufacture. In this context, Ecuador is framed, which has adopted imported construction systems without thermal foundation, and much less environmental, which are applied in the different regions of the country.

Cuenca has experienced this change; for this reason, this thesis aims to design a house for the city, with an emphasis on reducing Embodied Energy, based on a prior analysis of the construction systems used. To achieve this objective, a bibliographic investigation of strategies applied to reduce the environmental impact of construction materials was first developed. Second, through statistical data, the change in materials in recent years was established at the national, regional, and provincial levels. Third, dwellings from each period were selected to corroborate the change in materials in the city of Cuenca. Through this, the influence of the change of materials in the increase or decrease of Embodied Energy was established. Based on these data, an index of materials has been generated that will be useful to the user or builder. Finally, home design has been proposed that considers thermal aspects that allow for a passive improvement of interior comfort. And strategies applied to materials and design are proposed to reduce energy demand. This proposal is compared with the houses analyzed, through digital simulations, to establish the repercussion of the Embodied Energy in the interior thermal conditions.

Through the analysis, it has been concluded that from 1980 to 2018, the Embodied Energy in homes in Cuenca city has increased by 72%. However, this increase does not present any benefit in the interior temperature since, as Embodied Energy has increased, the interior comfort has decreased. Finally, the proposal manages to improve comfort by 45% and reduces demand by 80% compared to a house built in recent years.

Keywords: EMBODIED ENERGY, THERMAL IMPACT, ENVIRONMENTAL IMPACT, ENERGY-EFFICIENT MATERIALS, CUENCA-ECUADOR.

Índice de Contenidos

Declaración	I
Certificación	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Resumen	V
Abstract	VI
Introducción	VII
Problemática	IX
Objetivos	XI
Justificación	XII
Metodología	XIII
Índice de Contenidos	XIV
Lista de Figuras	XVIII
Lista de Tablas	XXVIII
1. La Selección de Materiales como Aporte a la Arquitectura Sostenible	1
1.1. La Sostenibilidad	2
1.1.1. El calentamiento global	3
1.1.2. Relación del CO_2 y la temperatura de la tierra	6
1.1.3. Sectores de emisión de CO_2	9

1.2.	Arquitectura Sostenible	11
1.2.1.	Cuidado del agua	12
1.2.2.	Tratamiento de residuos	13
1.2.3.	Eficiencia energética	13
1.2.4.	Materiales	14
1.3.	Materiales y su Energía Incorporada	16
1.4.	VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL AUMENTO DE ENERGÍA INCORPORADA	18
1.4.1.	Energía Incorporada por unidad de peso	18
1.4.2.	Peso del Material	20
1.5.	Resumen del Capítulo	20
2.	Estrategias para la Reducción de Energía Incorporada	21
2.1.	Energía Incorporada por Unidad de Peso	22
2.1.1.	Madera	23
2.1.2.	Alternativas de Materiales	29
2.1.3.	Diseño Inicial	33
2.1.4.	Buenas Prácticas de Producción	34
2.2.	Peso del Material	36
2.3.	Resumen del Capítulo	39
3.	La Construcción en el Contexto Físico e Histórico de la Ciudad de Cuenca	40
3.1.	Consumo Energético en Ecuador	41
3.2.	Cambio de Materiales de Construcción	42
3.3.	Sistemas Constructivos en Ecuador	45
3.4.	Sistemas Constructivos en la Región Sierra	49
3.5.	Sistemas Constructivos en la Provincia del Azuay	53
3.6.	Cambio de Sistemas Constructivos	57
3.6.1.	Ecuador y Región Sierra	57
3.6.2.	Provincia del Azuay	59
3.7.	Resumen del Capítulo	60
4.	Sistemas Constructivos en la Ciudad de Cuenca	62
4.1.	Resultados Análisis Periodo 1 (1980-1989)	68
4.2.	Resultados Análisis Periodo 2 (1990-1999)	77
4.3.	Resultados Análisis Periodo 3 (2000-2009)	87

4.4.	Resultados Análisis Periodo 4 (2010-2018)	97
4.5.	Variación de Energía Incorporada en cada Componente	108
4.5.1.	Estructura	108
4.5.2.	Envolvente	110
4.5.3.	Acabados	113
4.6.	Variación Total de Energía Incorporada en los Periodos de Análisis	117
4.7.	Índice de Materiales por m^2	120
4.8.	Resumen del Capítulo	125
5.	Propuesta	127
5.1.	Resultados Principales	128
5.2.	Criterios de Confort Térmico	132
5.2.1.	Orientación	133
5.2.2.	Masa	135
5.3.	Criterios de Reducción de Impacto Ambiental	137
5.3.1.	Modulación	138
5.3.2.	Energía Incorporada	158
5.4.	Comparación de la Propuesta en el Aspecto de Energía Incorporada	164
5.5.	Comparación de la Propuesta en el Aspecto Térmico	169
5.5.1.	Configuración de Simulaciones	169
5.5.2.	Resultados Térmicos por Periodos de Análisis y Propuesta	171
5.5.3.	Comparación de la Ti de Periodos de Análisis y Propuesta	176
5.6.	Resumen del Capítulo	179
6.	Conclusiones	180
	Conclusiones	181
	Recomendaciones	184
	Referencias	185
	Referencias Bibliográficas	185
	Anexos	195
	Anexo 1: Sistemas Constructivos en Ecuador	195
	1.1 Sistemas Constructivos a Nivel Nacional	195
	1.2 Sistemas Constructivos a Nivel Regional	206
	1.3 Sistemas Constructivos a Nivel Provincial	217

Anexo 2: Energía Incorporada en las Viviendas de Cuenca	228
2.1 Referencia de cálculo	228
2.1 Valores de EI Referenciales	229
Anexo 3: Configuración de Simulaciones	231

Lista de Figuras

1.1. Objetivos de desarrollo sostenible. "Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible".	3
1.2. Incremento de emisiones de CO_2 , desde el año 1960 hasta el 2020.	6
1.3. Aumento de la temperatura de la tierra, entre los años 1880-2019.	7
1.4. Relación de temperatura y emisiones de CO_2	8
1.5. Sectores de emisión de CO_2	9
1.6. Incremento del porcentaje del consumo de energía mundial por años.	16
2.1. Repercusión del transporte de piedra en las emisiones de CO_2 , desde España, Polonia, India y China hasta el Reino Unido.	23
2.2. Energía consumida y emisiones generadas por los sistemas constructivos analizados en relación a los sistemas que emplean el material madera.	24
2.3. Comparación de sistemas constructivos empleados en mampostería en el contexto brasileño.	25
2.4. Análisis comparativo de las tres edificaciones con la Energía Incorporada de cada material empleado en su construcción.	28
2.5. Análisis comparativo entre vivienda convencional y vivienda de bambú.	30
2.6. Incremento de Energía Incorporada entre materiales aislantes de origen natural y sintéticos.	32
2.7. Resultados del estudio comparativo por tipología de edificación.	37
3.1. Distribución del consumo energético en el Ecuador, clasificado por sectores.	41
3.2. Materiales empleados en los elementos estructurales cimentación y estructura, a nivel nacional, desde 1980 hasta 2018.	45
3.3. Materiales empleados en los elementos de envoltente mampostería y cubierta, a nivel nacional desde 1980 hasta 2018.	46

3.4. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo de 1980-2010, a nivel nacional.	47
3.5. Materiales empleados en los elementos estructurales cimentación y estructura, a nivel regional, desde 1980 hasta 2018.	49
3.6. Materiales empleados en los elementos de envolvente mampostería y cubierta, a nivel regional desde 1980 hasta 2018.	50
3.7. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo de 1980-2010, a nivel regional.	51
3.8. Materiales empleados en los elementos estructurales cimentación y estructura, a nivel provincial, desde 1980 hasta 2018.	53
3.9. Materiales empleados en los elementos de envolvente mampostería y cubierta, a nivel provincial desde 1980 hasta 2018.	54
3.10. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo de 1980-2010, a nivel provincial.	55
3.11. Secciones constructivas con sistemas constructivos predominantes de cada periodo a nivel nacional y regional.	57
3.12. Secciones constructivas con sistemas constructivos predominantes de cada periodo a nivel provincial.	59
4.1. Descripción vivienda periodo 1	64
4.2. Descripción vivienda periodo 2	65
4.3. Descripción vivienda periodo 3	66
4.4. Descripción vivienda periodo 4	67
4.5. Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 1	68
4.6. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del primer periodo de análisis (1980-1989)	68
4.7. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 1.	69
4.8. a) EI por unidad de peso. b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 1.	70
4.9. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 1.	71
4.10. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envolvente de la vivienda del periodo 1.	71

4.11. a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envolverte de vivienda del periodo 1.	72
4.12. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolverte de la vivienda del periodo 1.	73
4.13. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 1.	74
4.14. a) <i>EI</i> por unidad de peso. b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 1.	75
4.15. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 1.	76
4.16. Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 2.	77
4.17. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del segundo periodo de análisis (1990-1999), clasificado por componentes: Estructura, Envolverte y Acabados	78
4.18. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 2.	79
4.19. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 2.	80
4.20. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 2.	80
4.21. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envolverte de la vivienda del periodo 2.	81
4.22. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envolverte de vivienda del periodo 2.	82
4.23. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolverte de la vivienda del periodo 2.	83
4.24. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 2.	84
4.25. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 2.	85
4.26. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 2.	85
4.27. Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 3	87
4.28. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del tercer periodo de análisis (2000-2009), clasificado por componentes: Estructura, Envolverte y Acabados	88

4.29. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 3.	89
4.30. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 3.	90
4.31. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 3.	90
4.32. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envolverte de la vivienda del periodo 3.	91
4.33. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envolverte de vivienda del periodo 3	92
4.34. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolverte de la vivienda del periodo 3.	93
4.35. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 3.	94
4.36. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 3.	95
4.37. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 3.	96
4.38. Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 4.	97
4.39. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del cuarto periodo de análisis (2010-2018), clasificado por componentes: Estructura, Envolverte y Acabados	98
4.40. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 4.	99
4.41. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 4.	100
4.42. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 4.	101
4.43. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envolverte de la vivienda del periodo 4.	102
4.44. (a) <i>EI</i> por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envolverte de vivienda del periodo 4.	103
4.45. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolverte de la vivienda del periodo 4.	104
4.46. Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 4.	105

4.47. (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 4.	106
4.48. Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 4.	106
4.49. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la componente de Estructura, clasificado por periodos de análisis.	109
4.50. Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Estructura de los periodos de análisis. Cimentación, Estructura, Gradas. . .	110
4.51. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la componente de Envolverte, clasificado por periodos de análisis.	111
4.52. Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Envolverte de los periodos de análisis. (a) Mampostería, (b) Cubierta. . . .	112
4.53. Energía Incorporada (MJ/m^2) de la componente de Acabados, clasificado por periodos de análisis.	113
4.54. Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. Acabados para pisos.	114
4.55. Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. (a) Acabados para muros, (b) Acabados para cielo raso.	115
4.56. Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. (a) Acabados para puertas, (b) Acabados para ventanas.	116
4.57. Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. Acabados de pasamanos.	116
4.58. Energía Incorporada (MJ/m^2) de los periodos analizados.	117
4.59. Consumo energético en la construcción en relación con los años de consumo que representa este proceso.	119
4.60. Materiales empleados en la componente de Estructura de los periodos de análisis.	122
4.61. Materiales empleados en la componente de Envolverte de los periodos de análisis. (a) Mampostería (b) Cubierta.	122
4.62. Materiales empleados en la componente de Acabados, en pisos.	123
4.63. 88 Materiales empleados en la componente de Acabados, (a) Muros, (b) Cielo raso.	124

4.64. Materiales empleados en la componente de Acabados, (a) Puertas, (b) Ventanas.	124
4.65. Materiales empleados en la componente de Acabados de pasamanos.	125
5.1. Promedio mensual de la temperatura máxima, media, mínima y humedad relativa media de la ciudad de Cuenca.	132
5.2. Ábaco psicrométrico de Givoni, con temperatura media y humedad relativa de la ciudad de Cuenca.	133
5.3. Orientación recomendada para obtener mayor captación solar en los espacios interiores.	134
5.4. Priorización de espacios habitables o con mayor ocupación, para ser ubicados en la fachada oeste.	135
5.5. Mampostería con diferentes masas térmicas, a) Ladrillo alivianado, b) ladrillo macizo, c) Pared doble de ladrillo macizo.	135
5.6. Consideración de porcentaje de mampostería y superficie de ventana.	136
5.7. Pérdidas de calor generadas en una vivienda de una planta y una vivienda de dos plantas.	137
5.8. Primera modulación planteada en base a formas cuadradas de 3m x 3m.	139
5.9. Modificación de la modulación inicial, entre los ejes A-B se incrementa el módulo a 4.5m.	140
5.10. Medidas de dormitorio con cama y circulación requerida para dimensionamiento de módulo.	140
5.11. Estructura propuesta a través de la modulación inicial. (a) Pórticos de hormigón armado, (b) Entrepiso de madera.	141
5.12. Pórticos de la vivienda con la disposición de materiales de envolvente.	142
5.13. Detalle de impermeabilización de cubierta, considerada para la propuesta de diseño.	143
5.14. Dimensiones de habitaciones y disposición de pisos.	144
5.15. Dimensiones de vestidor, sala de estar y pasillo de circulación, disposición de material en pisos.	145
5.16. Dimensiones de baños y disposición de pisos.	146
5.17. Superficie vidriada en cada fachada, (a) Módulo de 4.5m, fachada norte, (b) Módulo de 4.5m, fachada sur.	147
5.18. Superficie vidriada en módulo de 3m, fachada oeste.	147

5.19. Posibilidades de uso de ventanas en fachada oeste, mediante la unión de módulos.	148
5.20. Mampostería de ladrillo doble, ubicada en la fachada oeste de la propuesta de vivienda.	149
5.21. Planta de emplazamiento y cubiertas. Escala gráfica.	150
5.22. Planta baja de propuesta. Escala gráfica.	151
5.23. Planta alta de propuesta. Escala gráfica.	152
5.24. Elevaciones de propuesta de vivienda. Escala gráfica.	153
5.25. Cortes de propuesta de vivienda. Escala gráfica	154
5.26. Vista frontal de la propuesta de vivienda.	155
5.27. Vista lateral izquierda de la propuesta.	156
5.28. Vista posterior de la propuesta.	157
5.29. Estructura considerada para la propuesta de vivienda.	159
5.30. Envoltente considerada para la propuesta de vivienda.	161
5.31. Acabados considerados para la propuesta de vivienda.	162
5.32. Comparación de Energía Incorporada requerida en la componente de Estructura de cada uno de los periodos de análisis, en relación a la propuesta.	165
5.33. Comparación de Energía Incorporada requerida en la componente de Envoltente de cada uno de los periodos de análisis, en relación a la propuesta.	166
5.34. Comparación de Energía Incorporada requerida en la componente de Acabados de cada uno de los periodos de análisis, en relación a la propuesta.	167
5.35. Comparación de propuesta con periodos analizados en el aspecto de Energía Incorporada.	168
5.36. Módulo inicial para simulación	169
5.37. Área establecida para simulaciones digitales.	170
5.38. Habitación de análisis, para resultados de Ti en cada periodo y la propuesta.	170
5.39. Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 1	171
5.40. Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 2.	172
5.41. Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 3.	173
5.42. Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 4.	174
5.43. Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda propuesta.	176

5.44. Temperatura interior de los periodos de análisis y propuesta.	177
5.45. Demanda energética por calefacción refrigeración de los periodos de análisis y la propuesta.	178
5.46. Relación de incremento de EI e incremento de la demanda energética de los periodos analizados	178
6.1. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 1 (1980-1989), a nivel nacional.	195
6.2. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 1 (1980-1989), a nivel nacional.	196
6.3. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 1 (1980-1989), a nivel nacional.	197
6.4. Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 2 (1990-1999), a nivel nacional.	198
6.5. Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 2 (1990-1999), a nivel nacional.	199
6.6. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 2 (1990-1999), a nivel nacional.	199
6.7. Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 3 (2000-2009), a nivel nacional.	200
6.8. Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 3 (2000-2009), a nivel nacional.	201
6.9. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 3 (2000-2009), a nivel nacional.	202
6.10. Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 4 (2010-2018), a nivel nacional.	203
6.11. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 4 (2010-2018), a nivel nacional.	204
6.12. Importación de materiales de construcción 2016-2019. Elaboración propia con datos de CCE, 2020	205
6.13. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 1 (1980-1989), en la región sierra.	206
6.14. Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 1 (1980-1989) en la región sierra.	207

6.15. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 1 (1980-1989), en la región sierra.	208
6.16. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 2 (1990-1999), en la región sierra.	209
6.17. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 2 (1990-1999) en la región sierra.	210
6.18. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 2 (1990-1999), en la región sierra.	211
6.19. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 3 (2000-2009), en la región sierra.	212
6.20. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 3 (2000-2009) en la región sierra.	213
6.21. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 3 (2000-2009), en la región sierra.	214
6.22. Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 4 (2010-2009), en la región sierra.	215
6.23. Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 4 (2010-2018) en la región sierra.	215
6.24. Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 1 (1980-1989), en la provincia del Azuay.	217
6.25. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 1 (1980-1989) en la provincia del Azuay.	218
6.26. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 1 (1980-1989), en la provincia del Azuay.	219
6.27. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 2 (1990-1999), en la provincia del Azuay.	220
6.28. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 2 (1990-1999) en la provincia del Azuay.	221
6.29. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 2 (2000-2009), en la provincia del Azuay.	222
6.30. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 3 (2000-2009), en la provincia del Azuay.	223
6.31. Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 3 (2000-2009) en la provincia del Azuay.	224

6.32. Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 3 (2000-2010) en la provincia del Azuay.	224
6.33. Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 4 (2010-2018), en la provincia del Azuay.	225
6.34. Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 4 (2010-2018) en la provincia del Azuay.	226
6.35. Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 1.	231
6.36. Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 2.	232
6.37. Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 3.	233
6.38. Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 4.	233
6.39. Módulo inicial para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al diseño propuesto.	234
6.40. Propuesta 2, modificada en base a las simulaciones digitales.	235

Lista de Tablas

1.1. Valores referenciales de Energía Incorporada.	19
2.1. Energía requerida y emisiones de CO_2 en un edificio industrial.	26
2.2. Energía requerida y emisiones de CO_2 en un edificio de oficinas.	27
2.3. Energía requerida y emisiones de CO_2 en un edificio para hostel.	28
3.1. Materiales considerados dentro de la encuesta anual de permisos de construcción.	44
3.2. Materiales empleados en los diferentes periodos de análisis en las viviendas del Ecuador y de la región sierra.	58
3.3. Materiales empleados en los diferentes periodos de análisis en las viviendas de la provincia del Azuay y Cuenca.	60
4.1. Categorización de materiales de construcción empleados en los periodos de análisis.	120
5.1. Resultados principales para aplicación de estrategias en la propuesta.	128
6.1. Modelo de cálculo de cantidad de obra de materiales	228
6.2. Valores de EI tomados para el análisis de Energía Incorporada final de los diferentes periodos constructivos.	230

Introducción

El acelerado incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, el calentamiento global y el cambio climático, son problemáticas a nivel mundial que requieren ser abordadas. La arquitectura sostenible surge como una propuesta de mitigación para estos fenómenos, sin embargo, en muchos casos la problemática es abordada de manera parcial, o peor aún se plantea solventar un ámbito pero se intensifica el problema en otro aspecto. Mucho se ha hablado de la arquitectura sostenible, o bioclimática, con énfasis en el confort interior, para lo cual prioritariamente se busca, muchas veces sin un fundamento, el uso de nuevos materiales, nuevos aislamientos, o incluso nuevos sistemas constructivos. Sin embargo, estos nuevos materiales y sistemas, gastan una importante cantidad de energía, traducida a Energía Incorporada.

La Energía Incorporada es en los materiales, la energía consumida en los procesos de extracción, procesamiento de materia prima y fabricación, por lo tanto dentro de la construcción es fundamental una elección responsable de los mismos así se logrará disminuir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero. En el Ecuador, los procesos de habitabilidad generan un gran impacto dentro del consumo energético, la industrialización, el avance tecnológico han permitido la inmersión de nuevos sistemas constructivos, los cuales no consideran el consumo energético en su producción. En la ciudad de Cuenca, hace varios años, la tipología constructiva predominante era la tradicional, es decir, se empleaban materiales locales, económicos y accesibles, que además de generar el mínimo impacto medio ambiental, ofrecían condiciones de confort dentro de los espacios para sus usuarios.

En la actualidad, prima el diseño estético y en muchos casos se deja de lado el confort térmico y el consumo de energía, de acuerdo a lo mencionado, es importante considerar dentro de la programación inicial la selección de materiales con baja Energía Incorporada, que ayuden a disminuir la huella de carbono pero que no se pierda el confort en los espacios. Dentro del país son pocos los estudios y normativas que se enfocan en un diseño bioclimático dentro del aspecto del confort térmico, lumínico o auditivo, más no existen estudios rigurosos que se presten como una guía para la selección de materiales con baja Energía Incorporada.

En base a lo mencionado, la presente tesis plantea generar un diseño de vivienda que logre reducir la Energía Incorporada. Para alcanzar este objetivo, serán considerados los sistemas constructivos empleados en las últimas décadas en la ciudad de Cuenca. Para establecer la Energía Incorporada en cada periodo constructivo y a través de ello, generar una guía de materiales con la energía requerida por m² de construcción. A través del análisis, la propuesta estará enfocada a la reducción del impacto ambiental y a mejorar el

confort interior. Por lo que será comparada con las viviendas analizadas en cada periodo de estudio, tanto en el aspecto de Energía Incorporada como de confort interior. Este análisis permitirá responder a la interrogante: **¿Cómo el incremento o decremento de Energía Incorporada repercute en el confort interior?**

Problemática

Formulación del problema

En las últimas décadas el impacto del cambio climático ha aumentado considerablemente, lo que ha generado una tendencia marcada en la sociedad postmoderna (Díaz, 2012). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2008), define al cambio climático como el problema que genera el desarrollo humano en la sociedad. Este problema tiene que ver con la elevación de la temperatura, que se da con el incremento de los gases de efecto invernadero y a su vez con la energía que se consume. En este sentido existen varios sectores que aportan considerablemente a este cambio climático, mediante el consumo de energía, la contaminación y generación de residuos, tales como la industria, sistemas de transporte, agricultura, el hogar, la construcción, entre otros (Morini et al., 2019).

En el Plan Nacional de eficiencia energética de Ecuador, se establece que, dentro del país el transporte consume el 42 % de energía, el sector industrial el 18 %, el sector residencial el 12 %, en donde los procesos de habitabilidad generan un porcentaje elevado de consumo energético. Según International Energy Outlook (IEO, 2019) se consume en las edificaciones un promedio de 1,5 %/año de energía, por lo tanto el consumo se estima que aumentará un 48 % entre 2012 y 2040. Esta energía se utiliza en el sector residencial para calefacción, refrigeración, iluminación, y para muchos otros aparatos y equipos. Bajo este contexto, surge la arquitectura sostenible, como una respuesta al notable daño que provocan los procesos de construcción y residencia. La cual propone una “ecología arquitectónica” (Guerra, 2013), la misma que suscita nuevas soluciones, nuevos materiales, y nuevos elementos, que apuntan a la integración de la arquitectura con el medio ambiente, mediante el aprovechamiento de la energía natural.

Esta arquitectura puede ser abordada desde diferentes ámbitos, primero, desde el cuidado del agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 40 % de agua potable es utilizada en el sistema sanitario de los edificios, por lo tanto es necesario implementar normativas que regulen la utilización de este recurso, mediante una planificación hidrológica. Segundo, el tratamiento de residuos, que se refiere a la disposición final de los residuos, para evitar su presencia en el ambiente y las afectaciones a la salud pública y a los ecosistemas (Rodríguez & Montesillo, 2017). Tercero, la eficiencia energética que plantea minimizar el uso de energías convencionales. Finalmente, el punto que será abordado dentro del presente trabajo, la consideración de los materiales, en donde se incluye el consumo energético desde el proceso de fabricación y transporte de los mismos.

Delimitación del problema

Hace algunos años dentro de la ciudad de Cuenca, la edificación predominante era construida con materiales naturales, con sistemas no invasivos, que además de ser amigables con el ambiente, ofrecían espacios confortables para sus usuarios (Rivas, 2017). La inmersión de nuevas tecnologías, nuevos estilos arquitectónicos, han marcado el cambio de sistemas constructivos dentro de la ciudad, debido a que se plantean soluciones arquitectónicas y estéticas, dejando de lado el interés medioambiental y de confort. Al realizar edificaciones con materiales de última tecnología, se gasta una importante cantidad de energía y marcan en el planeta una considerable huella de carbono.

La Energía Incorporada “Embodied Energy”, es en los materiales de construcción, la energía consumida en procesos de extracción, procesamiento de materia prima y fabricación (Dixit, 2019). A nivel global este ámbito consume el 50 % de recursos naturales, gasta el 40 % de energía y genera el 50 % de los residuos, lo cual aporta significativamente al consumo de energía y recursos naturales (Muñoz & Quiroz, 2014). En este contexto, el presente estudio abordará la arquitectura sostenible desde el ámbito de los materiales. Además el diseño cuidará dos aspectos, el más importante, la reducción de Energía Incorporada, pero sin dejar a un lado el aspecto térmico.

Objetivos

Objetivo General

DISEÑAR UNA VIVIENDA, PARA LA CIUDAD DE CUENCA, CON ÉNFASIS EN LA REDUCCIÓN DE LA ENERGÍA INCORPORADA EN FUNCIÓN DE UN ANÁLISIS PREVIO DE LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADOS EN ESTA CIUDAD.

Objetivos Específicos

- Revisar y analizar bibliografía sobre la arquitectura sostenible, enfocada en las estrategias de reducción de la Energía Incorporada de los materiales.
- Analizar y determinar los índices de Energía Incorporada de los diferentes sistemas de construcción utilizados en las últimas décadas en la ciudad de Cuenca.
- Definir y categorizar los materiales de construcción que tienen un mayor impacto en el incremento de la Energía Incorporada en los sistemas de construcción de Cuenca.
- Proponer y comparar el diseño de una vivienda, con otros sistemas de construcción analizados, en el aspecto térmico y de Energía Incorporada, a través de simulaciones digitales.

Justificación

El cambio climático es una problemática a nivel mundial, que afecta a toda la población en general. La industrialización e inmersión de nuevas tecnologías se incrementa cada día más, por lo tanto, el requerimiento de energía crece de manera paulatina. En el Ecuador, para el año 2013 el consumo final de energía por sector creció un 4,3 % con respecto al año 2012 (Gancino, 2018), de manera específica en el sector residencial el crecimiento es de 1,3 % en un año. De acuerdo a lo mencionado, progresivamente se genera un incremento en la huella de carbono, y por lo tanto una elevada contaminación ambiental. Dentro del país no existen estudios que planteen la mitigación de este impacto. En el contexto de la ciudad de Cuenca, en los últimos años, se presentan propuestas con sistemas constructivos industrializados, mecanismos de recolección de aguas lluvias, sistemas de calentamiento de agua a través de la energía solar, diferentes tipos de aislamiento, métodos que permiten brindar espacios confortables (Cubillos et al., 2014). Sin embargo, aunque estos métodos logren solventar el requerimiento de confort, para su implementación se emplea gran cantidad de energía y por lo tanto continúa el aumento de la huella de carbono.

El análisis del impacto que genera el uso de distintos materiales en la construcción, es fundamental en el proceso de diseño, debido a que desde la fase inicial, se puede plantear el uso de elementos que sean amigables con el medio ambiente. La Energía Incorporada en la construcción de una vivienda representa hasta 50 años del consumo de la misma (Pages, 2012). En este sentido, la presente tesis pretende analizar los materiales de construcción empleados en varias viviendas de la ciudad de Cuenca, para así conocer los materiales predominantes dentro del contexto, y obtener la Energía Incorporada de diferentes sistemas constructivos y así obtener un índice por metro cuadrado. Mediante esta investigación, se plantea por una parte, generar un índice de materiales que pueden ser empleados en la ciudad de Cuenca, y por otro lado plantear criterios de diseño aplicables a viviendas unifamiliares, con el propósito de disminuir la Energía Incorporada en las edificaciones.

Este estudio, además de aportar en el ámbito investigativo, provee a la ciudad de Cuenca, de una base técnica para conducir hacia la conservación ambiental. Todos estos resultados pueden servir tanto en el ámbito profesional, como en el ámbito académico, donde se puede dar lineamientos de diseño con énfasis en la sostenibilidad, y de manera específica en los materiales que se pueden utilizar en esta región del país, orientados a reducir el impacto ambiental y el desconfort térmico. A más de ello, los resultados pueden ser empleados por futuros arquitectos, para tener fundamentos al momento de diseñar edificaciones que permitan un ahorro económico, y que a su vez tengan la funcionalidad requerida.

Metodología

La problemática planteada en esta tesis será abordada por fases, la primera fase comprende una recopilación bibliográfica, en donde se obtendrán datos, por una parte, sobre conceptos básicos e índices establecidos sobre la Energía Incorporada de los materiales. Por otra parte, se investigará las estrategias que han sido de utilidad para la reducción de la energía de los materiales.

En la segunda fase se realizará una recopilación bibliográfica y análisis de los sistemas constructivos desarrollados dentro de la ciudad de Cuenca, a lo largo del periodo comprendido entre 1980 hasta 2018. Este análisis se realizará a través de datos estadísticos de fuentes locales o nacionales. Con estos datos se definirá los sistemas constructivos de las diferentes épocas, los cuales se analizarán en la siguiente etapa. Para la tercera fase, previo a la pandemia del Covid-19, se planteaba el análisis de varias viviendas, sin embargo, dada la emergencia sanitaria actual, se tomará solo una muestra de vivienda, de cada uno de los periodos constructivos, la misma que estará fundamentada en la investigación bibliográfica online, evitando el trabajo de campo. A través de esta selección se realizará un análisis y cuantificación de los volúmenes de obra de cada vivienda, con estos valores, se estimará la Energía Incorporada empleada en cada una de ellas.

Posterior a esta fase, se procesará los datos obtenidos, para determinar las tendencias de incremento o decremento de la Energía Incorporada en los sistemas constructivos de la ciudad a lo largo del tiempo. En base a los datos obtenidos, se realizará una categorización, en donde se determine los materiales que deberían usarse en la construcción, para aportar a la arquitectura sostenible en el área de estudio. Con los criterios obtenidos en toda la fase investigativa, se realizará una propuesta arquitectónica de vivienda, donde se considere los aspectos de confort térmico y la reducción del impacto ambiental de los materiales. En la fase final de la tesis, se realizará un análisis comparativo entre la propuesta planteada y los diferentes sistemas constructivos analizados, enfocados en el aspecto térmico y de Energía Incorporada. Este análisis se llevará a cabo a través de simulaciones digitales mediante el uso de software Design Builder. Este análisis comparativo abordará el cuestionamiento sobre si la Energía Incorporada de los sistemas constructivos en la zona de estudio, se han incrementado o no, y su relación con el confort térmico.

capítulo 1

**La Selección de Materiales como Aporte a
la Arquitectura Sostenible**

La arquitectura sostenible nace en base al avance del calentamiento global (Alaña et al., 2017), factor que repercute en el incremento de la temperatura de la tierra. El presente capítulo aborda en primera instancia, conceptos generales en base a la sostenibilidad, posteriormente expone la problemática existente y las propuestas que se han planteado desde diferentes organizaciones gubernamentales, además se desarrolla las competencias generadas por la arquitectura sostenible, ya sea en el ámbito del cuidado del agua, tratamiento de residuos, eficiencia energética o de materiales, se realiza una descripción de cada ámbito. Finalmente se exponen conceptos teóricos sobre la Energía Incorporada (*EI*) de los materiales y las variables que influyen para su incremento o decremento.

1.1. La Sostenibilidad

El concepto de sostenibilidad se enmarca ya hace varios años, en la década de los sesenta, comienza la preocupación internacional por el cuidado del ambiente, una gran cantidad de programas de gobierno y organismos internacionales, estuvieron dedicados a generar informes para la protección del medio ambiente (Alaña et al., 2017). En el año 1968, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), celebra en París la conferencia sobre la conservación y el uso racional de los recursos de la biósfera, la misma que tenía como objetivo, que los países convocados, adoptaran la responsabilidad con el medio ambiente, y a su vez concretar el encuentro mundial que se desarrollaría años más tarde, en 1972.

Efectivamente en 1972 se celebra la denominada conferencia de Estocolmo, cuyo propósito era el de guiar e inspirar a los países del mundo en la conservación del medio ambiente, a través de la consideración de las necesidades culturales y sociales, para planificar la conservación del ecosistema, los recursos naturales y la lucha contra la contaminación. A partir de esta conferencia, la ONU convocaba periódicamente a conferencias internacionales. Con el convencimiento de que era posible construir un futuro más próspero para la humanidad, en 1984, se reúne la comisión mundial de medio ambiente y desarrollo de la ONU, en esta oportunidad, con el objetivo de analizar temas críticos de desarrollo económico y medio ambiente y a su vez establecer propuestas reales al respecto. Dicha comisión, en el año 1987, presenta su informe, denominado “*Nuestro futuro común*”, más conocido como “*Informe Brundtland*”, denominado de esta manera en honor a la entonces secretaria de la ONU y activista europea Harlem Brundtland.

El “Informe Brundtland”, recalca que depende de la humanidad lograr un desarrollo sostenible, en donde se asegure el goce de las necesidades presentes, sin afectar la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones (CCMAD, 1987). A raíz de este hecho, surgieron de manera paulatina, diferentes teorías y distintos objetivos que se planteaban a lo largo de los años, como disminuir la degradación del medio ambiente y frenar el calentamiento global.

Por una parte, en 1990, Peter Nijkamp, sintetiza el concepto de sostenibilidad, modificándolo en desarrollo sostenible, que se basa en el cumplimiento de tres objetivos que representan la armonía entre el crecimiento económico, la igualdad social y la sustentabilidad ambiental (Kourtit & Nijkamp, 2013). Por otra parte, en el año 2000, la ONU

en Nueva York, plantea como objetivo combatir la pobreza, el hambre, las enfermedades, el analfabetismo y la degradación del medio ambiente, en donde se establecen los objetivos de desarrollo del milenio (ONU, 2000). Para el año 2005, comienza la educación para la sostenibilidad, y es en el año 2015, cuando la ONU lanza el documento titulado “*Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible*”, el mismo que contempla 17 objetivos de desarrollo (Figura 1.1) que retoman los objetivos del milenio, para lograr lo que en aquella época no se consiguió (ONU, 2015).



FIGURA 1.1: Objetivos de desarrollo sostenible. “*Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible.*” Imagen recuperada de ONU, 2015

En base a lo mencionado, la sostenibilidad es el equilibrio del manejo del planeta en el ámbito social, ambiental y económico, es decir que ningún recurso renovable debería ser usado más de lo que se genera, ningún contaminante debe ser producido a un ritmo superior al que puede ser reciclado o absorbido por el medio ambiente. Por último, ningún recurso no renovable debe aprovecharse a mayor velocidad de lo necesario (Cortés & Peña, 2016).

1.1.1. El calentamiento global

El fenómeno del calentamiento global, por una parte, no debería denominarse como cambio climático, debido a que no solo se genera esta irregularidad, sino que genera una serie de inconvenientes mucho más complejos, y se posiciona como un desafío social que requiere urgente solución (Barboza, 2013). Por otra parte, si se considera la temperatura atmosférica, la medición rutinaria de las estaciones meteorológicas, permite determinar el considerable incremento de temperatura que sufre el planeta. El calentamiento global

lleva implícita la influencia de la actividad humana, la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años se le atribuye al hombre, debido al aumento progresivo del dióxido de carbono que genera.

Aparentemente, la solución para disminuir el calentamiento global es sencilla, se trata de disminuir las emisiones de CO_2 , es una solución técnicamente viable, pero existen fuerzas más poderosas, como la industria del petróleo, fuerzas políticas y económicas, que a pesar de los altos costos tanto ambientales como sociales, se oponen a hacerlo. En este contexto, se han generado varias acciones que plantean hacer frente al calentamiento global. En 1988, se creó el Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), que se conforma por aproximadamente 3mil expertos de 150 países, que tienen como objetivo, exponer la información necesaria de manera científica y técnica sobre el calentamiento global, además de destacar su impacto y las posibles soluciones que pueden aplicarse.

La conferencia de Río de Janeiro, realizada en 1992, es el punto de partida, debido a que es aquí donde se impulsa la Agenda 21 y los dos tratados internacionales prioritarios, primero, la Convención sobre el cambio climático y, segundo, la Convención sobre la diversidad biológica, de hecho el primer informe de la IPCC, sirvió para lograr la negociación del convenio sobre el cambio climático, celebrada en Nueva York, en la cual se definió al calentamiento global como un cambio de clima atribuida de manera directa o indirecta a las actividades humanas, las mismas que alteran la composición mundial de la atmósfera (Edenhofer et al., 2014).

En base a lo establecido en dicha convención, en 1995, las partes, se reunieron en Berlín, en esta ocasión el objetivo fue estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y así prevenir los niveles de peligro en el sistema climático. En esta reunión la IPCC concluyó que el conjunto de las actividades humanas, es decir su influencia en el entorno evidencian el daño al clima global. Sin embargo, las partes determinaron que el informe no era suficiente para contrarrestar el daño que se estaba generando, por lo tanto decidieron firmar un protocolo para reafirmar el tratado.

Finalmente, en la última reunión de las partes, en 2013 en Varsovia, se lograron firmar acuerdos, pero esta vez, se involucraba a las corporaciones globales empresariales, por lo tanto surgieron controversias por la generación de un sistema de salvaguardias para el mecanismo de financiamiento dentro del programa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques (Barboza, 2013). La concientización de las grandes potencias mundiales, dio como resultado la generación de diversas metas obligatorias para los países desarrollados, debido a que son los mayores emisores de gases de efecto invernadero. En el protocolo de Kioto, convenido en Japón en 1997, se propuso disminuir un 5,2% como mínimo las emisiones, durante el período de 2008 hasta 2012 (Edenhofer et al., 2014).

Los resultados de los países que se acogen a este protocolo, han sido muy lentos, sin embargo, por una parte, Rusia y China han ratificado su compromiso en 2004, tomando una actitud apropiada ante el calentamiento global. Por infortunio para el primer trimestre del 2013 la concentración de partículas de CO_2 , cruzó la línea de las 400ppm (partículas por millón) (INE-SEMARNAT, 2006), de modo que se calcula que si el 20% de las reservas

mundiales de crudo, gas natural y carbón son consumidas, es seguro el descontrol total del cambio climático (Barboza, 2013). Por otra parte, Estados Unidos se niega a suscribir y ratificar el protocolo, a pesar de ser el mayor emisor de gases de efecto invernadero a nivel mundial, su gobierno afirma que el protocolo de Kioto afecta su economía, aunque existen sectores que ejercen presión para ratificar el tratado, el gobierno se niega.

Estos compromisos medioambientales, se han generado para los países en desarrollo, pero en Latino América y el Caribe, la base del desarrollo económico, es la explotación de los recursos naturales y además, son receptores de empresas internacionales con alto nivel de contaminación (Caballero et al., 2007), sin embargo, aunque de manera tardía, se ha comenzado a tomar medidas dentro de las agendas gubernamentales. Aunque las principales problemáticas en estos espacios aún son la pobreza, higiene, educación, vivienda y acceso a los servicios, los gobiernos latinoamericanos, están tomando una fuerte conciencia sobre el tema del calentamiento global, por lo tanto, como una respuesta a la Convención y el Protocolo de Kioto, todos los países latinoamericanos se encuentran suscritos y se han ratificado sus compromisos.

En base a todo lo mencionado, se muestra por una parte, que existe una intención por disminuir el impacto del calentamiento global, pero por otra parte, de manera puntual en Latinoamérica se muestra un doble discurso, lo único nuevo ha sido la introducción de la palabra sustentable, en la generación de los mismos proyectos de desarrollo que han dado como resultado un perjuicio para la vida del planeta. Los efectos del calentamiento global son varios, afectan a diferentes sistemas y ámbitos, se presentan cambios climáticos y ascensos del nivel del mar, cambio en el régimen pluvial, cambio en la circulación oceánica, además afecta a los sistemas de producción, a la biodiversidad, al recurso hídrico, ártico y glaciares andinos, y a la salud (Barboza, 2013).

Por lo tanto, la solución del problema requiere un cambio total en los procesos de producción y en el sistema energético actual, para lograr una forma equilibrada de satisfacer las necesidades del hombre, en donde se fomente el respeto al ambiente y que genere el mínimo impacto (Caballero et al., 2007). En consecuencia, el calentamiento global va ligado con la tendencia de incremento del CO_2 atmosférico, y sin un compromiso real de parte de todas las entidades gubernamentales, y en sí de toda la población en general este valor que cada vez tiende a aumentar, no podrá ser controlado.

1.1.2. Relación del CO_2 y la temperatura de la tierra

A mediados del siglo XIX, se demostró que el dióxido de carbono y otros gases contaminantes atrapan el calor, con su capacidad de transferencia de energía infrarroja a través de la atmósfera (Buis, 2019a). Es indudable que las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero, provocan que la tierra se caliente (Hegerl et al., 1996). Este aumento progresivo de emisiones, genera daños irreparables en el planeta, el dióxido de carbono una vez que se agrega a la atmósfera, permanece entre 300 y 1000 años, por lo tanto, mientras los seres humanos siguen emitiendo estos gases los cambios perdurarán en una escala de tiempo de muchas vidas humanas. El comportamiento de la atmósfera, está asociado a diferentes ciclos, como el ciclo del carbono y del agua, y si bien la atmósfera es muy estable, estos ciclos no lo son.

Por lo tanto, la capacidad de la humanidad para prosperar depende del correcto funcionamiento de estos ciclos, sin embargo, en base a las observaciones detalladas del planeta que realiza la NASA, se han percibido, en los últimos 30 años, cambios alarmantes. Entre estos cambios, se presenta la variación de patrones de precipitación, el crecimiento de plantas en el hielo marino y terrestre y las fuertes variaciones climáticas en todos los espacios geográficos del mundo. La cantidad actual de dióxido de carbono emitido a la atmósfera es de 400-410ppm, la cual representa un aumento del 48 % desde el comienzo de la era industrial, época en la que las emisiones se encontraban cerca de 280ppm, y además representa un aumento del 11 % desde el año 2000, cuando las emisiones se encontraban en 370ppm (Figura 1.2)(Buis, 2019a).

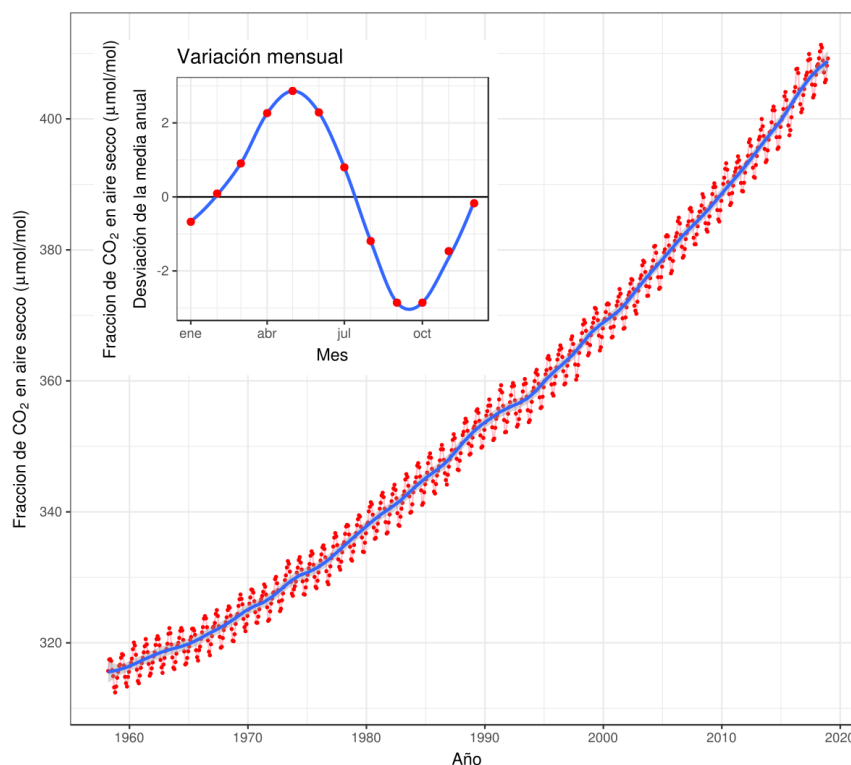


FIGURA 1.2: Incremento de emisiones de CO_2 , desde el año 1960 hasta el 2020. Imagen recuperada de Buis, 2019b

Es evidente que las actividades humanas son las principales responsables del aumento de las emisiones de dióxido de carbono, en donde como protagonista, aparece la quema de combustibles fósiles, que agotan el oxígeno y reduce la proporción de oxígeno a nitrógeno en la atmósfera. Paralelamente, al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, surge el incremento de la temperatura en la tierra, como coincidencia, a partir de la revolución industrial la temperatura promedio ha ido en aumento. Los núcleos de hielo extraídos de Groenlandia, la Antártida, glaciares de montañas, y además la evidencia antigua en anillos de árboles, sedimentos oceánicos y capas de roca sedimentaria, demuestran que en relación al clima antiguo, el calentamiento actual ocurre más o menos diez veces más rápido que el promedio de calentamiento de épocas anteriores (Figura 1.3) (Buis, 2019b)

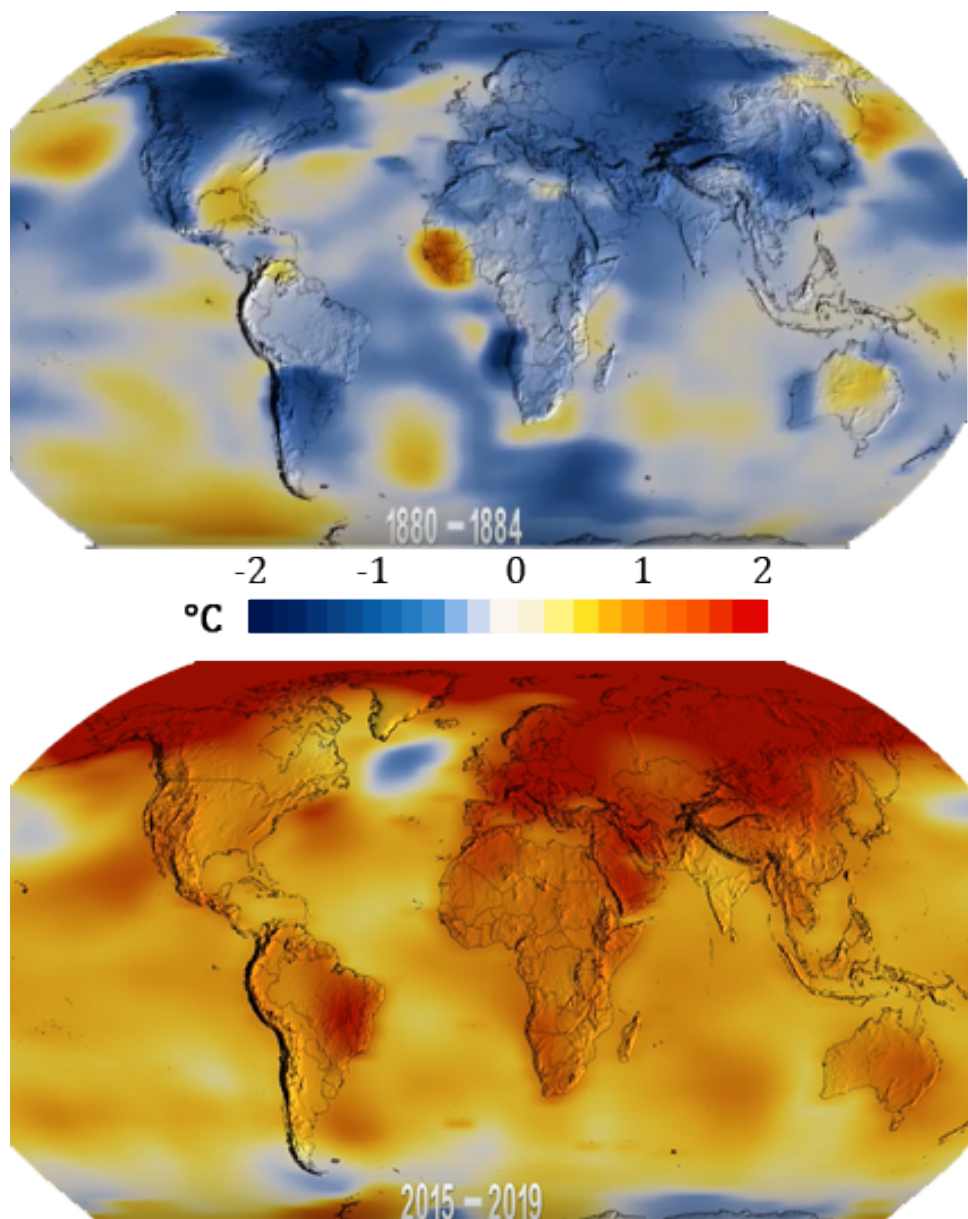


FIGURA 1.3: Aumento de la temperatura de la tierra, entre los años 1880-2019. Imagen recuperada de Buis, 2019b

En consecuencia, existe una fuerte relación entre el incremento de la temperatura de la tierra y las emisiones de gases de efecto invernadero, las mismas que se han visto en aumento de manera muy relacionada. Casi 0.5°C ., ha aumentado en base a la temperatura media registrada entre los años 1961-1990. Y si se toma como referencia la temperatura media desde los años 1850 hasta 1900, el aumento ha sido de 1°C . En 2018, el 85 % de la superficie terrestre fue significativamente más caliente que la temperatura media durante los años 1951-1980 (Figura 1.4).

Índice de temperatura global océano-tierra

Data: NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS).
Crédito: NASA/GISS

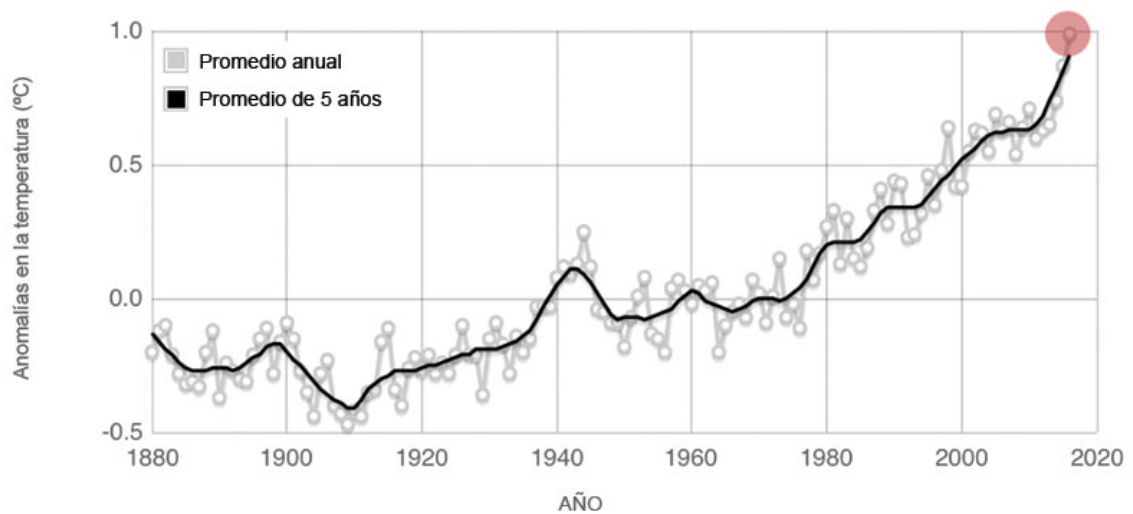


FIGURA 1.4: Relación de temperatura y emisiones de CO_2 . Imagen recuperada de [Buis, 2019b](#)

1.1.3. Sectores de emisión de CO_2

A nivel mundial, el crecimiento demográfico y económico son los principales motores del aumento de las emisiones de CO_2 (Edenhofer et al., 2014). Los gases de efecto invernadero son generados por los distintos sectores, como es el suministro de energía, la industria y construcción, el transporte y el sector residencial. De estos sectores, el suministro de energía responde al porcentaje más elevado de emisiones, el cual corresponde al 47 %, muy cercano a este se encuentra el sector de la industria y construcción, el cual emite el 33 % del total del CO_2 , posterior a estos se encuentra el sector del transporte, el cual corresponde el 11 % y finalmente el sector residencial, el cual en sus requerimientos de refrigeración o calefacción emiten el 9 % del total de CO_2 (Edenhofer et al., 2014), (Figura 1.5).

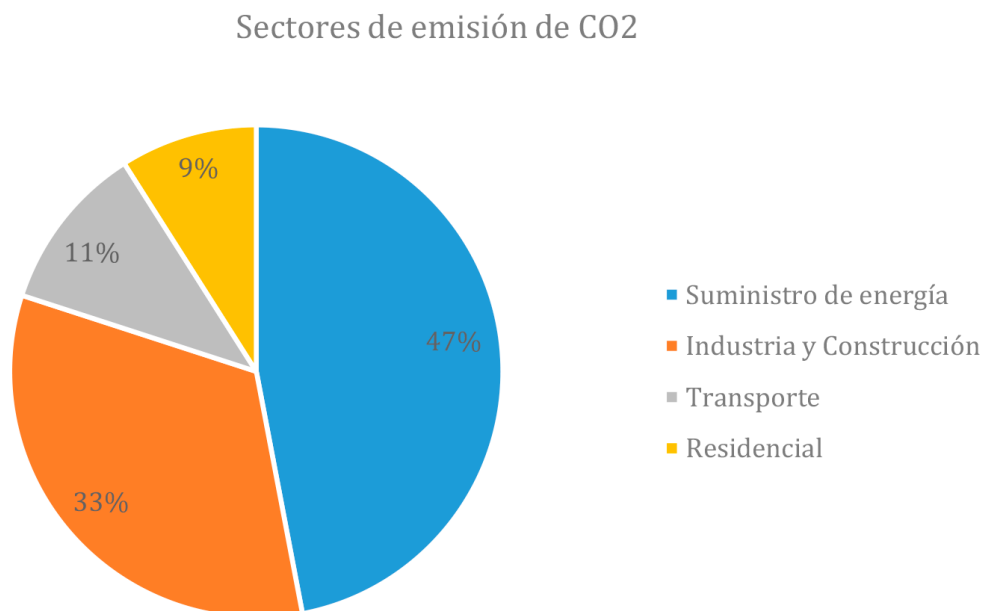


FIGURA 1.5: Sectores de emisión de CO_2 . Elaboración propia con datos de Edenhofer et al., 2014

El sector de la edificación a más de ser el responsable del 40 % de las emisiones de CO_2 , genera el 30 % de los residuos sólidos y el 20 % de la contaminación del agua (Muñoz & Quiroz, 2014). En la actualidad, el uso masivo de materiales de carácter global como el cemento, el aluminio, el hormigón, el PVC, entre otros, ha causado un incremento notable en los costes energéticos y medioambientales. El hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo, cada año, la industria del hormigón emplea 1.6 billones de toneladas de cemento. Cada tonelada de cemento en su fabricación, emite 1 tonelada de CO_2 a la atmósfera. El sector cementero es responsable de alrededor del 5 % de las emisiones de CO_2 , principal gas productor del efecto invernadero y cambio climático.

Sin embargo, existe manera de mitigar este impacto, según un informe realizado por varias entidades internacionales, las emisiones de CO_2 producidas por el sector de la

construcción podrían reducirse hasta un 44% para el año 2050. Este estudio a cargo de C40 Cities, Arup y la Universidad de Leeds, denominado “*Buildings and Infrastructure Consumption Emissions*”, describe que el cambio podría lograrse a través del cambio en seis puntos claves, las mismas que se refieren a implantar la eficiencia en el diseño de materiales, mejorar el uso de los edificios ya existentes, cambiar los materiales de altas emisiones a materiales sostenibles, usar cemento bajo en carbono, reutilizar materiales y componentes de la construcción y finalmente, emplear maquinaria de construcción de emisiones bajas o cero (Cruz, 2016). En este sentido, y con el ímpetu de minimizar el impacto que el sector de la edificación genera, nace el concepto de arquitectura sostenible, la misma que busca solventar los requerimientos de vivienda sin afectar al medio ambiente, a través de la consideración de varios parámetros.

1.2. Arquitectura Sostenible

La arquitectura por un lado, es una actividad que aporta al desarrollo social y económico de un determinado lugar, pero por otro lado, la construcción genera un impacto considerable en el ambiente, la economía y la sociedad, durante el ciclo de vida de la edificación construida, por la ocupación del espacio y del paisaje, la extracción de recursos, y la generación de residuos y contaminantes (Acosta, 2009). La condición para vulnerar los asentamientos humanos, es la ocupación indiscriminada del espacio, la cual agota los recursos y destruye el paisaje. Además la extracción indiscriminada de recursos naturales, desencadena en consecuencias contraproducentes para la economía y el ambiente.

La sostenibilidad en la arquitectura, está directamente relacionada con la sostenibilidad de los asentamientos humanos y a su vez del medio ambiente, con el propósito inamovible de mejorar las condiciones de vida de la población. La arquitectura sostenible busca conseguir un objetivo similar al de la sostenibilidad, ya que a través de la construcción plantea resolver los problemas actuales, pensando en el mañana (Alaña et al., 2017). Por lo tanto, la arquitectura sostenible, busca resolver el déficit de hábitat y vivienda, pero para lograr este objetivo es necesario considerar el entorno geográfico en el que se va a emplazar, ya que no se pueden construir viviendas aisladas y dar paso a que se origine un suburbio, sin servicios y sin infraestructura. Es prioritario pensar en una construcción que pueda adaptarse a las condiciones futuras, es decir que puedan mantenerse en el tiempo sin generar perjuicios al entorno y al medio ambiente (Acosta, 2009).

En este sentido, este tipo de arquitectura, busca la recuperación del patrimonio construido, sin generar nuevas edificaciones, sino a través de una rehabilitación integral que mejore el hábitat urbano. Además, plantea la reducción de la vulnerabilidad de los asentamientos humanos. En Latinoamérica se ha vuelto algo común ver en las periferias asentamientos precarios, barrios pobres y marginados, con estructuras independientes, aisladas de las ciudades, expuestos por lo general a fenómenos naturales (Mercader et al., 2010). El mejoramiento integral del hábitat urbano, es una tarea prioritaria, que permitirá mitigar las condiciones de vida precarias de una población y en sí de toda una ciudad (Acosta, 2009).

De manera general, la arquitectura sostenible se enfoca en las condiciones climáticas locales, la hidrografía, y los ecosistemas del entorno, la eficiencia de los materiales de construcción, la reducción del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación, transporte y otros equipamientos, las fuentes de energía renovables; la minimización del balance energético global de la edificación. Este proceso abarca todas las fases de la edificación: concepción, construcción, utilización y fin de su vida útil; cumplimiento de los requisitos de confort térmico, salubridad, iluminación y habitabilidad (Sandó, 2011). A través de la construcción sostenible, se logra reducir los efectos negativos sobre el planeta, debido a que se plantea considerar el impacto ambiental que generan las edificaciones durante todo su ciclo de vida. Para varios autores, los impactos producidos por la construcción son principalmente la utilización de recursos naturales, el consumo energético, la contaminación y la generación de residuos (Acosta, 2009; Mercader et al., 2010).

Primero, la reducción del consumo de recursos naturales, promueve la disminución del uso de materia prima que provenga de recursos no renovables, además de crear conciencia en el uso de materiales por metro cuadrado en la construcción, plantea la reutilización y reciclaje de materiales para disminuir el sobredimensionamiento y el desperdicio de los mismos. No se trata solamente de utilizar menos materiales, sino de utilizarlos de manera inteligente, generar ciclos de vida cíclicos (Acosta, 2009) “de la cuna a la cuna”, y no lo que comúnmente se conoce “de la cuna a tumba”.

Segundo, el consumo energético, que plantea la reducción de la energía empleada tanto en la construcción de edificaciones, como la energía empleada en los sistemas de ventilación y refrigeración, es decir, en la etapa constructiva y en la etapa de funcionamiento de las viviendas. En este apartado se destaca la importancia de conocer todos los sistemas pasivos que ayudan a la reducción del consumo energético, en donde, de manera prioritaria se debe conocer las condiciones climáticas de la zona de emplazamiento, para lograr adaptar la edificación al sitio, y no adoptar soluciones comerciales que pueden no adaptarse al contexto y a su vez generar mayor consumo energético y disminución del confort de los usuarios (Sandó, 2011).

Tercero y cuarto, que van de la mano, la reducción de la contaminación y la generación de residuos, que viene ligada por una parte a la disminución del consumo de recursos naturales, y se plantea el reciclaje de materiales para evitar generar desperdicios (Acosta, 2009), por otra parte, se destaca la importancia que desde el inicio de la construcción, se puede prever la magnitud de la producción de contaminantes y desechos que pueden generarse, y buscar una solución desde el inicio para mitigarlo (Mercader et al., 2010).

En base a los impactos mencionados, es importante rescatar que para lograr una arquitectura sostenible, se debe realizar una planificación integral de todos los procesos constructivos, desde la etapa previa a su concepción hasta el final de su vida útil. Por lo tanto, la arquitectura sostenible se enmarca en cuatro ejes fundamentales: el cuidado del agua, el tratamiento de residuos, la eficiencia energética y la selección de materiales.

1.2.1. Cuidado del agua

El agua es un recurso natural, que día a día se está convirtiendo en un componente limitado y costoso, aunque el 70 % de la superficie de la tierra es agua, solo el 3 % es agua dulce apta para el consumo humano, por este motivo cada vez existe una mayor concientización sobre el tema del cuidado del agua. La arquitectura sostenible, busca a través de la misma disminuir el uso excesivo e irresponsable del recurso. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 40 % de agua potable es utilizada en el sistema sanitario de los edificios, por lo tanto es necesario implementar normativas que regulen la utilización de este recurso, mediante una planificación hidrológica. En este sentido, una edificación sostenible, puede llegar a reducir hasta el 30 % del consumo del agua, a través de la aplicación de un diseño arquitectónico amigable con el medio ambiente, que permita ahorrar, reciclar y reutilizar este recurso vital que cada día se hace más necesario (Chán & Peña, 2015).

La arquitectura sostenible plantea estrategias que permiten el ahorro del agua, por una parte, en el interior de la vivienda, es posible la implementación de griferías inteligentes, que pueden reducir el caudal y la temperatura del agua, este mecanismo puede llegar a ahorrar hasta un 25 % de agua (Acosta, 2009). Por otra parte, en el exterior de las viviendas o edificios, sería importante tener un sistema de control y regularización que permita conocer cuando existe una fuga de agua y pueda solucionarse de manera oportuna. Además el reciclaje de aguas, ya sea aguas pluviales o aguas grises, pueden ser tratadas y empleadas en varias actividades, con la instalación de estos sistemas en edificios, se puede llegar a ahorrar aproximadamente unos 45 litros de agua por persona al día, en edificios destinados a la actividad hotelera el ahorro sería aún mayor.

1.2.2. Tratamiento de residuos

El tratamiento de residuos, se refiere a la disposición final de los desechos, para evitar su presencia en el ambiente y las afectaciones a la salud pública y a los ecosistemas (Rodríguez & Montesillo, 2017). A partir de la industrialización, se crea una secuencia de producción lineal, es decir, empieza con el proceso de extracción, fabricación, uso y el ciclo se “cierra” con la generación del residuo (Rea, 2017). Los procesos constructivos marcan una descontrolada producción de residuos, lo cual es consecuencia de la falta de control e inconciencia generalizada de los actores involucrados. Muchos autores plantean la importancia de la clasificación de los residuos de obra para mitigar el impacto ambiental (Mercader et al., 2010; Shaikh et al., 2014).

Nuevamente, la arquitectura sostenible, apunta hacia la optimización, reutilización y reciclaje de los escombros, producto de la construcción, mediante estos procesos de tratamiento de residuos, se logra cerrar los ciclos de los materiales y por lo tanto permite disminuir el impacto que el sector de la construcción genera.

1.2.3. Eficiencia energética

El sector energético, cada día se enfrenta a un creciente reto a nivel mundial, el cual se desencadena en el uso desmedido de recursos naturales, incremento de uso de energía y por lo tanto la elevada emisión de gases de efecto invernadero. En este sentido, es prioritario reducir el consumo de energía, debido a que si en los próximos 25 años la población sigue dependiendo del 80 % de fuentes no renovables, se incrementará en un 50 % la demanda mundial de energía (Shaikh et al., 2014). Según International Energy Outlook (IEO, 2019) se consume en las edificaciones un promedio de 1,5 %/año de energía, por lo tanto el consumo se estima que aumentará un 48 % entre 2012 y 2040. Esta energía se utiliza en el sector residencial para calefacción, refrigeración, iluminación, y para otros aparatos y equipos.

En la actualidad las tendencias mundiales, muestran gran preocupación por los temas medioambientales, y en sí por la reducción en el consumo energético, con esta base se han generado criterios para disminuir el impacto sobre el medio ambiente. La eficiencia

energética se define como aquella que busca ofrecer servicios con la misma entrada de energía, pero con menor consumo de la misma, para lo cual es importante contar con una adecuada gestión de este recurso. A partir de finales del siglo XIX, el sector residencial, comenzó a generar diferentes conceptos para disminuir el consumo energético, a partir de este hecho, surgen nuevas propuestas de diseño como “Green house”, “zero energy house”, y “passive house” como respuesta para frenar la crisis energética (Ionescu et al., 2015).

Con el nacimiento de estos conceptos, se presentan estándares, para el cumplimiento de los mismos, los cuales, en ciertos casos unos presentan mayor incidencia que otros. Por una parte, algunas de las estrategias que aborda la arquitectura sostenible desde la eficiencia energética es la consideración de la envolvente de las edificaciones, para asegurar el confort interior en las mismas, y así evitar el uso de ventilación o calefacción. Además, existen muchos sistemas pasivos que parten desde la concepción de diseño y ayudan en gran manera a disminuir el consumo energético (Guillén et al., 2015). Por otra parte, con el avance tecnológico surgen otros mecanismos, que plantean reemplazar la producción de energía, sin embargo, son sistemas costosos, que si bien ayudan a disminuir el uso de energía, en su proceso de elaboración generan altos grados de contaminación en el ambiente (Pages, 2012).

1.2.4. Materiales

A nivel global el sector de la construcción, consume el 50% de recursos naturales, gasta el 40% de energía y genera el 50% de los residuos, lo cual aporta significativamente al consumo de energía y recursos naturales (Muñoz & Quiroz, 2014). El concepto de arquitectura sostenible aborda, la acertada selección de los materiales, es decir, usar materiales energéticamente sostenibles. Por lo tanto, se requiere una exhaustiva búsqueda para encontrar la solución más viable, en donde se obtengan materiales con la menor carga energética en su producción, que puedan reciclarse y a su vez tengan una vida útil prolongada (Mata, 2010). En el marco de la arquitectura sostenible, los materiales que cumplen sus requerimientos son aquellos que ofrecen las mismas funciones técnicas y de seguridad, que los materiales tradicionales, pero además consumen en menor cantidad los recursos no renovables y por lo tanto generan menor impacto ambiental (Cui & Zhang, 2012). Para disminuir el impacto ambiental que generan los materiales dentro de la construcción, es necesario seleccionarlos de manera adecuada, para reducir el consumo energético en el proceso productivo y de instalación, la generación de residuos durante su fabricación y puesta en obra (Mata, 2010).

En este sentido, la arquitectura sostenible busca incorporar materiales naturales que trabajen de manera adecuada con otros artificiales, o formen parte de sus componentes, además la reutilización de materiales y el reciclaje de residuos de demoliciones. Finalmente, el sector de la construcción requiere de una elevada demanda de energía, por lo que se han creado diversas certificaciones que pretenden reducir este valor, sin embargo, la mayoría de certificaciones no incluyen en su análisis, la Energía Incorporada de los materiales (Quispe, 2016).

Un ejemplo de este hecho es la Pérgola fotovoltaica del Forum de Barcelona, la misma que se conforma de 2700 placas fotovoltaicas y representa uno de los ejes principales de “sostenibilidad”. Los materiales que componen la pérgola, tienen una Energía Incorporada total de 42.694.678 MJ y a su vez generan emisiones de 3.721.816 $KgCO_2$. Por lo tanto, se plantea la necesidad de evaluar la sostenibilidad de una manera más amplia, debido a que si el objetivo de la pérgola es hacer un símbolo de sostenibilidad, surge la contradicción: este elemento puede ser un símbolo de sostenibilidad, sin ser sostenible (Pages, 2012).

1.3. Materiales y su Energía Incorporada

El porcentaje de consumo de energía de un edificio está aumentando progresivamente (Figura 1.6), se afirma que en el año 2004, del total de la energía mundial, los edificios agotaron el 37%, y se prevé que para 2030 este porcentaje puede alcanzar hasta el 42% (IIEA, 2013)

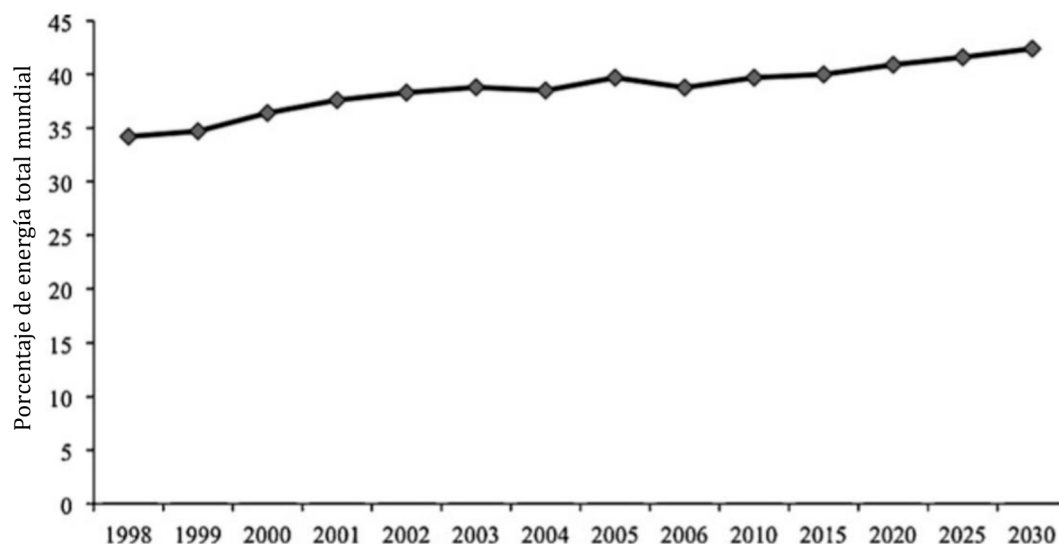


FIGURA 1.6: Incremento del porcentaje del consumo de energía mundial por años. Imagen recuperada de IIEA, 2013

El gasto total de energía para un proceso determinado, se lo denomina consumo energético, y puede ser traducido a Energía Incorporada dentro de un material, mediante la cuantificación de la cantidad de combustible utilizado (Alvear & Palomeque, 2017). Los edificios, en su construcción y operación, como Energía Incorporada y operativa, emplean aproximadamente el 40% de la energía global cada año en su construcción (Dixit, 2019). Tanto la Energía Incorporada como la energía operativa, se refieren al valor energético que consumen, en el primer caso, en los procesos productivos y constructivos de materiales, y en el segundo caso se refiere a la fase de uso de la edificación, es decir a la energía que emplean sus habitantes, para dotarse de confort o solventar sus necesidades.

De manera más específica, por una parte, la Energía Incorporada en los materiales, incluye toda la energía requerida en los distintos procesos, desde la extracción de materias primas, su proceso de elaboración, hasta llevar el material a su lugar dentro del edificio. A su vez debe incluir la energía asociada al transporte y a la energía empleada de equipos y maquinaria (Vázquez, 2001). Es decir, el estudio parte desde su extracción (cuna), hasta la disposición como desecho (tumba), debido a que en todos los procesos se producen emisiones que afectan al medio ambiente. Por otra parte, la energía operativa es la que se emplea en el interior de la edificación, es decir, es la energía consumida en diferentes equipos de calentamiento, enfriamiento, iluminación y otros sistemas (Dixit, 2019).

Hasta hace poco, solo era considerada la energía operativa en las edificaciones, debido al elevado consumo que representaba la calefacción, ventilación, iluminación y uso de electrodomésticos, sin embargo, con el paso de los años, y la conciencia ambiental presente, nacieron los equipos de bajo consumo, y al mismo tiempo surgen materiales con alta tecnología de aislamiento, es así como, con la inmersión de nuevas tecnologías, se logra disminuir considerablemente la energía operativa (Dixit et al., 2010). Sin embargo, en el intento de disminuir la energía operativa, se elevó el valor de Energía Incorporada, tan fuerte fue el incremento que la producción de elementos y materiales para la construcción, representa el 75 % de la energía total del consumo energético de un edificio (Ding, 2004).

El análisis del impacto que genera el uso de distintos materiales en la construcción, es fundamental en el proceso de diseño, debido a que desde la fase inicial, se puede plantear el uso de elementos que sean amigables con el medio ambiente. La Energía Incorporada en la construcción de una vivienda representa hasta 50 años del consumo de la misma (Pages, 2012). O dicho de otra manera, la Energía Incorporada de los materiales, aportan entre un 15 y 20 % de la energía total consumida en un edificio, por un periodo de 50 años (Quispe, 2016).

Lo antes mencionado, corresponde a una recopilación de conceptos homogéneos, sin embargo, existen autores que han expuesto sus hallazgos en base a la Energía Incorporada. Para Koskela (1992), se llama Energía Incorporada al consumo energético y emisiones de carbono que genera un material. González & García (2006) afirman que los materiales que poseen una elevada Energía Incorporada emiten elevados valores de dióxido de carbono, mientras que los materiales que poseen una baja Energía Incorporada no generan este impacto. En este sentido, para Crowther (1999), la Energía Incorporada, es el total de energía requerida por un edificio, es decir que incluye la energía directa, empleada en el proceso de construcción y montaje y la energía indirecta que es la que se requiere para fabricar los materiales y demás componentes de un edificio. Además, Schmidt & Crawford (2017) define a la Energía Incorporada como la energía requerida para proporcionar un producto, ya sea de manera directa o indirecta, en donde se abarcan todos los procesos, desde la consideración de materias primas.

Langston & Langston (2008), por su parte, la definen como la energía que exige la construcción, en todos los procesos para la producción de los materiales, que abarca desde la minería, refinación, fabricación, transporte, hasta el levantamiento. Finalmente, Edwards y Stewart, descrito en (Ding, 2004), proporcionan un concepto más completo. Explican que la Energía Incorporada comprende el consumo energético durante la extracción, procesamiento y transporte de materias primas, pero además se refiere al consumo energético que representa la fabricación de materiales y componentes de la construcción. Todos los conceptos anteriores, poseen un factor común, la Energía Incorporada es la energía empleada para realizar diferentes procesos dentro de la construcción, que van desde sus procesos de extracción hasta la demolición.

1.4. Variables que Influyen en el Aumento de Energía Incorporada

La Energía Incorporada en los materiales depende de dos factores, la Energía Incorporada por unidad de peso del material (MJ/kg) y el peso del material (Kg), serán las que determinen la Energía Incorporada total de un material, ver ecuación 1.1.

$$\frac{MJ}{kg} \times kg = MJ \text{ (Energía Incorporada total)} \quad (1.1)$$

Por lo tanto, el valor de Energía Incorporada de un material, en una determinada edificación se obtiene mediante la multiplicación del valor establecido de EI por unidad de peso (MJ/kg) por el peso propio del material (Kg) empleado en la construcción.

1.4.1. Energía Incorporada por unidad de peso

El valor de Energía Incorporada de cada material es determinado por los procesos de extracción, producción y transporte, en muchos casos, las empresas productoras emiten el valor de Energía Incorporada de su material, pero este valor abarca solamente las etapas de extracción y producción, para obtener el valor total de la EI se debe agregar la energía empleada en transporte y la puesta en obra. Existen varias investigaciones que han determinado el valor de la Energía Incorporada de los materiales, a continuación se presenta una recopilación de estos valores (tabla 1.1).

Tabla 1.1: VALORES REFERENCIALES DE ENERGÍA INCORPORADA. RECUPERADOS DE (ALVEAR & PALOMEQUE, 2017; BERGE, 2009; DIAZ, 2014; QUISPE, 2016; SOLÍS, 2010)

MATERIAL	MJ/Kg	MATERIAL	MJ/Kg
Ladrillo Macizo	1.33	Yeso cartón	7.9
Ladrillo tochana	3	Corcho	51.51
Ladrillo vidriado	10	Fibra de madera	20.26
Ladrillo de fibrocemento	9.20	Lana de Oveja	26.39
Azulejos cerámicos	2.2	Poliuretano	103.78
Teja	4.59	Espuma	105.48
Fibrocemento	9	Madera natural	4.7
Cerámica	2.50	Madera prefabricada	40
Baldosa	10.9	Madera (Secada en horno)	20.99
Gres	8.35	Madera (Secada al aire)	18.39
Porcelana	10.9	Madera laminada (interiores)	27.30
Tejas de concreto	2.65	Tablero particulado (interiores)	34.64
Cemento	4.36	MDF	11.9
Hormigón	0.6	Plywood	5
Acero	35	Conglomerados	24.2
Aluminio	410	Molduras	3.1
Áridos	0.01	Parquet	3.10
Cobre,bronce,latón,plomo	160	Vinilo	79.1
Pinturas,sellantes	20	Vidrio simple	26
PVC	70	Vidrio templado	349
Mortero de cemento	1.6	Piso flotante	45
Acero galvanizado	25	Acero inoxidable	177

1.4.2. Peso del Material

La cantidad del material se refiere al volumen de obra, empleado en diferentes sistemas constructivos, existen materiales que se emplean en cantidades reducidas, por ejemplo el acero de refuerzo, que se encuentra embebido en las estructuras de hormigón, su proporción no puede ser comparada con la cantidad de concreto que se emplea para cubrir la estructura. En este sentido, a pesar de que la Energía Incorporada del acero (35 MJ/Kg) sea 58 veces superior a la del hormigón (0.6 MJ/Kg), la cantidad final de Energía Incorporada va a ser mayor en el hormigón, por su uso masivo dentro de la construcción.

1.5. Resumen del Capítulo

La problemática actual de contaminación ha dado como resultado la preocupación mundial de varias entidades, es así que se comienzan a crear políticas con la intención de proteger al medio ambiente de las acciones humanas. A lo largo del capítulo, se han expuesto las problemáticas que genera la mano del hombre sobre el planeta tierra, cada año las emisiones de CO_2 a la atmósfera aumentan y en consecuencia la temperatura de la tierra progresivamente crece. El sector de la construcción es uno de los principales responsables de este hecho. Por lo tanto, en medio de la crisis ambiental, surgen los conceptos de sostenibilidad, los mismos que buscan que todo el mundo aporte a la reducción de las emisiones de CO_2 , sin embargo, grandes potencias tiene como ideal seguir creciendo económicamente, y desprecian la importancia del cuidado medio ambiental.

No obstante, la intención de crear una mejora que aporte en ciertos aspectos a la conservación ambiental, da como resultado el surgimiento de la arquitectura sostenible, la misma que se enfoca en varios factores para generar un cambio importante dentro de la sociedad. Dentro de estos factores, se encuentra la consideración de los materiales en la construcción, la idea radica en la elección responsable de los elementos que conformarán la futura edificación, en donde se toma en cuenta la cantidad de energía que estos consumen en sus procesos de extracción, fabricación y puesta en obra, lo que se denomina como Energía Incorporada.

La consideración de los materiales, permitirá reducir la Energía Incorporada, ya que el diseñador podrá optar por tecnologías que no generen un mayor impacto al medio ambiente, y a su vez generen sensaciones de confort dentro de las edificaciones. La importancia de la consideración de la EI de los materiales, es la repercusión que presenta sobre el consumo energético total en el sector de la construcción, en la actualidad se trata de generar edificaciones modernas, con mayor tecnología, con materiales importados, lo que puede llegar a representar 50 años del consumo de la vivienda misma. En consecuencia, el análisis del impacto que genera cada material de construcción se vuelve fundamental en el proceso de diseño arquitectónico, además las variables que influyen en el aumento o decremento de EI , son dos oportunidades que pueden ser aprovechadas para generar edificaciones sostenibles para el presente y para el futuro.

capítulo 2

**Estrategias para la Reducción de Energía
Incorporada**

Una vez descritas las variables que influyen en el incremento o decremento de Energía Incorporada en una edificación, el presente capítulo aborda estrategias aplicadas a nivel global. Las mismas que han sido concebidas con la intención de lograr construcciones sostenibles. En estos estudios se expone la *EI* gastada en los procesos constructivos y por lo tanto el CO_2 generado en estos procesos. Existen varios estudios que se han centrado en las variables de la Energía Incorporada (*EI*), su objetivo en varios casos es disminuir el impacto ambiental que genera el sector de la edificación y a su vez lograr ambientes con condiciones de confort térmico para sus usuarios. Las variables analizadas en el capítulo anterior, se han empleado para ordenar las investigaciones estudiadas, expuestas a continuación.

Energía Incorporada por unidad de peso del material (MJ/kg)

Peso del material (kg)

2.1. Energía Incorporada por Unidad de Peso

El valor de la Energía Incorporada de cada material, como se mencionó anteriormente depende de sus procesos de extracción producción, transporte y puesta en obra, por lo tanto este valor se incrementará o disminuirá en base a lo mencionado. En muchos casos la industrialización trae consigo la inserción de nuevos materiales, varios de estos son prefabricados o es necesario costear un valor extra para exportarlos de un lugar a otro. Además, en todos estos procesos de modernización no es considerado el confort de los usuarios, y mucho menos el impacto ambiental que generan los materiales, ya que lo que prima en el diseño es la estética.

Por ejemplo, una investigación realizada en el Reino Unido por ([Crishna et al., 2011](#)) demuestra la factibilidad del uso de materiales locales. En dicha investigación se realiza un análisis de los procesos de producción y abastecimiento de piedras. A pesar de que en Escocia es posible tener acceso a materiales locales, la preferencia por materiales importados llega a generar una elevada repercusión en las emisiones de CO_2 y energía requerida, los diferentes tipos de piedras son importados desde diferentes lugares del mundo, por lo que las emisiones de CO_2 , se incrementan en relación a la distancia que existe desde el país de origen. En este sentido, se posee un valor inicial para la piedra arenisca local de $77.3 kgCO_2/t$, sin embargo, el transporte de piedra desde China genera un incremento del 550 %, mientras que el transporte desde España incrementa un 8 % y 2 % el CO_2 para la pizarra y el granito respectivamente (Figura 2.1). El transporte marítimo y terrestre aumenta la huella de carbono de 134 a 318 $KgCO_2/t$, por lo tanto, el estudio concluye con recomendaciones importantes. El uso de piedra local de Escocia ayudará a reducir la huella de carbono, además de disminuir el consumo energético y apoyar al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

Stone type	UK cradle-to-site ^a (kgCO ₂ e/tonne)	Cradle-to-site from countries indicated (kgCO ₂ e/tonne)			
		Spain	Poland	India	China
Sandstone	77.3	133.7		312.3	504.0
Granite	158.0	161.2	188.0	336.5	415.5
Slate	297.4	318.2			568.1

FIGURA 2.1: Repercusión del transporte de piedra en las emisiones de CO_2 , desde España, Polonia, India y China hasta el Reino Unido. Imagen tomada de [Crishna et al., 2011](#)

2.1.1. Madera

Varias investigaciones se centran en emplear materiales de origen natural, vegetal, animal y reciclados en la construcción. Los mismos que para su puesta en obra requieren un menor consumo energético que un material convencional. Como material de origen natural, la madera ha sido catalogada como amigable con el medio ambiente. Debido a que posee grandes beneficios, como su facilidad de obtención y uso. Por lo cual, varios autores han realizado estudios, en donde demuestran la viabilidad del uso de la madera como material para reducir la *EI*.

Por ejemplo, [Quispe \(2016\)](#) plantea disminuir considerablemente la Energía Incorporada y las emisiones de CO_2 , a través de la incorporación de este tipo de materiales en la construcción. Para lograr este objetivo se realiza un análisis de la Energía Incorporada de los materiales de construcción, mediante una comparación de viviendas unifamiliares con estándar de eficiencia energética, con dos sistemas constructivos distintos. A partir del análisis se estudia la efectividad y oportunidad de reducción de Energía Incorporada y emisiones de CO_2 asociadas, según el material que se utilice para la construcción. Dentro del estudio se empleó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), en las fases de extracción, fabricación y fase de uso del producto. En donde los indicadores ambientales analizados, por una parte, son las emisiones de CO_2 . Es decir, el dióxido de carbono implicado a los procesos durante las fases de estudio, y por otra parte, la Energía Incorporada. En base a este primer análisis, se obtiene que dentro de edificaciones con cierto estándar de eficiencia energética, debería también establecerse una restricción de la Energía Incorporada y emisiones de CO_2 . Debido a que se obtiene un promedio para la *EI* de 1057 kWh/m^2 (3805.2 MJ/m^2) y emisiones de $377 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$.

Para comprobar la validez de la propuesta, se realiza el mismo estudio de ACV, pero en construcciones unifamiliares con tres tipos de madera. Estas viviendas son comparadas con sistemas constructivos convencionales. Dentro de este análisis se consideran varias componentes de las viviendas, como su cimentación, estructura, envolvente, acabados e instalaciones, como se evidencia en la Figura 2.2, los materiales empleados tanto en cimentación como en estructura son los que mayor requerimiento de energía demanda y por lo tanto los que mayor CO_2 emiten. Sin embargo, las construcciones que consideran el uso de la madera dentro de estos elementos constructivos logran reducir incluso a la mitad el consumo y las emisiones que genera el sistema convencional. Además del reemplazo de estos materiales, dentro de los sistemas de aislamiento e impermeabilización, los materiales convencionales que se emplean, por lo general, requieren una elevada *EI* para su producción, por lo que el autor considera la importancia del uso de materiales

de origen vegetal, reciclado y animal, o en su defecto componentes de origen orgánico o producto del reciclaje, sin despreciar su durabilidad. A través del uso de la madera y de materiales aislantes de origen natural, se logra disminuir entre el 11 % y 20 % la Energía Incorporada y además se reducen las emisiones de CO_2 entre el 14 % y 23 % en relación a los sistemas convencionales (Figura 2.2).

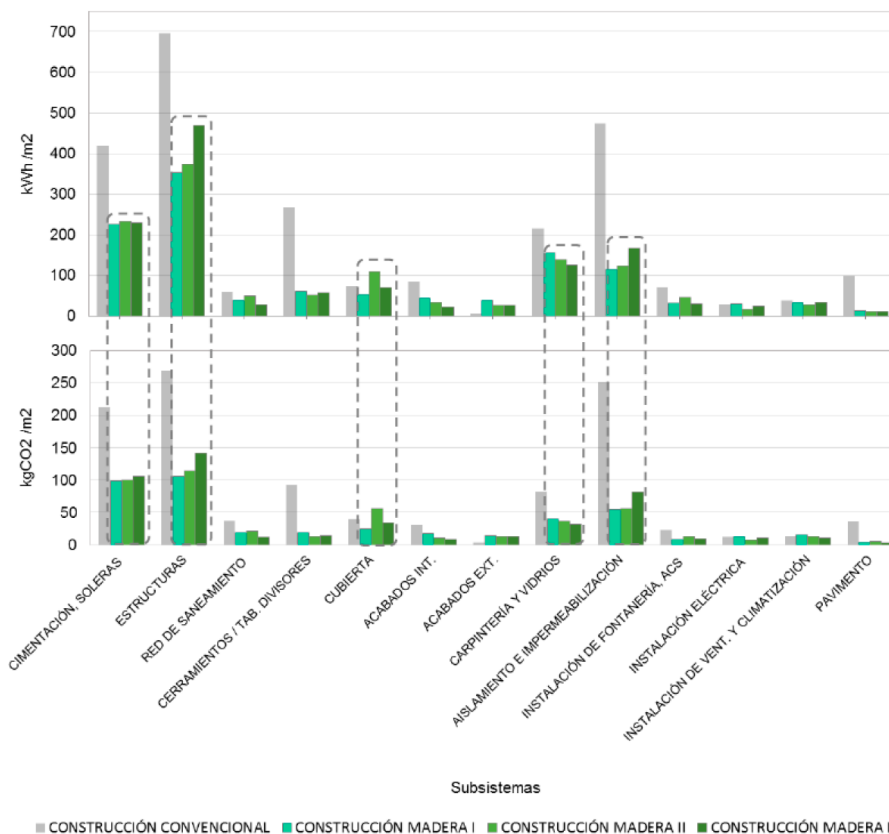


FIGURA 2.2: Energía consumida y emisiones generadas por los sistemas constructivos analizados en relación a los sistemas que emplean el material madera. Imagen tomada de [Quispe, 2016](#).

Otros estudios, en donde se pretende validar el uso de la madera como recurso para una construcción sostenible, [Punhagui \(2014\)](#), se plantea la hipótesis, si el uso de la madera para la construcción de viviendas puede mitigar las emisiones de dióxido de carbono y disminuir la Energía Incorporada del sector de la construcción. Para responder a esta interrogante, primero realiza un análisis histórico para comprender porque el desarrollo de viviendas de madera, ha disminuido en el contexto brasileño. De igual manera se analiza el ámbito social, para conocer la opinión de la población sobre el uso de este material en las viviendas, los pros y contras que consideran los habitantes. Después del análisis bibliográfico y de la obtención de datos de diferentes empresas, estos fueron procesados y se obtuvieron valores de Energía Incorporada de diferentes productos madereros empleados en la construcción, a través de los cuales se establece un análisis comparativo para validar la eficiencia del material madera, de donde se obtienen los siguientes datos: Para una pared común de ladrillo, se requiere una EI de $389 MJ/m^2$, para una pared de madera nativa una EI de $51 MJ/m^2$, y para una pared de madera plantada $144 MJ/m^2$.

Como es evidente, la mampostería común de ladrillo requiere un mayor consumo de energía, el cual es siete veces mayor al sistema que emplea madera nativa, y en relación al sistema de madera plantada requiere el doble de energía (Figura 2.3). Por lo tanto, se concluye dentro de la investigación, por una parte, que la madera plantada puede ser implementada para disminuir las emisiones de CO_2 , debido a que se considera neutra en carbono. Mientras que la madera nativa, al considerarse fuente de carbono no debería emplearse con este objetivo. Por otra parte, se verifica el aporte que genera el uso de madera en la construcción, debido a que se evidencia la reducción de la *EI*. El uso de madera plantada puede reducir hasta un 32 % y la madera nativa hasta un 82 % de la *EI*, en comparación con una pared común de ladrillo.

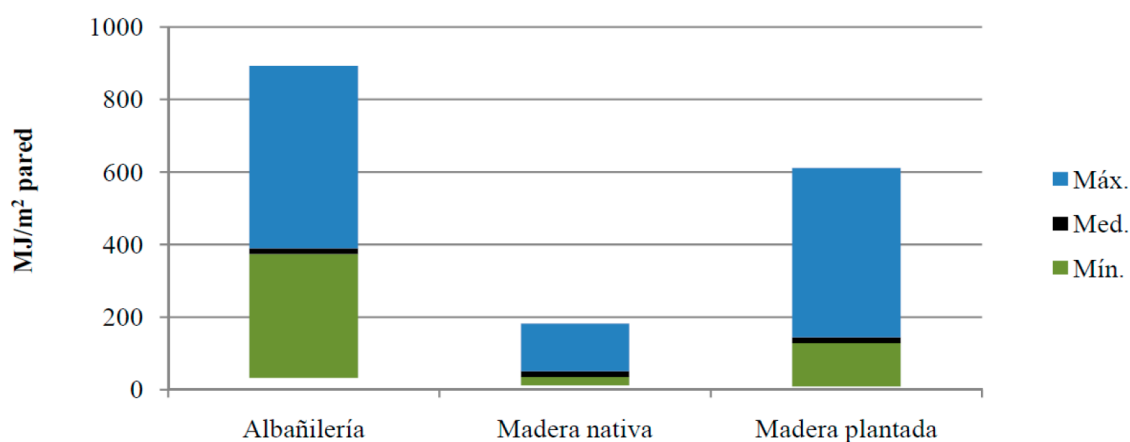


FIGURA 2.3: Comparación de sistemas constructivos empleados en mampostería en el contexto brasileño. Imagen tomada de Punhagui, 2014

Buchanan & Honey (1994), realizan un estudio, en donde toman como ejemplo edificaciones de Nueva Zelanda y se plantean analizar la Energía Incorporada y las emisiones de CO_2 que generan. Para establecer la diferencia de EI entre edificaciones de acero, madera y concreto, estudia 3 edificaciones de la zona. La primera corresponde a un edificio industrial, en donde se obtiene como resultado que para emplear acero en la construcción se requiere de $3.2 \text{ GJ}/m^2$, mientras que el uso de madera requiere de $1.8 \text{ GJ}/m^2$, en este caso el uso del material natural sobre el material industrializado permite disminuir la EI un 50 % (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: ENERGÍA REQUERIDA Y EMISIONES DE CO_2 EN UN EDIFICIO INDUSTRIAL. ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BUCHANAN & HONEY, 1994.

Edificio Industrial Típico	Energía		Emisiones de Carbono	
	GJ/m^2	Liberada CO_2/m^2	Almacenada $KgCO_2/m^2$	Neta $KgCO_2/m^2$
Acero				
Estructural	1.6	29.2	0.0	29.1
No estructural	1.6	37.4	2.2	35.2
TOTAL	3.2	66.6	2.2	64.3
Madera				
Estructural	0.2	4.32	8.4	-4.2
No estructural	1.6	37.2	2.2	35.0
TOTAL	1.8	41.6	10.7	30.8

La segunda edificación que analizan los autores, corresponde a un edificio para oficinas, el mismo que por su tamaño y función posee una EI mayor. En este caso se emplea concreto, acero y madera, sin embargo, se mantiene la misma tendencia que en la muestra analizada previamente, en este segundo caso, la EI requerida para la construcción con concreto es de $5.6 \text{ GJ}/m^2$, el uso de acero requiere de $6.6 \text{ GJ}/m^2$, y la madera corresponde a $3.7 \text{ GJ}/m^2$, en este contexto, el uso de la madera requiere de un menor consumo energético, en relación al concreto y al acero es posible reducir la EI un 20% y 30% respectivamente (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: ENERGÍA REQUERIDA Y EMISIONES DE CO_2 EN UN EDIFICIO DE OFICINAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE BUCHANAN & HONEY, 1994.

Edificio de oficinas	Energía GJ/m^2	Emisiones de Carbono		
		Liberada CO_2/m^2	Almacenada $KgCO_2/m^2$	Neta $KgCO_2/m^2$
Concreto				
Estructural	3.4	80.4	0.4	80.1
No estructural	2.2	39.5	4.5	34.9
TOTAL	5.6	119.9	4.9	115.0
Acero				
Estructural	4.4	91.5	0.1	91.4
No estructural	2.2	39.5	4.5	34.9
TOTAL	6.6	131.0	4.6	126.3
Madera				
Estructural	1.5	31.7	30.8	1.0
No estructural	2.2	39.5	4.5	34.9
TOTAL	3.7	71.2	35.3	35.9

El último caso que se analiza, corresponde a una edificación destinada a un hostel. En este caso los materiales empleados son acero y madera, de los cuales el uso de acero requiere $3.7 GJ/m^2$, lo que corresponde al 60% de la EI final, mientras que la madera requiere de $2.6 GJ/m^2$, que corresponde al 40% restante. Similar a los resultados presentados en las edificaciones anteriores, el uso de madera requiere un menor consumo energético a diferencia de los sistemas convencionales de concreto y acero (Tabla 2.3).

Tabla 2.3: ENERGÍA REQUERIDA Y EMISIONES DE CO_2 EN UN EDIFICIO PARA HOSTAL. ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE [BUCHANAN & HONEY, 1994](#).

Edificio para Hostal	Energía GJ/m^2	Emisiones de Carbono		
		Liberada CO_2/m^2	Almacenada $KgCO_2/m^2$	Neta $KgCO_2/m^2$
Acero				
Estructural	2.2	51.9	8.3	43.6
No estructural	1.5	28.3	1.8	26.5
TOTAL	3.7	80.2	10.1	70.1
Madera				
Estructural	1.1	23.4	29.1	-5.6
No estructural	1.5	28.5	1.8	266.7
TOTAL	2.6	52.0	30.9	21.1

A través del análisis realizado, los autores demuestran que el uso de madera en las edificaciones genera una menor EI , de igual manera las emisiones generadas por este material son menores en relación al concreto y al acero (Figura 2.4).

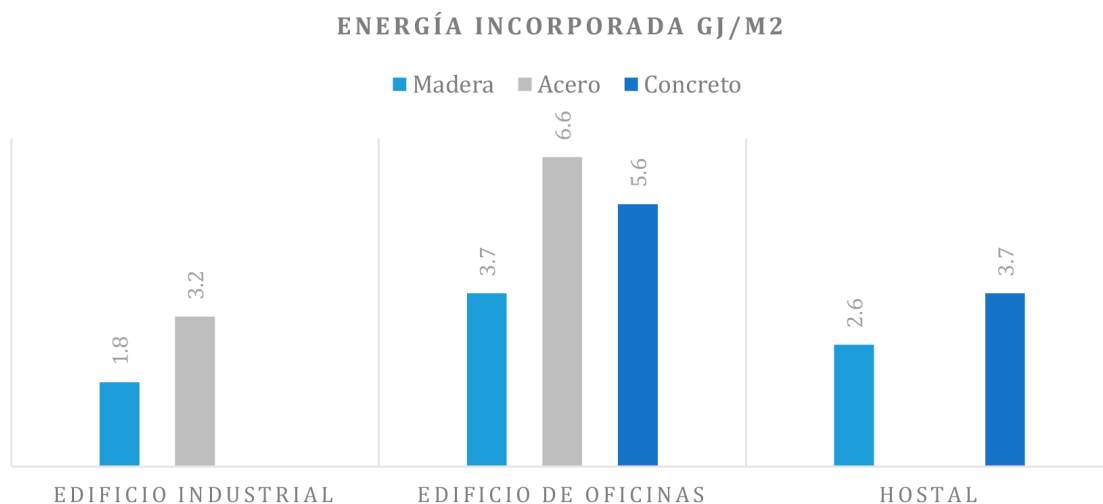


FIGURA 2.4: Análisis comparativo de las tres edificaciones con la Energía Incorporada de cada material empleado en su construcción. Elaboración propia con datos de [Buchanan & Honey, 1994](#)

Finalmente, proponen un modesto cambio del concreto y del acero, por madera, con esta modificación se lograría reducir sustancialmente la energía necesaria y las emisiones de carbono. Además, la madera gestionada de manera responsable se convierte en un

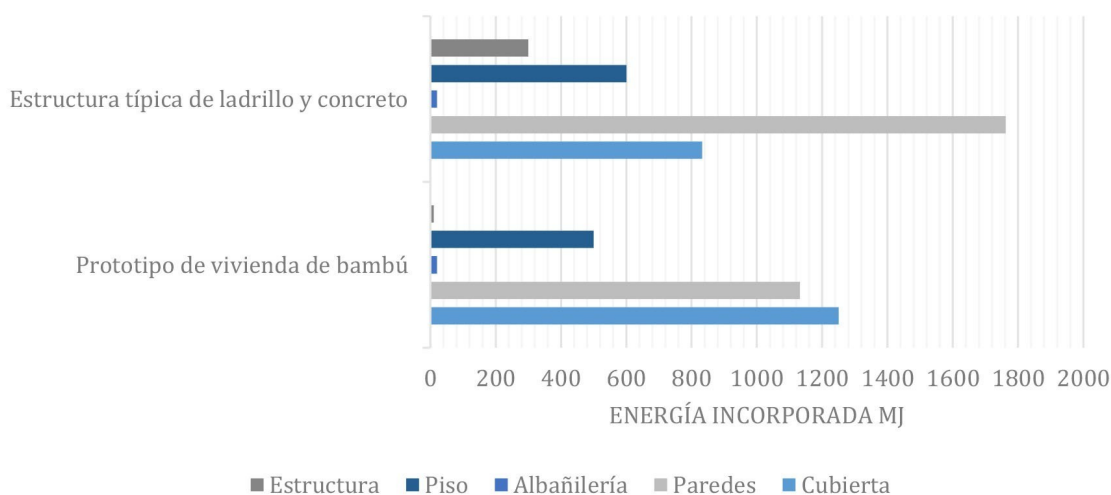
recurso renovable, debido a que puede emplearse como combustible y como material para diversos usos, es así como se lograría reducir la demanda de combustibles fósiles. Otro estudio que demuestra la factibilidad del uso de la madera, es realizado dentro de Japón (Suzuki et al., 1995). El mismo que analiza diferentes tipos de viviendas y cuantifica el consumo energético y las emisiones de CO_2 que cada una genera.

De este estudio se obtiene que para viviendas multifamiliares de hormigón armado se requiere de $8-10 \text{ GJ}/\text{m}^2$, y a su vez dicho sistema constructivo genera emisiones de $850 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$. Para una vivienda unifamiliar con estructura ligera de acero se requiere una EI de $4.5 \text{ GJ}/\text{m}^2$ y a su vez genera emisiones de $400 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$. Entre estos dos sistemas constructivos ya existe una reducción en la EI y emisiones muy significativa, sin embargo, el uso de la madera es el sistema que menor EI demanda y menor cantidad de emisiones genera, ya que requiere de $3 \text{ GJ}/\text{m}^2$ y generan emisiones de $250 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$. Este estudio demuestra que el uso de la madera en viviendas unifamiliares, logra reducir considerablemente el consumo energético en los procesos de construcción.

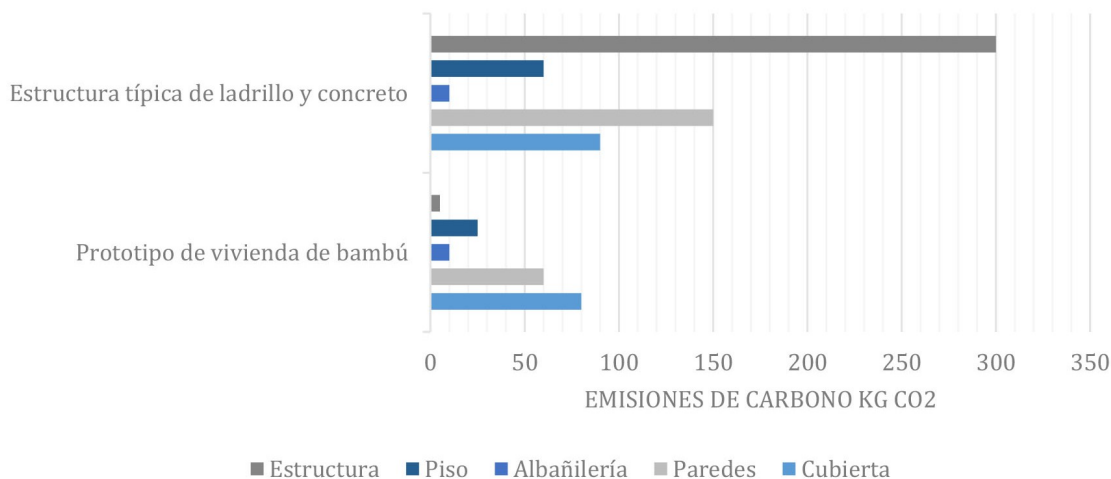
2.1.2. Alternativas de Materiales

Otros estudios, proponen como material natural, el uso de bambú en la construcción. Dentro de una investigación se realiza una comparación a través del análisis del ciclo de vida de los materiales, en una vivienda con estructura de bambú y otra con estructura típica de ladrillo y concreto. Yu et al. (2011), analizan la factibilidad del uso de este prototipo, es decir, que el sistema propuesto proporcione características funcionales y de soporte semejantes a la estructura típica. Por este motivo, proponen el uso de material reciclado y residuos de la construcción, como aislantes para la vivienda.

El estudio comparativo demuestra que la estructura de bambú aporta a la reducción del impacto ambiental. En donde se obtienen valores de $3003.4 \text{ MJ}/\text{m}^2$ de Energía Incorporada y emisiones de $168.9 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$ en la vivienda con el sistema propuesto. Mientras que para la estructura típica se obtiene una EI de $3532.9 \text{ MJ}/\text{m}^2$ y emisiones de $326.1 \text{ KgCO}_2/\text{m}^2$. De estos resultados globales se desglosan los sistemas constructivos considerados dentro del estudio, de los cuales, en el caso de la construcción convencional de concreto con ladrillo, los materiales empleados en la construcción de paredes son los que mayor EI requieren (Figura 2.5a), mientras que los materiales empleados en la estructura de la vivienda son los que mayor cantidad de emisiones generan (Figura 2.5b). Dentro de la EI del prototipo de la vivienda de bambú, en los sistemas empleados en paredes y cubierta, se evidencia que poseen valores elevados, en el caso de la cubierta, el requerimiento de energía es incluso mayor que en el sistema convencional, sin embargo, si se consideran las emisiones generadas, el prototipo de bambú logra reducir el impacto en todos los sistemas empleados (Figura 2.5).



(a)



(b)

FIGURA 2.5: Análisis comparativo entre vivienda convencional y vivienda de bambú. (a) Energía Incorporada en cada componente de la vivienda. (b) Emisiones generadas por cada componente analizada. Elaboración propia con datos de (Yu et al., 2011).

El estudio demuestra que existen materiales alternativos que pueden emplearse en la construcción. Estos materiales poseen funciones iguales a los tradicionales, pero con una importante reducción de *EI* y emisiones. Por este motivo, dentro de China se posiciona a la vivienda con estructura de bambú como uno de los edificios sostenibles. Otra ventaja de la construcción en bambú, es que existe gran cantidad de material con potencial de reciclaje. Con el uso del mismo, se puede reducir el 51.3% de la *EI* y el 69.2% de las emisiones de carbono. Sin embargo, es importante mencionar que el aprovechamiento de este sistema dependerá de los niveles de gestión y tecnologías existentes en cada espacio geográfico. A más del uso intensivo de la madera en la construcción, existen otros materiales de origen natural, que pueden ser reemplazados por materiales comunes, así se logra aportar a la

reducción de la EI .

En un estudio realizado por Venkatarama et al. (2014), se propone como solución la construcción con tierra apisonada. Dicho sistema constructivo consiste en la compactación progresiva de suelo dentro de encofrados rígidos. Se logra construir muros duraderos y más delgados, a través del uso de cemento Portland con un 8% como estabilizador. El autor realiza un estudio comparativo entre un complejo escolar que emplea la técnica constructiva de tierra apisonada, y otra edificación con sistema constructivo tradicional. Se obtuvo que el edificio escolar construido con técnicas manuales posee una EI de $1,15 \text{ GJ/m}^2$, mientras que una edificación construida con ladrillo de arcilla quemada posee una EI de $3-4 \text{ GJ/m}^2$, y un edificio con estructura de hormigón armado posee de $4-10 \text{ GJ/m}^2$. El caso de estudio demuestra la factibilidad de su uso, debido a la comparación expuesta. Se concluye que el uso de materiales naturales con una baja EI , disminuye considerablemente el valor total de energía consumida en una edificación.

Sin embargo, otros estudios analizan la EI de materiales comunes, de los cuales, al establecer una comparación, se logra definir cuales poseen un menor valor de EI , así se establecen recomendaciones para su uso. Por ejemplo, un estudio se ha centrado en proporcionar pautas para la selección de materiales con baja EI , para lograr un diseño ecológico. A través de la comparación de materiales de construcción más utilizados con algunos materiales ecológicos. Primero se expone que las baldosas cerámicas son los materiales con mayor demanda de energía. Esto se debe al alto consumo de gas natural en su etapa de fabricación. La etapa de cocción representa hasta el 80% del consumo energético en la producción. Por lo tanto, para pavimentos exteriores, en lugar de usar baldosa (15649 MJ/Kg) se recomienda usar azulejos (2200 MJ/Kg), así se logrará ahorrar hasta un 86% de energía. En el caso de techos se recomienda utilizar tejas de concreto (2659 MJ/Kg) en lugar de tejas cerámicas (4590 MJ/Kg), debido a que generan un ahorro del 42% del consumo de energía.

De igual manera, otro material con gran consumo energético es el hormigón. Zabalza et al. (2011), definen que el hormigón armado posee mayor EI que el hormigón en masa. Esto debido a la adhesión de acero en el primer caso. Y propone utilizar morteros de cal en lugar de los morteros de cemento, debido a que facilitan la transpiración de los edificios, absorben gran cantidad de CO_2 durante el fraguado y disminuye la EI . Los materiales aislantes hoy en día son en ciertos casos esenciales para lograr confort en los ambientes, sin embargo, el autor recomienda emplear materiales de origen natural como el corcho (51.51 MJ/Kg), fibra de madera (20.26 MJ/Kg), lana de oveja (26.39 MJ/Kg), en lugar de poliuretano (103.78 MJ/Kg) o espuma (105.48 MJ/Kg), ya que su consumo de energía es 2 y 3 veces mayor a los materiales de origen natural (Figura 2.6).

Finalmente, concluye que además de realizar un cambio en el uso de materiales, es importante crear conciencia en las grandes fábricas. Ya que en muchos casos, el mayor consumo de energía se genera en las plantas de producción. Venkatarama & Jagadish (2003), estudian la EI de diferentes materiales de construcción empleados en la India. A través de este análisis logran determinar las mejores opciones que servirán para construir edificaciones que generen un menor impacto ambiental. Entre estos materiales se encuentra el bloque de tierra/cemento, que puede ser empleado como material alternativo en muros.



FIGURA 2.6: Incremento de Energía Incorporada entre materiales aislantes de origen natural y sintéticos. Elaboración propia con datos de [Zabalza et al., 2011](#)

Este tipo de bloques consumen solo un cuarto de la energía que consume un ladrillo común de arcilla quemada. Además los materiales ferrosos, en sus procesos de extracción y fabricación poseen un elevado consumo energético. Sin embargo, este valor puede ser reducido a través del reciclaje de los mismos, los autores exponen su factibilidad en base a estudios numéricos.

[Cabeza et al. \(2013\)](#) realizan una revisión bibliográfica sobre los materiales de construcción con baja Energía Incorporada en edificios. Esta revisión muestra los esfuerzos que se han dado para desarrollar nuevos materiales, con un valor menor de *EI*. La energía en los materiales, con el paso de los años, ha ido adoptando mayor importancia dentro del ciclo de vida de un edificio, en comparación con la energía operativa. En la investigación se estudia la Energía Incorporada del cemento, hormigón, madera, ladrillos, tierra apisonada y arenisca. Lo que se busca en dicha investigación es encontrar materiales que reemplacen a los comunes, y generen un aporte al decremento de la *EI* en la construcción.

Se establece por una parte, que en el concreto, el reemplazo de ciertos componentes, ayudan a reducir en un 15 % las emisiones de carbono. Por otra parte, el incremento del uso de la madera en un 17 %, permite reducir las emisiones un 20 %. De igual manera, el reemplazo por bloques sólidos, fabricados mediante la compactación de una mezcla de tierra, arena y estabilizador, permite ahorrar alrededor del 60 al 70 % de la energía utilizada en los ladrillos quemados comunes. El uso de material a base de madera y el reciclaje del acero, permite reducir hasta un 32 % las emisiones de CO_2 , y disminuir hasta un 80 % de energía en el proceso de producción. Se concluye que el reemplazo de ciertos materiales, con unos de menor valor de Energía Incorporada, puede aportar a la reducción del consumo energético en las edificaciones. De igual manera, el uso de materiales reciclados, que depende del contexto, puede disminuir la *EI* de 25 al 40 %.

Otro estudio ([Rocha, 2011](#)), por una parte, expone los sistemas de certificación de

construcciones sostenibles desarrollados en distintos espacios geográficos. Por otra parte, muestra las características que deben tener los materiales de construcción para considerarlos sostenibles, y los sistemas para evaluar el ciclo de vida de las edificaciones. Se considera la selección de materiales, y se plantea como estrategia emplear materiales locales, renovables, reutilizables, durables, y de fácil mantenimiento. Además se propone como estrategia reciclar metales tanto ferrosos como no ferrosos, ya que se puede llegar a reducir la *EI*, debido a que se eliminan los procesos de extracción y minería. Se logra disminuir un 70 % de la energía requerida en el acero y hasta 95 % en el aluminio.

El ámbito del reciclaje de materiales es muy amplio, en Canadá, (Talukdar et al., 2011), establecen que el uso de materiales reciclados disminuye considerablemente el impacto ambiental que genera la construcción. Incluso el ahorro no solo se da en este campo, sino que también permite un ahorro económico, disminución de la energía empleada y por lo tanto reduce la huella de carbono global. En este estudio, el autor evalúa el uso de materiales de desecho en la construcción, tales como el vidrio triturado y el caucho de neumáticos molido. Se estudia la factibilidad de estos materiales para su incorporación como agregado en el concreto. A través de varias pruebas de resistencia, se pudo determinar que el concreto elaborado con estos agregados reciclados no cumple con los parámetros requeridos para elementos estructurales, en donde la durabilidad y resistencia debe ser alta. Sin embargo, este tipo de concreto puede ser empleado en elementos no estructurales como tabiquerías, bordillos, y pavimentos o cimientos de baja resistencia.

En otro estudio, en China, (Jiao et al., 2011), estudian cuatro tipos de desechos sólidos: lodo dragado, cenizas volantes, escoria de acero y lodo de carburo de calcio, y a su vez, analizan la posible incorporación de estos materiales en el proceso de elaboración del ladrillo. Como una alternativa de producción que aporta al decremento del consumo energético y de emisiones de carbono.

2.1.3. Diseño Inicial

Otro tipo de investigaciones, con el fin de reducir la Energía Incorporada en la construcción, plantean la selección de materiales desde el diseño inicial, lo cual ayudaría a disminuir costos y el impacto ambiental que genera el sector de la construcción. En este contexto, una investigación de González & García (2006), muestra la posibilidad de reducir las emisiones de CO_2 hasta un 30 % en la fase de construcción, mediante la selección adecuada de materiales de bajo impacto ambiental. Recalca que tanto los materiales, como las características bioclimáticas deben definirse desde la fase inicial de diseño.

Se establece una comparación entre tres viviendas adosadas, construidas con criterios de bajo impacto ambiental, con un edificio con características similares pero sin ninguna selección de materiales. Las viviendas planteadas con criterios de bajo impacto ambiental, están constituidas por muros de carga de ladrillo perforado con gran inercia térmica. Las losas interiores y los techos de madera tratada naturalmente. Se utiliza el corcho como aislante en paredes, pisos y techos, en lugar de utilizar PVC se emplea polietileno en fontanería y servicios, además se diseña un cableado bajo en halógenos, pinturas a base de

agua, y carpintería de madera. En consecuencia, se obtiene para las viviendas adosadas con criterios de bajo impacto, un total de emisiones de 10311140 Kg/CO_2 , y la construcción tradicional genera emisiones de 14179560 Kg/CO_2 . Finalmente, se muestra un consumo de recursos materiales de 1690.81 Kg/CO_2 , en donde se define que la cimentación y excavación representan el mayor consumo energético.

De igual manera, (Morini et al., 2019), en su investigación establece que los requisitos ambientales deben ser insertados en los proyectos y procesos desde la etapa conceptual de diseño inicial. Además, posiciona a la evaluación del ciclo de vida (ACV) como la metodología con mayor reconocimiento en la evaluación de cargas ambientales. Con el estudio de procesos desde la extracción de las materias primas hasta el final de la vida útil. Considerar el desempeño ambiental desde el inicio del proceso de diseño, permitirá además de reducir los costos de fabricación, disminuir la Energía Incorporada, las emisiones de CO_2 , y a su vez eliminar el desperdicio.

En el proceso de diseño se determina el 80 % del impacto ambiental que va a generar un producto, por lo tanto es importante desarrollar procesos de producción amigables con el medio ambiente. La investigación aborda un enfoque de validación entre dos o tres alternativas, para apoyar en el proceso de selección de materiales. Mediante una comparación entre los resultados obtenidos del ACV de literatura publicada y las estimaciones obtenidas con un software denominado EcoAudit, para alcanzar valores de Energía Incorporada y huella de carbono. El objetivo es validar una herramienta que pueda ayudar a investigadores en la selección de materiales en las primeras etapas de diseño.

2.1.4. Buenas Prácticas de Producción

En otro ámbito, la responsabilidad medio ambiental no solamente radica en el sector de la construcción. Las buenas prácticas en las empresas productoras de los materiales permitirán reducir la energía consumida en sus procesos de fabricación. De acuerdo con (Dixit et al., 2010), el valor de la Energía Incorporada de distintos materiales dependerá de sus procesos productivos.

Por este motivo, Diaz (2014), propone la creación de un modelo estratégico de responsabilidad para la construcción, con base en las buenas prácticas en las empresas constructoras de Villavicencio. A través de un método descriptivo para obtener la tasa de emisión de CO_2 en los últimos 5 años. La investigación da a conocer el proceso de análisis, diagnóstico y resultados de los sistemas constructivos industrializados, la metodología se basa en tablas de medición de fuentes de emisión de CO_2 y energía consumida. El método de análisis del Arq. Carlos Alberto Fuentes, trata tres categorías: Fuentes de emisión de CO_2 , según áreas de uso y consumo, construcciones de bajo impacto ambiental y valor promedio de consumos de energía de los materiales en la construcción. Se establecen valores de EI promedio en diferentes materiales de construcción, por una parte los materiales más simples como el adobe, con una EI de 0,1 MJ/Kg , la piedra con una EI de 0,3 MJ/Kg . Por otra parte, materiales más complejos o industrializados como el aluminio con una EI de 410 MJ/Kg . Se obtiene como resultante que los sistemas constructivos

industrializados, ofrecen soluciones rápidas, pero no son evaluados frente a los factores de CO_2 producido o a la Energía Incorporada.

Un estudio de [Debnath et al. \(1995\)](#), demuestra que los materiales que más aportan al incremento de la *EI* son los ladrillos, el cemento y el acero. Sin embargo propone que se pueden aplicar ciertas medidas de conservación de energía en las industrias. Por ejemplo, en la industria del acero se puede reducir del 8-10 %, en la industria del cemento entre 10-15 %, en la industria de la cerámica y del vidrio 15-20 %. Estos valores obtenidos demuestran que la responsabilidad de disminuir el impacto ambiental nace desde los procesos iniciales de obtención de materia prima hasta su puesta en obra dentro de la edificación. Por lo tanto, la industria debe hacer frente a este hecho y aportar a la reducción del consumo energético.

2.2. Peso del Material

A través de varios estudios, se ha podido definir que el sistema constructivo que genera mayor impacto ambiental, se encuentra en la cimentación y estructura. Este hecho debido al peso generado en su proceso constructivo y los materiales empleados.

En Lanzarote, trabajos realizados por [Argúello & Burgos \(2008\)](#), con el programa holandés de análisis de ciclo de vida de materiales SIMAPRO4 y la base de datos BEDEC del ITeC, muestran que el consumo de recursos materiales en edificios plurifamiliares supone un total de $1.823,34 \text{ kg/m}^2$, y las viviendas unifamiliares de unos 115 m_2 un total de $3.719,85 \text{ kg/m}^2$. Se evidencia que en ambos casos, el subsistema constructivo correspondiente a la Estructura, es el de mayor consumo de recursos con un $41,48 \%$ y un $33,88 \%$, respectivamente. De los cuales, los áridos y los morteros son los recursos materiales que más energía consumen en ambas tipologías. En los mismos edificios la Energía Incorporada en base a los recursos materiales consumidos supone un total de $5.470,58 \text{ MJ/m}^2$ para viviendas plurifamiliares y $8.543,13 \text{ MJ/m}^2$, para viviendas unifamiliares. La investigación concluye que los impactos más importantes de los materiales se producen, en primer lugar por los materiales de mayor peso en el edificio (cemento, morteros, cerámicas, áridos y aceros). En segundo lugar, por los metales especiales (aluminio, cobre). **En consecuencia, el consumo energético se relaciona con los hábitos constructivos del lugar donde se edifica.**

Otro estudio de caso, realizado por [Carmona \(2010\)](#), en la ciudad de Santiago, en donde cuantifica la energía consumida en la construcción de obra gruesa en edificios de altura media, plantea el análisis de 3 edificaciones, la primera (A) con un área de 5746 m^2 , la segunda (B) con 7214 m^2 y la tercera (C) de 9050 m^2 . De cada uno de estos edificios se desglosan las cantidades de material empleados en la obra gruesa de la edificación. Los resultados obtenidos muestran que el primer edificio habitacional (A) analizado de 10 pisos y 2 subterráneos, con estructura de hormigón armado, posee una EI total de 2967923.6 kWh , en el segundo caso, un edificio habitacional (B) de 10 pisos y 2 subterráneos, con estructura de hormigón armado consume 4520697.5 kWh . Finalmente, el tercer edificio destinado a oficinas (C), de 6 pisos y 1 subterráneo, con estructura de hormigón armado con losas postensadas posee una EI de 6192203.5 kWh .

Como resultado se obtiene que el edificio C, destinado a oficinas posee un valor elevado de EI , debido a las losas postensadas empleadas en la construcción, las mismas que permiten mayores luces, aptas para el uso que tiene la edificación. Entre el edificio 1 y 2 con estructura de hormigón armado, la diferencia radica en el área de construcción, a mayor área construida, mayor energía consumida. La comparación de los tres edificios, muestra finalmente que a mayor avance tecnológico, mayor es el consumo energético y por lo tanto el impacto generado al medio ambiente, debido a que en el edificio C, el uso de losas postensadas genera un notable incremento en relación al sistema constructivo de hormigón armado (Figura 2.7).

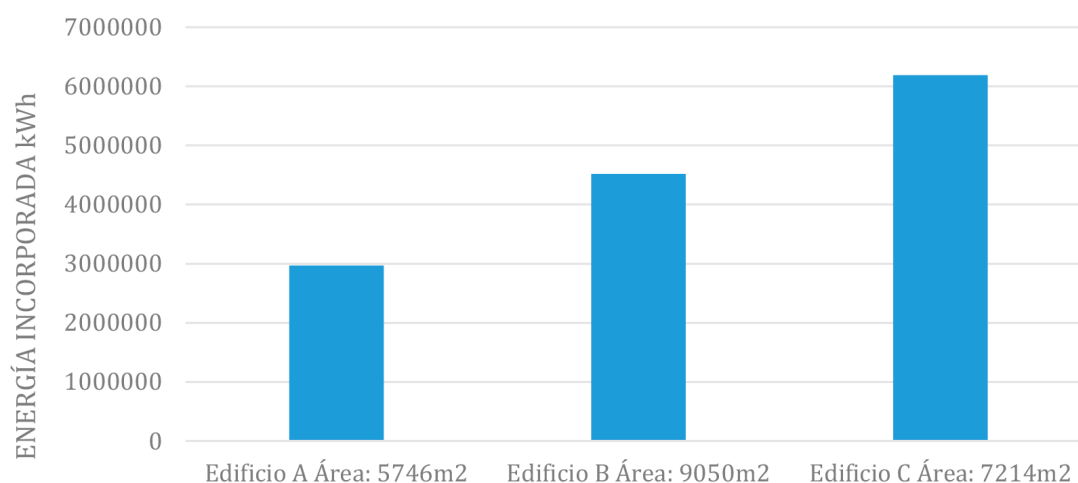


FIGURA 2.7: Resultados del estudio comparativo por tipología de edificación. Elaboración propia con datos de [Carmona, 2010](#).

De igual manera, un estudio realizado en Escocia, muestra el análisis de una vivienda adosada con 3 habitaciones, en donde a través del análisis de ciclo de vida se determina que la edificación posee una *EI* de 227.4 GJ. De este valor total, solamente el uso del hormigón en la edificación corresponde al 65 %, con una *EI* de 1479 GJ. [Asif et al. \(2007\)](#), explican que los hormigones y morteros empleados en la vivienda, a más de poseer el valor más alto de *EI*, en comparación con el resto de materiales, son los que en mayor cantidad se emplean en la edificación. Por lo tanto, el valor final de *EI* incrementa notablemente. Además se menciona como dato importante que el hormigón es el responsable del 99 % de las emisiones de CO_2 generadas en la construcción de viviendas. Por este motivo, otras investigaciones plantean disminuir la cantidad de material con mayor Energía Incorporada.

[Peluso \(2011\)](#) establece una comparación sobre la relevancia de la Energía Incorporada en relación con la energía operacional. Para lograr este objetivo, desarrolló un proceso de análisis para estimar su Energía Incorporada recurrente y final, mediante un levantamiento de datos en el sitio. En el marco de análisis energético del ciclo de vida. Después de este análisis se proponen alternativas para los materiales que mayor consumo energético demandan. La estructura de hormigón y mampostería de ladrillo representan aproximadamente el 62 % de la Energía Incorporada.

Por una parte, para la estructura se propone la sustitución del 20 % de cemento común por CBC. (Ceniza de bagazo de caña), en donde se obtiene como resultado, para el hormigón armado común, en $816m^3$ una *EI* de 1823.04 GJ. Mientras que para la solución propuesta se obtiene una *EI* de 1628.25 GJ, lo que se representa una reducción de 1,50 % de la Energía Incorporada. Por otra parte, para la mampostería interior se propone el uso de placas de yeso con estructura de perfiles de acero y aislamiento de lana de vidrio o poliestireno. De donde se obtiene un valor para la *EI* de 2719.57 GJ, y se disminuye un 7.31 % el consumo de energía.

Finalmente, existen estudios que analizan la factibilidad del incremento de la Energía Incorporada, debido a que en ciertos casos se ha determinado que el confort térmico

interior conlleva un aumento de *EI*. Sin embargo, en dichos estudios se generan recomendaciones para poder disminuir dicho impacto, sin alterar el confort interior de las viviendas.

Dentro de un trabajo investigativo, en Chile se determina el atraso del país en materia de análisis del ciclo de vida en la edificación, por lo tanto, se plantea contribuir y fortalecer el uso de esta herramienta (ACV), y a su vez, mejorar el desempeño energético y ambiental de las edificaciones. En esta tesis se estudia la materialidad de envolventes térmicas como la madera (*EI* 3.279 MJ/m^3 y emisiones de 32 $KgCO_2/m^3$), cemento (*EI* 2.63 MJ/ton y emisiones de 502 $KgCO_2/ton$), hormigón premezclado (*EI* 342.21 MJ/m^3 y emisiones de 25.9 $KgCO_2/m^3$) y albañilería de ladrillo (*EI* de 3.66 MJ/Kg y emisiones de 0.3 $KgCO_2/Kg$) de viviendas de interés social. Los resultados obtenidos en la investigación de Muñoz & Quiroz (2014), demuestran que una mejora en la transmitancia térmica de una envolvente puede provocar el aumento de la *EI* y de emisiones de efecto invernadero. Recomiendan, dentro del contexto de Chile, el aumento del uso del material madera, ya que provee de condiciones térmicas aptas, y baja Energía Incorporada y emisiones.

Casañas (2011), en su estudio realizado en Uruguay, se plantea como objetivo identificar la solución constructiva más adecuada para disminuir la *EI* en viviendas aisladas. Para lograr el objetivo planteado se realiza primero, una revisión bibliográfica para identificar el impacto ambiental que genera el incremento de la Energía Incorporada. En base a lo mencionado, se realiza una estimación de la Energía Incorporada en tres materiales producidos dentro del territorio nacional, el ladrillo, acero y cemento. Como resultado se obtiene que para una pared de ladrillo se requiere 2468 MJ , mientras que para un muro de hormigón armado la Energía Incorporada es de 1668 MJ . Se concluye que las viviendas con mampostería de ladrillo, a pesar de tener mayor consumo energético, tienen un mejor funcionamiento térmico, mientras que la mampostería de hormigón armado proporciona mayores ganancias térmicas al interior de la vivienda, lo cual altera el bienestar de los habitantes.

Un estudio realizado en Irlanda por Goggins et al. (2010), evalúa los métodos más utilizados para calcular la Energía Incorporada, aplicada a una mezcla de concreto, de la cual se obtiene una *EI* de 1.08 MJ/kg . Es importante destacar que al cemento se le atribuye el 68 % de la *EI*. El método empleado para el análisis es el híbrido de entradas y salidas, que adopta condiciones de diferentes metodologías y las complementa para obtener resultados certeros. Se plantea una comparación entre una estructura típica de hormigón armado, la misma que usa cemento Portland, con un segundo que reemplaza la mitad del contenido de cemento por escoria granulada. La investigación demuestra que los agregados naturales representan hasta el 9 % de la *EI* del hormigón. Se concluye que, al reemplazar el 50 % del cemento se reduce en un 30 % la *EI* del hormigón. La metodología planteada para la obtención de la *EI*, permitirá a investigadores realizar análisis precisos, que pueden significar grandes aportes al decremento del uso de energía.

2.3. Resumen del Capítulo

A través de la revisión de estudios previos, se ha podido identificar la creciente preocupación sobre la construcción de viviendas amigables con el medio ambiente. Además se evidencia la intención de encontrar materiales que para su producción y puesta en obra requieran un valor menor de Energía Incorporada. Muchos de los estudios analizados, posicionan a la madera como el material de origen natural que mejor comportamiento presenta frente al consumo de energía, sin embargo, es importante generar políticas de manejo responsable del material, para así evitar situaciones contraproducentes. Materiales como la madera, piedra, tierra, son elementos de origen natural, que para su uso en la construcción, no generan un mayor impacto en el consumo energético y en el ambiente. No obstante, es necesario tener un conocimiento amplio sobre sus sistemas constructivos para que a más de ser una solución sostenible, puedan dotar al usuario de confort dentro de sus ambientes.

El reciclaje de materiales es otra alternativa que permite reducir el impacto energético que genera la construcción a nivel mundial, por este motivo, varios estudios se enfocan en analizar diferentes materiales de residuo, que pueden ser sustituidos por los materiales típicos. Lo que se busca en estas investigaciones, es que estos materiales reciclados se comporten de la misma forma que un material tradicional, pero que logren aportar a la construcción sostenible. Además, se ha podido determinar la importancia de la selección de materiales desde el diseño inicial, y la responsabilidad del sector productivo por implementar sistemas que permitan reducir la *EI* en los procesos de fabricación de los materiales. A través de los análisis descritos en el presente capítulo, se denota la necesidad de tener una guía donde se especifique la factibilidad de uso de cada material, con la energía requerida para cada uno de estos.

Los estudios referentes a la disminución de la cantidad de material con alta Energía Incorporada, son menores. Sin embargo, las investigaciones realizadas muestran que el uso de materiales alternativos pueden suplir la gran cantidad de cierto material con un peso importante de *EI*. Es así como se logra un decremento importante en el consumo energético.

Finalmente, los estudios revisados han sido desarrollados a nivel mundial, los mismos que poseen mayor variedad y avance en países desarrollados, mientras que en América Latina se demuestra el retraso en estos temas y la carencia de regulaciones y estudios en ciertos países. De igual manera en Ecuador el consumo de energía generado por los materiales no es considerado, por lo que la construcción avanza sin un enfoque. Debido a que no existe una conciencia del impacto ambiental que se genera y mucho menos de las condiciones de confort interior.

capítulo 3

**La Construcción en el Contexto Físico e
Histórico de la Ciudad de Cuenca**

El presente capítulo aborda un análisis de los materiales empleados en la construcción en el Ecuador, en la Región Sierra y en la provincia del Azuay, en donde se establece una comparación entre los sistemas constructivos empleados en diferentes épocas. La comparación entre éstos tres espacios geográficos permitirá determinar si se han generado o no cambios a lo largo de los años, tanto a nivel de país, de región y finalmente de ciudad.

Para este análisis, se ha empleado la información de la Encuesta Anual de Edificación ENED, desde 1980 hasta 2018. Dentro de éstas, la información de materiales se encuentra especificada a nivel nacional y provincial, por lo que para establecer los materiales empleados en la ciudad de Cuenca, será considerada la información de la provincia del Azuay. Debido a que la ciudad representa entre el 70 % y 80 % del total de permisos emitidos en la provincia. Dentro de la información estadística se encuentra detallado, los materiales a emplearse en la construcción, en las componentes de Estructura y Envolverte. Y para establecer materiales empleados en Acabados, será empleada la información estadística del Censo de Población y Vivienda de 1990-2001-2010.

3.1. Consumo Energético en Ecuador

El consumo de energía en el Ecuador ha tenido un incremento progresivo a lo largo del tiempo, si se considera desde el año 2008 al 2018. En este periodo se ha generado un incremento en el requerimiento de energía del 42,2%, esta energía se ha distribuido y ha crecido de manera uniforme en todos los sectores. Históricamente, el sector con mayor requerimiento de energía ha sido el transporte, el mismo que para el 2018 ha requerido del 48.8% del consumo energético total, sin embargo, el sector de la construcción y el sector residencial corresponden al 10.2% y 13.2% respectivamente, lo cual denota un importante valor dentro del consumo energético a nivel de país (Figura 3.1).

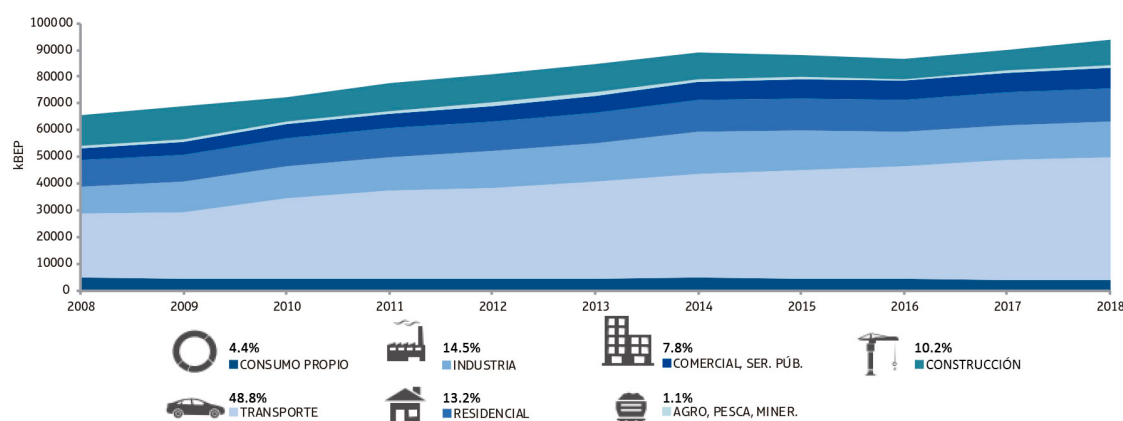


FIGURA 3.1: Distribución del consumo energético en el Ecuador, clasificado por sectores. Imagen tomada de Balance Energético Nacional 2018. IIGE, 2018.

Es importante mencionar que en el país la principal fuente de energía es el petróleo, a pesar de existir otras fuentes renovables, éstas tienen una participación menor en la generación de energía. El petróleo tiene una participación del 87,5%, mientras que el 12,5% restante pertenece a la producción de energía a través de fuentes renovables (IIGE, 2018). El progresivo incremento en la demanda de energía repercute en el alza de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), esta tendencia a lo largo de los años se ha mostrado ascendente en todas las etapas, es así que se ha generado un incremento en los GEI del 32,2%, en el periodo comprendido entre el 2008 y 2018.

Ligado al consumo energético está las emisiones que cada sector genera, por lo que se mantiene la tendencia de mayor representatividad del transporte sobre los otros sectores, dentro de las emisiones de GEI, el sector de la construcción y el sector residencial emiten el 9,4% y 8,4% respectivamente (IIGE, 2018). Dentro del sector del transporte se consideran los procesos de importación y exportación de materiales de construcción, por lo que el ingreso de nuevos materiales para la construcción de nuevos sistemas, de gran tecnología generan un notable impacto en el consumo de energía y por lo tanto en las emisiones de GEI.

3.2. Cambio de Materiales de Construcción

A pesar del notable impacto que genera tanto el sector de la construcción como el sector residencial, la necesidad de vivienda por parte de todos los ámbitos sociales y económicos, ha convertido al sector de la construcción en un factor fundamental para el crecimiento económico del país. Además, el sector de la construcción es considerado como el mayor empleador del mundo (INEC, 2016a). Este sector, en el Ecuador, representa el 10% del PIB (Producto interno bruto), valor que históricamente ha tenido variaciones, en donde el mayor decremento se ha dado en los años 2015-2016, hecho que va de la mano con la baja de la economía nacional (García & Tobar, 2019). Por lo tanto, el crecimiento del sector de la construcción en el país, depende directamente de la economía del mismo.

Históricamente, los procesos constructivos en el país se han dado en base a la accesibilidad a diferentes materiales, y a los requerimientos y exigencias de sus usuarios o constructores. La construcción se daba en base a los saberes ancestrales, con técnicas obtenidas de experiencias previas o transmitidas, las mismas que definían la realidad de un pueblo marcado por diferentes circunstancias culturales, tradicionales y ambientales. En sus inicios, los procesos constructivos y los materiales empleados respondían a una distribución regional, disponibilidad de recursos naturales, cultura y condiciones climáticas (Guevara, 2015).

En la Costa y Oriente, los materiales predominantes eran la caña guadua y el bambú, mientras que en la Sierra era la tierra, estos materiales se empleaban para cubiertas y paredes. En los lugares cálidos se utilizaban materiales livianos, mientras que los lugares fríos se empleaban materiales pesados. La vivienda tradicional, como se ha mencionado respondía a las condiciones climáticas, los usuarios buscaban generar en sus ambientes interiores confort. Esto se ha evidenciado en las diferentes regiones del país. En la región litoral se buscaba propiciar ventilación natural en los espacios interiores. Mientras que en la región interandina se buscaba captar el calor y así permitir el calentamiento del interior. El uso de la tierra en la Región Sierra, como material predilecto, se debía a que la mampostería de este material era capaz de absorber, retener y devolver calor hacia el interior de la vivienda (Guevara, 2015), por lo que las condiciones térmicas interiores eran aptas.

Estos sistemas constructivos y saberes tradicionales adquiridos se fueron perdiendo con el paso de los años, en la década de los cincuenta surge como nueva técnica constructiva el hormigón armado y ya para la década de los sesenta comienza a emplearse el acero. Se dan estos procesos de modernización e industrialización debido al nacimiento de la época petrolera en el Ecuador. Ligado a este hecho, el sector de la construcción incrementa la importación de nuevos materiales, los mismos que son empleados para solventar requerimientos técnicos en unos casos y caprichos estéticos en otros.

Por lo que a continuación será analizada la variación de materiales empleados en la construcción ecuatoriana, en la región interandina y finalmente en la provincia del Azuay, para establecer los sistemas constructivos empleados en los periodos comprendidos entre 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2018. Los análisis establecidos por cada periodo de análisis se muestran en el (ANEXO 1). Para este análisis se empleará la información estadística del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), de las Encuestas Anuales de Edificaciones (ENED), desde el año 1980 hasta 2019. Desde el año 1966, se comienza a recopilar información importante sobre los procesos constructivos, en este mismo año se realiza el Primer Censo de Construcción, en base a la información estadística de permisos de construcción, emitidos por cada Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) (INEC, 2019). Dentro de estos formularios de permisos de construcción se detallan los diferentes materiales empleados en la construcción a nivel nacional y provincial, en estos se considera la materialidad de la Estructura y de la Envolvente de la vivienda (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: MATERIALES CONSIDERADOS DENTRO DE LA ENCUESTA ANUAL DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE INEC, 2018.

Sistema constructivo		Materiales
ESTRUCTURA	Cimentación	Hormigón armado
		Hormigón ciclópeo
		Sobre pilotes
		Otros
ESTRUCTURA	Estructura	Hormigón armado
		Metálica
		Madera
		Otros
ENVOLVENTE	Paredes	Ladrillo
		Bloque
		Madera
		Otros (Adobe/tapia
		Caña revestida
	Prefabricada)	
	Cubierta	Hormigón armado
Eternit/asbesto		
Teja		
		Zinc
		Otros

Para la componente de Acabados se ha considerado la información establecida en el Censo de Población y Vivienda, en donde se especifican los materiales empleados en el acabado del piso de las viviendas.

3.3. Sistemas Constructivos en Ecuador

Estructura

A lo largo de los periodos de análisis los materiales empleados en la componente de Estructura, a nivel nacional, han sido el hormigón armado, hormigón ciclópeo, metal y madera. Dentro de los materiales para cimentación, en las últimas cuatro décadas ha predominado el uso de hormigón armado y hormigón ciclópeo. En el primer periodo el uso de hormigón armado representaba el 65 %, mientras que el hormigón ciclópeo el 32 %. Para el periodo 2 ya se genera una importante variación, debido a que se incrementa el uso del hormigón ciclópeo, sin embargo, en los últimos periodos se incrementa de manera notable el uso de hormigón armado, mientras que el uso de hormigón ciclópeo, poco a poco disminuye (Figura 3.2a). En cuanto a la estructura de las viviendas, los materiales más usados han sido el hormigón armado y el metal. El uso del hormigón en estos elementos constructivos se ha mantenido entre el 80 % y 90 % del total de permisos emitidos, a lo largo de los periodos analizados. Mientras que la estructura metálica ha tenido variaciones, las cuales muestran que su uso, en el primer periodo es mayor, en relación al segundo periodo, sin embargo, a partir del periodo 3 se comienza a incrementar su uso y esta tendencia continua en el periodo 4 (Figura 3.2b).

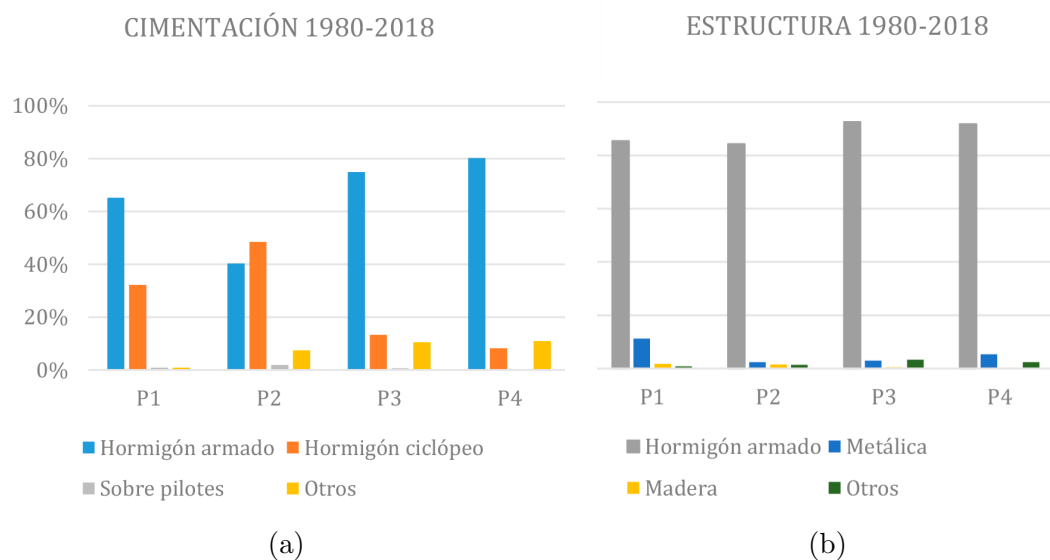


FIGURA 3.2: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura, a nivel nacional, desde 1980 hasta 2018.

De acuerdo a lo mencionado, es posible determinar que, en la cimentación, el sistema constructivo predominante en la actualidad, es el que emplea hormigón armado. Sistemas relacionados a la construcción de zapatas, ya sean continuas o aisladas. La principal variación dada en la cimentación ha sido el cambio de la mampostería corrida de piedra que emplea hormigón ciclópeo, por las zapatas de hormigón armado.

En relación a la estructura, el sistema constructivo más empleado a lo largo de los periodos analizados, han sido los pórticos de hormigón armado, sin embargo, existe un ligero

incremento en el uso de la estructura metálica y un detrimento casi total en el uso de la madera.

Envolvente

Los materiales predominantes en la componente de Envolvente, a lo largo de los periodos de análisis, han sido, ladrillo, bloque, hormigón armado, asbesto, teja y zinc. Dentro de los materiales empleados en mampostería, en las últimas cuatro décadas se ha evidenciado el uso predominante del ladrillo y el bloque. En el periodo 1 y 2, el uso de ladrillo representaba el 51 % y 46 %, y el bloque 46 % y 43 %, respectivamente. Estos porcentajes muestran que el uso del ladrillo y bloque era más o menos equitativo en estos periodos, sin embargo, para el periodo 3 y 4 la tendencia cambia y predomina el uso del bloque, mientras que el uso del ladrillo presenta una paulatina disminución (Figura 3.3a).

En cuanto a la cubierta de las viviendas, los materiales predominantes han sido el hormigón armado, asbesto teja y zinc. En este elemento constructivo, en el primer periodo, el material más usado ha sido el asbesto, sin embargo, en los demás periodos de análisis, se presenta un constante decremento en su uso. A la vez el uso del hormigón armado presenta un incremento en su uso hasta la actualidad (Figura 3.3b).

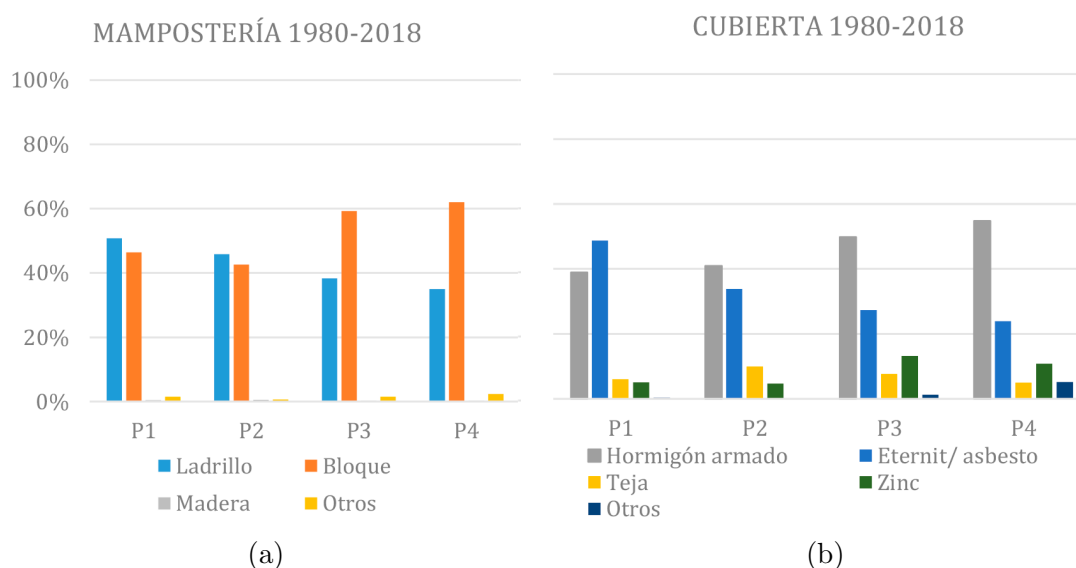


FIGURA 3.3: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta, a nivel nacional desde 1980 hasta 2018.

De acuerdo a este análisis, se ha podido determinar que, en mampostería, en un inicio predominaba el uso del ladrillo junto al mortero empleado para las juntas, es decir, en los dos primeros periodos se empleaban sistemas constructivos para mampostería más pesados. Mientras que, en el periodo 3 y 4 se emplea un sistema constructivo más liviano, compuesto por bloque y mortero para junta. El caso contrario se evidencia en los sistemas constructivos empleados en cubierta, ya que en el periodo 1, predominaba el uso del asbesto, como un sistema para cubierta liviano, mientras que en los siguientes periodos,

se intensifica el uso de la cubierta pesada de hormigón. El uso de teja y zinc ha tenido variaciones a lo largo de los periodos analizados, sin embargo, su uso ha sido menor que el hormigón armado y asbesto en todos los periodos.

Acabados

Dentro de la componente de Acabados, será analizada la variación de materiales empleados en acabados para pisos desde 1980 hasta 2010. De acuerdo a lo mencionado, en el primer periodo, se ha evidenciado un uso predominante del entablado o parquet, sin embargo, para los siguientes periodos, se muestra una constante disminución en su uso. A su vez, se genera un incremento en el uso de materiales como ladrillo o cemento y baldosa o vinyl, los mismos que muestran un constante incremento a lo largo de los periodos analizados. A más de ello, a partir del periodo 3, se insertan otros materiales, como el piso flotante, el cual, para ese periodo, ya posee un porcentaje de uso del 11 %. Otros materiales de origen natural como la tierra y la caña, muestran un constante decremento en su uso, ya que han sido reemplazados por materiales industrializados (Figura 3.4).

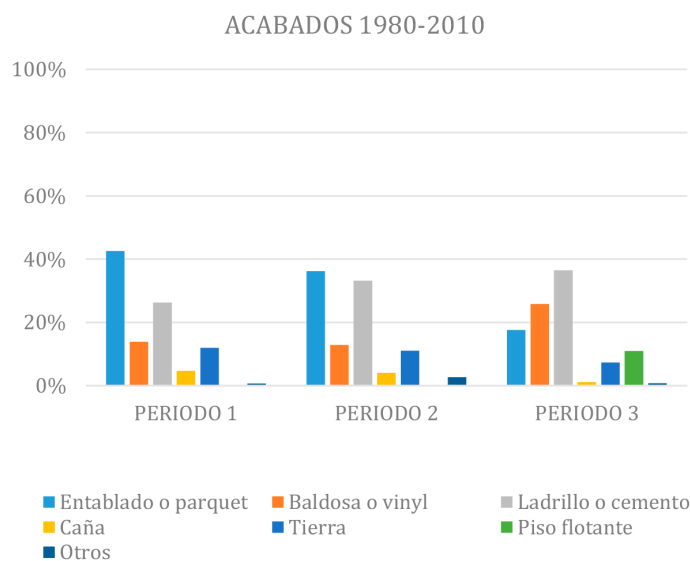


FIGURA 3.4: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo de 1980-2010, a nivel nacional.

La tendencia mostrada en la figura anterior, se ha mantenido en el último periodo de análisis. Es posible afirmar este hecho debido a que, las importaciones de materiales al país han tenido un incremento constante, solamente desde 2016 hasta 2019, el porcentaje de importaciones se incrementó en un 46 %. Los materiales que se importan en mayor cantidad son los productos metálicos y acabados (CCE, 2020). Entre estos acabados se consideran diferentes productos cerámicos, porcelanato, piso flotante, vidrios, marcos para ventanas, entre otros. Cada vez los materiales empleados en los acabados de las viviendas poseen una mayor variedad, para toda condición económica y social.

3.4. Sistemas Constructivos en la Región Sierra

Estructura

A lo largo de los periodos de análisis, dentro de los materiales para cimentación, en las últimas cuatro décadas ha predominado el uso de hormigón armado y hormigón ciclópeo. En el primer periodo el uso de hormigón armado representaba el 57%, mientras que el hormigón ciclópeo el 42%. Para el periodo 2 ya se genera una importante variación, similar a la que se presenta a nivel nacional, debido a que se incrementa el uso del hormigón ciclópeo. Sin embargo, en los últimos periodos se incrementa de manera notable el uso de hormigón armado, mientras que el uso de hormigón ciclópeo, disminuye (Figura 3.5a). En cuanto a la estructura de las viviendas, los materiales más usados han sido el hormigón armado y el metal. El uso del hormigón en estos elementos constructivos se ha mantenido entre el 80% y 90% del total de permisos emitidos, a lo largo de los periodos analizados. Mientras que la estructura metálica ha tenido variaciones, las cuales muestran que su uso, en el primer periodo es mayor, en relación al segundo periodo, sin embargo, a partir del periodo 3 se comienza a incrementar su uso y esta tendencia continua en el periodo 4 (Figura 3.5b).

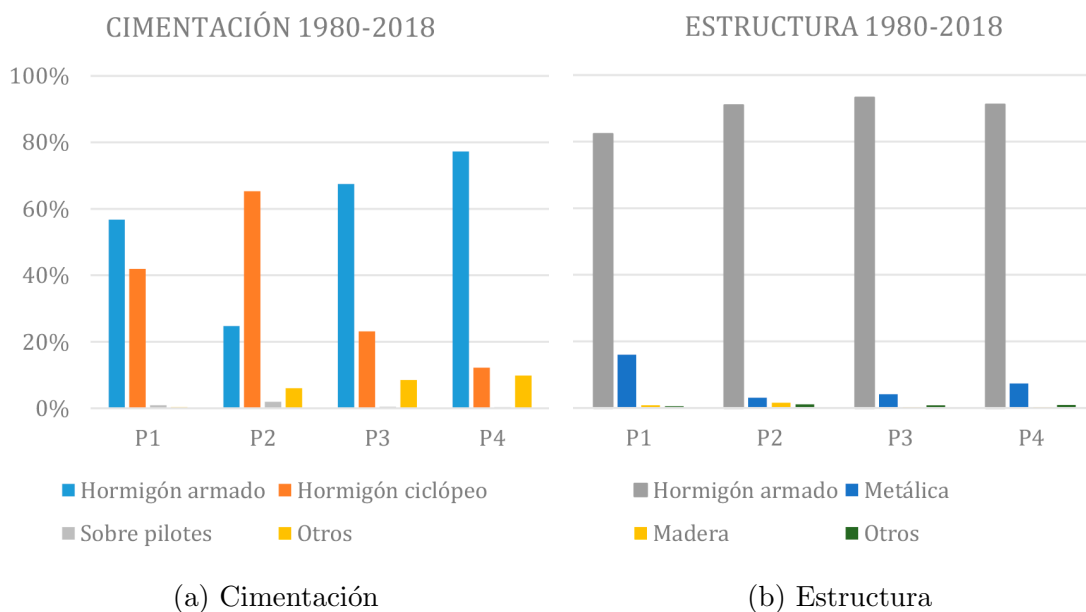


FIGURA 3.5: Materiales empleados en los elementos estructurales cimentación y estructura, a nivel regional, desde 1980 hasta 2018.

De acuerdo a lo mencionado, es posible determinar que, en la cimentación, el sistema constructivo predominante en la actualidad, es el que emplea hormigón armado. Sistemas relacionados a la construcción de zapatas, ya sean continuas o aisladas. La principal variación dada en la cimentación ha sido el cambio de la mampostería corrida de piedra que emplea hormigón ciclópeo, por las zapatas de hormigón armado. En relación a la estructura, el sistema constructivo más empleado a lo largo de los periodos analizados,

han sido los pórticos de hormigón armado, sin embargo, existe un ligero incremento en el uso de la estructura metálica y un detrimento casi total en el uso de la madera. En este nivel, los sistemas constructivos empleados en esta componente son similares a los presentados a nivel nacional, es posible que, esto se deba a que la provincia de Pichincha es la que mayor cantidad de permisos emite, por lo que incidirá de manera significativa tanto a nivel nacional como regional.

Envolvente

Los materiales predominantes en la componente de Envolvente, en el caso de mampostería, en las últimas cuatro décadas, han sido el ladrillo y el bloque. En el periodo 1 y 2, el uso de ladrillo representaba el 58 % y 54 %, y el bloque 36 % y 42 %, respectivamente. Estos porcentajes muestran que el uso del ladrillo predominaba sobre el bloque, sin embargo, ya en el periodo 2, se muestra que el uso del bloque se incrementa, y para el periodo 3 y 4 predomina el uso del bloque, mientras que el uso del ladrillo presenta una paulatina disminución (Figura 3.6a). En cuanto a la cubierta de las viviendas, los materiales predominantes han sido el hormigón armado, asbesto teja y zinc. En este elemento constructivo, en todos los periodos de análisis, se ha mantenido como predominante el uso de hormigón armado. El segundo material más usado ha sido el asbesto. A nivel de la Región Sierra el uso de la teja ha tenido un incremento en el periodo 2, pero posteriormente su uso ha disminuido. En cuanto al zinc, su uso ha sido muy bajo en la región (Figura 3.6b).

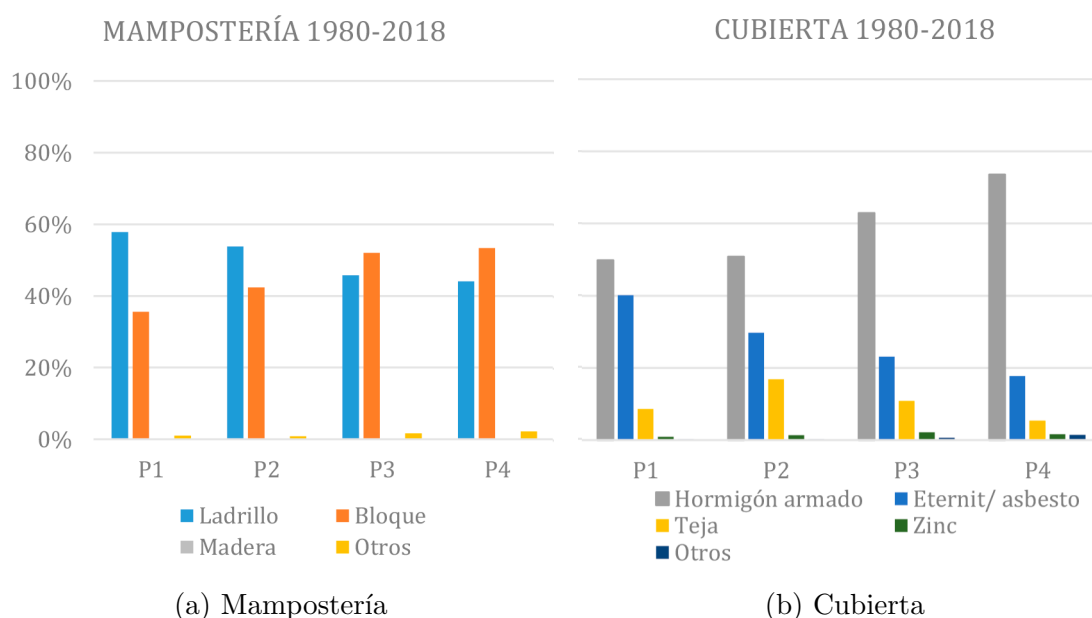


FIGURA 3.6: Materiales empleados en los elementos de envolvente mampostería y cubierta, a nivel regional desde 1980 hasta 2018.

De acuerdo a este análisis, se ha podido determinar que, en mampostería, en un inicio predominaba el uso del ladrillo junto al mortero empleado para las juntas, es decir, en los dos primeros periodos se empleaban sistemas constructivos para mampostería más pesados. Mientras que, en el periodo 3 y 4 se emplea un sistema constructivo más liviano, compuesto por bloque y mortero para junta. En cuanto a la cubierta, el sistema predominante en todos los periodos ha sido la cubierta pesada de hormigón, la cual posee un constante incremento a lo largo de los años. A su vez el uso de asbesto se ha ido disminuyendo paulatinamente. El uso de teja y zinc ha tenido variaciones a lo largo de los periodos analizados, sin embargo, su uso ha sido menor que el hormigón armado y asbesto en todos los periodos. En este nivel, la tendencia en los sistemas constructivos de mampostería, es similar a la presentada a nivel nacional, ya que se ha pasado de utilizar materiales pesados a materiales más livianos. Sin embargo, en cubierta la tendencia del uso de materiales pesados ha sido constante.

Acabados

Dentro de la componente de Acabados, será analizada la variación de materiales empleados en acabados para pisos desde 1980 hasta 2010. De acuerdo a lo mencionado, en el primer periodo, se ha evidenciado un uso predominante del entablado o parquet, el mismo que se ha mantenido constante hasta el periodo 2, sin embargo, para el periodo 3, se muestra un decremento del 36 % en su uso. A su vez, se genera un incremento en el uso de materiales como ladrillo o cemento y baldosa o vinil, los mismos que muestran un constante incremento a lo largo de los periodos analizados. A más de ello, a partir del periodo 3, se insertan otros materiales, como el piso flotante, el cual, para ese periodo, ya posee un porcentaje de uso del 23 %. Otros materiales de origen natural como la tierra y la caña, muestran un constante decremento en su uso, ya que han sido reemplazados por materiales industrializados (Figura 3.7).

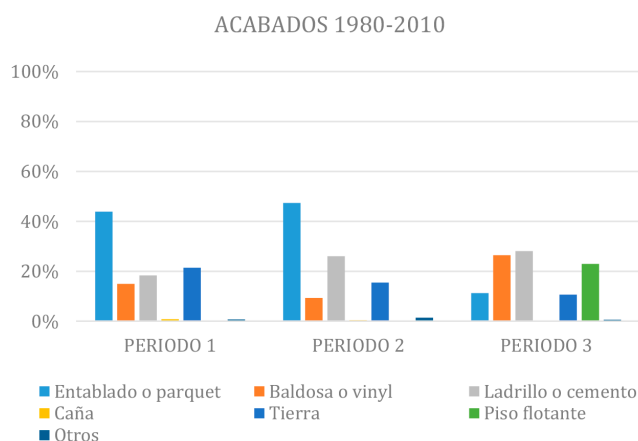


FIGURA 3.7: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo de 1980-2010, a nivel regional.

Similar a lo sucedido a nivel de país, en la Región Sierra, las importaciones de materiales de construcción presentan un incremento constante en el último periodo de análisis (2010-2018). Por este motivo, es posible determinar que cada vez los materiales empleados en los acabados de las viviendas poseen una mayor variedad, para toda condición económica y social.

3.5. Sistemas Constructivos en la Provincia del Azuay

Estructura

A lo largo de los periodos de análisis los materiales empleados en la componente de Estructura, a nivel provincial, dentro de cimentación, ha predominado el uso de hormigón armado y hormigón ciclópeo. En los periodos 1 y 2, se presenta una predominancia del 70 % en el uso del hormigón ciclópeo sobre el uso de hormigón armado. Sin embargo, para el periodo 3, se incrementa el uso de hormigón armado, y ya para el periodo 4, el uso de hormigón armado supera al hormigón ciclópeo (Figura 3.8a). En cuanto a la estructura de las viviendas, los materiales más usados han sido el hormigón armado y el metal. El uso del hormigón en estos elementos constructivos se ha mantenido entre el 85 % y 90 % del total de permisos emitidos, a lo largo de los periodos analizados. Mientras que la estructura metálica ha tenido variaciones, las cuales muestran que su uso, en el primer periodo es mayor, en relación al segundo periodo, sin embargo, a partir del periodo 3 se comienza a incrementar su uso y esta tendencia continua en el periodo 4 (Figura 3.8b).

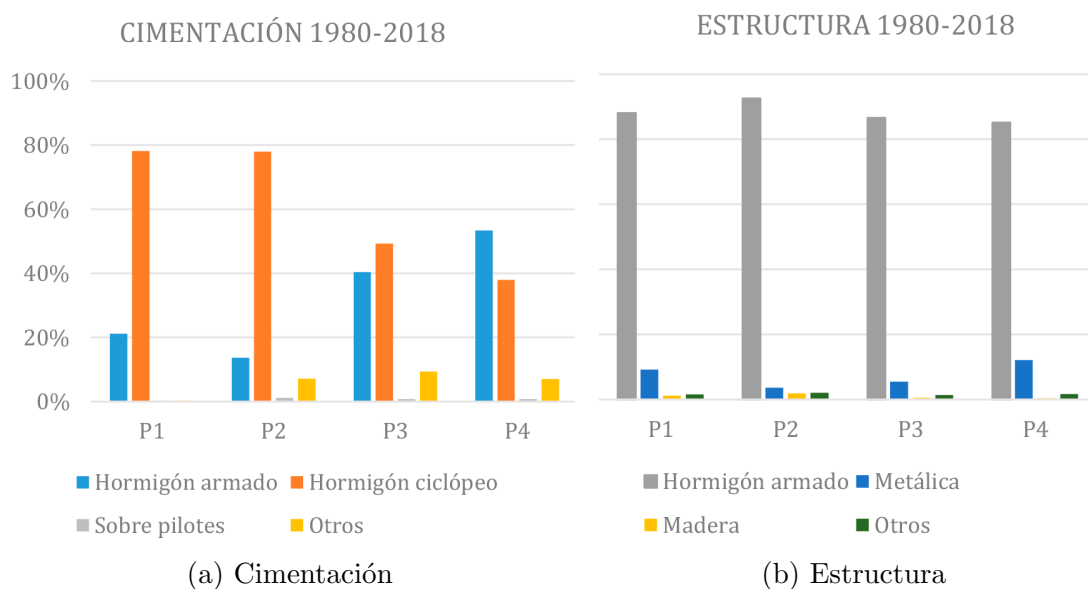


FIGURA 3.8: Materiales empleados en los elementos estructurales cimentación y estructura, a nivel provincial, desde 1980 hasta 2018.

De acuerdo a lo mencionado, es posible determinar que, en la cimentación, el sistema constructivo predominante en la actualidad, es el que emplea hormigón armado. Sistemas relacionados a la construcción de zapatas, ya sean continuas o aisladas. La principal variación dada en la cimentación ha sido el cambio de la mampostería corrida de piedra que emplea hormigón ciclópeo, por las zapatas de hormigón armado. En este caso el cambio se genera de manera paulatina, a diferencia de a nivel nacional y regional, en donde el cambio se presenta más bruscamente. En relación a la estructura, el sistema constructivo más empleado a lo largo de los periodos analizados, han sido los pórticos de hormigón armado, sin embargo, existe un ligero incremento en el uso de la estructura metálica y un

detrimento casi total en el uso de la madera. Similar a la situación evidenciada, tanto en el Ecuador como en la Región Sierra.

Envolvente

Los materiales predominantes en la componente de Envolvente, en el caso de mampostería, en las últimas cuatro décadas, han sido el ladrillo y el bloque. En todos los periodos, el uso del ladrillo es superior al bloque, sin embargo, se evidencia que existe una tendencia en el incremento del uso de materiales livianos, mientras que el uso de materiales más pesados presenta una constante disminución (Figura 3.9a). En cuanto a la cubierta de las viviendas, los materiales predominantes han sido el hormigón armado, asbesto teja y zinc. En este elemento constructivo, en todos los periodos de análisis, se ha mantenido como predominante el uso de asbesto. El segundo material más usado ha sido la teja. Es posible que la incidencia de la teja no sea mayor, debido a que en la actualidad es empleada como acabado, colocado sobre el asbesto, que sería el sistema constructivo principal. A más de ello, se evidencia que el uso de hormigón armado, posee un constante incremento a lo largo de los periodos, sin embargo, a diferencia de a nivel nacional y regional, este material no representa mayor incidencia en su uso (Figura 3.9b).

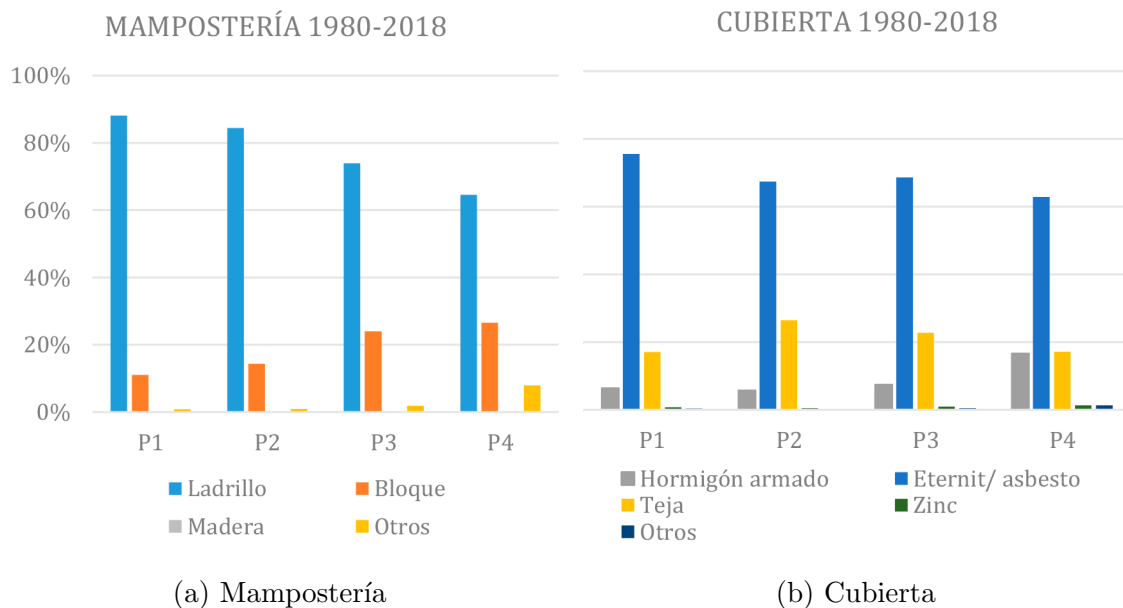


FIGURA 3.9: Materiales empleados en los elementos de envolvente mampostería y cubierta, a nivel provincial desde 1980 hasta 2018.

De acuerdo a este análisis, se ha podido determinar que, en mampostería, ha predominado el uso del ladrillo junto al mortero empleado para las juntas, es decir, a lo largo de todos los periodos de análisis, se han empleado sistemas constructivos para mampostería más pesados. Sin embargo, se evidencia un incremento en el uso de un sistema constructivo más liviano, compuesto por bloque y mortero para junta. Por su parte, en cubierta, dentro de la provincia, se ha preferido el uso de sistemas constructivos livianos, como el asbesto, a pesar de ello, el uso de la cubierta pesada de hormigón ha tenido un incremento desde 1980 hasta 2018. En este nivel, la tendencia en los sistemas constructivos de mampostería, difiere de la presentada a nivel nacional y regional, ya que se ha mantenido el uso del sistema constructivo con mayor peso, sin embargo, es evidente que el uso de sistemas más livianos se incrementa constantemente.

Acabados

Dentro de la componente de Acabados, será analizada la variación de materiales empleados en acabados para pisos desde 1980 hasta 2010. De acuerdo a lo mencionado, en el periodo 1 y 2, se ha evidenciado un uso predominante del entablado o parquet, sin embargo, para el periodo 3 su uso disminuye en gran parte. A su vez, se genera un incremento en el uso de materiales como ladrillo o cemento y baldosa o vinil, los mismos que muestran un constante incremento a lo largo de los periodos analizados. A más de ello, a partir del periodo 3, se insertan otros materiales, como el piso flotante, el cual, para ese periodo, ya posee un porcentaje de uso del 27%. En este periodo, el uso del piso flotante presenta el mayor porcentaje, en relación a los demás materiales. Otros materiales de origen natural como la tierra y la caña, muestran un constante decremento en su uso, ya que han sido reemplazados por materiales industrializados (Figura 3.10).

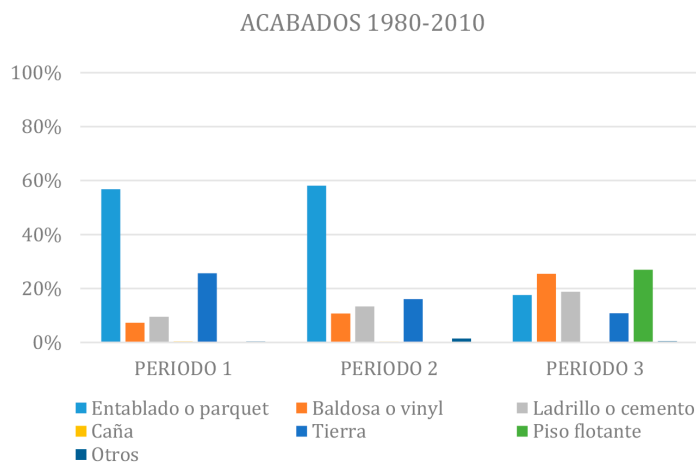


FIGURA 3.10: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo de 1980-2010, a nivel provincial.

De acuerdo a lo mencionado, se muestra que los materiales de origen natural han sido reemplazados por otros industrializados. La misma tendencia presentada a nivel nacional y regional, se evidencia a nivel provincial. Esto se debe a que las importaciones de materiales de construcción presentan un incremento constante en el último periodo de análisis (2010-2018). Por este motivo, es posible determinar que cada vez los materiales empleados en los acabados de las viviendas poseen una mayor variedad, para toda condición económica y social.

3.6. Cambio de Sistemas Constructivos

A partir de este análisis de variación del uso de materiales en las viviendas tanto a nivel nacional, como regional y provincial, se ha establecido un sistema constructivo para cada periodo de análisis, los mismos que serán descritos a continuación.

3.6.1. Ecuador y Región Sierra

A nivel nacional y regional, los sistemas constructivos tienen gran similitud, las principales variaciones generadas en los diferentes periodos son; en la cimentación la transición de hormigón ciclópeo a hormigón armado; en mampostería el reemplazo del ladrillo por el bloque, en cubierta el cambio de fibrocemento por la cubierta pesada de hormigón; y por último en acabados se da el mayor de los cambios, en cada periodo se insertan nuevos materiales usados en los pisos de las viviendas, se ha pasado de usar duelas de madera a piso flotante o materiales cerámicos. A continuación se muestran los sistemas constructivos para cada periodo analizado (Figura 3.11; Tabla 3.2).

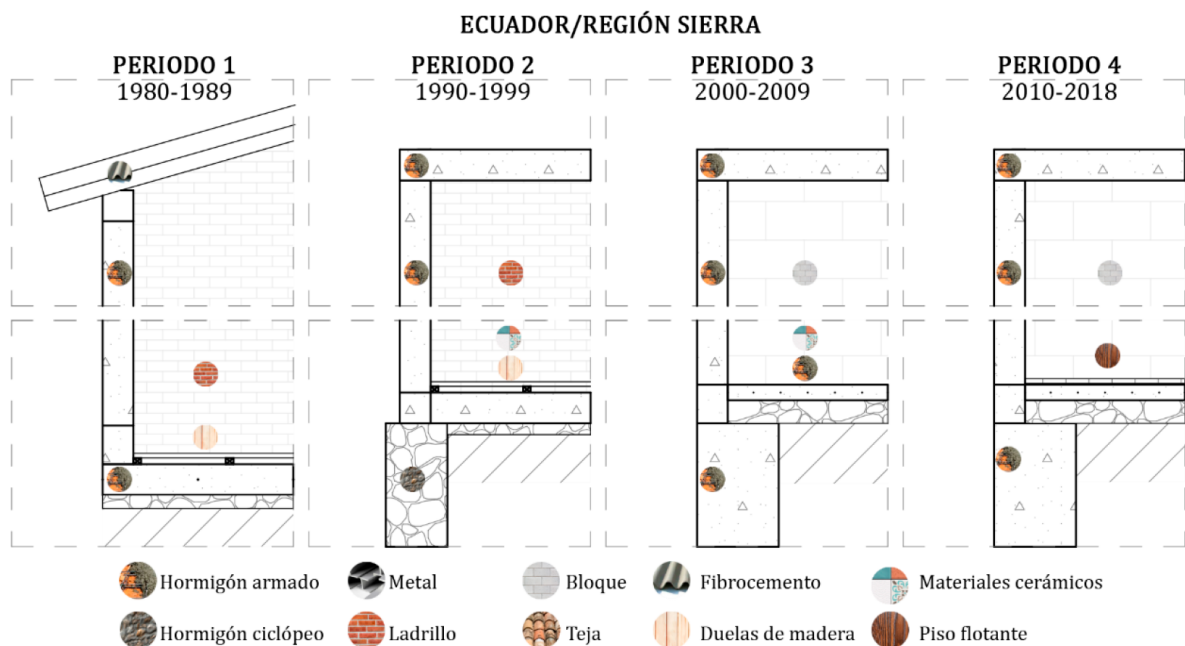


FIGURA 3.11: Secciones constructivas con sistemas constructivos predominantes de cada periodo a nivel nacional y regional.

Tabla 3.2: MATERIALES EMPLEADOS EN LOS DIFERENTES PERIODOS DE ANÁLISIS EN LAS VIENDAS DEL ECUADOR Y DE LA REGIÓN SIERRA.

	Materiales	PERIODOS ANALIZADOS			
		P1	P2	P3	P4
CIMENTACIÓN	Hormigón armado	×		×	×
	Hormigón ciclópeo		×		
ESTRUCTURA	Hormigón armado	×	×	×	×
	Metal				×
MAMPOSTERÍA	Ladrillo	×	×		
	Bloque			×	×
CUBIERTA	Fibro cemento	×			
	Hormigón armado		×	×	×
	Teja				
ACABADOS	Duelas de madera	×			
	Cerámicos		×	×	×
	Piso flotante			×	×

3.6.2. Provincia del Azuay

Por su parte en la provincia del Azuay, los sistemas constructivos han mostrado ciertas variaciones a lo largo de los periodos analizados. En cimentación se ha pasado de usar hormigón ciclópeo a hormigón armado, en estructura ha predominado el uso de hormigón armado, sin embargo, en el último periodo la tendencia muestra que la estructura metálica se está usando con mayor incidencia. En mampostería se ha mantenido el uso de ladrillo como material principal. En cubierta se muestra el uso predominante del fibrocemento. Finalmente, el uso de acabados tienden a variar entre cada periodo, en las primeras etapas las duelas de madera eran las más usadas, pero en los periodos siguientes se incrementa la variedad de acabados en pisos, por lo que, el material madera disminuye su uso. A continuación se muestran los sistemas constructivos para cada periodo analizado (Figura 3.12; Tabla 3.3).

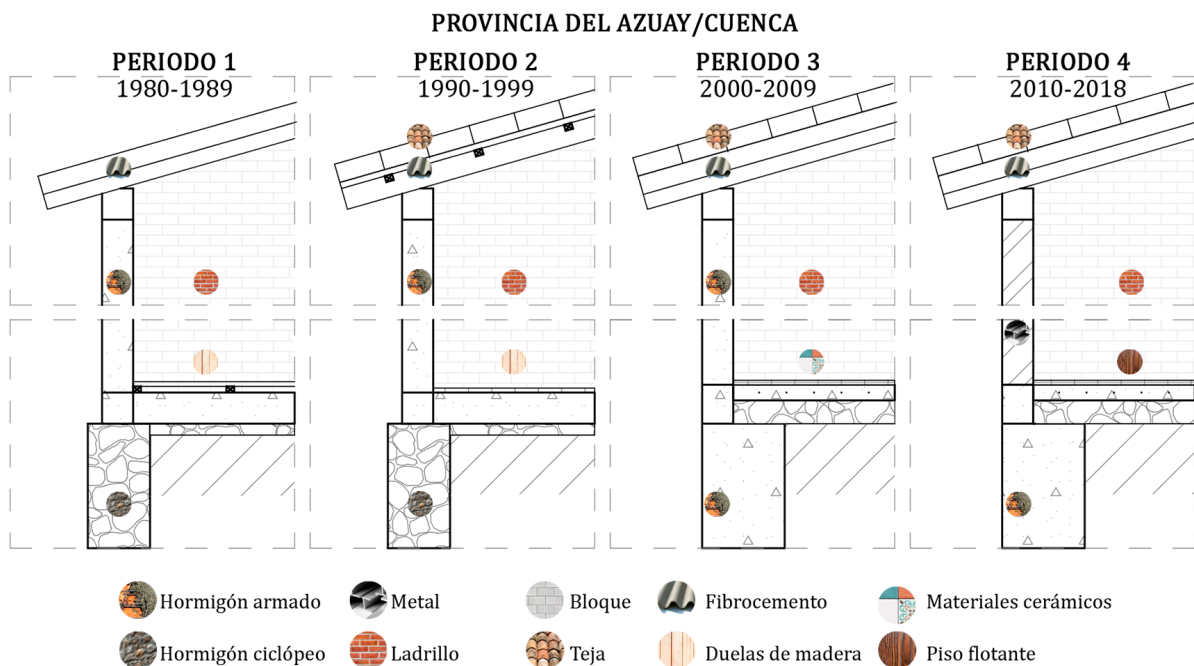


FIGURA 3.12: Secciones constructivas con sistemas constructivos predominantes de cada periodo a nivel provincial.

De acuerdo con el análisis mostrado a lo largo del capítulo, se ha podido evidenciar el cambio de los sistemas constructivos que se ha generado a nivel nacional, regional y provincial. De donde, se ha podido establecer además, los sistemas constructivos empleados en la ciudad de Cuenca, ya que representa entre el 70 % y 80 % del total de permisos emitidos en la provincia del Azuay. Además, en base a este análisis se ha podido establecer los sistemas constructivos típicos de cada época, los cuales servirán de apoyo para el análisis del siguiente capítulo, en donde, serán corroborados con muestras de vivienda de cada periodo.

Tabla 3.3: MATERIALES EMPLEADOS EN LOS DIFERENTES PERIODOS DE ANÁLISIS EN LAS VIVIENDAS DE LA PROVINCIA DEL AZUAY Y CUENCA.

	Materiales	PERIODOS ANALIZADOS			
		P1	P2	P3	P4
CIMENTACIÓN	Hormigón armado			×	×
	Hormigón ciclópeo	×	×	×	
ESTRUCTURA	Hormigón armado	×	×	×	×
	Metal				×
MAMPOSTERÍA	Ladrillo	×	×	×	×
	Bloque				
CUBIERTA	Fibro cemento	×	×	×	×
	Hormigón armado				
	Teja		×	×	×
ACABADOS	Duelas de madera	×	×		
	Cerámicos		×	×	×
	Piso flotante			×	×

3.7. Resumen del Capítulo

El consumo energético en el Ecuador con el pasar de los años se ha incrementado progresivamente, y consecuencia de esto las emisiones de gases de efecto invernadero se suman y se genera mayor contaminación. Tanto el sector de la construcción como el sector residencial tienen un alto consumo de energía y en el Ecuador la demanda de vivienda se ha incrementado en los últimos años. Por lo que, los requerimientos técnicos, de ahorro y estéticos promueven el cambio de materiales de construcción. En un inicio los procesos constructivos se daban en base al conocimiento adquirido de manera empírica, y los materiales empleados respondían a las condiciones geográficas y a la accesibilidad a cada uno de ellos.

Sin embargo, el boom petrolero y el auge económico en el país permitieron adoptar otras características externas tanto en sistemas constructivos como en el uso de materiales. En este sentido, para el año 1980, ya se evidencia que el mayor porcentaje de viviendas a construirse consideran materiales y sistemas constructivos industrializados. De manera general, existe un gran predominio del uso del hormigón, por lo que se planifica la construcción de viviendas pesadas, sin embargo, en un inicio aún se mantenían materiales de origen natural, o se edificaban viviendas que adoptaban ciertos sistemas o ciertos materiales industrializados pero mantenían otros naturales, ya sea por ahorro o por facilidad dentro de la construcción.

En este sentido, se encuentran viviendas en los primeros periodos de análisis que poseen

una cimentación y una estructura principal de hormigón, mientras que en la estructura de entrepiso y de cubierta aún se usa madera, este hecho a más de generar un ahorro económico, permite disminuir el consumo energético dentro de la vivienda. Sin embargo, con el paso de los años la planificación de las viviendas tiende a ser en su totalidad de hormigón armado y además se intensifica el uso de otros materiales que por lo general son importados al país.

A más del consumo energético que generan los propios materiales dentro de la construcción, la energía gastada en la importación de materiales incrementa de manera considerable el impacto ambiental del sector de la construcción. Lo que se ha evidenciado a lo largo de este capítulo es que los materiales en la construcción han sido reemplazados, con el fin de apresurar tiempos de construcción, también por imitar tendencias arquitectónicas. Los materiales pesados están siendo reemplazados por materiales livianos en todas las componentes de las viviendas del país. A través de estas consideraciones, se han identificado los sistemas constructivos de cada periodo, para así evaluar el impacto que genera la inserción de nuevos sistemas constructivos en la Energía Incorporada de las viviendas de la ciudad de estudio.

En este sentido, para el periodo 1 y 2 se consideran viviendas con cimentación de hormigón ciclópeo y estructura de hormigón armado, con envolvente de ladrillo y cubierta de fibrocemento o teja, ya que son los materiales predominantes en estos dos periodos. Para el periodo 3 y 4, se considera una cimentación de hormigón armado, con estructura del mismo material en el primer caso y estructura metálica en el segundo, con envolvente de ladrillo y cubierta de fibrocemento y teja. Estos sistemas serán evaluados a través de la consideración de cuatro viviendas que respondan al uso de estos materiales, construidas en cada uno de los periodos establecidos. Es necesario aclarar que los datos estadísticos recolectados especifican materiales o sistemas constructivos de manera general, por el propio hecho de ser datos globales de una población. Por lo cual, en el siguiente capítulo se hará un análisis experimental y profundizado de los materiales utilizados en viviendas de los diferentes periodos.

capítulo 4

**Sistemas Constructivos en la Ciudad de
Cuenca**

En este capítulo se analizará el incremento o decremento de Energía Incorporada de los diferentes sistemas constructivos utilizados en las últimas décadas en la ciudad de Cuenca, para lo cual, se han tomado como referencia los cuatro periodos analizados en el capítulo anterior. El primero desde 1980-1989, el segundo de 1990-1999, el tercero de 2000-2009 y finalmente, el cuarto de 2010-2018. Para cada periodo se ha escogido una vivienda, con un sistema constructivo que coincida con las estadísticas revisadas en el capítulo previo, en donde se estipula los diferentes sistemas constructivos de cada periodo. De cada una de las viviendas se han clasificados los elementos constructivos en tres componentes: Estructura, Envolverte y Acabados.

Dentro de cada componente se han obtenido las cantidades de obra de los materiales empleados en la vivienda, con su respectivo peso. (Anexo 2.1) Los valores establecidos de Energía Incorporada por unidad de peso de cada material (MJ/Kg), se han tomado de (Alvear & Palomeque, 2017; Berge, 2009; Diaz, 2014; Quispe, 2016; Solís, 2010). Las especificaciones se muestran en el (Anexo 2.2). El parámetro de referencia en esta etapa de evaluación de materiales fue la Energía Incorporada total de cada una de las viviendas. Para lo cual se calculó la Energía Incorporada total de cada uno de los materiales, los cuales están en función de las variables del peso del material (Kg) y la Energía Incorporada por unidad de peso del material (MJ/Kg), de acuerdo a EQ 4.1.

$$\text{Energía Incorporada total (MJ)} = \text{Peso del material (kg)} * EI \text{ del material (MJ/kg)} \quad (4.1)$$

Por último, dado que las viviendas son de diferente tamaño, la Energía Incorporada total ha sido dividida para la superficie de construcción de cada una de las viviendas, para finalmente ser expresado en energía por unidad de superficie (MJ/m^2), con lo cual se tiene un parámetro de análisis objetivo. Para el análisis de los resultados, en primer lugar, se discutirá los resultados de cada uno de los periodos de manera independiente. En una segunda parte se establecerá una comparación entre los componentes Estructura, Envolverte y Acabados. Finalmente, se hablará de la variación de Energía Incorporada a lo largo de los periodos de análisis.

Además, dentro del análisis comparativo entre los componentes, se desglosarán los sistemas constructivos empleados a lo largo de los periodos de análisis con su requerimiento de energía, expresado en MJ/m^2 . Para el análisis de Energía Incorporada se ha considerado únicamente la vivienda edificada y se ha exceptuado las áreas exteriores. Una vez concluido este análisis se establecerá un índice de materiales clasificados por componentes, este índice será de utilidad para futuras investigaciones e incluso para generar una construcción más amigable con el medio ambiente en la ciudad de Cuenca. A continuación, se detallan las viviendas analizadas dentro de cada periodo, además se exponen los materiales empleados dentro de cada componente de estudio.

Descripción Vivienda Periodo 1

Para el primer periodo se ha tomado una vivienda construida en el año 1980, la cual está compuesta por dos plantas, su área de construcción es de $346.5 m^2$. La vivienda posee una cimentación de hormigón ciclópeo, sobre esta se asientan vigas y columnas de hormigón armado. En las dos plantas no existe losa, en su defecto, existe un entramado de madera y sobre este se asienta un enduelado del mismo material. La mampostería es de ladrillo panelón y como recubrimiento se ha empleado enlucido con mortero, tanto en interiores como en exteriores. Estos elementos de envoltivo junto a los de estructura, se convierten en los más pesados de la vivienda. El bloque de pómez ha sido colocado en el remate con la cubierta, la misma que posee una estructura de madera y planchas de fibrocemento como recubrimiento. En cuanto a acabados, en pisos se ha empleado en la mayor parte madera, en ventanería, puertas y pasamanos los materiales más empleados son el hierro y la madera. En muros el enlucido y la pintura y en el cielo raso tableros de madera contrachapada (Figura 4.1).

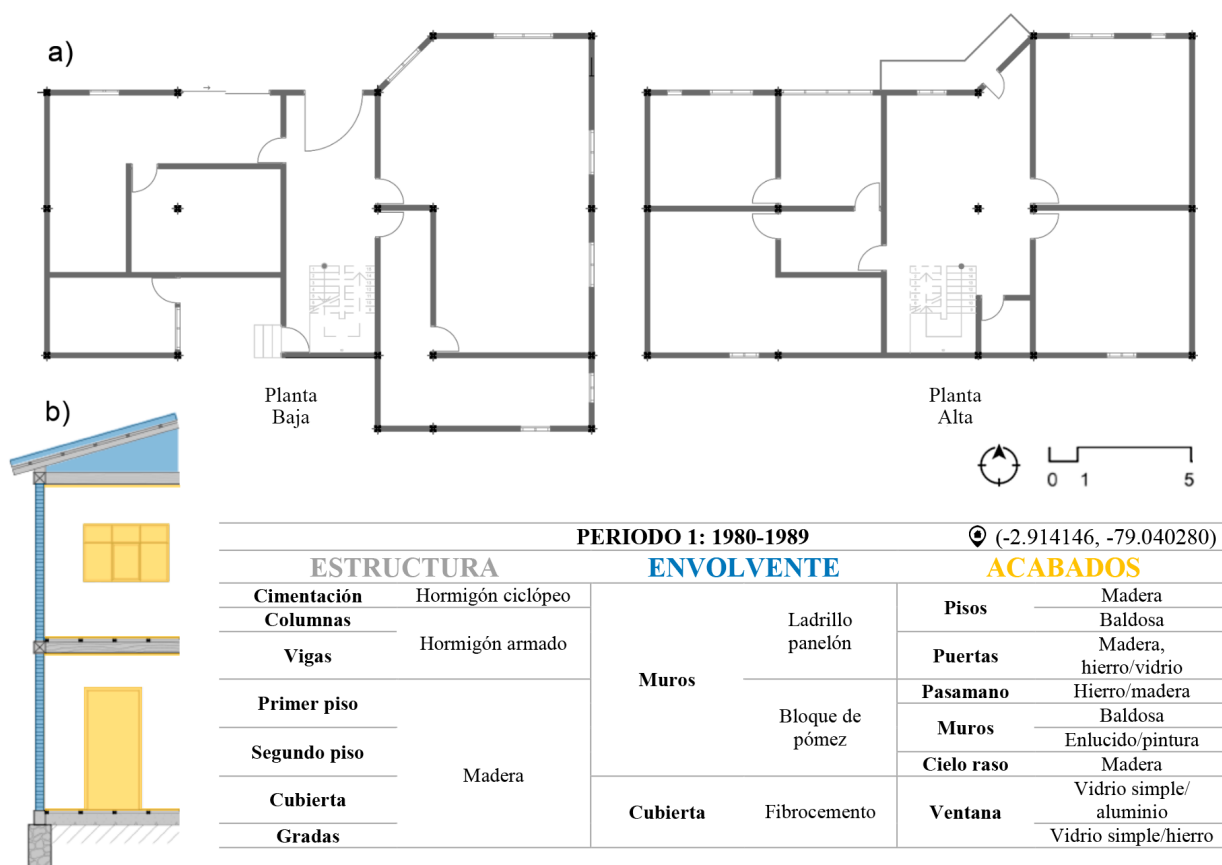


FIGURA 4.1: a) Plantas arquitectónicas. b) Sección constructiva y clasificación de materiales en cada una de las componentes de análisis del periodo 1.

Descripción Vivienda Periodo 2

La vivienda del segundo periodo de análisis (1990-1999), fue construida en el año de 1996, está compuesta por dos plantas y una buhardilla, su área de construcción es de 466.88 m^2 . La vivienda posee cimentación de hormigón ciclópeo, sus columnas y losa de planta baja son de hormigón armado, al igual que las vigas de planta baja. La estructura de entrepiso y cubierta está compuesta de madera. En cuanto a envoltente, el material empleado es el ladrillo panelón. En este periodo se inserta mayor variedad de acabados. En la cubierta se emplea teja para su recubrimiento, además se inserta el uso de cubierta vidriada con estructura de acero. En acabados, en cuanto a pisos, a más de madera se emplea cerámica y alfombra, la ventanería en su totalidad es de aluminio y vidrio, las puertas de madera prefabricada, en pasamanos se emplea madera, en muros se adiciona enlucido, empaste y pintura, y en cielo raso se inserta el estuco con empaste (Figura 4.2).

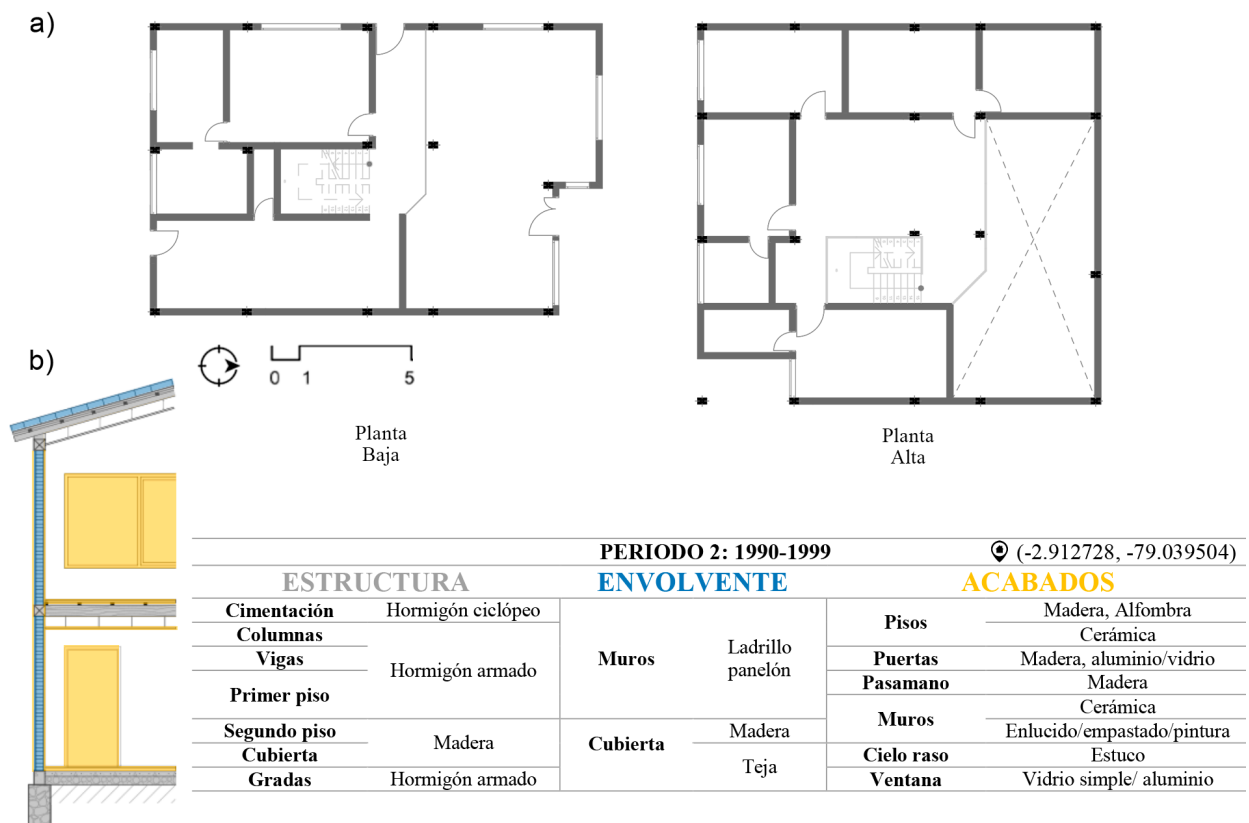


FIGURA 4.2: a) Plantas arquitectónicas. b) Sección constructiva y clasificación de materiales en cada una de las componentes de análisis del periodo 2.

Descripción Vivienda Periodo 3

La vivienda del tercer periodo de análisis (2000-2009), fue construida en el año 2008, la misma que está compuesta por dos plantas, su área de construcción es de 220.20 m². Esta vivienda emplea en cimentación y estructura hormigón armado, y en la estructura de cubierta acero estructural. Tanto en planta baja como en planta alta posee losa de hormigón armado. En este periodo el peso del hormigón aumenta, debido a que es empleado en casi toda la estructura de la vivienda. Su envolvente está compuesta de ladrillo panelón, cubierto de mortero y empaste en interiores, y en exteriores se emplea ladrillo visto. En la cubierta posee fibrocemento y sobre esta teja. En acabados, en cuanto a pisos, se emplea piso flotante, porcelanato, cerámica y alfombra, la ventanería y puertas son de aluminio/vidrio y madera prefabricada, los pasamanos son de acero inoxidable y el cielo raso está compuesto de estuco con empaste (Figura 4.3).

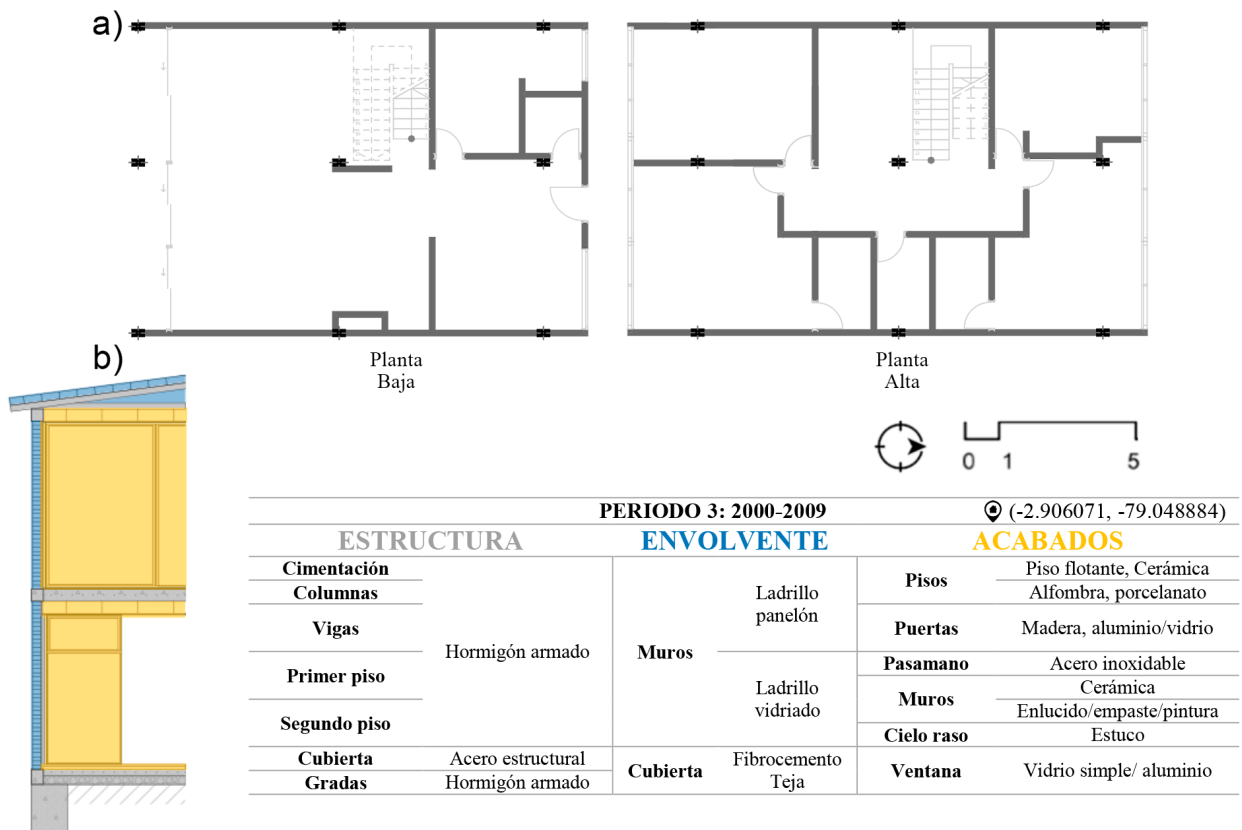


FIGURA 4.3: a) Plantas arquitectónicas. b) Sección constructiva y clasificación de materiales en cada una de las componentes de análisis del periodo 3.

Descripción Vivienda Periodo 4

La vivienda del periodo 4 (2010-2018), fue construida en el año 2018, la misma que está compuesta por dos plantas, su área de construcción es de $225.11 m^2$. Esta vivienda posee una cimentación de hormigón armado y su estructura es de acero, este material disminuye el gran peso de elementos de hormigón. En planta baja existe losa de hormigón armado y en planta alta losa con placa colaborante. Su envolvente está compuesta en paredes exteriores por ladrillo panelón y en paredes interiores por ladrillo tochana, además emplea muro de piedra en un espacio de la vivienda. En la cubierta posee fibrocemento y sobre este teja. En este periodo, tanto en estructura como en envolvente se insertan nuevos materiales que disminuyen el peso en estas dos componentes. En cuanto a acabados, en pisos se usan tres tipos de materiales: piso flotante, porcelanato y hormigón pulido, en ventanas en la mayoría de ellas se emplea madera/vidrio templado, y en menor cantidad aluminio/vidrio templado, en puertas se usa madera natural, en pasamanos se usa vidrio templado. En cuanto a muros, se emplea enlucido, empaste y pintura, y el cielo raso se compone de yeso cartón con empaste (Figura 4.4).

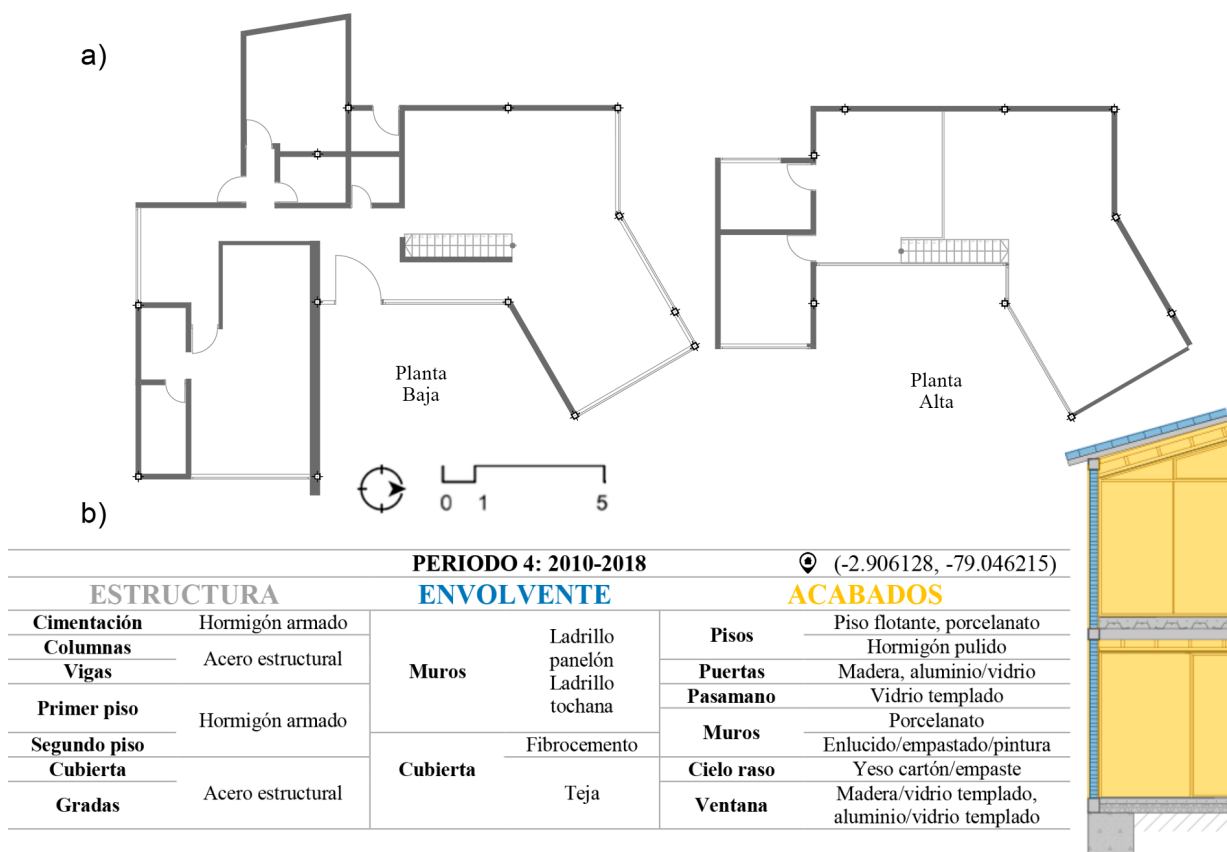


FIGURA 4.4: a) Plantas arquitectónicas. b) Sección constructiva y clasificación de materiales en cada una de las componentes de análisis del periodo 4.

4.1. Resultados Análisis Periodo 1 (1980-1989)

La vivienda está orientada en sentido norte-sur, su fachada principal está ubicada hacia el norte, en donde se ubica el acceso a la vivienda, como se observa en la Figura 4.5, los materiales predominantes en fachada son el enlucido de cemento, ventanas de hierro/vidrio y la cubierta de fibrocemento.



FIGURA 4.5: Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 1

De acuerdo al análisis realizado, los resultados obtenidos en este periodo muestran que, (Figura 4.6), la Energía Incorporada (EI) destinada para las 3 componentes constructivas en que se ha dividido la vivienda son bastante similares. La componente de Estructura tiene una EI de 538 MJ/m^2 , la Envoltente 534 MJ/m^2 y los Acabados una Energía Incorporada de 526 MJ/m^2 . Aunque los resultados de las 3 componentes son semejantes, se puede hacer relevancia a la pequeña predominancia de la Estructura y la Envoltente, lo que denota el impacto del uso de materiales pesados en los sistemas constructivos de este periodo.

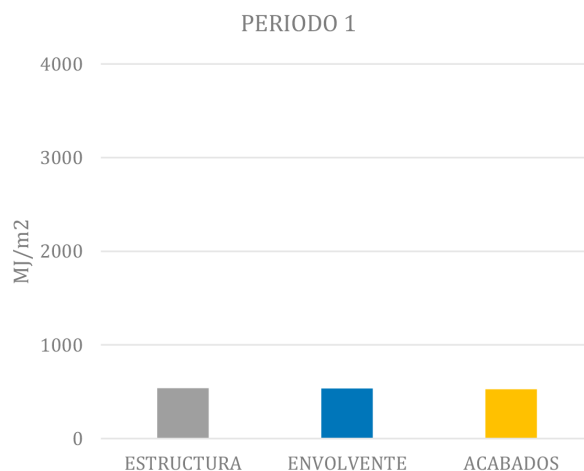


FIGURA 4.6: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del primer periodo de análisis (1980-1989), clasificado por componentes: Estructura, Envoltente y Acabados

A continuación, serán analizados cada uno de estos componentes del periodo 1, con los materiales empleados.

Estructura

La estructura de la vivienda del periodo 1, está conformada en cimentación por hormigón ciclópeo, en columnas y en vigas de planta baja se emplea hormigón armado y en demás elementos estructurales se usa madera natural. Dentro de la componente de Estructura, el elemento que mayor porcentaje de *EI* representa es el entrepiso de madera con 32%, como se observa en la Figura 4.7.



FIGURA 4.7: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 1.

La cantidad de material empleada en este elemento (60000 *MJ*) es mayor a la requerida en los demás sistemas, ya que este cubre un área mayor dentro de la vivienda. Luego de este elemento, la cimentación de hormigón ciclópeo con 42280 *MJ* y la estructura para cubierta con 35259 *MJ*, son los elementos más representativos en la *EI* total de la componente de Estructura. Mientras que, el elemento con menor porcentaje dentro de la componente Estructura es la grada de madera, la misma que posee una *EI* de 1344 *MJ*, lo que representa el 1% del valor total de la componente. Para comprender el impacto de estos elementos constructivos en el valor total, es necesario considerar el análisis de las dos variables expuestas previamente: el peso y la energía por unidad de peso de cada material.

En este caso los materiales empleados dentro de la componente Estructura son hormigón, piedra, hierro y madera. En cuanto a la energía por unidad de peso, Figura 4.8a, el valor más alto lo posee el hierro con 35 MJ/kg , en segundo lugar la madera con 5 MJ/kg , y con valores mínimos, los que menos EI tienen son el hormigón y la piedra. En referencia al peso total, Figura 4.8b, en este caso el material con mayor valor es el hormigón con 75000 kg , lo sigue la piedra y en tercer lugar la madera, mientras que el hierro con un valor mínimo es el que menos representa.

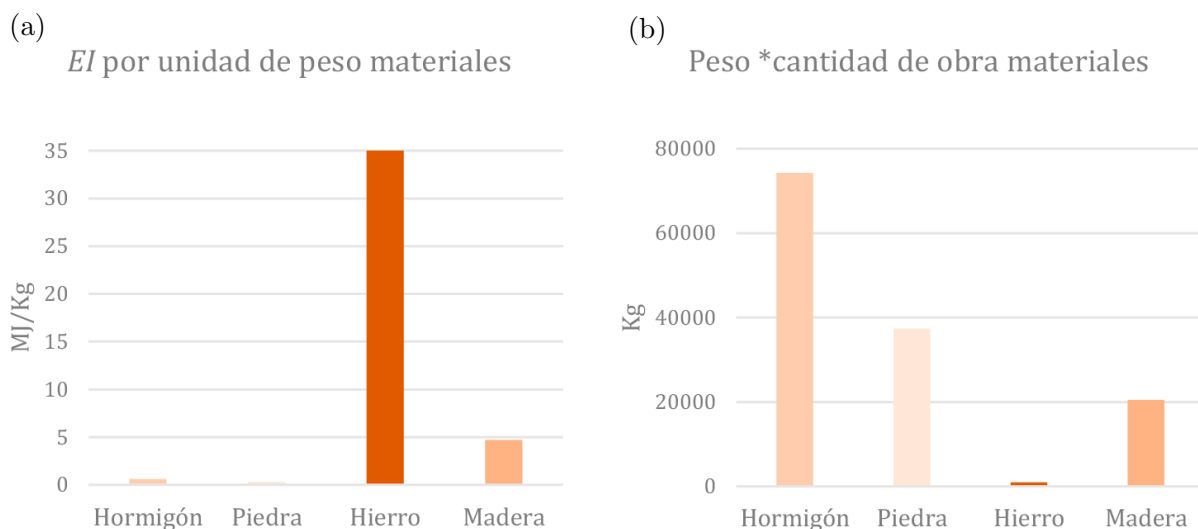


FIGURA 4.8: (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 1.

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el hierro tenga la mayor EI por unidad de peso, dado que su peso es mínimo, su impacto en la EI total no es el más alto. En cambio en el caso de la madera, dado que su EI por unidad de peso es el segundo más representativo de los cuatro analizados, sumado a su peso, resulta en el material con mayor impacto en el valor total de la EI de la componente de Estructura. En este sentido, dentro de la componente Estructura, el material con mayor incidencia de EI es la madera, la misma que representa un 52 %, seguido el hormigón con un 24 %, el hierro 18 % y finalmente la piedra que representa un 6 % (Figura 4.9).

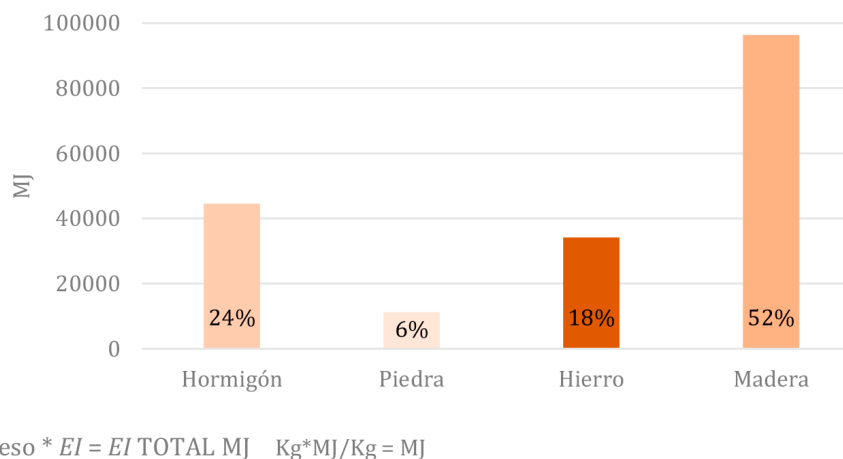


FIGURA 4.9: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 1.

Envolvente

El segundo componente analizado corresponde a la Envlovente de la vivienda, la misma que está compuesta por ladrillo panelón en la mampostería de planta baja y planta alta. Además se ha empleado bloque para el remate con la cubierta. Dentro de esta componente, en cubierta se emplea fibrocemento como recubrimiento final de la vivienda. El elemento que mayor porcentaje representa es la mampostería de ladrillo panelón, la misma que compone la mayor parte de paredes edificadas. En cuanto al porcentaje de *EI* correspondiente a mampostería, se evidencia en la Figura 4.10, que este corresponde al 79 % del total de la componente Envlovente. Por su parte, en cubierta, el fibrocemento representa un 19 %, es decir aproximadamente la cuarta parte de lo que representa la envolvente vertical, dado que es una vivienda de dos plantas.

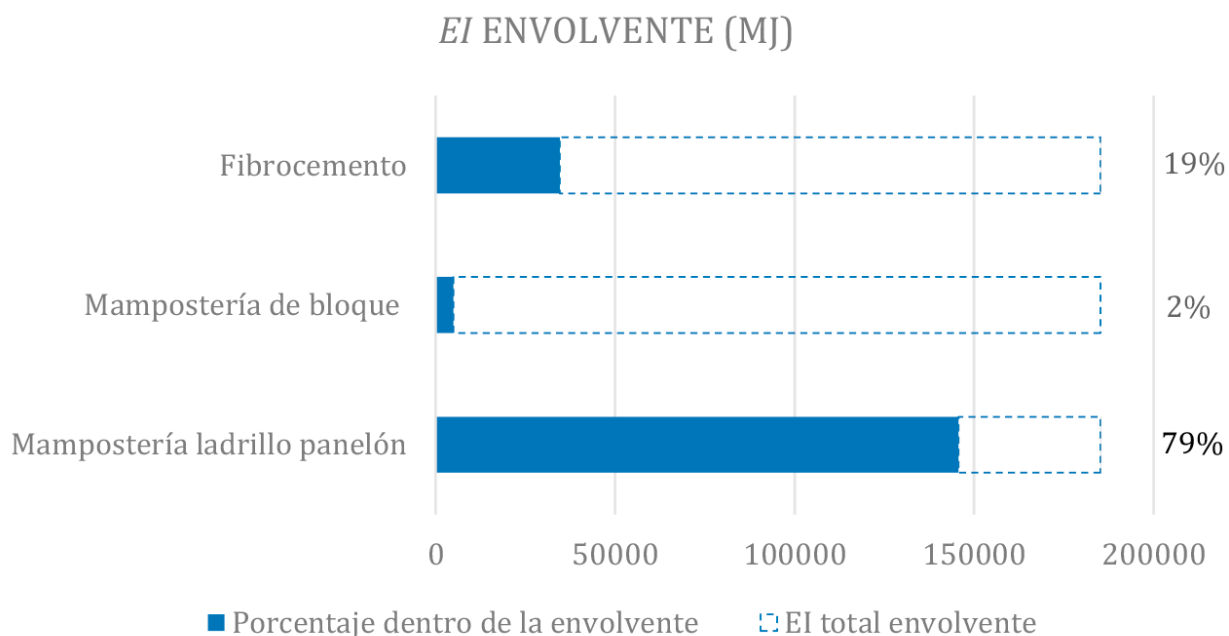


FIGURA 4.10: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envlovente de la vivienda del periodo 1.

En cuanto al análisis de las variables de Peso y Energía Incorporada por unidad de peso de cada material, dentro de esta componente los materiales que se han utilizado han sido el fibrocemento, el bloque, el ladrillo y el mortero de cemento. Este último que sirve como pegante para las mamposterías. En la Figura 4.11, se muestra que el material con mayor *EI* por cada *kg* es el fibrocemento con 9 MJ/kg , y el que menor energía tiene es el ladrillo 1.33 MJ/kg . No obstante, al analizar la variable de peso, se puede notar que el ladrillo es el material que más peso tiene con 80000 kg , le sigue el mortero de cemento con 60000 kg , en tercer lugar el fibrocemento con 35000 kg , y el bloque de pómez con 4000 kg .

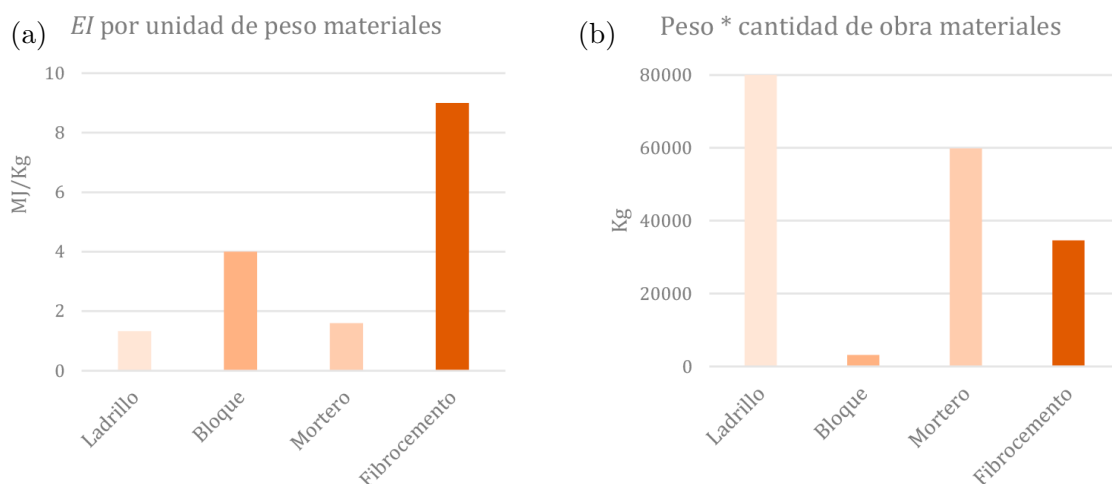
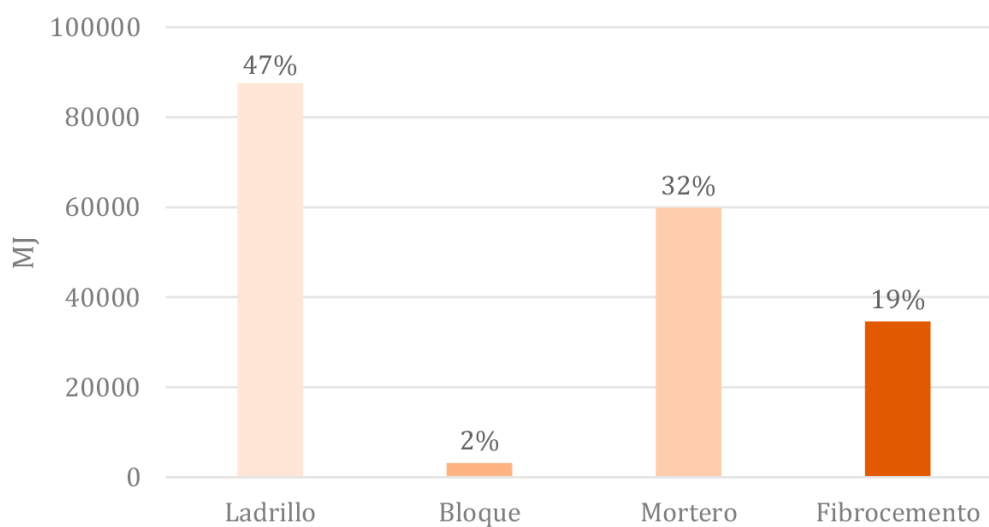


FIGURA 4.11: (a) *EI* por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envolverte de vivienda del periodo 1.

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el ladrillo y el mortero de cemento tienen la menor Energía Incorporada por unidad de peso, debido al alto peso que representan en este tipo de construcción resultan en los materiales con mayor representatividad en la *EI* total en la componente de Envolverte. El ladrillo (47%) y el mortero (32%), seguido el fibrocemento (19%) y el bloque (2%) (Figura 4.12).



$$\text{Peso} * EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{Kg} * \text{MJ/Kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.12: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolverte de la vivienda del periodo 1.

Acabados

El tercer componente analizado dentro de la vivienda son los acabados, los mismos que se dividen en acabados en pisos, ventanería, puertas, pasamanos, muros y cielo raso, los cuales se muestran en la Figura 4.13. En un análisis general de la componente de Acabados, el elemento que mayor porcentaje representa es la ventanería de aluminio y vidrio con 27 %, seguido del enlucido y pasamanos de hierro con 16 %, y en un tercer lugar la baldosa con 13 %. Dentro de acabados en pisos, se ha calculado la *EI* de enduelado de madera y baldosa, los cuales representan el 4 % y 13 % respectivamente del total de la componente de Acabados.

En cuanto a ventanería se han encontrado dos sistemas, el primero está compuesto por perfilera de aluminio con vidrio, el cual representa el 27 % dentro del componente. Y el segundo conformado de perfilera de hierro con vidrio, que representa el 7 %. En puertas se han empleado dos tipos, la puerta de acceso a la vivienda está compuesta por hierro y vidrio, mientras que las puertas internas de la vivienda son de madera natural, en conjunto representan un 3 % de la *EI* dentro de la vivienda. De igual manera en pasamanos se ha empleado hierro y madera, de los cuales el pasamano de hierro representa un 16 %, mientras que el pasamano de madera posee un porcentaje de 0,4 %. En acabados en muros, se ha empleado mortero para enlucido, pintura y baldosa, de los cuales el enlucido es el que mayor incidencia posee con un 16 %, a diferencia de la pintura y la baldosa que representan el 1 % y 7 % respectivamente. Finalmente, el acabado del cielo raso está compuesto por tableros de madera contrachapada, elemento que representa un 5 % del total de *EI* dentro de la componente de Acabados.

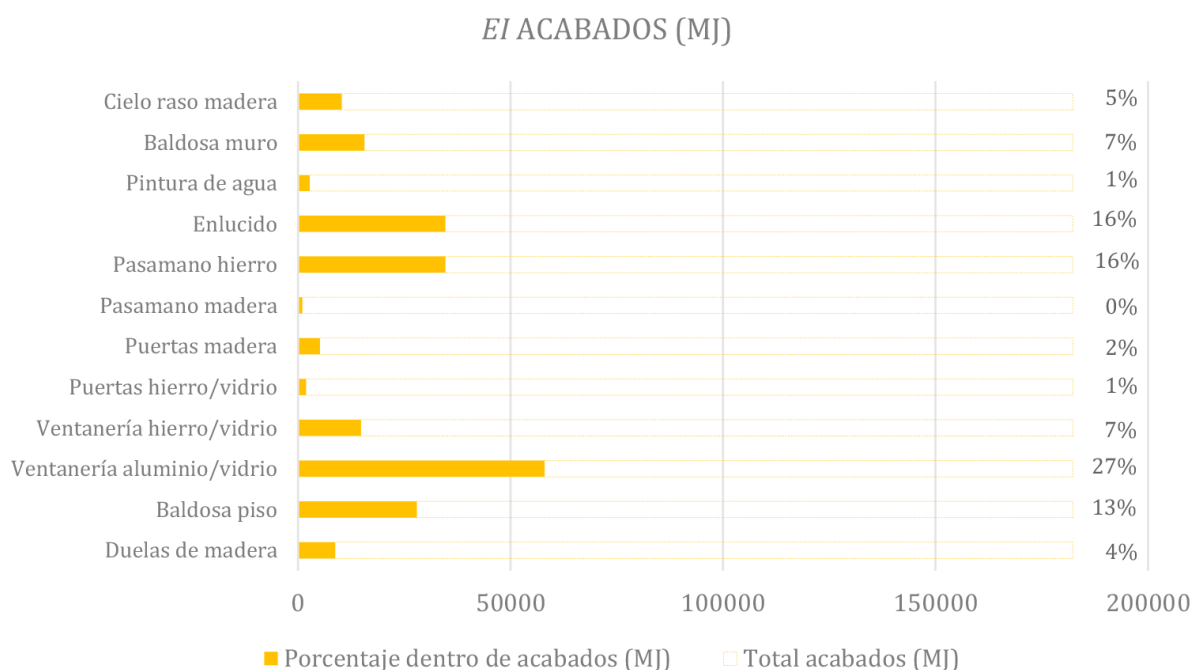


FIGURA 4.13: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 1.

A continuación, serán analizadas las variables peso y Energía Incorporada por unidad de peso. Para el desarrollo de este análisis se han desglosado los materiales empleados en cada elemento constructivo. Aquí se detallan los elementos con mayor incidencia dentro de la componente de Acabados como son las ventanerías, baldosa y el mortero (Figura 4.14). En el caso de ventanerías, como se mencionó anteriormente, existen dos tipologías, en este sentido, existe una ventana de aluminio y vidrio y las demás son de hierro y vidrio. Es evidente que el peso del aluminio es menor al peso del hierro, sin embargo, la *EI* del aluminio es 11 veces mayor a la *EI* del hierro. En el caso de los pisos, el peso por la cantidad de madera (1849 *Kg*) y baldosa (1872 *Kg*) son aproximados, sin embargo, la cantidad de madera empleada corresponde a un área de 339 m^2 , mientras que de baldosa es de 46 m^2 . El área que cubre el enduelado de madera es 7 veces mayor al área que cubre el piso de baldosa. Por lo tanto, en cuanto a pisos, el material que demanda una menor *EI* es la madera, debido al gran peso que representa la baldosa y a su vez el gran incremento de *EI* que genera. En el caso del mortero, dada su composición con cemento y áridos, se convierte en un material pesado en comparación con los demás materiales empleados en los acabados de muros.

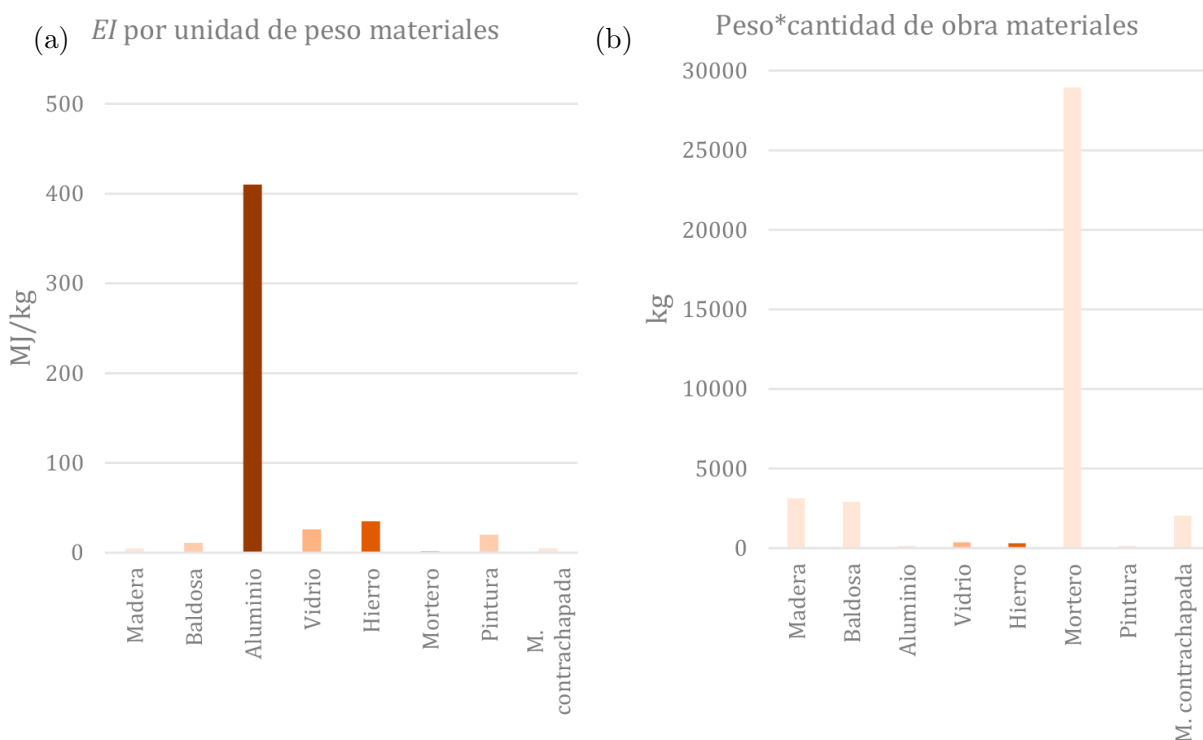
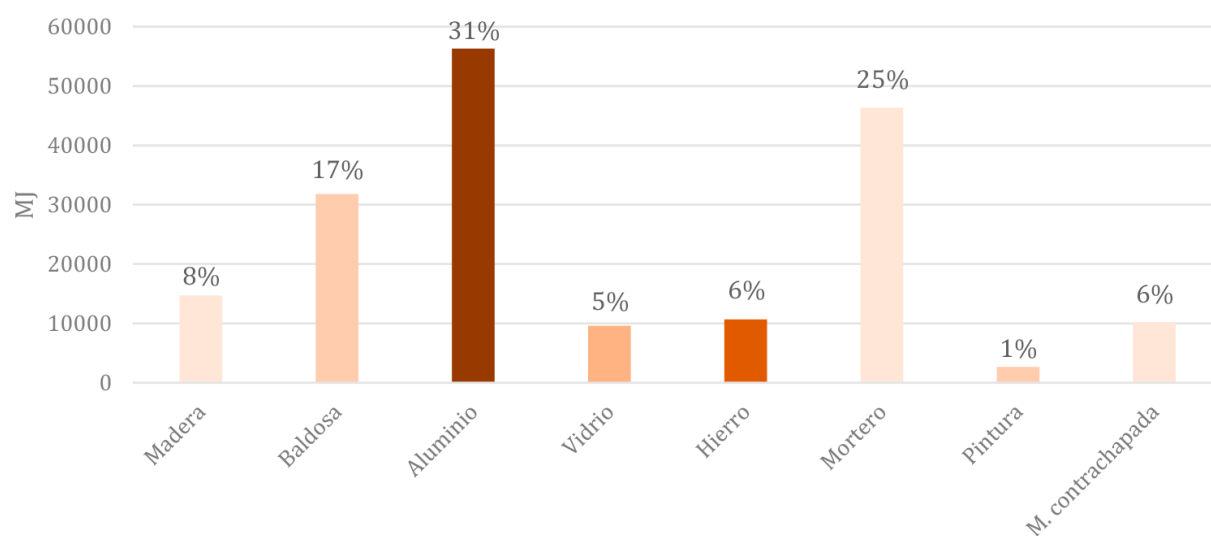


FIGURA 4.14: a) *EI* por unidad de peso. b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 1.

El material que menor relevancia presenta dentro de la componente de Acabados es la pintura, esto se debe a que su peso es de 134 *Kg*. Otro material, con peso similar, es el aluminio, el cual posee 137 *Kg* dentro de la construcción, a pesar de ello, es el material más representativo de la componente de Acabados en referencia a la *EI* total. Esto se debe a que la incidencia de la variable *EI* por unidad de peso es la más alta de todas. En consecuencia, dentro de la componente de Acabados, los materiales más representativos son el aluminio con 31 %, aun cuando su peso es mínimo, en segundo lugar, el mortero que representa el 25 % y en tercer lugar la baldosa con el 17 % de la *EI* final. Y el material con menor incidencia es la pintura con 1 % (Figura 4.15).



$\text{Peso} * EI = EI \text{ TOTAL MJ}$ $\text{Kg} * \text{MJ/Kg} = \text{MJ}$

FIGURA 4.15: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 1.

De acuerdo a los resultados obtenidos, en este periodo el aluminio es el material de mayor incidencia en la componente de Acabados, a pesar de que su uso dentro de la vivienda no es elevado, su EI por unidad de peso, repercute de manera significativa en la EI final. Además en este periodo, el mortero posee gran representatividad ya que es empleado en toda la mampostería de la vivienda como recubrimiento, tanto en interiores como en exteriores.

4.2. Resultados Análisis Periodo 2 (1990-1999)

La vivienda está orientada en sentido norte-sur, su fachada principal está ubicada hacia el norte, en donde se ubica el acceso a la vivienda, como se observa en la Figura 4.16, los materiales predominantes en fachada son el empaste, ventanas de aluminio/vidrio y la cubierta de teja, a diferencia de la vivienda del periodo anterior, los vanos de la vivienda del periodo 2 son más amplios y se observa mayor porcentaje de superficie vidriada en la fachada.



FIGURA 4.16: Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 2.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este periodo, (Figura 4.17), la Energía Incorporada destinada para la componente constructiva de Estructura posee una menor relevancia en relación con las otras dos componentes. La Estructura tiene una EI de 595 MJ/m^2 , mientras que la componente de Envoltente posee 664 MJ/m^2 . La inserción de nuevos sistemas constructivos en el recubrimiento de la cubierta genera el incremento de EI en este componente. A pesar de la diferencia entre estas dos componentes, los Acabados poseen una mayor relevancia dentro de la vivienda, valor que corresponde a una Energía Incorporada de 2155 MJ/m^2 . El incremento de la EI en la componente de Acabados se debe al uso de otros acabados en pisos y paredes, lo que resulta en que la componente de Acabados sea tres veces mayor en relación a la componente de Estructura.

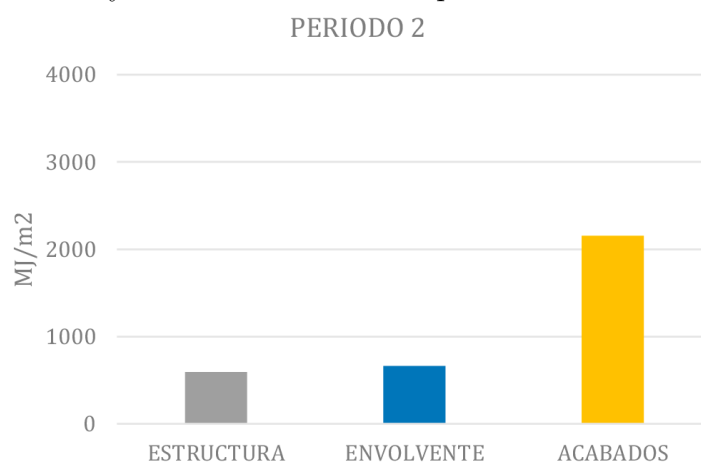


FIGURA 4.17: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del segundo periodo de análisis (1990-1999), clasificado por componentes: Estructura, Envoltente y Acabados

A continuación, serán analizados cada uno de estos componentes del periodo 2, con los materiales empleados.

Estructura

La estructura de la vivienda del periodo 2, es similar a la analizada en el periodo 1. La cimentación está compuesta de hormigón ciclópeo, vigas de planta baja y columnas están compuestas de hormigón armado y los demás elementos estructurales se conforman de madera natural, sin embargo, en este periodo se adiciona una losa de planta baja de hormigón armado. Dentro de la componente de Estructura, el elemento que mayor porcentaje de *EI* representa es la estructura de cubierta de madera con 18 %, como se observa en la Figura 4.18.

La cantidad de material empleada en este elemento (43263 *MJ*) es mayor a la requerida en los demás sistemas, ya que este cubre un área mayor dentro de la vivienda. Muy cercanos a la *EI* total de este elemento, se encuentra la cimentación de hormigón ciclópeo con 41659 *MJ*, luego el entrepiso de madera con 40401 *MJ*, y la losa de planta baja 40095 *MJ*, son los elementos más representativos en la *EI* total de la componente de Estructura. Mientras que, los elementos con menor porcentaje dentro de la componente Estructura son la grada de madera, la misma que posee una *EI* de 1344 *MJ*, junto con la grada de hormigón armado con 2570 *MJ*, las mismas que en conjunto representa el 2 % del valor total de la componente. Esto se debe a la baja cantidad de material que se requiere en estos elementos.

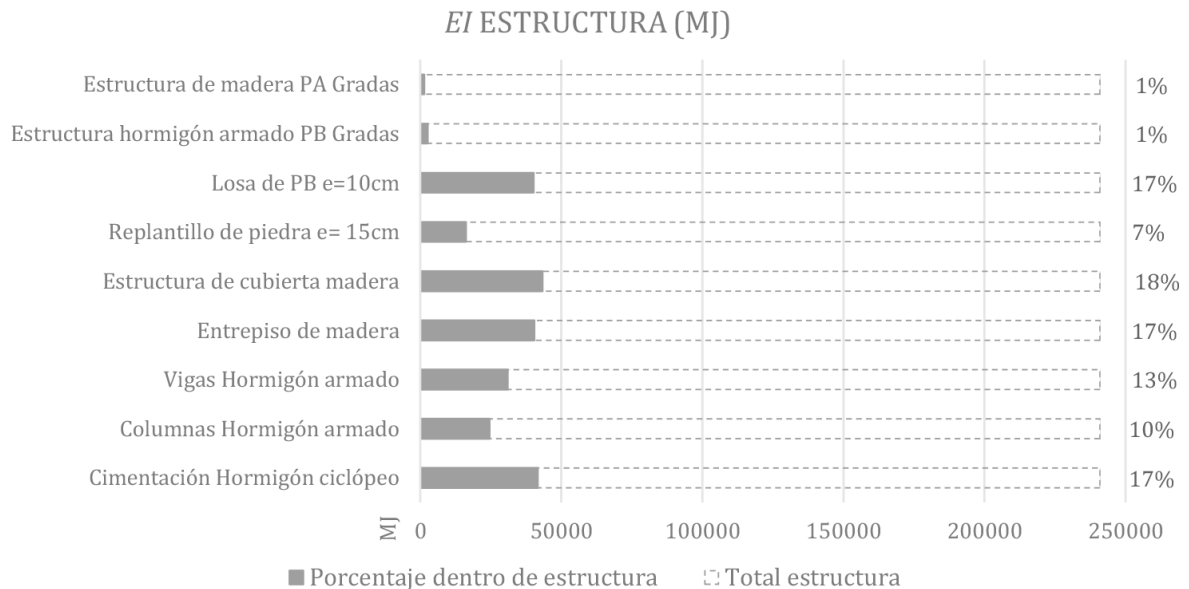


FIGURA 4.18: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 2.

Para comprender el impacto de estos elementos constructivos en el valor total, es necesario considerar el análisis de las dos variables expuestas previamente: el peso y la energía por unidad de peso de cada material. En este caso los materiales empleados dentro de la componente Estructura son hormigón, piedra, grava, hierro y madera. En cuanto a la energía por unidad de peso, Figura 4.19a, el valor más alto lo posee el hierro con 35 MJ/kg , en segundo lugar la madera con 4 MJ/kg , y con valores mínimos los que menos EI tienen son el hormigón la piedra y la grava. En referencia al peso total, Figura 4.19b, en este caso el material con mayor valor es el hormigón con 116617 kg , lo sigue la piedra y en tercer lugar la madera, mientras que el hierro con un valor mínimo es el que menos representa.

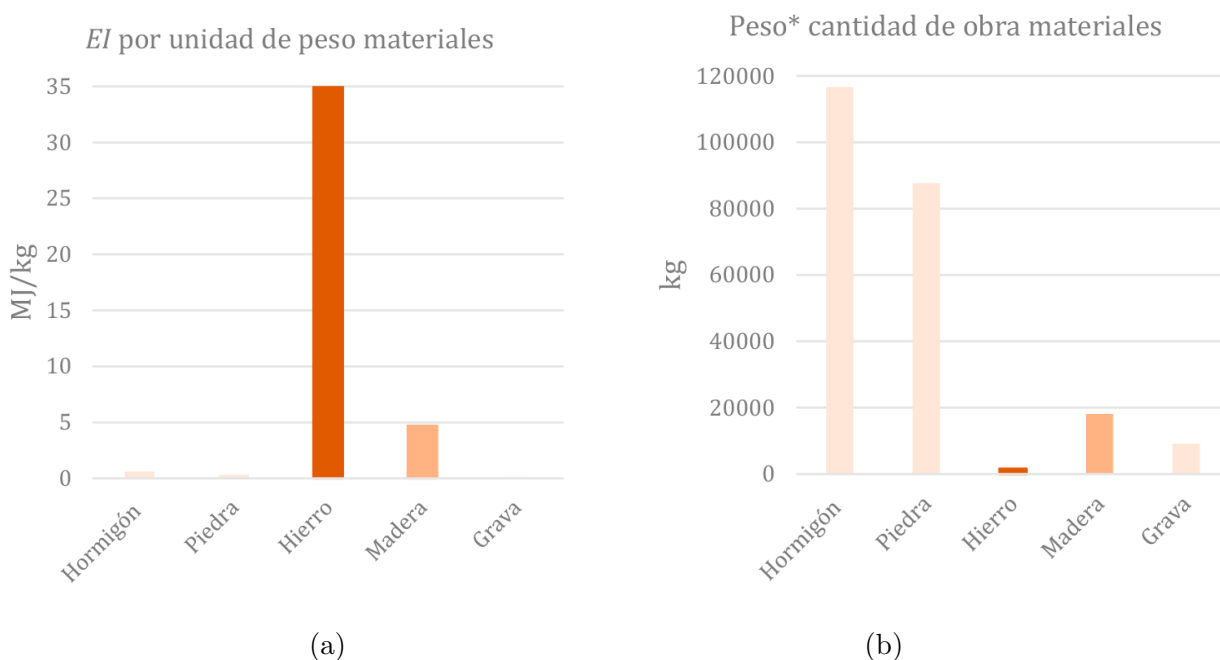
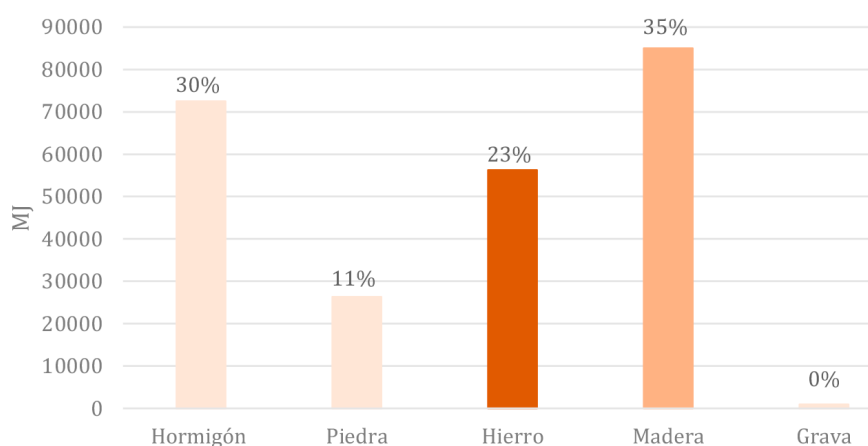


FIGURA 4.19: (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 2.

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el hierro tenga la mayor EI por unidad de peso, dado que su peso es mínimo, su impacto en la EI total no es el más alto. En cambio en el caso de la madera, dado que su EI por unidad de peso es alto, sumado a su peso, resulta en el material con mayor impacto en el valor total de la EI de la componente de Estructura. En este sentido, dentro de la componente Estructura, el material con mayor incidencia de EI es la madera, la misma que representa un 35%, seguido el hormigón con un 30%, el hierro 23% y finalmente la piedra y la grava que representan un 11% (Figura 4.20).



$$\text{Peso} \cdot EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{Kg} \cdot \text{MJ} / \text{Kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.20: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 2.

Envolvente

El segundo componente analizado corresponde a la Envoltura de la vivienda, la misma que está compuesta por ladrillo panelón en la mampostería y en la envoltura de cubierta se ha empleado entablillado de madera y sobre esta teja. El elemento que mayor porcentaje representa es la mampostería de ladrillo panelón, la misma que compone todas las paredes edificadas. En cuanto al porcentaje de *EI* correspondiente a mampostería, se evidencia en la Figura 4.21, que este corresponde al 73% del total de la componente Envoltura. Por su parte, en cubierta, el entablillado de madera, y la teja, representan un 27%, es decir aproximadamente la mitad de lo que representa la envoltura vertical, dado que es una vivienda de dos plantas.

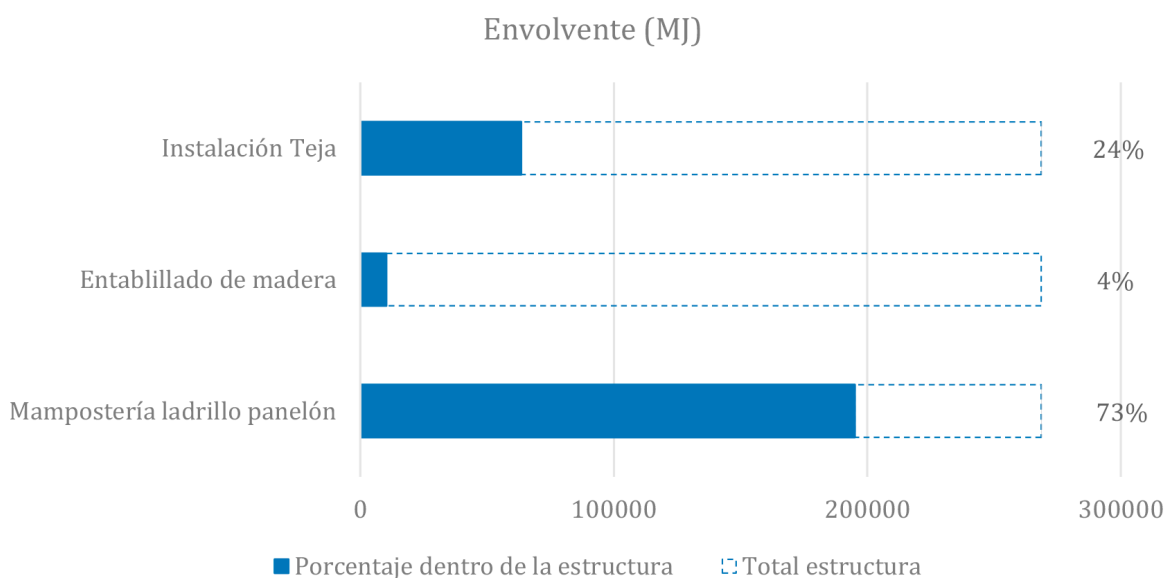


FIGURA 4.21: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envoltura de la vivienda del periodo 2.

En cuanto al análisis de las variables de Peso y Energía Incorporada por unidad de peso de cada material. Dentro de esta componente los materiales que se han utilizado han sido la madera, la teja, alambre galvanizado, el ladrillo y el mortero de cemento. Este último que sirve como pegante para las mamposterías. En la Figura 4.22, se muestra que el material con mayor *EI* por cada *kg* es el alambre galvanizado (25 MJ/kg), empleado para la instalación de teja, y el que menor energía tiene es el ladrillo 1.33 MJ/kg . No obstante, al analizar la variable de peso, se puede notar que el ladrillo es el material que más peso tiene con 88135 kg , le sigue el mortero de cemento con 48636 kg , en tercer lugar la teja con 17807 kg y la madera 2176 kg . Mientras que, el material más liviano es el alambre galvanizado, el mismo que posee una menor representatividad debido al área que ocupa dentro de la vivienda.

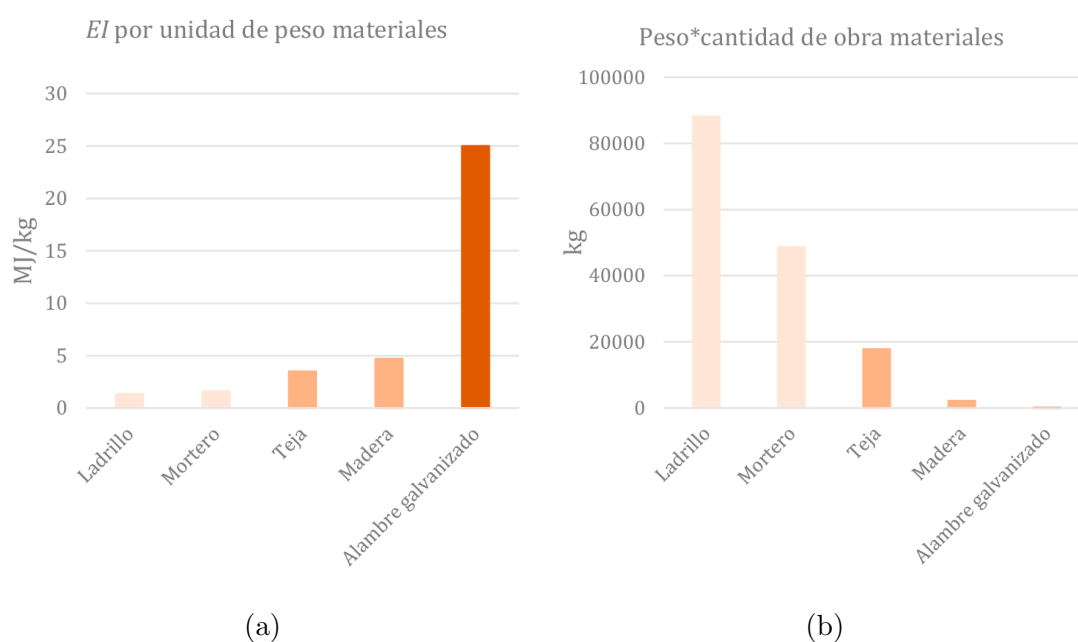
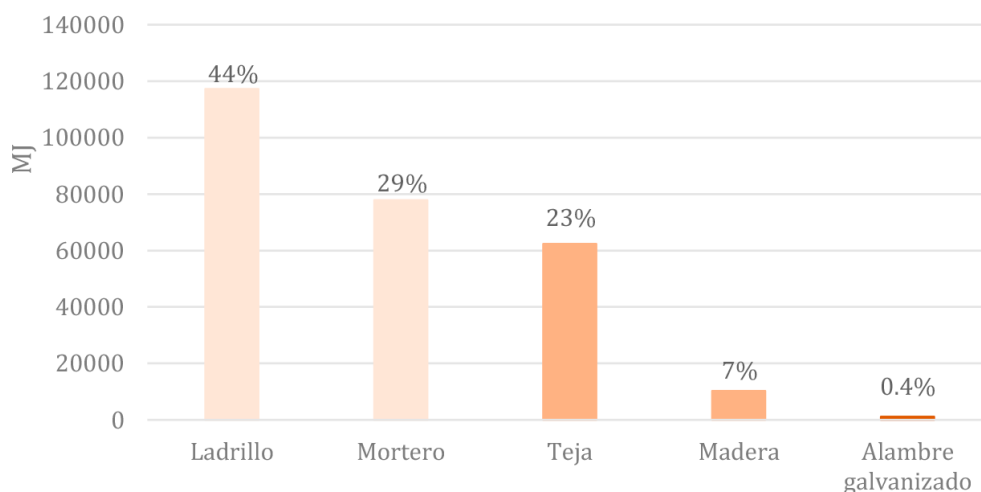


FIGURA 4.22: (a) *EI* por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envolverte de vivienda del periodo 2.

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el ladrillo y el mortero de cemento tienen la menor Energía Incorporada por unidad de peso, debido al alto peso que representan en este tipo de construcción resultan en los materiales con mayor representatividad en la *EI* total en la componente de Envolverte. El ladrillo (44 %) y el mortero (29 %), seguido la teja (23 %), la madera (7 %), y el alambre galvanizado (0.4 %) (Figura 4.23). Estos resultados muestran nuevamente, en el periodo 2, que la envolverte vertical es el elemento que más Energía Incorporada demanda en la componente de Envolverte. De igual manera la representatividad del mortero de cemento resulta relevante, incluso mayor a la *EI* que representa toda la cubierta, aun con su diferencia de áreas. Esto se debe a la diferencia de pesos que existe entre estos materiales, lo que beneficia a la cubierta por su bajo peso.



$$\text{Peso} \cdot EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{kg} \cdot \text{MJ} / \text{kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.23: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolverte de la vivienda del periodo 2.

En este periodo se inserta en cubierta acabado con vidrio en una pequeña superficie de la misma, el cual representa 3% del total de la componente. En puertas se han empleado dos tipos, la puerta de acceso a la vivienda está compuesta por aluminio y vidrio, la misma que representa el 10% del total de la componente, mientras que las puertas internas de la vivienda son de madera prefabricada, las cuales representan el 6% de la *EI* dentro de la vivienda. En cuanto al acabado en pasamanos, se ha empleado solamente madera, este elemento es el de menor repercusión dentro de la componente, ya que posee un porcentaje de 0.4%. En acabados en muros, se ha empleado mortero para enlucido, empaste, pintura y cerámica, de los cuales el enlucido es el material de mayor incidencia, ya que posee un 12%, a diferencia del empaste (4%), la pintura (1%) y la cerámica (1%). Esto se debe a la cantidad de material empleado en cada elemento, por ejemplo, el enlucido de mortero de cemento posee un espesor de 2 cm mientras que el empaste posee un espesor de 0,5 cm, lo que genera una mayor representatividad del enlucido sobre los demás elementos empleados en acabados para muros.

Acabados

El tercer componente analizado dentro de la vivienda son los acabados, los mismos que se dividen en acabados en pisos, ventanería, puertas, pasamanos, muros y cielo raso, los cuales se muestran en la Figura 4.24. En un análisis general de la componente de Acabados, el elemento que mayor porcentaje representa es la ventanería de aluminio y vidrio con 41%, junto al elemento de cielo raso de estuco con empaste, el cual representa el 15%. Dentro de acabados en pisos, en conjunto representan la menor incidencia dentro de la componente con un 8%. Se ha identificado el uso de madera prefabricada, cerámica, alfombra y enduelado de dos tipologías de madera natural. De estos cuatro sistemas la cerámica es la que mayor energía demanda.

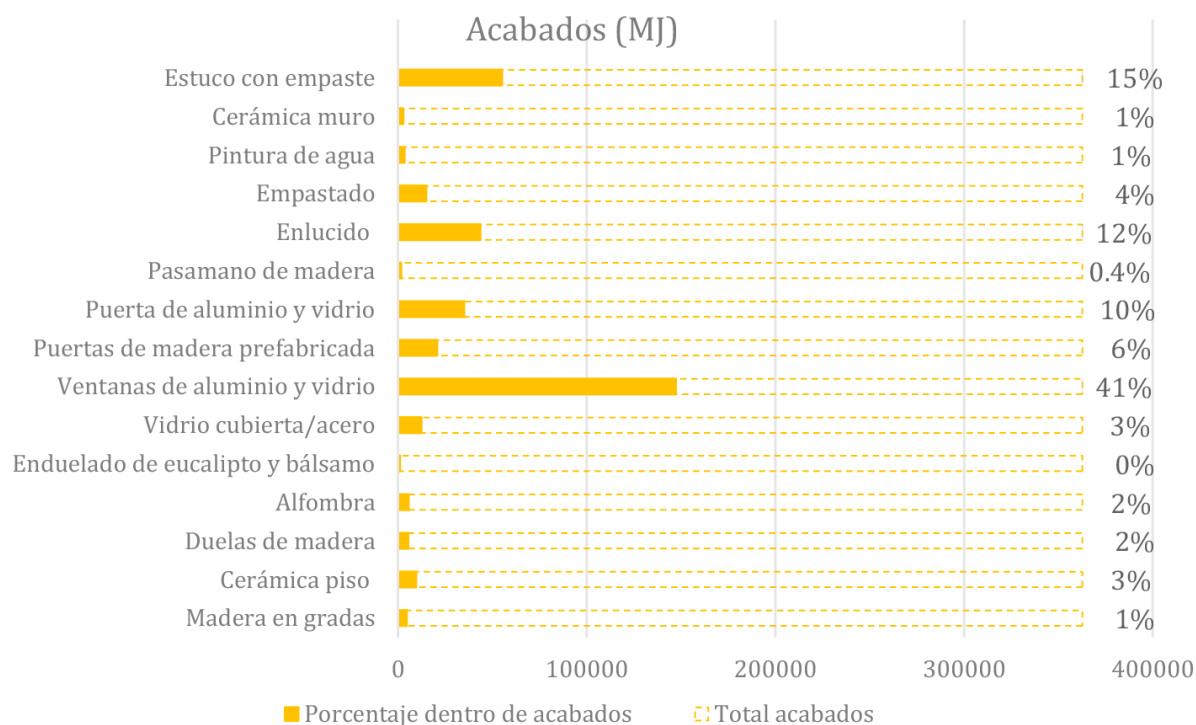


FIGURA 4.24: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 2.

A continuación serán analizadas las variables peso y Energía Incorporada por unidad de peso. Para el desarrollo de este análisis se han desglosado los materiales empleados en cada elemento constructivo. Aquí se detallan los elementos con mayor incidencia dentro de la componente de Acabados como son las ventanerías, estuco con empaste y mortero de cemento (Figura 4.25). En el caso de ventanerías, como se evidencia en la Figura 4.25a, el aluminio es el material con mayor incidencia en la variable de Energía Incorporada por unidad de peso, con 410 MJ/kg , sin embargo, su peso es bastante reducido (426 kg) (Figura 4.25b). El mortero (30972 kg), junto con el empaste (9207 kg), son los materiales más incidentes dentro de la variable de peso (Figura 4.25b). A pesar de ello son los materiales con menor relevancia dentro de la variable de *EI* por unidad de peso.

En consecuencia, dentro de la componente de Acabados, los materiales más representativos son el aluminio con 48 %, el mortero de cemento representa el 14 %, el estuco el 13 % y el empaste el 6 % de la *EI* final. Y el material con menor incidencia es la espuma con 0.4 %, empleada como base para el posterior asentamiento de la alfombra (Figura 4.26).

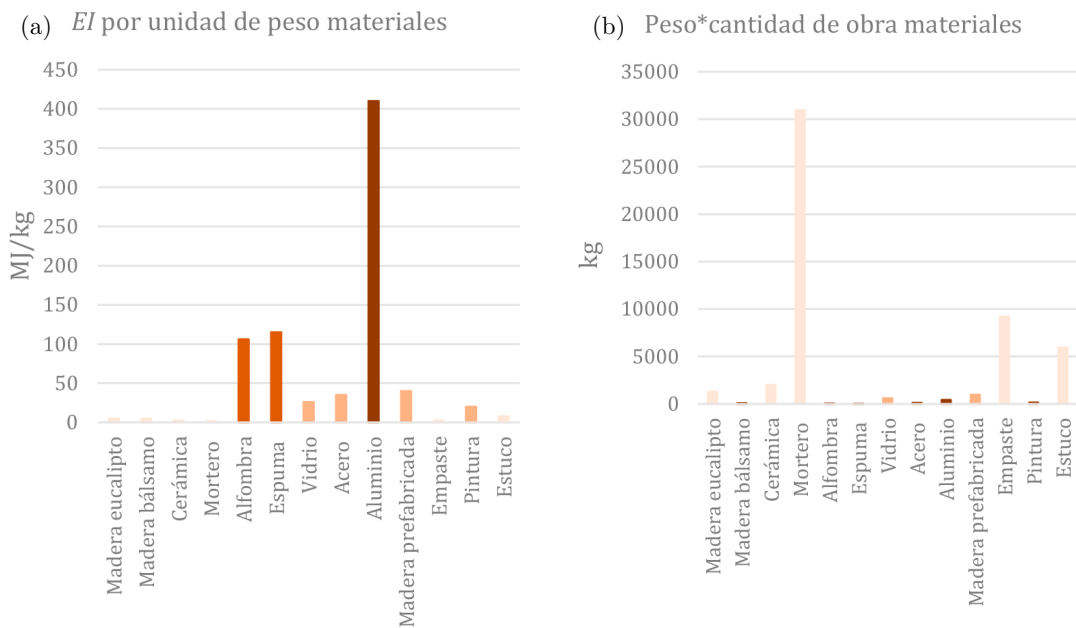


FIGURA 4.25: (a) *EI* por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 2.

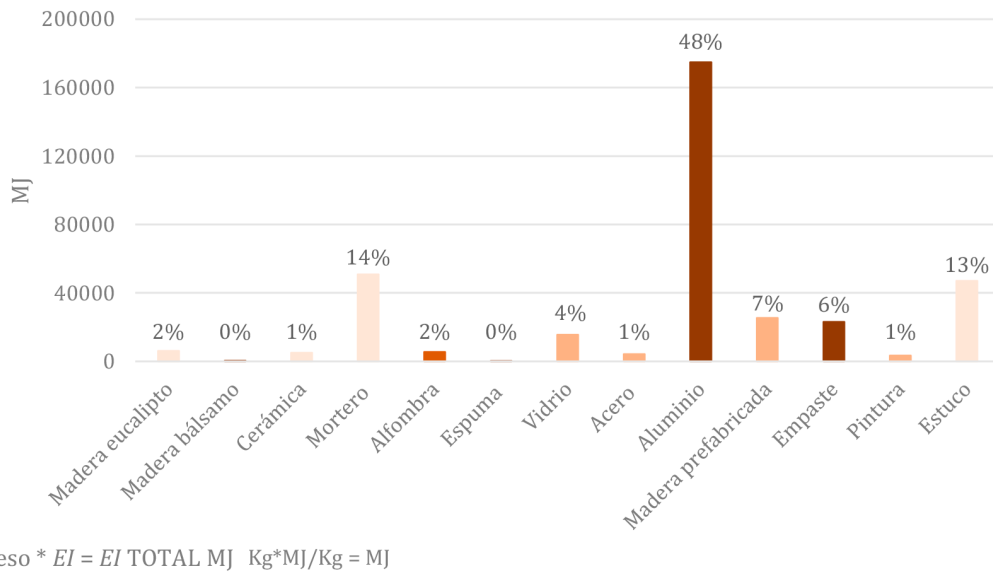


FIGURA 4.26: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 2.

De acuerdo a los resultados obtenidos, nuevamente el aluminio es el material que más energía demanda dentro de la componente de Acabados, igual que en el periodo 1, en el periodo 2 representa aproximadamente la mitad del total de la componente de Acabados. Esto se debe a su elevada incidencia en la variable de *EI* por unidad de peso del material. Además, es importante recalcar la incidencia que posee el mortero dentro de la componente, ya que su representatividad es la segunda más alta, y en este caso se debe a su gran peso dentro de la construcción.

4.3. Resultados Análisis Periodo 3 (2000-2009)

La vivienda analizada está orientada en sentido norte-sur, su fachada principal está ubicada hacia el norte, en donde se ubica el acceso a la vivienda, como se observa en la Figura 4.27, los materiales predominantes en fachada son el ladrillo visto, ventanas de aluminio/vidrio y pasamano de acero inoxidable, a diferencia de la vivienda del periodo anterior, los vanos de la vivienda del periodo 3 son más amplios y se observa un mayor porcentaje de superficie vidriada en la fachada.



FIGURA 4.27: Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 3

De acuerdo a los resultados obtenidos en este periodo, (Figura 4.28), la Energía Incorporada destinada para la componente constructiva de Estructura es de 1633 MJ/m^2 , la misma que posee relevancia sobre la componente de Envoltente (1094 MJ/m^2). Esto se debe a que en este periodo se emplea en casi toda la estructura de la vivienda, elementos pesados de hormigón. La componente de Acabados es la más representativa en este periodo, ya que posee una EI de 2251 MJ/m^2 , la misma que representa casi el doble con relación a la componente de Envoltente. La vivienda de este periodo posee grandes aberturas tanto verticales como horizontales, por lo tanto, el uso de aluminio y vidrio es mayor, lo que resulta en un significativo incremento de EI sobre las otras componentes, lo cual se irá analizando poco a poco a lo largo de este periodo.

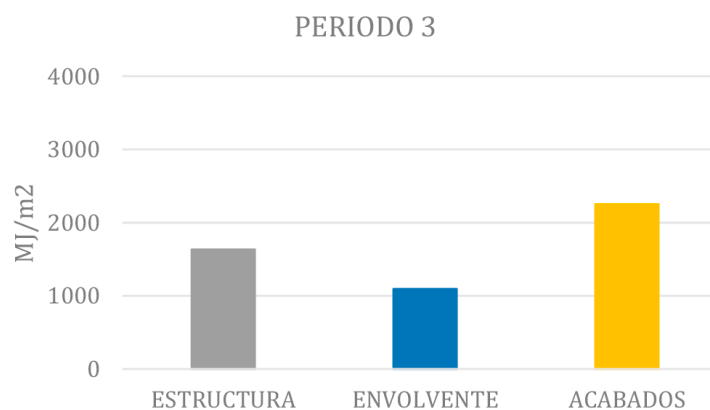


FIGURA 4.28: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del tercer periodo de análisis (2000-2009), clasificado por componentes: Estructura, Envolverte y Acabados

A continuación, serán analizados cada uno de estos componentes del periodo 3, con los materiales empleados.

Estructura

En la estructura de esta vivienda existen elementos de hormigón y de acero estructural, por lo que es importante destacar que los elementos de hormigón poseen una mayor relevancia en relación a los elementos de acero, ya que corresponden al 79% y 16% respectivamente del total de EI de la componente, esto se debe al gran peso que poseen los materiales en el primer caso.

Dentro de la componente de Estructura, el elemento que mayor porcentaje de EI representa son las vigas de hormigón armado con 43%, como se observa en la Figura 4.29. La cantidad de material empleada en este elemento (154188 MJ) es mayor a la requerida en los demás sistemas, ya que este cubre un área mayor dentro de la vivienda y es empleado tanto en vigas de planta baja como de planta alta. Luego de este elemento, la estructura de cubierta de acero estructural con 59812 MJ , la losa de entrecimso con 53853 MJ , y la losa de planta baja 43372 MJ , son los elementos más representativos en la EI total de la componente de Estructura. De manera general los elementos estructurales horizontales, losa y vigas son los más representativos de esta componente. Algo parecido sucede en los periodos anteriores, sin embargo, en este periodo el valor absoluto se eleva al doble, en comparación con los periodos analizados previamente, esto se debe al cambio de la madera por el hormigón. Mientras que, los elementos con menor porcentaje dentro de la componente Estructura son el replantillo de piedra (16868 MJ), la cimentación de hormigón armado (15869 MJ), las columnas (12625 MJ), y por último el porcentaje más bajo es de la grada de hormigón armado, la misma que posee una EI de 2570 MJ , estos elementos en conjunto representan el 14% del valor total de la componente. Esto se debe a la baja cantidad de material que se requiere en estos elementos.

Para comprender el impacto de estos elementos constructivos en el valor total, es

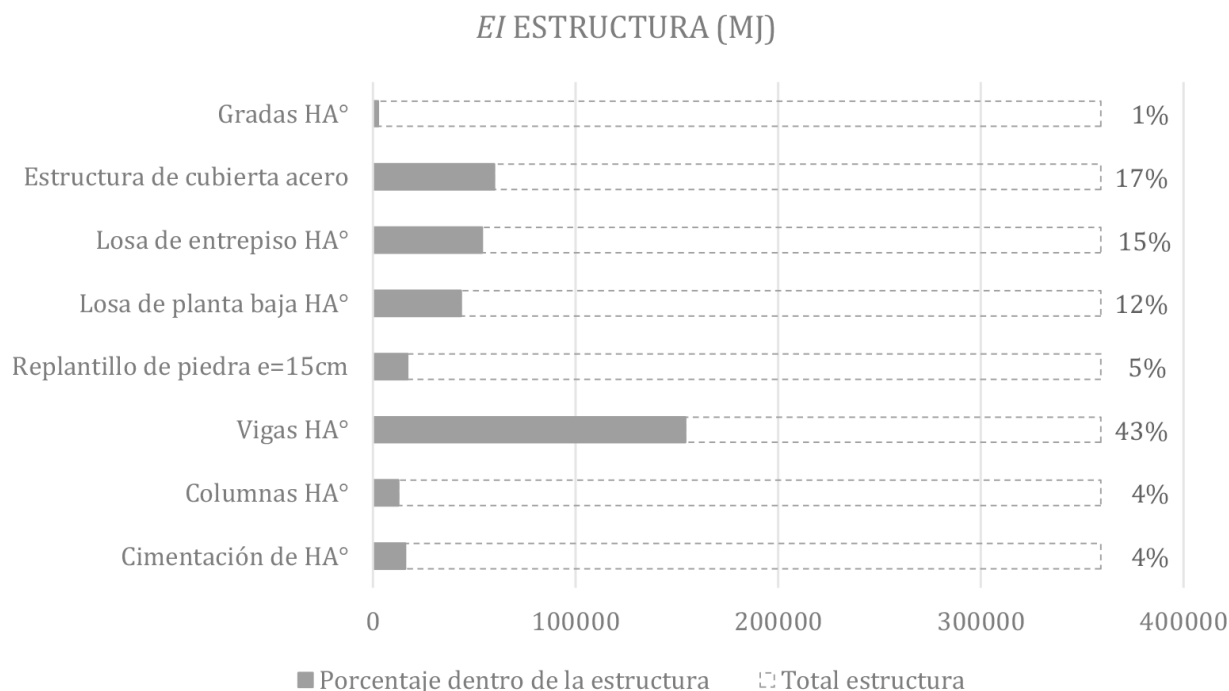


FIGURA 4.29: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 3.

necesario considerar el análisis de las dos variables expuestas previamente: el peso y la energía por unidad de peso de cada material.

En este caso los materiales empleados dentro de la componente Estructura son hormigón, hierro, piedra, grava y acero estructural. En cuanto a la energía por unidad de peso, Figura 4.30a, el valor más alto lo posee el hierro, junto al acero estructural con 35 MJ/kg , y con valores mínimos, los que menos *EI* tienen son el hormigón la piedra y la grava. En referencia al peso total, Figura 4.30b, en este caso el material con mayor valor es el hormigón con 178652 kg , lo sigue la piedra y en tercer lugar la grava, mientras que el hierro y el acero estructural, con un valor mínimo son los que menos representan.

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el hierro tiene uno de los pesos más bajos, dado que su *EI* por unidad de peso es la más alta, su impacto en la *EI* total es el más representativo. En este sentido, dentro de la componente Estructura, el material con mayor incidencia de *EI* es el hierro, el mismo que representa un 49 %, seguido el hormigón con un 30 %, el acero estructural 17 % y finalmente la piedra y la grava que representan un 4 % (Figura 4.31).

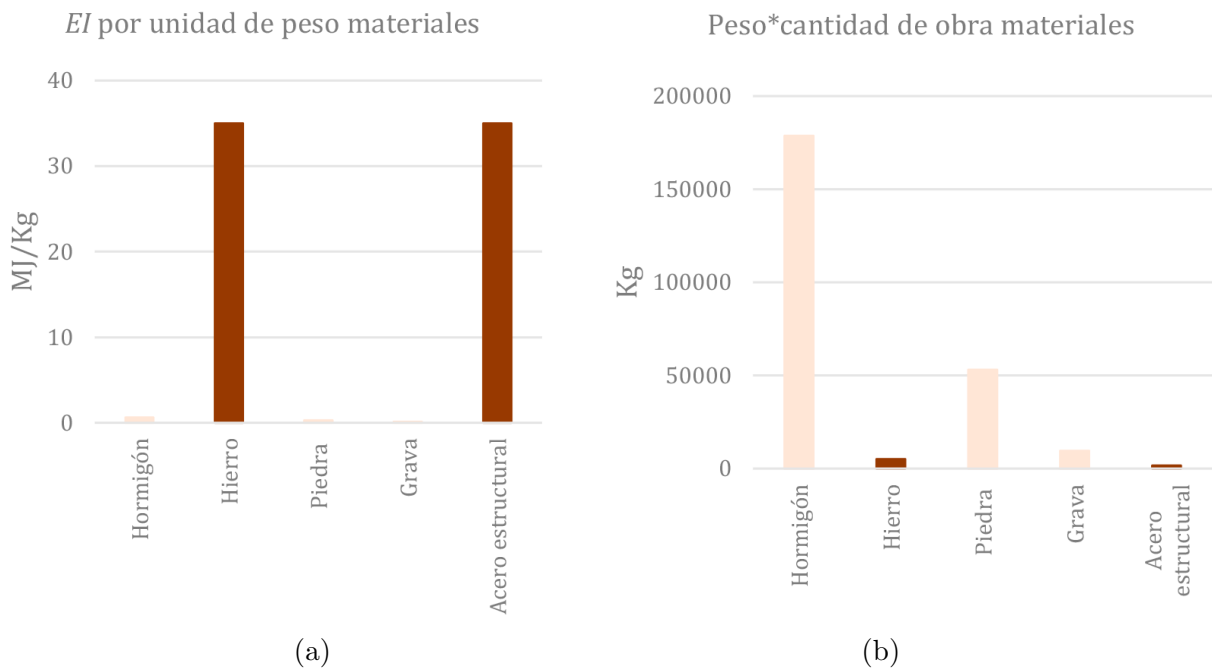
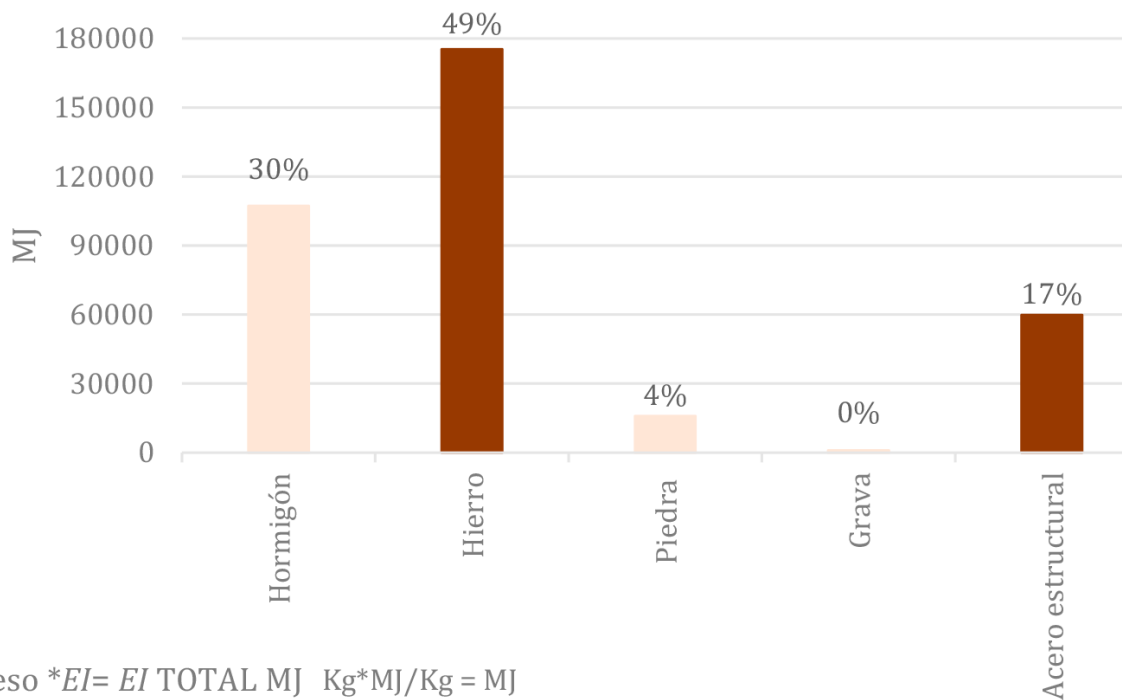


FIGURA 4.30: (a) *EI* por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 3.



$$\text{Peso} * EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{Kg} * \text{MJ/Kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.31: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 3.

De acuerdo con estos resultados, la unión de hierro y hormigón utilizados en los sistemas estructurales horizontales (losas de hormigón armado) resulta en una combinación predominante en la demanda de *EI* dentro de la vivienda, por lo que, como se especificó previamente, llegan a representar el 79% del total de la estructura. La consideración de esta variable será fundamental en el momento de plantear la propuesta de vivienda con un impacto ambiental reducido, objetivo general de esta tesis.

Envolvente

El segundo componente analizado corresponde a la Envolvente de la vivienda, la misma que está compuesta por ladrillo panelón en la mampostería interior y ladrillo visto en exteriores. En la envolvente de cubierta se ha empleado fibrocemento y teja. En cuanto al porcentaje de *EI* correspondiente a mampostería, se evidencia en la Figura 4.32, que este corresponde al 88 % del total de la componente Envolvente, si se suma las dos mamposterías de ladrillo. Por su parte, en cubierta, el fibrocemento y la teja, representan un 12 %, es decir aproximadamente la séptima parte de lo que representa la envolvente vertical, dado que es una vivienda de dos plantas. Nuevamente se nota la predominancia de la envolvente vertical sobre la envolvente horizontal, al igual que en los periodos anteriores.

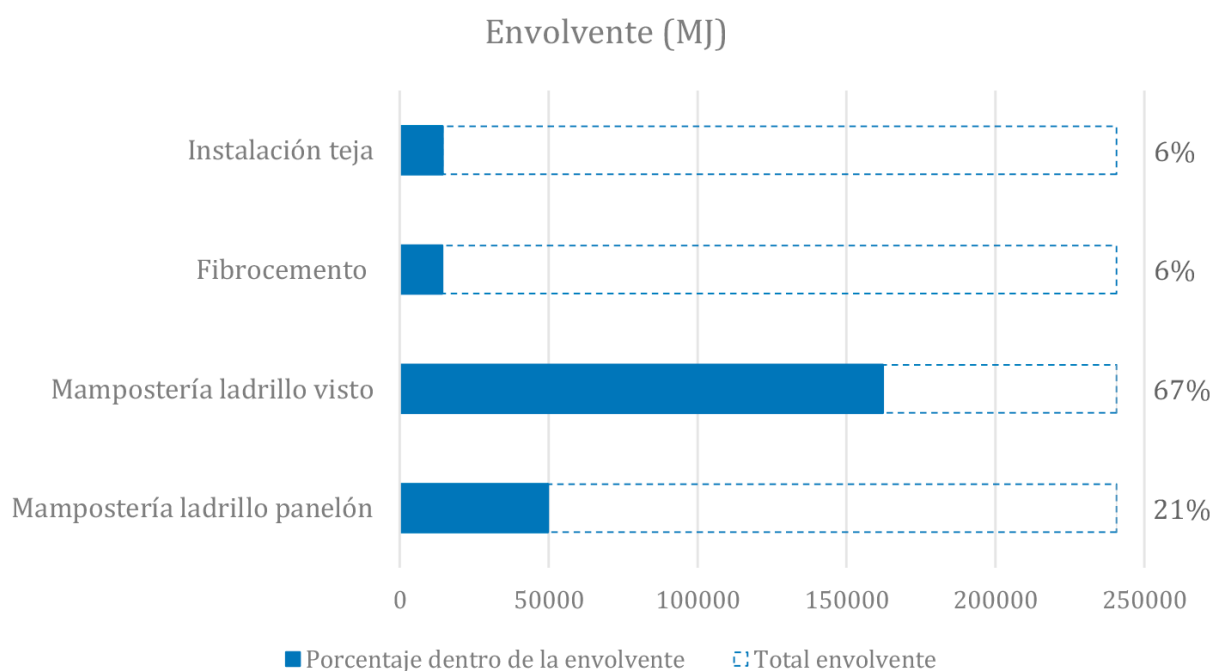


FIGURA 4.32: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envolvente de la vivienda del periodo 3.

En cuanto al análisis de las variables de Peso y Energía Incorporada por unidad de peso de cada material. Dentro de esta componente los materiales que se han utilizado han sido el fibrocemento, la teja, el ladrillo panelón, el ladrillo visto, y el mortero de cemento. Este último que sirve como pegante para las mamposterías.

En la Figura 4.33a, se muestra que el material con mayor *EI* por cada *kg* es el alambre galvanizado (25 MJ/kg) y el que menor energía tiene es el ladrillo panelón 1.33 MJ/kg . No obstante, al analizar la variable de peso, se puede notar que el mortero de cemento es el material que más peso tiene con 23390 kg , le sigue el ladrillo panelón con 22504 kg , en tercer lugar el ladrillo visto con 14460 kg (Figura 4.33b). Mientras que, los materiales más livianos son el fibrocemento y el alambre galvanizado, los mismos que poseen una menor representatividad debido al peso propio de cada material.

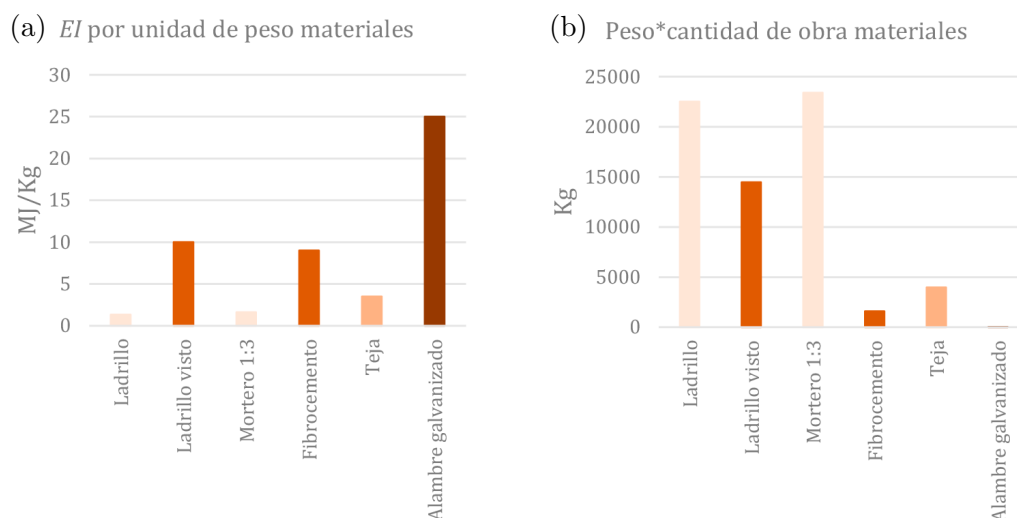
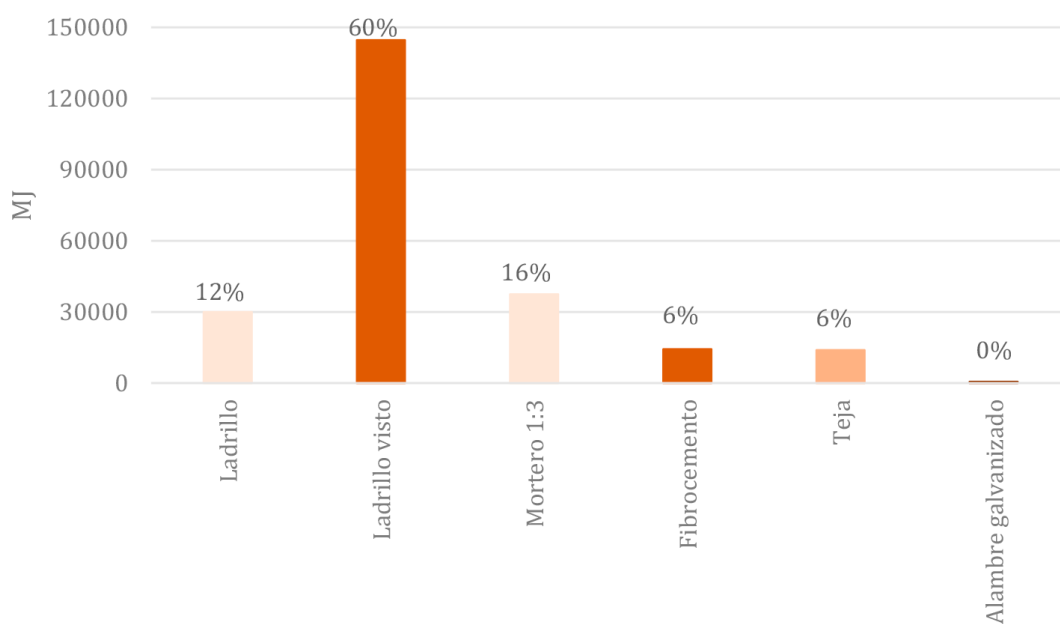


FIGURA 4.33: (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envoltante de vivienda del periodo 3

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el ladrillo visto posee un peso menor en la construcción que el ladrillo panelón, su Energía Incorporada por unidad de peso es mayor, por este motivo resulta en el material con mayor representatividad en la EI total en la componente de Envoltante con 60 %, le sigue el mortero de cemento (16 %), ladrillo panelón (12 %), fibrocemento (6 %), teja (6 %), (Figura 4.34).



$$\text{Peso} * EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{Kg} * \text{MJ/Kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.34: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envoltante de la vivienda del período 3.

Estos resultados muestran que el uso del ladrillo visto puede llegar a tener un mayor impacto en la EI total que el uso del ladrillo panelón, debido a su mayor Energía Incorporada por unidad de peso. Estos resultados ayudan a determinar lineamientos que serán utilizados en la propuesta de diseño en el siguiente capítulo.

Acabados

El tercer componente analizado dentro de la vivienda son los acabados, los mismos que se dividen en acabados en pisos, ventanería, puertas, pasamanos, muros y cielo raso, los cuales se muestran en la Figura 4.35. En un análisis general de la componente de Acabados, el elemento que mayor porcentaje representa es la ventanería de aluminio y vidrio con 37 % seguido de las puertas de aluminio y vidrio con 23 % en tercer lugar el pasamano de acero inoxidable con 11 % y el estuco con empaste 9 % Dentro de acabados en pisos, en conjunto representan el 9 % de la componente de Acabados. Se ha identificado el uso de madera prefabricada, piso flotante, porcelanato, cerámica, y alfombra. De estos sistemas, el piso flotante es el que mayor energía demanda con un 5 %

En cuanto a ventanería el sistema empleado de aluminio y vidrio es el de mayor incidencia dentro de la componente, junto a las puertas que emplean este mismo sistema. En este periodo, al igual que en el periodo 2 se inserta en cubierta acabado con vidrio en una pequeña superficie de la misma, el cual representa 4 % del total de la componente. En puertas, además del uso de aluminio y vidrio, existen puertas de madera prefabricada, las cuales representan el 3 % dentro de la componente, y son cinco veces menor al sistema vidriado.

En cuanto al acabado en pasamanos, en este periodo se emplea acero inoxidable, este elemento es uno de los más incidentes dentro del componente, ya que posee un porcentaje de 11 %, a pesar de ser empleado en un área reducida dentro de la vivienda.

En acabados en muros, se ha empleado mortero de cemento para enlucido, empaste, pintura y cerámica, de los cuales el enlucido es el de mayor incidencia, ya que representa un 2 %, a diferencia del empaste (1 %), la cerámica (1 %) y la pintura (0.1 %). La mayor representatividad dada por el mortero de cemento se debe a que para realizar este acabado se emplea mayor cantidad de material, ya que posee un mayor espesor en el acabado de mampostería.

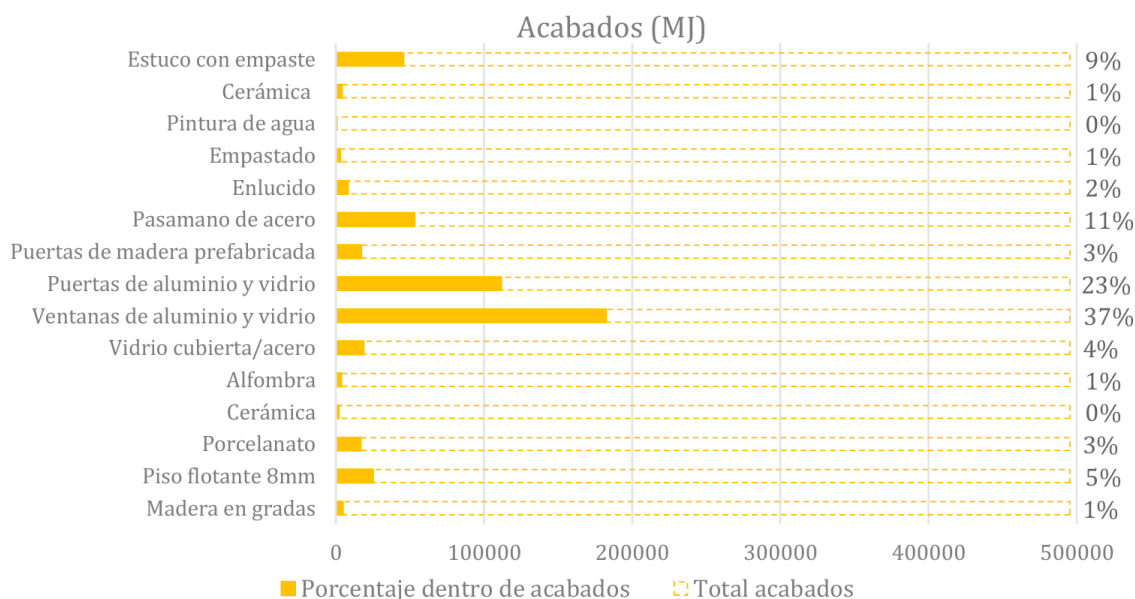


FIGURA 4.35: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 3.

A continuación serán analizadas las variables peso y Energía Incorporada por unidad de peso. Para el desarrollo de este análisis se han desglosado los materiales empleados en cada elemento constructivo. Aquí se detallan los elementos con mayor incidencia dentro de la componente de Acabados como son las ventanerías y puertas de aluminio, el mortero de cemento y el estuco con empaste. En el caso de ventanerías y puertas, como se evidencia en la Figura 4.36a, el aluminio es el material con mayor incidencia en la variable de Energía Incorporada por unidad de peso, con 410 MJ/kg , sin embargo, su peso es bastante reducido (656 kg) (Figura 4.36b).

El mortero de cemento (7108 kg), junto al estuco (4915 kg), y el empaste (3764 kg), son los materiales más incidentes dentro de la variable de peso (Figura 4.36b). A pesar de ello son los materiales con menor relevancia dentro de la variable de EI por unidad de peso.

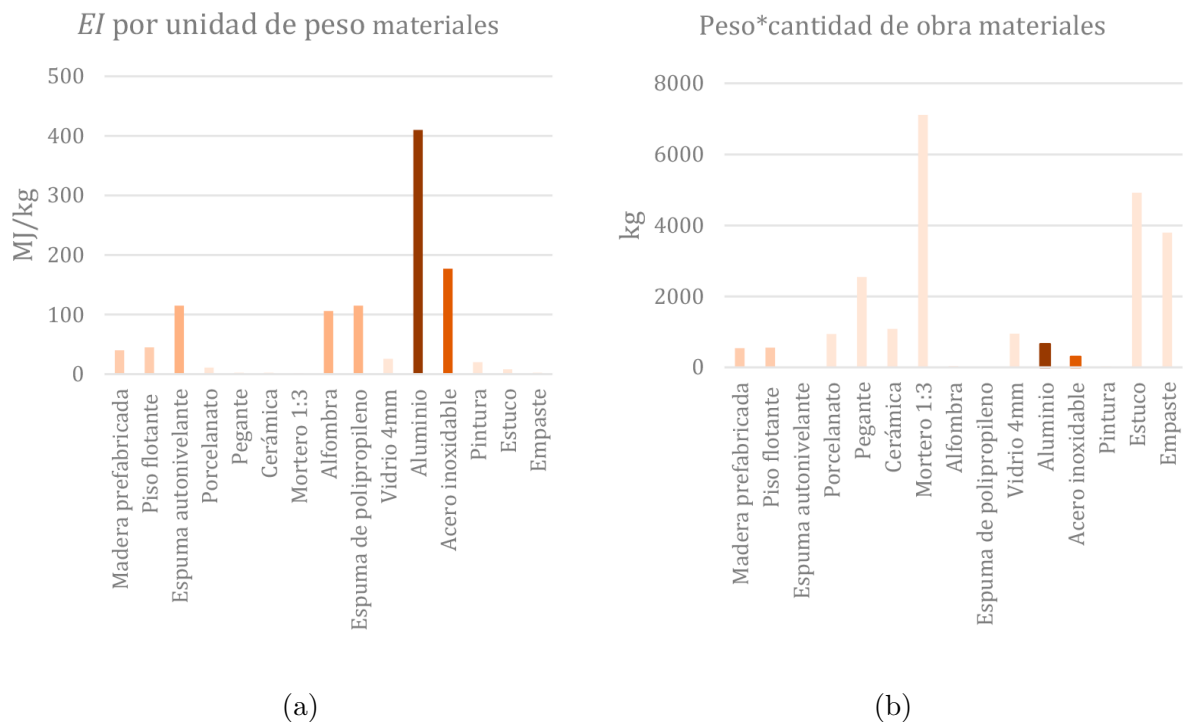
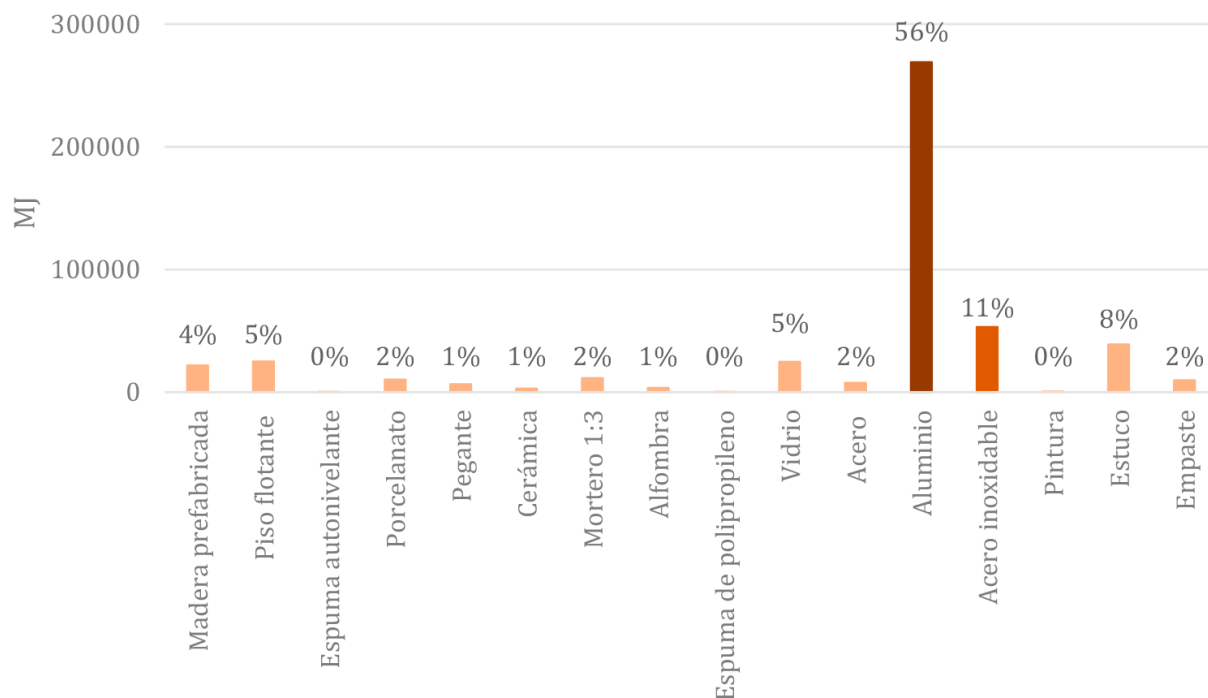


FIGURA 4.36: (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 3.

En consecuencia, dentro de la componente de Acabados, los materiales más representativos son el aluminio con 56% , el acero inoxidable representa el 11% y el estuco el 8% de la EI final. Los demás materiales empleados en esta componente representan una relevancia reducida que oscila entre el 0.2% - 5% (Figura 4.37).



$$\text{Peso} * EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{Kg} * \text{MJ/Kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.37: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 3.

De acuerdo a los resultados obtenidos, nuevamente el aluminio es el material que más energía demanda dentro de la componente de Acabados, igual que en periodos anteriores, en este periodo representa más de la mitad del total de la componente. Esto se debe a su elevada incidencia en la variable de *EI* por unidad de peso del material, y además la tendencia arquitectónica de la vivienda con aberturas vidriadas más amplias ha permitido que la representatividad del aluminio sea la más incidente dentro de la componente. La componente de Acabados se mantiene como la más relevante a lo largo de los tres periodos analizados, como se evidencia en los resultados obtenidos, esta representatividad se debe al elevado uso de aluminio en ventanas y puertas, además del cambio de materiales naturales por otros industrializados como el acero inoxidable.

4.4. Resultados Análisis Periodo 4 (2010-2018)

La vivienda analizada en el último periodo, está orientada en sentido norte-sur, su fachada principal está ubicada hacia el norte, en donde se ubica el acceso a la vivienda, como se observa en la Figura 4.38, los materiales predominantes en fachada son el vidrio y el acero, a diferencia de la vivienda del periodo anterior, los vanos de la vivienda del periodo 4 son más amplios y se observa un mayor porcentaje de superficie vidriada en la fachada.



FIGURA 4.38: Fachada norte de la vivienda de análisis del periodo 4.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este periodo, (Figura 4.39), la Energía Incorporada destinada para la componente constructiva de Estructura es de 1533 MJ/m^2 , la misma que posee relevancia sobre la componente de Envoltura (599 MJ/m^2). La baja representatividad de este último componente se debe al reemplazo de materiales pesados por materiales más livianos en elementos de mampostería. La componente de Acabados es la más representativa en este periodo, posee una EI de 3603 MJ/m^2 , la misma que es seis veces mayor en relación a la componente de Envoltura, esto se debe a la gran cantidad de aberturas vidriadas que posee la vivienda tanto verticales como horizontales, lo cual se irá analizando poco a poco a lo largo de este periodo.

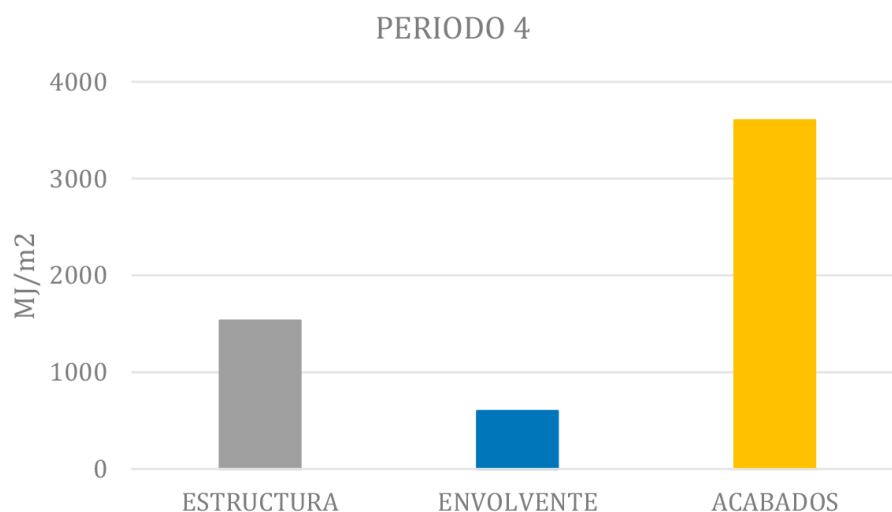


FIGURA 4.39: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la vivienda del cuarto periodo de análisis (2010-2018), clasificado por componentes: Estructura, Envolverte y Acabados

A continuación, serán analizados cada uno de estos componentes del periodo 4, con los materiales empleados.

Estructura

La estructura de la vivienda de este periodo está compuesta en cimentación y vigas de planta baja por hormigón armado, mientras que los demás elementos estructurales como columnas, vigas de planta alta y estructura de cubierta están compuestas de acero estructural. En este sentido, existen elementos de hormigón y de acero estructural, por lo que es importante destacar la representatividad que tienen cada uno de estos elementos dentro de la componente de Estructura. Los elementos de hormigón armado corresponden al 48 % del total de EI de la componente, mientras que los elementos de acero estructural representan un 47 % dentro de la componente. El 5 % restante corresponde al replantillo de piedra.

Dentro de la componente de Estructura, el elemento que mayor porcentaje de EI representa es la estructura de cubierta de acero con 33 %, como se observa en la Figura 4.40, esto se debe a que la morfología de la vivienda corresponde a un juego de cubiertas a diferentes niveles, lo cual demanda una mayor estructuración de cubierta y por lo tanto mayor uso de material. La cantidad de material empleada en este elemento (113630 MJ) es mayor a la requerida en los demás sistemas. Luego de este elemento, la cimentación de hormigón armado con 79464 MJ , la losa de planta baja con 43882 MJ son los elementos más representativos en la EI total de la componente de Estructura. Mientras que, los elementos con menor porcentaje dentro de la componente Estructura son las vigas de planta alta de acero con 25297 MJ , la losa de entepiso con 23762 MJ , las columnas de acero estructural con 19543 MJ , vigas de hormigón armado (18766 MJ), replantillo de piedra (17699 MJ) y gradas de metal (2936 MJ).

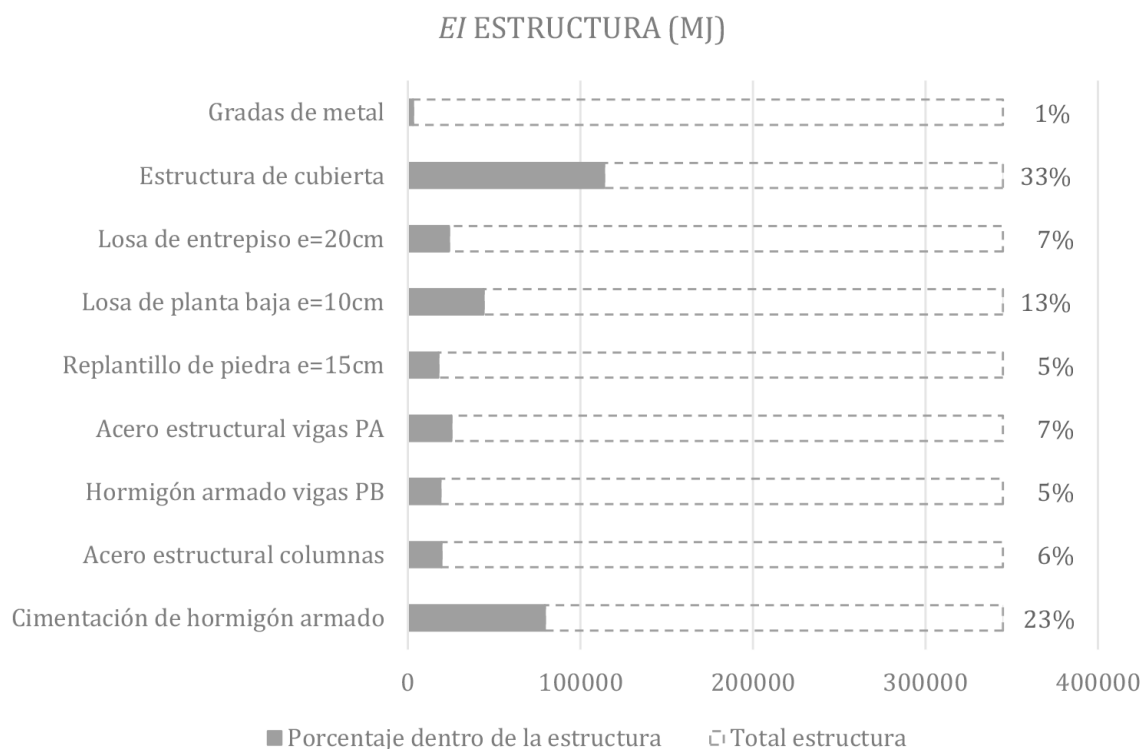


FIGURA 4.40: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Estructura de la vivienda del periodo 4.

Para comprender el impacto de estos elementos constructivos en el valor total, es necesario considerar el análisis de las dos variables expuestas previamente: el peso y la energía por unidad de peso de cada material. En este caso los materiales empleados dentro de la componente Estructura son hormigón, hierro, acero, grava, y piedra. En cuanto a la energía por unidad de peso, Figura 4.41a, el valor más alto lo posee el hierro, junto al acero estructural con 35 MJ/kg , y con valores mínimos, los que menos *EI* tienen son el hormigón la piedra y la grava. En referencia al peso total, Figura 4.41b, en este caso el material con mayor valor es el hormigón con 126242 kg , lo sigue la piedra y en tercer lugar la grava, mientras que el hierro, el acero estructural y placa colaborante con un valor mínimo son los que menos representan.

De acuerdo con estos resultados, aun cuando el acero estructural tiene uno de los pesos más bajos, dado que su *EI* por unidad de peso es la más alta, su impacto en la *EI* total es el más representativo. En este sentido, dentro de la componente Estructura, el material con mayor incidencia de *EI* es el acero estructural (46%), junto al hierro y al hormigón, los mismos que representan un 23% y 22% respectivamente, seguida la piedra con un 5%, y finalmente la grava, placa colaborante y la plancha metálica empleada en gradas, representan en conjunto un 3% (Figura 4.42).

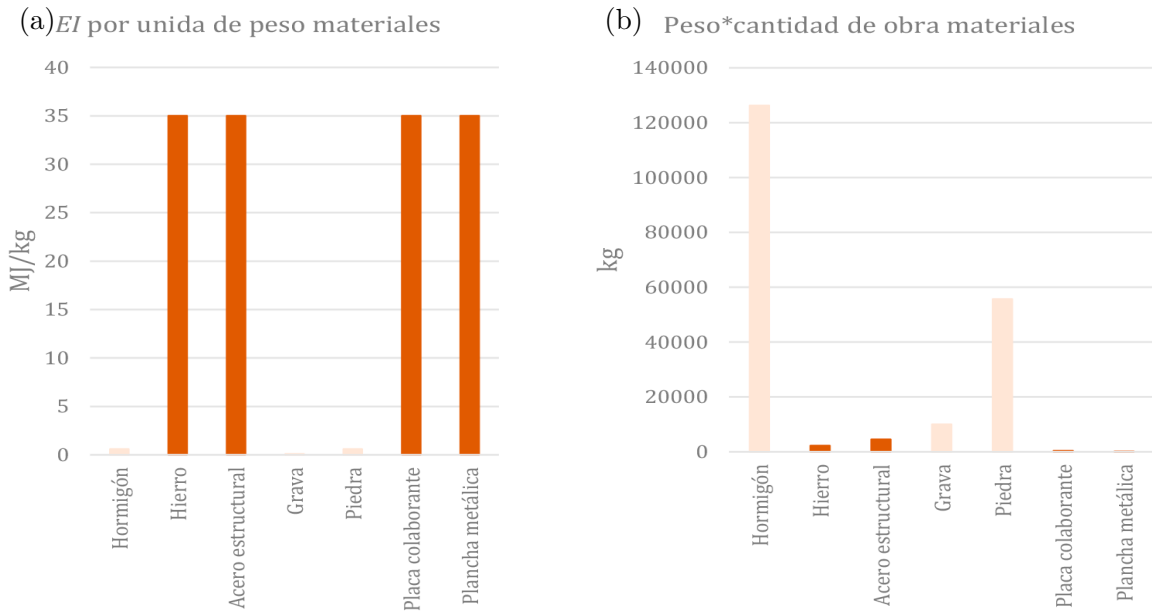
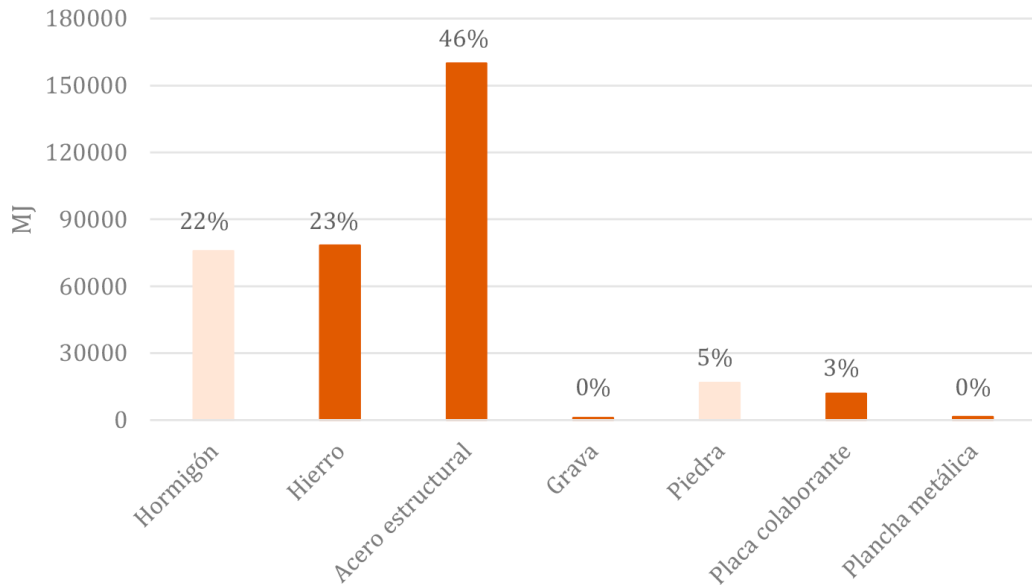


FIGURA 4.41: (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Estructura de vivienda del periodo 4.

De acuerdo con estos resultados, nuevamente se observa que los elementos estructurales horizontales son los de mayor representatividad en la estructura. En este periodo varios elementos han sido reemplazados por acero estructural, a pesar de que este material posee una gran representatividad en la variable de EI por unidad de peso, su reducido peso permite que la Energía Incorporada final se disminuya. Es así que en relación al periodo 3, en el periodo 4 la EI requerida en la componente de Estructura ha disminuido.



$$\text{Peso} * EI = EI \text{ TOTAL MJ} \quad \text{Kg} * \text{MJ/kg} = \text{MJ}$$

FIGURA 4.42: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Estructura de la vivienda del periodo 4.

Envolvente

El segundo componente analizado corresponde a la Envolvente de la vivienda, la misma que está compuesta por ladrillo panelón en la mampostería del exterior, mientras que las particiones interiores se componen de ladrillo tochana. En la envolvente de cubierta se ha empleado fibrocemento y teja. Es importante destacar que en este periodo, gran parte de la mampostería ha sido reemplazada por vidrio templado, es así que las principales fachadas de la vivienda son acristaladas y el uso de materiales en mampostería se ha disminuido. A esto sumado el reemplazo del ladrillo macizo por ladrillo alivianado ha permitido que el peso de la construcción se reduzca y por lo tanto, representa un menor porcentaje en la *EI* final de la vivienda.

En cuanto al porcentaje de *EI* correspondiente a mampostería, se evidencia en la Figura 4.43, que este corresponde al 47 % del total de la componente Envolvente. Por su parte, en cubierta, el fibrocemento y la teja, representan un 54 %, es decir, 7 % más que mampostería, esto se debe a la disminución del peso del material empleado en mampostería. Esta tendencia es diferente a la vista en los periodos anteriores, donde la envolvente vertical era tres y hasta 4 veces mayor que la envolvente horizontal. Esto se debe al uso del fibrocemento el cual incrementa de manera significativa la *EI* de la cubierta.

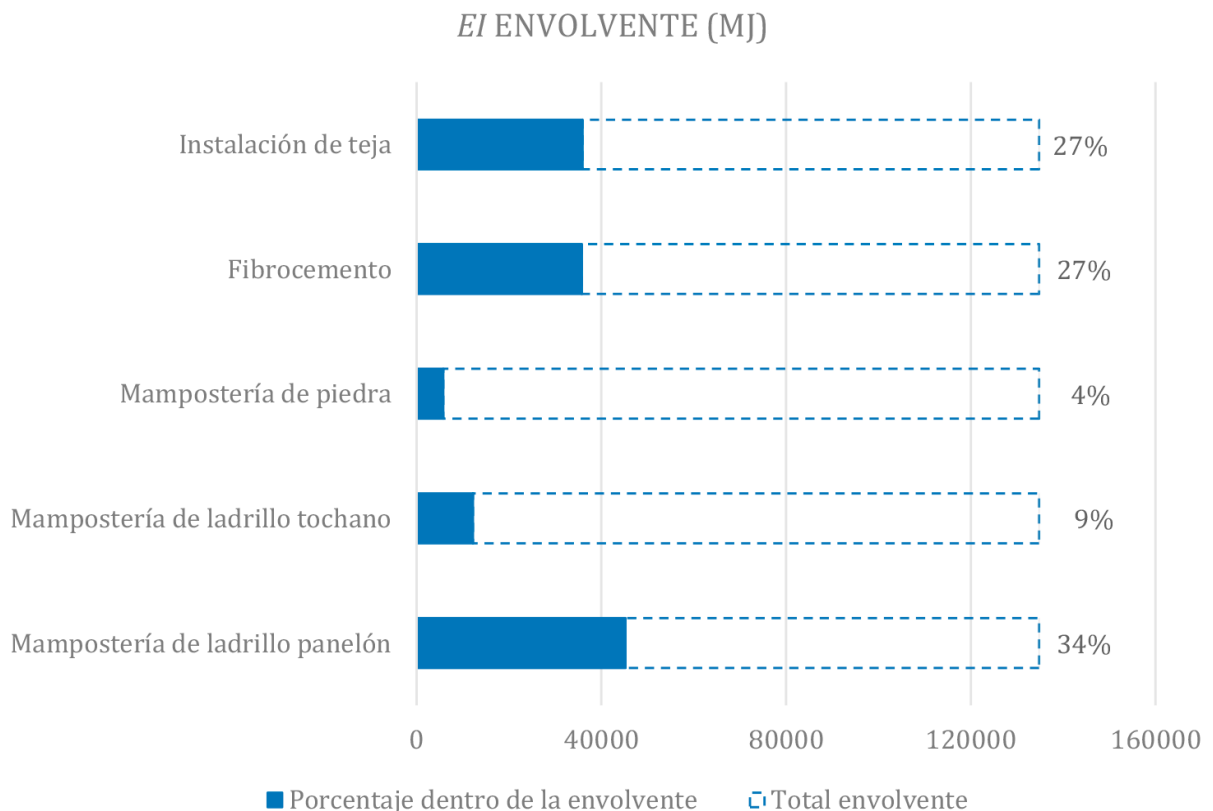


FIGURA 4.43: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Envolvente de la vivienda del periodo 4.

En cuanto al análisis de las variables de Peso y Energía Incorporada por unidad de peso de cada material. Dentro de esta componente los materiales que se han utilizado han sido el ladrillo panelón y tochano, piedra, mortero de cemento, fibrocemento, teja, y acero galvanizado. En la Figura 4.44a, se muestra que el material con mayor *EI* por cada *kg* es el alambre galvanizado, sin embargo, su uso es muy reducido en la construcción, le sigue el fibrocemento, el cual posee una *EI* de 9 MJ/kg . El material que menor energía demanda es la piedra con 0.3 MJ/kg y el ladrillo panelón con 1.33 MJ/kg . No obstante, al analizar la variable de peso, se puede notar que la piedra y el ladrillo son los materiales que más peso tienen con 19084 kg y 20427 kg respectivamente. Le sigue el mortero de cemento con 140563 kg y la teja con 9927 kg (Figura 4.44b). Mientras que, los materiales más livianos son el fibrocemento, el ladrillo tochano y el alambre galvanizado, los mismos que poseen una menor representatividad debido al área que ocupan dentro de la vivienda.

Aun cuando el fibrocemento no tiene la mayor representatividad en la variable de peso, es el segundo más incidente en la variable de *EI* por unidad de peso, por este motivo es el material con mayor demanda de *EI* dentro de la componente de Envoltente con 27% , seguida la teja con 26% . Después de estos elementos, aun cuando el ladrillo y el mortero de cemento tienen la menor Energía Incorporada por unidad de peso, debido al alto peso que representan en este tipo de construcción resultan en los materiales con un porcentaje representativo dentro de la *EI* total en la componente de Envoltente. El ladrillo (20%) y el mortero (17%), seguido el ladrillo tochano (6%), la piedra (4%), y el alambre galvanizado (1%) (Figura 4.45).

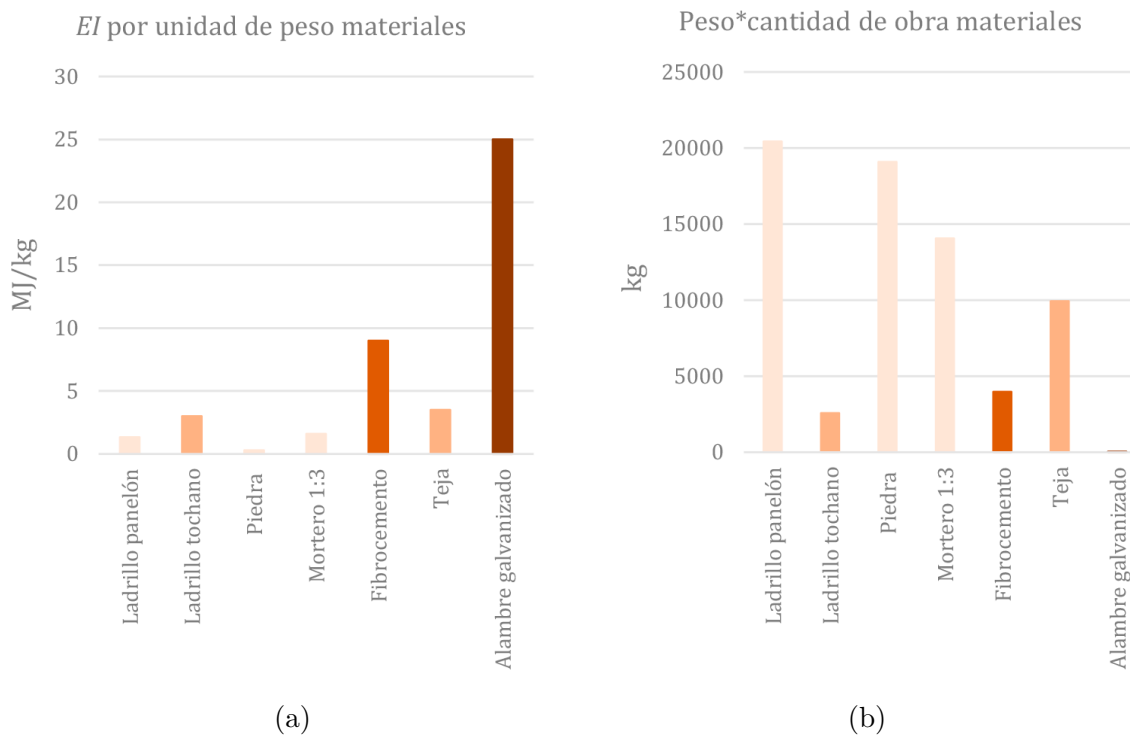


FIGURA 4.44: (a) *EI* por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Envoltente de vivienda del periodo 4.

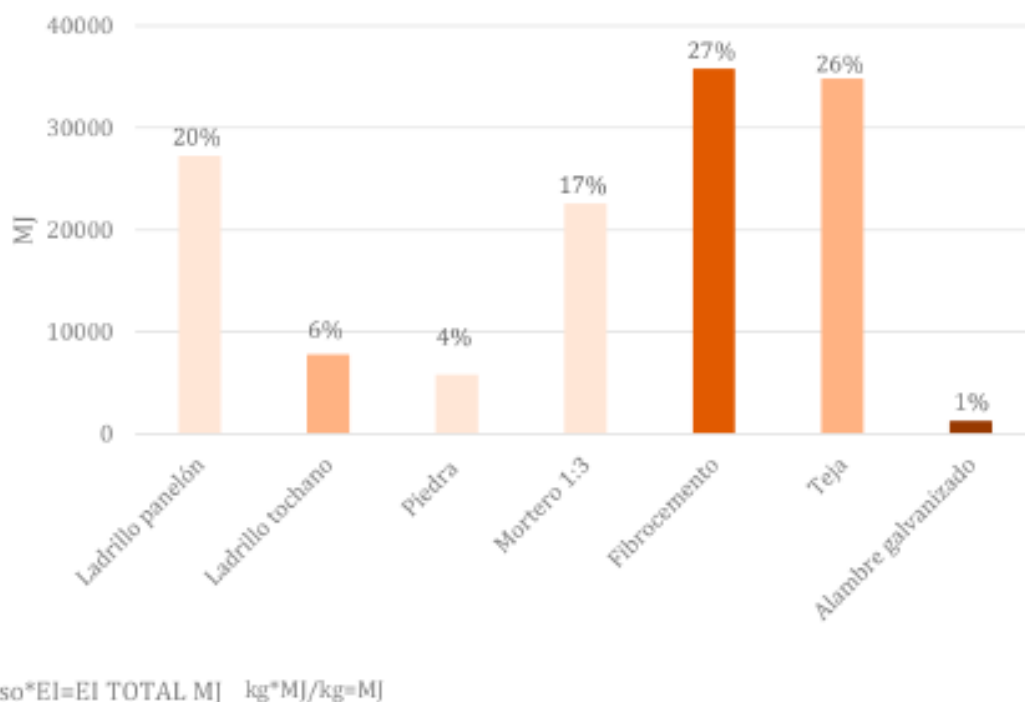


FIGURA 4.45: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Envolvente de la vivienda del periodo 4.

En este periodo, a diferencia de los anteriores, la representatividad de los materiales de mampostería es menor a los empleados en cubierta, como se mencionó anteriormente, el uso de materiales más livianos permite que se genere esta variación. A más de ello, la incidencia de los materiales empleados en cubierta como el fibrocemento, el cual posee una *EI* por unidad de peso considerable, permite que la representatividad de la envolvente en cubierta sea mayor a la de mampostería.

Acabados

El tercer componente analizado dentro de la vivienda son los Acabados, los mismos que se dividen en acabados en pisos, ventanería, puertas, pasamanos, muros y cielo raso, los cuales se muestran en la Figura 4.46. En un análisis general de la componente de Acabados, el elemento que mayor porcentaje representa es la ventanería de madera con vidrio templado con 47 %, seguido las ventanas de aluminio/vidrio templado con 27 % y el tercero el yeso cartón con empaste y las puertas de aluminio/vidrio templado con 7 % cada uno. Dentro de acabados en pisos, en conjunto representan el 4 % de la componente de Acabados. Se ha identificado el uso de piso flotante, porcelanato y la losa de hormigón pulida. De estos sistemas, el piso flotante es el que mayor energía demanda con un 3 %.

En este periodo, al igual que en los dos anteriores se emplea en cubierta acabado con vidrio en una pequeña superficie de la misma, el cual representa 0.5 % del total de la componente, la baja representatividad en este periodo de este elemento se debe a que en lugar de emplear acero como soporte para el vidrio, se emplea madera natural.

En cuanto a ventanería el sistema empleado de madera/vidrio templado es el de mayor incidencia dentro de la componente, junto al sistema de aluminio/vidrio templado, la suma de estos dos elementos genera la mayor representatividad dentro de la componente con un 74 %. En puertas, a pesar de que el sistema de aluminio/vidrio templado se emplea en menor cantidad dentro de estos elementos, posee un porcentaje mayor a las puertas de madera. En cuanto al acabado en pasamanos, en este periodo se emplea vidrio templado, este elemento posee un porcentaje de 4 %.

En acabados en muros, se ha empleado mortero de cemento para enlucido, empaste, pintura y porcelanato, de los cuales el enlucido es el de mayor incidencia, ya que representa un 2 %, a diferencia del empaste (1 %), el porcelanato (1 %) y la pintura (0.1 %). La mayor representatividad del enlucido de mortero de cemento se debe a que su uso en mampostería requiere un espesor mayor que el del empaste, por lo tanto mayor requerimiento de material. Finalmente, el acabado del cielo raso está compuesto por yeso cartón y como recubrimiento final se ha empleado empaste. Este elemento representa un 7 % del total de *EI* dentro de la componente de Acabados.

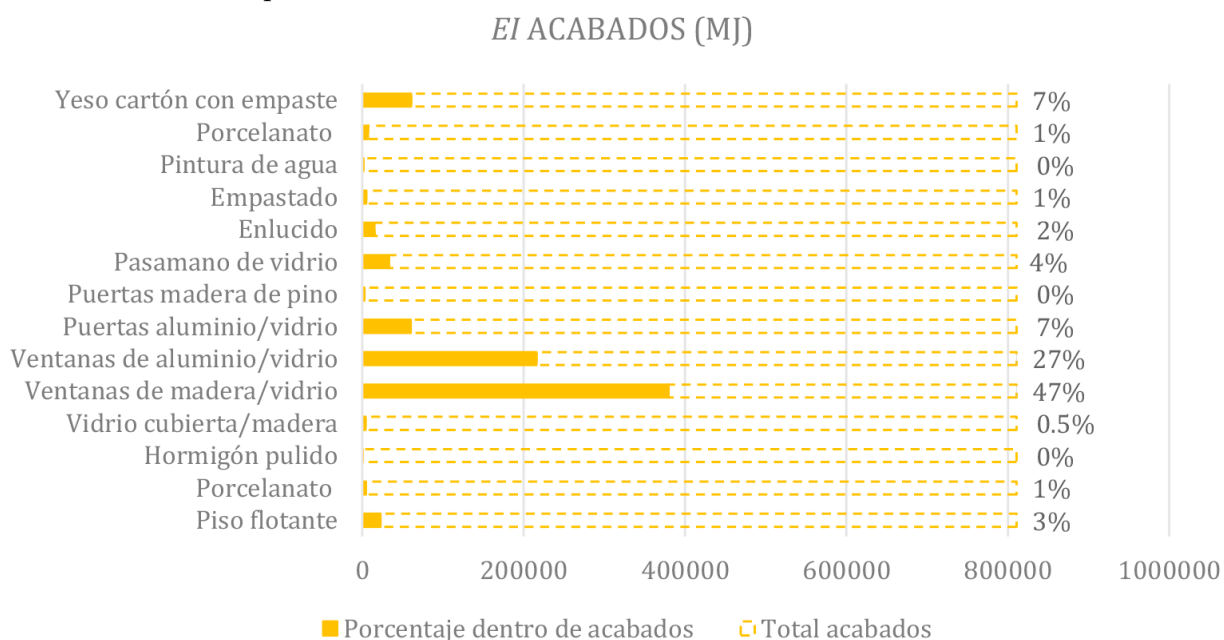


FIGURA 4.46: Energía Incorporada distribuida en porcentaje de los elementos que conforman la componente de Acabados de la vivienda del periodo 4.

A continuación serán analizadas las variables de peso y Energía Incorporada por unidad de peso. Para el desarrollo de este análisis se han desglosado los materiales empleados en cada elemento constructivo. Aquí se detallan los elementos con mayor incidencia dentro de la componente de Acabados como son las ventanerías, mortero y empaste (Figura 4.47).

En el caso de ventanerías, como se evidencia en la Figura 4.47a, el aluminio junto al vidrio templado son los materiales con mayor incidencia en la variable de Energía Incorporada por unidad de peso, con 410 MJ/kg y 349 MJ/kg respectivamente, sin embargo, poseen pesos bajos dentro de la componente (aluminio 177 kg , vidrio 1764 kg). El mortero de cemento (9289 kg), junto con el empaste (4265 kg), son los materiales más incidentes dentro de la variable de peso (Figura 4.47b). A pesar de ello son los materiales con menor relevancia dentro de la variable de *EI* por unidad de peso.

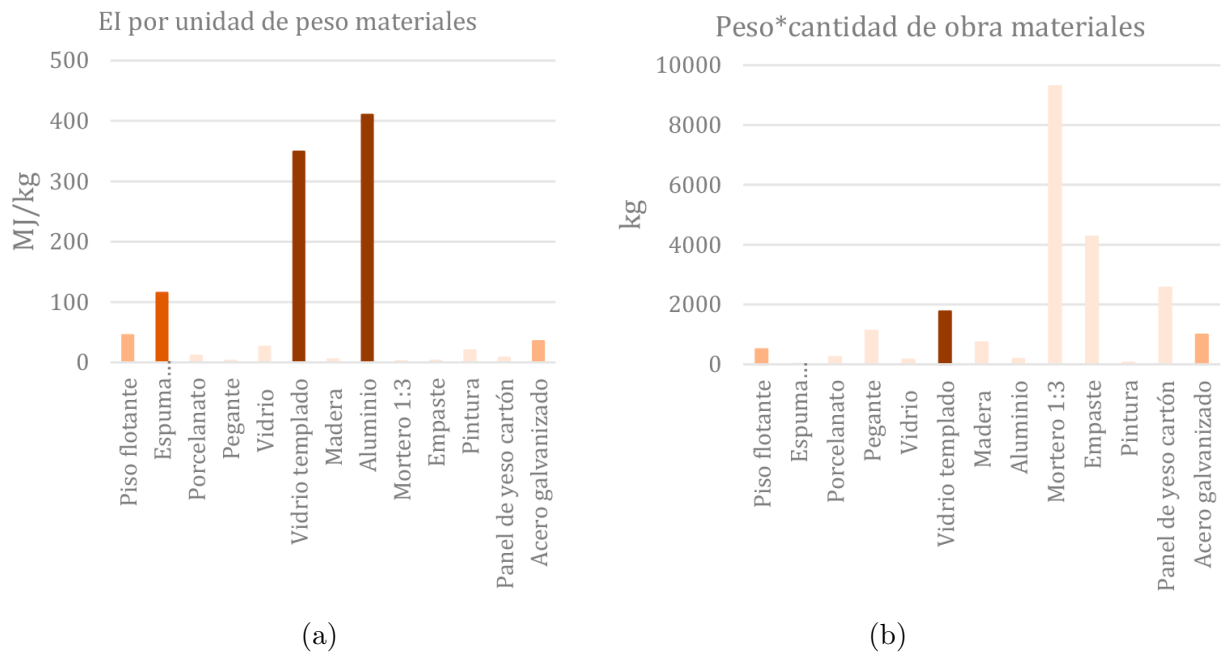


FIGURA 4.47: (a) EI por unidad de peso. (b) Peso total, de los materiales empleados en el componente Acabados de vivienda del periodo 4.

En consecuencia, dentro de la componente de Acabados, los materiales más representativos son el vidrio templado con 76 %, seguido el aluminio con 9 %, de la EI final (Figura 4.48). La gran representatividad del vidrio templado se debe a su elevada incidencia en la variable de Energía Incorporada por unidad de peso, y además, como se mencionó anteriormente, varias paredes han sido reemplazadas por vidrio en esta vivienda.

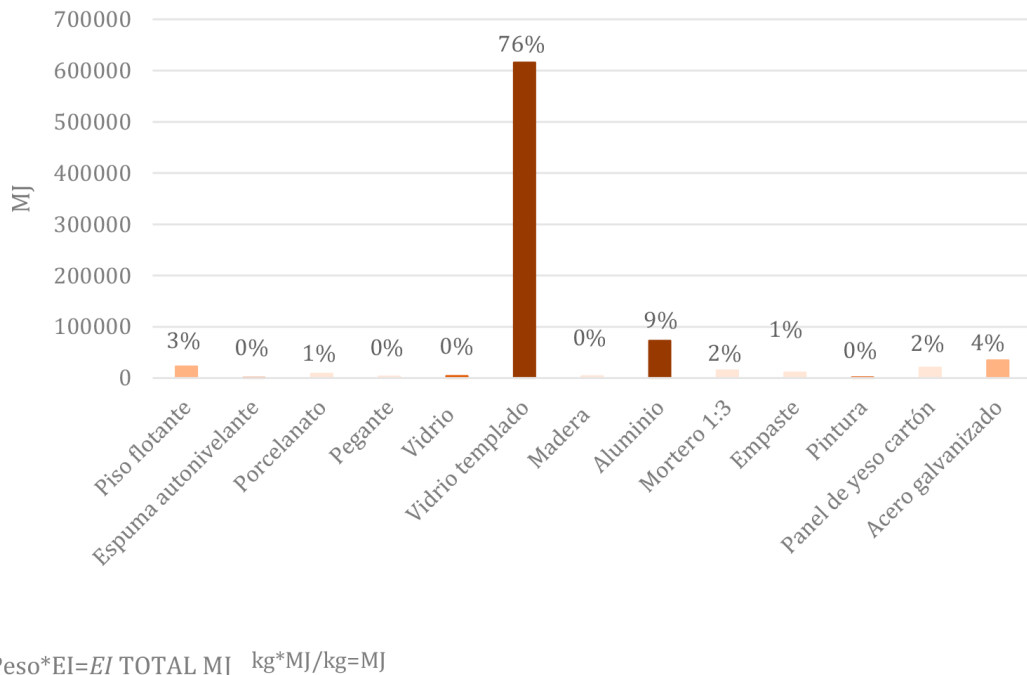


FIGURA 4.48: Energía Incorporada Total de los materiales utilizados en la componente Acabados de la vivienda del periodo 4.

De acuerdo con estos resultados, se puede puntualizar la importancia del vidrio templado en la demanda de EI en la construcción. Todo esto de la mano, de la tendencia arquitectónica que tiene la vivienda, donde se incrementan las superficies vidriadas, en número y en tamaño, por lo cual se recurre al uso de este material. Hay que recalcar que este material en comparación con el vidrio de 4 mm no representa una mayor ventaja en aislamiento térmico, con valores aproximados de transmitancia térmica de $5.7 W/m^2 \cdot K$ para el vidrio simple y $5,5 W/m^2 \cdot K$ para el vidrio templado (Ventura & Pardal, 2016), no obstante el impacto ambiental del vidrio templado es mucho mayor.

4.5. Variación de Energía Incorporada en cada Componente

4.5.1. Estructura

A lo largo de los periodos de análisis, la componente de estructura ha sufrido ciertas variaciones. La inserción de nuevos sistemas constructivos, requerimientos de los ciudadanos y cambios en normativas de construcción ha generado, el uso de materiales industrializados de mejor calidad y mayor duración. Durante el primer periodo, se evidencia el uso de la madera como material predominante. La obra gruesa se ubica en la cimentación, columnas y vigas de planta baja, en estos elementos se ha empleado materiales pesados como el hormigón y la piedra. A pesar de ello, la incidencia de la componente Estructura en este periodo es la menos relevante.

En la componente de Estructura del periodo 1 ($538 \text{ MJ}/\text{m}^2$) y el periodo 2 ($595 \text{ MJ}/\text{m}^2$), los sistemas constructivos empleados son similares, sin embargo, la inserción de elementos macizos de hormigón, como la losa de planta baja de hormigón armado, en el periodo 2 genera una variación de EI entre estos periodos. Aunque la variación no es muy alta, ya existe un incremento en la EI del 10 % (Figura 4.49). La relevancia del periodo 3 sobre el periodo 2 es aún más evidente, esto se debe a que todos los elementos estructurales de madera fueron reemplazados por hormigón armado, lo cual genera un mayor peso en la estructura y por lo tanto una mayor EI . En el periodo 2, para construir la estructura de la vivienda se requirió de $595 \text{ MJ}/\text{m}^2$, mientras que para el periodo 3 se empleó $1633 \text{ MJ}/\text{m}^2$. En 10 años la Energía Incorporada, solamente en la estructura de la vivienda se incrementó 3 veces, debido al gran peso que representan los materiales empleados en el periodo 3 (Figura 4.49). Finalmente, entre el periodo 3 y 4 se observa un decremento de EI/m^2 en la componente estructural, como se ha mencionado anteriormente, el peso de los materiales influye de manera directa en la variación de EI . En este caso, en el periodo 4, la mayor parte de elementos de hormigón armado son reemplazados por elementos de acero estructural. Este material a pesar de tener una EI por unidad de peso mayor que el hormigón, posee un peso muy reducido, lo cual permite que la EI disminuya entre estos dos periodos un 6 % (Figura 4.49). A pesar del decremento que se genera entre estos dos periodos, la EI requerida para la estructura del periodo 4, representa el doble de la EI requerida en el periodo 1 y 2.

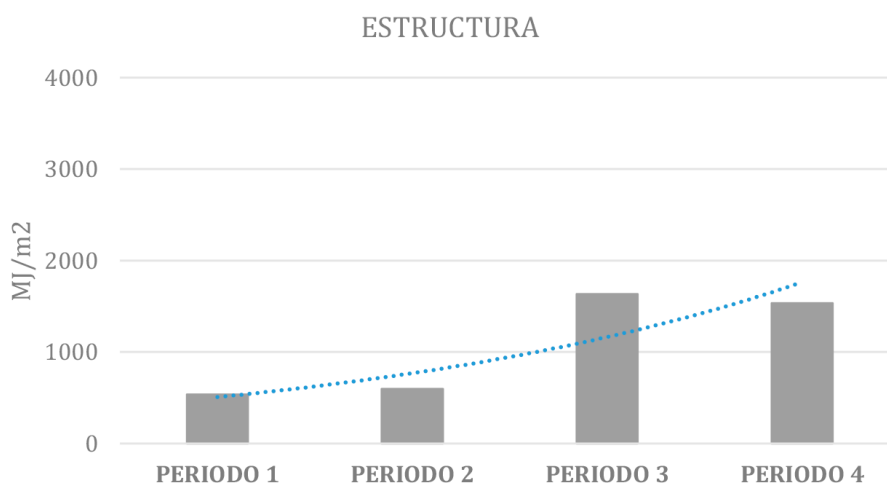


FIGURA 4.49: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la componente de Estructura, clasificado por periodos de análisis.

A pesar del detrimento dado en el último periodo de análisis, la línea de tendencia muestra que la Energía Incorporada en la componente de Estructura ha tendido a incrementarse con el pasar de los años. Como se ha explicado, el incremento o decremento de Energía Incorporada a lo largo de los periodos de análisis se debe al cambio de materialidad en la construcción cuencana, en este caso, la variable de peso de cada material ha sido la más influyente. A lo largo de los periodos de análisis se han identificado varios sistemas constructivos en la componente de Estructura, que han ido apareciendo de acuerdo a cada época. Con el énfasis de dar una visión de la inserción de estos sistemas y del impacto ambiental de cada uno de ellos, a continuación, se evalúa cada uno de estos sistemas a lo largo de los 4 periodos. Con el objetivo de comparar objetivamente el impacto ambiental de estos sistemas constructivos, los resultados de EI total se han dividido para los metros cuadrados de cada uno de los elementos, y por lo tanto se expresan en MJ/m^2 , con lo cual se obviará la variable del peso del material y se obtendrá un índice más manejable en el ámbito constructivo. En la cimentación (Figura 4.50a), el sistema con menor incidencia es el hormigón armado ($72 MJ/m^2$), empleado en los periodos 3 y 4, ya que al reemplazar el peso de la piedra de la cimentación de hormigón ciclópeo ($122 MJ/m^2$) empleado en el periodo 1 y 2, la EI disminuye.

En cuanto a la estructura (Figura 4.50b), la variación de EI entre sistemas es mayor, si se compara la estructura de madera ($172 MJ/m^2$) con la estructura de acero estructural ($293 MJ/m^2$), existe un incremento del 41 %. Entre la estructura de acero estructural ($293 MJ/m^2$), y la estructura de hormigón armado ($701 MJ/m^2$), existe un incremento de 58 %. Es importante destacar que, el gran incremento en la estructura de hormigón armado, se debe al uso de elementos horizontales como las losas, ya que por su composición incrementan en gran parte el peso de la estructura, y por tanto su EI final. En los periodos de análisis, el uso de la madera en la estructura de la vivienda, logra disminuir un 41 % la Energía Incorporada frente a la estructura de acero y un 75 % frente a la estructura de hormigón armado.

Los materiales empleados en las gradas de los cuatro periodos de análisis (Figura 4.50c), han sido la madera, el hormigón armado y el metal, de los cuales, la energía requerida para la grada de hormigón armado ($12 MJ/m^2$) y de metal ($13 MJ/m^2$), son 3 veces mayores a la requerida en el sistema constructivo con madera ($4 MJ/m^2$).

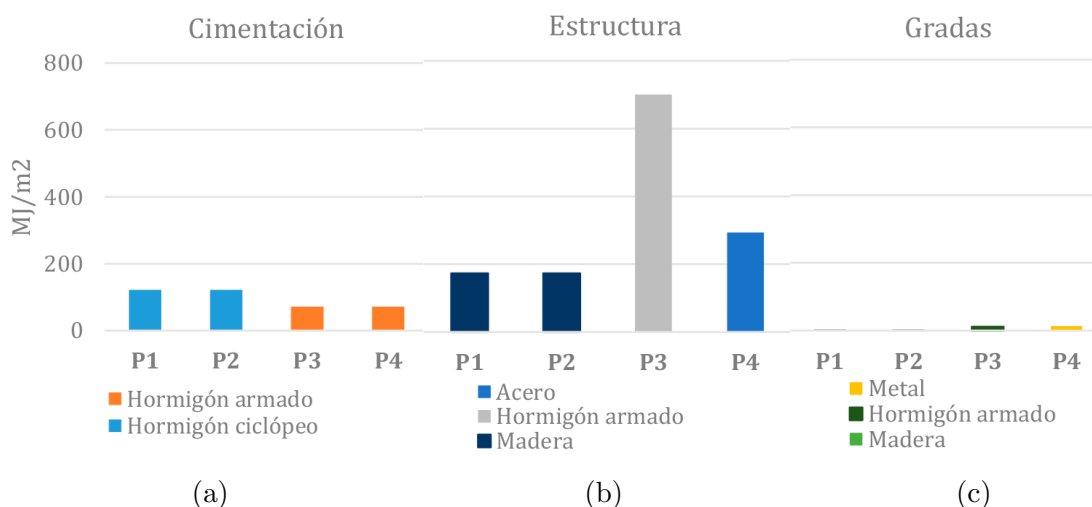


FIGURA 4.50: Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Estructura de los periodos de análisis. (a) Cimentación, (b) Estructura, (c) Gradas.

4.5.2. Envolverte

La ciudad de Cuenca desde el siglo XIX, comenzó a edificar sus viviendas con ladrillo y mortero de cal (Espinosa & Calle, 2002), ha sido una ciudad ladrillera por excelencia, lo cual se ha evidenciado en sus coloridas fachadas. Los sistemas constructivos que han empleado este material han sido modificados con el paso de los años. El mortero de cal fue reemplazado por el mortero de cemento y el ladrillo artesanal poco a poco se fue abriendo paso a la industrialización. Todo esto para ofertar un mejor producto, más resistente y con mayor duración. En consonancia con las coloridas fachadas de ladrillo, se encuentran las cubiertas tejadas, por lo que, las construcciones cuencanas han optado por este material, a pesar de ello, existen viviendas que han preferido una solución más sencilla.

En este contexto, en la Figura 4.51, se muestra la variación de EI que se ha generado a lo largo de los periodos de análisis. En el periodo 1 la Energía Incorporada de la componente de Envolverte es menor en relación con los demás periodos (534 MJ/m^2), esto se debe a que en su cubierta se ha empleado el sistema más sencillo, compuesto por fibrocemento. Además, el cambio de materialidad de ladrillo por bloque en un área menor, ha permitido que se reduzca un porcentaje de EI final en la componente. Para el periodo 2 (664 MJ/m^2), a pesar de que el sistema constructivo en mampostería es el mismo que en el periodo 1, la envolverte de cubierta posee más sistemas constructivos como la adhesión de teja, la misma que permite un incremento considerable de EI . El cual, en relación al periodo 1 aumenta un 20 %.

Entre el periodo 2 (664 MJ/m^2) y 3 (1094 MJ/m^2), el porcentaje de incremento se duplica con relación al periodo 1 y 2. Se muestra un aumento de Energía Incorporada de un 39 %, esto se debe a la inserción del ladrillo visto, un material que para lograr su acabado requiere de un proceso extra de vitrificación que permita obtener el efecto estético deseado. Este proceso incrementa tres veces la Energía Incorporada del ladrillo y por lo tanto la EI final que aporta al componente de Envolverte. Entre el periodo 3 (1094 MJ/m^2) y 4 (599 MJ/m^2), se evidencia un decremento del 45 %. En el periodo 4 las paredes de ladrillo panelón, son reemplazados en el interior por ladrillo tochana, este tipo de ladrillo favorece al decremento de la EI , ya que posee un peso menor que el ladrillo tradicional.

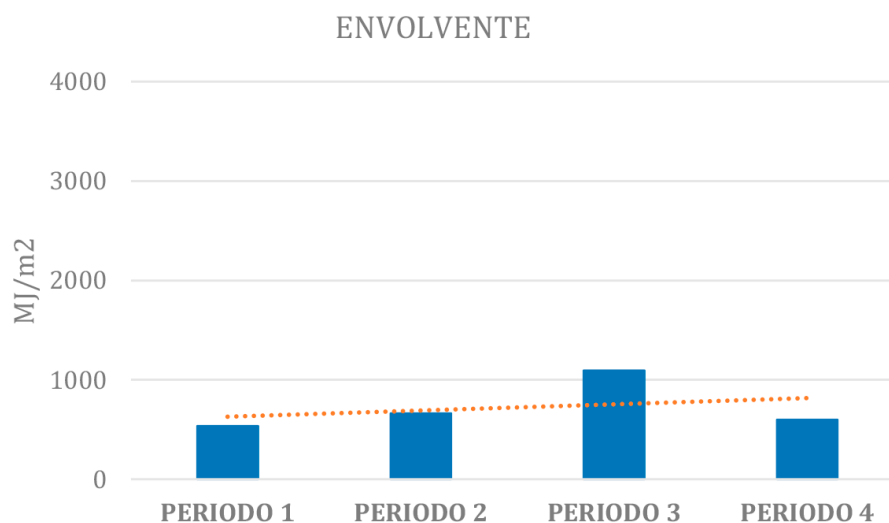


FIGURA 4.51: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la componente de Envolverte, clasificado por periodos de análisis.

El incremento a lo largo de los 4 periodos en este componente es menor que en la componente de Estructura. Sin embargo, la tendencia es creciente pero con menor pendiente. Nuevamente se repite un alza evidente en el periodo 3, y una reducción en el periodo 4. Estos cambios se deben al cambio de materiales y a la proporción de la superficie vidriada en los elementos horizontales y principalmente en los verticales de la envolvente, lo cual afecta al comportamiento interior de los espacios. A lo largo de los periodos de análisis se han identificado varios sistemas constructivos en la componente de Envolvente, que han ido apareciendo de acuerdo a cada época. Con el énfasis de dar una visión de la inserción de estos sistemas y del impacto ambiental de cada uno de ellos, a continuación, se evalúa cada uno de estos sistemas a lo largo de los 4 periodos.

Con el objetivo de comparar objetivamente el impacto ambiental de estos sistemas constructivos, los resultados de EI total se han dividido para los metros cuadrados de cada uno de los elementos, y por lo tanto se expresan en MJ/m^2 , con lo cual se obtendrá un índice más manejable en el ámbito constructivo. Se han identificado cinco sistemas constructivos empleados en mampostería (Figura 4.52a), el ladrillo tochana, el bloque de pómez, mampostería de piedra, ladrillo panelón, y ladrillo vidriado, y 4 sistemas constructivos en cubierta: Entablillado de madera, teja sólo tapa, teja tapa y canal, y fibrocemento solamente. En mampostería el sistema que menor EI requiere es el ladrillo tochana ($136 MJ/m^2$), empleado en el periodo 4 (P4), esto se debe al bajo peso del material, en relación a los demás sistemas. Seguido el bloque ($162 MJ/m^2$), la mampostería de piedra ($230 MJ/m^2$), el ladrillo panelón ($271 MJ/m^2$), empleado en todos los periodos y finalmente, el ladrillo vidriado empleado en el periodo 3 (P3) ($999 MJ/m^2$), es el que mayor EI requiere. En este caso, el uso de materiales con un menor peso permite que la EI total sea menor. Sistemas constructivos que emplean el ladrillo tochana y el bloque logran disminuir la Energía Incorporada un 50% y 40% respectivamente, en relación con la mampostería tradicional de ladrillo panelón.

En cuanto a cubierta (Figura 4.52b), el entablillado de madera es el que menor EI requiere, sin embargo, en el periodo 2 (P2) se ha adicionado teja colocada como tapa y canal, sistema que requiere de $320 MJ/m^2$, por lo que el sistema en conjunto de entablillado con teja requiere de $372 MJ/m^2$. El fibrocemento, el sistema más liviano, empleado en el periodo 1 (P1) requiere de $162 MJ/m^2$. Finalmente, la combinación de fibrocemento/teja colocada solamente como tapa requiere una EI de $325 MJ/m^2$.

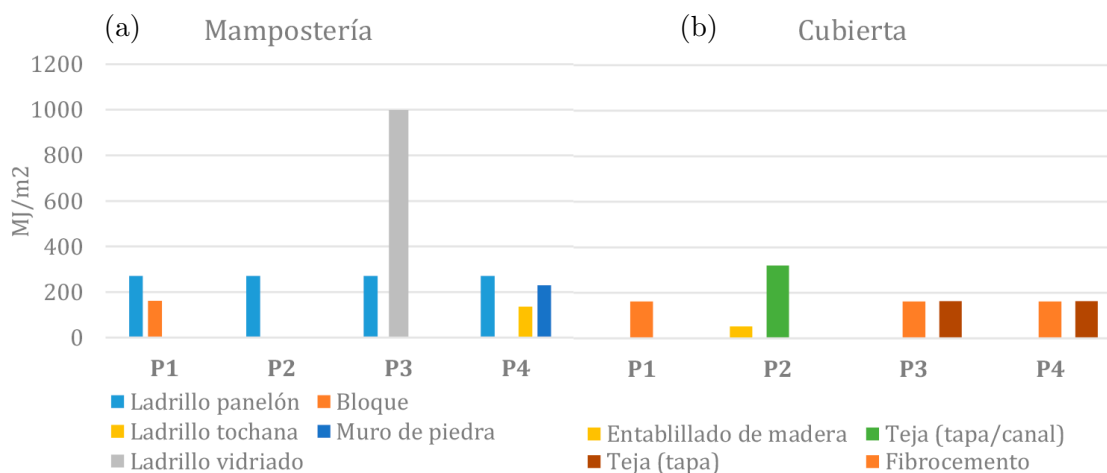


FIGURA 4.52: Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Envolvente de los periodos de análisis. (a) Mampostería, (b) Cubierta.

4.5.3. Acabados

Dentro del componente de acabados, se ha evidenciado que a lo largo de los años, los sistemas se han ido modificando o se han añadido otros. Este hecho se ha suscitado ya que los usuarios e incluso los arquitectos optan por nuevas opciones que aporten a la estética de sus viviendas, muchas veces con el objetivo de emular tendencias y materiales internacionales, sin considerar el impacto ambiental que pueda tener estas importaciones estéticas. En este sentido, la disponibilidad de acabados para pisos, muros, cielo raso y elementos de puertas y ventanas, en la actualidad, es muy variada. Así como la variedad de elementos ha ido en aumento, la Energía Incorporada en cada periodo se ha incrementado de manera notable.

A diferencia de las componentes anteriores, los Acabados muestran una tendencia mucho más marcada en su variación (Figura 4.53), es así que entre el periodo 1 y 2 existe un variación del 41 %. La simplicidad de la vivienda del primer periodo permite que su *EI* sea menor a los otros periodos. El cambio de hierro y vidrio por aluminio y vidrio en ventanas, genera un incremento de la Energía Incorporada requerida en el periodo 2, con relación al periodo 1 dos veces. La tendencia de incremento continúa entre el periodo 2 y 3, en esta ocasión la energía requerida en el periodo 3 se incrementa un 60 % en relación a la requerida en el periodo 2. La inserción de pasamanos de acero inoxidable y mayor superficie vidriada en el periodo 3, marca el notable incremento de *EI* en comparación con el periodo 2

En relación con el periodo 3 y 4 se genera un incremento del 38 % de la *EI*. Esta variación se debe a que a diferencia del periodo 3, en el periodo 4 se emplea vidrio templado en sus ventanas, el mismo que requiere un mayor consumo energético luego de la fundición del vidrio (Ventura & Pardo, 2016). A pesar de que en las componentes anteriores la *EI* requerida en el periodo 4 disminuye, en esta componente se incrementa por la inserción de nuevos materiales con una elevada Energía Incorporada por unidad de peso.

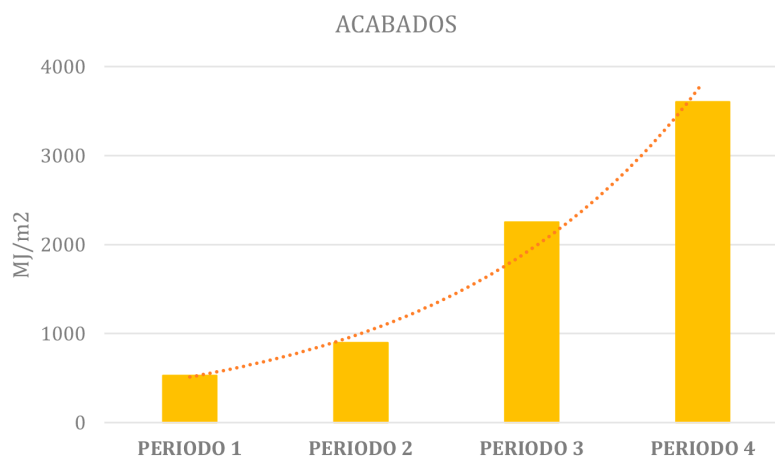


FIGURA 4.53: Energía Incorporada (MJ/m^2) de la componente de Acabados, clasificado por periodos de análisis.

A lo largo de los periodos de análisis se han identificado varios sistemas constructivos en la componente de Acabados que han ido apareciendo de acuerdo a cada época. Con el énfasis de dar una visión de la inserción de estos sistemas y del impacto ambiental de cada uno de ellos, a continuación se evalúa cada uno de estos tipos de acabados a lo largo de estos 4 periodos. Con el objetivo de comparar objetivamente el impacto ambiental de estos sistemas constructivos, los resultados de Energía Incorporada total se han dividido para los metros cuadrados de cada uno de los elementos, y por lo tanto se expresan en MJ/m^2 , con lo cual se obviará la variable del peso del material y se obtendrá un índice más manejable en el ámbito constructivo. En acabados para pisos se han identificado siete sistemas (Figura 4.54), de los cuales, la madera natural es la que menor EI requiere, ya que corresponde a $26 MJ/m^2$. Este sistema se usa en el P1, P2, por lo cual son los periodos que menor EI presentan en esta componente. El caso contrario se evidencia en el P4, donde se usa el porcelanato ($346 MJ/m^2$) y piso flotante ($392 MJ/m^2$), sistemas que en conjunto representan la mayor EI .

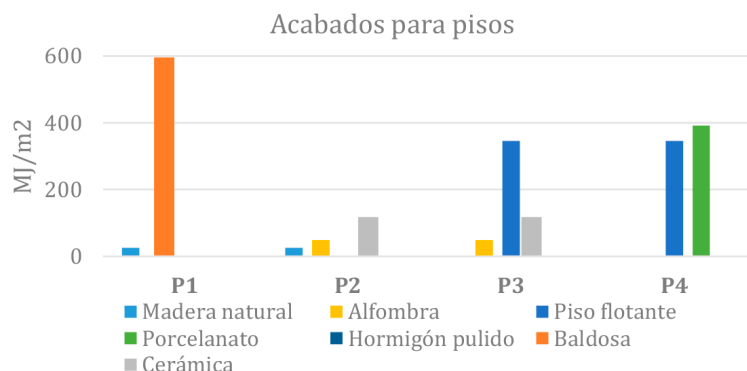


FIGURA 4.54: Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. Acabados para pisos.

En el caso de acabados para muros (Figura 4.55a), los sistemas de mayor incidencia son los que emplean materiales de recubrimiento, como baldosa, porcelanato y cerámica. En el P2, P3 y P4, se emplea enlucido, empaste y pintura, de estos 3 sistemas el enlucido de cemento es el que mayor EI requiere, seguido el empaste y finalmente la pintura. En el caso del cielo raso (Figura 4.55b), el sistema de menor incidencia es el tablero contrachapado ($136 MJ/m^2$) empleado en el P1, mientras que el de mayor EI , es el que emplea yeso cartón y empaste ($236 MJ/m^2$).

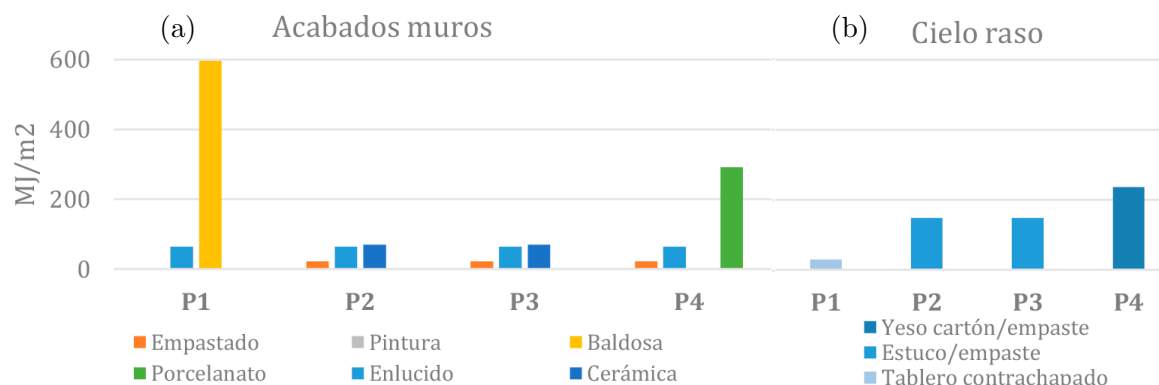


FIGURA 4.55: Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. (a) Acabados para muros, (b) Acabados para cielo raso.

Los sistemas empleados en puertas, ventanas y pasamanos poseen una materialidad similar, en donde se evidencia que el uso de madera natural en puertas disminuye considerablemente el requerimiento energético. El caso contrario se evidencia en los elementos que emplean materiales como el hierro, aluminio y acero, los cuales generan un gran incremento en la *EI* de los sistemas constructivos. Las puertas de los periodos analizados corresponden a 5 sistemas constructivos (Figura 4.56a), la madera natural, empleada en P1 y P4 (48 MJ/m^2), es la de menor incidencia, mientras que en P2, P3, se emplea madera prefabricada (754 MJ/m^2). A más de ello, en los sistemas de puertas vidriadas, en P1, se emplea hierro y vidrio que requiere 384 MJ/m^2 , en el P2 y P3, ya se inserta el uso de aluminio/vidrio (5656 MJ/m^2) que aumenta considerablemente la *EI*, y en P4, el uso de aluminio/vidrio templado (9200 MJ/m^2). En cuanto a ventanerías (Figura 4.56b), en P1 se ha empleado hierro/vidrio (511 MJ/m^2), y en P2 y P3 aluminio/vidrio (3806 MJ/m^2). Para el P4 el vidrio simple es reemplazado por vidrio templado lo cual incrementa en gran parte la *EI*, es así que el sistema conformado por madera/vidrio templado requiere de 6989 MJ/m^2 y el sistema de aluminio/vidrio templado de 9325 MJ/m^2 . Por este motivo, el P4 posee la *EI* más elevada en esta componente.

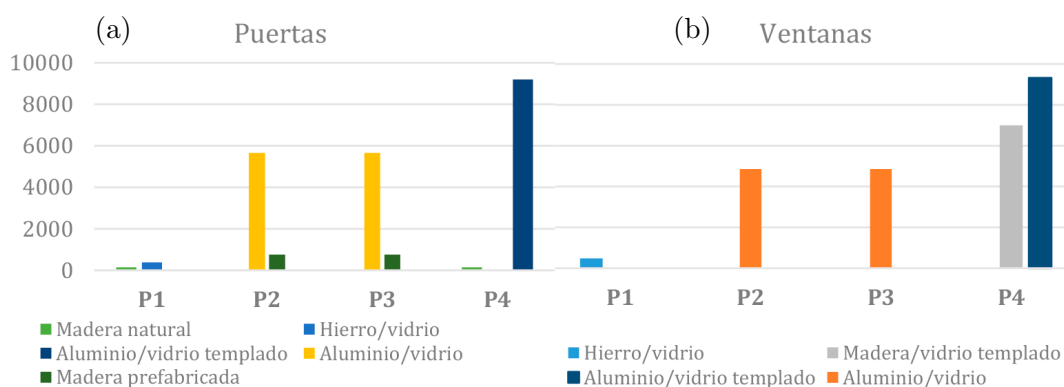


FIGURA 4.56: Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. (a) Acabados para puertas, (b) Acabados para ventanas.

Finalmente, en los sistemas empleados en pasamanos, es aún más evidente que conforme avanzan los años, la *EI* se incrementa (Figura 4.57). De acuerdo a lo mencionado, la madera empleada en el P1 y P2, requería de 71 MJ/m^2 , para el P3, se emplea acero inoxidable que requiere 2753 MJ/m^2 , y para el P4, se cambia a vidrio templado (6980 MJ/m^2), sistema que mayor *EI* requiere.

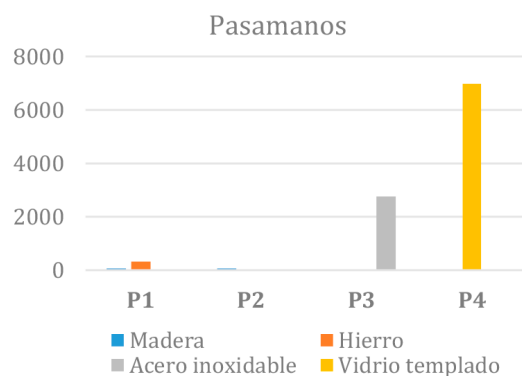


FIGURA 4.57: Comparación de sistemas constructivos empleados en la componente de Acabados de los periodos de análisis. Acabados de pasamanos.

4.6. Variación Total de Energía Incorporada en los Periodos de Análisis

La ciudad de Cuenca se posiciona como la tercera a nivel de país, con mayor cantidad de permisos de construcción emitidos por año (INEC, 2018), a pesar de ello en el sector de la construcción no se ha considerado el consumo energético o el impacto que este sector genera. A nivel general, el incremento de la demanda en el sector de la construcción ha desencadenado en la inserción de nuevos materiales, los cuales permiten acelerar procesos y ofrecer a los ciudadanos calidad, durabilidad y estética en sus viviendas. En este sentido, a través del análisis realizado se ha determinado que efectivamente la Energía Incorporada total en las viviendas de Cuenca se ha incrementado con el pasar de los años. Como se observa en la Figura 4.58, el incremento ha sido progresivo y la mayor alza se ha generado entre el periodo 2 y 3.

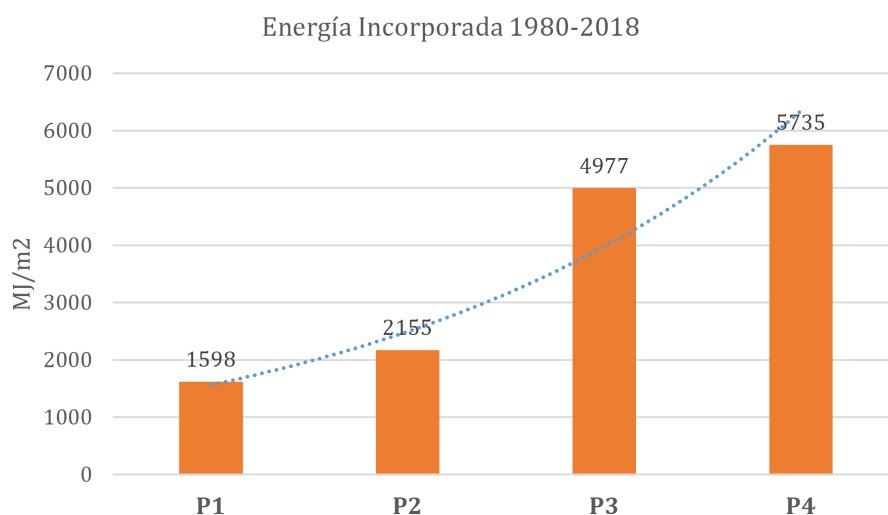


FIGURA 4.58: Energía Incorporada (MJ/m^2) de los periodos analizados.

La variación que existe entre el periodo 1 y 2 se debe a la simplicidad en la construcción del periodo 1 (1980-1989) con relación a la vivienda del periodo 2 (1990-1999). Es decir, el incremento de sistemas constructivos, tanto en la componente Estructura como de Envolverte y Acabados permitió que la EI se incremente en un 26%. Los sistemas constructivos tradicionales, en algunos casos no cumplían con las características técnicas requeridas, es por esto que la modificación en las normas de construcción obligó en gran parte a reemplazar materiales naturales por otros industrializados. El mal manejo de la madera llevó a que sea considerada como un material poco resistente y poco seguro, por lo que la estructura de las viviendas fue reemplazada por un “mejor material”, el hormigón.

En cuanto al crecimiento del periodo 3 (2000-2009) en comparación con el periodo 2, el cual es el más marcado, se ha planteado una pequeña hipótesis teórica en base a fundamentos económicos. Los procesos de dolarización suscitados en el año 1999, permitieron que un año después, en el 2000 el sector de la construcción, creciera un 4,2% (Ramírez

& Armas, 2010). Además, el crecimiento paulatino de las actividades de importación permitieron ampliar la variedad de materiales ofertados en el mercado (Acosta, 2000). El crecimiento del sector de la construcción en el país, depende directamente de la economía del mismo, durante el periodo comprendido entre 2001-2010 la tasa de crecimiento del sector de la construcción en el país, presentó los mayores incrementos dentro del PIB (Producto interno bruto) (García & Tobar, 2019).

En este contexto, es probable que debido a estas eventualidades surgidas en el país, la vivienda del periodo 3 presenta un incremento notable en relación al periodo 2, debido a la inserción de nuevos materiales y nuevas tecnologías. La transición del periodo 2 al 3 se enmarca como el punto de crecimiento más marcado en el incremento de *EI*, ya que entre estos periodos la Energía Incorporada se duplica con respecto al periodo anterior. Posterior a estos periodos, en la transición del periodo 3 al periodo 4 se genera un incremento de 13%. Entre estos dos periodos la variación no se muestra tan elevada debido a que en las componentes de Estructura y Envoltente se emplean materiales livianos que logran disminuir en algo la *EI*, sin embargo, el uso de vidrio templado genera un incremento en la componente de Acabados.

El resultado más evidente es que los avances en la construcción cuencana cada década generan mayor contaminación y requieren de más energía. Existen estudios que determinan que la energía requerida para la construcción de una vivienda representa hasta 50 años el consumo de la misma (Pages, 2012). Sin embargo, en las viviendas analizadas este valor se incrementa notablemente. Con el énfasis de que este trabajo de titulación genere una conciencia ambiental para los lectores, a continuación, se ha traducido los resultados obtenidos en MJ/m^2 de cada periodo, a años de consumo de energía de una vivienda.

La vivienda del periodo 1 en su construcción requiere $444 kWh/m^2$, y el consumo de energía promedio en este periodo es de 150 kWh (CENTROSUR, 2020), resulta que la energía requerida para la construcción de la vivienda es similar a 85 años de consumo, lo cual significa un incremento del 41% en relación a lo establecido en la literatura previa. A pesar de la alarmante cifra obtenida en el periodo 1 (Figura 4.59), la energía consumida ha seguido creciendo, representando 101, 127 y 149 años de consumo de energía promedio para los periodos 2, 3 y 4 respectivamente. Para estos periodos el consumo promedio anual de energía se incrementó a 200 kWh, por lo que es posible determinar que la energía operativa de la vivienda se ha incrementado en estos periodos. En consecuencia, estos resultados muestran que la *EI* consumida en la construcción de la vivienda es igual o mucho más importante que la energía consumida en la vida operativa de la vivienda. De acuerdo con estos datos se puede ver que la energía consumida en la construcción en el último periodo se ha triplicado en comparación con el periodo 1.

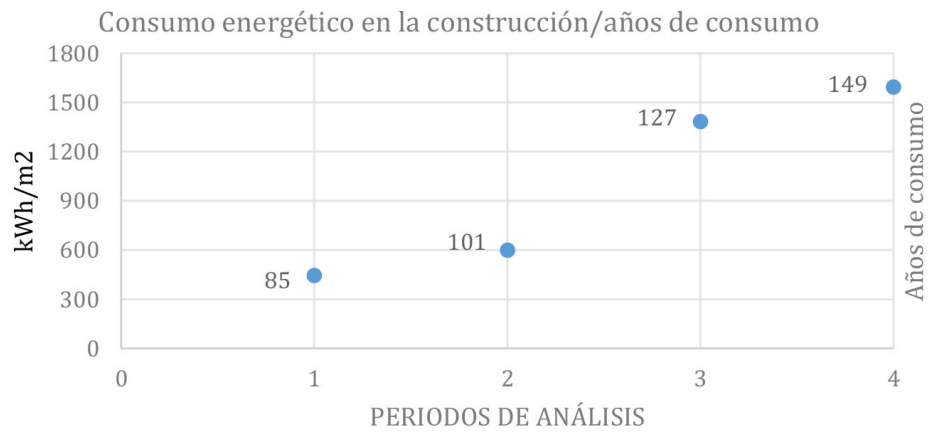


FIGURA 4.59: Consumo energético en la construcción en relación con los años de consumo que representa este proceso. El consumo de cada vivienda se obtuvo a través de los comprobantes de servicio de energía eléctrica, en donde se expresa el valor de consumo en kWh en un promedio de consumo anual.

4.7. Índice de Materiales por m^2

Como se ha visto en los resultados mostrados hasta este punto, el uso de diferentes materiales puede definir al incremento o decremento de Energía Incorporada de una vivienda, por lo tanto, es importante considerar dentro de la programación arquitectónica inicial, el proceso de selección de materiales con baja Energía Incorporada. Considerar el desempeño ambiental desde el inicio del proceso de diseño, permitirá además de reducir los costos de fabricación, disminuir la Energía Incorporada, las emisiones de CO_2 , y a su vez reducir los desperdicios y residuos de la construcción. En el proceso de diseño se determina el 80 % del impacto ambiental que va a generar un producto, por lo tanto es importante desarrollar procesos de producción amigables con el medio ambiente (Morini et al., 2019). En este contexto, con el énfasis de dar una visión de la inserción de nuevos materiales y del impacto ambiental de cada uno de ellos, a continuación se evalúa cada uno de estos a lo largo de estos 4 periodos. Para proporcionar una guía de diseño que se útil para constructores, usuarios, estudiantes y arquitectos, en la Tabla 4.1, se ha reunido los diferentes materiales empleados en los diferentes sistemas constructivos analizados a lo largo de los periodos de estudio con sus respectivos índices de Energía Incorporada por m^2 , o por su unidad de construcción más utilizada en el medio. Aquí se evidencia que tanto los materiales con mayor incidencia en la variable de peso como en la variable de Energía Incorporada por unidad de peso generan un requerimiento mayor de energía.

Tabla 4.1: CATEGORIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EMPLEADOS EN LOS PERIODOS DE ANÁLISIS.

COMPONENTE	MATERIALES	MJ/m^2
ESTRUCTURA	Hormigón	475
	Piedra	199
	Grava	7
	Hierro	526
	Madera	263
	Acero	416
ENVOLVENTE	Bloque de pómez	104
	MAMPOSTERÍA Ladrillo panelón	163
	Ladrillo tochana	86
	Ladrillo vidriado	891
	Fibro cemento	162
CUBIERTA	Entablillado de madera	52
	Teja (tapa y canal)	315
	Teja (Tapa)	158
	Vidrio 9mm	525

		Madera natural	26
		Mortero 1:3	64
	PISOS	Baldosa	436
		Cerámica	38
		Porcelanato	242
		Alfombra	48
		Espuma	1
		Piso flotante	345
		Hormigón pulido	1
ACABADOS		MUROS	Mortero 1:3
	Empaste		22
	Pintura de agua		5
	CIELO RASO	Madera contrachapada	30
		Estuco	126
		Yeso cartón	79
	PUERTAS	Madera natural	156
		Madera prefabricada	766
		Tol de hierro	125
		Tol de aluminio	3321
		Vidrio 6mm	395
	VENTANAS	Vidrio 4mm	263
		Marco de hierro	252
		Marco de aluminio	4517
		Vidrio templado	6980
	PASAMANOS	Marco de madera natural	10
		Madera natural	86
		Hierro	319
Acero inoxidable		2753	
		Vidrio templado	6980

En la componente de Estructura, los materiales que mayor energía requieren son el hierro, el hormigón y el acero, esto se debe a que además de los materiales con mayor peso dentro de la vivienda, los metales y aceros requieren un gran consumo energético en sus procesos de producción (Álvarez et al., 2004). De todos los materiales empleados en la estructura de las viviendas de los cuatro periodos, los que menor EI requieren son los materiales de origen natural, como se evidencia en la Figura 4.60, la madera, la piedra y

la grava son los que poseen los valores más bajos por metro cuadrado de construcción, a pesar del gran peso que posee la piedra y la grava, al ser su origen natural, no requieren consumo energético en procesos de producción o fabricación, lo que los convierte en los menos incidentes.

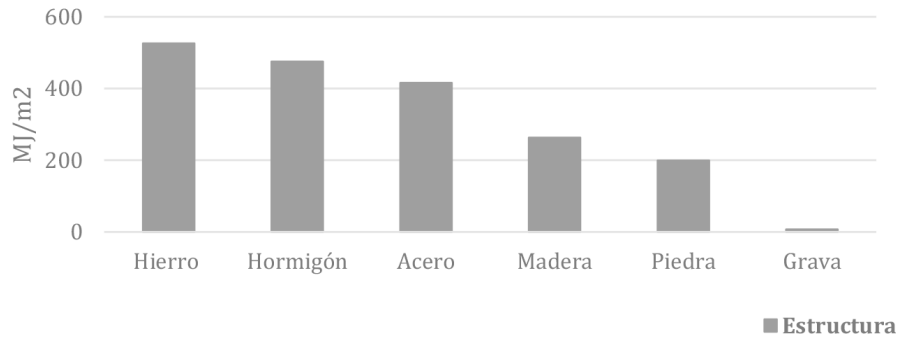


FIGURA 4.60: Materiales empleados en la componente de Estructura de los periodos de análisis.

En cuanto a los materiales empleados en la envolvente de las viviendas, dentro de mampostería (Figura 4.61a), los materiales que menor *EI* requieren son los que menor peso poseen, el ladrillo tochana es un material industrializado que a pesar de tener una *EI* por unidad de peso mayor al ladrillo panelón, posee un peso menor y lo convierte en el material menos incidente de esta componente. El caso contrario sucede con el ladrillo panelón, el cual a pesar de tener una *EI* por unidad de peso muy reducida, su peso hace que la *EI* por metro cuadrado de construcción sea mayor. Sin embargo, al construir muros con menor espesor se pierden las características térmicas que provee un muro con mayor espesor, ya que este último, requiere de mayor tiempo para dejar pasar el calor del exterior al interior y requiere mayor tiempo para liberar la energía acumulada. En el caso de envolvente para cubierta (Figura 4.61b), el material menos incidente es el de origen natural, el entablillado de madera requiere una *EI* muy reducida, a comparación de los demás materiales industrializados como el fibrocemento, la teja y el vidrio.

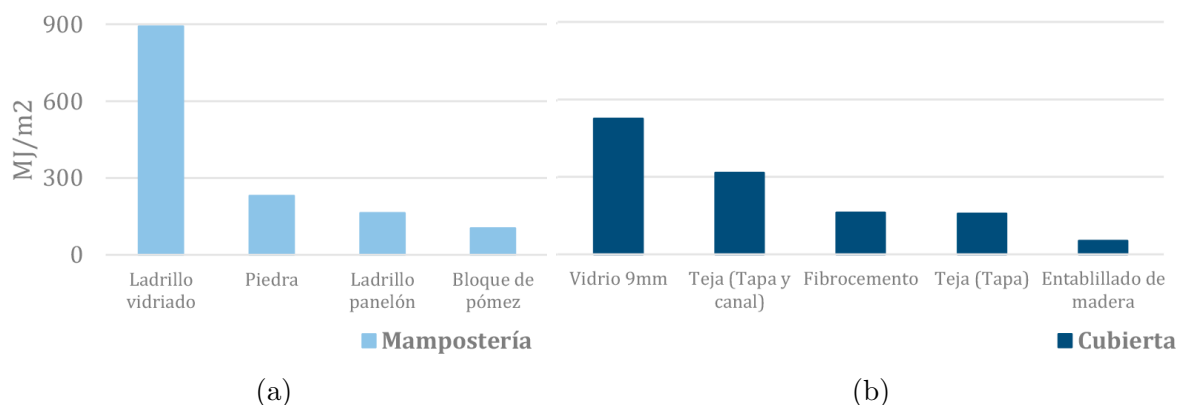


FIGURA 4.61: Materiales empleados en la componente de Envolvente de los periodos de análisis. (a) Mampostería (b) Cubierta.

A lo largo del análisis realizado, se ha evidenciado que la mayor alza en el requerimiento de *EI* se ha presentado en la componente de Acabados, esto se debe al tipo de

materiales empleados en cada uno de los elementos que conforman la componente, los mismos que cada vez requieren más procesos en su producción para obtener el efecto estético deseado. Dentro de acabados, en pisos a pesar de que la espuma tiene el menor valor de Energía Incorporada, este material no funciona como acabado final sino forma parte de un sistema constructivo. Es importante mencionar que dentro del acabado de hormigón pulido, solamente se considera el proceso de pulido por lo que su valor es uno de los más bajos dentro de estos acabados. Después de estos materiales, en la Figura 4.62, se muestra que la madera natural es uno de los materiales que requiere menos EI , a diferencia de los otros que requieren más procesos para su fabricación.

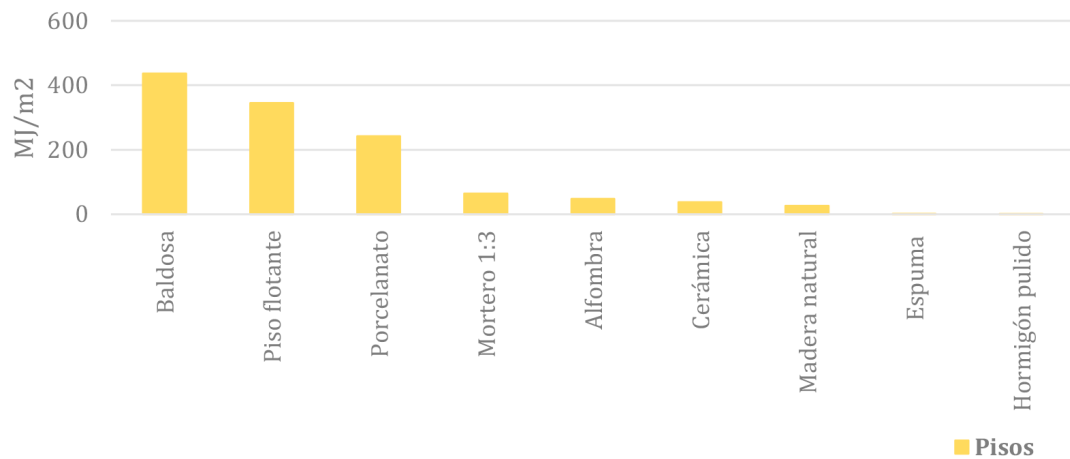


FIGURA 4.62: Materiales empleados en la componente de Acabados, en pisos.

En cuanto a los acabados empleados en muros (Figura 4.63a), la pintura por su reducido peso es el material que menor EI requiere, a pesar de que la EI por unidad de peso del material es mayor a la del empaste y a la del mortero, su EI final es menor a la requerida en los demás materiales. En los acabados de cielo raso de los diferentes periodos de análisis (Figura 4.63b), el material que menor EI demanda es la madera contrachapada, la misma que no requiere de más materiales para obtener su acabado final, a diferencia del yeso cartón que para su uso requiere de acero galvanizado lo que incrementa de manera considerable la EI en el sistema constructivo.

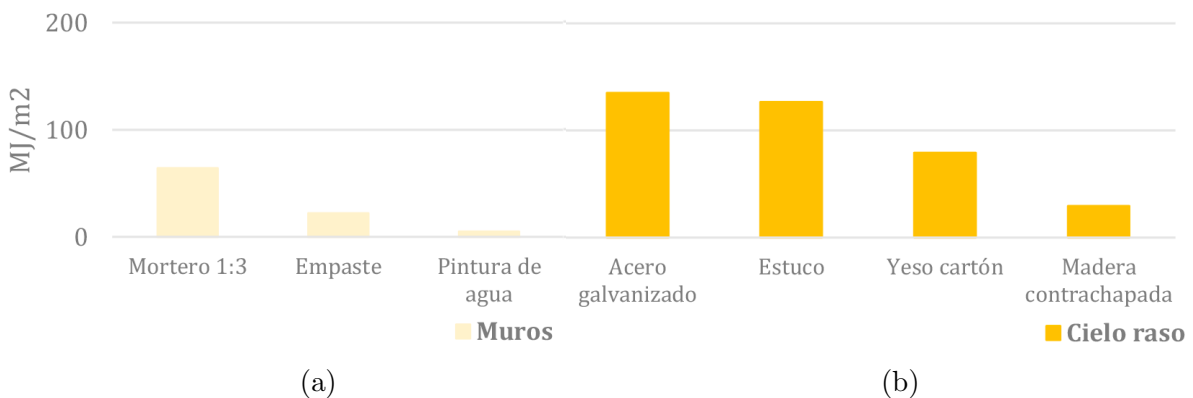


FIGURA 4.63: 88 Materiales empleados en la componente de Acabados, (a) Muros, (b) Cielo raso.

El cambio de materiales en puertas y ventanas han sido los más incidentes en la variación de Energía Incorporada en los periodos de análisis (Figura 4.64), dentro de la componente de Acabados, una vez más, los materiales de origen natural requieren una *EI* menor. A diferencia de la madera, el aluminio requiere de un elevado valor de *EI* para su producción.

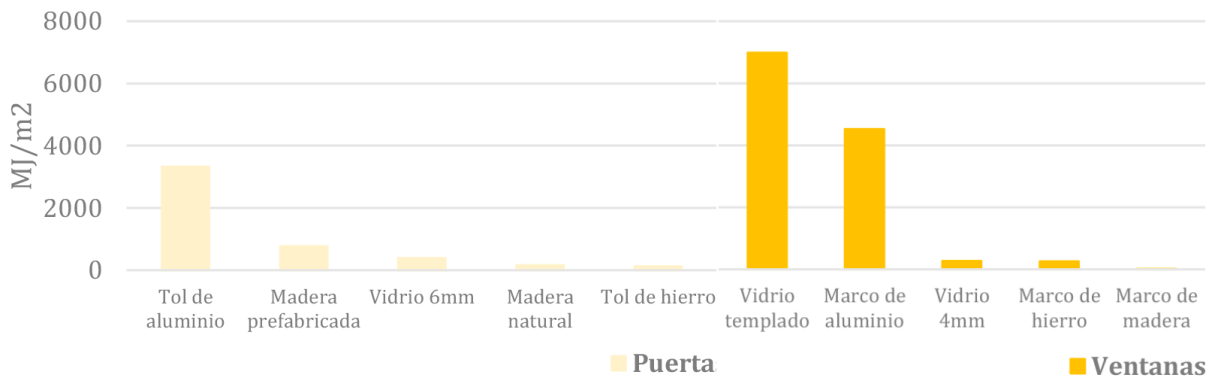


FIGURA 4.64: Materiales empleados en la componente de Acabados, (a) Puertas, (b) Ventanas.

Los materiales empleados en los pasamanos de los periodos analizados han cambiado con el pasar de los años (Figura 4.65), se ha pasado de usar madera natural a usar vidrio templado, este último material ha representado la mayor incidencia dentro del análisis realizado.

Finalmente, es posible mencionar que el cambio de materiales naturales por materiales industrializados genera un incremento en la *EI*, como se ha evidenciado en este análisis, la madera natural requiere el consumo más bajo en todos los elementos constructivos que conforma, a pesar de ello, los requerimientos actuales y las tendencias arquitectónicas que se insertan en la ciudad, han dejado a un lado el uso de este material.

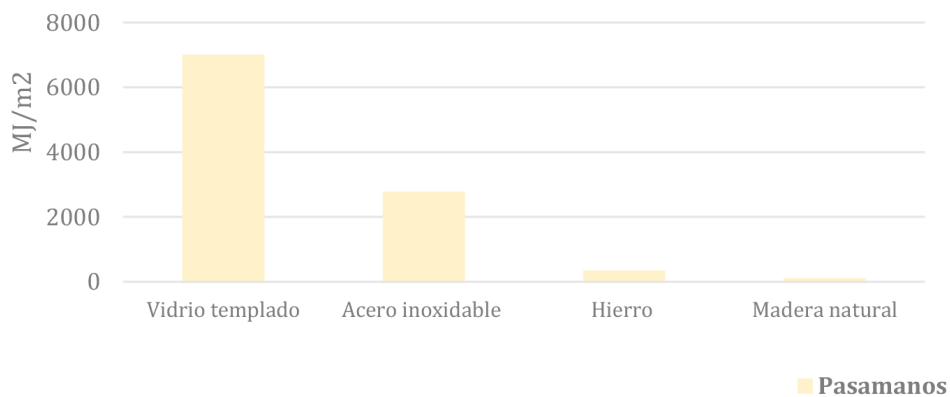


FIGURA 4.65: Materiales empleados en la componente de Acabados de pasamanos.

4.8. Resumen del Capítulo

El análisis desarrollado a lo largo del capítulo muestra que la construcción en la ciudad de Cuenca avanza constantemente, el uso de materiales naturales es reemplazado por materiales industrializados, los mismos que se venden ofreciendo una mejor calidad o simplemente pretenden cumplir caprichos de los usuarios o de los arquitectos, pero no es considerado su elevado efecto contaminante. En Cuenca, en la Estructura de sus viviendas, la madera ha sido sustituida por el hormigón y posterior por el acero estructural. Esta transición muestra que el desarrollo paulatino de los sistemas constructivos en las edificaciones incrementa la *EI*. Las variables de peso y Energía Incorporada por unidad de peso de cada material tienen un papel fundamental dentro del resultado final de *EI*, por ejemplo, a pesar de que el acero estructural, requiere un gran consumo energético en sus procesos de fabricación, debido a su reducido peso, su *EI* final es menor a la del hormigón, el mismo que contrario al acero posee un peso elevado, por lo cual puede llegar a representar un material con mayor impacto ambiental en términos absolutos en la construcción. Todo esto dependerá de la cantidad en que se lo utilice.

La envolvente de las viviendas analizadas, muestra los esfuerzos de lograr paredes con un menor espesor, para ganar una mayor área en sus espacios interiores, en este sentido, se pretende solventar un déficit de espacio, pero se deja de lado una variable imprescindible dentro de la vivienda, el confort térmico. Las condiciones ambientales en los espacios interiores dependen de la envolvente de la vivienda. Con el pasar de los años en la ciudad, las paredes se vuelven más esbeltas, se emplea el vidrio de manera desmedida y se abren vanos cada vez más amplios. La *EI* aumenta pero probablemente las condiciones ambientales interiores empeoren, estas inquietudes se resolverán en el siguiente capítulo. En cuanto a los acabados, el porcentaje de incremento es aún mayor, de igual manera, materiales naturales como la madera son reemplazados por metales procesados altamente contaminantes, los mismos que solamente son considerados desde una perspectiva estética y no de confort.

A lo largo de los periodos de análisis se ha mantenido la constante de incremento de *EI* en las viviendas, es así que para el año de 1980, la vivienda en donde predomina el uso de la madera, requería de 1.5 GJ/m^2 , equivalente a 85 años de consumo, mientras que para el periodo 2, la vivienda construida en 1996, aumenta su requerimiento de energía. Esta vivienda con estructura principal de hormigón armado y la estructura complementaria aún de madera requería de 2.1 GJ/m^2 , lo que equivale a 101 años de consumo.

En el siguiente periodo, la vivienda edificada en el año 2008, con una estructura en su mayoría de hormigón armado, con pequeñas áreas de acero estructural, requirió para su construcción de 5 GJ/m^2 , lo que equivale a 127 años de consumo. Finalmente, la vivienda del periodo 4, edificada en el año 2017 requirió para su construcción de 6 GJ/m^2 , lo que se traduce a 149 años de consumo energético. El cambio de ladrillo panelón por ladrillo tochana y el reemplazo de estructura de hormigón armado por estructura de acero, disminuye el peso de los materiales en la vivienda y por lo tanto reduce su Energía Incorporada final, sin embargo, la predominancia de grandes aberturas vidriadas y sumado a ello el uso de vidrio templado genera un notable incremento en la *EI* final de la vivienda. En consecuencia, **efectivamente la *EI* a lo largo de los periodos analizados ha tenido un incremento constante, pero, este hecho ¿ha aportado beneficios térmicos a las viviendas?**

capítulo 5

Propuesta

5.1. Resultados Principales

Tabla 5.1: RESULTADOS PRINCIPALES PARA APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS EN LA PROPUESTA.

	RESULTADOS	APLICACIÓN PROPUESTA
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1. El uso de materiales locales reduce la <i>EI</i> requerida en los materiales de construcción, ya que evita la importación y por tanto el gasto de energía por transporte.	Uso de materiales locales, naturales y otros en estado puro.
	2. Recomendación de uso de materiales naturales como la madera nativa, debido a que puede llegar a reducir la <i>EI</i> hasta un 82 %, y su uso responsable lo convierte en un material reciclable.	
	3. En la fase conceptual de diseño se define el 80 % del impacto ambiental que va a generar el producto, por lo que se sugiere establecer la selección de materiales desde la etapa inicial de diseño.	En base a los resultados obtenidos en el Capítulo 4, considerar los materiales con menor demanda de energía, en el diseño inicial.
	4. Por lo general, la obra gruesa de las edificaciones, es la que mayor incremento genera en la <i>EI</i> de las viviendas, esto debido al gran peso de los elementos que lo componen.	Mixtura de uso de hormigón y madera para reducir el peso de la estructura y por tanto reducir la <i>EI</i> final de la componente de estructura.
	5. Se propone la sustitución de ciertos componentes para el hormigón, para así reducir su <i>EI</i> final, sin embargo, son estudios experimentales aplicados en otros contextos, por lo que la aplicabilidad dentro de la ciudad de Cuenca deberá ser validada.	
	6. El consumo energético se relaciona con los hábitos constructivos del lugar donde se edifica.	Uso de materiales tradicionales en la ciudad, ya que estos han mostrado un menor consumo de energía.

ANÁLISIS DE RESULTADOS	Estructura	1. Cimentación: El uso de hormigón armado demanda un valor menor de EI en relación al hormigón ciclópeo, esto se debe a que el peso del material en el hormigón ciclópeo es mayor que el hormigón armado.	Se propone hormigón armado, y en diseño estructural se sugiere zapatas aisladas, lo cual está vinculado directamente con la capacidad portante del suelo.
		Envolvente	2. Estructura: De los materiales utilizados en columnas de los periodos analizados, el acero es la que menor energía demanda, dado su bajo peso, sin embargo, es uno de los materiales más importados en el país, por lo que se incrementa la energía requerida en transporte y puesta en obra. Por su parte, la estructura de hormigón armado, en base a los resultados obtenidos, se ha evidenciado que en la estructura vertical se genera un menor impacto que en la estructura horizontal, esto debido a la cantidad de material utilizado en cada uno de los elementos. En la estructura horizontal, como se ha mencionado, los elementos de hormigón armado, representan el mayor peso en la vivienda y en consecuencia mayor EI (vigas de entepiso y cubierta), mientras que el material empleado con menor EI es la madera, similar a los resultados obtenidos en elementos de circulación vertical.
1. Mampostería: El material con menor EI es el ladrillo tochana, sin embargo, posee desventajas térmicas en relación al ladrillo panelón.	Uso de ladrillo panelón, sujeto a modificaciones, en base a simulaciones digitales.		
2. Cubierta: El entablado de madera junto con la teja representan la menor demanda de EI en este elemento.	Uso de entablado de madera y teja, sujeto a modificaciones, en base a simulaciones digitales.		
3. Altas pendientes en cubierta requieren mayor cantidad de material por lo que demanda mayor EI .	Se propone sistemas simples modulares para la estructura.		

	<p>1. La madera como material natural, es la que menor <i>EI</i> demanda en todos los elementos considerados dentro de acabados de las viviendas analizadas.</p>	<p>Uso de madera en principales acabados de la vivienda.</p>
	<p>2. El vidrio simple demanda un valor menor de <i>EI</i>, a diferencia del vidrio templado, sin embargo presenta desventajas térmicas.</p>	<p>Aun cuando presenta desventajas térmicas el vidrio simple es suficiente para el clima de la ciudad de Cuenca.</p> <p>El problema radica en el exceso del uso de la superficie vidriada.</p>
Acabados	<p>3. Incremento progresivo de superficie de ventana/pared, resulta en incremento sustancial de <i>EI</i> en cada periodo. En consecuencia, el vidrio es el mayor causante del incremento del <i>EI</i> esto por el uso desmedido de superficie vidriada.</p>	<p>Reducir la proporción ventana/pared a 30 %, con lo que se logra controlar el flujo de captación solar y las pérdidas de calor en la noche.</p>
	<p>4. Uso de mortero de cemento para enlucido, empaste y pintura como acabados en mampostería incrementa un 10 % la <i>EI</i> en acabados.</p>	<p>Emplear dentro de la propuesta, materiales en estado puro.</p>
	<p>5. Junta de mortero de cemento para unión de ladrillos de 2cm incrementa 10 % la <i>EI</i>.</p>	<p>Disminución de espesor de la junta de mortero de 2cm a 1cm, y junta a media caña.</p>
	<p>6. Uso de estuco con empaste y yeso cartón con empaste en cielo raso, incrementa la <i>EI</i> entre 10 % y 15 %.</p>	<p>Eliminación de cielo raso, uso de ductos para instalaciones sanitarias.</p>
<p>Mayor cantidad de material, mayor consumo de energía.</p>		<p>Aplicación de criterio de diseño de modulación para disminuir el desperdicio que se genera en la construcción y por tanto reducir el valor de <i>EI</i>.</p>

Efectivamente la *EI* desde el año 1980-2018 se ha incrementado un 72%, a pesar de ello el confort no ha sido considerado.

Se proponen estrategias pasivas para mejorar el confort, como la orientación y masa.

Para reducir la *EI* se proponen estrategias de modulación y uso de materiales con baja *EI*.

En base al análisis realizado en el capítulo anterior, se ha podido definir que la Energía Incorporada en las viviendas de Cuenca, se ha incrementado a lo largo de los periodos analizados. Además, este análisis muestra una tendencia en el uso de nuevos materiales, así como nuevos sistemas constructivos que requieren un alto consumo de energía, sin embargo, no se ha considerado las repercusiones térmicas que puedan tener estos cambios en el interior de las viviendas. En este contexto, el objetivo general de esta tesis es proponer el diseño de una vivienda enfocado en dos aspectos. Por un lado, el diseño considera las condiciones térmicas interiores de la vivienda en busca de mejorar el confort térmico del usuario, y por otro lado, se pretende disminuir el impacto ambiental generado por la construcción de la vivienda, a través de la reducción de Energía Incorporada. En base a esto, el diseño planteado se ha enfocado en varios criterios que prioricen estos dos aspectos, con el fin de dar un fundamento al proyecto arquitectónico desde el punto de vista de la sostenibilidad.

5.2. Criterios de Confort Térmico

Para lograr un diseño que logre mejorar el confort en los espacios interiores es fundamental considerar las condiciones climáticas del sitio. A continuación, serán descritas estas condiciones del caso de estudio.

Clima de Cuenca

El clima de la ciudad de Cuenca se enmarca dentro del mapa de subclimas del Ecuador del INAMHI como un Clima Subhúmedo, Mesotérmico templado frío. Los asentamientos pertenecientes a esta zona, se localizan en la región interandina, en superficies con una altura en un rango de 1900 msnm a 3200 msnm, las temperaturas medias anuales oscilan entre los 12° y 20°C, con una humedad relativa entre 65 %-85 % y precipitaciones anuales fluctúan entre los 500mm y 2000mm. De manera específica, la temperatura media anual de la ciudad de Cuenca es de 15,7°C., con una oscilación media diaria de 9°C y una oscilación media anual de 2°C. Los meses con mayor descenso de temperatura son junio, julio, agosto y septiembre y el día más frío del año es el 11 de agosto. En cuanto a los niveles de humedad, el valor promedio anual es de 62,9%.

La temperatura requerida para generar una sensación de confort en el usuario, se encuentra entre los 21°C y 24°C., y la temperatura media de la ciudad está muy por debajo de este valor. De acuerdo a la Figura 5.1, la temperatura de Cuenca en la mayor parte del día y en casi todo el año no alcanza las condiciones de confort térmico, con excepción en los máximos de temperatura en los meses desde noviembre a marzo. Para plantear unas estrategias en respuesta a este clima, es necesario considerar la variable de temperatura y humedad relativa para definir el grado de confort en el que se encuentra el clima de la ciudad y en base a ello generar estrategias en busca del confort.

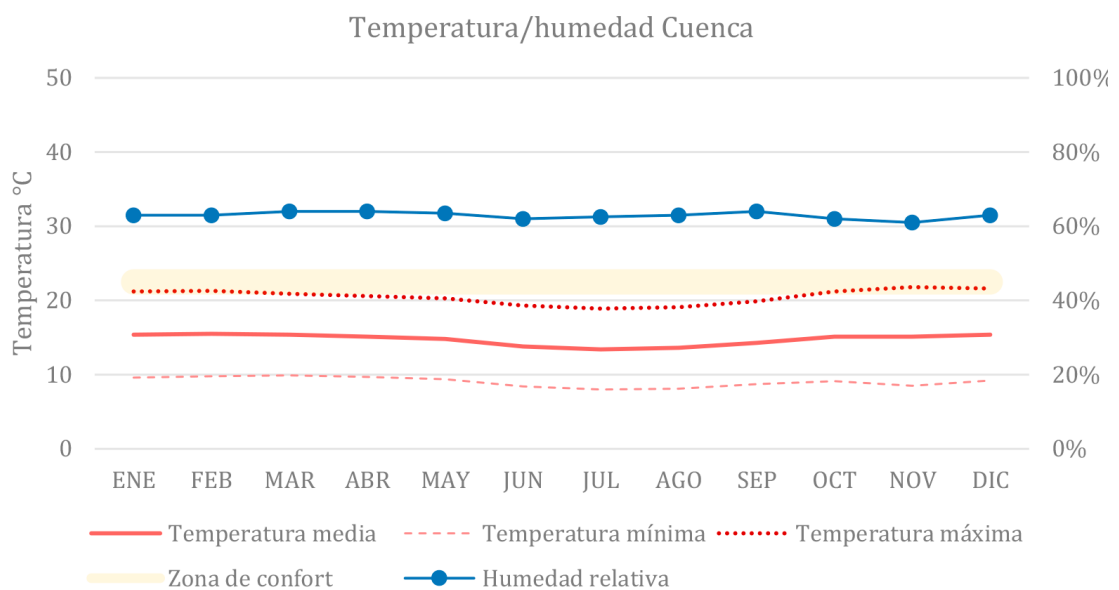


FIGURA 5.1: Promedio mensual de la temperatura máxima, media, mínima y humedad relativa media de la ciudad de Cuenca.

En este sentido, se ha utilizado el ábaco psicrométrico de Givoni para evaluar las estrategias a implementar. Al posicionar la temperatura media anual de la ciudad, 15.7°C., y la humedad media anual, 62.9%, en el ábaco psicrométrico, se obtiene la zona en la que se encuentra la ciudad de Cuenca, la cual se define como **II: Zona de control posible con captación solar e inercia** (Figura 5.2).

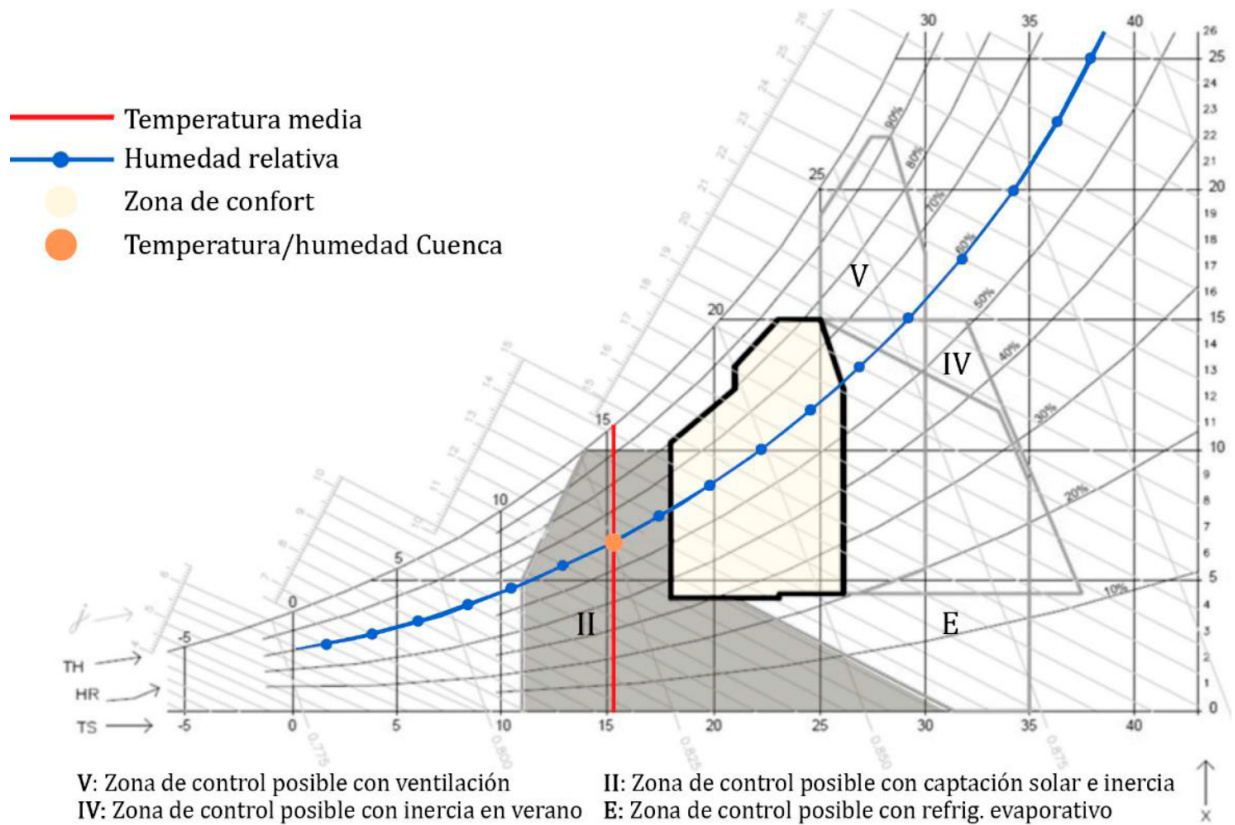


FIGURA 5.2: Ábaco psicrométrico de Givoni, con temperatura media y humedad relativa de la ciudad de Cuenca.

En base a estas condiciones para la generación de la propuesta serán consideradas las variables de orientación y masa térmica, la primera permitirá la captación solar y la segunda proporcionará a la vivienda de mayor inercia térmica para captar calor en el día y retrasar más el aporte de calor en la noche, además de que por su espesor, puede evitar pérdidas de calor en este periodo.

5.2.1. Orientación

En la literatura revisada se plantean recomendaciones sobre como orientar la vivienda para lograr aprovechar al máximo las condiciones bioclimáticas del entorno, por lo que, la orientación de la vivienda corresponde a las condiciones climáticas de la región, en particular debe ser considerado el recorrido solar. En este sentido, en el Ecuador, el sol sale por el este y se oculta por el oeste, por lo que estas dos fachadas serán las más beneficiadas en cuando a captación solar. Por este motivo, la fachada con mayor longitud se orienta

al este y oeste, para permitir que la mayor cantidad de espacios capten la radiación solar emitida. Aunque estas dos fachadas captan prácticamente la misma radiación, la fachada oeste tiene una ventaja porque puede captar radiación hasta el final de la tarde, con lo cual puede almacenar calor durante mayor tiempo en la noche, que es cuando se necesita que ceda el calor. Por lo tanto, los espacios habitables serán priorizados para ser ubicados en esta fachada (Figura 5.3).

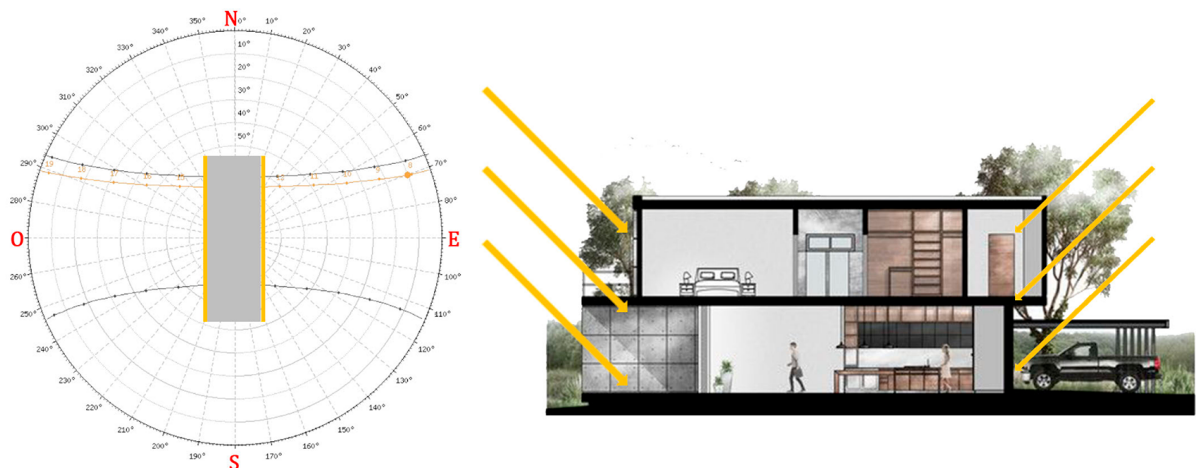


FIGURA 5.3: Orientación recomendada para obtener mayor captación solar en los espacios interiores.

En base a estas recomendaciones, y al considerar el tipo de orientación e implantación de las viviendas analizadas en el capítulo anterior, la propuesta será orientada en sentido norte-sur, y sus fachadas con mayor longitud serán ubicadas en las fachadas este y oeste. Además, en la fachada oeste serán colocados los espacios habitables o con mayor ocupación para que posean un mayor tiempo de captación solar y por lo tanto se genere una acumulación de calor durante más tiempo en el periodo nocturno. Esta disposición permitirá colocar las ventanas en cada uno de los espacios habitables para así captar radiación solar directa para calentar e iluminar estos espacios (Figura 5.4). No obstante, el resto de espacios que tienen una menor habitabilidad, orientados a norte y a sur serán iluminados por radiación difusa, con lo cual todos los espacios pueden contar con iluminación natural cumpliendo las normativas de iluminancias por arriba de 200 o 300 luxes de acuerdo a la actividad de cada espacio.

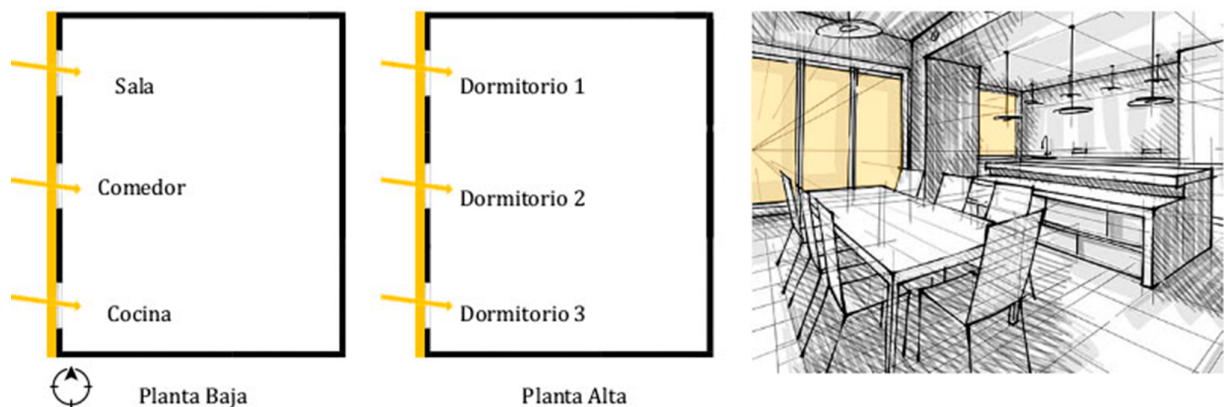


FIGURA 5.4: Priorización de espacios habitables o con mayor ocupación, para ser ubicados en la fachada oeste.

5.2.2. Masa

La temperatura interior de un ambiente refleja las variaciones de temperatura generadas en el exterior, en este sentido la masa térmica regula estas variaciones u oscilaciones, por tanto, mientras más masa tenga la envolvente de una vivienda, menores serán las oscilaciones de temperatura interior. Al considerar una mampostería con mayor masa térmica es posible retrasar más el paso de calor hacia el interior, es decir se genera un mayor retraso en el paso del flujo de calor captado en el día, con lo cual a su vez se puede reducir las pérdidas en la noche (Figura 5.5).

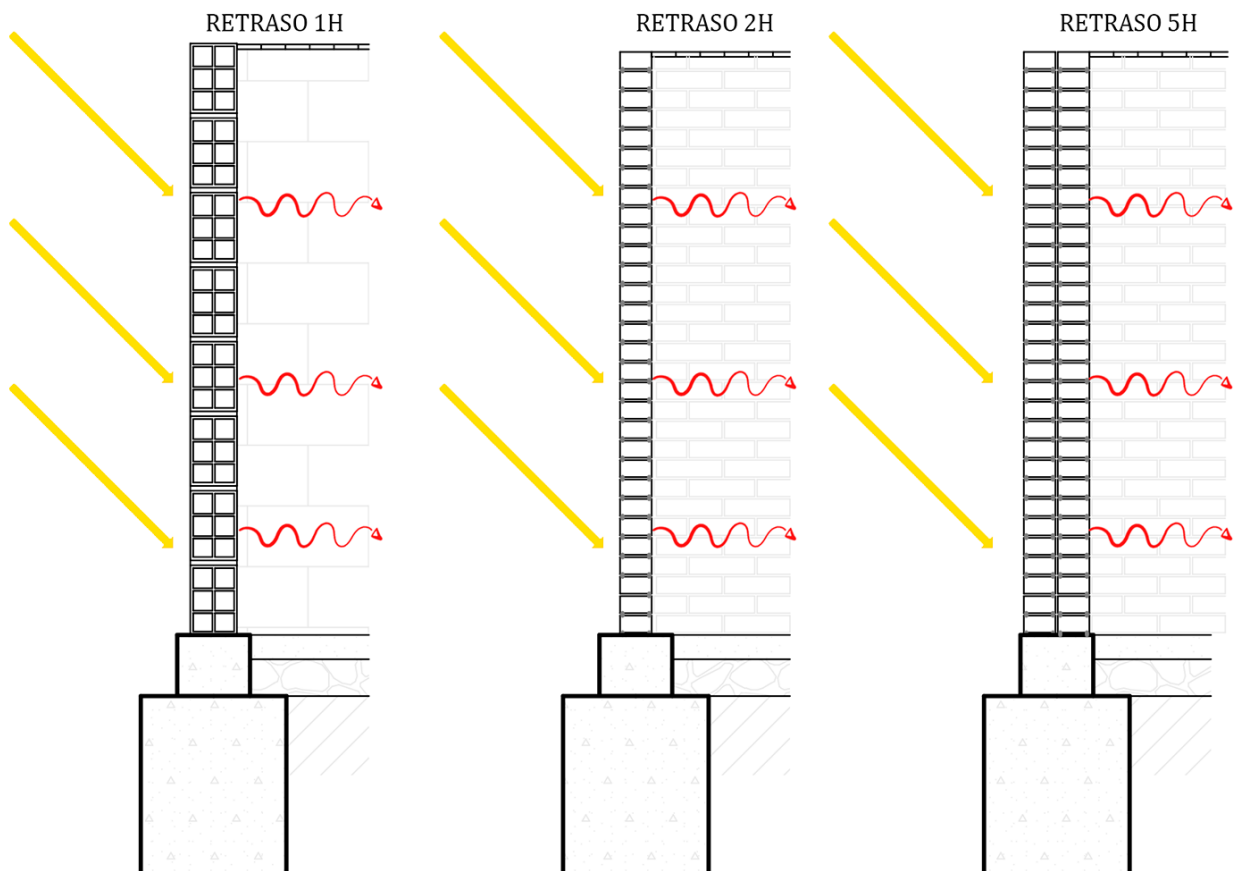


FIGURA 5.5: Mampostería con diferentes masas térmicas, a) Ladrillo alivianado, b) ladrillo macizo, c) Pared doble de ladrillo macizo.

A más de considerar la masa térmica en mampostería, es importante estimar el porcentaje de ventana que se va a establecer en la fachada, ya que las secciones vidriadas son las principales responsables de las ganancias de calor, por radiación directa, sin embargo, también son las principales responsables de las pérdidas de calor. A pesar de que en la actualidad existen otras tipologías de vidrios que permiten solventar las grandes ganancias y pérdidas de calor que provoca el vidrio simple, éstas alternativas para ser empleadas en la construcción requieren de una elevada Energía Incorporada, sumado a esto en el medio existe una comercialización muy baja de estos sistemas, por lo que la importación de estas tecnologías aportarían un gasto de energía aún más elevado.

De acuerdo a lo dicho, dentro de la propuesta se ha considerado el uso del vidrio simple para no generar incrementos en la EI , y para solventar las desventajas térmicas del vidrio simple, será estimado un porcentaje de 30 % de superficie vidriada (Figura 5.6). Este porcentaje se ha basado inicialmente en bibliografía (Serra & Coch, 1995), sin embargo, ha sido ajustado a través de las simulaciones digitales realizadas posteriormente, donde se explicará con mayor detalle este porcentaje.

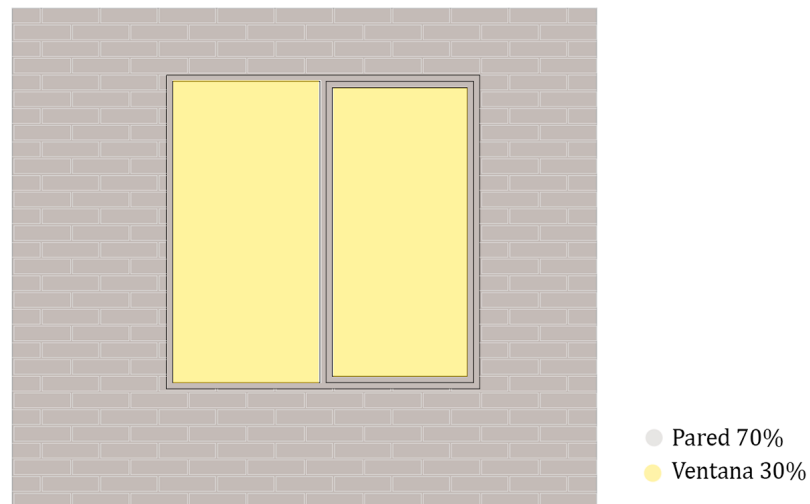


FIGURA 5.6: Consideración de porcentaje de mampostería y superficie de ventana.

Otra condición considerada, para aportar al mejoramiento del confort interior, es establecer un diseño de dos plantas, ya que de esta manera se genera mayor compacidad en la vivienda, lo que significa que hay menos pérdidas de calor, dado que existe menor superficie expuesta al exterior, en comparación con una vivienda de una sola planta (Figura 5.7).

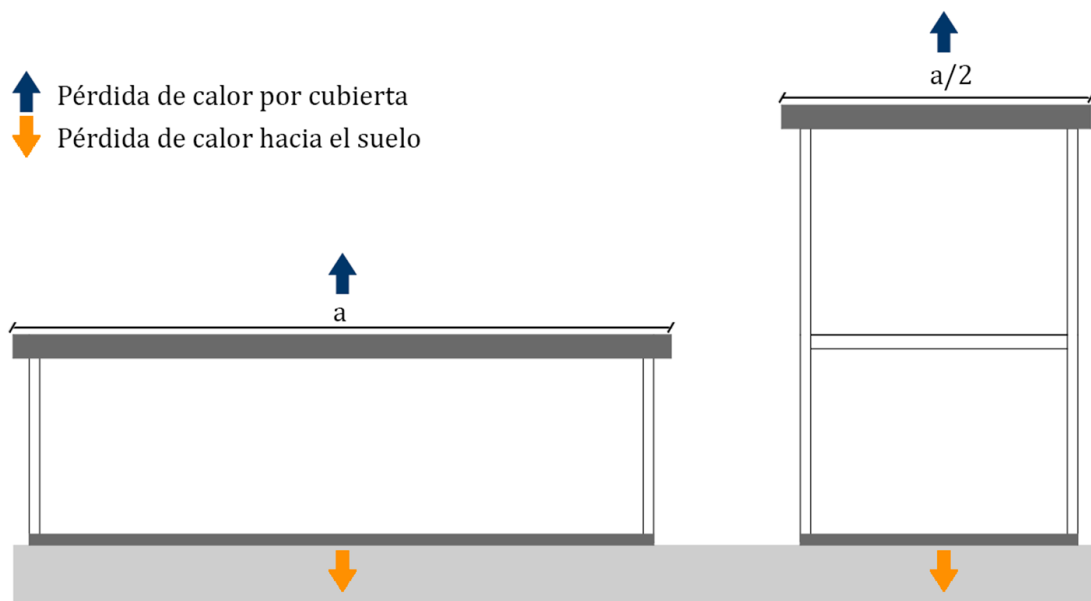


FIGURA 5.7: Pérdidas de calor generadas en una vivienda de una planta y una vivienda de dos plantas.

5.3. Criterios de Reducción de Impacto Ambiental

Para plantear el diseño de la edificación, será considerado el área y los espacios en base a información estadística. Según la última Encuesta de Edificaciones (ENED), realizada en el país, la ocupación predominante en las viviendas de Cuenca es unifamiliar, con un área de construcción promedio de 155 m^2 (INEC, 2018), además el promedio de personas por hogar es de 3,7 es decir, en una vivienda unifamiliar habitan entre 3 y 4 personas. Por lo tanto, la propuesta de vivienda se enfocará en el grupo familiar predominante de 4 personas en la ciudad de Cuenca, para proponer un diseño que cubra las necesidades de ocupación en la actualidad. Como se ha mencionado previamente, el objetivo principal de esta propuesta es reducir el impacto ambiental que genera la construcción, por lo que se han considerado dos criterios.

En primer lugar, se ha optado por establecer un diseño modular que permita el aprovechamiento eficaz de los materiales y disminuya el desperdicio, tanto en la componente de Estructura, Envolvente y Acabados. Para lograr este objetivo se ha planteado un diseño con formas sencillas que parten de cuadrados de $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, estas formas permiten establecer los espacios de una manera óptima dentro de la vivienda y además logran reducir el gasto de materiales. Dentro de estructura serán modulados los pórticos en base a las dimensiones de los materiales que serán empleados.

De igual manera en Envolvente la altura de piso a piso será establecida en base al dimensionamiento del material, para disminuir cortes y desperdicios de los materiales. En cuanto a la envolvente vertical, serán consideradas cubiertas planas para reducir el incremento de material debido a pendientes altas. En la componente de Acabados será establecido algo similar, en pisos serán considerados materiales que puedan ser insertados en la modulación planteada evitando en mayor medida que se generen cortes y material sobrante. En ventanería y puertas se establecerá un modelo que sea replicable para todos los espacios y que además elimine el uso de una subestructura para sostener el dintel que se genera en la parte superior de estos elementos.

En segundo lugar, en base al análisis realizado en el capítulo previo serán seleccionados los materiales con menor requerimiento de Energía Incorporada, para ser plasmados en el diseño de vivienda, para que junto al criterio de modulación se logre una propuesta de diseño que logre reducir el impacto ambiental que genera el sector de la construcción en la actualidad. A continuación se detallan los criterios planteados en estos dos aspectos, la estrategia de modulación y los materiales en base al análisis de los capítulos anteriores.

5.3.1. Modulaci3n

El sector de la construcci3n a m1s de ser el responsable del 40 % de emisiones de CO₂, genera el 30 % de residuos s3lidos, por lo que es prioritario reducir estos valores desde la concepci3n de dise1o inicial de la vivienda. De acuerdo a lo mencionado, el primer criterio considerado para lograr la reducci3n del impacto ambiental dentro de la propuesta es la modulaci3n de espacios, ya que a trav3s de esta es posible considerar dimensiones que permitan ahorrar material y evitar que se genere mayor cantidad de residuos dentro de la construcci3n. En base a estas consideraciones, la modulaci3n en planta de la vivienda ha surgido a partir de la uni3n de bloques de 3m x 3m, esta dimensi3n responde a la medida comercial de elementos de madera, los cuales poseen dimensiones de 3 metros o m3ltiplos de este n3mero.

Sin embargo, al contextualizar la propuesta con sus respectivos espacios se evidenci3 que, en base a la circulaci3n requerida ser1a necesario incrementar la dimensi3n de uno de los m3dulos, ya que, como se muestra en la Figura 5.8, al colocar la circulaci3n el m3dulo de sala, comedor, cocina y dormitorios, que son los espacios priorizados en la vivienda por considerarse habitables o de mayor ocupaci3n, se reduc1an a una dimensi3n de 2.10m y la dimensi3n m1nima para un dormitorio es de 2.70m x 2.70m, de acuerdo a normativas locales.

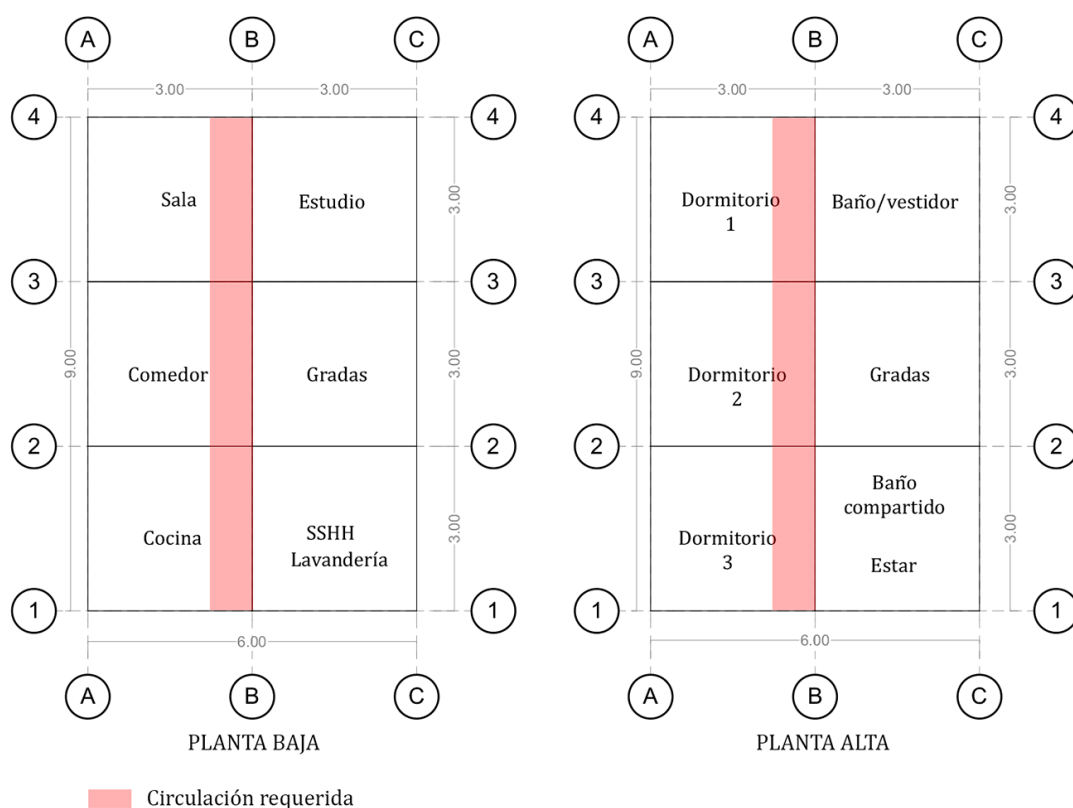


FIGURA 5.8: Primera modulaci3n planteada en base a formas cuadradas de 3m x 3m.

Al no cumplir con la circulación requerida fue considerada una segunda opción para modular los espacios interiores. En base a esto fue modificado el módulo oeste, ubicado entre los ejes A-B ya que en este se ubican los espacios priorizados por accesibilidad solar en la vivienda. Para modificar la primera modulación establecida, se consideró una circulación principal recta que va de norte a sur en las dos plantas. Además, en base a los requerimientos funcionales y el objetivo de evitar desperdicios de los materiales de construcción, se estableció que todos los espacios habitables van a tener una dimensión mínima de 3m x 3m. De acuerdo a lo mencionado, el módulo ubicado entre los ejes A-B, fue incrementado a 4.5m (Figura 5.9). Al modificar este módulo se permite que los espacios habitables posean una dimensión de 3m x 3.5m, y se genera la circulación requerida de 1m. A más de ello, es posible adquirir en el mercado vigas de esta dimensión, por lo que no se requiere realizar cortes en el material.

Por lo tanto, la modulación horizontal queda definida por dos módulos, el que se ubica entre los ejes A-B posee una dimensión de 4,5m y el módulo ubicado entre los ejes B-C, se mantiene con la dimensión inicial de 3m.

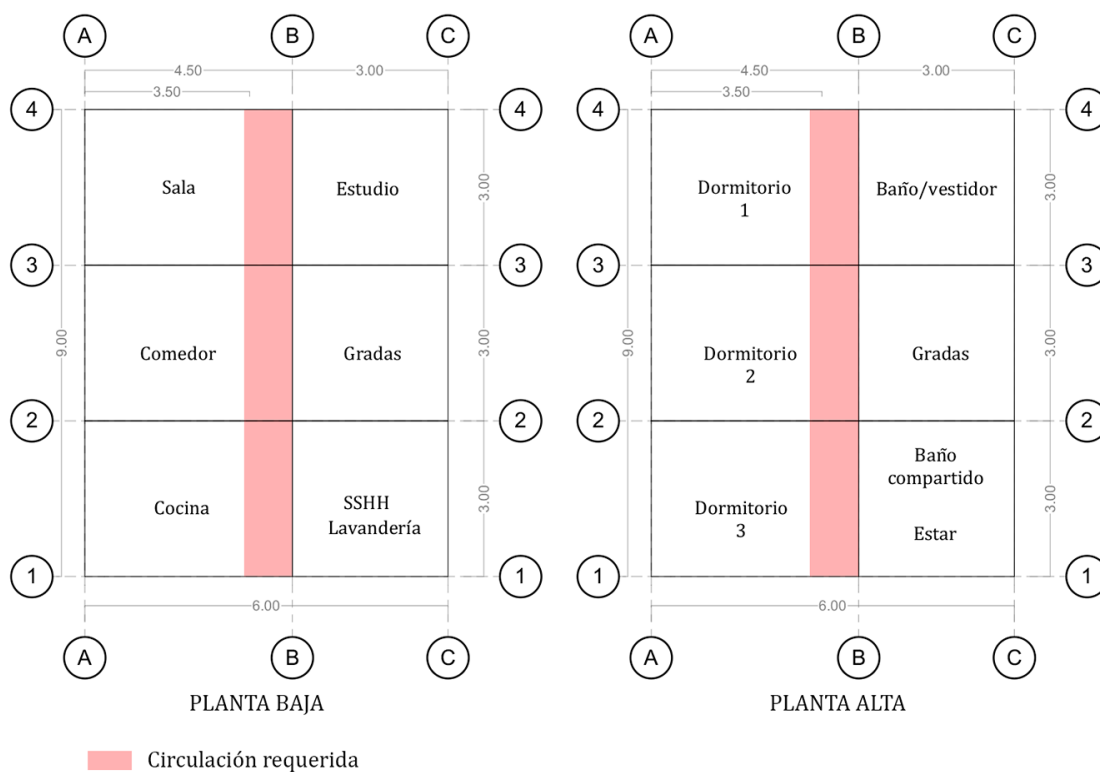


FIGURA 5.9: Modificación de la modulación inicial, entre los ejes A-B se incrementa el módulo a 4.5m.

Por su parte, en la modulación vertical se ha considerado un parámetro fundamental para establecer su dimensión. A más de tomar en cuenta las dimensiones de los materiales, en este eje se ha considerado la circulación necesaria en los espacios de dormitorios. Por lo general, la dimensión de una cama es de 2m, a esto sumado una circulación de 1m, se obtiene el módulo en el eje vertical, con una dimensión de 3m, de igual manera luego de considerar paredes, la circulación será la necesaria (Figura 5.10).

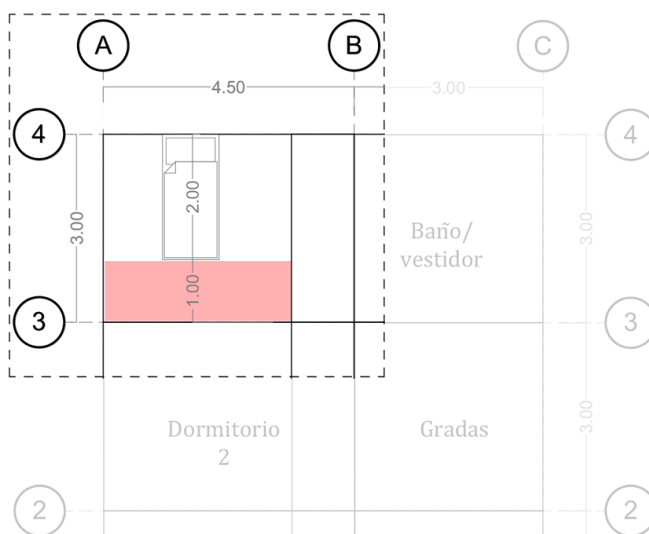


FIGURA 5.10: Medidas de dormitorio con cama y circulación requerida para dimensionamiento de módulo.

En base a este dimensionamiento de espacios, a continuación será modulada la estructura de la vivienda. Se proponen pórticos de hormigón armado, es decir, columnas y vigas de este material, dispuestas en cada eje de la modulación establecida inicialmente (Figura 5.11a). A más de ello, para los elementos estructurales horizontales, es decir, entrepiso y cubierta, se ha considerado el uso de madera, debido a que las dimensiones establecidas de 3m entre ejes, permite asentar las vigas de madera sobre las vigas de hormigón (Figura 5.11b).

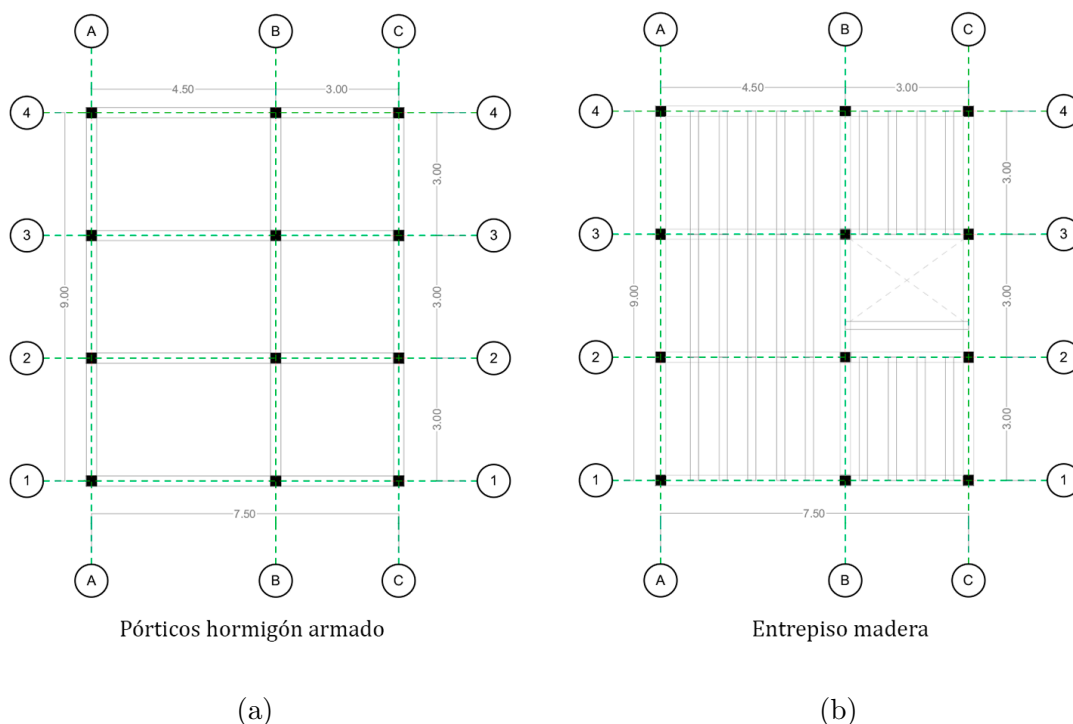


FIGURA 5.11: Estructura propuesta a través de la modulación inicial. (a) Pórticos de hormigón armado, (b) Entrepiso de madera.

La estructura de hormigón armado queda dispuesta con dos dimensiones en sus luces, en el eje horizontal, una de 4.50m y otra de 3.00m, mientras que en el eje vertical todas las luces de la estructura corresponden a 3.00m. Como se muestra en la figura anterior, la disposición de las vigas internas de entrepiso se da en sentido vertical, ya que esta es la menor dimensión entre los paños. Para esta estructura de madera se requerirán un total de 24 vigas de madera de 3m cada una. A más de evitar el desperdicio, se unifica la dimensión del material requerido.

Una vez definida la modulación de la propuesta tanto en disposición de espacios como en su estructura, será establecida una modulación en altura, en donde intervienen las dimensiones de mampostería. Para continuar con el objetivo de este criterio, la altura de mampostería será establecida en base al ladrillo panelón, el cual posee unas dimensiones de 0.27 x 0.13 x 0.07m, junto con el mortero empleado para la junta. La elección del ladrillo panelón como módulo vertical responde a un criterio medio ambiental, que se explica en el siguiente apartado.

A través de la modulación en planta y estructura, se han establecido dos módulos de diferente longitud, el primero de 4,5m y el segundo de 3m, para los cuales se va a considerar una altura total de 2,40m. Esta dimensión resulta de la suma de la altura del ladrillo (0.07m) más 1cm del mortero para la junta. En esta dimensión se emplean 30 ladrillos que junto con el mortero de cemento dan un total de 2,40m. En base a esto se establecen las dos modulaciones para mampostería.

Con estas condiciones, en la sección más amplia de 4,5 m., en sentido horizontal se requieren 15 ladrillos, mientras que en el sentido vertical con 2,40m de altura, se requieren de 30 ladrillos enteros. Estas cantidades permiten emplear el material requerido sin generar mayor cantidad de desperdicios en las paredes exteriores, con excepción de los desperdicios por el entrabado. Lo mismo sucede en el pórtico de menor tamaño, en el cual se requieren en sentido horizontal 10 ladrillos, mientras que en sentido vertical se requieren 30 ladrillos para cubrir la altura de piso a techo (Figura 5.12).



FIGURA 5.12: Pórticos de la vivienda con la disposición de materiales de envoltorio.

La mampostería interior de la vivienda tendrá la misma disposición presentada previamente, ya que los pórticos se generan tanto en la parte exterior como interior, con las mismas dimensiones, por lo que todos los vanos con paredes divisorias requerirán la misma cantidad de material, tanto en el eje horizontal como vertical. Sin embargo, existen paredes que se salen un poco de la modulación base, estas pertenecen al baño de planta baja, en donde se establecen paredes con una longitud de 1.50m y 1.20m. En esta mampostería interior la disposición de ladrillo en altura será similar a la empleada en el resto de paredes. Ya que en sentido vertical se requieren 30 ladrillos para cubrir la altura de 2.40m, mientras que para cubrir el sentido horizontal, en la longitud más amplia de 1.50m se requiere 6 ladrillos, y en la longitud de 1.20m se requieren de 5 ladrillos.

En este sentido, la disposición de materiales tanto en estructura como en la envolvente vertical de la vivienda, permite reducir los desperdicios que genera la construcción que no considera una configuración modular de los espacios. En cuanto a la envolvente horizontal de la vivienda, se ha considerado una cubierta plana tan sólo con una pendiente del 5% para sacar el agua lluvia, porque mientras mayor sea la inclinación, mayor es el requerimiento de material. Sin embargo, las cubiertas tejadas no soportan pendientes demasiado reducidas, ya que por capilaridad el agua se filtraría a la vivienda. En base a esto, se ha considerado un sistema constructivo que permita impermeabilizar la cubierta y que a su vez se pueda reducir el uso de material al establecer una cubierta con pendiente reducida.

Conforme a lo discutido, en cubierta serán dispuestos tableros de fibras orientadas, OSB de 2 cm, sobre estos será asentada una lámina impermeable asfáltica de 2 mm, la cual recibirá posteriormente la teja plana, a más de ello se empleará un goterón de aluminio anodizado de 1,2 mm, para evitar la filtración de agua (5.13). Es así como a través del uso de estos materiales se logra impermeabilizar la cubierta y es posible reducir la pendiente al 2% sin generar filtraciones de agua al interior de la vivienda.

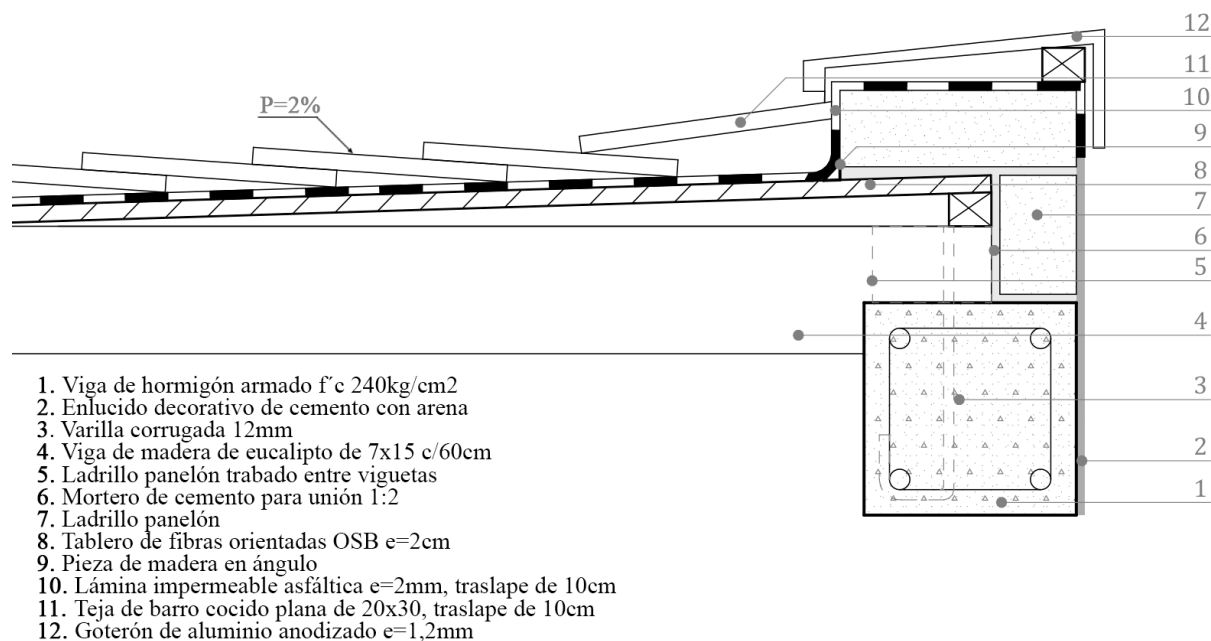


FIGURA 5.13: Detalle de impermeabilización de cubierta, considerada para la propuesta de diseño.

A continuación serán establecidos los materiales que van a ser empleados en el interior de la vivienda, de manera que generen la menor cantidad de desperdicio. En este contexto, en la planta baja de la vivienda será considerado como acabado final la losa de hormigón pulido, así se evita incrementar mayor cantidad de materiales en este piso. En cuanto a la planta alta de la vivienda, en los espacios destinados para dormitorios, será empleado un enduelado de madera, material que por sus dimensiones, puede ser colocado en estos espacios sin generar mayor cantidad de desperdicios.

En base a la modulación previamente establecida, existen dos tipos de espacios para dormitorio. El primero, que corresponde al módulo más amplio, tiene una dimensión de 4,5m x 3m, esta será la habitación principal. Con las dimensiones en esta habitación es posible establecer la disposición del piso, el cual corresponde al uso de duelas de madera de 0.20 x 3m. Por lo tanto, las duelas son planteadas en sentido horizontal, por lo que entre el eje 3-4 se requieren de 15 duelas de 3 metros, mientras que entre el eje A-B, sería necesario colocar una duela y media por cada fila (Figura 5.14a). El segundo espacio para dormitorio, posee dimensiones de 3m x 3m, en este caso, la disposición del enduelado, entre el eje 2-3 es de 15 duelas de 3 metros, mientras que entre el eje A-B se requiere de una duela entera. Por efecto de generar un entramado la duela es dividida a la mitad y colocada en el espacio definido (Figura 5.14b).

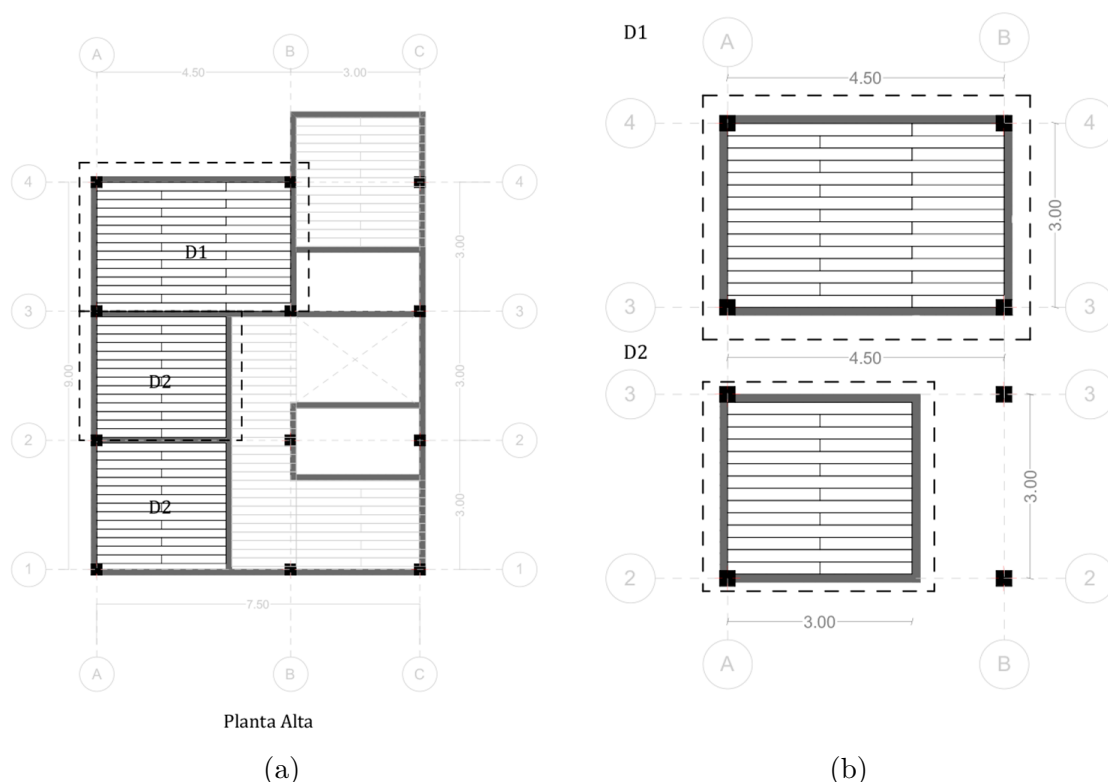


FIGURA 5.14: Dimensiones de habitaciones y disposición de pisos.

En planta alta, además se han destinado espacios para vestidor (C1), circulación (C2) y sala de estar (C3) (Figura 5.15), en estos espacios, por sus dimensiones será necesario realizar cortes en el material, sin embargo, para realizar estos cortes, se han considerado los espacios con menor área, para que la cantidad de material cortado sea menor.

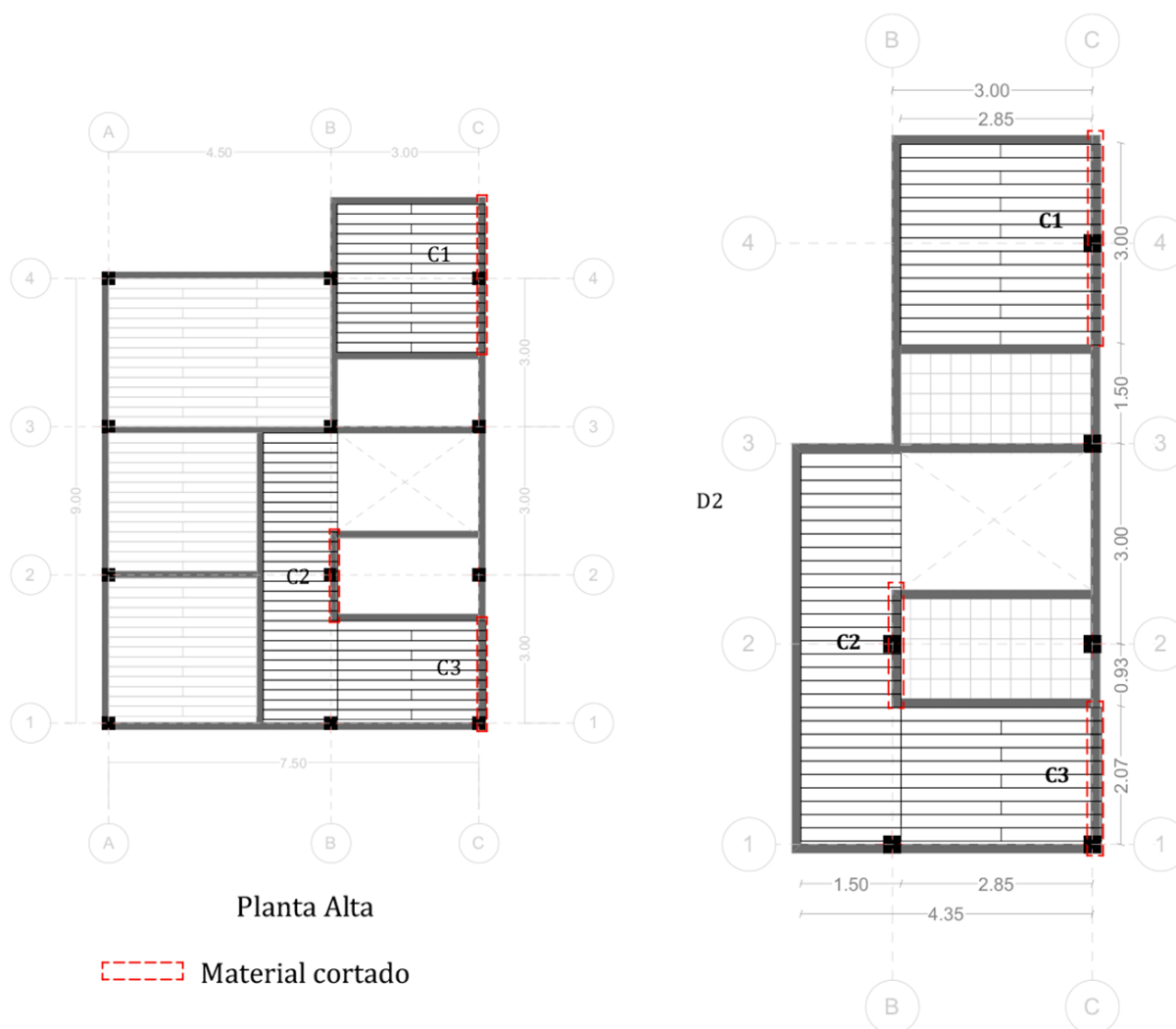


FIGURA 5.15: Dimensiones de vestidor, sala de estar y pasillo de circulación, disposición de material en pisos.

A pesar de que en este espacio se genera un desperdicio, este corresponde a un porcentaje menor al 10 % del total del material empleado en este piso. En cuanto a los baños de planta alta (Figura 5.16), se ha considerado el uso de cerámica de 30cm x30cm, por lo cual han sido planteados con una modulación en base a las dimensiones de este material. En la dimensión de 1.50m entran 5 cerámicas, mientras que en la dimensión de 2.85m se requieren 9.5 cerámicas. Como los dos baños de planta alta poseen las mismas dimensiones, el residuo de cerámica generado en B1, completa la cantidad faltante en B2. En base a lo mencionado, las dimensiones de los baños de planta alta quedan definidas de 2.85m x 1.50m.

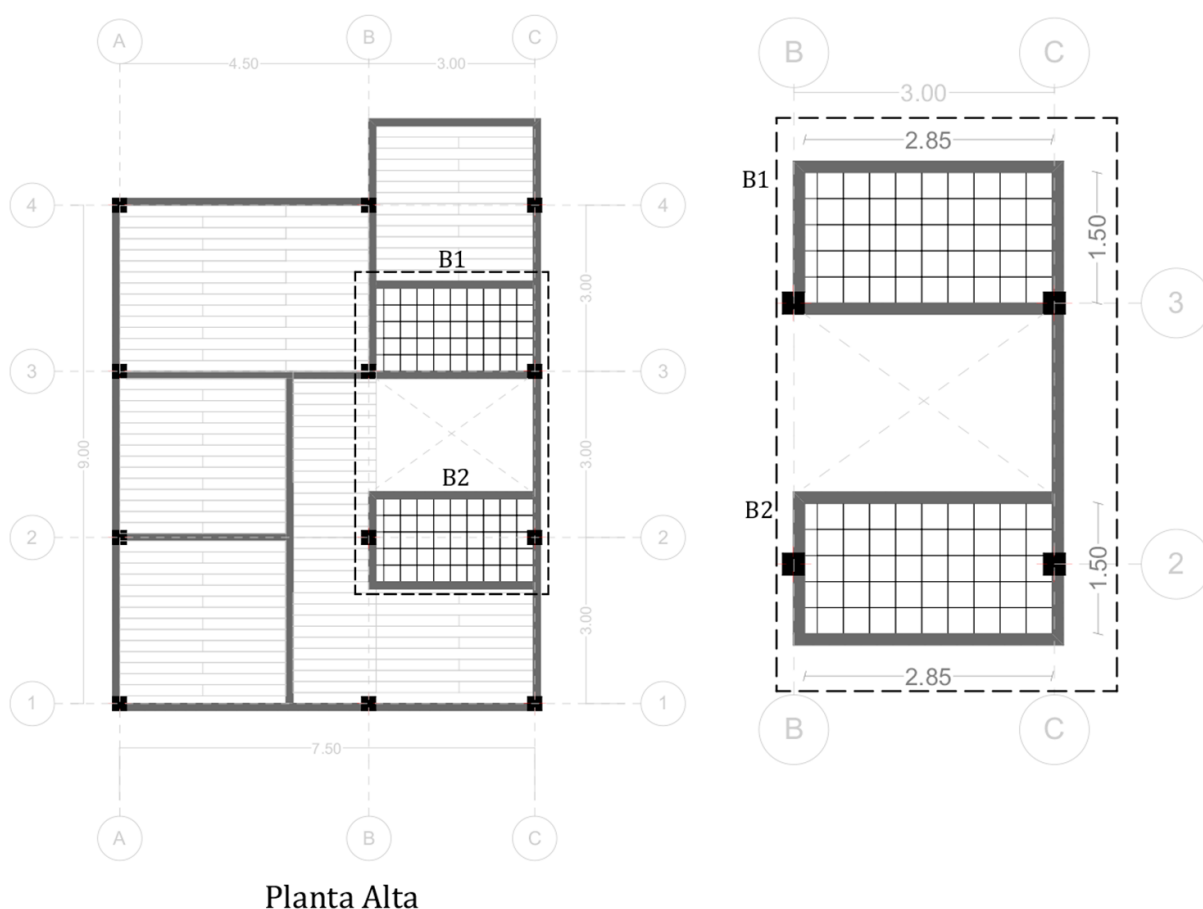


FIGURA 5.16: Dimensiones de baños y disposición de pisos.

En relación a puertas y ventanas de la vivienda, de igual manera se han planteado modulaciones, para aportar al aprovechamiento del material, además, se ha considerado establecer orificios de piso a techo para evitar la creación de dinteles, para los cuales se requiere otra viga para cubrir el vano que se crea. En base a lo mencionado, la altura de las ventanas se incrementa, sin disminuir el porcentaje requerido de mampostería y superficie vidriada en la fachada. Con esta tipología de ventanas, a más de ahorrar material por el tema del dintel y el desperdicio por los cortes del ladrillo, se puede iluminar el interior con mayor profundidad (Serra & Coch, 1995), y se logra un estilo más moderno en la vivienda.

En este sentido, se han establecido dos módulos, en el primer caso, en el módulo con la dimensión más grande de 4.5m, se generan dos fachadas, una al norte y otra al sur de la vivienda. En la fachada norte (Figura 5.17a), se encuentra el acceso a la vivienda, por lo que en este caso la primera consideración será la puerta. A través de ella se ha dado un cambio de materialidad en la fachada, ya que en planta baja se coloca la puerta de madera y en planta alta se coloca un marco de madera que genera la apariencia de una puerta, pero sirve para dar continuidad a la materialidad de planta baja. En esta fachada, se establecen dos aberturas de piso a techo con un área de 1.08 m^2 cada una, ésta área corresponde al 10% del total de la mampostería en cada piso.

En el caso de la fachada sur (Figura 5.17b), se plantea un porcentaje de ventana mayor, el cual corresponde al 20 %, en relación a la superficie de pared que corresponde al 80 %. Es decir, dentro del área de pared de $10.80 m^2$, la superficie vidriada corresponde a un área de $2.16 m^2$ en cada piso.

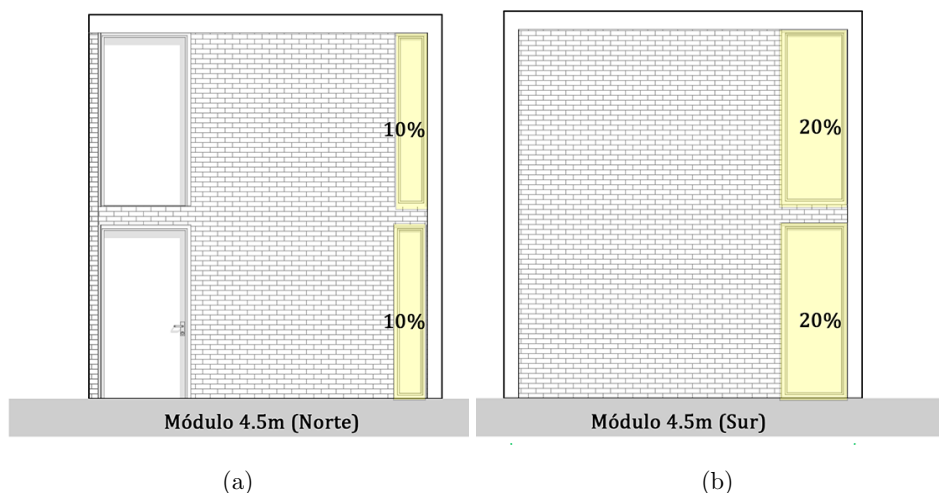


FIGURA 5.17: Superficie vidriada en cada fachada, (a) Módulo de 4.5m, fachada norte, (b) Módulo de 4.5m, fachada sur.

En el segundo caso, en el módulo con menor dimensión (Figura 5.18), se han establecido ventanas de piso a techo. En la fachada oeste, se encuentran los espacios habitables o con mayor ocupación, de acuerdo a lo mencionado y con la intención de aprovechar la incidencia solar en esta fachada, el porcentaje de ventana considerado es del 30 %. Es decir, dentro del área de mampostería, la cual corresponde a $7.20 m^2$, la superficie vidriada corresponde a $2.16 m^2$ en cada piso.

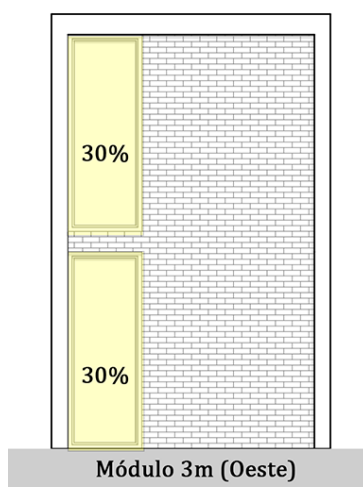


FIGURA 5.18: Superficie vidriada en módulo de 3m, fachada oeste.

Por lo tanto, cada uno de los pórticos, en mampostería tendrá una ventana de piso a techo, en una esquina de la misma con dimensiones de $0.90 \times 2.40 \text{ m}$, a excepción de la fachada norte, donde se encuentra el acceso a la edificación. A través de la unión de estos módulos se obtendrá la fachada final de la vivienda, ya que en la fachada oeste se agrupan varios módulos, y es posible alternar la posición de ventanas para crear dinamismo en la fachada (Figura 5.19).

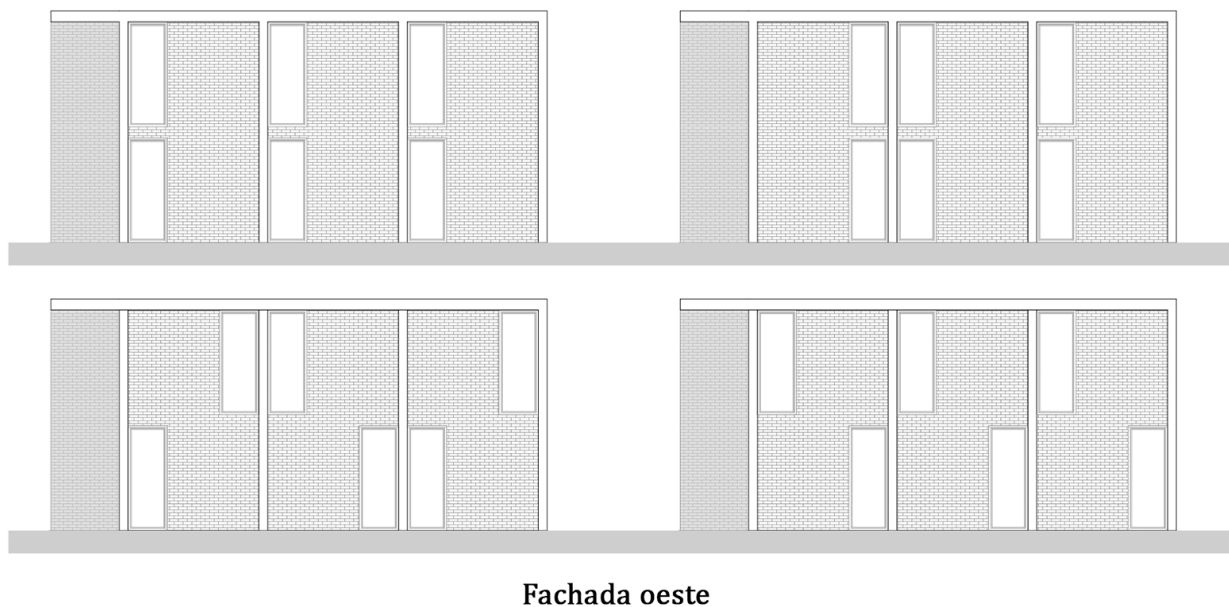


FIGURA 5.19: Posibilidades de uso de ventanas en fachada oeste, mediante la unión de módulos.

En cuanto a fachada, se ha tomado en cuenta otra consideración. Como se ha mencionado, los espacios habitables o con mayor ocupación se han ubicado en la fachada oeste de la vivienda. Esto se debe a que esta fachada posee un periodo de captación solar más prolongado, en relación a las demás fachadas. De acuerdo a lo mencionado, se propone una mampostería de ladrillo doble en la fachada oeste (Figura 5.20), para incrementar la masa térmica, y así evitar las aceleradas pérdidas de calor.

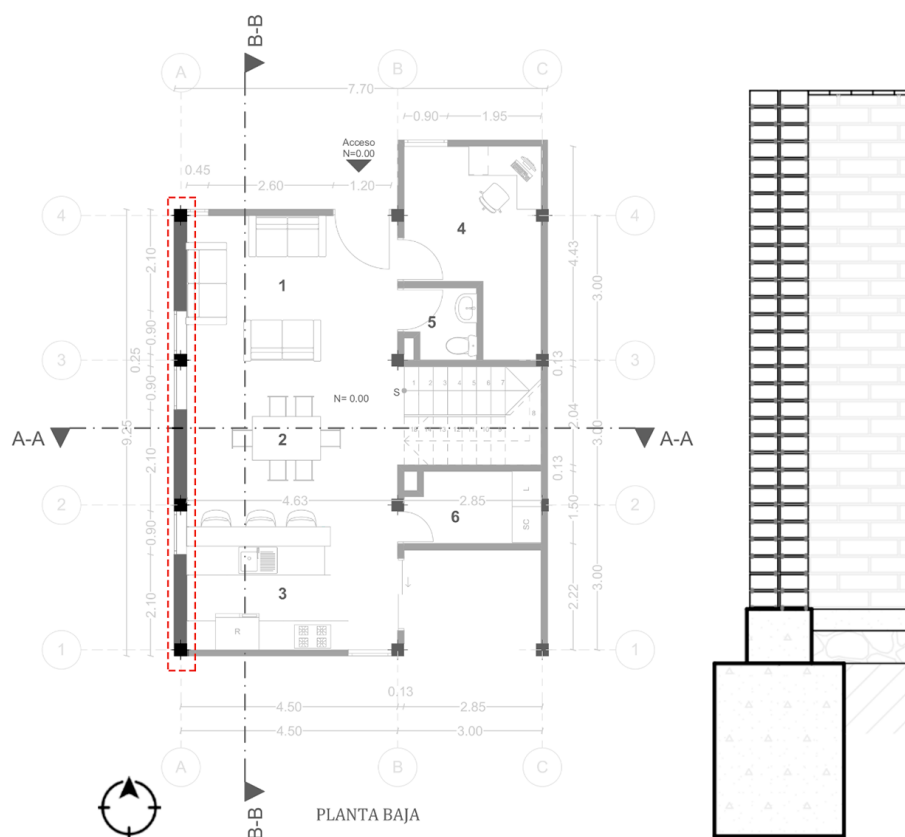


FIGURA 5.20: Mampostería de ladrillo doble, ubicada en la fachada oeste de la propuesta de vivienda.

Finalmente, se ha considerado no colocar cielo raso. Las instalaciones eléctricas quedarán vistas, mientras que las instalaciones hidrosanitarias serán colocadas en ductos, ubicados en baños. A través de la consideración de los sistemas constructivos con menor incidencia dentro de los periodos analizados previamente, se obtiene un diseño de vivienda con una baja Energía Incorporada, la misma que además evita la generación de residuos a través de la modulación. A continuación se detalla la propuesta de vivienda.

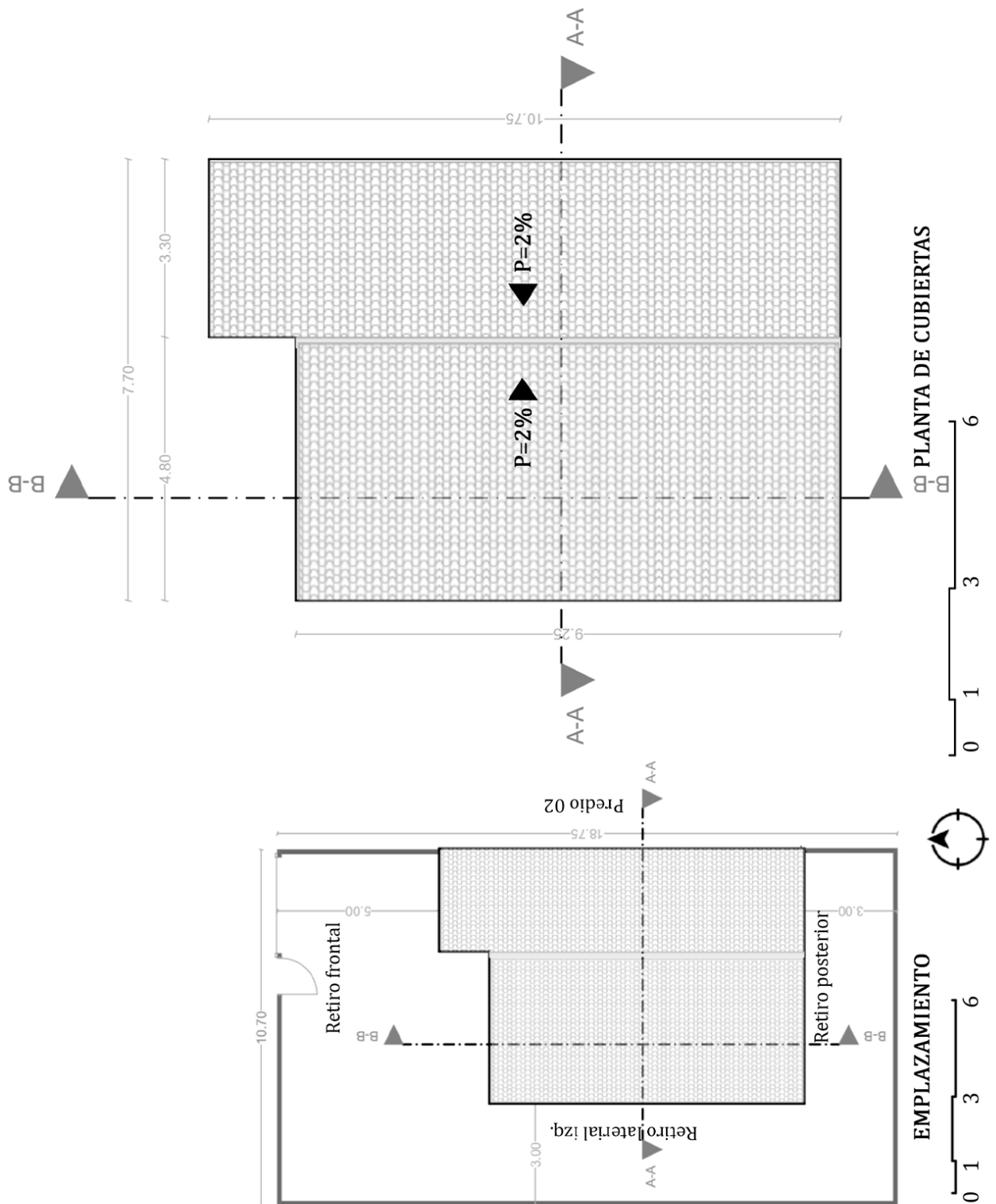


FIGURA 5.21: Planta de emplazamiento y cubiertas. Escala gráfica.

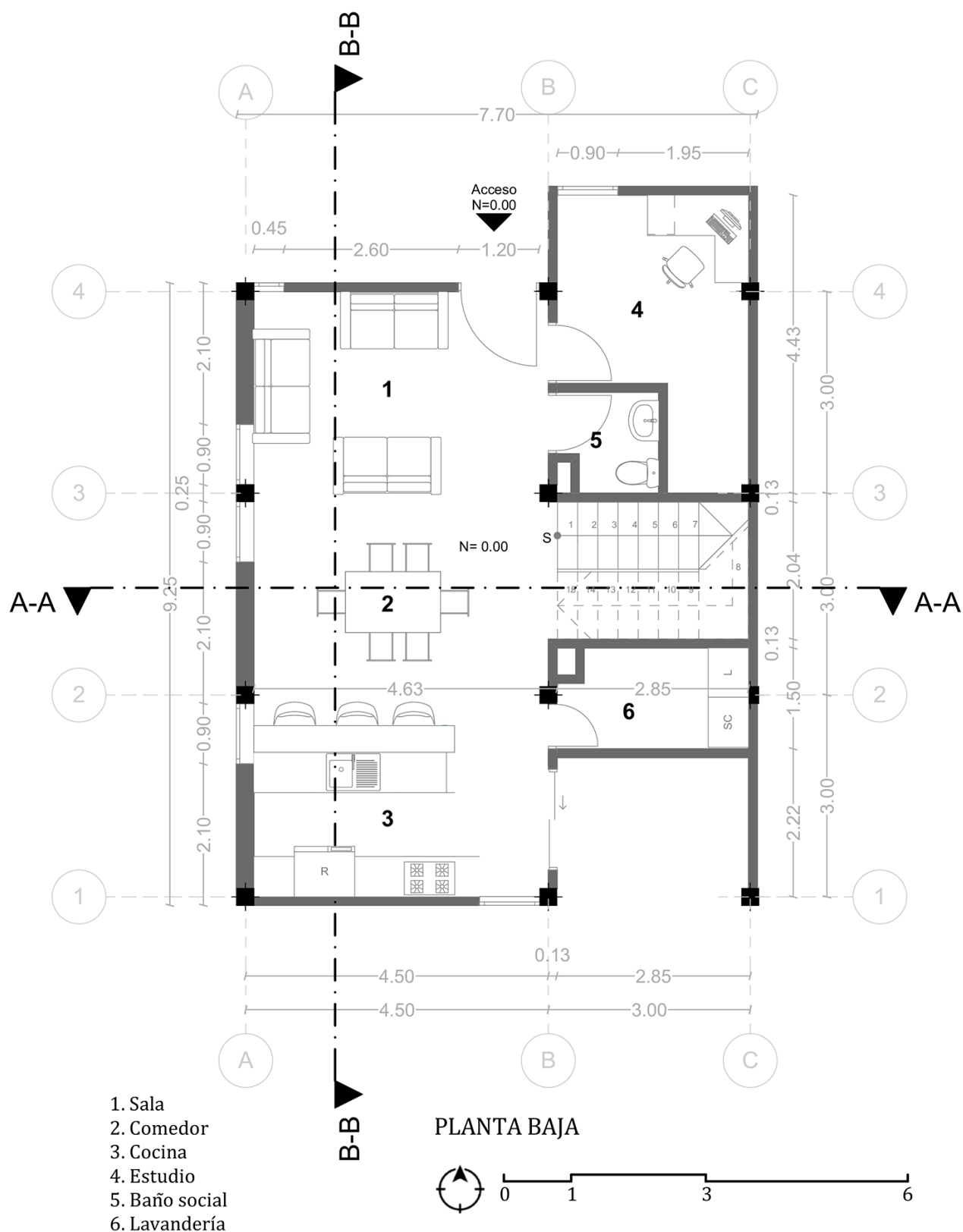


FIGURA 5.22: Planta baja de propuesta. Escala gráfica.

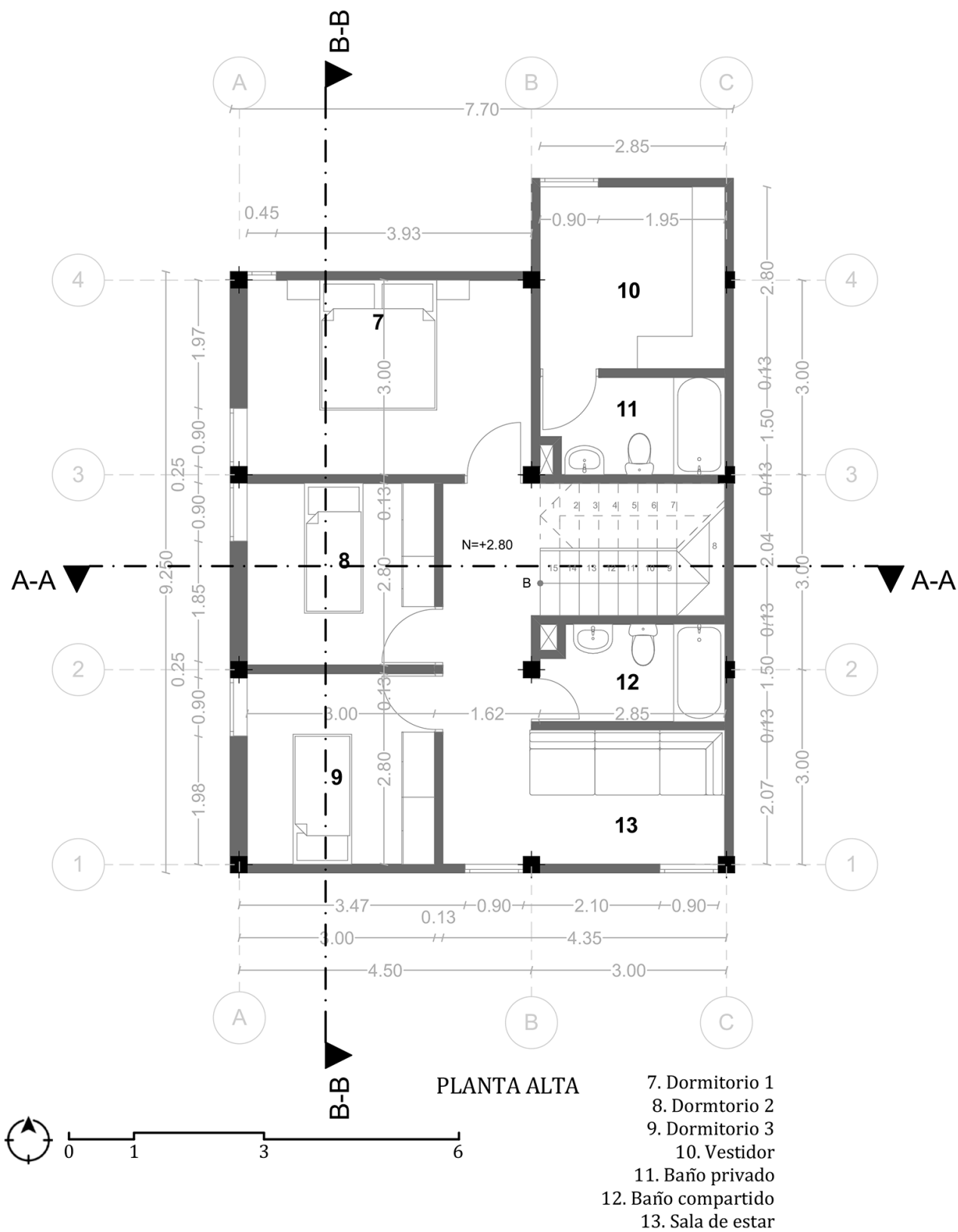


FIGURA 5.23: Planta alta de propuesta. Escala gráfica.

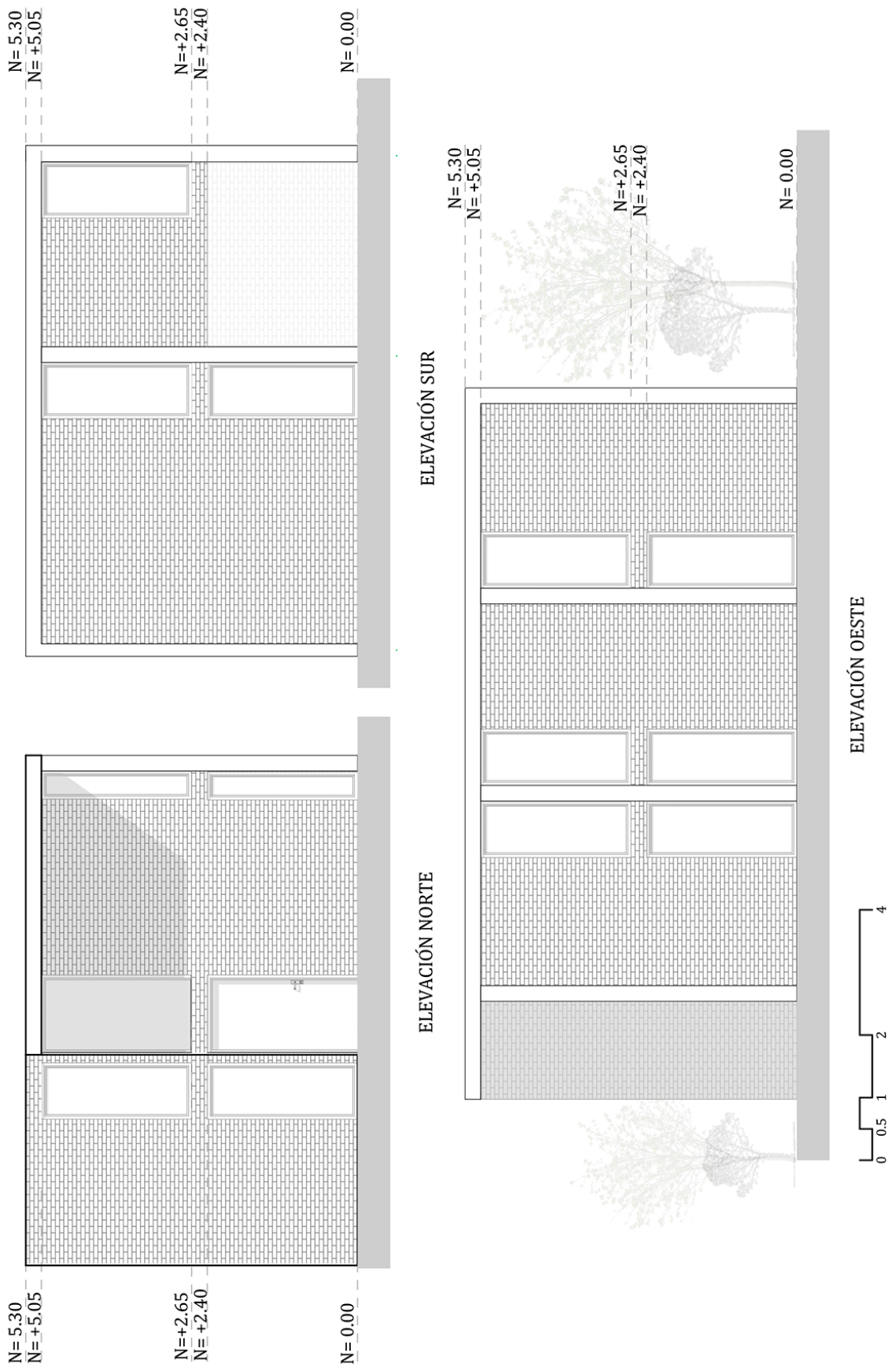


FIGURA 5.24: Elevaciones de propuesta de vivienda. Escala gráfica.

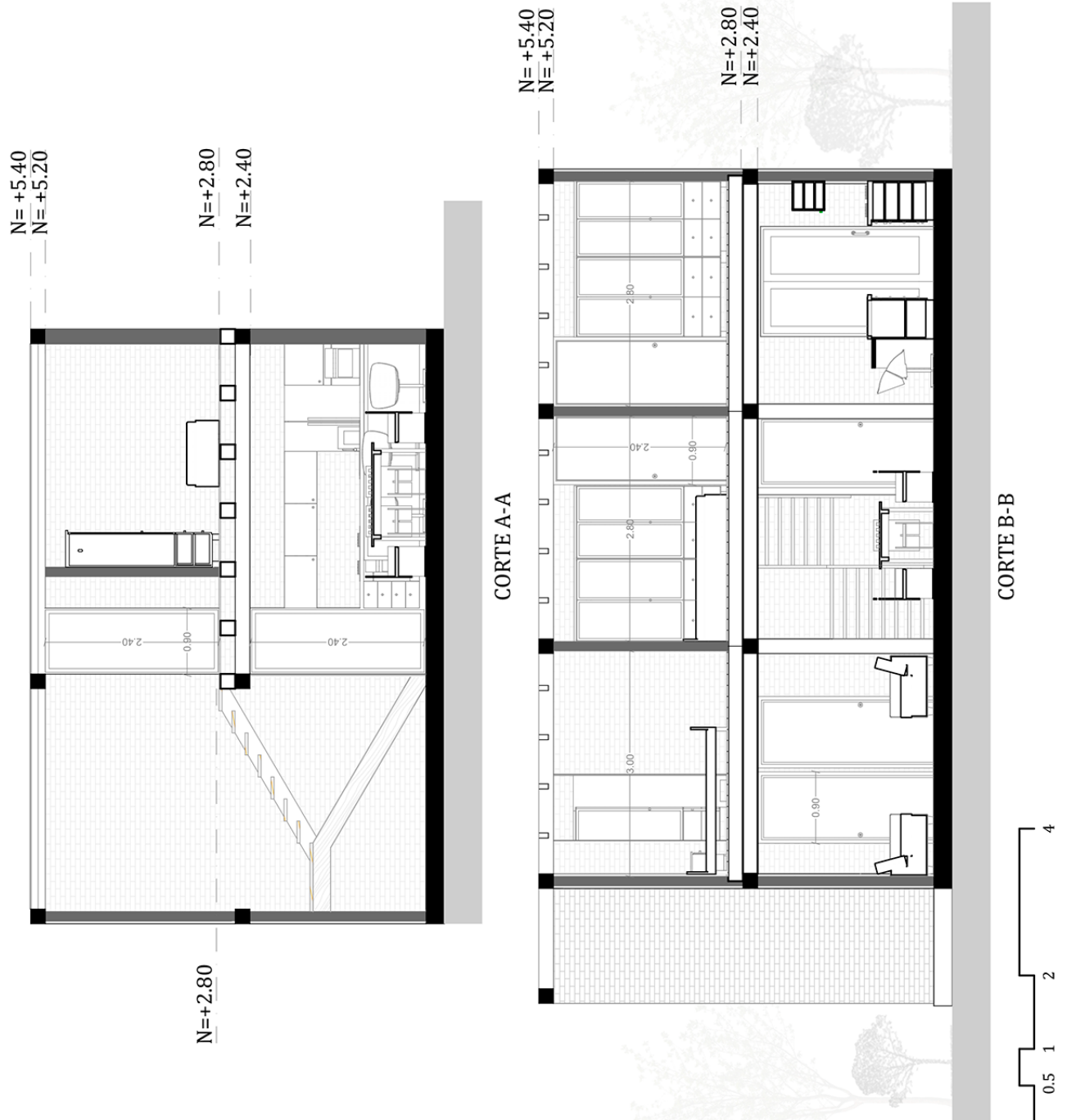


FIGURA 5.25: Cortes de propuesta de vivienda. Escala gráfica

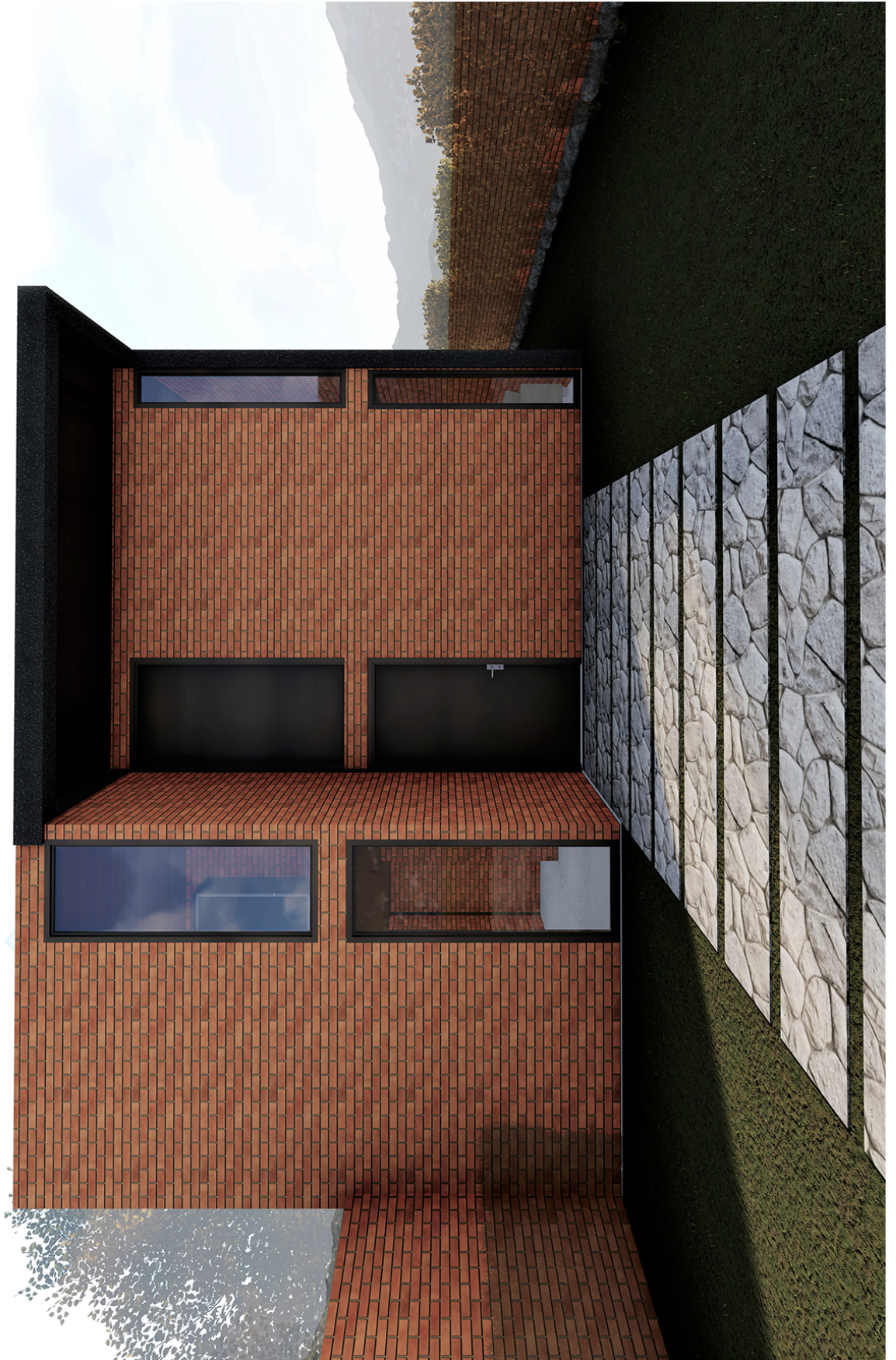


FIGURA 5.26: Vista frontal de la propuesta de vivienda.



FIGURA 5.27: Vista lateral izquierda de la propuesta.



FIGURA 5.28: Vista posterior de la propuesta.

5.3.2. Energía Incorporada

Similar al análisis realizado previamente, los materiales de la propuesta de vivienda serán divididos en tres componentes: Estructura, Envoltante y Acabados. En el capítulo anterior se establecieron los sistemas constructivos y materiales que poseen un menor requerimiento de *EI* a lo largo de los periodos analizados, estos resultados obtenidos serán plasmados en el diseño de vivienda para lograr una edificación con baja *EI*.

Estructura

Dentro de la componente de Estructura, en cimentación y para la formación de pórticos se ha establecido el uso de hormigón armado, además de un replantillo de piedra y losa de planta baja para dar soporte a los elementos estructurales de la vivienda. Se ha considerado el uso de hormigón armado en la cimentación ya que es el sistema que menor *EI* requiere en relación al hormigón ciclópeo. Dado que en el análisis del capítulo previo, se evidenció que los elementos estructurales horizontales generan una mayor demanda de energía, a diferencia de los elementos verticales, en la propuesta de diseño, para disminuir este impacto, se ha planteado el uso de la madera para los elementos horizontales como estructura de entrepiso y cubierta. Y en columnas y vigas se emplea hormigón armado, es decir, los pórticos de la vivienda emplean este material. De estos elementos constructivos (Figura 5.29), la losa de entrepiso es la que mayor energía demanda, esto se debe a que cubre toda el área de planta baja, sin embargo, al cambiar el uso total de hormigón armado por madera se genera una disminución considerable dentro de la *EI* final de la componente de estructura.

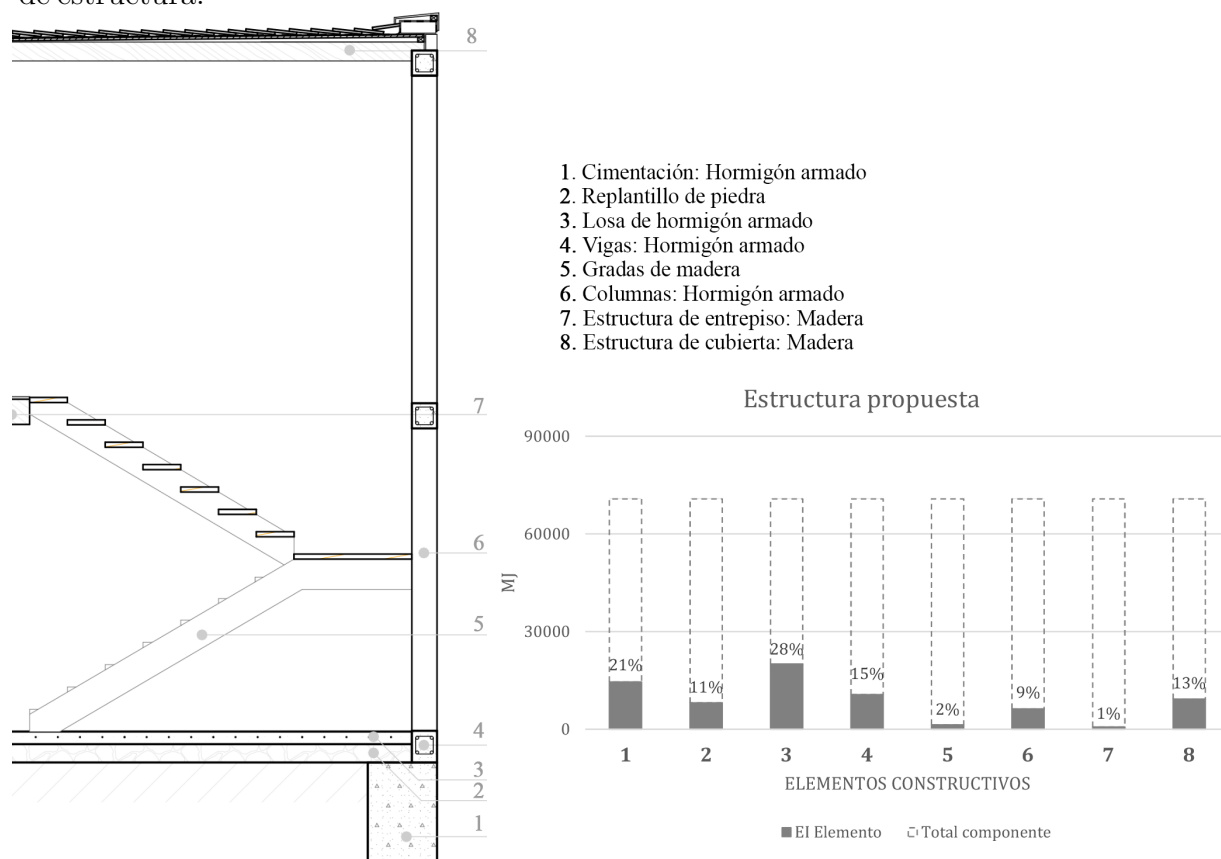


FIGURA 5.29: Estructura considerada para la propuesta de vivienda. a) Sección constructiva b) Energía Incorporada requerida por cada uno de los elementos constructivos.

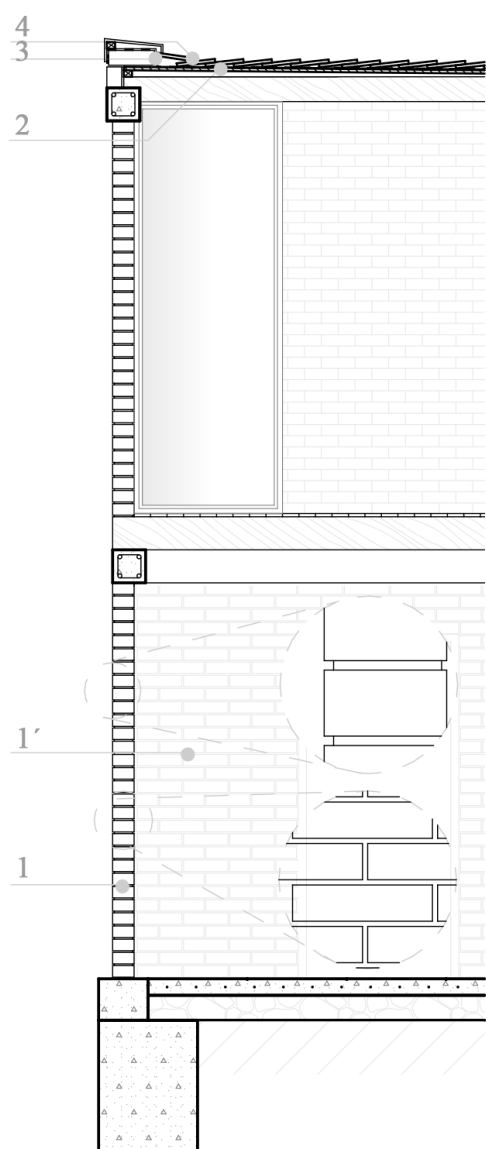
Envolvente

En cuanto a la componente de Envolvente de la vivienda, en mampostería, es importante considerar que si bien es cierto, los materiales más livianos logran reducir la *EI* final, estos poseen una menor masa térmica y por lo tanto, las pérdidas de calor se generan de manera más acelerada dentro de la vivienda, por este motivo, se ha establecido el uso de ladrillo panelón en la envolvente de la vivienda ya que, de los materiales analizados es el que mayor masa térmica posee. Para mampostería han sido consideradas varias estrategias en relación al uso de los materiales. En el muro, este ha sido dimensionado, en función del tamaño del ladrillo panelón, que tiene 7cm de alto, por lo cual se ha puesto una altura de piso a techo de 2,40m que en conjunto con el mortero de cemento dan un número entero de ladrillos en toda la envolvente que corresponde a 30 ladrillos. El ladrillo será empleado como acabado final, así se ahorra el uso de enlucido, sin embargo, no es empleado el ladrillo vidriado sino el mismo ladrillo panelón.

El mortero para la junta de los ladrillos será de cemento, con un espesor de 1cm, y con junta a media caña. Como su acabado final será de ladrillo visto, esta junta le aportará mayor estética al muro y además permitirá disminuir la cantidad de mortero (Ver detalle 1A-1B Figura 5.30). Estas consideraciones en cuanto al mortero de cemento, permiten una reducción del 10 % del uso del material, el cual, como se evidenció en el capítulo anterior es uno de los materiales que mayor porcentaje representa en la componente de Envolvente. En referencia a la mampostería empleada en el interior de la vivienda, las consideraciones tomadas serán similares a las mencionadas en muros exteriores, ya que los pórticos de la vivienda generan dos dimensiones fijas, y así el uso del material pueda replicarse en cuanto a cantidad, en todos los muros.

A más de ello, es importante mencionar que, en la mampostería de la fachada oeste, con la intención de lograr que la propuesta se aproxime a la zona de confort, se ha establecido el uso de un muro de ladrillo doble en esta fachada. Efectivamente, la cantidad de material en la componente de Envolvente se incrementa, por lo que la *EI* suma 4%, más. Sin embargo, este hecho será evaluado para verificar que proporciona ventajas térmicas a la propuesta. En relación a la cubierta de la vivienda se ha considerado el sistema que menor *EI* requiere, por lo que se ha planteado el uso de un entablillado de madera, sobre el que se asienta teja. Sin embargo, este sistema al plantearse con una pendiente mínima con las consideraciones de reducción de material, no funcionaría de manera adecuada. De acuerdo a lo mencionado, la madera será reemplazada por tableros de OSB, sobre los cuales será colocada una lámina impermeabilizante para evitar el posible ingreso de agua a la vivienda, y finalmente será considerado el uso de teja.

En este sentido, la cubierta se ha planteado plana para reducir el mayor gasto de materiales, esta reducción de una inclinación común del 30 % al 2 % permite disminuir el uso de materiales y por lo tanto se genera un decremento en la *EI* final. Tanto en la envolvente vertical como en la envolvente horizontal (Figura 5.30), a pesar de no elegir los materiales con menor incidencia en el consumo de energía, debido a sus desventajas térmicas, a través de las consideraciones mencionadas, se propone un sistema que permite reducir la Energía Incorporada, sin dejar a un lado los criterios iniciales de confort.



- 1. Mampostería de ladrillo panelón/mortero 1:3
- 1'. Mampostería interior de ladrillo panelón
- 2. Tableros de OSB 2cm
- 3. Lámina impermeabilizante 2mm
- 4. Teja

- 1A: Unión de 1cm con mortero 1:3
- 1B: Junta a media caña

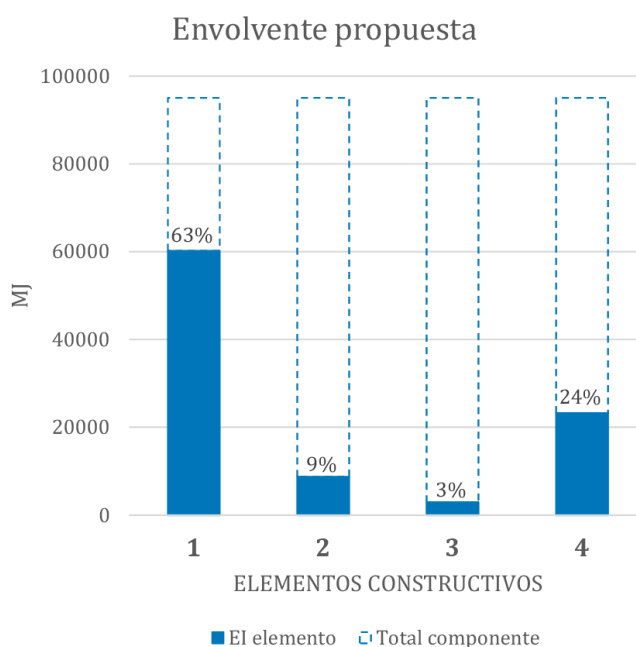


FIGURA 5.30: Envoltura considerada para la propuesta de vivienda. (a) Sección constructiva (b) Energía Incorporada requerida por cada uno de los elementos constructivos.

Acabados

Dentro de la componente de Acabados, en pisos se ha planteado el uso de hormigón pulido en la losa de planta baja, con lo cual se evita el uso de un recubrimiento para reducir la *EI* total. En planta alta se establece el uso de madera y en zonas húmedas como baños se plantea el uso de cerámica, estos sistemas han sido considerados dentro del diseño, ya que en el análisis realizado han sido los que menor *EI* requieren. En cuanto a ventanerías, puertas y pasamanos se mantiene el uso principal de la madera, ya que se ha evidenciado que el uso de aluminio en ventanas y puertas genera un incremento con gran incidencia en la Energía Incorporada final de la vivienda. Por este motivo, en la propuesta se mantiene el uso de materiales de origen natural para lograr disminuir la *EI* final.

En cuanto a las superficies vidriadas, se ha planteado el uso de vidrio simple porque emplear vidrio doble puede llegar a incrementar hasta un 80 % la Energía Incorporada. En referencia a su desventaja como material aislante se ha dimensionado su superficie en relación a la superficie total de la pared, para mejorar lo más que se puede el confort térmico interior. Este dimensionamiento se lo ha realizado en base a las simulaciones digitales. En acabados en muros se plantea un terminado de ladrillo visto con el propio ladrillo panelón, así no se requiere de mortero de cemento, empaste y pintura, ya que estos elementos han mostrado incidencia dentro de la componente de envolvente, el enlucido en mayor medida. Con la eliminación de estos acabados en mampostería se logra reducir 91 MJ/m^2 , lo que se traduce a aproximadamente un 10 % de la *EI* final de la vivienda.

En cuanto a las fachadas, se plantea el uso de fachaleta para cubrir la estructura de hormigón armado en el exterior. En los periodos analizados, la componente de Acabados, por lo general, era la más representativa, sin embargo, a través de la selección de materiales es posible disminuir en gran medida la *EI* requerida, e incluso en la propuesta pasa a ser la componente con menor incidencia. De los elementos constructivos seleccionados para acabados de la vivienda, la cerámica y la ventanería son los que mayor *EI* requieren (Figura 5.31), a pesar de que en ventanas se considera el uso de marcos de madera, la incidencia del vidrio sigue siendo representativa, por lo tanto el dimensionamiento necesario, en función del confort interior, ha sido fundamental para no tener un gasto excesivo en este elemento.

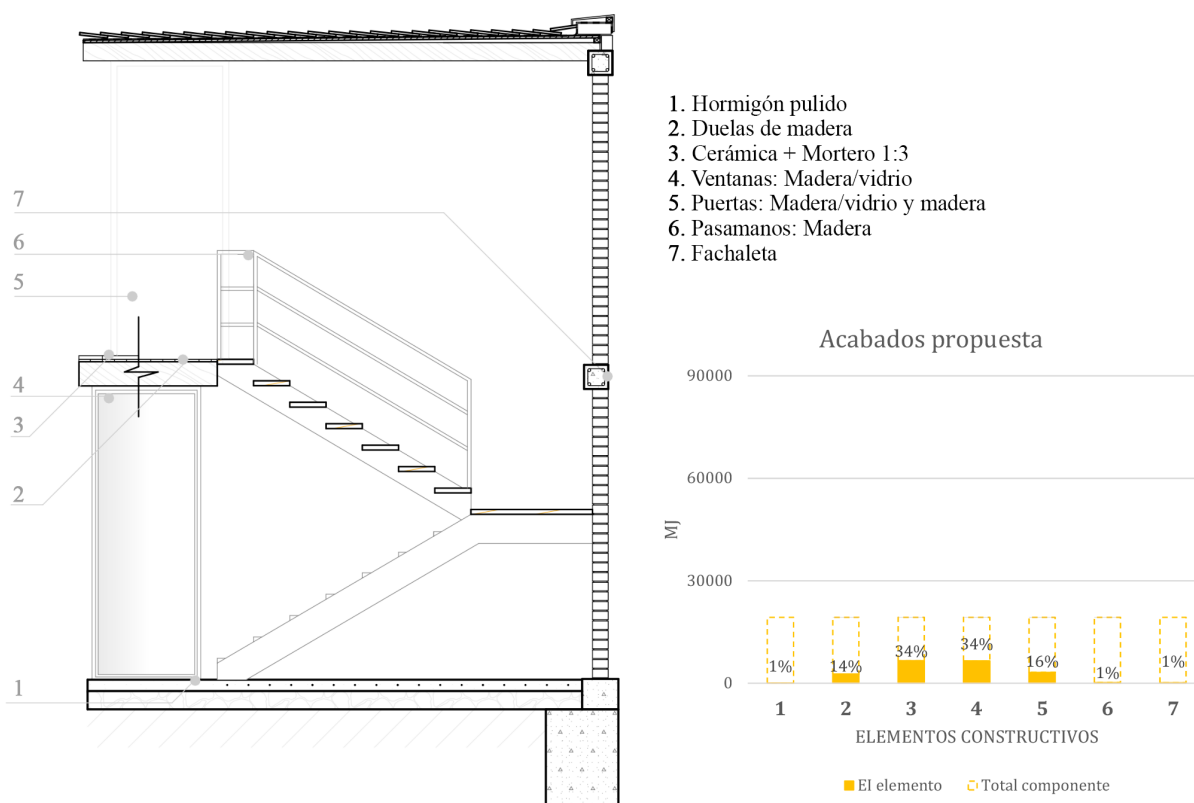


FIGURA 5.31: Acabados considerados para la propuesta de vivienda. a) Sección constructiva b) Energía Incorporada requerida por cada uno de los elementos constructivos.

Los cuatro criterios considerados: orientación, masa, modulación y Energía Incorporada han resultado en el diseño de la propuesta de vivienda final, la misma que posteriormente será evaluada en el aspecto de Energía Incorporada, y a su vez comparada en su comportamiento térmico con las viviendas analizadas en el capítulo anterior, para responder la interrogante:

La Energía Incorporada en la construcción cuencana aumenta progresivamente, pero ¿es considerado el confort interior de la vivienda?

5.4. Comparación de la Propuesta en el Aspecto de Energía Incorporada

Una vez establecida la propuesta de manera formal y en el aspecto de materiales, será comparada con las viviendas analizadas previamente, para comprobar su validez, en este contexto será establecida una relación entre la propuesta y los periodos analizados en base a su *EI* final de cada componente.

Estructura

En relación al análisis del capítulo anterior, la propuesta de diseño lograr reducir la *EI* frente a todos los periodo de análisis (Figura 5.32). En el primer periodo la *EI* para la componente de Estructura fue de 583 MJ/m^2 , a pesar de ser la más baja de todos los periodos, la propuesta en relación al periodo 1 se reduce un 15 %, esto se debe principalmente a la cantidad de material requerida para cubrir el juego de cubiertas que posee la vivienda de este periodo. Porque a pesar de tener un sistema constructivo similar, la propuesta al establecer una cubierta con una pendiente mínima el requerimiento de material es menor y por lo tanto la Energía Incorporada se reduce.

En referencia al segundo periodo, la Energía Incorporada de la propuesta se reduce un 23 %. Similar a lo sucedido con el periodo 1, en el periodo 2, la cubierta de la vivienda posee una pendiente a dos aguas bastante pronuncia, por lo que el requerimiento de materiales para cubrir la estructura de este elemento es mayor. De todos los periodos analizados, en la componente de Estructura, el periodo 3 es el que mayor *EI* posee, como se ha indicado previamente, esto se debe al gran peso de los materiales empleados en esta construcción. En referencia a este periodo, la *EI* de la propuesta se logra reducir un 72 %, esto se debe a que en la propuesta se establece el uso de madera para la estructura de entrepiso y cubierta, además en el entrepiso no se genera losa de hormigón armado, que es uno de los elementos que mayor Energía Incorporada posee en el periodo 3, por el gran peso del elemento. Por último, en relación al periodo 4, la *EI* de la propuesta se reduce un 70 %. A pesar de que en este periodo la *EI* se logra reducir, por el uso de materiales más livianos, su requerimiento de energía sigue siendo el doble del requerido en el periodo 1.

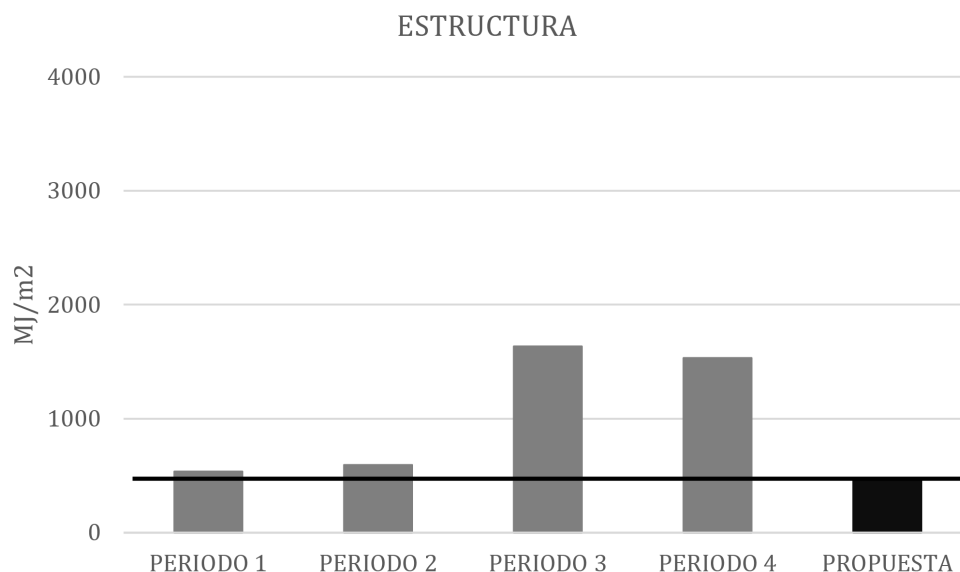


FIGURA 5.32: Comparación de Energía Incorporada requerida en la componente de Estructura de cada uno de los periodos de análisis, en relación a la propuesta.

En base a lo mencionado, tanto el uso de materiales pesados como el uso de materiales con una elevada *EI* por unidad de peso, repercute de manera significativa en la Energía Incorporada final. En este contexto, la propuesta logra reducir la *EI* debido al uso de materiales naturales como la madera, el diseño que se propone y a la disposición de elementos estructurales que permiten disminuir la cantidad de material requerido y por tanto la *EI* final de la vivienda.

Envolvente

En base al análisis realizado en el capítulo anterior, la envolvente para la propuesta logra posicionarse entre uno de los más bajos valores de requerimiento de energía. El tema de envolvente requiere especial atención, ya que de esta depende en gran parte la variación de temperatura en el interior de la vivienda. Por este motivo, como se ha mencionado, para la propuesta han sido elegidos materiales que puedan aportar a la mejora del confort interior.

Por lo que, en relación al periodo 1, la Energía Incorporada para la componente de Envlovente de la propuesta, se incrementa un 13%, esto se debe a que en el periodo 1, en mampostería se emplea en varias secciones bloque, que es un material con menor peso en relación al ladrillo. A más de ello, en la cubierta del periodo 1 se emplea solamente fibrocemento, el cual, a pesar de tener una *EI* por unidad de peso elevada, el peso del material es bastante reducido, por lo que se logra reducir la *EI* de la envolvente en el periodo 1, a diferencia de la propuesta. Sin embargo, es importante mencionar que las características térmicas tanto del bloque como del fibrocemento, por su baja masa térmica no son las más idóneas para ser empleados en una región con clima frío.

En relación a los periodos 2 y 3, la *EI* de la propuesta si logra reducirse, un 8 % y 44 % respectivamente. En cuanto al periodo 4, la *EI* de la propuesta es mayor con un 2%. A pesar de que en el periodo 2, se emplean sistemas constructivos similares a los propuestos, tanto en la envolvente vertical como horizontal, la cubierta posee una gran pendiente, por lo que se emplea mayor cantidad de material.

En el periodo 3 el incremento viene dado por el uso de ladrillo vidriado, el cual puede catalogarse como innecesario, ya que se puede lograr una fachada de ladrillo visto con el uso de ladrillo panelón común. Como se ha mencionado, estas variaciones se deben principalmente al uso de diferentes materiales en cada periodo (Figura 5.33), sin embargo, la reducción de un porcentaje en el uso de mortero de cemento para mampostería y la disminución del área de cubierta, a través del uso de una cubierta plana, permite que la *EI* final de la propuesta sea menor a los 2 periodos mencionados.

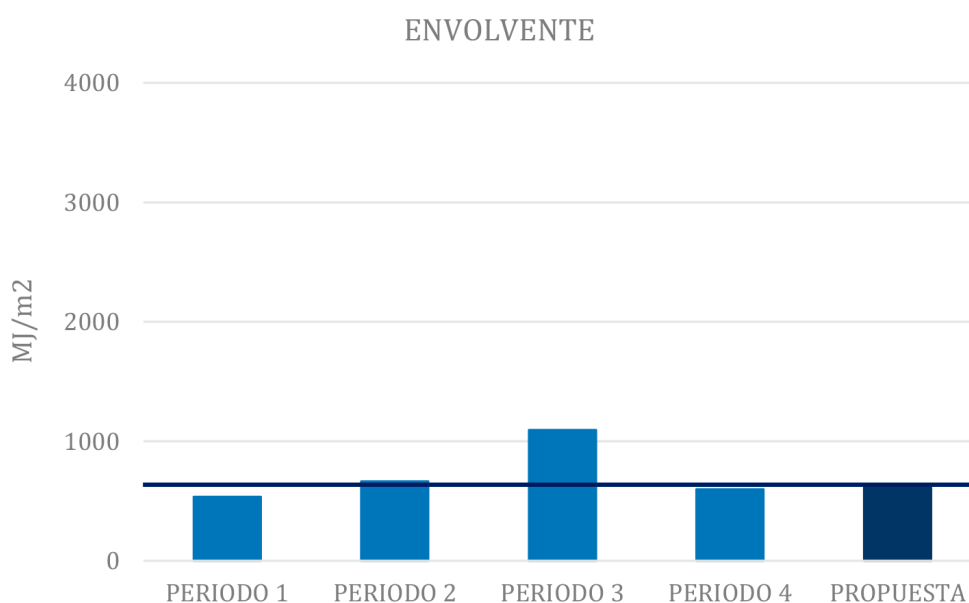


FIGURA 5.33: Comparación de Energía Incorporada requerida en la componente de Envolvente de cada uno de los periodos de análisis, en relación a la propuesta.

Acabados

Como se ha mencionado, de acuerdo al análisis del capítulo anterior, la componente de Acabados ha sido la que mayor impacto ha generado en las viviendas analizadas. Debido a que cada vez se insertan nuevos materiales, en muchas ocasiones, simplemente para cubrir un capricho estético del usuario o de los constructores. En este contexto, la reducción de acabados en la vivienda logra disminuir de manera considerable la *EI* en esta componente (Figura 5.34). Es así que en relación al primer periodo analizado, la propuesta logra reducir la *EI* un 76 %, este decremento se debe al reemplazo del hierro y del aluminio empleado en marcos de ventanas, por madera. A pesar de que la vivienda del periodo 1 no posee grandes superficies vidriadas, la incidencia de los metales en la

EI final es bastante significativa. En relación al periodo 2, la propuesta reduce la *EI* un 86 %, en este caso el porcentaje es mucho mayor, debido a que en esta vivienda se emplea en su totalidad aluminio para ventanas, y en pisos se insertan nuevos tipos de materiales, sumado a ello, en muros se emplea enlucido, empaste y pintura, lo que lleva al incremento de la *EI* final en la componente.

En referencia al periodo 3, la propuesta logra reducir la *EI* un 94 %. Las grandes aberturas acristaladas existentes en la vivienda del periodo 3, muestra una gran desventaja en la *EI* final, ya que se emplea vidrio y aluminio de manera desmedida. A más de ello, el uso de nuevos materiales en pisos como el piso flotante, porcelanato y pasamano de acero inoxidable, repercute de manera significativa en el incremento de la *EI* en este periodo. Finalmente, en relación al periodo 4, la propuesta muestra un decremento del 97 %. La vivienda del periodo 4, por su tendencia arquitectónica posee grandes superficies acristaladas, en las cuales se emplea vidrio templado, material que a pesar de no poseer ningún tipo de ventaja térmica sobre el vidrio simple, es uno de los materiales con una *EI* por unidad de peso elevada, lo que evidencia la incidencia de este material y en general de las superficies vidriadas en el incremento de la *EI*.

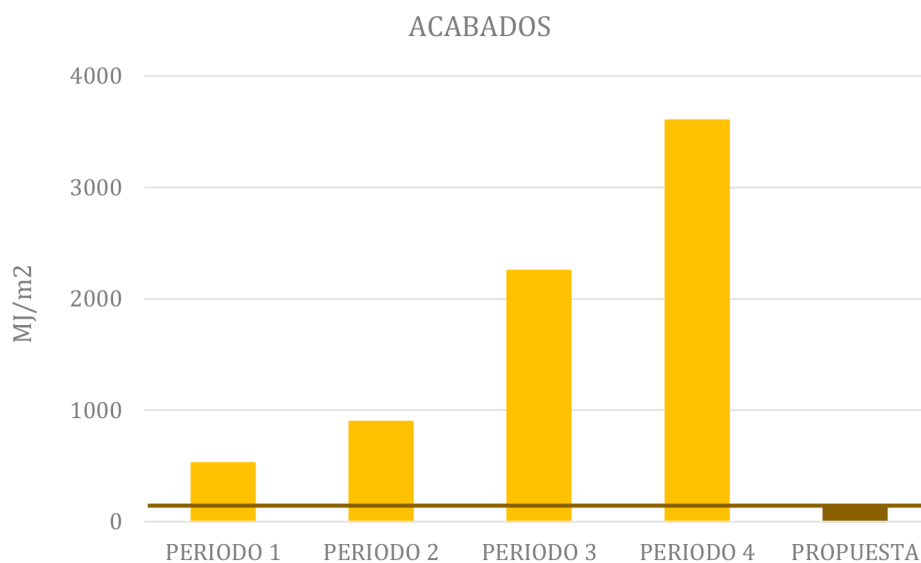


FIGURA 5.34: Comparación de Energía Incorporada requerida en la componente de Acabados de cada uno de los periodos de análisis, en relación a la propuesta.

Por lo tanto, en base a lo mencionado la propuesta logra reducir la *EI* final en relación a todos los periodos previamente analizados. Para la construcción de esta propuesta se requieren de 1170 MJ/m^2 , valor que es 5 veces menor al requerido en la vivienda del periodo 4 (Figura 5.35). De acuerdo a lo mencionado es posible reducir el impacto que genera la construcción en el medio ambiente, a través de la consideración de criterios que a más de reducir el impacto, permite el ahorro de recursos.

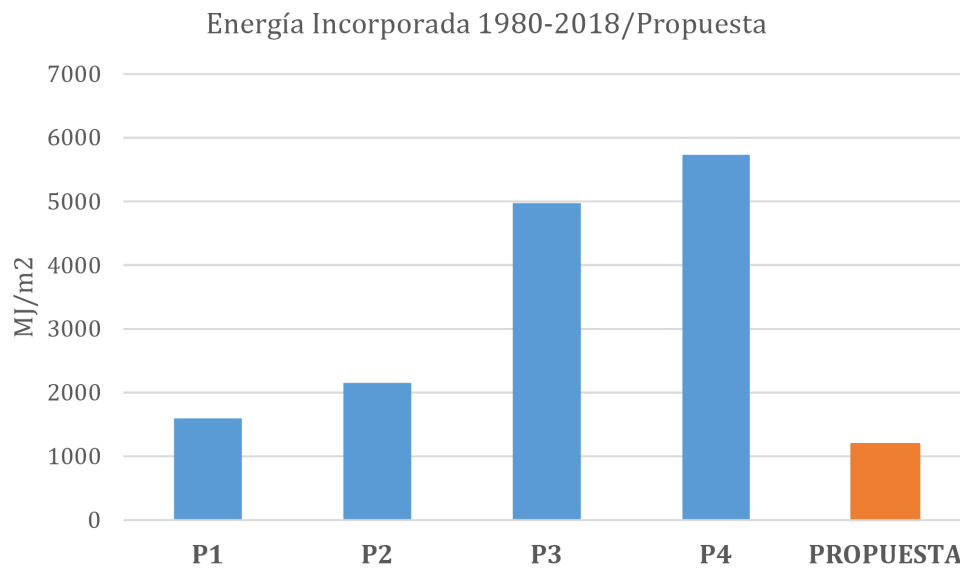


FIGURA 5.35: Comparación de propuesta con periodos analizados en el aspecto de Energía Incorporada.

La propuesta de vivienda ha sido analizada en el aspecto de Energía Incorporada y se ha comprobado que la *EI* final se reduce, sin embargo, es necesario establecer si el incremento o decremento de Energía Incorporada repercute en la temperatura interior de las viviendas.

5.5. Comparación de la Propuesta en el Aspecto Térmico

Para realizar estas simulaciones fue empleado el software Design Builder ([Desing Builder, 2016](#)), como modelador, junto al motor de cálculo Energy Plus ([DOE, 2017](#)), el cual trabaja a través de algoritmos. Este software es especializado en simulaciones energéticas y térmicas de las edificaciones. Debido a que la investigación se centra en la ciudad de Cuenca, fue obtenido el archivo climático de esta ciudad, con la extensión .EPW (Energy Plus Weather). Además, en base a la temperatura media de la ciudad de Cuenca, el día más frío es el 11 de agosto, por lo que los módulos serán simulados en esta fecha, debido a que este día es el más desfavorable para la temperatura interior. Para establecer una comparación térmica objetiva, en base al cambio de materiales entre cada uno de los periodos de análisis, se estableció un módulo para ser simulado con los diferentes materiales de cada uno de los periodos, sin generar desventajas morfológicas entre uno y otro.

5.5.1. Configuración de Simulaciones

La obtención del módulo se basó en primera instancia en un promedio del área de los dormitorios de las 4 viviendas analizadas junto a la propuesta, de donde se obtuvo un promedio de $13.9 m^2$, a través de esta dimensión se estableció un módulo para ser evaluado en el aspecto térmico (Figura 5.36).

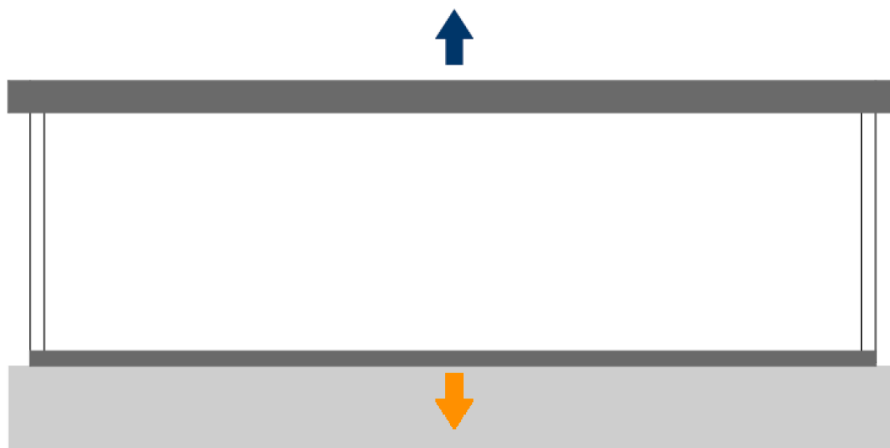


FIGURA 5.36: Módulo inicial para simulación

Sin embargo, al plantear como módulo de simulación solamente una habitación, los resultados no tendrían una alta veracidad, ya que los dormitorios de las viviendas se encuentran en planta alta, en donde no existe pérdida de calor por el suelo y por cubierta, sino solamente por cubierta. Por lo tanto, se consideró la modulación establecida dentro del diseño de vivienda, y se optó por simular los módulos dispuestos entre el eje A-B y los 3 establecidos entre los ejes 1-4, tanto en planta baja como en planta alta (Figura

5.37). Esta configuración resultó en un módulo con una dimensión total entre el eje A-B de 4.70 m x 9.80m. En esta modulación en planta baja se establece un solo ambiente como área social, es decir no se generan particiones en esta planta. Mientras que en planta alta se consideran los tres dormitorios planteados en el diseño de la vivienda junto a su circulación en el pasillo.

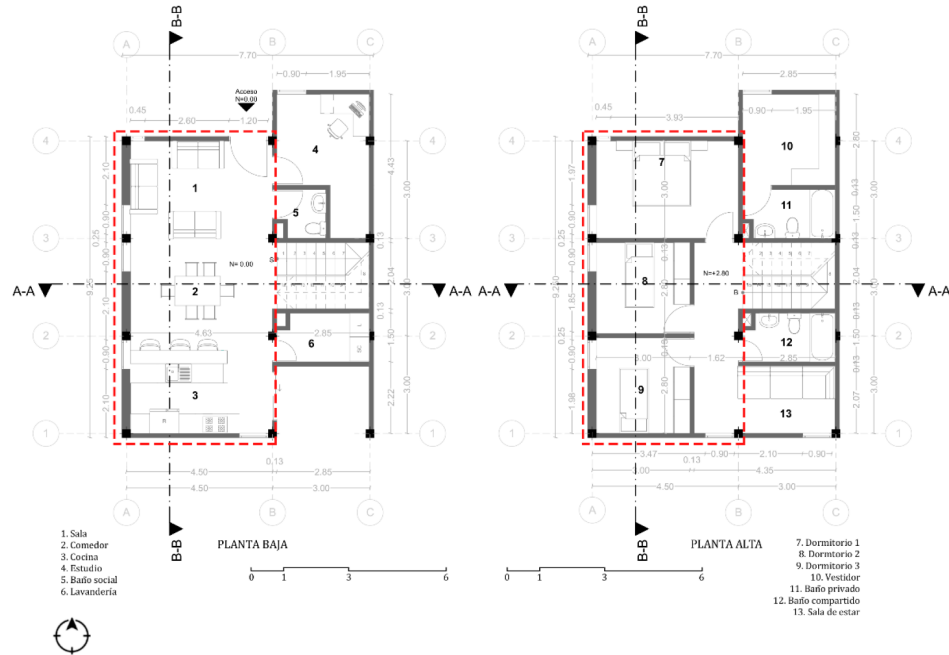


FIGURA 5.37: Área establecida para simulaciones digitales.

De igual manera para la construcción del modelo fue considerada la altura establecida en el diseño de vivienda, la cual corresponde a 2.40m de piso a techo. Una vez establecido el modelo, los materiales correspondientes a cada uno de los periodos y a la propuesta fueron configurados en el software Design Builder. Las configuraciones específicas de todos los periodos y de la propuesta se muestran en el Anexo 3. De cada periodo y de la propuesta será simulado todo el módulo, sin embargo, será considerada la temperatura interior (Ti), de la habitación ubicada en la planta alta, en la zona central (Figura 5.38), para establecer la comparación térmica entre periodos y la propuesta.

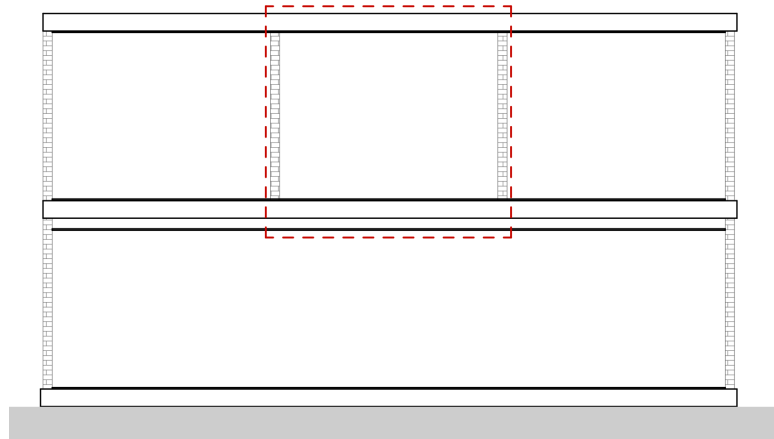


FIGURA 5.38: Habitación de análisis, para resultados de Ti en cada periodo y la propuesta.

5.5.2. Resultados Térmicos por Periodos de Análisis y Propuesta

Periodo 1

De las viviendas analizadas en el capítulo anterior, la vivienda del periodo 1 fue la que menor Energía Incorporada tenía, la simplicidad de sus sistemas constructivos y la baja cantidad de acabados lograba que sea la vivienda menos incidente. En relación a la temperatura interior de la vivienda, a través de la configuración de materiales y aberturas vidriadas en fachada, se ha obtenido que la máxima temperatura interior es de 22.7°C mientras que la mínima llega a 18.4°C . Esto genera una oscilación diaria de 5°C , con lo cual en el periodo entre las 15h00 y 1h00 la vivienda se mantiene dentro del rango de confort (21°C - 24°C), es decir 11h lo que representa un 46 % del día. Hay que hacer notar que dada la alta masa térmica de la vivienda de este periodo, la temperatura alcanza el confort en las horas de la tarde y se mantiene así hasta las 00h00, por el contrario en las horas de madrugada y todo el periodo matutino la vivienda se encuentra en desconfort (Figura 5.39).

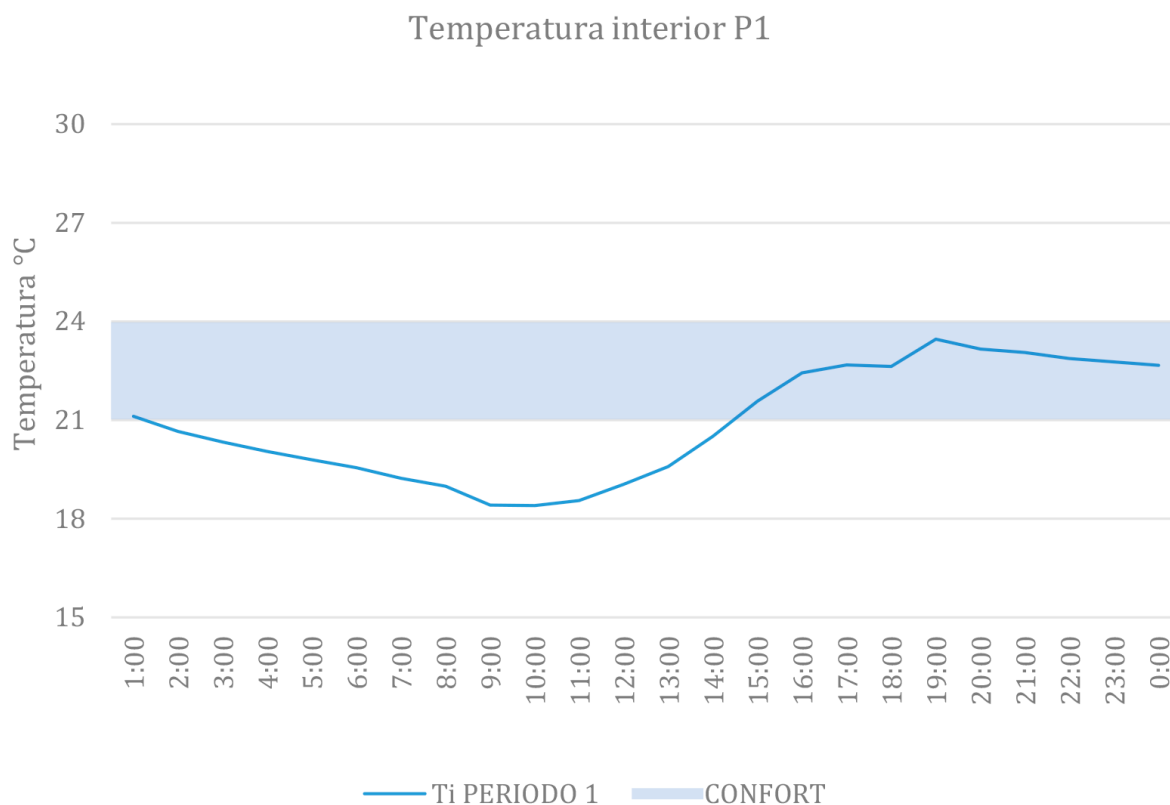


FIGURA 5.39: Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 1

Periodo 2

La vivienda del periodo 2 posee 26 % más Energía Incorporada en relación a la vivienda del periodo 1, en base a lo mencionado, en este periodo se han cambiado algunos materiales. Como la inserción de losa de hormigón armado en planta baja, el cambio de fibrocemento por teja en la envolvente vertical y el empaste en acabado de mampostería. Además, para este periodo la superficie vidriada se ha incrementado al 40 %. En relación a la temperatura interior de la vivienda, a través de la configuración de materiales y aberturas vidriadas en fachada, se ha obtenido que la máxima temperatura interior es de 23.61°C mientras que la mínima llega a 18.91°C.

Esto genera una oscilación diaria de 5 °C, con lo cual en el periodo entre las 14h00 y 01h00 la vivienda se mantiene dentro del rango de confort (21°C-24°C), es decir 12h lo que representa un 50 % del día. Es importante mencionar que dada la alta masa térmica de la vivienda de este periodo, la temperatura alcanza el confort en las horas de la tarde y se mantiene así hasta la 01h00, por el contrario en las horas de madrugada y todo el periodo matutino la vivienda se encuentra en desconfort (Figura 5.40).

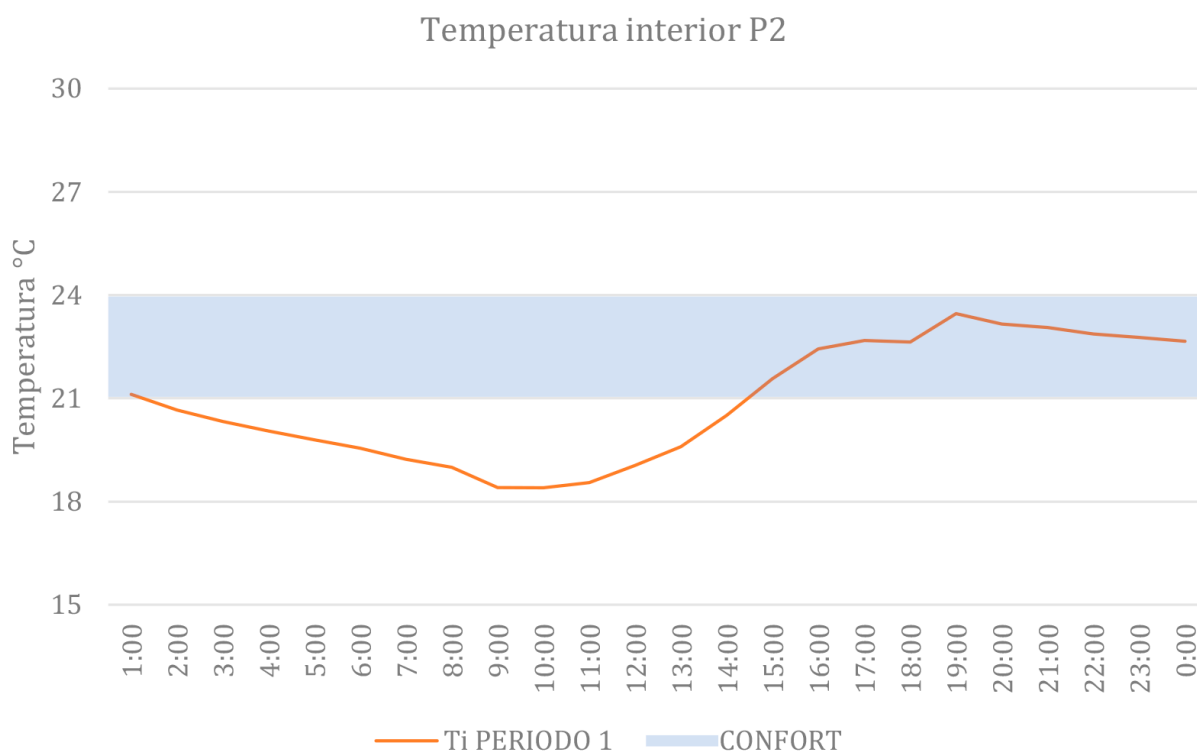


FIGURA 5.40: Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 2.

Periodo 3

La vivienda del periodo 3 posee 57 % más Energía Incorporada en relación a la vivienda del periodo 2, en base a lo mencionado, en este periodo el mayor cambio en la materialidad se da en la estructura de la vivienda, en donde, se emplea en mayor parte el hormigón armado. Además, para este periodo la superficie vidriada se ha incrementado al 80 % con respecto a la pared de la habitación. En relación a la temperatura interior de la vivienda, a través de la configuración de materiales y aberturas vidriadas en fachada, se ha obtenido que la máxima temperatura interior es de 28.32°C mientras que la mínima llega a 19.55°C.

Esto genera una oscilación diaria de 8°C, con lo cual en el periodo entre las 12h00 y 13h00; y entre las 23h00 y 03h00 la vivienda se mantiene dentro del rango de confort (21°C-24°C), es decir 7h lo que representa un 29 % del día. Las grandes aberturas en este periodo provocan que la oscilación de la temperatura sea mayor, en relación a los periodos anteriores, además en este periodo, se genera un rango de tiempo con un elevado calentamiento en el interior. Dado que la superficie vidriada es superior a la de mampostería, las ganancias y pérdidas de calor se generan de manera más acelerada. Por lo que, la vivienda se encuentran por periodos más prolongados en disconfort (Figura 5.41).

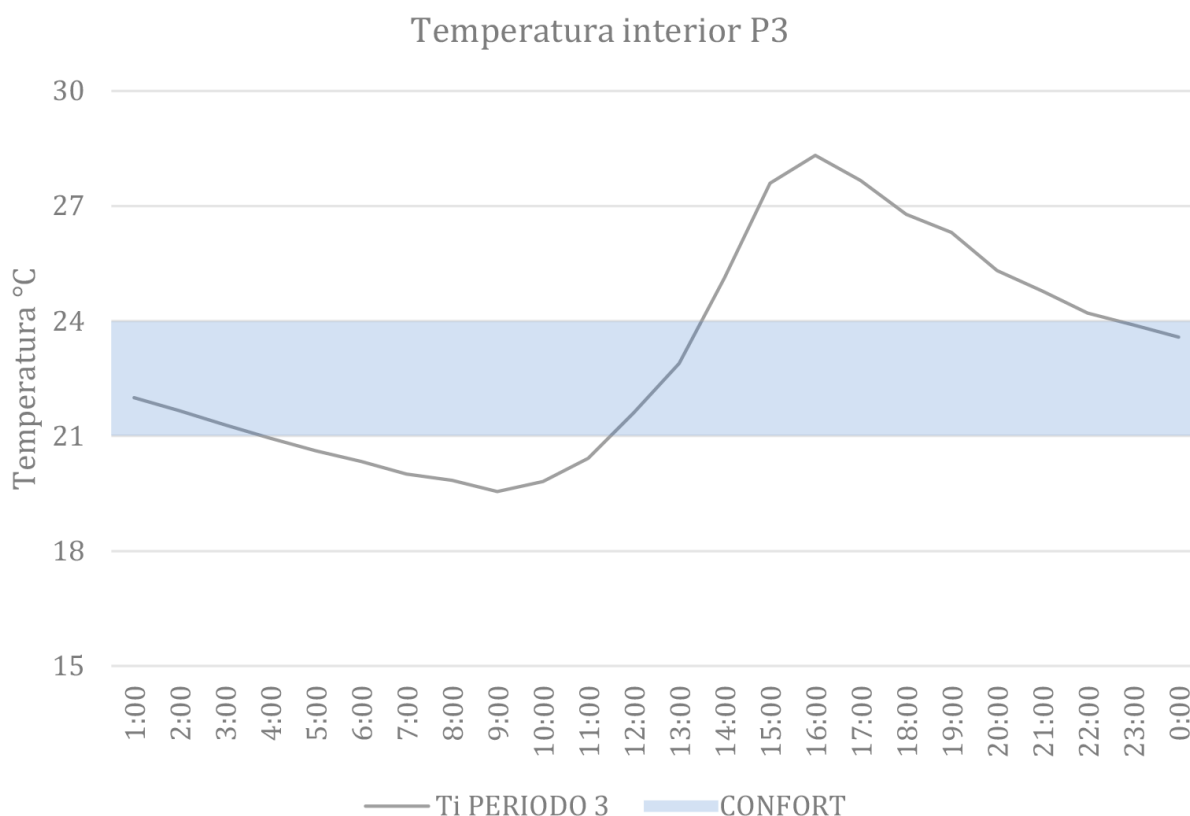


FIGURA 5.41: Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 3.

Periodo 4

La vivienda del periodo 4 posee 13 % más Energía Incorporada en relación a la vivienda del periodo 3, en base a lo mencionado, en este periodo el mayor cambio en la materialidad se da en la estructura de la vivienda, ya que el hormigón armado es reemplazado por estructura metálica. A más de ello, otra característica determinante en este periodo es que la mayor superficie de mampostería es de vidrio templado, lo que corresponde al 95 % de la superficie de pared. En base a lo mencionado, la *EI* en la estructura disminuye, pero el uso de vidrio templado aumenta la *EI* de manera notable, sin embargo, estos cambios no generan ventajas en la temperatura interior de la vivienda. En relación a la temperatura interior de la vivienda, a través de la configuración de materiales y aberturas vidriadas en fachada, se ha obtenido que la máxima temperatura interior es de 26.73°C mientras que la mínima llega a 19.88°C.

Esto genera una oscilación diaria de 6.85°C, con lo cual en el periodo entre las 12h00 y 13h00; y entre las 00h00 y 04h00 la vivienda se mantiene dentro del rango de confort (21°C-24°C), es decir 7h lo que representa un 29 % del día. Las grandes aberturas en este periodo provocan que la oscilación de la temperatura sea mayor, en relación al periodo 1 y 2, además en este periodo, la temperatura interior no desciende de los 20°C, sin embargo, se genera un rango de tiempo con un elevado calentamiento en el interior. Dado que la superficie vidriada es superior a la de mampostería, las ganancias y pérdidas de calor se generan de manera más acelerada. Por lo que, la vivienda se encuentran por periodos más prolongados en disconfort (Figura 5.42).

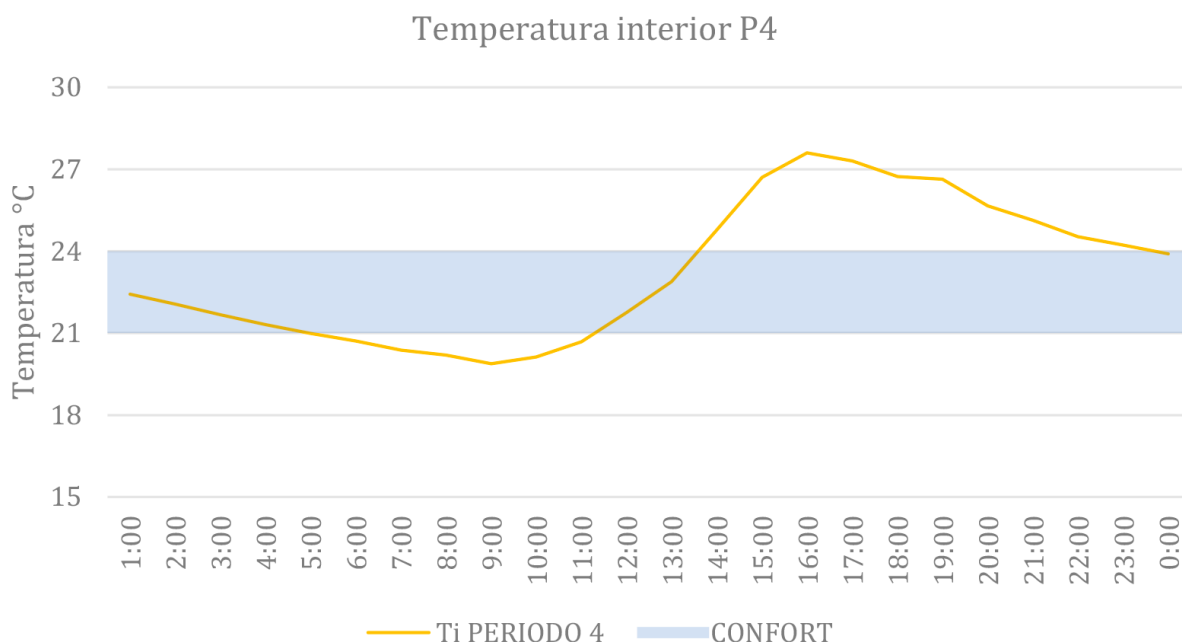


FIGURA 5.42: Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda del periodo 4.

Propuesta

La simulación de la propuesta sirvió para que de manera conjunta sean definidos los materiales a emplearse, ya que a través de este análisis fue posible determinar materiales que logren disminuir la Energía Incorporada y que a su vez aporten a mejorar el confort en el espacio interior de la vivienda. De acuerdo a lo mencionado, el proceso de simulación de la propuesta tuvo dos instancias, en la primera, como se indicó previamente, se contemplaron los materiales con menor *EI* y se planteaba reducir al máximo el uso de mayor cantidad de recursos. Además las aberturas consideradas se planteaban en cuadrados de 1,50 x 1,50m, lo que corresponde al 30 % de la superficie de mampostería. Los resultados obtenidos en esta primera etapa, no mostraban una mejoría en relación a los periodos analizados, por lo que, tanto los materiales como la superficie vidriada fue modificada (Anexo 3: Figura 6.40).

En relación a los materiales se planteó emplear mayor masa térmica para evitar las aceleradas pérdidas de calor, en base a esto, en la fachada con mayor incidencia de radiación solar (oeste), se planteó una mampostería de ladrillo doble. A su vez en cuanto a la superficie vidriada, el porcentaje fue mantenido en 30 %, sin embargo, se redujo la longitud de la ventana y el alto fue incrementado de piso a techo, esto permite captar mayor cantidad de radiación solar y además iluminar el interior de la vivienda con mayor profundidad (Serra & Coch, 1995). Conforme a lo discutido, el incremento de la mampostería doble de ladrillo panelón, incrementa un 4 % en la *EI* final de la componente de Envoltente. A pesar de ello muestra una evidente mejora en la *Ti* de la propuesta.

Por lo que los resultados finales se obtienen en base a las modificaciones realizadas, las mismas que exponen lo siguiente (Figura 5.43). En relación a la temperatura interior de la vivienda, a través de la configuración de materiales y aberturas vidriadas en fachada, se ha obtenido que la máxima temperatura interior es de 24°C mientras que la mínima llega a 19°C. Esto genera una oscilación diaria de 5°C, con lo cual en el periodo entre las 14h00 y 02h00 la vivienda se mantiene dentro del rango de confort (21°C-24°C), es decir 13h lo que representa un 54 % del día. En la propuesta, dada la alta masa térmica de la vivienda, la temperatura alcanza el confort en las horas de la tarde y se mantiene así hasta las 02h00, por el contrario en las horas de madrugada y todo el periodo matutino la vivienda se encuentra en desconfort.

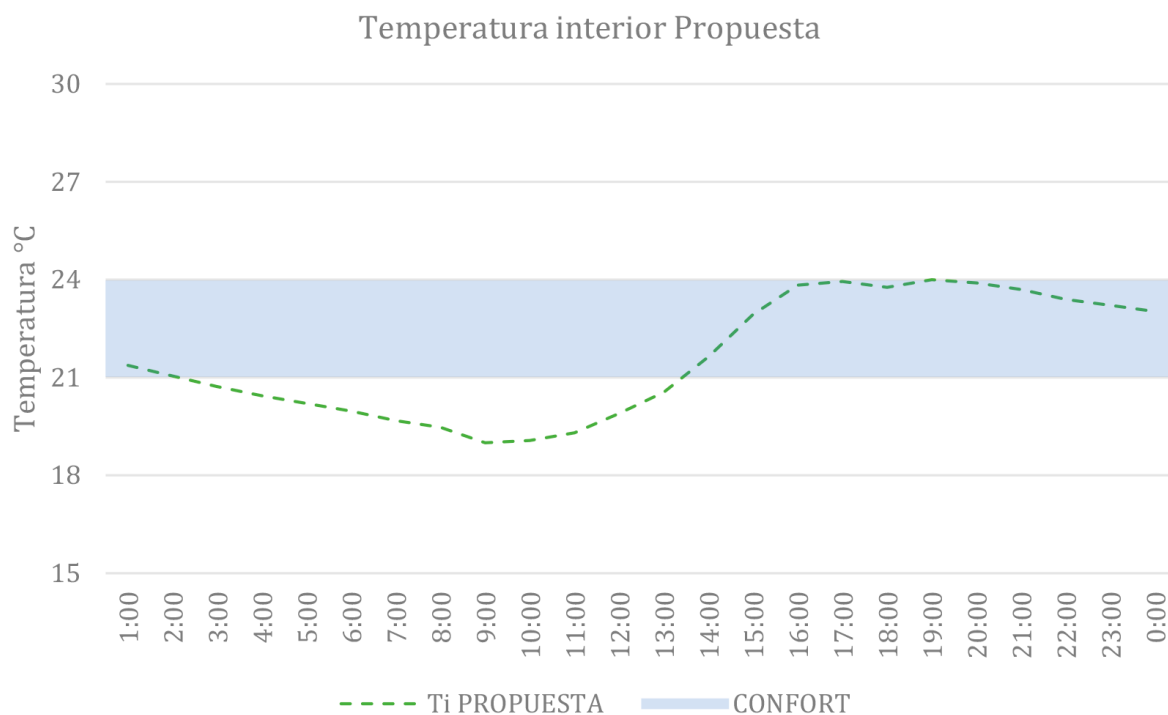


FIGURA 5.43: Temperatura interior (Ti), en el dormitorio de la vivienda propuesta.

5.5.3. Comparación de la Ti de Periodos de Análisis y Propuesta

A continuación se muestra un análisis comparativo de la temperatura interior de las viviendas de todos los periodos y la propuesta (Figura 5.44). Como se ha mencionado previamente, a más de considerar los materiales empleados en cada vivienda, se ha evidenciado el incremento paulatino de la superficie vidriada, por lo que ha sido una variable determinante dentro de la temperatura interior. En este contexto, existen dos tendencias marcadas entre los periodos de análisis. Primero, en el periodo 1 y 2, la temperatura desciende bajo la zona de confort y llega hasta los 19°C, luego de este periodo tiende a incrementarse y se mantiene dentro de la zona de confort. Esto se debe a los materiales empleados en estas viviendas, ya que por su masa térmica son capaces de retener el calor por periodos más prolongados. A esto sumado la superficie de ventana que varía entre el 20% y 40%, permiten menores pérdidas de calor en el interior.

Segundo, el periodo 3 y 4, que muestra la tendencia contraria a la mencionada previamente, ya que en este caso, la temperatura asciende sobre la zona de confort, hasta llegar a los 28°C, luego de este periodo, se genera un descenso debajo de la zona de confort y llega hasta los 19°C. Estas pronunciadas variaciones de temperatura se deben, por una parte, a que la mayor parte de la envolvente horizontal es de vidrio, por lo que, en el día existen grandes ganancias de calor, que incluso llevan al sobrecalentamiento de la habitación. Por otro lado, el vidrio usado como envolvente no posee ninguna ventaja como aislamiento y al enfriarse la temperatura tiende a descender y se produce un gran enfriamiento en la habitación. En base a estas variantes, como ya se ha mencionado, para la propuesta se consideró una superficie vidriada del 30%. A más de ello en la envolvente

fueron establecidos materiales con mayor masa térmica, para que estos sean capaces de mantener la temperatura interior por periodos más prolongados de tiempo. De acuerdo con estos resultados la T_i de la propuesta y del periodo 1 son las que se mantienen más cerca de la zona de confort, con un ligera diferencia de la propuesta con, 0.5°C por arriba de la T_i del periodo 1, lo cual la acerca más a la zona de confort en el periodo nocturno.

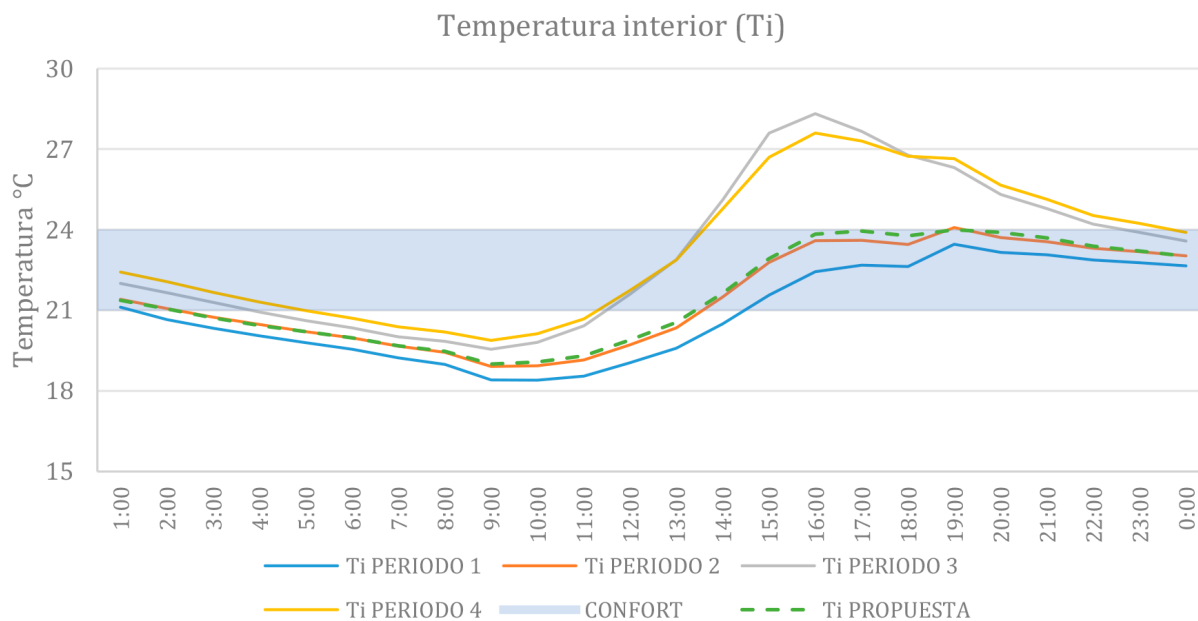


FIGURA 5.44: Temperatura interior de los periodos de análisis y propuesta.

Los periodos de tiempo en los que la temperatura desciende o asciende por arriba o por debajo respectivamente de la zona de confort, son considerados como periodos que demandan energía por refrigeración o calefacción. Hasta ahora sólo se ha relacionado las horas que permanece en confort, pero no la diferencia en grados. Por lo cual, se ha realizado un análisis basado en grados-horas, medida que sirve para evaluar el requerimiento de calefacción y refrigeración de manera absoluta (Zomorodian et al., 2016), para evaluar cuantitativamente el desempeño térmico de las viviendas de los 4 periodos y la propuesta (Figura 5.45). De acuerdo con estos resultados se obtiene que la vivienda que tiene mayor demanda de energía es la del periodo 3, le sigue la vivienda del periodo 4, y la del periodo 1. La vivienda que menor energía demanda es la propuesta, con 12.69 grados-hora, muy seguido de la vivienda del periodo 2 (13.53 grados-hora).

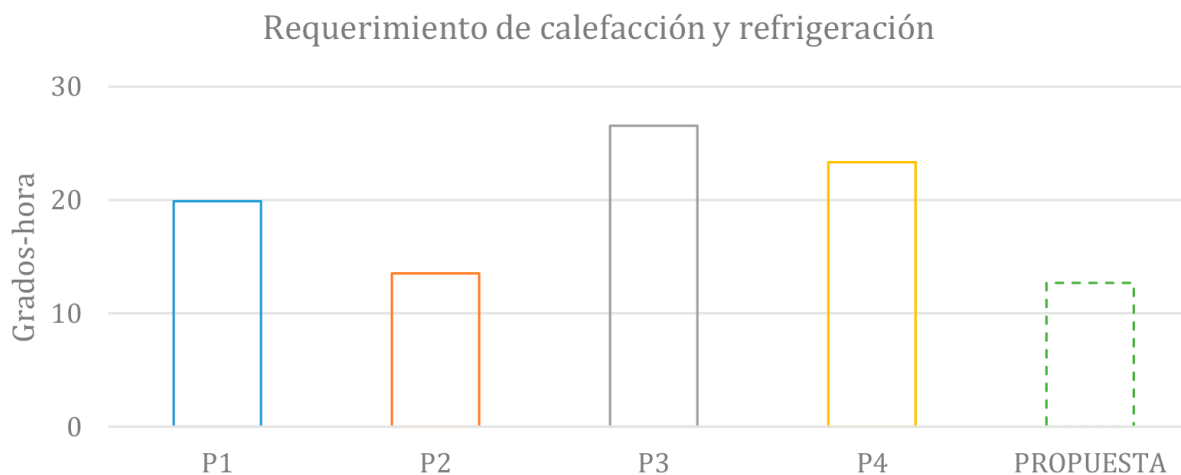


FIGURA 5.45: Demanda energética por calefacción refrigeración de los periodos de análisis y la propuesta.

Conforme a estos resultados se puede evidenciar que de manera general la demanda de energía a lo largo de los años se ha incrementado, o lo que quiere decir que el confort térmico interior de las viviendas de Cuenca se ha reducido (Figura 5.46). Por tanto, el cambio de materiales que se ha venido presentado en estos periodos no ha significado una mejora en las condiciones ambientales interiores, sino más bien ha representado una reducción del confort térmico interior.

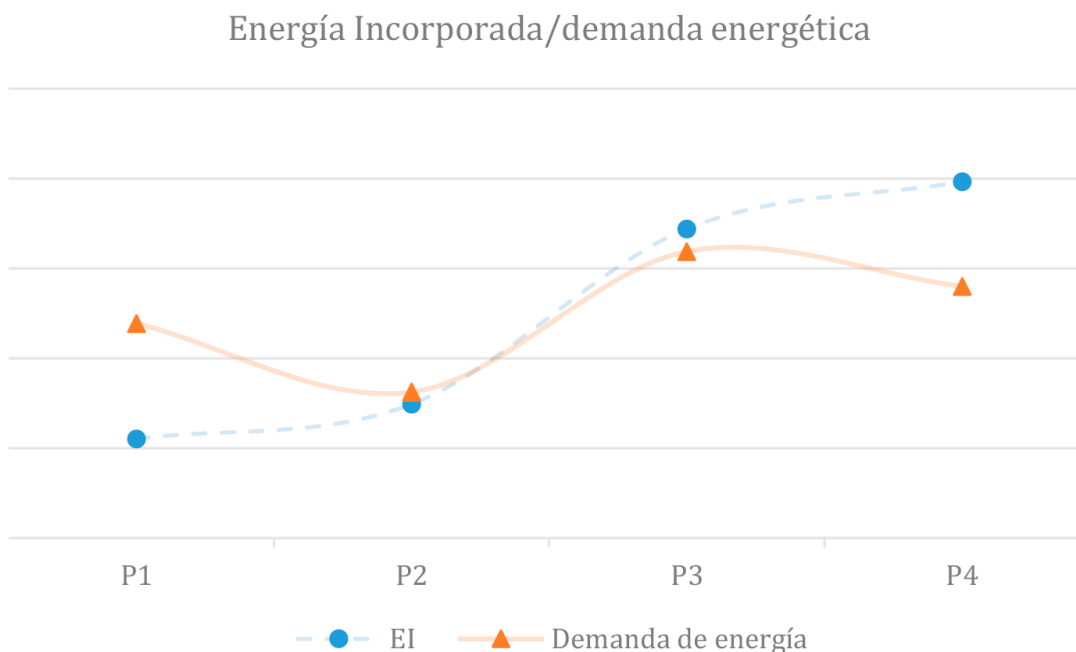


FIGURA 5.46: Relación de incremento de EI e incremento de la demanda energética de los periodos analizados

5.6. Resumen del Capítulo

A lo largo de este capítulo se ha desarrollado la propuesta de vivienda, la misma que ha tenido como objetivo reducir la Energía Incorporada y a su vez mejorar el confort interior de los espacios. De acuerdo a lo mencionado, se han establecido varios criterios que han aportado a cumplir el objetivo planteado. En primera instancia, dentro de los criterios bioclimáticos, se consideró la temperatura y humedad promedio de la ciudad, para a través de estos factores determinar la zona en la que se encuentra según el ábaco psicrométrico de Givoni. Por lo cual se determinó que en la zona II se requiere captación solar e inercia para mejorar el confort interior.

En este contexto, se propuso que los espacios habitables estarían concentrados en la fachada oeste, para aprovechar la mayor cantidad de radiación solar. Además se definió el uso de ladrillo macizo y un porcentaje de ventana en fachada del 30 %, para retener por periodos más prolongados el calor captado. Junto a estas condiciones, se desarrollan los criterios de reducción de impacto ambiental, los cuales, a través del diseño modulado y el uso de materiales con la menor *EI*, lograrían reducir el impacto y mejorar el confort interior. La propuesta establecida, ha sido comparada con las viviendas de los periodos analizados en el capítulo anterior. Esta comparación ha sido abordada tanto en el aspecto de Energía Incorporada como en el aspecto térmico.

En base a lo mencionado, por una parte, la propuesta establecida logra reducir la *EI* ocho veces, en relación al último periodo (P4) de análisis, el cual muestra la mayor relevancia de todos los analizados previamente. De las componentes analizadas, en la Estructura, el uso de hormigón, en conjunto con madera, permite que la *EI* se reduzca un 70 %, en relación a un sistema de acero estructural y un 72 %, en relación a un sistema que emplea hormigón en su totalidad. En cuanto a la Envolverte, la reducción de la *EI* es menor, ya que los materiales que emplea la propuesta son similares a los empleados en los periodos de análisis, sin embargo, la reducción de un porcentaje de mortero de cemento en mampostería y la consideración de una cubierta plana que permita disminuir el uso del material, logran reducir entre un 3 % y 30 % la *EI*. Finalmente, la mayor reducción de *EI* se genera dentro de la componente de Acabados, ya que se emplean materiales naturales en pisos y se elimina el uso de enlucido, empaste y pintura. Además, la superficie vidriada no sobrepasa el 30 %, por lo que la necesidad de materiales con una elevada *EI* por unidad de peso es reducida. La propuesta en esta componente llega a reducirse hasta un 97 %, en relación a los periodos analizados.

Por otra parte, en el aspecto térmico, se identificó que el uso de materiales livianos, en conjunto con los porcentajes elevados de fachadas vidriadas, generan grandes variaciones de temperatura en el interior. Es así que en el periodo 1 y 2, las oscilaciones son de 5°C, mientras que en los periodos 3 y 4, la oscilación diaria es de 8° y 6.8°C respectivamente. Finalmente, en base a la temperatura interior de cada periodo, se obtuvo la demanda energética por refrigeración y calefacción. De los periodos analizados, el 3 y 4 son los que mayor valor poseen, es decir se alejan más de la zona de confort, mientras que en el periodo 1 y 2 el valor es menor. Sin embargo, la propuesta logra reducir aún más este requerimiento, por lo que se acerca más a la zona de confort.

capítulo 6

Conclusiones

La presente tesis se ha enfocado en el análisis de la variación de Energía Incorporada y su repercusión en la temperatura interior, en las viviendas de la ciudad de Cuenca. Para lo cual se han analizado los sistemas constructivos predominantes desde el año 1980 hasta el 2018.

El consumo energético en el país ha avanzado progresivamente, resultado de aquello es el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El sector residencial y de la construcción, son uno de los sectores más influyentes en este incremento. Por lo que, conforme avanza la demanda de vivienda, el sector de la construcción tiende a insertar nuevos materiales en el mercado, los cuales tienen la intención de ahorrar tiempos de ejecución y en mayor parte, pretenden solventar caprichos estéticos por parte de usuarios o constructores.

En este contexto, los materiales empleados en la construcción cuencana en el año de 1980 no son los mismos que se emplean en la actualidad, ya que por varios requerimientos o simplemente por tendencias arquitectónicas insertadas en la ciudad, la materialidad de las viviendas se ha modificado, sin considerar el elevado efecto contaminante que esto genera. En las últimas décadas, la ciudad de Cuenca ha experimentado un sustancial cambio en los materiales empleados en la construcción. Estos cambios se han dado en las componentes de Estructura, Envolvente y Acabados, de manera más acentuada en los acabados empleados en las viviendas, ya que se ha pasado de usar materiales naturales a materiales globalizados. Es posible que estos cambios, busquen adaptar la construcción cuencana a las corrientes actuales de modernidad, lo que encamina a la construcción de la ciudad a un proceso de globalización.

En un inicio, los procesos de edificabilidad, respondían a las condiciones climáticas de una determinada región, por lo que, los materiales empleados en la construcción aportaban a mejorar el confort interior de los espacios. Sin embargo, con esta intención de posicionar a la ciudad dentro de un rango de modernidad, se ha dejado a un lado la importancia de la consideración de los factores climáticos y la incidencia del uso de materiales industrializados, en el incremento del consumo de energía. En base a lo mencionado, el objetivo general de la presente tesis ha sido: **Diseñar una vivienda, para la ciudad de Cuenca, con énfasis en la reducción de la Energía Incorporada en función de un análisis previo de los sistemas de construcción utilizados en esta ciudad.**

Para alcanzar este objetivo general, se han considerado cuatro objetivos específicos. En primer lugar, revisar y analizar bibliografía, a nivel global, de estrategias aplicadas para la reducción de la Energía Incorporada en la construcción. En segundo lugar, a través de la determinación de sistemas constructivos predominantes en la construcción cuencana en las últimas décadas, establecer índices de Energía Incorporada en cada uno de los periodos de análisis. En tercer lugar, categorizar los materiales de construcción que mayor incremento en la *EI* generan. Finalmente, a través del análisis realizado proponer y comparar el diseño de vivienda tanto en el aspecto de Energía Incorporada, como en el aspecto térmico a través de simulaciones digitales, para definir como el incremento de Energía Incorporada repercute en la temperatura interior de las vivienda en la ciudad.

Conclusiones

En base a lo expuesto a lo largo de esta tesis, es posible extraer las siguientes conclusiones:

Primero, alrededor del mundo, se ha evidenciado la preocupación por el constante incremento de Energía Incorporada en la construcción, por lo que se han planteado varias estrategias que se enfocan en reducir este consumo, a través de la consideración de las variables de: Energía Incorporada por unidad de peso y peso del material. A pesar de ello, de manera general en Latinoamérica, las investigaciones realizadas aún son escasas, y más aún dentro de Ecuador, ya que la construcción avanza hacia la industrialización sin un enfoque, sin considerar el impacto ambiental que genera el constante cambio de materiales y la inserción de nuevos sistemas constructivos. Y más aún, sin considerar las condiciones del confort interior, tanto lumínico, auditivo y mucho menos térmico.

Segundo, la construcción en Cuenca ha sido modificada con el pasar de los años, actualmente se emplea gran cantidad de productos importados que buscan abrir paso hacia la globalización de la construcción. De acuerdo a lo mencionado, para una construcción sencilla de 1980, con el uso de materiales naturales, en ciertos elementos constructivos, se requerían de $1.5 \text{ GJ}/\text{m}^2$. Para la siguiente década, a pesar de que aún se mantenían ciertos sistemas que empleaban materiales como la madera, el requerimiento de energía casi llega a duplicarse, y para este periodo se requería de $2.1 \text{ GJ}/\text{m}^2$. Para el siguiente periodo de 2000-2009, la estructura de la vivienda es reemplazada en su totalidad por hormigón armado y el requerimiento de energía se incrementa a $5 \text{ GJ}/\text{m}^2$. Con relación al periodo anterior la *EI* en este periodo se duplica. Finalmente, para el periodo 4, se requiere de $6 \text{ GJ}/\text{m}^2$. Por lo tanto, es evidente que la Energía Incorporada en la construcción de la ciudad, de 1980 a 2018 se ha incrementado de manera considerable. En 40 años la *EI* requerida para la construcción ha experimentado un incremento del 72 %.

Tercero, la Energía Incorporada ha mostrado variaciones en las tres componentes analizadas, sin embargo, la componente de Acabados ha sido la más influyente. Esto se debe a que en esta componente, el uso de nuevos materiales es cada vez más elevado, y por lo general, son los materiales más importados al país, por lo que su uso repercute en gran medida en el incremento de *EI*. Materiales pesados como el hormigón, el mortero, elevan la *EI* final de la vivienda. Sin embargo, metales altamente procesados o vidrios con diferentes características, son aún más incidentes, por lo que el porcentaje desmedido de superficie vidriada en fachada, llega a elevar la *EI* de la componente de Acabados hasta un 87 %. El caso contrario se evidencia con el uso de materiales naturales, como la madera, la cual pueden llegar a disminuir la *EI* entre el 26 % y 60 %. Por último, la arquitectura en la ciudad de Cuenca avanza sin un enfoque, por lo que los sistemas constructivos empleados, generan cada vez mayor contaminación, y a más de ello no se considera el confort interior de los espacios.

Conforme a lo discutido, se ha planteado una propuesta de vivienda que, a través del análisis realizado, emplea los materiales con menor requerimiento de energía. Esta consideración logra reducir cinco veces la *EI* requerida, en relación a la vivienda del

periodo 4. Es decir, se reduce la Energía Incorporada de 6 GJ/m^2 a 1.1 GJ/m^2 . A más de ello, la modulación del diseño, tanto en planta como en alzado, permite ahorrar material, disminuir los desperdicios y por tanto reduce la *EI*.

En el aspecto térmico por su parte, se ha evidenciado que mientras más se incrementa la Energía Incorporada, el confort interior disminuye, esto se debe a que los sistemas constructivos empleados en la actualidad no están enfocados en generar espacios confortables para los usuarios, sino que se adaptan a diferentes tendencias arquitectónicas enfocadas solamente en el diseño estético. En este sentido, se han considerado dos variables determinantes dentro del confort del espacio interior. La primera han sido los materiales empleados, ya que con el paso de los años, los materiales con mayor masa térmica han sido reemplazados por otros más livianos, que a pesar de disminuir el peso de la construcción no poseen ninguna ventaja térmica frente a los otros materiales, ya que las pérdidas de calor se generan de manera más acelerada.

La segunda variable considerada ha sido el porcentaje de superficie vidriada dentro de las viviendas, ya que este porcentaje con el paso de los años ha tendido a incrementarse. Este incremento contrario a generar una sensación de confort en los espacios interiores, puede llevar a un sobrecalentamiento de la habitación y por lo tanto aumenta la demanda energética para sistemas de enfriamiento. De acuerdo con este estudio, se ha logrado mantener una temperatura muy cercana al confort sin utilizar materiales aislantes de alto consumo de *EI*. Sólo han sido consideradas estrategias pasivas, dado que el clima de Cuenca es frío, al considerar la masa térmica de los materiales y la captación solar, es posible mejorar las condiciones de confort interior.

Por lo tanto, en esta investigación el incremento en la Energía Incorporada ha repercutido de manera negativa en el confort del espacio interior de las viviendas analizadas. Debido a que el uso de materiales cada vez más livianos o fachadas con porcentajes cada vez más altos de superficie vidriada, generan mayores oscilaciones en la temperatura interior. En consecuencia, la selección de materiales en el diseño inicial puede lograr que la Energía Incorporada de la vivienda no se incremente, a más de ello, puede ofrecer mejores condiciones de confort en los espacios interiores y por tanto disminuye la demanda energética de sistemas de calefacción y refrigeración.

Recomendaciones

A lo largo de esta tesis, se ha podido evidenciar que los materiales empleados en Acabados son los que generan un mayor incremento de EI en las viviendas de la ciudad. Mientras que, en la componente de Envolverte sucede lo contrario. Existe una tendencia en el uso de materiales cada vez más livianos o el uso de superficies acristaladas cada vez más amplias. Y en el contexto de la ciudad de Cuenca, con un clima frío, el uso de materiales con mayor masa térmica es importante para mejorar el confort interior de los espacios. Por lo que se recomienda prestar especial atención a los materiales de esta componente, ya que en esta se dan las mayores pérdidas y ganancias de calor interior.

La principal limitación de esta investigación ha sido el uso de valores referenciales de EI , por lo que se recomienda como futura línea de investigación, obtener valores propios de EI para los materiales empleados en la construcción en la ciudad de Cuenca. A pesar de esta limitante, los resultados obtenidos se acercan a la realidad constructiva de la ciudad, lo cual ha evidenciado dentro de la propuesta que el uso de una guía de materiales, en la concepción del diseño inicial, puede aportar a la reducción de EI , sin dejar a un lado el confort interior. Este trabajo se plantea como una base para el desarrollo de futuras investigaciones que puedan aportar aún más en el ámbito medio ambiental, tanto en la academia como en la vida profesional. A través de la elaboración de una guía de diseño con enfoque ambiental y constructivo. Se recomienda además establecer esta tipología de análisis en diferentes regiones del Ecuador, para así comparar si las condiciones tanto sociales, como climáticas han influenciado en el incremento o decremento de EI y su repercusión en la temperatura interior de las viviendas.

Referencias

Referencias Bibliográficas

- Acosta, C. (2000). *Dolarización informe urgente*. Quito-Ecuador: Abya-Yala.
- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, problemas y estrategias. *DEARQ Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes*, 4(1982), 14–24.
- Alaña, T., Capa, L., y Sotomayor, J. (2017). Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las MIPYMES del Ecuador. *Universidad y Sociedad (seriada en línea)*, 9(1), 91–99.
- Álvarez, L., Casanovas, X., Cuchí, A., y X., B. (2004). *Análisis de los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva medioambiental*. Lanzarote.
- Alvear, P., y Palomeque, R. (2017). *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales*. (Tesis de grado). Universidad de Cuenca.
- Argüello, T., y Burgos, A. C. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 × 10 Con Techo-Chiapas del CYTED. *Informes de la Construcción*, 60(509), 25–34.
- Asif, M., Muneer, T., y Kelley, R. (2007). Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, 42(3), 1391–1394. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.11.023
- Barboza, O. (2013). Calentamiento Global : “La Máxima Expresión De La Civilización Petrofósil”. *Revista del CESLA*(16), 35–68.
- Berge, B. (2009). *The Ecology Building Materials*. (2.ed. ed.). Oxford UK: Elsevier Ltd.
- Buchanan, A. H., y Honey, B. G. (1994). Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, 20(3), 205–217. doi: 10.1016/0378-7788(94)90024-8
- Buis, A. (2019a, oct). *The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide – Climate Change: Vital Signs of the Planet*. Descargado 2020-02-12, de <https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>
- Buis, A. (2019b). *The Atmosphere: Keeping a Weather Eye on Earth’s Climate Instabilities – Climate Change: Vital Signs of the Planet*. Descargado 2020-02-10, de <https://climate.nasa.gov/news/2918/the-atmosphere-keeping-a-weather-eye-on-earths-climate-instabilities/>
- Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 2–12. doi: 10.1016/j.apgeochem.2006.04.002

-
- Cabeza, L. F., Barreneche, C., Miró, L., Martínez, M., Fernández, A. I., y Urge-Vorsatz, D. (2013). Affordable construction towards sustainable buildings: Review on embodied energy in building materials. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 229–236. doi: 10.1016/j.cosust.2013.05.005
- Carmona, F. (2010). *Estimación de la energía consumida en la construcción de obra gruesa de 3 edificios de altura media en la ciudad de Santiago de Chile* (Tesis de grado). Universidad de Chile.
- Casañas, V. (2011). *La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional*.
- CCE. (2020). *Importaciones 2015 – 2019 de materiales de construcción*. Descargado 2020-07-24, de <http://www.camicon.ec/la-camara-importaciones-2015-2019-de-materiales-de-construccion/>
- CCMAD. (1987). *Preserving Our World: A Consumer's Guide to the Brundtland Report*. doi: A/42/427
- CENTROSUR. (2020). *Información del Consumidor* (Inf. Téc.). Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.
- Chán, M., y Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 19–23.
- Cortés, H., y Peña, J. (2016). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de Desarrollo Sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Rev.esc.adm.neg.*(78), 40–55.
- Crishna, N., Banfill, P. F., y Goodsir, S. (2011). Embodied energy and CO2 in UK dimension stone. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(12), 1265–1273. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.06.014
- Crowther, P. (1999). Design for disassembly to recover embodied energy. En *The 16th annual conference on passive and low energy architecture, plea* (Vol. 19, pp. 393–395). Melbourne-Brisbane-Cairns, Australia. doi: 10.1016/S0264-410X(00)00199-7
- Cruz, C. (2016). Emisiones de CO2 en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios Demograficos y Urbanos*, 31(1), 115–142.
- Cubillos, R. A., Trujillo, J., Cortés Cely, O. A., Rodríguez Álvarez, C. M., y Villar Lozano, M. R. (2014). La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad de Colombia. *Revista de Arquitectura*, 114–125. doi: 10.14718/revarq.2014.16.13
- Cui, B. X., y Zhang, A. L. (2012). We need the sustainable construction. *Applied Mechanics and Materials*, 174-177, 3154–3156. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.174-177.3154
- Debnath, A., Singh, S. V., y Singh, Y. P. (1995). Comparative assessment of energy requirements for different types of residential buildings in India. *Energy and Buildings*, 23(2), 141–146. doi: 10.1016/0378-7788(95)00939-6
- Desing Builder. (2016). *DesignBuilder Software*. Descargado 2020-04-30, de <https://designbuilder.co.uk/>
- Díaz, C. A. (2014). Evaluación de las fuentes de emisión de CO2 y energía consumida por los procesos tecnológicos del sistema constructivo industrializado: paneles de fibrocemento. *Ciencia, tecnología y cultura*(11), 30–38.
-

-
- Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227–240. doi: 10.1002/9781119968535.ch23
- Ding, G. K. C. (2004). The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities. *A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the award of Doctor of Philosophy*, 404. doi: 10.1016/S1380-7323(02)80009-7
- Dixit, Fernández, J., Lavy, S., y Culp, C. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238–1247. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.016
- Dixit, M. (2019). Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 731–754. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.230
- DOE. (2017). *Licencias EnergyPlus — EnergyPlus*. Descargado 2020-04-30, de <https://energyplus.net/licensing>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Shandul, A., Alexeyevich Bashmakov, I., Broome, J., ... Brunner, S. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Mitigación del cambio climático. *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Mitigación del cambio climático*, 7–10. Descargado de <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5%7B%5C-%7DwgII%7B%5C-%7Dspm%7B%5C-%7Des.pdf>
- Espinosa, P., y Calle, M. I. (2002). *La cité cuencana: el afrancesamiento de cuenca en la época republicana (1860-1940)* (Vol. 1). Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Gancino, G. (2018). *Análisis de escenarios de la gestión energética del sector industrial del Ecuador* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador.
- García, N., y Tobar, X. (2019). La construcción en el Producto Interno Bruto del Ecuador, 2000-2018. *Podium*, 35(35), 57–68. doi: 10.31095/podium.2019.35.4
- Goggins, J., Keane, T., y Kelly, A. (2010). The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland. *Energy and Buildings*, 42(5), 735–744. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.11.013
- González, M., y García, J. (2006). Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact. *Building and Environment*, 41(7), 902–909. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.04.006
- Guerra, M. (2013). Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. *Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco*.(5), 123–133. Descargado de <http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/548/1/arquitecturabioclimatica.pdf>
- Guevara, M. (2015). Evaluación térmica de un elemento arquitectónico ancestral: Los putucos, Puno, Perú. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y construcción con tierra*, 15, 1–10.
- Guillén, V., Quesada, F., López, M., Orellana, D., y Serrano, A. (2015). Eficiencia energética en edificaciones residenciales. *Estoa*, 4(7), 59–67. doi: 10.18537/est.v004.n007.07
- Hegerl, G., Storch, H., Hasselmann, K., Santer, B., Cubasch, U., y Jones, P. (1996). Detecting greenhouse-gas-induced Climate Change with an Optimal Fingerprint Method. *Journal of climate*, 9, 2881–2306.
-

-
- IEO. (2019). *Energy Information Administration* (Vol. 44; Inf. Téc. n.º 07). doi: 10.5860/choice.44-3624
- IIEA. (2013). Energy efficiency: Market report 2013. *Energy Efficiency: Market Report 2013*, 9789264206, 1–273. doi: 10.1787/9789264191709-en
- IIGE. (2018). *Balance energético nacional*. Quito-Ecuador: Instituto de Investigación Geológico y energético.
- INEC. (1981). *Encuesta de edificaciones 1980*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1983). *Encuesta de edificaciones 1981-1982*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1985). *Encuesta de edificaciones 1983-1984*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1987). *Encuesta de edificaciones 1985-1986*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1989). *Encuesta de edificaciones 1987-1988*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1990). *Censo de población y vivienda 1990*. Descargado 2020-07-25, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?{%&}MODE=MAIN{%&}BASE=CPV1990{%&}MAIN=WebServerMain.inl>
- INEC. (1992). *Encuesta de edificaciones 1991-1992*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1994). *Encuesta de edificaciones 1993-1994*. Quito-Ecuador.
- INEC. (1996). *Encuesta de edificaciones 1995-1996*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2000a). *Encuesta de edificaciones 1989-2000*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2000b). *Encuesta de edificaciones 1997-1998-1999-2000*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2001). *Censo de población y vivienda 2001*. Descargado 2020-07-25, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?{%&}MODE=MAIN{%&}BASE=CPV2001{%&}MAIN=WebServerMain.inl>
- INEC. (2005). *Encuesta de edificaciones 2002-2003-2004-2005*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2007). *Encuesta de edificaciones 2006*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2008). *Encuesta de edificaciones 2007*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2009). *Encuesta de edificaciones 2008*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2010a). *Censo de población y vivienda 2010*. Descargado 2020-07-25, de <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?{%&}MODE=MAIN{%&}BASE=CPV2010{%&}MAIN=WebServerMain.inl>
- INEC. (2010b). *Encuesta de edificaciones 2009*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2012a). *Censo de población y vivienda 2010. Quito: INEC*. Descargado 2020-15-03, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- INEC. (2012b). *Encuesta de edificaciones 2011*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2013). *Encuesta Anual de Edificaciones 2012*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2014). *Encuesta de edificaciones 2014*. Quito-Ecuador. Descargado de www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEC. (2015). *Encuesta Anual de Edificaciones (Permisos de Construcción)* —. Descargado 2020-07-04, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-anual-de-edificaciones-permisos-de-construccion>
- INEC. (2016a). *Encuesta de edificaciones 2016*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2016b). Panomara Laboral y Empresarial del Ecuador 2016. *Ecuador en Cifras*, 1–124. Descargado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/PanoramaLaboral2017.pdf>
- INEC. (2017). *Encuesta de edificaciones 2017*. Quito-Ecuador.
-

-
- INEC. (2018). *Encuesta Anual de Edificaciones*. Quito-Ecuador. Descargado 2020-07-04, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/edificaciones/>
- INEC. (2019). Evolución Histórica de la Encuesta de Edificaciones.
- INE-SEMARNAT. (2006). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares*.
- Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G. E., Necula, H., y Badea, A. (2015). The historical evolution of the energy efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 243–253. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.062
- Jiao, S., Cao, M., y Li, Y. (2011). Impact research of solid waste on the strength of low carbon building materials. *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, ICECE 2011 - Proceedings*, 4530–4532. doi: 10.1109/ICECENG.2011.6058160
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. , 72.
- Kourtit, K., y Nijkamp, P. (2013). The "New Urban World The challenge of city. *Romanian Journal of Regional Science*, 7.
- Langston, Y. L., y Langston, C. A. (2008). Reliability of building embodied energy modelling: An analysis of 30 Melbourne case studies. *Construction Management and Economics*, 26(2), 147–160. doi: 10.1080/01446190701716564
- Mata, F. (2010). La selección sostenible de los materiales de construcción. *Tecnología y desarrollo*(8), 4–16.
- Mercader, M., Marrero, M., Solís, J., Montes, M. V., y Ramírez, A. (2010). Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la cimentación. *Informes de la Construcción*, 62(517), 125–132. doi: 10.3989/ic.09.000
- Morini, A. A., Ribeiro, M. J., y Hotza, D. (2019). Early-stage materials selection based on embodied energy and carbon footprint. *Materials and Design*, 178, 107861. doi: 10.1016/j.matdes.2019.107861
- Muñoz, C., y Quiroz, F. (2014). Using Analysis of Life Cycle tool in determining the embodied energy and carbon footprint in the manufacturing processes of the ready-mixed concrete Case manufacturing plant Bío Bío region study-Chile. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(Lci), 16–25.
- ONU. (2000). Declaración del Milenio. *New York*(55/2), 1–17. Descargado de <http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/ga.RES.60.1{ }Sp.pdf>
- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Derecho Global. Estudios sobre Derecho y Justicia*, 16301(6), 7–10. doi: 10.32870/dgedj.v0i6.106
- Pages, A. (2012). *Caracterització del sector de l'edificació des del punt de vista de les emissions de gasos d'efecte hivernacle* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Peluffo, P. (2011). *Análisis de la energía incorporada de un edificio en altura en Uruguay* (Trabajo fin de master). Universidad Federal de Rio Grande del Sur.
- Punhagui, K. R. (2014). *Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña y Universidad de Sao Paulo.
- Quispe, C. (2016). *Análisis de la Energía Incorporada y emisiones de CO2 Aplicado a Vi-*
-

-
- viendas Unifamiliares de Eficiencia Energética* (Trabajo fin de master). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ramírez, J., y Armas, W. (2010). *El Proceso De Dolarización En El Ecuador. Análisis Estadístico*.
- Rea, A. (2017). *Gestión de residuos en la construcción: Plan de gestión de residuos generados en construcciones de vivienda multifamiliar en el Ecuador*. (Trabajo fin de máster). Universidad de Cuenca.
- Rivas, P. (2017). *Confort Térmico En Viviendas Vernáculas, Técnica De Construcción De Bahareque En Azogues - Ecuador* (Trabajo fin de máster). Universidad de Cuenca.
- Rocha, E. (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. *Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 6(11), 99–116.
- Rodríguez, E., y Montesillo, J. (2017). Propuesta para la gestión sustentable de residuos sólidos urbanos. En la zona central conurbada de Toluca. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 21(2007-3615), 90–97.
- Sandó, Y. (2011). *Hacia la construcción de una arquitectura sostenible en Venezuela* (Trabajo fin de máster). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Schmidt, M., y Crawford, R. H. (2017). Developing an Integrated Framework for Assessing the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions and Life Cycle Cost of Buildings. En *Creative construction conference* (Vol. 196, pp. 988–995). The Author(s). doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.040
- Serra, R., y Coch, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona-España: Edicions UPC.
- Shaikh, P., Nor, N., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., y Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 409–429. doi: 10.1016/j.rser.2014.03.027
- Solís, J. (2010). *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la comunidad andaluza* (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla.
- Suzuki, M., Oka, T., y Okada, K. (1995). The estimation of energy consumption and CO2 emission due to housing construction in Japan. *Energy and Buildings*, 22(2), 165–169. doi: 10.1016/0378-7788(95)00914-J
- Talukdar, S., Islam, S. T., y Banthia, N. (2011). Development of a lightweight low-carbon footprint concrete containing recycled waste materials. *Advances in Civil Engineering*, 2011. doi: 10.1155/2011/594270
- Vázquez, M. (2001). Building and impact on the environment: the case of the earth and others materials. *Informes de la Construcción*, 52(471). doi: 10.3989/ic.2001.v52.i471.681
- Venkatarama, B., y Jagadish, K. (2003). Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, 35(2), 129–137. doi: 10.1016/S0378-7788(01)00141-4
- Venkatarama, B., Leuzinger, G., y Sreeram, V. (2014). Low embodied energy cement stabilised rammed earth building - A case study. *Energy and Buildings*, 68, 541–546. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.09.051
- Ventura, A., y Pardal, C. (2016). *Caracterización y evaluación energética de los vidrios de fachada* (Trabajo fin de máster). Universidad Politécnica de Cataluña.
-

-
- Yu, D., Tan, H., y Ruan, Y. (2011). A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emissi. *Energy and Buildings*, 43(10), 2638–2646. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.06.013
- Zabalza, I., Valero, A., y Aranda, A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133–1140. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002
- Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., y Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 895–906. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.033

Anexo 1: Sistemas Constructivos en Ecuador

1.1 Sistemas Constructivos a Nivel Nacional

Periodo 1 1980-1989

En el primer periodo analizado, desde el año 1980 hasta 1989, se emitieron 155481 permisos de construcción a nivel de país, la mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en las principales provincias del país, con mayor número en Pichincha y en segundo lugar en Guayas (INEC, 1981, 1983, 1985, 1987, 1989).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época en el país, se evidencia en la Figura 6.1a, que el hormigón armado es el material más usado con el 65 % del total de permisos emitidos, mientras que el hormigón ciclópeo, usado en la mampostería corrida de piedra representa el 32 %. En relación a los materiales empleados en la estructura de las viviendas con los permisos de construcción emitidos (Figura 6.1b), el hormigón armado es el más usado, el cual corresponde al 85 %, mientras que los demás materiales poseen una baja representatividad.

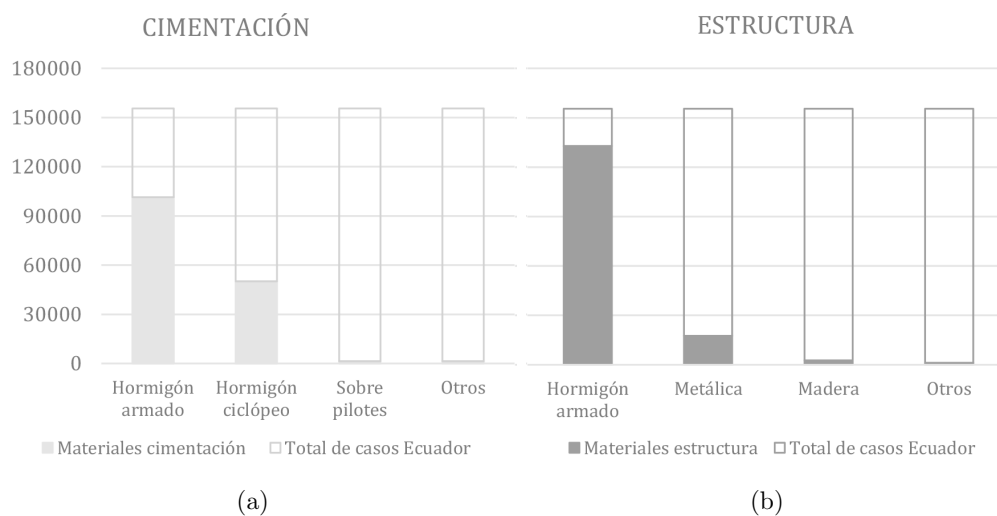


FIGURA 6.1: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 1 (1980-1989), a nivel nacional.

En consecuencia, a nivel nacional el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 1980-1989, es el hormigón armado, en cimentación empleado como losa y en estructura como columnas y vigas.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.2a). En este periodo predomina el uso del ladrillo con el 56 % del total de permisos emitidos y del bloque con el 46 %, la madera se ha empleado en una cantidad mínima y la variable de otros corresponde a la recopilación de viviendas con paredes de adobe y caña revestida, todos estos últimos representan un 1 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta de las viviendas con los permisos de construcción emitidos (Figura 6.2b), el uso de fibrocemento es el de mayor predominancia, con el 49 %, seguido el uso de hormigón armado en la elaboración de losas de cubierta, el cual corresponde al 39 %, finalmente la teja y el zinc con el 6 % y 5 % respectivamente son los materiales menos usados en este periodo.

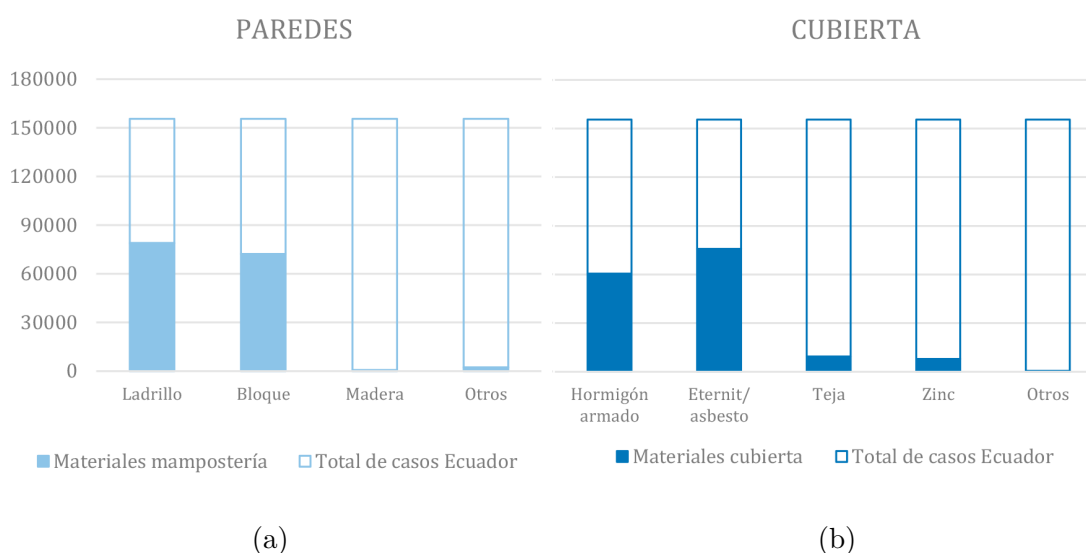


FIGURA 6.2: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 1 (1980-1989), a nivel nacional.

En este sentido, a nivel de país, en 1980 a 1989, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, además, ya se evidencia que los sistemas constructivos tradicionales pierden relevancia y se insertan nuevos que permiten acelerar procesos dentro de la construcción. Lo mismo sucede en la cubierta, todos los materiales naturales empleados en la arquitectura tradicional son reemplazados en este caso por fibrocemento, ya que el uso de este material permite reducir el tiempo de construcción en relación con otros sistemas.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se contempla la información establecida en el censo de población y vivienda del año de 1990 (INEC, 1990), en donde se puede evidenciar una predominancia del uso del entablado o parquet, ya que representa el 43%, en segundo lugar el piso de ladrillo o de cemento, con 26% (Figura 6.3).

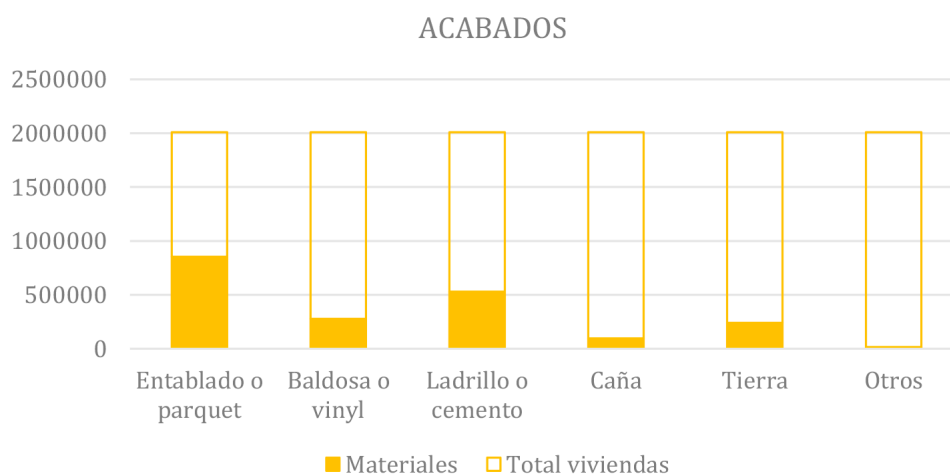


FIGURA 6.3: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 1 (1980-1989), a nivel nacional.

Periodo 2: 1990-1999

En el segundo periodo analizado, desde el año 1990 hasta 1999, se emitieron 133095 permisos de construcción a nivel de país, los cuales en relación al periodo anterior han disminuido un 8%. La mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en las principales provincias del país, con mayor número, en primer lugar en Pichincha y en segundo lugar en Guayas, además las provincia del Azuay junto con Manabí comienzan a tener incidencia en el total de permisos emitidos (INEC, 1992, 1994, 1996, 2000a).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época en el país, se evidencia en la Figura 6.4a, que el hormigón ciclópeo empleado en mampostería corrida de piedra corresponde a 48%, mientras que el hormigón armado empleado en losas de cimentación corresponde al 40%, del total de permisos emitidos en esta época. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.4b), el hormigón armado representa el 84% del total de permisos emitidos, mientras que los demás sistemas poseen un porcentaje muy reducido.

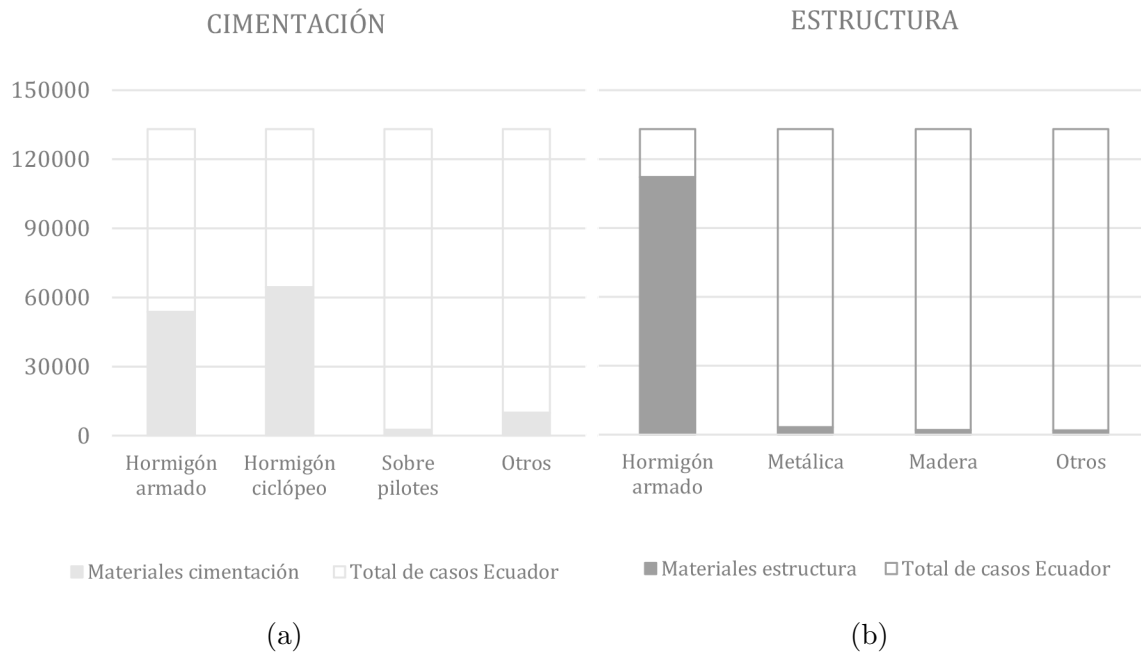


FIGURA 6.4: Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 2 (1990-1999), a nivel nacional.

En consecuencia, a nivel nacional el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 1990-1999, es el hormigón ciclópeo, en cimentación de mampostería corrida de piedra y en estructura el uso de hormigón armado como columnas y vigas.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.5a), el ladrillo representa el 46 % del total de permisos emitidos y el bloque no muy por debajo del ladrillo, representa el 43 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.5b), el uso de hormigón armado es el de mayor predominancia, ya que corresponde al 41 %, seguido el uso de fibrocemento, el cual corresponde al 34 %, finalmente la teja y el zinc que corresponde al 10 % y 5 % respectivamente son los materiales menos usados en este periodo.

En este sentido, a nivel de país, en el periodo de 1990 a 1999, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, en esta época ya se evidencia que los sistemas constructivos tradicionales pierden aún más relevancia y se insertan nuevos que permiten acelerar procesos dentro de la construcción. En la cubierta por su parte, se evidencia el uso del hormigón armado, material con el que se elaboran losas de cubierta para cubrir la envolvente horizontal de la vivienda.

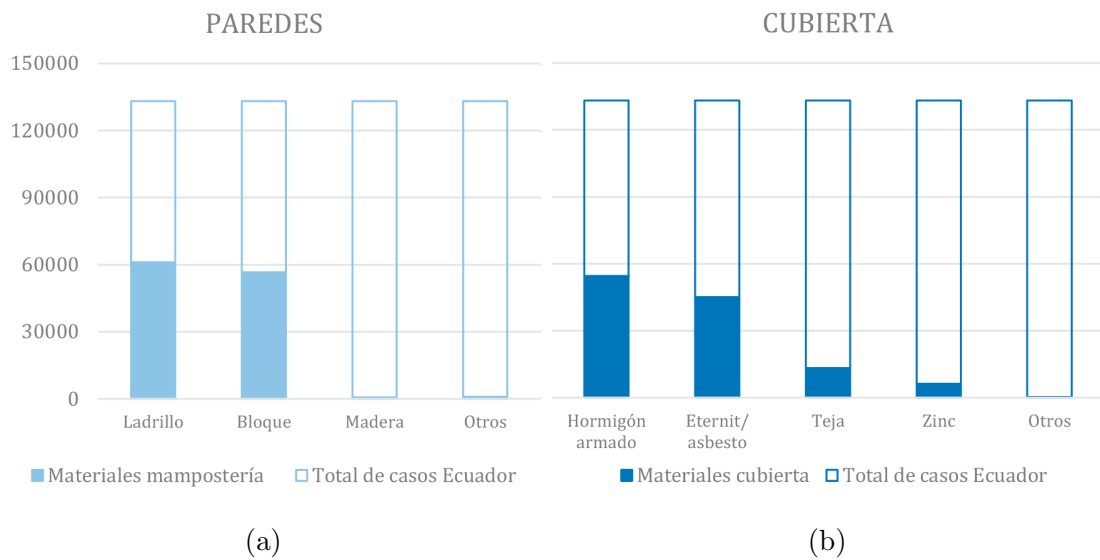


FIGURA 6.5: Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 2 (1990-1999), a nivel nacional.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se considera la información establecida en el censo de población y vivienda del año de 2001 (INEC, 2001). En este periodo (Figura 6.6), predomina el uso de entablado o parquet con 36 %, sin embargo, se evidencia una disminución en su uso, por el incremento del uso de otros materiales.

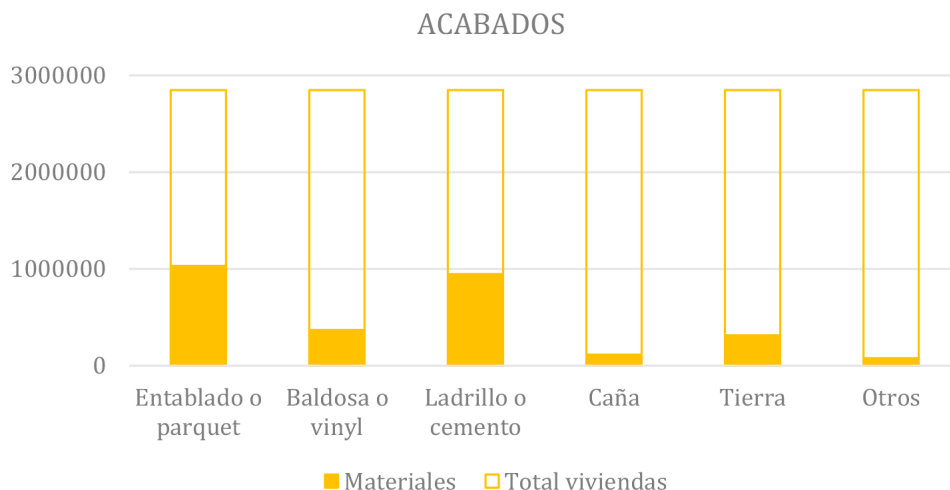


FIGURA 6.6: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 2 (1990-1999), a nivel nacional.

Periodo 3 2000-2009

En el tercer periodo analizado, desde el año 2000 hasta 2009, se emitieron 277863 permisos de construcción a nivel de país, los cuales en relación al periodo anterior han incrementado en un 35 %. La mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en las principales provincias del país, con mayor número, en primer lugar en Pichincha y en segundo lugar en Guayas, además las provincia del Azuay junto con Manabí comienzan a tener incidencia en el total de permisos emitidos (INEC, 2000a, 2005, 2007, 2009)

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época en el país, se evidencia en la Figura 6.7a, que en cimentación predomina el uso de hormigón armado, este sistema constructivo representa el 75 % del total de permisos emitidos, mientras que el uso de hormigón ciclópeo corresponde al 32 %. En relación a los materiales empleados en la estructura de las viviendas (Figura 6.7b), el hormigón armado es el más usado, el cual corresponde al 93 % del total de permisos emitidos, en este periodo se incrementa aún más el uso del hormigón armado, mientras que el uso de otros materiales es mínimo y se ha disminuido.

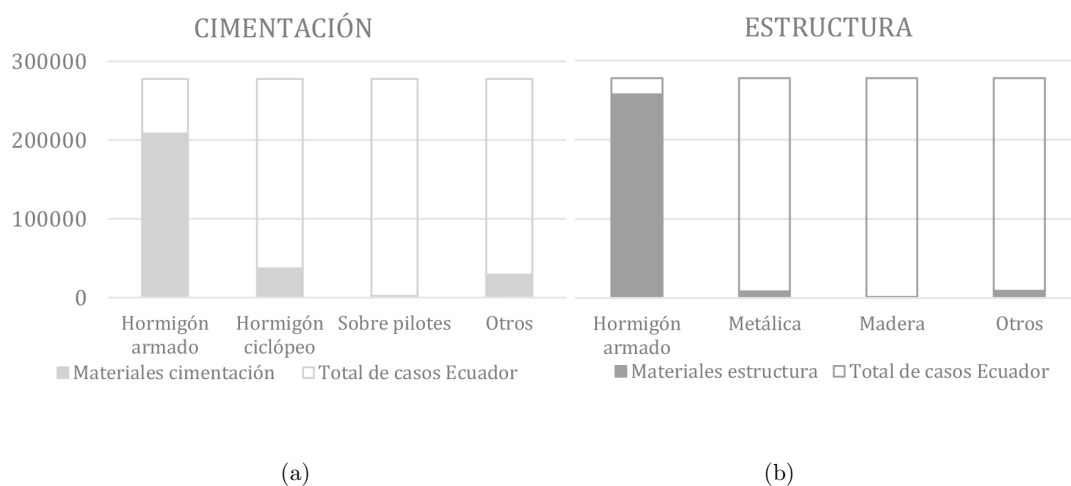


FIGURA 6.7: Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 3 (2000-2009), a nivel nacional.

En consecuencia, a nivel nacional el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 2000-2009, tanto en cimentación como en estructura es el hormigón armado.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.8a), en este periodo existe una predominancia del bloque que representa el 59 % del total, mientras que el uso del ladrillo ha disminuido y representa el 38 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.8b), el uso de hormigón armado es el de mayor predominancia, ya que corresponde al 50 %, seguido el uso de fibrocemento, el cual corresponde al 27 %, finalmente el zinc y la teja que corresponde al 13 % y 8 % respectivamente. En este periodo, existe una predominancia en el uso de hormigón armado en cubierta, además, se evidencia un incremento en el uso del zinc y una disminución en el uso de la teja.

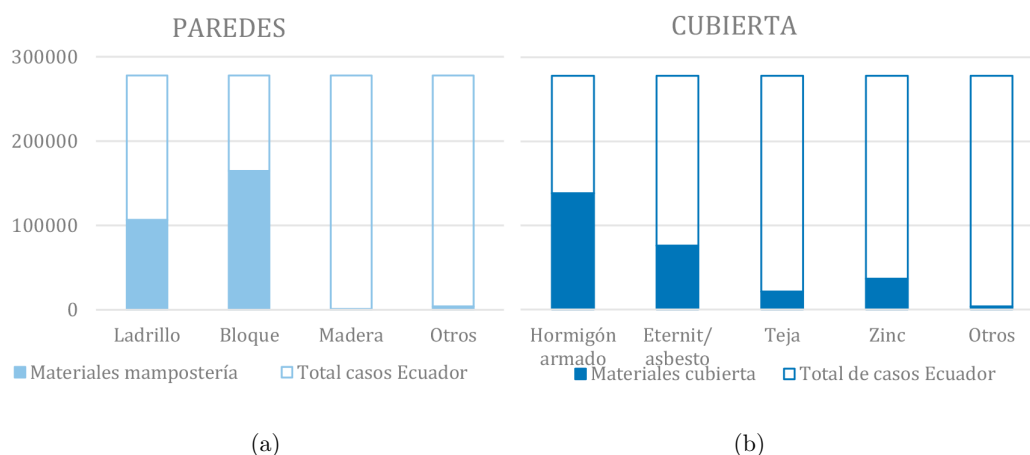


FIGURA 6.8: Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 3 (2000-2009), a nivel nacional.

En este sentido, a nivel de país, en el periodo de 2000-2009, predomina el uso del bloque en mampostería, en esta época se genera una variación en este material ya que en los dos periodos anteriores se mantenía la tendencia predominante en el uso del ladrillo. En la cubierta por su parte, se evidencia el uso del hormigón armado, material con el que se elaboran losas de cubierta para cubrir la envolvente horizontal de la vivienda.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se considera la información establecida en el censo de población y vivienda del año 2010 (INEC, 2010b), en este periodo se puede evidenciar que la cantidad de materiales empleados en acabados de pisos se ha incrementado. Comienza a usarse en el interior de las viviendas, cerámica, mármol y piso flotante. Sin embargo, se mantiene la predominancia en el uso del ladrillo o cemento, este material representa el 36 % del total. En segundo lugar la cerámica, baldosa vinil o mármol, los cuales han tenido un incremento de 5 % en relación al periodo anterior (Figura 6.9).

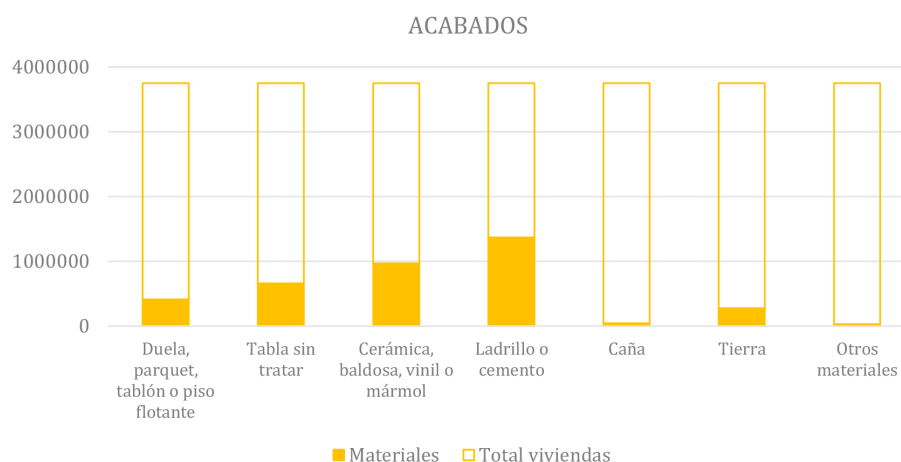


FIGURA 6.9: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 3 (2000-2009), a nivel nacional.

Periodo 4: 2010-2018

En el último periodo analizado, desde el año 2010 hasta 2018, se emitieron 307391 permisos de construcción a nivel de país, los cuales en relación al periodo anterior han incrementado en un 5%. La mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en las principales provincias del país, con mayor número, en primer lugar en Pichincha y en segundo lugar en Guayas, en este periodo la provincia del Azuay se posiciona en tercer lugar por los permisos emitidos en la ciudad de Cuenca (INEC, 2012a, 2015, 2016a, 2017, 2018).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época en el país, se evidencia en la Figura 6.10a, que en cimentación ha predominado el uso de hormigón armado con el 80%, mientras que el hormigón ciclópeo representa el 8%, este último sistema cada vez se emplea en menor cantidad, es así que incluso la representatividad de otros materiales es mayor a la del hormigón ciclópeo. En relación a los materiales empleados en la estructura de las viviendas (Figura 6.10b), el hormigón armado es el más usado con 92% del total de permisos emitidos, sin embargo, se muestra un pequeño decremento en el uso del hormigón armado y un incremento en el uso de la estructura metálica, ya que en relación al periodo anterior se ha incrementado 2%.

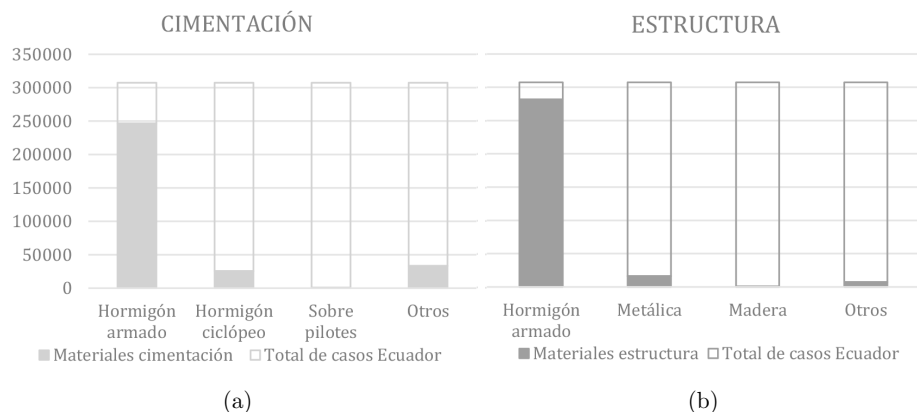


FIGURA 6.10: Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 4 (2010-2018), a nivel nacional.

En consecuencia, a nivel nacional el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 2010-2018, tanto en cimentación como en estructura es el hormigón armado. Sin embargo, el uso de otros materiales en estructura, como el metal, comienza a tener un incremento en los últimos años de este periodo.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.11a), el bloque representa el 62 % del total, mientras que el uso del ladrillo ha disminuido y representa el 35 %. Finalmente, los materiales empleados en las paredes con sistemas constructivos. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.11b), el uso de hormigón armado es el de mayor predominancia, con 55 %, seguido el uso de fibrocemento con 24 %, finalmente el zinc y la teja que corresponde al 11 % y 5 % respectivamente son los materiales menos usados en este periodo.

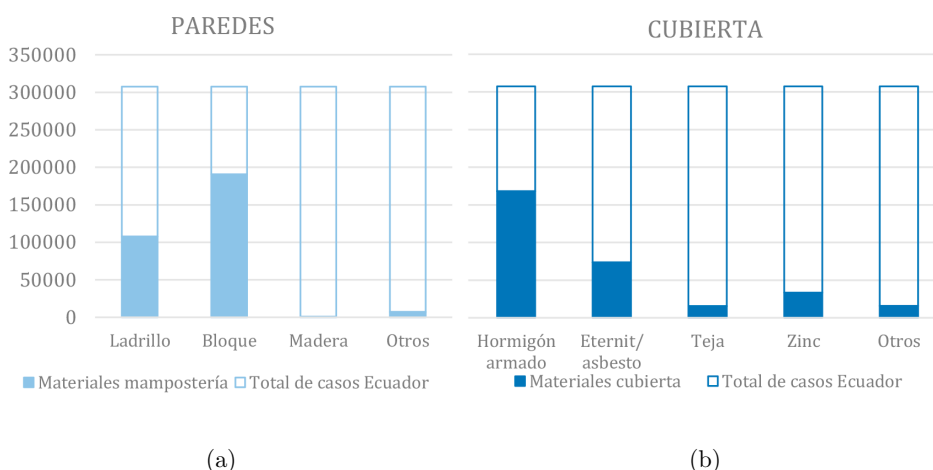


FIGURA 6.11: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 4 (2010-2018), a nivel nacional.

En este sentido, a nivel de país, en el periodo de 2010-2018, se intensifica el uso de bloque como material para la construcción de mampostería, similar al periodo anterior, el ladrillo pierde relevancia en esta componente. En la cubierta por su parte, se mantiene el uso predominante del hormigón armado, material con el que se elaboran losas de cubierta para cubrir la envolvente horizontal de la vivienda.

Acabados

Para este periodo aún no se cuenta con información estadista sobre el uso de diferentes materiales en los acabados de las viviendas, sin embargo, se puede hacer referencia al incremento de importaciones que han generado dentro del sector de la construcción. Como se evidencia en la Figura 6.12, la importación de materiales al país ha tenido un incremento constante, solamente desde 2016 hasta 2019, el porcentaje de importaciones se incrementó en un 46 %. Los materiales que se importan en mayor cantidad son los productos metálicos y acabados (CCE, 2020). Entre estos acabados se consideran diferentes productos cerámicos, porcelanato, piso flotante, vidrios, marcos para ventanas, entre otros. Cada vez los materiales empleados en los acabados de las viviendas poseen una mayor variedad, para toda condición económica y social.

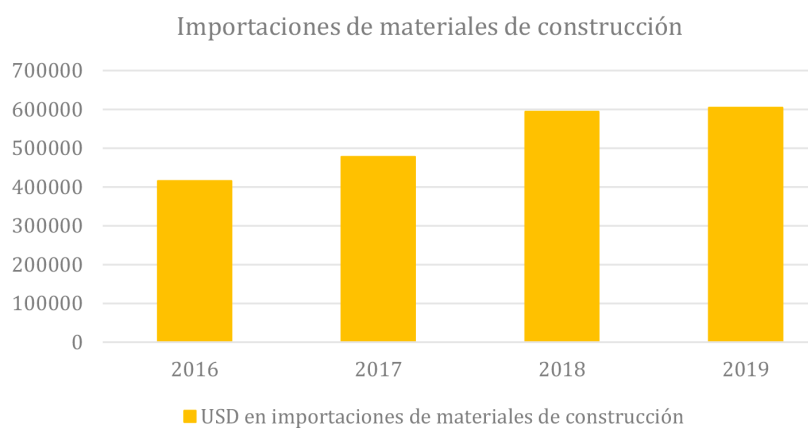


FIGURA 6.12: Importación de materiales de construcción 2016-2019. Elaboración propia con datos de CCE, 2020

1.2 Sistemas Constructivos a Nivel Regional

En el primer periodo analizado, desde el año 1980 hasta 1989, se emitieron 96518 permisos de construcción en la región sierra, dentro de esta región se consideran 10 provincias: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, en donde la mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en la provincia de Pichincha, Azuay y Tungurahua (INEC, 1981, 1983, 1985, 1987, 1989).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época, se evidencia en la Figura 6.13a, que en cimentación predomina el uso de hormigón armado, con 57 % del total, mientras que el hormigón ciclópeo representa el 42 %. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.13b), el hormigón armado es el más usado con 82 % del total. Por su parte la estructura metálica es usada en una mínima parte, la cual corresponde al 16 %, y la estructura de madera corresponde al 1 %.

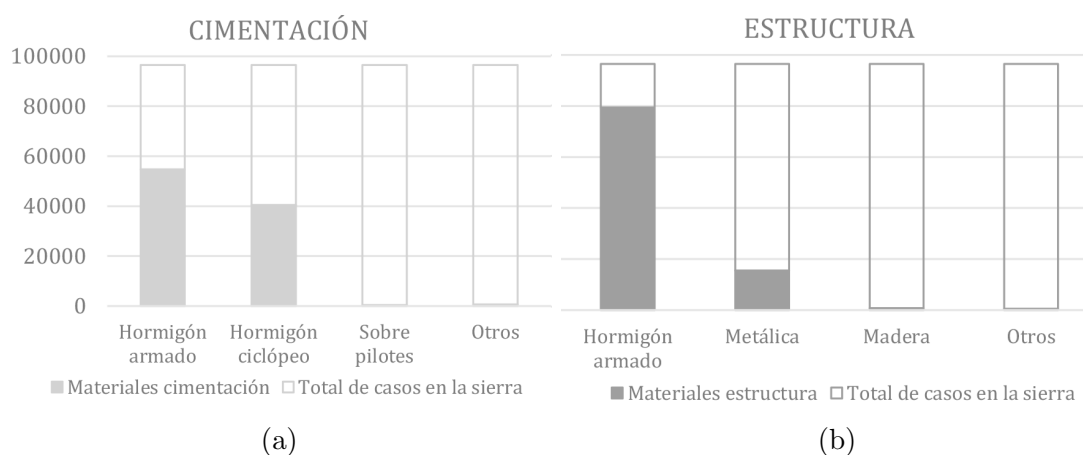


FIGURA 6.13: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 1 (1980-1989), en la región sierra.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 1980-1989, es el hormigón armado, en cimentación empleado como losa de cimentación y en estructura como columnas y vigas. Al considerar la región sierra, se obtienen los mismos sistemas constructivos empleados a nivel nacional, esto se debe a que la provincia con mayor incidencia en este periodo es Pichincha, por lo que sus sistemas constructivos serán los predominantes en este nivel de análisis.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.14a), el ladrillo representa el 58 % del total, el bloque no muy por debajo del ladrillo, representa el 36 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.14b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta pesada de hormigón armado en la región, la cual pertenece al 50 % del total, le sigue el uso del fibrocemento con 40 %, finalmente la teja y el zinc que corresponde al 9 % y 1 % respectivamente.

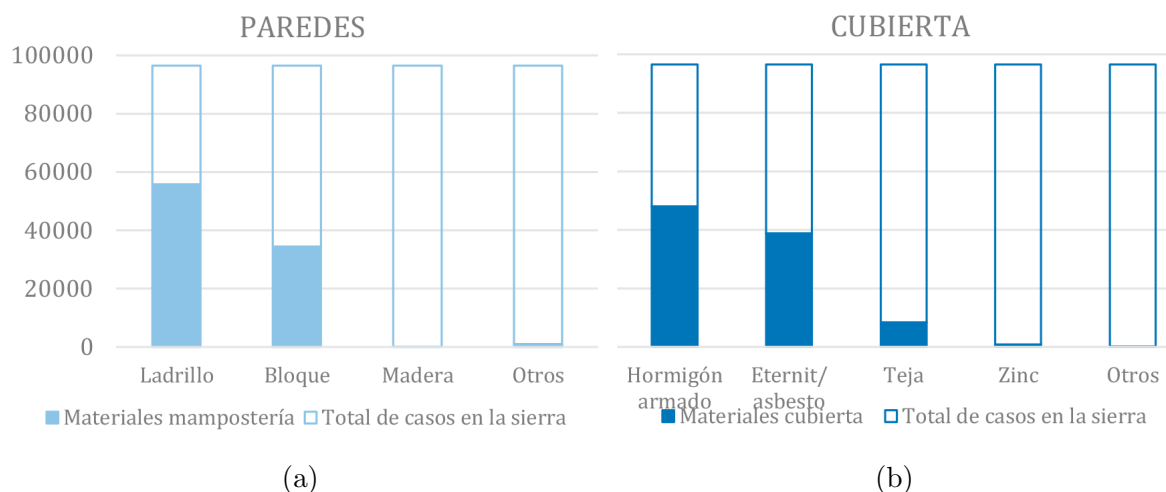


FIGURA 6.14: Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 1 (1980-1989) en la región sierra.

En este sentido en la región interandina, en el periodo de 1980 a 1989, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, en esta época ya se evidencia que los sistemas constructivos tradicionales pierden relevancia y se insertan nuevos que permiten acelerar procesos dentro de la construcción. Para esta época, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. Lo mismo sucede en la cubierta, todos los materiales naturales empleados en la arquitectura tradicional son reemplazados en este caso por hormigón armado y en menor porcentaje por fibrocemento.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se muestra la información establecida en el censo de población y vivienda del año de 1990 (INEC, 1990), el material más usado es el entablado o parquet con 44 % del total. En segundo lugar el piso de tierra, con 21 %, seguido el piso de ladrillo o de cemento, con un 18 %, y el piso de baldosa o vinyl con 15 %. En la región sierra, al igual que a nivel nacional existe un predominio de pisos de entablado o parquet, sin embargo, en la sierra se encuentra en segundo lugar el uso de piso de tierra, lo que evidencia que en este espacio geográfico aún no se insertaban en su totalidad el uso de materiales industrializados (Figura 6.15).

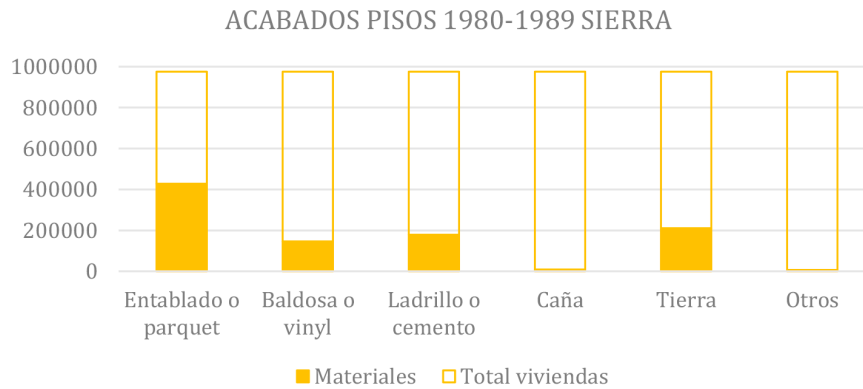


FIGURA 6.15: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 1 (1980-1989), en la región sierra.

Periodo 2 1990-1999

En el segundo periodo de análisis, desde el año 1990 hasta 1999, se emitieron 80283 permisos de construcción, en relación al periodo anterior este valor disminuye un 9 % en relación al periodo anterior, dentro de esta región se consideran 10 provincias: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, en donde la mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en la provincia de Pichincha, Azuay y Tungurahua (INEC, 1992, 1994, 1996, 2000a)

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época, se evidencia en la Figura 6.16a, que en cimentación ha predominado el uso de hormigón ciclópeo con 65 % del total, mientras que el hormigón armado, el 25 %. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.16b), el hormigón armado corresponde al 91 % del total, en este periodo se intensifica más aún el uso de este material a diferencia de los demás. Por su parte la estructura metálica es usada en una mínima parte, la cual corresponde al 3 % del total y la estructura de madera corresponde al 2 %.

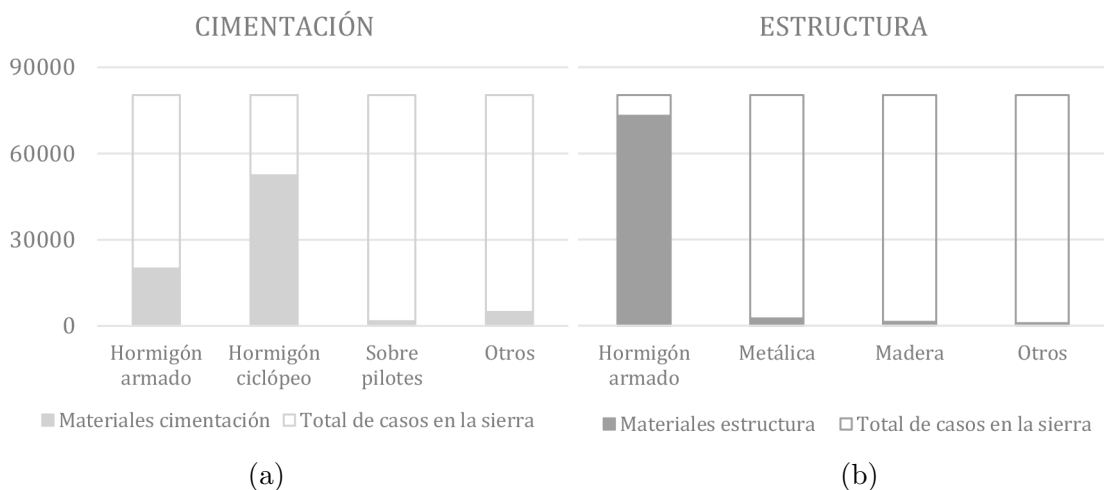


FIGURA 6.16: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 2 (1990-1999), en la región sierra.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 1990-1999, es el hormigón ciclópeo en cimentación empleado en el sistema constructivo de mampostería corrida de piedra, mientras que en estructura predomina el uso de hormigón armado en columnas y vigas.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.17a), el ladrillo representa el 54 % del total y el bloque el 42 %. A pesar de que en la región sierra, los sistemas constructivos tradicionales de adobe eran los más predominantes, en este periodo se evidencia que ya no existen una cantidad considerable de viviendas planificadas con el uso de estos materiales de origen natural. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.17b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta pesada de hormigón armado con 51 % del total, le sigue el fibrocemento con 30 %, finalmente la teja y el zinc que corresponde al 17 % y 1 % respectivamente.

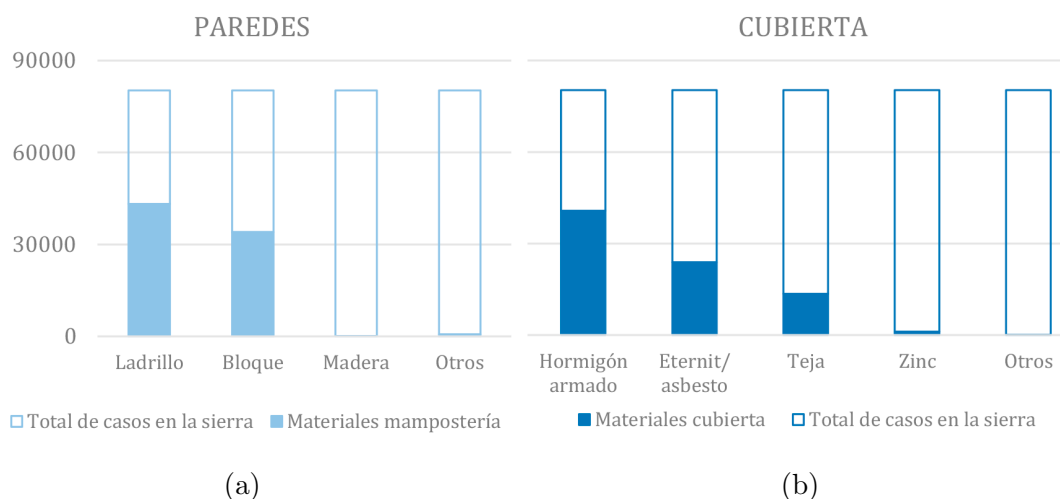


FIGURA 6.17: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 2 (1990-1999) en la región sierra.

En este sentido en la región interandina, en el periodo de 1990-1999, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, además, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. En la cubierta predomina el uso del hormigón armado y en menor porcentaje el fibrocemento.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se muestra la información establecida en el censo de población y vivienda del año 2001 (INEC, 2001). En la Figura 6.18, se muestra que el material más usado es el entablado o parquet con 47 % del total, seguido el piso de ladrillo o cemento con 26 %. En la región sierra, al igual que a nivel nacional existe un predominio de pisos de entablado o parquet, sin embargo, en la sierra se evidencia que en relación al periodo anterior, el uso de tierra en pisos ha disminuido y se ha incrementado el uso del piso de ladrillo y de baldosa.

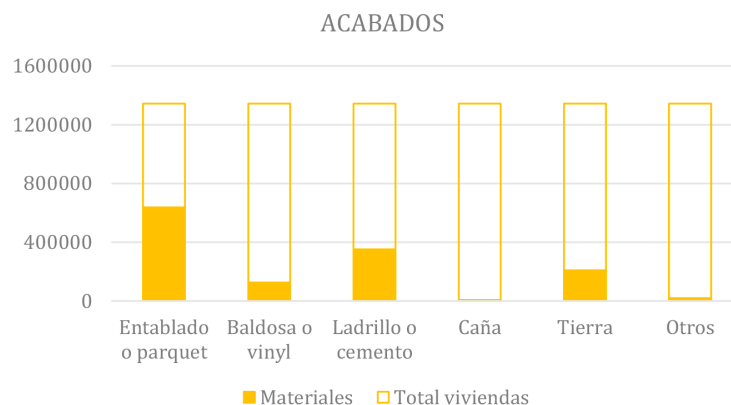


FIGURA 6.18: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 2 (1990-1999), en la región sierra.

Periodo 3 2000-2009

En el tercer periodo de análisis, desde el año 2000 hasta 2009, se emitieron 144481 permisos de construcción, en relación al periodo anterior este valor se incrementó un 29 % en relación al periodo anterior, dentro de esta región se consideran 11 provincias, ya que en este periodo se adiciona Santo Domingo, Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, en donde la mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en la provincia de Pichincha, Azuay y Tungurahua (INEC, 2000a, 2005, 2009)

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época, se evidencia en la Figura 6.19a, que en cimentación ha predominado el uso de hormigón armado con 67 %, mientras que la cimentación de hormigón ciclópeo se disminuye y representa el 23 %. En relación a los materiales empleados en la estructura de las viviendas (Figura 6.19b), el hormigón armado es el más usado con 93 % del total, en este periodo se intensifica más aún el uso de este material a diferencia de los demás. Por su parte la estructura metálica es usada en una mínima parte, la cual corresponde al 3 % del total.

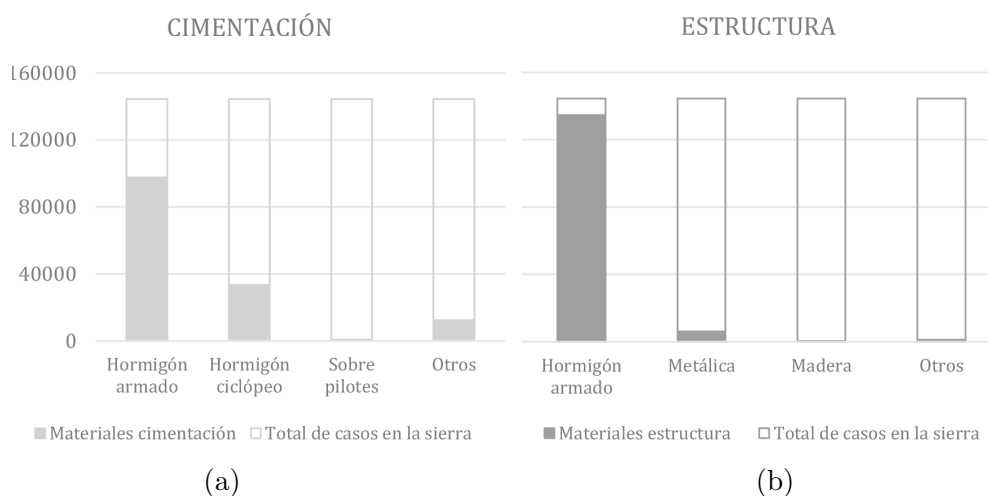


FIGURA 6.19: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 3 (2000-2009), en la región sierra.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 2000-2009, es el hormigón armado en cimentación empleado en el sistema constructivo de zapatas, mientras que en estructura predomina el uso de hormigón armado en columnas y vigas.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.20a), el bloque representa el 52 %, mientras que el ladrillo el 46 %. En este periodo los materiales más pesados como el ladrillo comienzan a ser reemplazado por sistemas más livianos como el bloque. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.20b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta pesada de hormigón armado en la región, la cual corresponde al 63 % del total le sigue el uso de fibrocemento con 23 %, finalmente la teja y el zinc que corresponde al 11 % y 2 % respectivamente.

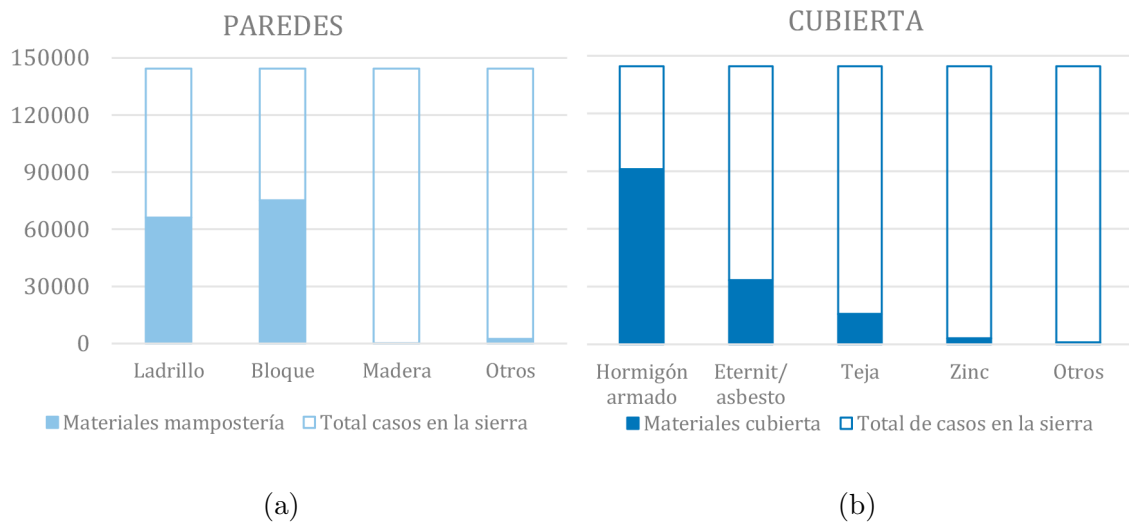


FIGURA 6.20: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 3 (2000-2009) en la región sierra.

En este sentido en la región interandina, en el periodo de 2000-2009, predominaba el uso del bloque en la mampostería, además, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. En la cubierta predomina el uso del hormigón armado y en menor porcentaje el fibrocemento junto a la teja y al zinc.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se muestra la información establecida en el censo de población y vivienda del año 2010 (INEC, 2010b), en donde se muestra que predomina el uso del ladrillo o cemento en pisos con el 28 % del total, le siguen los materiales cerámicos con 26 % y el uso de otros como piso flotante. En este periodo se inserta una mayor variedad de acabados para pisos, los cuales ya poseen una incidencia significativa en relación a los demás materiales (Figura 6.21).

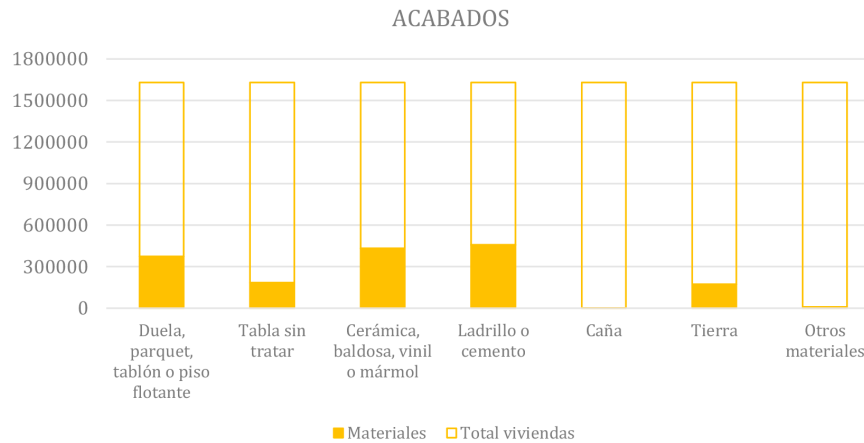


FIGURA 6.21: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 3 (2000-2009), en la región sierra.

Periodo 4 2010-2018

En el último periodo de análisis, desde el año 2010-2018, se emitieron 307391 permisos de construcción, en relación al periodo anterior este valor se incrementó un 36 % en relación al periodo anterior, dentro de esta región se consideran 11 provincias: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, Santo Domingo en donde la mayor cantidad de permisos emitidos se ubicaron en la provincia de Pichincha, Azuay y Tungurahua (INEC, 2012a, 2015, 2016a, 2017).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época, se evidencia en la Figura 6.22a, que en cimentación ha predominado el uso de hormigón armado con el 80 %, mientras que la cimentación de hormigón ciclópeo se disminuye y representa el 8 %. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.22b), el hormigón armado es el más usado, con 92 % del total, en este periodo se intensifica más aún el uso de este material a diferencia de los demás. Por su parte la estructura metálica no posee una representatividad mayor, sin embargo su uso se ha incrementado en relación al periodo anterior un 2 %.

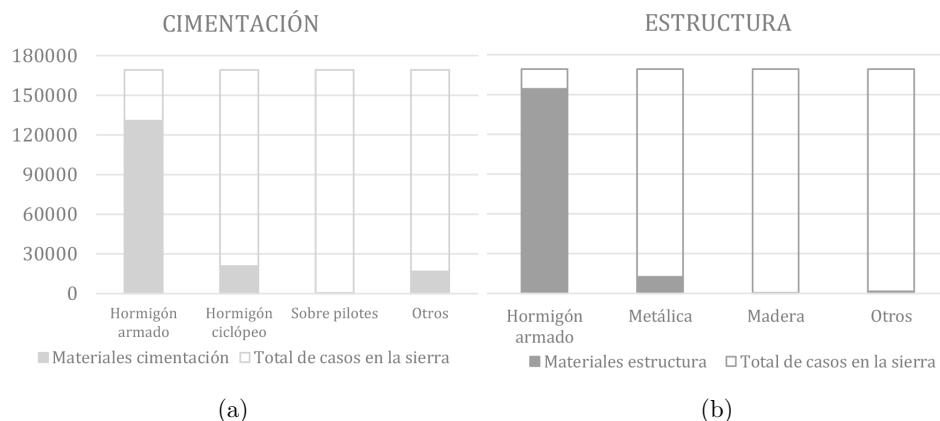


FIGURA 6.22: Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 4 (2010-2009), en la región sierra.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 2010-2018, es el hormigón armado en cimentación empleado en el sistema constructivo de zapatas, mientras que en estructura predomina el uso de hormigón armado en columnas y vigas.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.23a), predomina el uso del bloque con 62 %, seguido el ladrillo con 35 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.23b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta pesada de hormigón armado con 55 % del total, seguido el fibrocemento con 24 %, finalmente la teja y el zinc que corresponde al 11 % y 5 % respectivamente son los materiales menos usados en este periodo

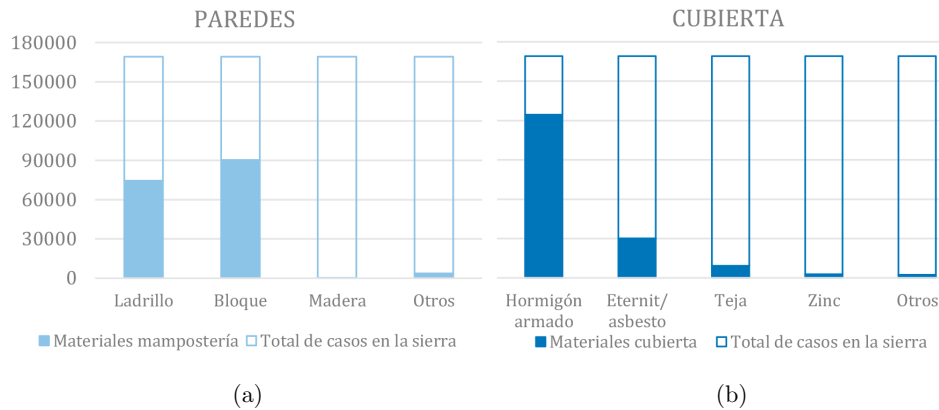


FIGURA 6.23: Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 4 (2010-2018) en la región sierra.

En este sentido en la región interandina, en el periodo de 2010-2018, predomina el uso del bloque en la mampostería, además, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. En la cubierta predomina el uso del hormigón armado y en menor porcentaje el fibrocemento junto a la teja y al zinc.

Acabados

La misma situación que se ha presentado a nivel de país, es la que se desarrolla en este último periodo de análisis en la región, las importaciones de materiales metálicos y de acabados tienen un aumento progresivo, por lo que el uso de diferentes materiales en los acabados de las viviendas es cada vez más evidente. Al tomar los datos analizados en el periodo 3, se hace evidente que durante este periodo ya se han insertado nuevos acabados como productos cerámicos y maderas laminadas como el piso flotante, por lo que para el periodo actual, con la marcada incidencia en el alza de las importaciones de nuevos materiales, el uso de nuevos acabados en la construcción es notable.

1.3 Sistemas Constructivos a Nivel Provincial

La provincia del Azuay está conformada por 10 cantones, de los cuales, el cantón Cuenca es su sede provincial, el mismo que posee el mayor número de habitantes y la mayor extensión dentro de la provincia, por lo que serán considerados los materiales empleados en la provincia para definir los sistemas constructivos desarrollados en la ciudad a lo largo de los periodos de análisis (INEC, 1981, 1983, 1985, 1987, 1989).

Periodo 1 1980-1989

En el primer periodo analizado, desde el año 1980 hasta 1989, se emitieron 12385 permisos de construcción en la provincia del Azuay, en este periodo los permisos emitidos dentro de la ciudad de Cuenca corresponden al 80 % del total de los generados dentro de la provincia, mientras que el 20 % restante pertenece a las cabeceras cantonales.

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura de esta época, se evidencia en la Figura 6.24a, que en cimentación ha predominado el uso de hormigón ciclópeo con 78 % del total, mientras que el hormigón armado el 21 %. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.24b), el hormigón armado es el más usado con 88 % del total. Por su parte la estructura metálica es usada en una mínima parte, la cual corresponde al 9 %.

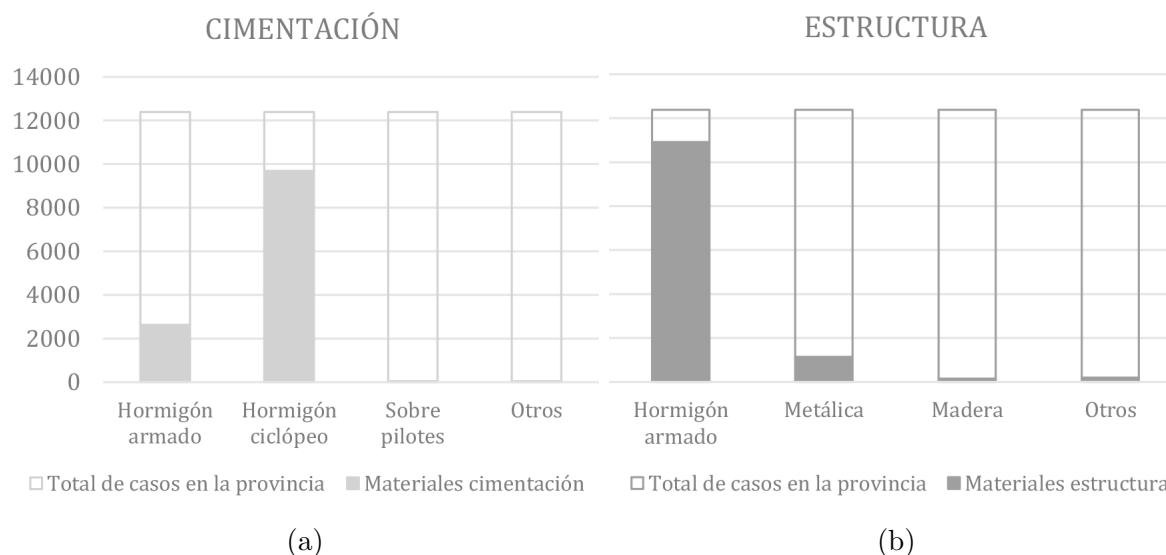


FIGURA 6.24: Materiales empleados en los elementos estructurales a) cimentación y b) estructura en el periodo 1 (1980-1989), en la provincia del Azuay.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 1980-1989, es el hormigón ciclópeo en cimentación y el hormigón armado en estructura.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.25a), el ladrillo representa el 88 % del total y el bloque el 11 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.25b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta de fibrocemento con 76 % del total, le sigue el uso del teja, la con 17 %, finalmente el hormigón armado y el zinc que corresponde al 6 % y 1 % respectivamente.

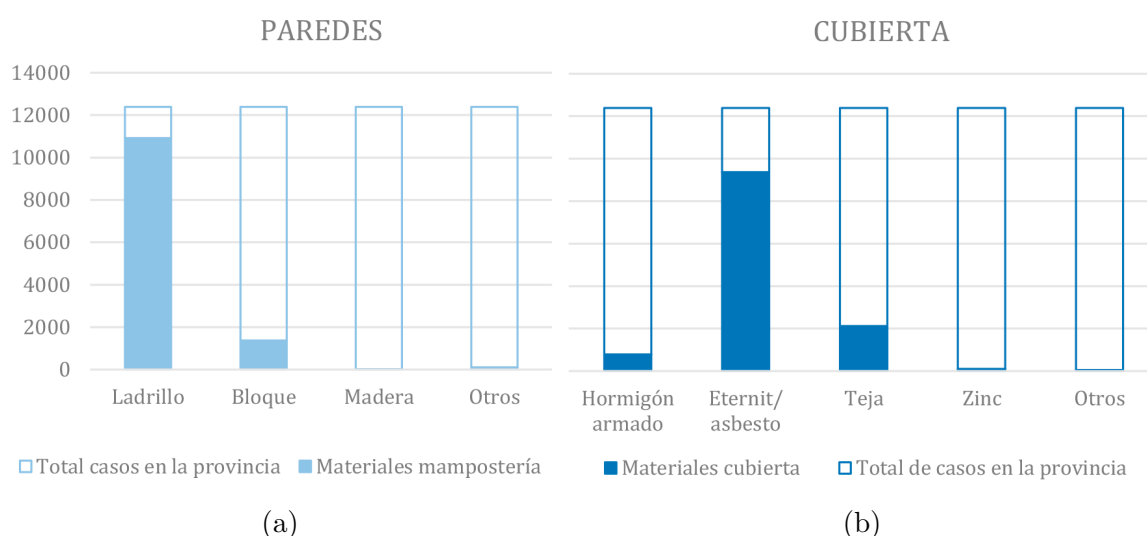


FIGURA 6.25: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 1 (1980-1989) en la provincia del Azuay.

En este sentido en la provincia del Azuay en el periodo de 1980 a 1989, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, en esta época ya se evidencia que los sistemas constructivos tradicionales pierden relevancia y se insertan nuevos que permiten acelerar procesos dentro de la construcción. Para esta época, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. Lo mismo sucede en la cubierta, todos los materiales naturales empleados en la arquitectura tradicional son reemplazados en este caso por fibrocemento y teja.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se muestra la información establecida en el censo de población y vivienda del año de 1990 (INEC, 1990), se muestra que el material más usado es el entablado o parquet con el 62%. En segundo lugar el piso de tierra, con 17%, seguido el piso de ladrillo o de cemento, y el piso de baldosa o vinyl, los cuales corresponde al 10% cada uno (Figura 6.26).

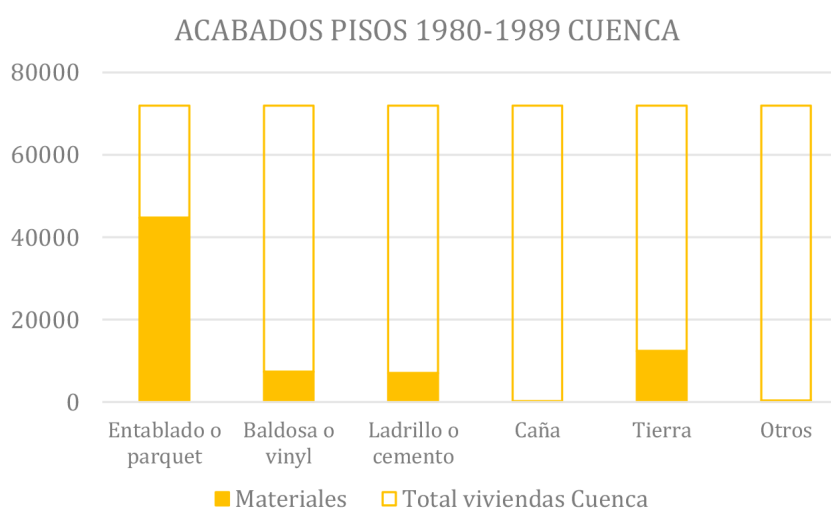


FIGURA 6.26: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 1 (1980-1989), en la provincia del Azuay.

Periodo 2 1990-1999

En el segundo periodo analizado, desde el año 1990 hasta 1999, se emitieron 19026 permisos de construcción en la provincia del Azuay, los cuales se han incrementado un 21% en relación al periodo anterior. En este periodo los permisos emitidos dentro de la ciudad de Cuenca corresponden al 85% del total de los generados dentro de la provincia, mientras que el 15% restante pertenece a las cabeceras cantonales (INEC, 1992, 1994, 1996, 2000a)

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura, se evidencia en la Figura 6.27a, que en cimentación predomina uso de hormigón ciclópeo con 78% del total, mientras que el hormigón armado representa el 14%. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.27b), el hormigón armado es el más usado con el 92% del total. Por su parte la estructura metálica es usada en una mínima parte, la cual corresponde al 4%.

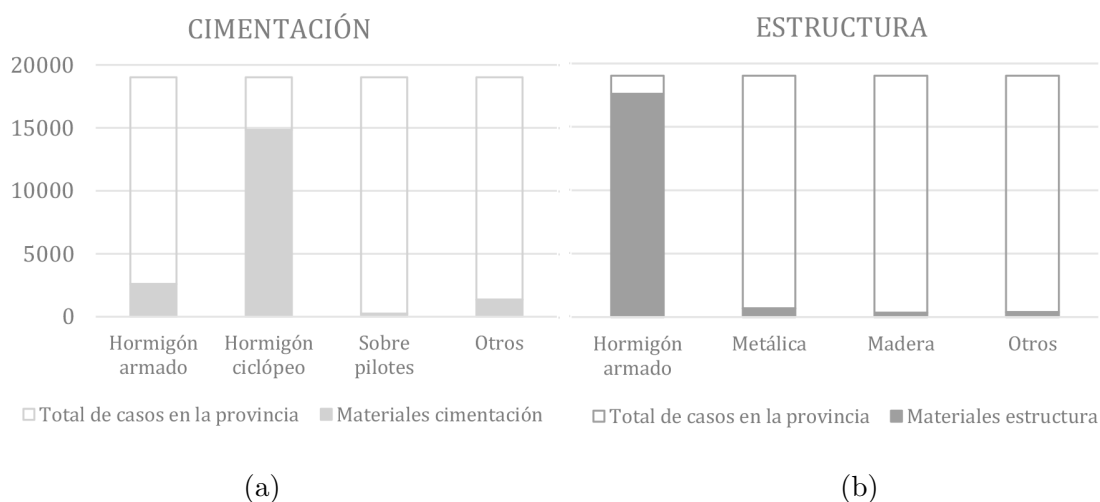


FIGURA 6.27: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 2 (1990-1999), en la provincia del Azuay.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 1990-1999, es el hormigón ciclópeo en cimentación y el hormigón armado en estructura. En relación al periodo anterior, en este periodo se incrementa aún más el uso de hormigón armado en la estructura de las viviendas, su uso en 10 años se incrementó un 14%.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.28a), el ladrillo representa el 84% del total y el bloque el 14%. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.28b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta de fibrocemento con el 67% del total, le la teja con 26%, finalmente el hormigón armado y el zinc que corresponde al 6% y 1% respectivamente.

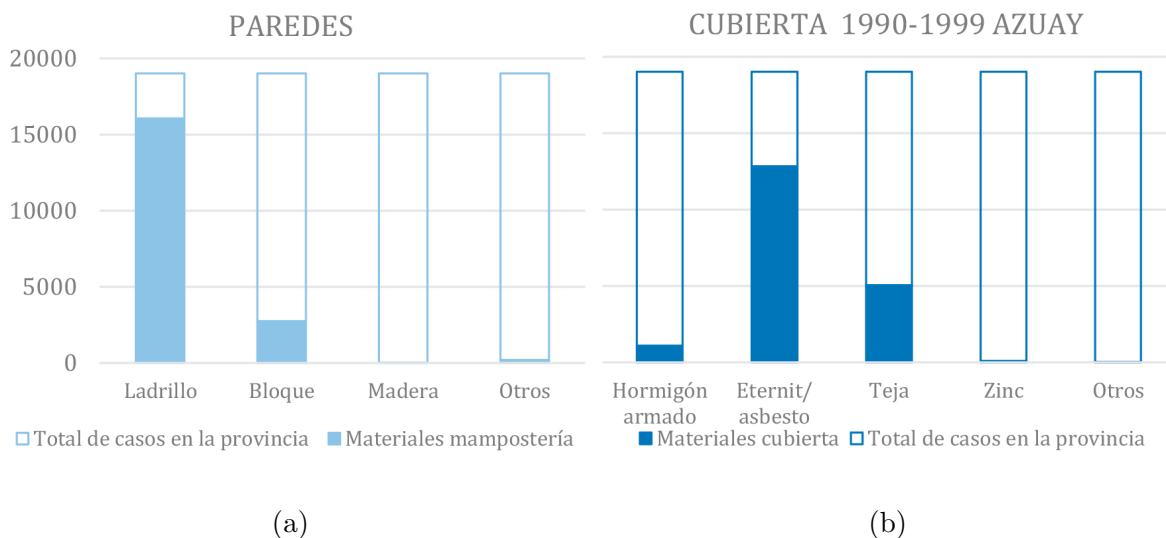


FIGURA 6.28: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b)

En este sentido en la provincia del Azuay en el periodo de 1990 a 1999, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, para esta época, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. Lo mismo sucede en la cubierta, todos los materiales naturales empleados en la arquitectura tradicional son reemplazados en este caso por fibrocemento y teja. En este periodo se evidencia un incremento en el uso de teja, y un decremento en el uso de fibrocemento, lo cual es probable que se haya dado debido a que la teja proporciona un acabado más estético frente a la cubierta simple de fibrocemento.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se muestra la información establecida en el censo de población y vivienda del año de 2001 (INEC, 2001), se evidencia que el entablado o parquet posee un mayor uso, con el 63 % del total. En segundo lugar el piso baldosa o vinil con 13 %, seguido el piso de ladrillo o de cemento, y el piso de tierra, los cuales corresponde al 12 % y 10 % respectivamente (Figura 6.29).

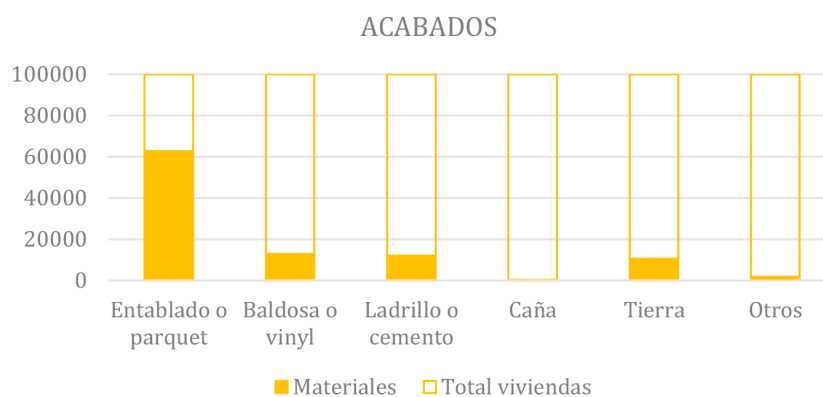


FIGURA 6.29: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 2 (2000-2009), en la provincia del Azuay.

Periodo 3 2000-2009

En el tercer periodo analizado, desde el año 2000-2009, se emitieron 19026 permisos de construcción en la provincia del Azuay, los cuales se han incrementado un 15 % en relación al periodo anterior (INEC, 2000a, 2005, 2007, 2009).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura, se evidencia en la Figura 6.30a, que en cimentación ha predominado el uso de hormigón ciclópeo con 49 % del total mientras que el hormigón armado representa el 40 %. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.30b), el hormigón armado es el más usado con 87 % del total. Por su parte la estructura metálica es usada en una mínima parte, la cual corresponde al 5 %.

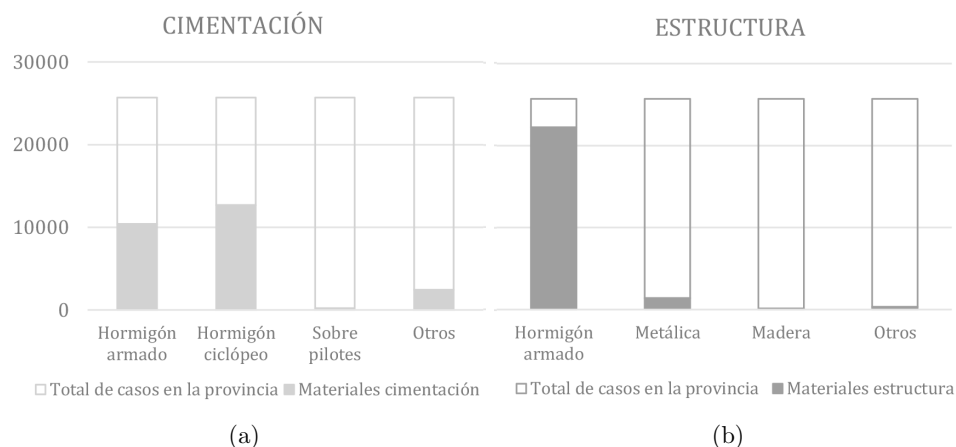


FIGURA 6.30: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 3 (2000-2009), en la provincia del Azuay.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 2000-2001, es el hormigón ciclópeo en cimentación a pesar de que en relación al periodo anterior, su uso se disminuye un 29 %, mientras que el uso de hormigón armado en la construcción de zapatas se incrementa un 26 %, y en estructura se mantiene como material predominante el hormigón armado, a pesar de que existe un incremento en el uso de la estructura metálica. En relación al periodo anterior, en este periodo se disminuye el uso de hormigón armado en la estructura de las viviendas, su uso en 10 años tuvo un decremento de 5 %.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.31a), el ladrillo representa el 74 % del total y el bloque el 24 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.31b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta de fibrocemento con 69 % del total, le sigue el uso del teja con 23 %, finalmente el hormigón armado y el zinc que corresponde al 7 % y 1 % respectivamente.

En este sentido en la provincia del Azuay en el periodo de 2000-2009, predominaba el uso del ladrillo en la mampostería, sin embargo, el uso del bloque comienza a incrementarse, para esta época, es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales. Lo mismo sucede en la cubierta, en donde se mantiene el uso predominante del fibrocemento y teja.

Acabados

En cuanto a acabados dentro de las viviendas, la información estadística existente contempla los acabados empleados en los pisos de las viviendas. En este sentido, se muestra la información establecida en el censo de población y vivienda del año de 2010 (INEC,

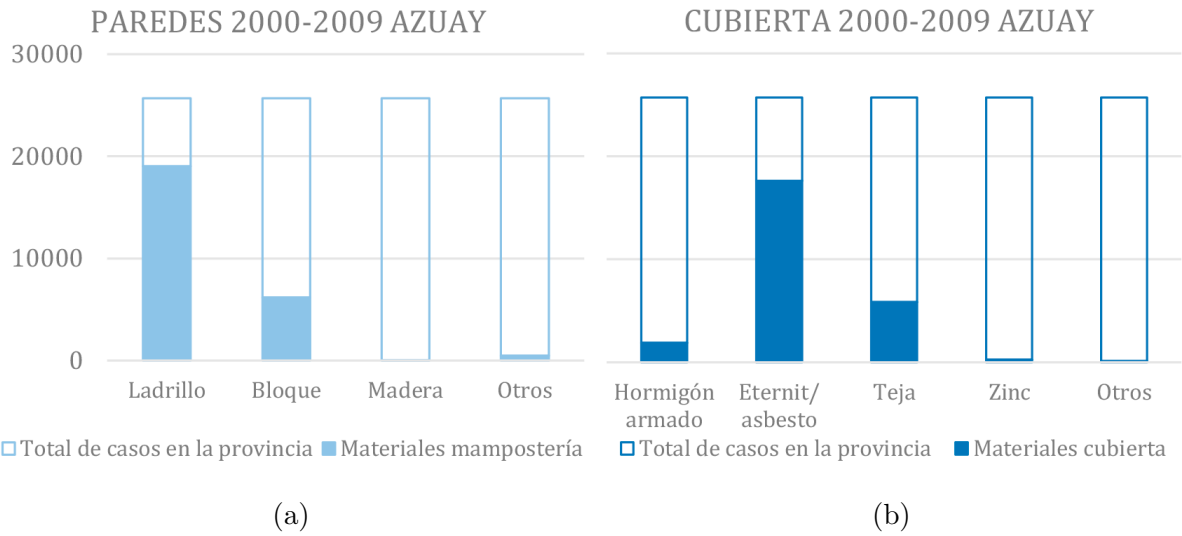


FIGURA 6.31: Materiales empleados en los elementos de envolvente (a) mampostería y (b) cubierta en el periodo 3 (2000-2009) en la provincia del Azuay.

2010b). A partir de este periodo los materiales empleados en acabados de pisos se incrementan (Figura 6.32), comienza a usarse, cerámica, mármol y piso flotante. De éstos, el más usado es la duela, parquet y piso flotante con el 33 % del total. A este le sigue el uso de materiales cerámicos con 30 %. La tendencia del cambio de materiales naturales por materiales industrializados, una vez más se hace evidente en este periodo.

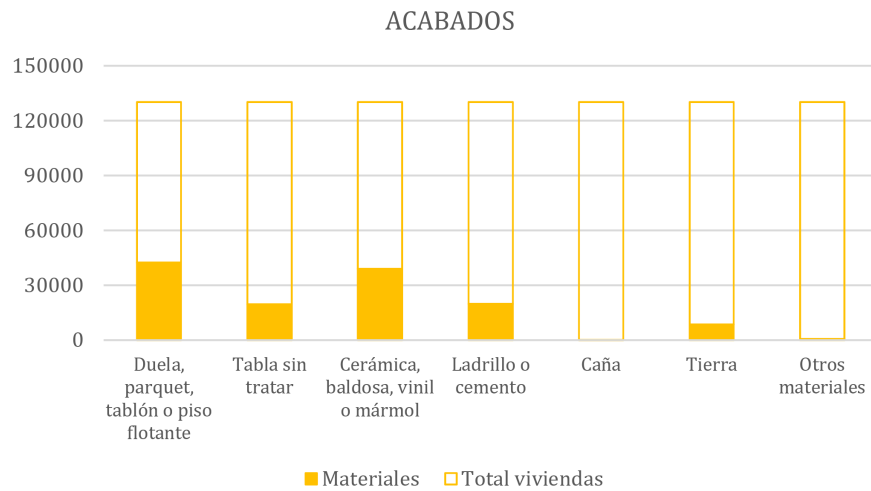


FIGURA 6.32: Materiales empleados en los elementos de acabados en pisos en el periodo 3 (2000-2010) en la provincia del Azuay.

Periodo 4 2010-2018

En el último periodo analizado, desde el año 2010-2018, se emitieron 19026 permisos de construcción en la provincia del Azuay, los cuales se han incrementado un 13 % en relación al periodo anterior (INEC, 2012a, 2015, 2016a, 2017, 2018).

Estructura

En cuanto a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.33a), ha predominado el uso de hormigón armado con 53 % del total, mientras que el hormigón ciclópeo, posee un fuerte decremento y representa el 38 %. En relación a los materiales empleados en la estructura (Figura 6.33b), el hormigón armado es el más usado con el 85 % del total. Por su parte la estructura metálica, corresponde al 12 % del total, este porcentaje en relación al periodo anterior se ha duplicado.

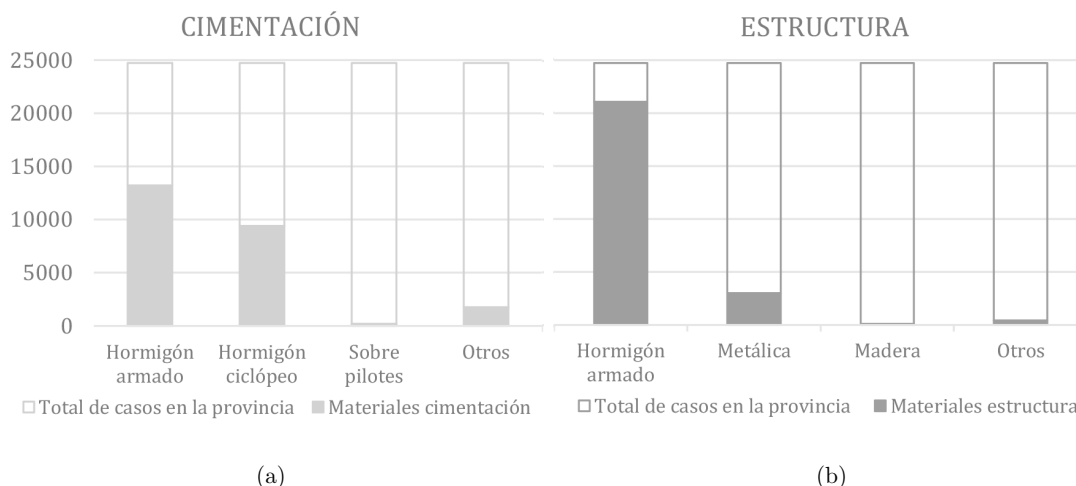


FIGURA 6.33: Materiales empleados en los elementos estructurales (a) cimentación y (b) estructura en el periodo 4 (2010-2018), en la provincia del Azuay.

Por lo tanto, el material predominante en los elementos estructurales en el periodo de 2010-2018, es el hormigón armado, a pesar de que existe un incremento notable en el uso de la estructura metálica, en 10 años tuvo un incremento de 7 %.

Envolvente

Dentro de los materiales empleados en mampostería (Figura 6.34a), el ladrillo representa el 65 % del total y el bloque el 27 %. En cuanto a los materiales empleados en la cubierta (Figura 6.34b), se evidencia que existe un predominio de la cubierta de fibrocemento con 63 % del total, le sigue el uso del teja con 17 %, seguido el hormigón armado con 17 % y el zinc que corresponde al 1 %.

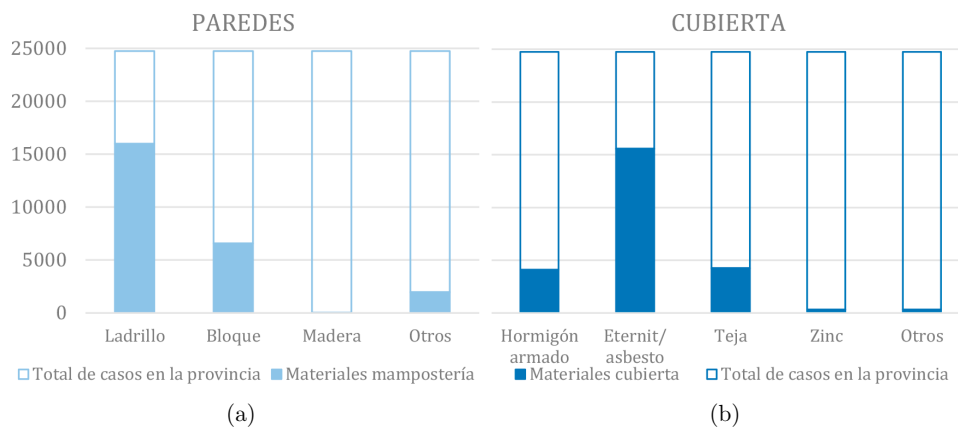


FIGURA 6.34: Materiales empleados en los elementos de envolvente a) mampostería y b) cubierta en el periodo 4 (2010-2018) en la provincia del Azuay.

En este sentido en la provincia del Azuay en el periodo de 2010-2018, predomina el uso del ladrillo en la mampostería, sin embargo, el uso del bloque tiende a incrementarse, para esta época es mínimo el número de permisos que se emiten para construir viviendas con materiales naturales, sin embargo, a diferencia de los periodos anteriores existe un incremento en la variable de “otros”, esto se debe a la adición de mampostería prefabricada. En la cubierta, se mantiene el uso predominante del fibrocemento, en este periodo el uso de la cubierta pesada de hormigón armado se incrementa y posee el mismo porcentaje de uso que la teja, en relación al periodo anterior el uso de hormigón armado en cubierta se incrementa un 10 %.

Acabados

Al igual que a nivel nacional y regional, en la provincia del Azuay, las importaciones de materiales metálicos y de acabados tienen un aumento progresivo, por lo que el uso de diferentes materiales en los acabados de las viviendas es cada vez más evidente. Al tomar los datos analizados en el periodo 3, se hace evidente que durante este periodo ya se han insertado nuevos acabados como productos cerámicos y maderas laminadas como el piso flotante, por lo que para el periodo actual, con la marcada incidencia en el alza de las importaciones de nuevos materiales, el uso de nuevos acabados en la construcción es notable.

Anexo 2: Energía Incorporada en las Viviendas de Cuenca

2.1 Referencia de cálculo

El peso del material es una de las variables necesarias para calcular la Energía Incorporada de cada elemento dentro de la construcción. Para obtener este valor, en base a la clasificación de componentes, se ha realizado el levantamiento de cada uno de los elementos construidos en la vivienda, es decir, en la componente de Estructura se ha cuantificado la cantidad de hormigón empleado en la cimentación, de igual manera en la Envoltente, la cantidad de ladrillos y en Acabados la cantidad de vidrio y así todos los materiales utilizados en cada una de las viviendas de análisis.

A través de dicha cuantificación, se obtiene la cantidad de material empleado en los elementos constructivos. La cantidad de material puede venir expresado en diferentes unidades, tales como metros, metros cuadrados, metros cúbicos, kilogramos, entre otros. Una vez obtenido el valor de cada material, será necesario igualar las unidades para que puedan ser multiplicadas por la Energía Incorporada de cada material, la misma que viene dada en MJ/Kg . Para igualar las unidades será multiplicado el peso de cada material x el peso específico del mismo, de donde resulta finalmente un valor expresado en kg. En la Tabla 6.1 se muestra un ejemplo del cálculo descrito previamente.

Tabla 6.1: MODELO DE CÁLCULO DE CANTIDAD DE OBRA DE MATERIALES

Sistema constructivo			Materiales			Peso		EI	
Elemento	U	Cantidad	Descripción	U	Cantidad	Kg/unidad	Kg	Mj/Kg	
ESTRUCTURA	Cimentación	m^3	35	Hormigón 60 %	m^3	21.57	2400	51770	0.6
				Piedra 40 %	m^3	14.38	2600	37390	0.3
	Columnas	m^3	3.70	Hormigón	m^3	3.70	2400	8870.4	0.6
				Hierro	m	92.4	4.67	431.51	35
	Vigas	m^3	5.68	Hormigón	m^3	5.68	2400	13620	0.6
				Hierro	m	113.5	4.8	544.8	35
	Entrepiso	m^2	61.1	Madera	m^3	23.11	550	12711	4.7
	Cubierta	m^2	68.1	Madera	m^3	13.64	550	7502	4.7
	Gradas	m^3	0.52	Madera	m^3	0.52	550	286	4.7

El proceso evidenciado ha sido replicado para cada componente y a su vez para cada material. Una vez obtenidos estos resultados, se procede a multiplicar por el valor dado de Energía Incorporada, tal como se muestra en Eq. 6.1.

$$\text{Energía Incorporada total (MJ)} = \text{Peso del Material (kg)} * \text{EI del material (MJ/kg)} \quad (6.1)$$

Finalmente, se obtiene un valor de Energía Incorporada (MJ/kg) para cada material empleado en la construcción, posterior a ello se realiza una sumatoria para obtener la Energía Incorporada de cada componente y de igual manera se obtiene el valor de EI de cada vivienda.

2.2 Valores de EI Referenciales

Como se ha mencionado, los estudios referentes a Energía Incorporada, a nivel de país son escasos. En el contexto de la ciudad de Cuenca existe un estudio realizado sobre la EI del ladrillo que ha sido considerada dentro de este estudio ([Alvear & Palomeque, 2017](#)). Para el valor de Energía Incorporada por unidad de peso de los demás materiales han sido consideradas fuentes de investigaciones internacionales. Sin embargo, se ha tratado de seleccionar los valores establecidos en países cercanos al contexto de Ecuador. Por ejemplo, existen estudios realizados en Colombia, que han obtenido valores referenciales de EI para diferentes materiales ([Diaz, 2014](#)). A pesar de ello, estudios a nivel de Latinoamérica en este ámbito aún son escasos. Por lo que en varias investigaciones a nivel global, toman los valores establecidos en la base de datos del banco BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC).

En el caso de ([Solís, 2010](#)), se muestran varios valores de EI para los principales materiales de construcción y además establece una comparación con datos de diferentes estudios. En su investigación concluye que existe una gran similitud entre varios estudios debido a que la mayor parte de datos se toman del banco BEDEC. De igual manera el estudio de ([Quispe, 2016](#)), establece sus valores de EI en base al banco BEDEC. Finalmente, se han tomado datos de otros materiales, en base a estudios realizados dentro del Reino Unido ([Berge, 2009](#)). A continuación en la Tabla 6.2, se muestra la Energía Incorporada por unidad de peso de los materiales considerados para evaluar la EI final en cada periodo de análisis, con su respectiva fuente.

A pesar de que no todos los datos de EI de cada material, provienen de un contexto similar al de Ecuador, los resultados mostrados en la presente tesis, son una aproximación a los valores de EI reales. Ya que para obtener un valor completamente veraz, será necesario en primera instancia establecer los valores de EI de cada material empleado en la construcción de la ciudad de Cuenca.

Tabla 6.2: VALORES DE EI TOMADOS PARA EL ANÁLISIS DE ENERGÍA INCORPORADA FINAL DE LOS DIFERENTES PERIODOS CONSTRUCTIVOS.

Materiales	EI MJ/kg	Fuente
Ladrillo macizo	1.33	(Alvear & Palomeque, 2017)
Hormigón	0.6	
Piedra	0.3	
Hierro	35	
Madera	4.7	(Diaz, 2014)
Mortero	1.6	
Teja	3.5	
Vidrio	26	
Aluminio	410	
Ladrillo vidriado	10	
Grava	0.1	
Cerámica	2.5	
Alfombra	106	
Pintura	20	
Estuco	7.9	
Mortero prefabricado	2.5	(Solís, 2010)
Fibrocemento	9	
Tablero triplex	5	
Piso flotante	45	
Porcelanato	10.9	
Yeso cartón	7.9	
Acero inoxidable	177	
Lámina asfáltica	10	
Baldosa	10.9	
Acero	35	(Quispe, 2016)
OSB	15	
Vidrio templado	349	
Ladrillo alivianado	3	
Bloque	4	(Berge, 2009)
Acero galvanizado	25	
Espuma de polipropileno	115	
Madera prefabricada	40	

Anexo 3: Configuración de Simulaciones

Una vez establecido el modelo, los materiales correspondientes a cada uno de los periodos y a la propuesta fueron configurados en el software Design Builder. De acuerdo a lo mencionado, para el módulo del primer periodo se consideraron los materiales predominantes de la vivienda analizada (Figura 6.35). Es importante mencionar que dentro del software Design Builder deben ingresarse todas las capas que conforman el elemento constructivo, para que puedan ser calculados, exceptuando la estructura. En relación a lo mencionado, el piso de planta baja se conforma de una cámara de aire que se forma por el espacio entre las vigas de planta baja y el terreno, la siguiente capa a considerar sería el enduelado de madera que es el piso propio del interior de la vivienda.

En cuanto al entrepiso, las capas consideradas fueron el cielo raso, el cual está compuesto de tableros de madera contrachapada, una cámara de aire generada por la estructura y el piso de planta alta que es de duelas de madera. La mampostería tanto interior como exterior está conformada por tres capas, en las que se considera el enlucido exterior, el ladrillo macizo y la capa de enlucido interior. Finalmente, para la cubierta de la vivienda se establece la primera capa, perteneciente al cielo raso, conformado de tableros de madera contrachapada, a continuación una cámara de aire generada por la estructura y sobre esta las planchas de fibrocemento. A más de considerar los materiales predominantes en cada periodo, se tomó en cuenta el porcentaje de superficie vidriada en fachada. En referencia al periodo 1, la abertura de ventanas en fachada no posee un porcentaje elevado, ya que existen ventanas de 1.20m x 1.20m, lo que en fachada se convierte en 20 % de superficie vidriada.

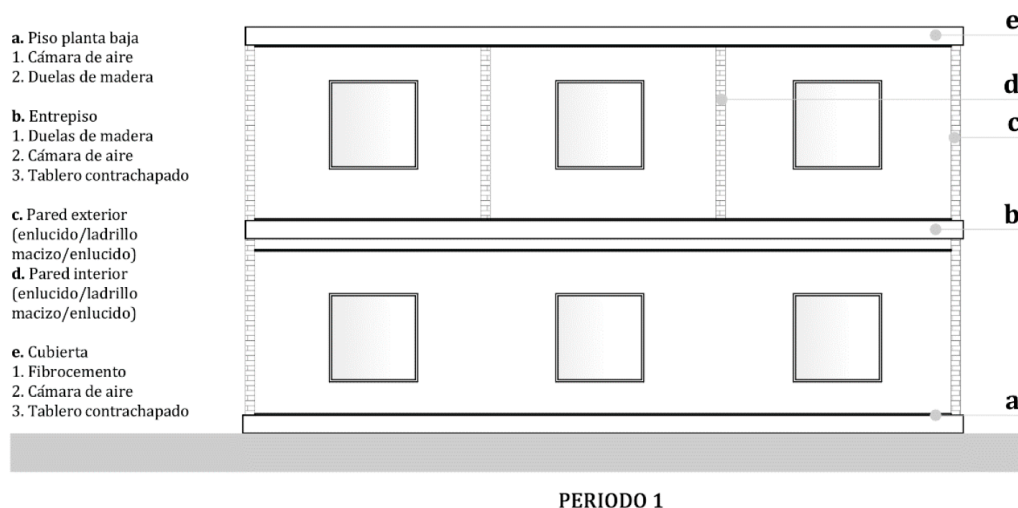


FIGURA 6.35: Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 1.

De igual manera, la configuración para el segundo periodo se dio en base a las dimensiones establecidas anteriormente, en este caso los materiales difieren en relación al primer periodo. En planta baja se inserta el uso de replantillo de piedra y losa de hormigón armado, en el entrepiso en lugar de usar tableros se emplea estuco cubierto con empaste y

en piso de planta alta se emplea alfombra. A más de ello en mampostería se inserta una capa de empastado, tanto en paredes interiores como exteriores, y finalmente en cubierta las capas que la conforman son empaste, estuco, cámara de aire, entablillado de madera y sobre este teja. En el caso de la vivienda del periodo 2, el porcentaje de ventana en fachada es mayor en relación al periodo 1, e incluso supera el porcentaje recomendado para evitar pérdidas de calor, ya que corresponde al 40 % de superficie vidriada en cada mampostería (Figura 6.36). De acuerdo a lo dicho, el módulo a simular para el periodo 2 queda conformado por los materiales expuestos, y con ventanas de 1.50m x 2m en cada vano.

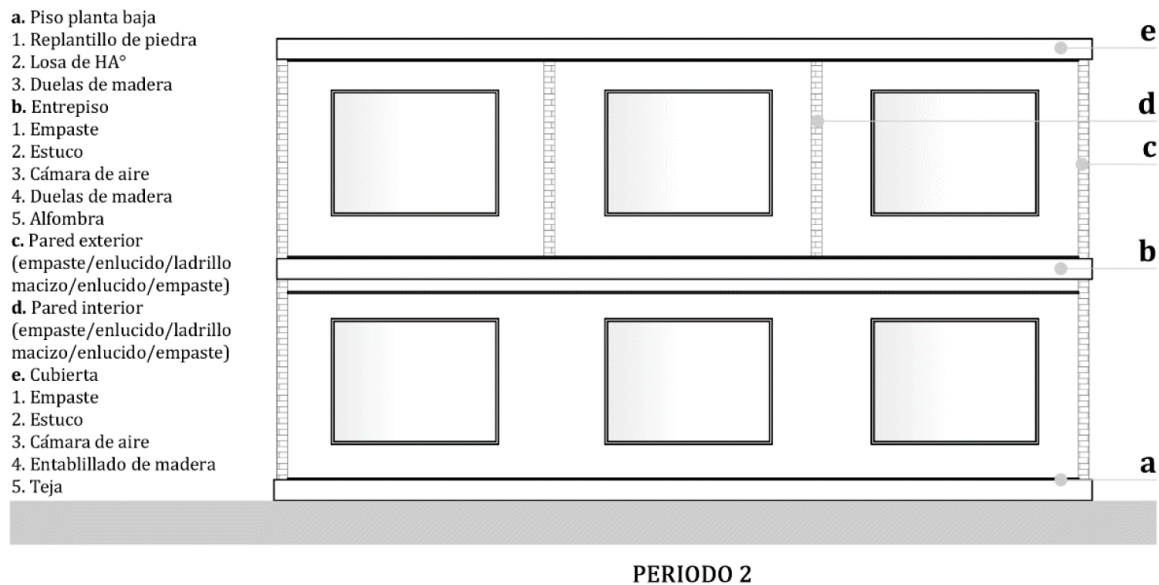


FIGURA 6.36: Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 2.

En la vivienda del periodo 3, el cambio de materiales es aún más marcado, en el piso de planta baja a más de las capas de replanto de piedra y losa de hormigón armado, se inserta el uso de mortero y cerámica. En esta vivienda, para el entrepiso ya se emplea losa de hormigón, por lo que el elemento de entrepiso queda conformado por empaste, estuco, cámara de aire losa de entrepiso y alfombra en el piso de planta alta. En la mampostería de la vivienda, en paredes exteriores se emplea solamente ladrillo, mientras que hacia el interior la pared se conforma de ladrillo, enlucido y empaste. Finalmente en cubierta, el elemento está conformado por empaste, estuco, cámara de aire, fibrocemento y sobre este teja. En este periodo la superficie de ventana se incrementa aún más, ya que esta vivienda está formada por vidrio en la mayor parte de sus fachadas hacia el exterior, con excepción de un pequeño espacio en la fachada frontal. Por este motivo para esta vivienda se ha establecido un porcentaje de ventana del 80 % del total de la fachada oeste (Figura 6.37).

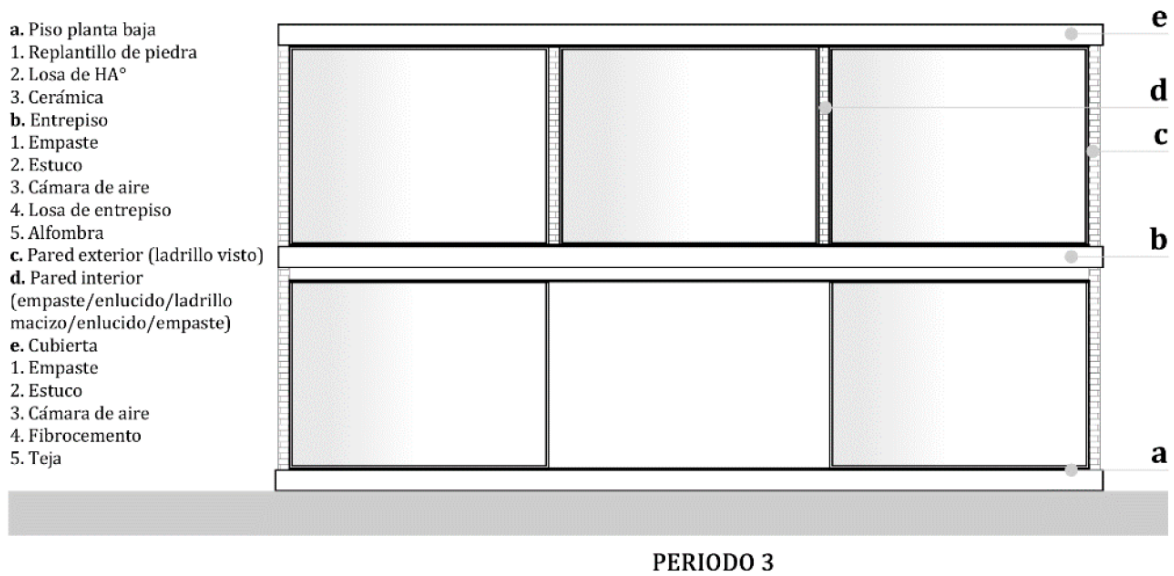


FIGURA 6.37: Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 3.

Para el periodo 4, se emplean materiales similares a la vivienda del periodo 3, a diferencia de que en este periodo, las paredes interiores son reemplazadas por mampostería de ladrillo tochana con enlucido y empaste, y de igual manera el cielo raso de estuco es reemplazado por yeso cartón con empaste. En este periodo la fachada de vidrio es más incidente, ya que la mayoría de paredes son reemplazadas por mampostería de vidrio templado, por lo que en este periodo se considera un porcentaje de 95 % de superficie de ventana en relación a la superficie de pared de ladrillo (Figura 6.38).

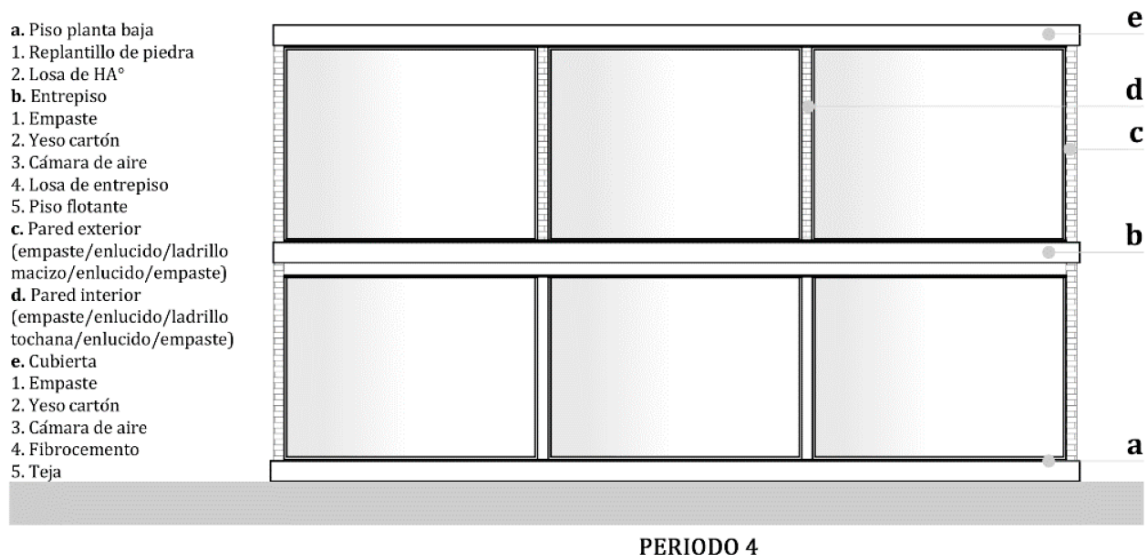


FIGURA 6.38: Módulo para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al periodo 4.

De igual manera es configurado el módulo con los materiales establecidos en la propuesta. El piso de planta baja se conforma de una capa de replanteo y otra de losa de hormigón armado, ya que el acabado final es el hormigón pulido. En el entrepiso se estableció madera natural como cielo raso, una cámara de aire dada por la estructura, y sobre esta madera natural como enduelado. En cuanto a paredes, tanto las exteriores

como interiores se configuran de una sola capa de ladrillo macizo. Y la cubierta está formada por un cielo raso de madera, la cámara de aire generada por la estructura, tableros de OSB, lámina impermeabilizante y finalmente teja (Figura 6.39). En relación a la superficie vidriada, en un inicio, se estableció un porcentaje total de ventanas del 30%, ya que según la bibliografía consultada, este porcentaje sería viable para captar la radiación solar necesaria hacia el interior de la vivienda, sin embargo, a través de las simulaciones la forma de la superficie acristalada fue modificada, esto será explicado más adelante.

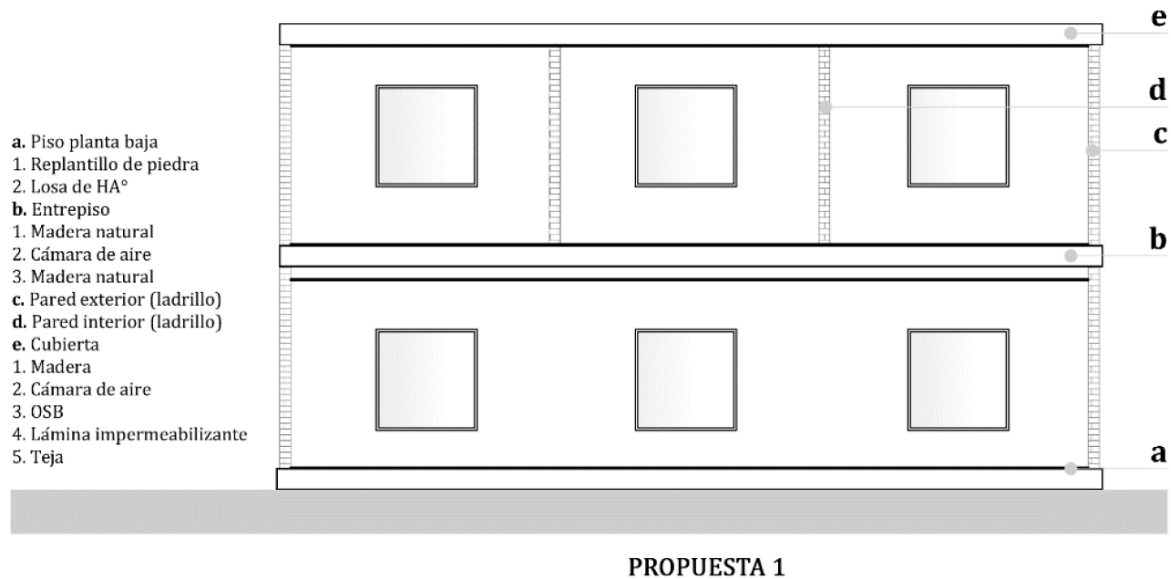
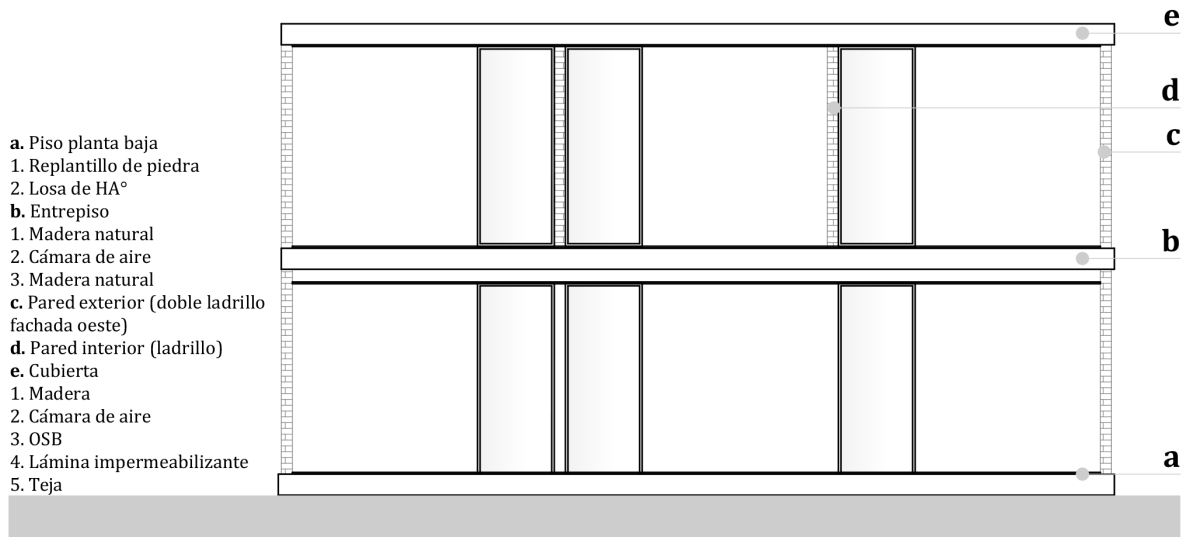


FIGURA 6.39: Módulo inicial para simulación con sus materiales y porcentaje de superficie vidriada, correspondientes al diseño propuesto.

La simulación de la propuesta sirvió para que de manera conjunta sean definidos los materiales a emplearse, ya que a través de este análisis fue posible determinar materiales que logren disminuir la Energía Incorporada y que a su vez aporten a mejorar el confort en el espacio interior de la vivienda. De acuerdo a lo mencionado, el proceso de simulación de la propuesta tuvo dos instancias, en la primera, como se indicó previamente, se contemplaron los materiales con menor EI y se planteaba reducir al máximo el uso de mayor cantidad de recursos. Además las aberturas consideradas se planteaban en cuadrados de 1,50 x 1,50m, lo que corresponde al 30% de la superficie de mampostería. Los resultados obtenidos en esta primera etapa, no mostraban una mejoría en relación a los periodos analizados, por lo que, tanto los materiales como la superficie vidriada fue modificada (Figura 6.40).

En relación a los materiales se planteó emplear mayor masa térmica para evitar las aceleradas pérdidas de calor, en base a esto, en la fachada con mayor incidencia de radiación solar (oeste), se planteó una mampostería de ladrillo doble. A su vez en cuanto a la superficie vidriada, el porcentaje fue mantenido en 30%, sin embargo, se redujo la longitud de la ventana y el alto fue incrementado de piso a techo, esto permite captar mayor cantidad de radiación solar y además iluminar el interior de la vivienda con mayor profundidad (Serra & Coch, 1995).



PROPUESTA 2

FIGURA 6.40: Propuesta 2, modificada en base a las simulaciones digitales.

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Ana Gabriela Torres Avilés** portador de la cédula de ciudadanía N° 0106430853. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“El impacto de los materiales en la arquitectura sostenible. La Energía Incorporada en las viviendas de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 04 de enero de 2021



F:

Ana Gabriela Torres Avilés
0106430853